Schleswig-Holstein
Der echte Norden

Gutachten

H_2–Mobilität und Förderrichtlinien Schleswig–Holstein

umlaut EMCEL bbh BECKER BÜTTNER HELD ENERGY Transition CONSULTING

Dieses Gutachten wurde erstellt durch:

umlaut energy GmbH
Am Kraftversorgungsturm 3
D–52070

Thomas Nauhauser
Felix Schimek
Marvin Heimann

EMCEL GmbH
Brüsseler Straße 85
D–520672 Köln

Marcel Corneille
Johannes Kuhn
Bjarne Heidelberg

Becker Büttner Held
Rechtsanwälte
Wirtschaftsprüfer
Steuerberater PartGmbB
Kaiser–Wilhelm–Straße 93
20355 Hamburg

Thomas Schmeding
Jan–Hendrik vom Wege
Dr. Dörte Fouquet

ETC Energy Transition
Consulting GmbH
Sperberweg 2
52076 Aachen

Dr. Martin Robinius
Dr. Bastian Gillessen

Im Auftrag des

Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Arbeit, Technologie und Tourismus

über das

Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung

des Landes Schleswig–Holstein.

Dezember 2020

Inhaltsverzeichnis

I. Executive Summary ... 5

II. Einleitung zum Gutachten ... 13

1 Nutzung von Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen in der Mobilität ... 14

1.1 Einsatz von Wasserstoff in verschiedenen Verkehrsträgern ... 14

1.2 Synthetische Kraftstoffe für den Verkehrssektor ... 18

1.3 Projekte & Vorhaben in Schleswig–Holstein & Hamburg ... 20

1.4 Herausforderungen und Handlungsspielräume in Schleswig–Holstein ... 22

1.5 Zusammenfassung ... 26

2 Bedarfsentwicklung & Wirtschaftlichkeit wasserstoffbetriebener Fahrzeuge ... 27

2.1 Bedarfspotenziale im Straßen– und Schienenverkehr ... 28

2.2 Mögliche Bedarfszentren für Wasserstoff in der Mobilität ... 31

2.3 Marktüberblick FCEV ... 32

2.4 Analyse der Wirtschaftlichkeit von FCEV ... 42

2.5 Workshop zur H_2–Mobilität in Schleswig–Holstein ... 48

2.6 Möglicher Einfluss der COVID–19–Pandemie auf die Marktdurchdringung von FCEV ... 50

2.7 Zusammenfassung ... 53

3 Entwurf einer bedarfsorientierten Mobilitäts–Planung der Wasserstoffinfrastruktur in Schleswig–Holstein ... 54

3.1 Bestehende und geplante Tankstelleninfrastruktur ... 54

3.2 Anforderungen verschiedener Stakeholder ... 56

3.3 Aktuelle Herausforderungen bei der Realisierung von Wasserstofftankstellen ... 57

3.4 Betreiberkonzepte ... 58

3.5 Bedarfsorientierten Ausbau von Wasserstofftankstellen in Schleswig–Holstein ... 60

3.6 Zusammenfassung ... 65

4 Wirtschaftlichkeitsberechnung für den Betrieb einer bundeslandweiten Tankstelleninfrastruktur ... 66

4.1 Aufstellung der Investitionskosten einer Wasserstofftankstelle und zukünftige Entwicklung ... 66

4.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einer Tankstelle für den Vertrieb von grünem Wasserstoff ... 68

4.3 Analyse des Wasserstoffverkaufspreises ... 74

4.4 Kosten einer bedarfsorientierten Tankstelleninfrastruktur für Wasserstoff ... 76

4.5 Zusammenfassung ... 77

5 Analyse und Bewertung der Genehmigungssituation für Wasserstofftankstellen ... 78

5.1 Rahmenbedingungen & Bestandsaufnahme ... 78

5.2 Zulassung von H_2–Tankstellen bezogen auf Verkehrsträger ... 89

5.3 Bewertung der Genehmigungssituation ... 95

5.4 Zusammenfassung 98
6 Regulatorische Rahmenbedingungen zur Förderung der Wasserstoffmobilität 99
6.1 Europäische Rahmenbedingungen der Wasserstoffmobilität 99
6.2 Nationale Rahmenbedingungen der Wasserstoffmobilität 104
6.3 Nationale & internationale Best–Practice–Ansätze 107
6.4 Schaffung von weiteren Anreizen 114
6.5 Zusammenfassung und Handlungsmöglichkeiten 116
7 Förderrichtlinien in Schleswig–Holstein 117
7.1 EUI – Gewährung von Zuwendungen zur Förderung der Energiewende und von Umweltinnovationen 119
7.2 BFEI – Gewährung von Zuwendungen zur Förderung betrieblicher Forschung, Entwicklung und Innovation 121
7.3 FIT – Gewährung von Zuwendungen zur Förderung von anwendungsorientierter Forschung, Innovationen, zukunftsfähigen Technologien & des Technologie– und Wissenstransfers 123
7.4 Gewährung von Zuwendungen zur Förderung von kommunalen Hafenbaumaßnahmen in Schleswig–Holstein Beschreibung 124
7.5 Förderlücken 126
7.6 Zusammenfassung 127
8 Analyse beihilferechtlicher Voraussetzungen für eine Förderrichtlinie in SH 128
8.1 Rahmenbedingungen EU–Beihilfenrecht 128
8.2 Notifizierungsverfahren 129
8.3 Erfüllung des Beihilfentatbestandes des Art. 107 Abs. 1 AEUV 129
8.4 Fördermöglichkeiten, für die kein Notifizierungsverfahren erforderlich ist 133
8.5 EU–Rahmenbedingungen für Wasserstoffförderung im Verkehrsbereich 140
8.6 Allgemeine Hinweise zu Förderrichtlinien 140
8.7 Gliederungspunkte einer Förderrichtlinie unter beihilfenrechtlichen Aspekten 141
8.8 Zusammenfassung 146
III. Handlungsempfehlungen 147
IV. Anhang 156
A Übersicht der geplanten Förderungen von Wasserstofftechnologien 156
B Bewertungsmatrix – Vergleich FCEV und BEV 157
C Wasserstoff im Flug– und Schiffsverkehr 158
D SWOT–Analyse 162
E Methodik Szenarienentwicklung für Wasserstoffbedarfe 171
F Marktüberblick FCEV – Ergänzung 174
V. Abkürzungen 192
VI. Literaturverzeichnis 193

H_2–Mobilität und Förderrichtlinien Gutachten für Schleswig–Holstein

I. Executive Summary

Im Rahmen der Wasserstoffstrategie des Landes Schleswig–Holstein (SH) untersucht das Gutachten „Wasserstoffmobilität und Förder–richtlinien Schleswig–Holstein" den Hochlauf von mit Wasserstoff (H_2) betriebenen Fahr–zeugen und den damit zusammenhängenden Aufbau einer landesweiten Versorgungs–infrastruktur.

Das Parallelgutachten „Wasserstofferzeugung und –märkte Schleswig–Holstein" zeigt Möglichkeiten zur Deckung des entstehenden Wasserstoffbedarfs und beleuchtet die Entwicklung eines Wasserstoffmarkts in SH.

Nach aktuellen Schätzungen liegt der Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergie–verbrauch in SH im Jahr 2020 bei etwa 46 %. Bis 2025 soll der Anteil auf 64 % ansteigen[1]. Hierzu sind insbesondere Anstrengungen im Verkehrsbereich erforderlich, der mit einem Anteil erneuerbarer Energien von etwa 11 % (2018) weit hinter den anderen Sektoren liegt[2]. In der überarbeiteten Renewable Energy Directive (RED II) hat die Europäische Kommission für den Verkehrssektor ein Ziel von mindestens 14 % erneuerbare Energien im Jahr 2030 festgelegt.
Nach dem deutschen Klimaschutzplan 2030 sollen bis 2030 CO_2–Einsparungen im Verkehr von 40–42 % ggü. 1990 erreicht werden. Bisher wurde eine Minderung von etwa 33 % erreicht.

Darüber hinaus zielen die Clean Vehicle Directive (CVD), die Fuel Quality Directive (FQD) und die EU–Verordnungen zur Minderung von Flottengrenzwerten (2019/631 & 1242) sowie unterstützend die Alternative Fuels Infrastructure Directive (AFID) auf die Einführung alternativer Treibstoffe und Antriebssysteme im Verkehrssektor ab.

Mit Blick auf die steigenden Nachhaltigkeits–anforderungen stellt sich die Frage, welche emissionsarmen Antriebssysteme bzw. Treib–stoffe sich in Zukunft durchsetzen werden.

Nutzung von Wasserstoff als Energieträger in der Mobilität

Die Vorteile der Fahrzeuge mit Brennstoff–zellenantrieb (engl. Fuel Cell Electric Vehicle; kurz FCEV) gegenüber den rein batterie–elektrischen Fahrzeugen (engl. Battery Electric Vehicle; kurz BEV) kommen besonders bei höheren Nutzlast– und Reichweiten–anforderungen, sowie den beiden Anforderungen, nahezu gleichbleibende Flexibilität und Betankungszeiten im Vergleich zu konventionellen Antrieben mit Verbrennungsmotoren zu gewährleisten, zur Geltung. Dies gilt, in Abhängigkeit vom An–wendungsfall, insbesondere für Busse, LKW, Abfallsammelfahrzeuge und Züge, aber auch für PKW mit größeren Reichweiten.

Eine anwendungsbezogene Betrachtung zeigt besonders im Bereich der Nutzfahrzeuge relevante Vorteile der FCEV.

Auch im Bereich der küstennahen Schifffahrt, der Binnenschifffahrt und des Fährverkehrs sowie im regionalen Flugverkehr ist der Einsatz von Wasserstoff als Kraftstoff interessant. Konkrete Pilotprojekte im Bereich der Schiff–fahrt laufen bereits. So gibt es z. B. eine

[1] vgl. Bericht „Erneuerbare Energien in Zahlen für Schleswig–Holstein", 2019

[2] Eigene Berechnung basierend auf der Energiebilanz 2018 des Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig–Holstein

interessante Entwicklung im Bereich der Umrüstung von Versorgungsschiffen auf einen Brennstoffzellenantrieb in Cuxhaven.

In Norddeutschland gibt es auch im Bereich der Schifffahrt vielversprechende Pilotprojekte.

Dagegen sind bei steigenden Reichweiten, wie es der überregionale Flugverkehr erfordert, synthetische Kraftstoffe oder sogenannte E-Fuels aufgrund der erforderlichen hohen volumetrischen Energiedichten eine vielversprechende Alternative.

Wirtschaftlichkeit von Wasserstoff im Vergleich zu fossilen Kraftstoffen

Der aktuelle brutto Handelspreis für Wasserstoff an der Tankstelle liegt bei ca. 9,50 €/kg. Um konkurrenzfähige Treibstoffkosten zu erreichen, muss der Wasserstoffbezugspreis für private PKW unter 11,70 €/kg (brutto) liegen, was somit aktuell schon erfüllt ist.

Die Wirtschaftlichkeit in Bezug auf den Kraftstoff ist für Wasserstoff-PKW bereits gegeben.

Auf Basis der aktuellen Abschätzung im Gutachten, müsste der Preis für Wasserstoff für schwere Nutzfahrzeuge (SNF) unter 4,80 €/kg (brutto) liegen, um konkurrenzfähig zu sein. Der Einschätzung liegt allerdings eine Momentaufnahme zugrunde, die dieselbasierte SNF als hocheffizient betrachtet und derzeitige Wasserstoff-SNF mit einem Verbrauch von 8 kg H_2 pro 100 km Reichweite als eher ineffizient annimmt. Im Rahmen der ersten Pilotprojekte ist genau zu beobachten, wo sich der Verbrauch von Wasserstoff-SNF in naher Zukunft hinbewegt.

Dennoch lässt sich hieraus schon ableiten, dass besonders im Bereich der SNF eine CO_2 Bepreisung notwendig sein wird, um die notwendige Transformation anzustoßen.

Wirtschaftlichkeit von Brennstoffzellenfahrzeugen über die Dauer der Nutzung

Bei der gesamtheitlichen Betrachtung der Haltungskosten eines Fahrzeugs (engl. Total Cost of Ownership; TCO) wird die erwartete Entwicklung der CO_2-Kosten sowie eine Verringerung der Investitions- und Betriebskosten in den kommenden Jahren bis 2050 berücksichtigt. Diese Analyse ist vom reinen Vergleich der Treibstoffkosten zu differenzieren, bei der für FC-PKW bereits die Kostenparität gegeben ist.

Unter den absehbaren Bedingungen kann für FC-PKW die TCO-Parität zu Diesel-PKW etwa im Jahr 2030 erreicht werden, für FC-Busse sowie leichte und schwere Nutzfahrzeuge wird die TCO-Parität zum Dieselantrieb etwa im Jahr 2038 erreicht.

Die Wirtschaftlichkeit mit Blick auf den TCO ist weder für PKW noch Nutzfahrzeuge aktuell gegeben, wird sich aber bis 2038 einstellen.

Das zeitnahe Eintreten der TCO-Parität im PKW-Bereich ist für die private Nutzung nicht alleinig das entscheidende Kriterium. Hinsichtlich der Nutzerakzeptanz der FCEV im Individualverkehr spielen vielmehr die am Markt verfügbaren Modelle, die aktuell noch hohen Kaufpreise und die flächendeckende Tankstellenversorgung eine große Rolle. Hierauf wird explizit in einem der folgenden Kapitel eingegangen.

Für FC-Busse sowie leichte und schwere Nutzfahrzeuge wird zeitnah auf reiner TCO Basis keine flächendeckende Transformation zu FC-Fahrzeugen stattfinden. Hierfür wird eine Vielzahl von Maßnahmen notwendig sein, um die TCO-Aufwände in den Bereich der derzeit dominierenden Technologien zu rücken. Dies sind u. a. eine signifikante Reduzierung der Treibstoffkosten, des Verbrauchs, der Anschaffungskosten und auf der anderen Seite eine Erhöhung der CO_2-Abgaben auf Treibstoffe sowie weitere umweltpolitische Maßnahmen, wie z. B. Fahreinschränkungen in Städten. Weitere mögliche Maßnahmen sind eine Reduktion der TCO Kosten z. B. durch Subventionierung der Fahrzeuge oder der Kraftstoffe.

Rahmenbedingungen für den Hochlauf und Szenarienauswahl im Gutachten

Der Hochlauf der Wasserstoffmobilität wird sich zunächst nicht allein kostengetrieben einstellen. Vielmehr bieten wasserstoffbasierte Antriebe langfristig einen guten Kompromiss aus Komfort, Flexibilität, Effizienz, Nachhaltigkeit und stetig sinkenden Systemkosten und stellen damit eine Antwort auf die Herausforderungen der Verkehrswende dar. Neben den Zielen der CO_2–Emissionsminderung sprechen auch weiche Faktoren, welche Auswirkungen auf die Lebensqualität und Gesundheit von Bürgern haben, wie z. B. Luftreinhaltung und Reduktion der Lärmemissionen in Städten, für den Umstieg auf elektrische Fahrzeuge.

Innerhalb der EU wurden verschiedene Verordnungen und Richtlinien (Flottengrenzwerte, Clean Vehicle Directive, RED II) zum Umstieg auf emissionsfreie Fahrzeuge und Treibstoffe erlassen. Die Detailumsetzung der Richtlinien obliegt vornehmlich den Mitgliedsstaaten. Ein kurz– und mittelfristiger Markthochlauf alternativer Antriebe wird nur durch einen politischen Konsens, den Willen zur Umsetzung der EU–Vorgaben und entsprechende fördernde Maßnahmen erfolgen.

Im Gutachten werden drei Szenarien betrachtet, die eine konservative, eine erwartete (Basisszenario) und eine progressive Entwicklung von H_2–Technologien abbilden. Die tatsächliche Entwicklung hängt stark von technischen (technischer Fortschritt), wirtschaftlichen (Technologiekosten, H_2–Erzeugungskosten) und regulatorischen Einflüssen (CO_2–Preis, Quoten) ab. Zudem beeinflusst die Entwicklung alternativer CO_2–neutraler Technologien die Nachfrage nach Wasserstofffahrzeugen.

Beschreibung Basisszenario

Das Basisszenario zeigt die Entwicklung des Wasserstoffbedarfs im Verkehrssektor bei Eintreten der derzeit diskutierten und zu erwartenden Rahmenbedingungen. So wird z. B. von einer strengen Umsetzung der Clean Vehicle Directive (CVD) und einem Anstieg des CO_2–Preises auf 60 €/t bis 2026 laut Klimaschutzprogramm ausgegangen.

Im Jahr 2025 hat der Verkehrssektor in SH einen potenziellen Jahresbedarf von etwa 0,2 TWh H_2, welcher bis zum Jahr 2030 auf 0,5 TWh H_2 ansteigt. Davon werden ca. 50 % durch schwere Nutzfahrzeuge und jeweils ca. 15 % durch Schienenverkehr, Busse und PKW verbraucht.

Im Jahr 2025 benötigt der Verkehrssektor 0,2 TWh H_2. Dieser Bedarf steigt bis 2030 auf 0,5 TWh H_2.

Im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) und bei kommunalen Betrieben besteht durch die CVD ein besonderer Handlungsdruck zur Umstellung auf emissionsfreie Fahrzeuge. Zudem weisen gerade kommunale Fahrzeuge, z. B. ÖPNV–Busse oder Abfallsammelfahrzeuge, sehr gut planbare Fahrstrecken auf, was die Umstellung auf den Betrieb mit Wasserstoff erleichtert. Eine entsprechende H_2–Infrastruktur für Nutzfahrzeuge würde planbar hoch ausgelastet und der Aufbau wirtschaftlich besser darstellbar.

Deshalb generieren bis zum Jahr 2030 insbesondere Busse sowie kommunale schwere Nutzfahrzeuge (SNF), wie z. B. Abfallsammelfahrzeuge, in Flotten neben LKW und Sattelzugmaschinen das größte H_2–Nachfragepotenzial. Aufgrund der hohen Fahrleistungen der Nutzfahrzeuge entsteht auch bei einer geringen Anzahl an Fahrzeugen ein signifikanter Wasserstoffbedarf und damit einhergehendes CO_2–Minderungspotenzial.

Bis 2030 generieren Busse sowie kommunale schwere Nutzfahrzeuge den größten Bedarf an H_2.

Die H_2–Bedarfszentren für den Zeitraum bis 2030 liegen in SH insbesondere auf Betriebshöfen der Busbetreiber sowie in der Nähe von Logistikzentren und der Verkehrsachsen A1 und A7.

Ab 2030 treiben zunehmend PKW und verstärkt private SNF die Wasserstoff–nachfrage im Verkehrssektor.

Förderung & Unterstützung des Hochlaufs

Über die Vorgaben der CVD hinaus könnten insbesondere Busse und kommunale Fahrzeug–Flotten von der regionalen Politik gefördert und gefordert werden. Neben der dekarbonisierung der Flotten wird hierdurch mehr Sichtbarkeit für die Technologie in der Öffentlichkeit erreicht. Eine öffentliche Beschaffung kann zudem Marktimpulse setzen, die sich auf die Entwicklung von Fahrzeug–kosten und somit den Absatz im privaten Sektor auswirkt.

Für die Akzeptanz von FCEV im Individual–verkehr sowie im straßengebundenen Trans–portsektor ist der Aufbau einer möglichst flächendeckenden Tankinfrastruktur essenziell und Voraussetzung für das Eintreten des Hochlaufs. Hierfür wären insbesondere Investitionszuschüsse hilfreich.

Einer der wichtigsten Stützpfeiler eines Hochlaufs ist der sichtbare Ausbau der Tankinfrastruktur.

Eine wasserstoffspezifische Förderung besteht in SH bislang nicht. Dennoch ist in SH die Förderung von Infrastrukturen bereits in einzelnen Bereichen möglich: Im Rahmen des Landesprogramms Wirtschaft (LPW) fördert SH insbesondere den Aufbau umweltgerechter Wirtschafts– und Infrastrukturen zum Zwecke einer höheren Klimafreundlichkeit und Energie–effizienz. Bereits in der jetzigen Förderperiode ist daher in bestimmten Bereichen die Förderung von Wasserstoffvorhaben unter bestehenden Förderrichtlinien möglich. Es bestehen allerdings Förderlücken auf verschiedenen Ebenen der Wert–schöpfungskette. Handlungsbedarf besteht hier insbesondere hinsichtlich des Ausbaus und Betriebs einer H_2–Tankstelleninfrastruktur. Die Erstellung einer wasserstoffspezifischen Förderrichtlinie für die künftige Förderperiode ist daher empfehlenswert.

Im Rahmen der im „European Green Deal" aufgestellten kurz– und mittelfristigen Ziele für Wasserstoff besteht eine Möglichkeit, die EU–Rechtskonformität einzelner Förder–programme auch ohne langwierige Notifizierungs– und Genehmigungsverfahren nach dem EU–Beihilfenrecht zu entwickeln, z. B. unter Beachtung der etablierten Kriterien zu Dienstleistungen im allgemeinen wirtschaft–lichen Interesse (DAWI). Das kommende europäische Klimagesetz und insbesondere der jüngst vom Europäischen Rat verabschiedete Aufbauplan werden für die H_2–Mobilitäts–strategie des Landes zu bewerten sein.

Die H_2–Nutzung im Verkehrssektor kann zielgerichtet durch gesetzgeberische Maßnahmen weiter gefördert werden. Beispiele hierfür sind die Ausweitung der bestehenden gesetzlichen Regelungen zur Anrechenbarkeit der THG–Minderungsquote für Unternehmen, die Otto– und Dieselkraftstoffe in Verkehr bringen, sowie eine Anhebung der Quote zur graduellen Steigerung des Anteils fortschrittlicher Kraftstoffe. Beide Maßnahmen dienen letztlich auch der Implementierung der RED II, die ambitioniert umgesetzt werden sollte.

Internationale Best–Practices zur Entwick–lung des FCEV–Absatzmarktes

Die Anzahl der zugelassenen FCEV in Deutschland lag Ende 2018 bei knapp 500 Stück. In den Jahren 2019 und 2020 wurden ca. 500 weitere FCEV zugelassen. In den Vereinigten Staaten, hauptsächlich in Kalifornien, waren im Jahr 2018 bereits etwa 6.000 FCEV zugelassen.

Ende 2020 werden in Deutschland ca. 1.000 FCEV zugelassen sein. In Kalifornien waren es 2018 bereits 6.000 Fahrzeuge.

Der Bundesstaat Kalifornien hat große Fort–schritte bei der Erhöhung der Anteile von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben mit der Einführung des ZEV (engl. Zero Emission Vehicle) – Programms vorzuweisen. Das Programm ist als „Verpflichtung der

Industrie" zu verstehen, da nach der erlassenen Verordnung Autohersteller verpflichtet werden Elektrofahrzeuge (BEV & FCEV) anzubieten. Zudem werden die Verkaufszahlen von FCEV prozentual an die Verkaufszahlen herkömmlicher Fahrzeuge mit Verbrenner gekoppelt.

Japan fördert FCEV im Zuge eines größeren nationalen H_2–Programms, welches unter der Prämisse „Starke Subventionierung" läuft. Das Land bezuschusst den Kauf von FCEV um die Preisdifferenz zu herkömmlichen Verbrennern. Hierbei werden FCEV, insbesondere PKW mit bis zu ca. 17.000 € staatlich gefördert. Zudem treibt der japanische Staat zusammen mit einem Industriekonsortium stark den Aufbau einer nationalen H_2–Infrastruktur voran.

Die Erfahrungen der aufgeführten Länder sollten bei der Entwicklung von stützenden Maßnahmen in Deutschland herangezogen werden.

Angebotssituation FCEV

Vorreiter auf dem Gebiet der FCEV sind aktuell die asiatischen Hersteller Toyota und Hyundai. So fertigt Toyota seit 2014 den Mirai in Serie und hat 2019 die Marke von 10.000, für die bis dahin produzierten Fahrzeuge, durchbrochen. Die zweite Generation des Mirai soll ab 2020 auf den Markt kommen und die Produktionskapazität auf 30.000 Stück pro Jahr erhöht werden. Der Toyota Mirai kostet derzeit um die 76.000 €, der Hyundai Nexo um die 77.000 €. Deutsche Automobilhersteller haben derzeit keine (Serien–) FC–PKW im Portfolio. Es ist jedoch zu erwarten, dass eine Ergänzung des derzeit rein batterieelektrischen Portfolios stattfindet, so planen einige wichtige Hersteller, wie BMW und Audi eine Serienfertigung von FCEV.

Das aktuell noch geringe Angebot an FCEV wird in den nächsten 10 Jahren signifikant steigen.

Zudem ist es wichtig, die Preise der FCEV am Markt unter Berücksichtigung der aktuell stattfindenden Industrialisierung und Vorbereitung einer Massenfertigung einzuordnen. Das Ziel aller Hersteller ist es, in den kommenden 10 Jahren Preise im Bereich der aktuellen Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor zu erreichen. Technologisch steht dieser Entwicklung wie auch bei den Batteriefahrzeugen in Zukunft nichts im Wege, da es hier maßgeblich um die Umstellung einer manufakturähnlichen Produktion auf eine moderne Serienproduktion geht.

Im Rahmen großer Fortschritte in der Industrialisierung der Produktion wird von stark sinkenden Preisen für FCEV ausgegangen.

FC–Busse sind in Kleinserie schon am europäischen Markt verfügbar, dennoch spielen auch hier das eingeschränkte Angebot und die Lieferbarkeit eine stark limitierende Rolle. Nachdem deutsche Nahverkehrsunternehmen den Einsatz von FC–Bussen in den vergangenen Jahren im Rahmen von Pilotprojekten immer wieder getestet haben (z. B. die Hamburger Hochbahn in 2014), leiten nun die ersten Betreiber die Teilumstellung ihrer Flotten ein. So hat die Regionalverkehr Köln GmbH in diesem Jahr insgesamt 37 Wasserstoffbusse des belgischen Herstellers Van Hool und des polnischen Herstellers Solaris in ihre Flotte integriert.

Das derzeit eingeschränkte Angebot an FC–Bussen steht einem erhöhten Interesse am Einsatz H_2–basierter Antriebe im ÖPNV entgegen.

Während im Bereich der leichten Nutzfahrzeuge bereits erste Serienmodelle verfügbar sind (z. B. der Kangoo Z.E. Hydrogen von Renault), befinden sich mit Brennstoffzellen angetriebene schwere LKW derzeit noch in der Pilotphase.

Auch im Bereich der FC–LKW scheinen Toyota und Hyundai der europäischen Konkurrenz einen Schritt voraus zu sein. So plant Hyundai gemeinsam mit dem Konsortium H_2 Mobility Schweiz den Aufbau einer wasserstoffbasierten Logistikinfrastruktur mit einer

Lieferung von 1600 LKW des angekündigten Modells H_2 Xcient bis 2025. Im selben Zeitraum sollen bis zu 4000 FC–LKW an verschiedene Firmen in China geliefert werden.

Allerdings haben inzwischen einige Hersteller, darunter Daimler und Nikola Motors, den Start der Produktion von FC–LKW in Europa für den Zeitraum ab 2025 angekündigt. Kommunale Nutzfahrzeuge sollen bereits ab 2021 von FAUN in Serie produziert werden.

Aufgrund der aktuell geringen Verfügbarkeit von FCEV–Serienfahrzeugen wird auch die Übergangslösung einer nachträglichen Umrüstung von Fahrzeugen untersucht, insbesondere für FC–Busse, FC–LKW und Nutzfahrzeuge. Diese Initiativen werden zum Teil durch den akuten Bedarf der Umstellung von Unternehmens– und kommunalen Flotten getrieben, für die eine Umrüstung von Fahrzeugen schnell zu sichtbaren Ergebnissen führen kann.

Einfluss der COVID–19–Krise auf die Markt–durchdringung von FCEV

Aufgrund der allgemeinen Konsumschwäche hat die COVID–19–Pandemie das Potenzial, die Entwicklung der Elektromobilität in Deutschland nachhaltig zu verlangsamen, da besonders die Automobilindustrie derzeit enorme Kosten für eine Transformation hin zur Elektromobilität stemmen muss, gleichzeitig aber die Umsätze einbrechen.

Dem entgegen steht, dass aus hygienischen Gründen Nutzer öffentlicher Verkehrsmittel vermutlich vermehrt auf Privatfahrzeuge zurückgreifen bzw. umsteigen.

Durch das Corona–Konjunktur–programm werden die Zulassungszahlen alternativer Fahrzeuge stark steigen.

Zudem unterstützt die deutsche Bundesregierung weiterhin ambitioniert die Ziele der emissionsfreien Mobilität. Dabei spielt das Corona–Konjunkturprogramm eine wesentliche Rolle für die Förderung von batterieelektrischen und Brennstoffzellen–Fahrzeugen für Privatkäufer. Im Zuge der starken politischen Unterstützung könnten die kumulierten Zulassungszahlen die präpandemischen Vorhersagen sogar übersteigen.

Bedarfsorientierte Mobilitätsplanung der Wasserstoffinfrastruktur in SH

Die Verfügbarkeit von Betankungs–möglichkeiten ist einer der wichtigsten Faktoren bei der Anschaffung von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben und beeinflusst damit auch maßgeblich den Hochlauf von FCEV. Das Gutachten zeigt einen Vorschlag einer Tankstelleninfrastruktur für SH, die bedarfsorientiert, unter der Prämisse eine flächendeckende Versorgung zu gewährleisten, geplant wurde.

Um die H_2–Versorgung von PKW sowie von Bussen und Nutzfahrzeugen zu gewährleisten, werden sowohl Tankstellen mit 350 bar als auch mit 700 bar Tanksystemen benötigt. Im bereits skizzierten Basisszenario garantieren der Aufbau von 29 öffentlichen H_2–Tankstellen mittlerer Größe, 18 öffentlichen Tankstellen kleinerer Größe, drei nicht öffentlich zugänglichen Tankstellen auf Busbetriebshöfen und einer Zugtankstelle die flächendeckende Versorgung bis 2030 in SH.

Ein zusätzlicher Aufbau von bis zu 50 neuen Wasserstofftankstellen sichert den errechneten Wasserstoffbedarf bis zum Jahr 2030 im Basisszenario.

Durch den Aufbau einer gemeinsamen Tank–stelleninfrastruktur für den Individualverkehr und öffentliche bzw. private Flotten, können erhebliche Synergieeffekte und Kosten–reduktionspotenziale genutzt werden.

Schleswig–Holstein ist Teil des STRING–Korridors, der die Regionen Hamburg über Kopenhagen, Göteborg bis hin zu Oslo verbindet. Gemeinsam wird an der nachhaltigen Entwicklung der Regionen und Städte gearbeitet. Hierunter fällt auch die Minderung der Emissionen durch Personen– und Güterverkehr im Korridor, wofür die

Abdeckung mit Wasserstofftankstellen geplant ist. Die öffentlichen Tankstellenstandorte Handewitt und Lübeck eignen sich zur Abdeckung des STRING–Korridors in SH.

Ein aktuell typisches Betreiberkonzept zum erfolgreichen Bau und Betrieb einer Wasserstofftankstelle besteht aus der Schaffung einer sicheren Abnahmemenge, z. B. durch vertragliche Bindung von Flotten–betreibern. Zusätzlich werden durch die Integration in die Infrastruktur der Initiative H2Mobility weitere, nicht planbare Abnahme–mengen generiert.

Ein wichtiges Ziel muss die Schaffung von Planungssicherheit für potenzielle Infrastruktur–investoren sein.

Hinsichtlich der Versorgung von Tankstellen mit Wasserstoff kann im Rahmen des Gutachtens keine generelle Aussage getroffen werden, ob eine zentrale oder dezentrale Erzeugung von Wasserstoff vorzuziehen ist. Hierbei kommt es stark auf die Lage der Tankstelle, auf die Nähe zu einer bereits vorhandenen Produktion von Wasserstoff und auf das eigentliche Betreibermodell an.

Wirtschaftlichkeitsberechnung für den Betrieb einer bundeslandweiten Tankstelleninfrastruktur

Die Investitionskosten von H_2–Tankstellen liegen für die heute übliche Größe „S" (300 kg H_2/Tag) je nach Druckniveau bei bis zu 2,3 Mio. € und für die Größe „M" (500 kg H_2/Tag) bei ca. 3 Mio. € (für 350 & 700 bar). Mit einer steigenden Anzahl realisierter Tankstellen ist bis 2030 mit einer Reduktion auf 1,7 Mio. € für eine 350 & 700 bar Tankstelle der Größe „S" und 2,1 Mio. € für eine Tankstelle der Größe „M" zu rechnen.

Unter den in dieser Studie angenommenen Rahmendaten und einer Auslastung von 80 % besteht für eine Tankstelle der Größe „S" eine jährliche Finanzierungslücke in Höhe von. 215.000 €. Für eine Tankstelle der Größe „M" beträgt die Finanzierungslücke 224.000 €. Auch eine vollständige Auslastung der Tankstellen gewährleistet auf Basis der angestellten Abschätzung noch keine Wirtschaftlichkeit.

Daher könnten für den Betrieb von H_2–Tankstellen Förderungen z. B. in Form von Investitionszuschüssen notwendig sein. Auch ein Förderzuschuss für Betrieb und Instandhaltung könnte den Aufbau einer H_2–Tankstelleninfrastruktur beschleunigen.

Die geschätzten Gesamt–investitionen in eine bedarfs–orientierte Infrastruktur in SH belaufen sich auf ungefähr 114,5 Mio.€ bis 2030.

Genehmigung von H_2–Tankstellen

Die Genehmigung von H_2–Tankstellen ist innerhalb des bestehenden Rechtsrahmens möglich. Die Identifikation und Anwendung der relevanten Normen sind jedoch komplex und in der Anwendung teils unklar. Zur Ermittlung des zutreffenden Genehmigungsverfahrens ist eine dreistufige Vorprüfung erforderlich, der neben dem Bau–, Arbeitsschutz– bzw. Produkt–sicherheitsrecht auch das Immissionsschutz– und Fachplanungsrecht zugrunde liegt.

Ein zügiger, flächendeckender Aufbau von H_2–Tankstelleninfrastruktur erfordert einfache und kurze Genehmigungsverfahren. Rechtliche Unklarheiten und Unsicherheiten in der Genehmigungspraxis führen zu (über–)langen Bearbeitungszeiten und sollten beseitigt werden zwecks Optimierung der Verfahrens–dauer sowohl durch regulatorische Klarstellungen als auch durch die Bereitstellung von Hilfestellungen, wie z. B. Leitlinien, An–wendungshilfen und die Einrichtung einer zentralen Anlaufstelle (Task Force) für Genehmigungsfragen.

Handlungsempfehlungen

Viele der für die Durchsetzung der Wasserstofftechnologie relevanten Rahmen–bedingungen entziehen sich der direkten Einflussnahme der Landesregierung. Dennoch kann durch lokale Unterstützung die Integration von Wasserstoffantrieben in den Verkehrssektor beschleunigt werden.

Absatzmärkte sichern:

- CO_2–Flottengrenzwerte sukzessiv reduzieren und Überschreitungen sanktionieren
- Mindestquoten an klimafreundlichen Fahrzeugen für kommunale Flotten einführen
- Orientierung an erfolgreichen nationalen und internationalen Markteingriffs–modellen
- Nachfrage nach H_2–Nutzfahrzeugflotten durch die öffentliche Hand schaffen und als Vorbild agieren

Finanziell unterstützen:

- Mit grünen Finanzierungsinstrumenten Investitionshürden und –risiken mindern
- Investitions– bzw. Wartungs– und Instandhaltungszuschüsse für Wasser–stofftankstellen realisieren
- Kooperationsmodelle stärken und Akteure zusammenbringen, um Herausforderungen gemeinsam anzugehen

Externe Kosten internalisieren:

- CO_2–Bepreisung fossiler Kraftstoffe weiterentwickeln

Grundlage schaffen:

- Mit bis zu 20 öffentlichen Wasserstoff–tankstellen bis 2025 die potenziellen landesweiten Bedarfe decken
- Bis zum Jahr 2030 sollten bis zu 50 H_2–Tankstellen neu aufgebaut werden
- Dekarbonisierung des überregionalen Verkehrs durch Ausbau des STRING–Korridors mit Tankstellen–infrastruktur
- Erfahrungen und Expertise durch weitere Demonstrationsprojekte im Bereich alternativer Antriebe bzw. Treibstoffe für den Schiffs– und Zugverkehr gewinnen
- Politische Benachteiligung einzelner klimafreundlicher Technologien vermeiden und Technologieoffenheit anstreben

Vorteile nutzen:

- Lokale Wertschöpfung im Bereich der erneuerbaren Energien nutzen und die gesamte Wertschöpfungskette damit stärken
- Mit bestehender Infrastruktur zum Drehkreuz für Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe werden
- Marketingmaßnahmen ausbauen, um den vorteilhaften Standort SH auszubauen

Politik & Regulierung:

- Verlässliche Signale senden z. B. über eine vorausschauende Wasserstoff–Strategie
- EU–Vorgaben (z. B. RED II, CVD) ambitioniert in nationales Recht umsetzen
- Einen progressiv steigenden CO_2–Preis, über die aktuellen Planungen im Klimaschutzprogramm der Bundesregierung hinaus, anstreben
- Ziele für den flächendeckenden Ausbau von H_2–Infrastruktur festlegen
- Spielräume des Beihilfenrechts nutzen, um den Infrastrukturaufbau zu stützen
- Genehmigungen für H_2–Infrastrukturen vereinfachen und eine zentrale Anlaufstelle für Genehmigungsfragen einrichten.

II. Einleitung zum Gutachten

Nach aktuellen Einschätzungen liegt der Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch in SH im Jahr 2020 bei etwa 46 %. Bis 2025 soll der Anteil auf maximal 64 % ansteigen[3]. Hierzu sind insbesondere Anstrengungen im Verkehrsbereich erforderlich, der mit einem Anteil erneuerbarer Energien von etwa 11 % (2018) weit hinter anderen Sektoren liegt[4]. In der überarbeiteten Renewable Energy Directive (RED II) hat die Europäische Kommission für den Verkehrssektor ein Ziel von mindestens 14 % erneuerbare Energien im Jahr 2030 festgelegt. Darüber hinaus zielt die Clean Vehicle Directive (CVD), die Fuel Quality Directive (FQD) und die EU–Verordnungen zu Minderung von Flottengrenzwerten (2019/631 & 1242) sowie unterstützend die Alternative Fuels Infrastructure Directive (AFID) auf die Einführung alternativer Treibstoffe und Antriebssysteme im Verkehrssektor ab.

Mit Blick auf die steigenden Nachhaltigkeitsanforderungen ist Wasserstoff (H_2) als unverzichtbarer Energieträger und der Schlüssel zur Kopplung der Sektoren Strom, Wärme, Verkehr und Industrie zu sehen. In der Verkehrswende nimmt die Wasserstofftechnologie einen hohen Stellenwert ein, um die für den Klimaschutz erforderlichen CO_2–Emissionsreduzierungen zu erreichen.

Im Rahmen des Gutachtens wird zunächst das Potenzial von Wasserstoff als Energieträger in den einzelnen Verkehrssektoren Straße, Schiene sowie zu Luft und zu Wasser bewertet. Zudem wird eine Betrachtung der aktuell am Markt verfügbaren Fahrzeuge sowie eine Analyse der Wirtschaftlichkeitsentwicklung durchgeführt. Zur Abschätzung der zukünftigen Bedarfe in Schleswig–Holstein und Hamburg wird die Entwicklung wasserstoffbetriebener Straßen– und Schienenfahrzeuge über Markthochlaufszenarien bis zum Jahr 2050 abgebildet. Auf Basis der entstehenden Bedarfszentren wird eine bedarfsgerechte Wasserstofftankstelleninfrastruktur entworfen und eine Wirtschaftlichkeitsberechnung durchgeführt. Komplementär werden genehmigungs– und förderrechtliche Rahmenbedingungen für wasserstoffbetriebene Fahrzeuge und die Tankstelleninfrastruktur betrachtet. Abschließend erfolgt eine Ableitung von konkreten Handlungsempfehlungen.

Das Parallelgutachten „Wasserstofferzeugung und –märkte Schleswig–Holstein" zeigt Möglichkeiten zur Deckung des entstehenden Wasserstoffbedarfs und beleuchtete die Entwicklung eines Wasserstoffmarktes in Schleswig–Holstein.

[3]vgl. Bericht „Erneuerbare Energien in Zahlen für Schleswig–Holstein", 2019
[4]Eigene Berechnung basierend auf der Energiebilanz 2018 des Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig–Holstein

1 Nutzung von Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen in der Mobilität

Alternative Antriebe, wie Elektroantriebe mit Batterien oder Brennstoffzellen sowie synthetische Kraftstoffe sind zwingend erforderlich, um die Mobilität zukünftig weitgehend treibhausgasneutral gestalten zu können. Jedoch erfährt die Einführung von neuen Antriebskonzepten nur dann Zuspruch, wenn gewohnte Eigenschaften wie Komfort und die Flexibilität konventioneller Fahrzeuge erreicht werden, und sie gleichzeitig eine Steigerung der Energieeffizienz sowie eine Minderung der Schadstoffemissionen mit sich bringen. Durch unterschiedliche Charakteristiken bieten alle alternativen Antriebsmöglichkeiten Potenziale im Verkehrssektor, jedoch nicht in allen Verkehrsanwendungen. In einigen Segmenten ist Wasserstoff unabdingbar, in anderen ist der Einsatz von rein batteriebetriebenen Antrieben oder sogar von synthetischen Kraftstoffen vorteilhafter.

Abbildung 1–1 zeigt die Eignung alternativer Kraftstoffe (Batterie, Wasserstoff, synthetische Kraftstoffe) in Abhängigkeit der durchschnittlichen Fahrleistung und dem Fahrzeuggewicht. Zusätzlich ist die Relevanz der verschiedenen Energieträger je Verkehrsanwendung dargestellt. Die unterschiedlichen auf Wasserstoff basierende synthetische Kraftstoffe werden im darauffolgenden Kapitel vorgestellt.

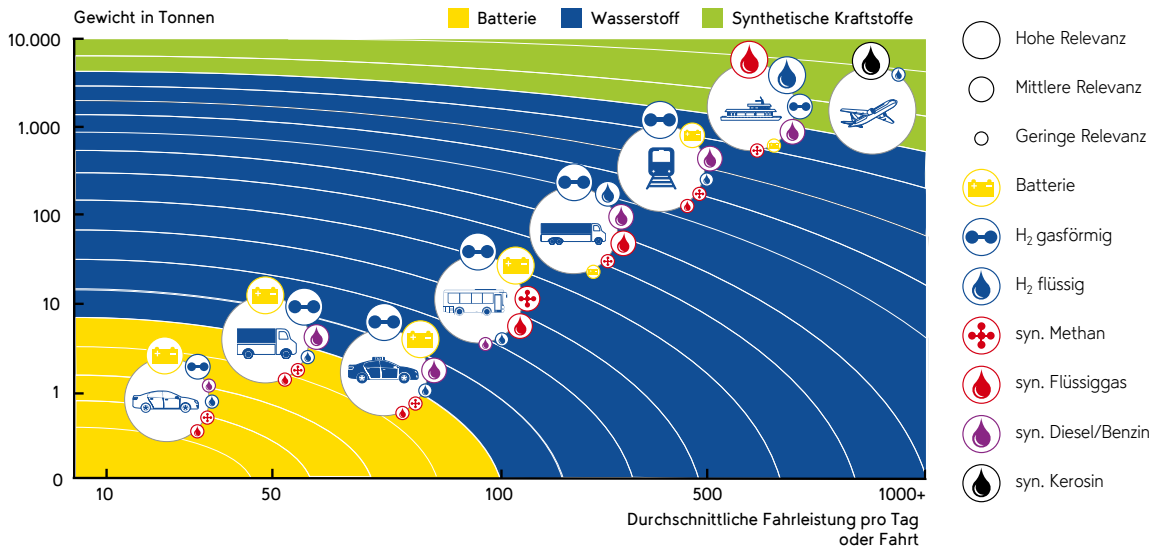


Abbildung 1–1: Eignung alternativer Antriebsmöglichkeiten für verschiedene Verkehrsträger und die Relevanz verschiedener strombasierter Energieträger je Verkehrsanwendung

1.1 Einsatz von Wasserstoff in verschiedenen Verkehrsträgern

Die Attraktivität von Wasserstoff im Verkehrssektor ergibt sich insbesondere aus den mit konventionellen Verbrennern vergleichbaren Reichweiten und Betankungszeiten. Dem Endkunden kann so weiterhin die gewohnte Flexibilität geboten werden. Doch trotz des bestehenden Potenzials sind Wasserstoffanwendungen im Verkehrssektor noch wenig verbreitet. Auf dem Markt sind derzeit erste PKW serienmäßig verfügbar und auch Stadtbusse, Personennahverkehrszüge sowie leichte und schwere Nutzfahrzeuge werden von einigen Herstellern angeboten. Die Verwendung von Wasserstoff für Schiffe und Kurzstreckenflugzeuge befindet sich derzeit in der Phase der Pilot– und Demonstrationsprojekte [1, 2].

Auch wenn prinzipiell eine Verbrennung von gasförmigem Wasserstoff in einem Wasserstoffmotor möglich ist, wird heutzutage in den meisten Verkehrsanwendungen die Brennstoffzelle als Antriebsvariante priorisiert. Eine Brennstoffzelle wandelt unter der kontinuierlichen Zuführung eines

Brennstoffs und Luft chemische Energie in elektrische Energie um. Derzeitig sind auf dem Markt verschiedene Brennstoffzellentechnologien verfügbar, welche unterschiedliche Charakteristiken aufweisen. Die Anforderungen der meisten Einsatzbereiche im Verkehrsbereich lassen sich am besten durch die Polymer–Elektrolyt–Membran–Brennstoffzelle (PEM) erfüllen. In dieser wird aus gasförmigem Wasserstoff unter der Zuführung von Sauerstoff elektrische Energie, mit den Nebenprodukten Wasser und Abwärme, für den Fahrzeugantrieb generiert.

Allgemeine Bewertung von Wasserstoff im Straßenverkehr

Die Elektrifizierung des Straßenverkehrs erfolgt heutzutage überwiegend in Form von batterieelektrischen Fahrzeuganwendungen (engl. Battery Electric Vehicle, BEV oder engl. Plug–in–Hybrid Electric Vehicle, PHEV). Dies ist vorrangig auf die aktuell noch höheren Fahrzeugkosten sowie eine nicht flächendeckende Tankstelleninfrastruktur für wasserstoffbetriebenen Fahrzeuge (engl. Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV) zurückzuführen. Dabei bietet die Integration einer Brennstoffzelle im Antriebsstrang eine vielversprechende Lösung für einige Anwendungsfelder auf der Straße.

Während ein BEV die gesamte Antriebsenergie in einer Batterie speichert, wird beim FCEV der Energieträger Wasserstoff in Tanks gespeichert. Durch die hohe gravimetrische Energiedichte von Wasserstoff können längere Fahrtstrecken bei geringeren Nutzlastverlusten zurückgelegt werden. Gleichzeitig ermöglicht die Nutzung von Wasserstoff als Kraftstoff gewohnte Betankungszeiten bei bekannter Betankungsprozedur, sodass sich der Tankvorgang selbst praktisch nicht von der Betankung konventioneller Fahrzeuge unterscheidet. Den Vorteilen der FCEV stehen Nachteile in der Energieeffizienz durch Wirkungsgradverluste in der H_2–Bereitstellungskette gegenüber. Wasserstoff muss mit Energieaufwand z. B. in einem Elektrolyse–Prozess hergestellt werden, bevor er in der Brennstoffzelle im Fahrzeug zurück in Strom umgewandelt wird [1]. Unter der Annahme, dass ausschließlich erneuerbar produzierter Strom für den Antrieb des Fahrzeuges verwendet wird, liegt der Gesamtwirkungsgrad der FCEV (PKW) bei ca. 26 % im Vergleich zu ca. 69 % von BEV (PKW) [2]. Es ergibt sich somit ein erhöhter Energiebedarf gegenüber der direkten Stromnutzung für rein batterieelektrische Fahrzeuge. Mit steigendem Ausbau der erneuerbaren Energien kann der Energiebedarf von FCEV jedoch – im Gegensatz zu BEV – vermehrt durch Wasserstoff, der mit „Überschussstrom" (erneuerbare Erzeugung ist höher als der Verbrauch) erzeugt und gespeichert wurde, gedeckt werden. Durch diese Flexibilisierung und zeitliche Trennung der Stromabnahme zur Wasserstofferzeugung von der Nutzung (=Speicherung) kann der Ausbau erneuerbarer Energien optimiert werden.

Aktuell ergeben sich durch geringere Wirkungsgrade im Schnitt höhere Kraftstoffkosten für die FCEV im Vergleich zur direkten Stromnutzung für BEV. Da inzwischen batterieelektrische PKW mit Reichweiten über 400 km am Markt verfügbar sind, sind reine BEV insbesondere im Kleinwagen–Segment kostenmäßig im Vorteil [3]. Mit steigenden Reichweitenanforderungen und entsprechenden Betankungs– bzw. Ladehäufigkeiten kommen die Vorteile des Wasserstoffs als Energieträger zum Tragen, sodass das Anwendungspotenzial der Brennstoffzelle mit steigender Größen– und Gewichtsklasse der PKW (Mittelklasse bis SUV) zunimmt. Bei einer kommerziellen PKW–Nutzung, wie z. B. bei Car–Sharing–Flotten oder Taxis, ergibt sich durch höhere Jahresfahrleistungen und einen zeitoptimierten Betrieb ein spezieller Anwendungsfall im Vergleich zur privaten Nutzung, wodurch die Vorteile von Wasserstofffahrzeugen stärker zum Tragen kommen.

Auch für leichte Nutzfahrzeuge (LNF), wie z. B. Kleintransporter oder Lieferfahrzeuge, bestimmt die gewünschte Reichweite und Flexibilität die Antriebstechnologie. Häufig sind LNF im innerstädtischen Betrieb im Einsatz, sodass die erforderlichen Reichweiten batterieelektrisch abgedeckt werden können. Für den überregionalen Einsatz von LNF stellen jedoch wasserstoffbetriebene Fahrzeuge eine bessere Alternative zu konventionellen Verbrennern dar, da bei diesen die Nutzlast nicht durch schwere Batterien eingeschränkt wird. Die Kombination beider Antriebstechnologien in Form eines

Brennstoffzellen–Range Extenders ist insbesondere im LNF–Segment attraktiv. So kann der reguläre Fahrbetrieb mit günstigem Strom erfolgen, gleichzeitig können aber auch lange Routen durch die Reichweitenverlängerung mittels Brennstoffzelle realisiert werden.

Äquivalent zum PKW–Bereich wird auch im gewerblichen Transportsektor mit steigender Gewichtsklasse der Fahrzeuge der Einsatz von Wasserstoff als Kraftstoff vorteilhafter. Der Betrieb von schweren Nutzfahrzeugen (SNF), als LKW und sonstige schwere Nutzfahrzeuge, wie z. B. Abfallsammelfahrzeuge, sind stark getrieben von Nutzlast– und Reichweitenanforderungen. Diese können teilweise nicht durch einen reinen Batterieantrieb erfüllt werden. Wasserstoff hingegen kann insbesondere bei den im Fernverkehr erforderlichen Fahrleistungen eine Reduzierung der Nutzlast vermeiden. Ferner bieten FCEV–Fahrzeuge eine vergleichbare Einsatzflexibilität der Flotte und erfordern keine langen Haltezeiten durch betriebsbedingtes Nachladen der Batterie. Als Konkurrenz zu Wasserstoff im Güterfernverkehr sind Oberleitungs–LKW zu sehen. Diese erfordern jedoch den Aufbau einer aufwendigen Oberleitungsinfrastruktur. Wasserstoff gewinnt an Bedeutung, wenn der Aufbau dieser Infrastruktur politisch nicht unterstützt wird.
Alternativ können insbesondere für den LKW–Betrieb auch synthetische Kraftstoffe herkömmlichen Diesel ersetzen. Im Gegensatz zu einem Einsatz von Wasserstoff wird bei synthetischen Kraftstoffen allerdings keine lokale Emissionsfreiheit erreicht. Zudem sind die Umwandlungsverluste noch höher als bei Wasserstoff.

Für Betreiber des straßengebundenen öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) bedeutet die Nutzung von wasserstoffbetriebenen Bussen im Gegensatz zur rein batterieelektrischen Variante einen annähernd gewohnten Betriebsablauf. FC–Busse können konventionelle Busse häufig eins zu eins ersetzen und z. B. problemlos linienübergreifend eingesetzt werden. Zusatzfahrzeuge und folglich auch zusätzliches Fahrpersonal kann vermieden werden. Auf kurzen oder mittleren Umläufen können allerdings auch Batteriebusse eingesetzt werden, welche insbesondere in der Anfangsphase durch den vergleichsweise schnellen Aufbau der Ladeinfrastruktur eine geringe Einstiegshürde aufweisen. Zudem kann durch Zwischenladung an Haltestellen die Reichweite erhöht werden. FC–Busse können ihre Stärken besonders im Regionalverkehr ausspielen. Für eine langfristige und vollständige Flottenumstellung unter Nutzung einer einzigen Antriebstechnologie auf allen Linien ist Wasserstoff oft die einzige Option.

Allgemeine Bewertung von Wasserstoff im Schienenverkehr

Ein Teil des schienengebundenen Personennahverkehres (SPNV) wird bereits von Elektrotriebzügen, die ihre Antriebsenergie über Oberleitungen oder Stromschienen beziehen, realisiert, doch ein Oberleitungsausbau ist aus wirtschaftlichen oder anderen Gründen nicht auf allen Bahnstrecken möglich. Eine mögliche Alternative können Wasserstoff–Brennstoffzellen–Triebzüge (BZ–Züge) darstellen, die emissionsfreies Fahren bei geringem Infrastrukturaufwand ermöglichen. [4] Durch den Einsatz von Wasserstoff im Schienenverkehr können Reichweiten von 600 km bis zu 1000 km erreicht werden [5, 6]. Eine weitere Möglichkeit bieten rein batterieelektrische Züge (BEV–Züge), die für maximal 120 km nicht–elektrifizierte Streckenabschnitte geeignet sind. Im realen Betrieb können allerdings längere Umlauf–Reichweiten durch Nachladung an einer Oberleitung realisiert werden. [6]

Grundsätzlich liegt das Potenzial für FC–Züge bei langen Streckenabschnitten mit geringem Elektrifizierungsgrad. Durch die Möglichkeit einer Teilelektrifizierung ist jedoch auch der Einsatz von Batteriezügen auf derartigen Routen nicht ausgeschlossen. So gilt es im Einzelfall die unterschiedlichen Antriebstechnologien aus technischer und wirtschaftlicher Sicht in Abhängigkeit der Streckencharakteristik zu bewerten und vergleichen.

Allgemeine Bewertung von Wasserstoff im Luft– und Flugverkehr

Die Dekarbonisierung in der internationalen Luft– und Schifffahrt stellt aufgrund der fortschreitenden Globalisierung und des stetigen Wachstums des Transportaufkommens eine enorme Herausforderung dar. Im Gegensatz zum Straßen– und Schienenverkehr ist eine Umstellung auf Wasserstoff als Treibstoff für Anwendungen in diesen Verkehrssegmenten in den nächsten Jahren nicht absehbar. Für die Einführung wasserstoffbasierter Antriebe für Schiffe und Flugzeuge sind weitere technologische Fortschritte notwendig. Technisch ist der Einsatz von Wasserstoff für den gesamten Luft– und Flugverkehr möglich, doch das geringe, zur Wasserstoffspeicherung verfügbare Volumen, begrenzt das Potenzial für Langstreckenanwendungen wie Überseeschifffahrt oder internationale Flüge. Hierfür sind synthetische Kraftstoffe, die im Vergleich zum Wasserstoff eine höhere volumetrische Energiedichte aufweisen, eine vielversprechende Alternative. Reine Wasserstoffantriebe könnten langfristig in der Binnenschifffahrt oder im regionalen Flugbetrieb eine Rolle spielen.

Der Wasserstoffeinsatz im Schiffsverkehr wird derzeit noch vom Fehlen der technologischen Reife gehemmt. Hier sind weitere Fortschritte im Wirkungsgradverhalten sowie bei der Lebensdauer der Brennstoffzelle erforderlich, wodurch auch die notwendige Kostenreduktion und somit ein wirtschaftlicher Betrieb geschaffen werden kann [7, 8]. Gleichzeitig ist sowohl aus technischer als auch aus wirtschaftlicher Sicht eine schärfere Definition der Marktperspektiven und –anforderungen hilfreich, um die Einführung von Wasserstoff schneller voranzutreiben. Technisch gesehen eignet sich die Brennstoffzelle besonders um konventionelle Antriebe in der Binnenschifffahrt, wie z. B. bei Schiffen, die geregelte Routen mit gleichbleibenden Liege– bzw. Bunkerstandorten abfahren (Fähren oder Schubboote), zu ersetzen. Mit steigender Schiffsgröße reduziert sich die Einsatzmöglichkeit eines Brennstoffzellenantriebs. Aufgrund der geringen volumetrischen Energiedichte von flüssigem Wasserstoff (2,4 kWh/l) wären für zunehmende Leistungsanforderungen enorme Tankvolumina notwendig. Für den Seeschiffsverkehr (z. B. Frachter oder Kreuzfahrtschiff) ist daher absehbar die direkte Stromerzeugung durch Wasserstoff nur für Nebenstromaggregate des Schiffes (Strom und Wärme) realistisch [9, 10]. Zur vollständigen Dekarbonisierung der Schiffsantriebe ist der Einsatz von wasserstoffbasierten synthetischen Kraftstoffen notwendig.

Äquivalent zum Schiffsverkehr ist ein zeitnaher Einsatz von Wasserstoff im Flugverkehr nicht absehbar. Die technischen Voraussetzungen für erste Anwendungen in kleinen Regionalflugzeugen könnten in fünf bis zehn Jahren geschaffen sein. Hierfür sind allerdings noch Forschung und Entwicklung notwendig, bei gleichzeitiger Schaffung von sicherheitstechnischen und rechtlichen Rahmenbedingungen. Das Potenzial zur direkten Nutzung von Wasserstoff für den Flugverkehr ist jedoch begrenzt. Um das Speichervolumen zu reduzieren, ist die Speicherung von flüssigem Wasserstoff erforderlich. Durch die geringere volumetrische Energiedichte gegenüber herkömmlichem Kerosin braucht es allerdings immer noch ein deutlich erhöhtes Tankvolumen, um gewohnte Strecken zurückzulegen. Denn im Vergleich zu Kerosin mit ca. 9,5 kWh/l weist flüssiger Wasserstoff lediglich eine Energiedicht von 2,4 kWh/l auf. Für Langstreckenflüge resultiert die erforderliche Tankgröße aus einem wesentlich höheren Energiebedarf, sodass in diesem Segment, ohne die Entwicklung neuer Flugkonzepte, wahrscheinlich nur synthetische Kraftstoffe die Anforderungen erfüllen können. Perspektivisch ist ein Einsatz von Flüssigwasserstoff in Pendler– bis Mittelstreckenflugzeugen denkbar. Mit zunehmender Flugstrecke ist dabei die direkte Verbrennung von Wasserstoff in einer Turbine die geeignetere Antriebstechnologie gegenüber der Brennstoffzelle. Um die erforderlichen Leistungen erreichen zu können, ist aus heutiger Sicht davon auszugehen, dass die Brennstoffzelle einschließlich der entsprechenden Kühlaggregate für den flüssigen Wasserstoff zu schwer für den Flugbetrieb sein wird. Bei einem Einsatz von Wasserstoff würden sich die Flugkosten pro Passagier gegenüber konventionellen Kraftstoffen in Abhängigkeit von der Fluglänge und der Antriebstechnologie zwischen 10 % und 50 % erhöhen. [11]

1.2 Synthetische Kraftstoffe für den Verkehrssektor

Synthetische Kraftstoffe oder auch E–Fuels sind durch chemische Verfahren künstlich hergestellte Kraftstoffe. Sie basieren meist auf den Elementen Wasserstoff und Kohlenstoff und nehmen bei der Herstellung die gleiche Menge CO_2 auf, wie sie bei der Endnutzung emittieren [12]. Der Gesamt–Emissionsausstoß wird dabei maßgeblich von der zur Kraftstoffherstellung genutzten Energiequelle beeinflusst. E–Fuels bieten insbesondere in Verkehrsbereichen, in denen eine Elektrifizierung durch rein batterieelektrische oder wasserstoffbetriebene Antriebe technisch oder wirtschaftlich nicht sinnvoll sind, die Möglichkeit zur Dekarbonisierung des Verkehrssektors. Derzeit gibt es verschiedene komplementäre Kraftstoffe, die in Abhängigkeit ihrer Eigenschaften für unterschiedliche Anwendungen infrage kommen können. Die geläufigsten E–Fuels sind:

- Gasförmiger Wasserstoff
- Flüssiger Wasserstoff
- Synthetisches Methan
- Synthetisches Flüssigerdgas
- Synthetisches Methanol
- Synthetischer Diesel
- Synthetisches Benzin
- Synthetisches Kerosin

In Abbildung 1–1 aus dem vorherigen Kapitel sind den unterschiedlichen strombasierten Kraftstoffen in Abhängigkeit ihrer Eigenschaften die zu erwartenden Relevanzen in den verschiedenen Verkehrsanwendungen zugeordnet. Der Schiffs– und Luftverkehr wird zukünftig nicht ohne den Einsatz von synthetischen Kraftstoffen auskommen, da hohe volumetrische Energiedichten erforderlich sind, um die gewünschten Anforderungen an Reichweite und Leistungsdichte der Antriebssysteme zu erfüllen.

Flugzeuge werden heute fast ausschließlich mit Kerosin betrieben, weswegen zukünftig insbesondere bei internationalen Langstreckenflügen synthetisches Kerosin die beste Lösung darstellt. Dennoch ist auch die Nutzung von flüssigem Wasserstoff für innerdeutsche und europäische Strecken denkbar. Bei der Verwendung von strombasiertem Kerosin ist eine Einsparung der direkten Treibhausgas–Emissionen (THG–Emissionen) über den gesamten Lebenszyklus (Produktion bis Nutzung) von bis zu 80 % im Vergleich zu herkömmlichen fossilen Flugkraftstoffen möglich. Jedoch besteht noch erhebliches Potenzial zur Kostenreduktion von synthetischem Kerosin. [13].

Der Schiffsverkehr ist heutzutage stark durch Dieselantriebe geprägt. Vor allem aus Kostenvorteilen gegenüber dem synthetischen Diesel wird jedoch im maritimen Bereich zukünftig die Nutzung von synthetischem Flüssigerdgas (engl. „Liquid Synthetic Gas"; kurz LSG) gesehen [14]. Die Wirtschaftlichkeit von LSG steht gleichzeitig aber auch immer in Konkurrenz zu gasförmigem Methan, da für dessen Verflüssigung (zu LSG) sowohl Investitionskosten als auch Energiekosten anfallen. Deshalb ist LSG erst ab einer Reichweite wirtschaftlich, für welche die erhöhte Energiedichte vorteilhaft ist.

Fast der gesamte Straßenverkehr sowie der nicht durch Oberleitungen elektrifizierte Schienenverkehr werden heutzutage mit fossilen Flüssigkraftstoffen betrieben. Eine Umstellung auf synthetischen Diesel oder Benzin scheint zunächst ein plausibler Schritt, da dieser problemlos in allen derzeitigen Anwendungen eingesetzt werden kann. Existierende Infrastrukturen so wie bestehende technische Verfahren können genutzt werden. Gleichzeitig wird ein identisches Nutzungsverhalten zu dem heutigen konventionellen Energieträger ermöglicht [12]. Allerdings ist der Einsatz von synthetischem Diesel oder Benzin in einem Verbrennungsmotor weiterhin mit (geringen) lokalen Emissionen verbunden. Zusätzlich verliert die Antriebsvariante durch Umwandlungsverluste deutlich an Effizienz. Eine wasserstoffbetriebene Brennstoffzelle verfügt über einen deutlich höheren Wirkungsgrad als ein

Verbrennungsmotor. Beispielsweise liegt im PKW–Bereich der Wirkungsgrad eines FCEV bei ca. 26 %, während der Gesamtwirkungsgrad bei PKW, welche synthetische Flüssigkraftstoffe in Verbrennungsmotoren nutzen, bei ungefähr 13 % beträgt [2].
Einhergehend mit den Effizienzverlusten steigen die Kraftstoffkosten, sodass synthetischer Diesel oder Benzin aus heutiger Sicht nicht wirtschaftlich eingesetzt werden kann. Erst durch die Nutzung von günstigem, grünem Strom können die Herstellungskosten verringert und der synthetische Kraftstoff konkurrenzfähiger werden. Die Nutzung von synthetischem Flüssiggas (LSG) ist eine Option für den Schwerlasttransport. Eine geringe Gesamteffizienz, der lokale Emissionsausstoß und die notwendige dedizierte Tankinfrastruktur sprechen jedoch gegen einen flächendeckenden Einsatz.

Insgesamt wird im Straßen– und Schienenverkehr überwiegend gasförmiger Wasserstoff zum Einsatz kommen. Synthetische Kraftstoffe werden zukünftig vor allem in der Schifffahrt und im Flugverkehr Einsatz finden. Für Hochseeschiffe wird sich voraussichtlich in erster Linie synthetisches Flüssiggas durchsetzen. Für kleine Boote und Fähren kann Wasserstoff als Kraftstoff eine Rolle spielen, auf größeren Schiffen für Bordstromaggregate. Langstreckenflugzeuge werden aufgrund der erforderlichen hohen volumetrischen Energiedichte mit synthetischem Kerosin betrieben. Kurz– und Mittelstreckenflüge sind allerdings prinzipiell mit Flüssigwasserstoff denkbar.

Potenziell können Komponenten und technologisches Know–how zur Herstellung oder Nutzung von synthetischen Kraftstoffen exportiert werden. Daher ist es förderlich, auch bei einem begrenzten regionalen Einsatz sämtliche synthetische Kraftstoffe in Test– und Pilotprojekten zu erproben. Gleichzeitig wird zukünftig der Import von strombasierten Kraftstoffen aus Regionen mit einem hohen EE–Überschuss oder geringen EE–Stromkosten eine Rolle spielen. Dies kann über bestehende Infrastrukturen ohne umfangreiche Anpassungen erfolgen. Schleswig–Holstein und Hamburg bieten schon heute die erforderlichen Strukturen und könnten zu einem zentralen Umschlagplatz für synthetische Kraftstoffe für Deutschland und Europa werden.

1.3 Projekte & Vorhaben in Schleswig–Holstein & Hamburg

Damit der Einstieg in eine Wasserstoffmobilität erfolgreich gestaltet werden kann, müssen die technischen, wirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen gegeben sein. Hierfür ist es von hoher Bedeutung, dass erste Erfahrungen in Pilot– und Demonstrationsprojekten gesammelt und praxisnahe Einsatzszenarien erprobt werden. In Schleswig–Holstein agieren bereits einige ambitionierte Akteure, die in unterschiedlichen Vorhaben den Einsatz von Wasserstoff im regionalen Verkehr vorantreiben. Im Nachfolgenden werden ausgewählte Projekte aus der H_2–Mobilität kurz vorgestellt.

eFARM

Das eFarm–Projekt, initiiert und verantwortet von der GP Joule, ist bisher deutschlandweit das größte Wasserstoff–Mobilitätsprojekt, welches sich ausschließlich auf eine Versorgung durch grünen Wasserstoff fokussiert. Ziel ist es, mittels Stroms aus lokalen Windenergieanlagen Wasserstoff erneuerbar zu produzieren und den regionalen Verkehr zu versorgen. Neben der Installation von mehreren H_2–Erzeugungsanlagen werden zwei Wasserstofftankstellen aufgebaut, um zwei Linienbussen sowie 30 FC–PKW zu betreiben. [15]

Norddeutsches Reallabor

Als einer der Gewinner des Ideenwettbewerbs des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWI) wird im „Norddeutschen Reallabor" die ganzheitliche Transformation des Energiesystems und der Einsatz von Wasserstoff in allen Verbrauchssektoren erprobt. In den Modellregionen Hamburg, Schleswig–Holstein und Mecklenburg–Vorpommern wird dafür u. a. die vermehrte Nutzung von Brennstoffzellen–Fahrzeugen forciert und der Ausbau einer Wasserstoffinfrastruktur gefördert. [16]

H_2–Güterverkehr Neumünster

Zehn Unternehmen aus Schleswig–Holstein haben sich mit der Absicht, zukünftig wasserstoffbasierende LKW einzusetzen, zusammengeschlossen. In einem ersten Schritt sollen 20FC–LKW gemeinschaftlich angeschafft werden. Darüber hinaus soll die Produktion von grünem Wasserstoff sowie die Verteilung und die Infrastruktur mit Investitionen in Höhe von rund 16 Mio. Euro bis 2023 vorangebracht werden. Unter anderem ist der Bau einer Wasserstofftankstelle in Neumünster vorgesehen. [17]

Westküste100

An der Raffinerie Heide soll im Projekt „Westküste 100" grüner Wasserstoff aus Windstrom in mehreren Ausbaustufen im industriellen Maßstab hergestellt werden. Wasserstoff soll regional gespeichert und verteilt und so zu einer ganzheitlichen Dekarbonisierung aller Sektoren genutzt werden. Im Rahmen dessen werden u.a. in Verbindung mit dem in einem Zementwerk entstehenden Kohlenstoffdioxid (CO_2) wasserstoffbasierende Kraftstoffe für die Nutzung z.B. in der Luft– oder Schifffahrt erzeugt. [18]

KEROSyN100

Die Akteure des Projektes „KEROSyN100" streben die größere Integration von erneuerbaren Energien in den Verkehrssektor an. Hierfür soll am Demonstrationsstandort der Raffinerie Heide eine geeignete Prozesskette für die Herstellung von strombasiertem Kerosin entwickelt werden. Ziel ist es, ein Power–to–Fuel–Konzept zu realisieren und in einer späteren Projektphase auch im praktischen Betrieb einzusetzen. Zum aktuellen Zeitpunkt kommt hier noch kein grüner Wasserstoff zum Einsatz. [19] [14]

Hamburger Hochbahn

Bereits seit vielen Jahren erprobt die HOCHBAHN in Hamburg die Wasserstofftechnologie in ihrem Linienbusbetrieb. Zuletzt wurden ab 2014 wasserstoffbetriebene Busse auf der Linie 109 getestet. Aktuell sind zwei Batteriebusse mit Brennstoffzelle zur Reichweitenverlängerung im regulären Linienbetrieb im Einsatz. Im August dieses Jahres hat das Unternehmen eine Ausschreibung über die Anschaffung von bis zu weiteren 50FC–Bussen gestartet. Die ausgeschriebenen Solo– und Gelenkbusse sollen zwischen den Jahren 2021 und 2025 geliefert werden. [20]

E4SHIPS

Historisch bedingt verfügen Schleswig–Holstein sowie Hamburg großе Expertise im innovativen Schiffbau. Einige der lokal ansässigen Unternehmen sind in dem Projekt „E4SHIPS" involviert, in welchem der Einsatz von Wasserstoff in der Binnen– und Seeschifffahrt in Form von verschiedenen Anwendungsprojekten erprobt wird. Im ersten Schritt wird die Substitution von Nebenverbrauchern durch Brennstoffzellen verfolgt. [10]

1.4 Herausforderungen und Handlungsspielräume in Schleswig–Holstein

Im Rahmen der gutachterlichen Betrachtung wurden in Bezug auf die Verkehrsbereiche Straßenverkehr, Schienenverkehr, Schifffahrt und Luftfahrt Stärken (S, Strengths), Schwächen (W, Weaknesses), Chancen (O, Opportunities) und Risiken (T, Threads) für das Land Schleswig–Holstein und Hamburg analysiert. Die derzeit laufenden Projekte und Vorhaben in Schleswig–Holstein zeigen, dass Wasserstoff im regionalen Verkehrssektor keine Unbekannte darstellt. Die Ergebnisse und Erfahrungen aus diesen Projekten stellen eine vielversprechende Basis dar, auf welcher das Land aufbauen kann. Darüber hinaus bietet die umfassende Expertise lokaler Unternehmen, insbesondere im Schiffbau und in der Luftfahrt (Hamburg zählt zu den innovativsten Luftfahrtstandorten der Welt [21]) sowie bereits bestehende Infrastrukturen (vorhandene Häfen und involvierte Partner) für den internationalen Import und die lokale Verteilung von Kraftstoffen wertvolle Voraussetzungen für die Etablierung einer Wasserstoffmobilität. Allerdings besteht noch Nachholbedarf, insbesondere bei spezifischen Praxistest von H_2–Verkehrsträgern, z.B. Abfallsammelfahrzeuge oder LKW. Pilot– und Demonstrationsprojekte können und sollten vermehrt erfolgen. Darüber hinaus fehlen derzeit politische Anreize, sowohl für den direkten Einsatz von Brennstoffzellen–Fahrzeugen als auch für die weitere Erprobung der Technologien.

Abgeleitet aus den Erkenntnissen der SWOT–Analyse wurden Strategien für die Einführung von Wasserstoff im Verkehrssektor entwickelt. Dadurch können regionale Herausforderungen und Handlungsspielräume abgeleitet sowie letztendlich Handlungsempfehlungen ausgesprochen werden. Eine ausführliche Darstellung der Analyseergebnisse der SWOT–Analyse befindet sich im Anhang D.

Wettbewerbsfähigkeit von Wasserstofffahrzeugen

Der Markthochlauf von Wasserstoff bzw. von E–Fuels ist unter anderem abhängig von seiner Wettbewerbsfähigkeit gegenüber anderen CO_2–armen Alternativen, also beispielsweise rein batterieelektrischen Fahrzeugen oder Fahrzeugen, die mit elektrischen Oberleitungen oder Biokraftstoffen betrieben werden.

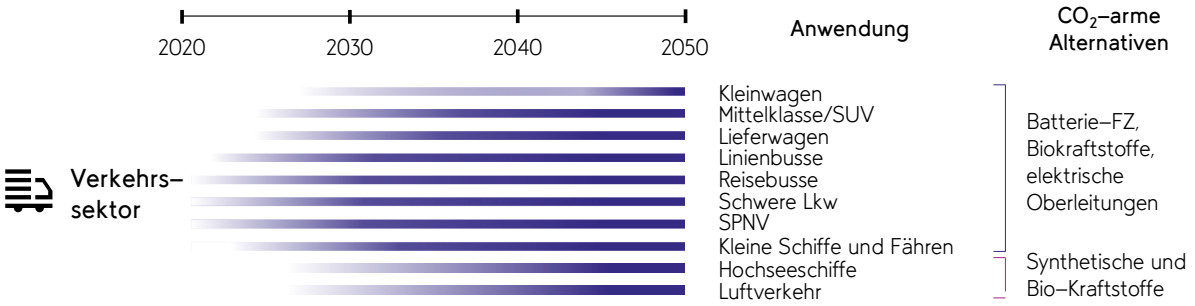


Abbildung 1–2: Wettbewerbsfähigkeit von Wasserstoff gegenüber CO_2–armen Alternativen nach [22]

In Abbildung 1–2 wird die zeitliche Entwicklung dieser Wettbewerbsfähigkeit für verschiedene Verkehrsanwendungen im Vergleich zu den CO_2–armen Alternativtechnologien dargestellt. Für den Vergleich zu konventionellen Technologien wird an dieser Stelle auf die Wirtschaftlichkeitsanalyse in Kapitel 2.4 verwiesen. Bei schweren Nutzfahrzeugen wie Bussen oder Abfallsammelfahrzeugen ist Wasserstoff bereits in naher Zukunft konkurrenzfähig zu klimafreundlichen Alternativen. Im PKW–Bereich ist durch die aktuell starke Konkurrenz batterieelektrischer Fahrzeuge davon auszugehen, dass die Wettbewerbsfähigkeit und damit der Markthochlauf zeitlich verzögert auftreten. Auch im Schiff– und Luftverkehr wird sich der Einsatz von Wasserstoff erst in einigen Jahrzehnten als konkurrenzfähig zu CO_2–armen Alternativen erweisen, da Biokraftstoffe oder synthetische Kraftstoffe sukzessive den

bisherigen Kraftstoffen beigemischt werden können und dadurch vorerst kein grundlegender Technologieumstieg erforderlich ist.

Wasserstoff im Straßenverkehr

Konkrete Herausforderungen für die Einführung von Wasserstoff im Straßenverkehr von Schleswig–Holstein sind eine adäquate Tankstelleninfrastruktur sowie derzeit noch schwierige wirtschaftliche Rahmenbedingungen durch hohe Investitions– und Betriebskosten. Die nächsten Schritte zur Überwindung dieser Hürde sind abhängig von der Fahrzeugkategorie bzw. vom Fahrzeugbetreiber.

Die Umstellung kommunaler Flotten, wie z.B. Busse, Abfallsammelfahrzeuge oder auch PKW kann verhältnismäßig stark durch die regionale Politik beeinflusst werden. Für diese Verkehrsanwendungen sollten daher sowohl gefördert als auch gefordert werden. Durch Maßnahmen wie z.B. stetig steigende Mindestquoten an emissionsfreien Fahrzeugen werden die Initiativen der Flottenbetreiber verschärft und somit die Nachfrage nach Wasserstofffahrzeugen erhöht. Gerade kommunale Flotten können als H_2–Großabnehmer potenziell durch einen gesicherten Absatz Planungssicherheit für den Ausbau der öffentlichen Wasserstoffinfrastruktur bieten.

Im PKW oder auch LKW–Bereich befinden sich die Fahrzeuge überwiegend in privatem Besitz. Um in diesen Segmenten Wasserstoff einzuführen und voranzubringen, bedarf es als nächsten Handlungsschritt die Etablierung eines landesweiten Tankstellennetzes. Ohne ausreichende Betankungsmöglichkeiten wird die Akzeptanz für Wasserstoffantriebe nur langsam steigen. In Kapitel 3 wird ein möglicher Aufbau einer bedarfsorientierten Tankstelleninfrastruktur für Schleswig–Holstein aufgezeigt. Auch private Flottenbetreiber (Taxis, Car–Sharing) können als potenzielle Großabnehmer in den Infrastrukturaufbau eingebunden werden. Darüber hinaus sollten auch im privatwirtschaftlichen Sektor Kooperationen zwischen Akteuren gefördert werden, um regionale Fahrzeugbedarfe zu bündeln. Durch planbare, große Mengen lassen sich bei Fahrzeugbeschaffung und Tankstelleninfrastruktur Planungssicherheit und Wirtschaftlichkeit erhöhen. Zudem könne neue Konzepte wie Pay–per–Use Modelle entstehen. Nicht zuletzt entstehen durch die höheren Stückzahlen Produktionsanreize für Fahrzeughersteller.

Schwere Nutzfahrzeuge bieten aufgrund ihrer hohen Fahrleistungen und Verbräuche ein besonders hohes Potenzial für Emissionseinsparungen. Abbildung 1–3 zeigt diesen Effekt: Zwar bilden die Fahrzeuge nur etwa 4 % des Fahrzeugbestands in Schleswig–Holstein und Hamburg, sind aber für ca. 25 % der verkehrsbedingten CO_2–Emissionen verantwortlich. Diese Fahrzeuggruppen bilden einen großen Hebel zur Senkung von Emissionen.

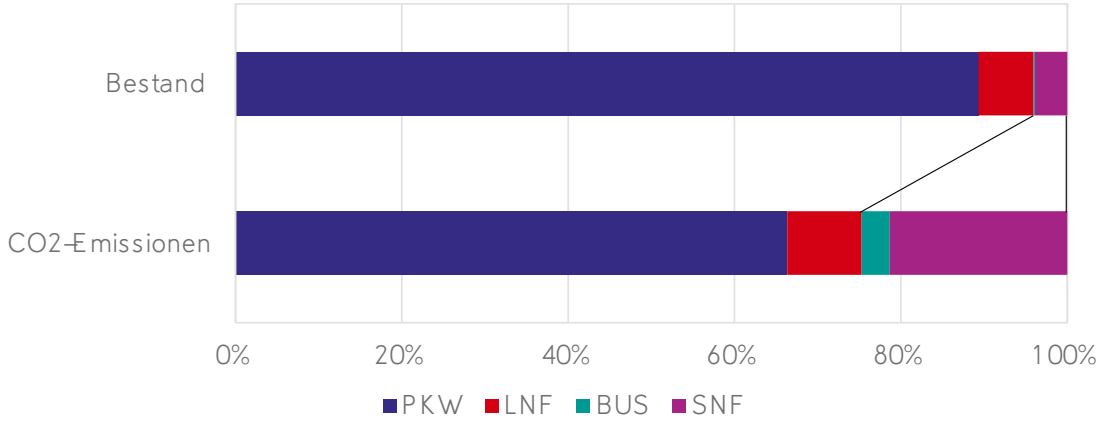


Abbildung 1–3: Fahrzeuge und zugewiesene CO_2–Emisssionen: Busse und LKW haben in Schleswig–Holstein nur einen Anteil von etwa 4 % am Fahrzeugbestand, sind aber für ca. 25 % der CO_2–Emissionen im Verkehrssektor verantwortlich. Fahrzeugdaten von [23], CO_2–Emissionen nach [24]

Im Güterverkehr herrscht ein hoher Wettbewerbsdruck. Es sind entsprechende Marktanreizprogramme erforderlich, sodass für regionale Akteure die Hemmschwelle der Umstellung auf derzeit noch verhältnismäßig teure wasserstoffbetriebene Fahrzeuge gesenkt werden kann. Um die Konkurrenzfähigkeit wasserstoffbetriebener Fahrzeuge im Güterverkehr zu steigern, ist zudem eine Minderung der Kostendifferenz zwischen konventionellen Kraftstoffen und Wasserstoff im Wirtschaftsbetrieb notwendig. Dies kann beispielsweise durch höhere CO_2–Preise erreicht werden. An dieser Stelle wird auf die Analyse des Wasserstoffverkaufspreises in Kapitel 4.3 verwiesen.

Wasserstoff im Schienenverkehr

Mit dem Beschluss über den Einsatz von 55 batteriebetriebenen Zügen ab 2022 zeigt das Land Schleswig–Holstein Bereitschaft für die Initiierung eines emissionsarmen Zugverkehrs [25]. Dennoch sollte eine Technologieoffenheit bewahrt werden, da in Abhängigkeit der Gegebenheiten einzelne Streckenabschnitte ggf. nicht durch reine BEV–Züge zu elektrifizieren sind. Hier kann als mögliche Antriebstechnologie Wasserstoff zum Einsatz kommen. Auch wenn in Schleswig–Holstein Erfahrungen durch regionale Pilotprojekte bisher fehlen, zeigt der seit 2018 zwischen den Städten Cuxhaven, Bremerhaven, Bremervörde und Buxtehude verkehrende Wasserstoffzug, dass dieser eine echte Alternative zum Dieseltriebzug darstellt. [26] Bereits 2017 hat das Bundesland Niedersachen 14 Wasserstoffzüge für den regulären Betrieb ab 2021 gekauft. [27]

Ein großer Anteil der mit Dieseltriebzügen betriebenen Bahnstrecken in Schleswig–Holstein wird in den nächsten Jahren durch rein batterieelektrische Züge befahren. Andere Streckenabschnitte werden durch den Ausbau der Oberleitungen elektrifiziert, um die erforderlichen Umlaufzeiten und Fahrgastkapazität weiterhin uneingeschränkt bedienen zu können. Umstellungspotenzial bieten die derzeit noch nicht–elektrifizierten Linien A3, A2 sowie der nördliche Abschnitt der Linie A1 der AKN. Die NAH.SH und die AKN führen für diese Linien derzeit eine technologieoffene Untersuchung für den Ersatz der Diesel–Triebzüge ab 2027 durch. Hier kann der wasserstoffbasierende Fahrgastbetrieb eine Lösung zu Dekarbonisierung darstellen. Ferner bestehen zurzeit erste Aktivitäten von Nah.SH, um gemeinsam mit Dänemark den Einsatz von FC–Zügen auf der grenzüberschreitenden Strecke von Niebüll über Tondern bis hin nach Esbjerg zu untersuchen.

Darüber hinaus bietet der regionale Schienengüterverkehr Potenziale für die Nutzung von Wasserstoff. In diesem Bereich wird heutzutage vielfach auf Diesellokomotiven zurückgegriffen. Unter Berücksichtigung der technischen Möglichkeiten und Perspektiven, sollte hier der Einsatz von FC–Zügen geprüft werden.

Wasserstoff im Schiffs– und Luftverkehr

Für behördeneigene Schiffe in Schleswig–Holstein eignet sich ein wasserstoffbetriebener Antrieb theoretisch aufgrund der derzeitigen Maschinenleistung für die Schlepper– bzw. Vermessungsschiffe des Landesbetriebs für Küstenschutz (LKN) sowie für die Streifenboote der Wasserschutzpolizei (WSP). Allerdings sind die Flotten des LKN und der WSP in den letzten 10 bis 15 Jahren erneuert worden, sodass sich aufgrund der durchschnittlichen Einsatzzeit von 25 bis 30 Jahren frühestens in 10 Jahren ein Potenzial zur Umstellung auf Wasserstoff ergibt. In einem ersten Schritt bietet sich besonders die Ersatzbeschaffung der WSP–Streifenboote (Baujahr 2004 – 2007) mit Brennstoffzellen–Antrieb an. Zunächst sollte in einem Pilotprojekt der Einsatz eines wasserstoffbetriebenen Bootes erprobt werden. Hier bieten sich gemäß der heutigen Einsatzgebiete die Häfen Kiel, Flensburg oder Brunsbüttel als mögliche Standorte an, wenn dort die entsprechenden Bunkermöglichkeiten geschaffen werden. Sollten die dabei gesammelten Praxiserfahrungen positiv ausfallen, ist es möglich, weitere Boote in einer Mini–Serie anzuschaffen.
Mit der fortschreitenden Entwicklung ist auch davon auszugehen, dass im Jahr 2030 der Markt ein entsprechendes Angebot bietet. Ist der zeitnahe Einsatz von Wasserstoff im Schiffsverkehr politisch

erwünscht, besteht die Möglichkeit einer Umrüstung eines bestehenden Schiffes auf einen Brennstoffzellenantrieb. Hierfür könnten sich auch die Schlepperboote des LKN anbieten, die überwiegend in Husum liegen und bebunkert werden. Das Umstellungspotenzial für weitere Schiffe (z.B. Küstenboote, Transportschiff) ist aufgrund hoher erforderlicher Antriebs– oder geringer Fahrleistungen begrenzt. Darüber hinaus ist möglich durch die Nutzung der Brennstoffzelle als Antriebstechnologie für Fahrzeuge und Umschlaggeräte im Hafen den maritimen Sektor zu dekarbonisieren. Derzeit ist die Implementierung von grünem Wasserstoff am Terminal Skandinavienkai des Lübecker Hafens geplant. [28]

Durch regionale maritime Unternehmen hat das Land Schleswig–Holstein große Expertise im innovativen Schiffbau vorzuweisen, und kann eine entscheidende Rolle in der Weiterentwicklung des klimaneutralen Schiffsverkehrs spielen. Die politische Unterstützung und das Schaffen von rechtlichen Rahmenbedingungen sind für einen Einsatz von Wasserstoff im Schiffsverkehr notwendig, um Hersteller und Werften frühzeitig bei diesem Technologietrend zu begleiten. Auch wenn das regionale Potenzial für Wasserstoff im Schiffsverkehr in naher Zukunft begrenzt ist, ist es von Bedeutung auf dem globalen Herstellermarkt weiterhin Vorreiter zu sein. Zeitgleich sollten Initiativen von privaten Fähren– und Bootsbetreibern unterstützt und genutzt werden, um Praxiserfahrungen von Wasserstoff im maritimen Einsatz zu erlangen. Die generelle Bereitschaft für einen umweltfreundlichen Schiffsverkehr im Land zeigt unter anderem das Beispiel der Plug–In Hybrid–Förderfähre „MS Gaarden" in Kiel. [25]

Grundsätzlich verfügt Schleswig–Holstein bereits über eine Infrastruktur aus Häfen und strategischen Partnern zur regionalen und überregionalen Verteilung von Wasserstoff oder synthetischen Kraftstoffen. Dieser Vorteil sollte in Verbindung mit dem Logistikstandort Hamburg genutzt werden, um insbesondere den Import von klimaneutralen Treibstoffen zu fördern und so für alternative Antriebe im Schiffsverkehr frühzeitig gut aufgestellt zu sein.

Derzeit laufen bereits verschiedene Demonstrationsprojekte zur Produktion von klimafreundlichen Treibstoffen für den Flugverkehr. Diese Erfahrungen sollten genutzt werden, um gemeinsam mit der bestehenden Expertise, die insbesondere am Luftfahrtstandort Hamburg gegeben ist, die Produktion und die Nutzung von synthetischen Kraftstoffen zu forcieren. Dabei ist es wichtig potenzielle Abnehmer zu involvieren, wie beispielsweise mit Airbus im Projekt „GreenPower2Jet" oder der Lufthansa im „KEROSyN100"–Vorhaben geschehen, um wirtschaftliche Szenarien für alle Akteure und ausreichend Kapazitäten zu schaffen. [29, 30] Weitere Pilotprojekte sollten initiiert und politisch unterstützt werden, damit Hersteller frühzeitig den Technologietrend mitgehen. Während für den eigentlichen Flugverkehr die Einführung synthetischer Kraftstoffe fokussiert werden sollte, besteht die Möglichkeit, in einem ersten Schritt die direkte Nutzung von Wasserstoff am Flughafen zu etablieren, z.B. für Vorfeldfahrzeuge oder der Bodenstromversorgung, und so zeitnah mit der Dekarbonisierung des Flugsektors zu beginnen.

1.5 Zusammenfassung

- Wasserstoff kann in der Mobilität ein breites Spektrum an Fahrzeugsegmenten und Fahrleistungen abdecken.
- Vorteile gegenüber der Batteriemobilität bestehen bei hohen Nutzlast– und Reichweitenanforderungen sowie Anforderung an eine uneingeschränkte Flexibilität und kurze Betankungszeiten z.B. bei Bussen, LKW, Abfallsammelfahrzeugen oder Zügen (einsatzabhängig).
- Der Schiffs– und Flugverkehr erfordert den Einsatz von auf Wasserstoff basierenden synthetischen Kraftstoffen aufgrund der hohen erforderlichen Energiedichten. Die benötigten Bedarfe für Schleswig–Holstein und Hamburg können aus Regionen mit günstigeren Erzeugungsbedingungen importiert werden. Durch die bestehenden Import– und Export–Infrastrukturen kann ein nationaler und internationaler Umschlagspunkt für synthetische Kraftstoffe sowie für Wasserstoff entstehen.
- In Hamburg und Schleswig–Holstein gibt es bereits heute eine Vielzahl von ambitionierten Pilot– und Demonstrationsprojekten, die den Einsatz von Wasserstoff in den verschiedenen Verkehrsanwendungen erproben.
- Der Einsatz von Wasserstoff in kommunalen Flotten, insbesondere für Busse und Abfallsammelfahrzeuge, kann durch politisches Fördern und Fordern zeitnah vorangetrieben werden.
- Für den privaten Straßenverkehr sowie den Güterverkehr bedarf es den Aufbau einer flächendeckenden Tankstelleninfrastruktur sowie eine Verbesserung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen.
- Die Bündelung von Akteuren kann die Absatzmärkte für FCEV sichern und einen planbaren Infrastrukturausbau ermöglichen.
- Für die Dekarbonisierung des Schiffs– und Luftverkehres ist ein technischer Fortschritt notwendig, um einen CO_2–armen Betrieb wirtschaftlich gestalten zu können. Durch regionale Unternehmen bieten Schleswig–Holstein und Hamburg Expertise, um internationaler Vorreiter im klimafreundlichen Schiffs– und Luftverkehr zu werden.
- Potenziale für den Einsatz von Wasserstoff im Schiffsverkehr bieten Streifenboote der WSP oder Schlepper– bzw. Vermessungsschiffe des LKN. Aus wirtschaftlicher Sicht scheint allerdings eine Umstellung erst ab 2030 sinnvoll.

2 Bedarfsentwicklung & Wirtschaftlichkeit wasserstoffbetriebener Fahrzeuge

Der FCEV–Markt befindet sich derzeit weltweit noch in dem Phasenübergang von Pilotfahrzeugen hin zur Serienproduktion. Vereinzelt gibt es Versuchsregionen und Projekte, welche die technische Machbarkeit aufzeigen, jedoch scheuen die öffentliche Hand und Unternehmen aktuell noch Investitionen, da auf beiden Seiten sogenannte Stranded–Assets vermieden werden wollen. Jedoch muss ähnlich wie bei erneuerbaren Energien eine Investitionshürde genommen werden, nach welcher die Marktgängigkeit dann gegeben ist.

Ohne klare Rahmenbedingungen sehen sich FCEV–Anbieter zu vielen Risiken konfrontiert, um größere Investitionen zu tätigen. Hinzu kommt, dass die Entwicklung der Infrastruktur mit den folgenden Systemkosten noch schwer abzuschätzen ist. Eine möglichst fortgeschrittene Tankstelleninfrastruktur mit H_2–Versorgung ist jedoch notwendig, um auf Akzeptanz der Endkunden bzw. Techniknutzer zu stoßen.

Der Fokus des aktuellen FCEV–Angebots liegt aktuell auf dem Bereich PKW und Busse (ÖPNV). Personenschienenfahrzeuge gibt es schon in der Anwendung, jedoch ist die Anzahl noch recht limitiert. Da FCEV gegenüber BEV hinsichtlich Reichweite, Tankgeschwindigkeit/ –komfort und Energiedichte vielversprechender erscheint, haben kürzlich mehrere Hersteller angekündigt im Bereich der schweren Nutzfahrzeuge erste Fahrzeuge in Serie zu fertigen.

Gegen FCEV wird oftmals das Argument der höheren Gesamtkosten im Vergleich zu BEV aufgeführt, wobei hier oft die hohen Anschaffungskosten für einen Vergleich herangezogen werden. Hier ist jedoch ein direkter Vergleich meist nicht verhältnismäßig, da bei BEV mittlerweile wesentlich höhere Stückzahlen erreicht werden und hier zudem der Kostenvorteil bei Batterien zum Tragen kommt. Dieser wurde durch den starken Zuwachs an mobiler Elektronik wie Notebooks und Smartphones begünstigt. Zudem sind die Treibstoffkosten beim Vergleich von BEV–Schnellladen mit H_2–Tanken schon heute günstig für die Wasserstoffmobilität. Es darf auch nicht vergessen werden, dass beide elektrische Antriebe darstellen, nur liegt beim FCEV der Schwerpunkt des Energieträgers bei H_2 und nicht bei BEV, wobei hier der Übergang fließend sein kann.

Dieses Kapitel stellt zunächst die Bedarfsszenarien mit den zu erwartenden Nachfragemengen an H_2 in Form einer theoretischen Betrachtung dar. Anschließend wird aufgezeigt, an welchen Bedarfszentren diese Mengen mit der jeweiligen Ausprägung benötigt werden. Danach wird dem Leser ein Überblick zum Angebot der jeweiligen Mobilitätssektoren mit einer Einordnung vorgestellt. Um die Sektoren mit ihren Bedarfen im Kontext der Wirtschaftlichkeit der FCEV zu beleuchten, werden die Gesamtkosten analysiert und eine Abschätzung der Kostenparität gegenüber dem Dieselantrieb vorgenommen. Schließlich werden Einschätzungen und Meinungen von relevanten Stakeholdern in Schleswig–Holstein aus einem Workshop vorgestellt und die Auswirkungen der COVID–19–Krise auf die Marktdurchdringung von Elektromobilen erläutert.

2.1 Bedarfspotenziale im Straβen– und Schienenverkehr

Nach der Bewertung der Anwendungsmöglichkeiten von Wasserstoff im Verkehrssektor folgt in diesem Kapitel eine Abschätzung des Bedarfspotenzials in Schleswig–Holstein und Hamburg. Hierzu wurden drei Marktdurchdringungsszenarien entwickelt: ein konservatives Szenario, ein Basis–Szenario und ein progressives Szenario. Die Szenarien decken sich mit den Szenarien aus dem Parallelgutachten „Wasserstofferzeugung und –märkte Schleswig–Holstein" (2020), das im Auftrag des Ministeriums für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung des Landes Schleswig–Holstein erstellt wurde. Die zugrundeliegenden Parameter sowie die Methodik der Szenarienentwicklung sind im Anhang E aufgeführt.

Grundlage für die Einordnung sind die aktuellen Rahmenbedingungen sowie potenzielle zukünftige Entwicklungen. Die aktuellen Bedingungen werden aus rechtlicher Sicht ausführlich in Kapitel 6 beleuchtet.

Tabelle 2–1 ermöglicht die Einordnung der Szenarien anhand von regulatorischen und ökonomischen Rahmenbedingungen.

- Das konservative Szenario geht von einer schwachen Entwicklung der Wasserstofftechnologie aus. Es sind die aktuell bestehenden Rahmenbedingungen zur Wasserstofferzeugung und –nutzung zu Grunde gelegt, beispielsweise ein weiteres fortbestehen der EEG–Umlage für die Wasserstoffproduktion per Elektrolyse oder der im Klimaschutzprogramm determinierte minimale CO_2–Preis von 35 €/t bis 2026.
- Im Basis–Szenario werden aktuelle zur Disposition stehende Änderungen der regulatorischen Rahmenbedingungen berücksichtigt. Dies umfasst beispielsweise den Wegfall der EEG–Umlage wie in der Nationalen Wasserstoffstrategie der Bundesregierung angestrebt. Weitere Aspekte sind die strikte Umsetzung von EU–Vorgaben wie z.B. die stetige Verringerung der Flottenemissionsgrenzwerte sowie eine Ausweitung von Umweltzonen in den Innenstädten. Zudem wird von einer Erhöhung des CO_2–Preises auf 60 €/t bis 2026 ausgegangen.
- Das Progressive Szenario geht von weitreichenden politischen und marktregulierenden Eingriffen zugunsten von Wasserstofftechnologien aus. So wird von einem CO_2–Preis von mindestens hundert Euro bis 2030 ausgegangen. Weiterhin werden strenge Umweltauflagen (CO_2–Flottenemissionsgrenzwerte, Neubeschaffungsquoten, Verbot von Verbrennern), umfangreiche Marktanreize sowie frühe, starke Skaleneffekte und damit verbundene Kostensenkungen angenommen.

In Abbildung 2–1 sind die Ergebnisse der Potenzialanalyse dargestellt. Die Diagramme zeigen den Wasserstoffbedarf verschiedener Verkehrsanwendungen über die Jahre von 2020 bis 2050 in Schleswig–Holstein und Hamburg. Zu erkennen ist, dass sich der Wasserstoffbedarf 2050 ausgehend vom konservativen zum Basis–Szenario verdoppelt und zum progressiven Szenario mehr als verdreifacht. Die Steigung der Wasserstoffnachfrage ist in allen drei Szenarien zunächst exponentiell. Der Markthochlauf von FC–PKW erzeugt erst ab etwa 2030 relevante Nachfragemengen. Über den gesamten Betrachtungszeitzaum treiben PKW und schwere Nutzfahrzeuge das Nachfragepotenzial. Der Schienenverkehr, Busse und leichte Nutzfahrzeuge spielen langfristig in Schleswig–Holstein und Hamburg eher eine untergeordnete Rolle.

Tabelle 2–1: Mögliche Einflüsse auf die Bedarfsszenarien

Mögliche Einflüsse	Konservatives Szenario Schwache Entwicklung der H_2–Technologie	Basis–Szenario Erwartete Entwicklung der H_2–Technologie	Progressives Szenario Starke Entwicklung der H_2–Technologie
CO_2–Flottenemissions–grenzwerte	Aktuelle Vorgaben: 37,5% Reduktion bis 2030 bei PKW	Diskutierte Vorgaben: 50% Reduktion bis 2030 bei PKW [31]	Ambitionierte Vorgaben und Einführung von Bevorteilung von H_2–Fahrzeugen
Clean Vehicle Directive	Lockere Umsetzung der CVD in nationales Recht	Strenge Umsetzung der CVD in nationales Recht zur Erreichung der geforderten Quoten	Ambitionierte Umsetzung der CVD in nationales Recht zur Überschreitung der geforderten Quoten
Umweltauflagen	Aktuelle Umweltzonen und Fahrverbotszonen bleiben bestehen	Weitere Ausbreitung von Umweltzonen und Fahrverbotszonen in Innenstädten	Einführung von Zero–Emission–Zonen, Ausweitung auf Schienenverkehr
Verbot von Verbrenner–fahrzeugen	keine Einführung eines Verbots auf Verbrennerfahrzeuge	Späte Einführung eines Verbots auf Verbrennerfahrzeuge	Frühe Einführung eines Verbots auf Verbrennerfahrzeuge
Marktentwicklung	H_2– und FC–Technologien bleiben eher Nischenprodukte	H_2– und FC–Technologien entwickeln sich wie erwartet	Weltweiter Durchbruch der H_2– und FC–Technologien
Kostenentwicklung	Fahrzeugkosten ab ca. 2040 wettbewerbsfähig zu Konkurrenztechnologien	Fahrzeugkosten ab ca. 2030 wettbewerbsfähig zu Konkurrenztechnologien	Fahrzeugkosten ab ca. 2025 wettbewerbsfähig zu Konkurrenztechnologien
Wasserstoffkosten	Wasserstoffkosten bleiben auf hohem Niveau oder sinken nur gering	Wasserstoffkosten sinken wie erwartet stetig	Wasserstoffkosten sinken stärker als erwartet
Förderung von Fahrzeugen	Keine oder geringe Marktanreize	Bezuschussung des Kaufs von E–Fahrzeugen	Bezuschussung, zudem Steuererlassung auf Treibstoff oder Betriebskostenzuschuss
CO_2–Bepreisung	Steigerung auf 35 €/t bis 2026 (vgl. Klimaschutzprogramm und Kabinettbeschluss)	Steigerung auf 60 €/t bis 2026 (vgl. Klimaschutzprogramm und Kabinettbeschluss)	Einführung eines ambitionierteren CO_2–Preises, Klima–Umlage/ CO_2–Preise auf Endprodukte

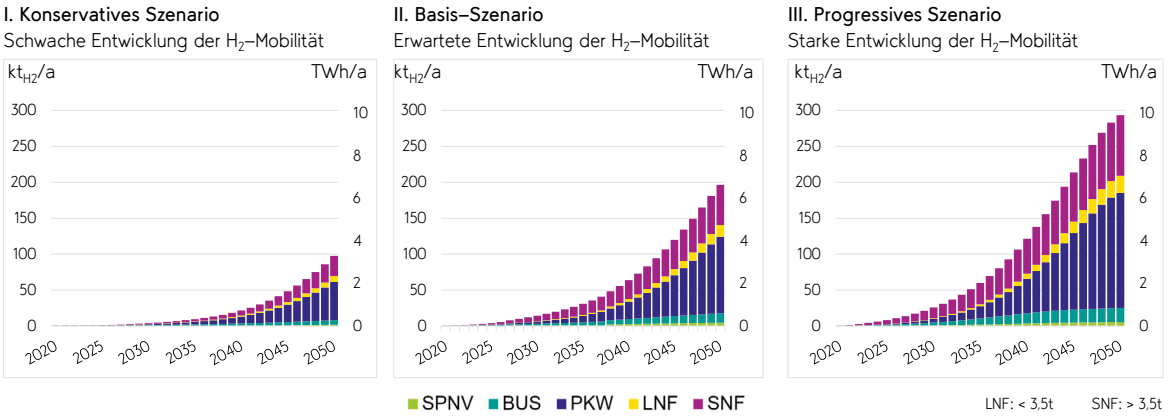


Abbildung 2–1: Entwicklung der Potenziale für die verschiedenen Verkehrsträger bis 2050. Szenarien nach [32] und eigenen Annahmen. Fahrzeugdaten von [23], SPNV–Daten von [33]

Abbildung 2–2 zeigt die Wasserstoffpotenzialentwicklung bis 2030 im Basisszenario. Im Gegensatz zur langfristigen Betrachtung, generieren bis 2030 insbesondere Busse sowie schwere Nutzfahrzeuge in kommunalen Flotten sowie LKW bzw. Sattelzugmaschinen das größte Nachfragepotenzial. Im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) und bei kommunalen Betrieben besteht durch die Clean Vehicle Directive ein Handlungsdruck zur Umstellung auf emissionsfreie Fahrzeuge. Anders als im PKW–Segment, in dem es eine Vielzahl an Alternativen durch BEV gibt, existieren im Bereich der schweren Nutzfahrzeuge und Busse weniger Alternativen zu Wasserstoffantrieben.

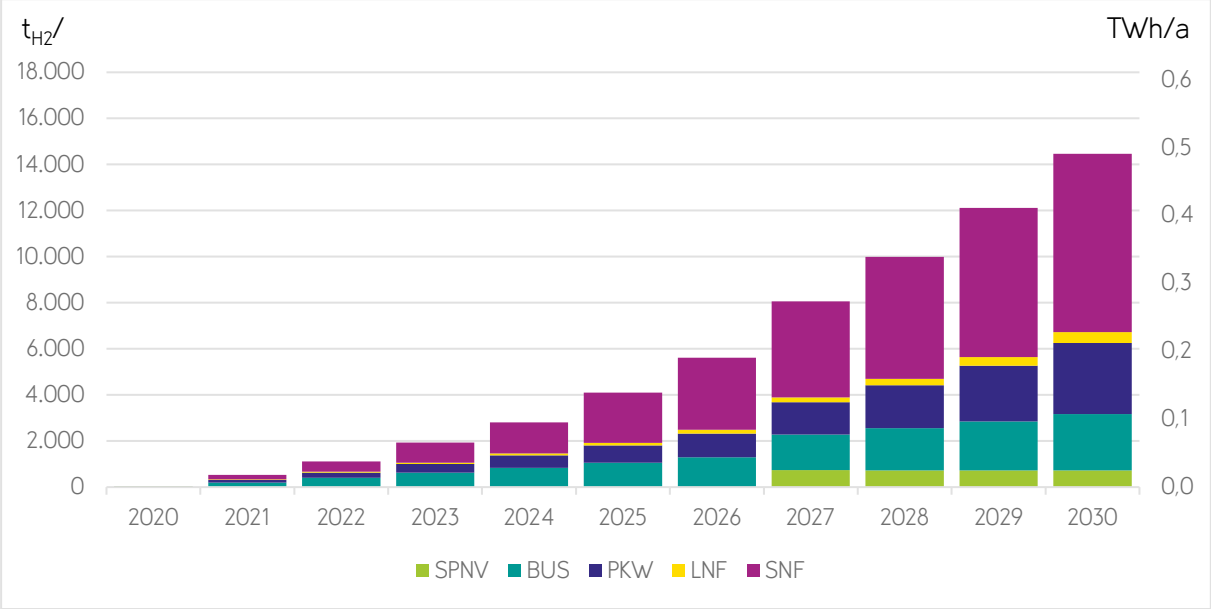


Abbildung 2–2: Entwicklung der Potenziale für die verschiedenen Verkehrsträger bis 2030 (Basisszenario). Szenarien nach [32] und eigenen Annahmen. Fahrzeugdaten von [23], SPNV–Daten von [33]

Die letztendliche Nachfrage ist stark von externen Parametern abhängig, die von der Politik mit beeinflusst werden können (vgl. Tabelle 2–1). Mögliche Handlungsspielräume für politische Einflussnahmen werden in Kapitel 1.4 dargestellt. Wirtschaftliche Einflüsse auf die Szenarien sind beispielsweise Kostenentwicklungen für Fahrzeuge, Infrastruktur und insbesondere Kraftstoffe. Zudem spielt die Entwicklung von Alternativtechnologien – z.B. batterieelektrische Fahrzeuge oder synthetische Kraftstoffe. eine entscheidende Rolle.

2.2 Mögliche Bedarfszentren für Wasserstoff in der Mobilität

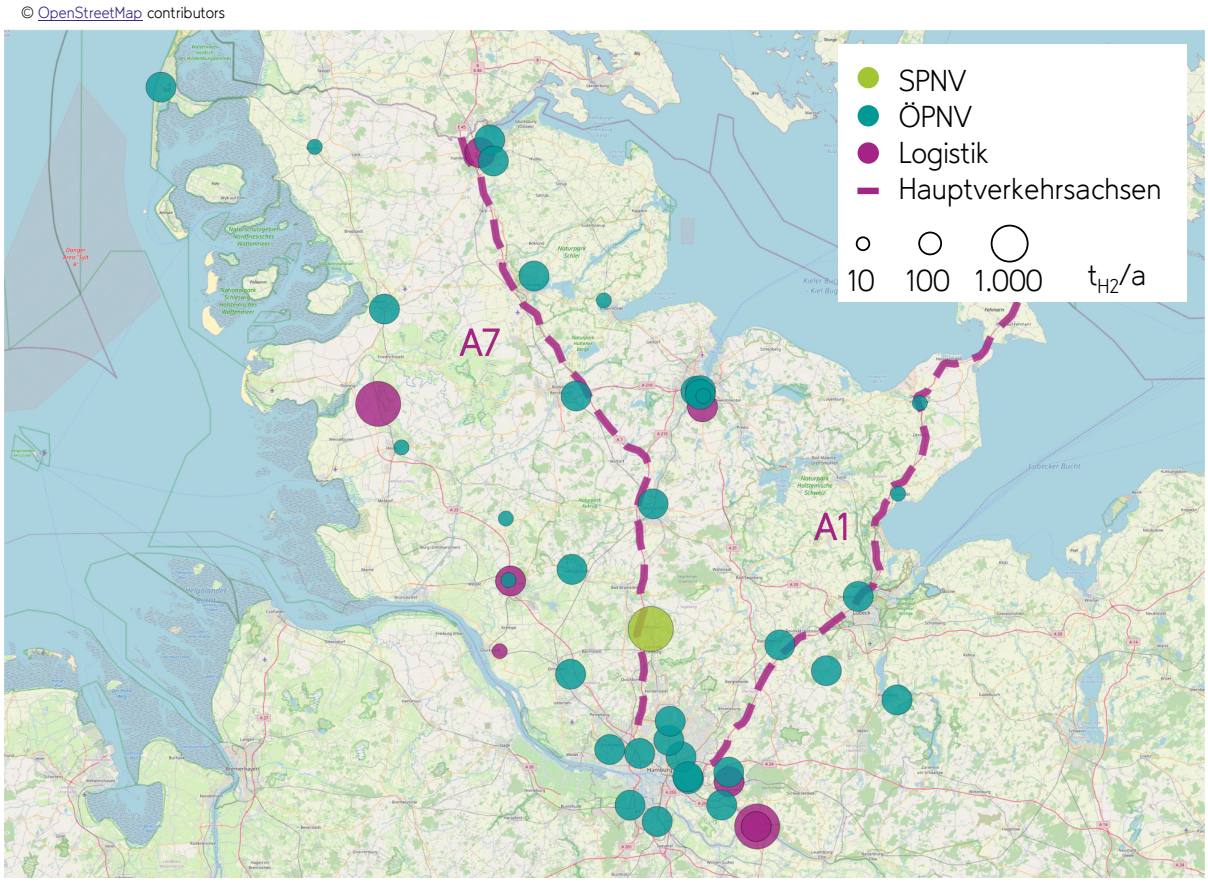


Abbildung 2–3: Bedarfszentren im Verkehr sind bis 2030 insbesondere ÖPNV–Bus–Tankstellen sowie die Logistikzentren und –achsen.

Um die räumliche Verteilung der Bedarfe für eine entsprechende Tankstellenplanung abzuschätzen, wurden in Abbildung 2–3 relevante Bedarfszentren für Wasserstoff in Schleswig–Holstein und Hamburg identifiziert. Bis 2030 liegen relevante Bedarfszentren insbesondere bei Flottenbetreibern in und um Ballungszentren. Diese finden sich sowohl bei Verkehrsunternehmen und Stadtwerken, die Bus– und Abfallsammelfahrzeugflotten betreiben, als auch bei Logistikzentren, die LKW und Sattelzugmaschinen einsetzen. Auch Logistikachsen wie die A1 und die A7 sowie Logistik–Knotenpunkte wie Hamburg, Lübeck und Neumünster bieten Potenziale für eine hohe Wasserstoffnachfrage. Potenziell kann auch der Einsatz von Wasserstoffzügen im SPNV in dem betreffenden Einsatzgebiet zu einem relevanten Bedarf führen. Der Bedarf private PKW nimmt aufgrund des späten Markthochlaufs bis 2030 noch eine untergeordnete Rolle ein.

Bei der Darstellung ist zu berücksichtigen, dass die Bedarfszentren aus der Gesamtpotenzial–abschätzung hervorgehen und keine geplanten Bedarfe darstellen. Vermutlich werden sich – insbesondere bei Flottenbetreibern, die FCEV einsetzen – einige Cluster herauskristallisieren, in denen höhere Bedarfe entstehen. An anderen Standorten entfallen entsprechend Bedarfe, wenn sich ein Betreiber gegen den Einsatz von Wasserstoff entscheidet.

Zur Deckung der Bedarfe ist sowohl eine nicht–öffentliche sowie öffentliche Tankstelleninfrastruktur erforderlich. Sinnvolle Standorte und Schritte für den Ausbau der Tankstelleninfrastruktur werden in Kapitel 3 beschrieben.

2.3 Marktüberblick FCEV

Bedingt durch politische Rahmenbedingungen, allen voran die Einführung von CO_2–Preisen ab dem Jahr 2021 sowie die Reduzierung der CO_2–Flottengrenzwerte, haben die Automobilhersteller dazu bewegt den Großteil Ihrer Flotte sukzessive auf elektrisch betriebene Fahrzeuge umzustellen. Neben rein batterieelektrischen Fahrzeugen wird der Fokus hierbei auch vermehrt auf wasserstoffbetriebene Fahrzeuge gelegt.
In der nachfolgenden Übersicht sind die derzeit am Markt erhältlichen Wasserstofffahrzeugen in den Kategorien Personenkraftwagen (PKW), leichte Nutzfahrzeuge (LNF, unter 3,5 Tonnen Leergewicht) und schwere Nutzfahrzeuge (SNF, über 3,5 Tonnen Leergewicht), Busse (ÖPNV) sowie Regionalzüge (SPNV) untergliedert. Der Fokus richtet sich auf Wasserstofffahrzeuge, die bereits am Markt etabliert sind bzw. in den nächsten fünf Jahren voraussichtlich in Serienfertigung produziert werden. Für Schiffe und Flugzeuge ist die Angebotslage der Hersteller im Bereich der Serienreife aktuell noch sehr schwach ausgeprägt oder gar nicht vorhanden, weshalb dieser Bereich als Exkurs des Marktüberblicks geführt wird.

Auf dem europäischen Markt sind derzeit zwar brennstoffzellenbetriebene PKW–Modelle aus der Serienfertigung erhältlich, diese werden jedoch zum großen Teil aus dem asiatischen Raum importiert. Allerdings wird erwartet, dass in den nächsten fünf Jahren europäische Modelle serienreif auf den Markt kommen werden. Obwohl einzelne europäische Hersteller erste Serienmodelle im Bereich der Busse produzieren, ist durch die derzeitige hohe Nachfrage an Wasserstoffbussen im Bereich des Personennahverkehrs davon auszugehen, dass das Angebot am Markt in den nächsten Jahren die Nachfrage nicht decken wird. Eine Unterdeckung ist nach aktuellem Stand der Angebotssituation und Herstellerangaben auch im Bereich der LNF und SNF zu erwarten. Jedoch gibt es im Bereich der Nutzfahrzeuge zahlreiche Pilotprojekte und erste Ankündigungen europäischer Hersteller brennstoff–zellenbetriebene LKW in geringer Stückzahl bis 2030 in Serie zu produzieren. Für den Schienenverkehr sind von mindestens einem Hersteller bereits Züge erprobt und werden in Kürze in Serie produziert. Zudem wollen weitere Hersteller wasserstoffbetriebene Züge auf den Markt bringen.

Aufgrund des knappen Angebots an wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen, ist die Umrüstung bestehender Fahrzeuge eine Option, um den akuten Bedarf zu decken und schnell Ergebnisse in der Transformation einzelner Verkehrsanwendungen zu erzielen. Dies könnte vor allem im Bereich der FC–Busse und FC–LKW von kommunalen und Unternehmensflotten eine Rolle spielen. Allerdings wird eine Umrüstung von konventionellen Fahrzeugen im Vergleich zu einer effizienten Serienproduktion von FCEV in höheren Fahrzeugkosten resultieren, weshalb diese Option eher als Übergangslösung zur ersten Bedarfsdeckung und zur Etablierung einer entsprechenden Infrastruktur gesehen werden kann.

2.3.1 Personenkraftwagen

Mit Wasserstoff betriebene Brennstoffzellen–PKW sind eine Möglichkeit, motorisierten Individualverkehr, ohne die Emission von Treibhausgasen und anderen Luftschadstoffen zu gestalten. Bereits in den 1960er Jahren fanden erste Tests mit Brennstoffzellen–PKW statt. Inzwischen bieten einige große Automobilhersteller Serienfahrzeuge an, die sich im Hinblick auf die Funktionalität kaum von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren unterscheiden. [34] Vorreiter auf dem Gebiet sind die asiatischen Hersteller Toyota und Hyundai. So fertigt Toyota seit 2014 das Modell Mirai in Serie und hat 2019 die Marke von 10.000 produzierten Fahrzeugen durchbrochen. Im Jahr 2020 soll die zweite Generation des Toyota Mirai auf den Markt kommen. [35]
Deutsche Automobilhersteller haben derzeit keine Brennstoffzellen–PKW in Serienfertigung im Portfolio. Lediglich Mercedes–Benz bietet mit dem GLC F–Cell ein Demonstrationsmodell in geringer Stückzahl an. [36] Die Anzahl der Brennstoffzellen–PKW lag Ende 2018 in Deutschland bei knapp 500. In den USA waren zu diesem Zeitpunkt bereits etwa 6.000 Brennstoffzellen–PKW zugelassen. [37]

In Tabelle 2–2 ist ein Überblick verfügbarer oder angekündigter Modelle aufgeführt, welche im Anhang F im Steckbriefformat aufgeführt werden. Die Tabelle enthält den Hersteller, die Fahrzeugbezeichnung und die Verfügbarkeit 2020 bzw. 2025. Nachfolgend wird beispielhaft der Toyota Mirai in Form eines Steckbriefes mit Key Facts, aktueller Status und Ausblick genannt.

Tabelle 2–2: Marktübersicht – FC–PKW

Hersteller	Fahrzeuge	Erhältlich 2020	Erhältlich 2025
Toyota	Mirai I (ab 2021) & Mirai II	ja, Mirai I	Serie (Mirai II)
Hyundai	Nexo	ja	Serie
Audi	A7 h–tron quattro	nein	Serie
Honda	Clarity Fuel Cell	nicht geplant, aber möglich	nicht bekannt
BMW	iHydrogen Next	nein	Serie
Daimler	GLC F–CELL	eingestellt	nicht bekannt
Opel	HydroGen4	nein	Unsicher
VW	Golf HyMotion	nein	Nein

Toyota – Mirai

Key Facts

H_2–Tank (Kapazität | Druckniveau): 5kg | 700 bar

Batteriekapazität: 1,6 kWh

Reichweite Mirai I: 500 km

Reichweite Mirai II: 650 km

Aktueller Status

Der Toyota Mirai gilt als das weltweit effizienteste Brennstoffzellenfahrzeug. Bislang wurden insgesamt etwa 10.000 Exemplare verkauft, davon in etwa 1000 Exemplare auf dem europäischen Markt. Die Markteinführung in Europa startete mit einer Marketing–Kampagne, bei der das Fahrzeug von Dänemark nach Italien reiste, um die Langstreckenfähigkeit des Brennstoffzellenfahrzeugs zu demonstrieren. Die Verfügbarkeit des Toyota Mirai der ersten Generation auf dem europäischen Markt beschränkt sich aktuell auf die Länder Belgien, Dänemark, Deutschland, Frankreich, Norwegen, Schweden, UK und die Niederlande. [38–40]

Das weltweit erste in Serie produzierte Brennstoffzellenfahrzeug wurde erstmals 2015 in Deutschland ausgeliefert. Der aktuelle Listenpreis beträgt 63.900 €, wobei der Erwerb lediglich im Leasing möglich ist. Der Leasing–Preis pro Monat beträgt ca. 585 €. [41]

Die zweite Generation des Toyota Mirai wurde erstmals 2019 auf der Tokyo Motor Show vorgestellt. Das Fahrzeug soll im Gegensatz zur ersten Generation insgesamt fünf statt vier Sitzplätze bieten. Der Preis soll im Vergleich zur vorherigen Generation nicht ansteigen.

Ausblick

Während man weiterhin mit dem Mirai I als Flaggschiff für den innovativen Antrieb auf den Markt geht, soll die zweite Generation dazu dienen mehr Kunden für den Bereich der Brennstoffzelle zu akquirieren. Klares Ziel des Mirai II ist es neben bestechender Optik auch den Fahrspaß eines Brennstoffzellenfahrzeugs zu vermitteln.

Der Verkaufsstart für den Mirai II ist für Ende 2020 geplant. Zunächst ist der Verkauf auf die Länder Japan, Kanada und die USA beschränkt. Später soll dann auch der europäische Markt folgen. Nach eigenen Aussagen rechnet Toyota neben den Entwicklungen auf dem asiatischen und amerikanischen Markt auch in Europa mit einem starken Ausbau der Infrastruktur und dem damit einhergehenden Zuwachs der Anteile von Brennstoffzellenfahrzeugen. Die Fertigungskapazitäten für den Mirai II sollen demzufolge auf 30.000 pro Jahr erhöht werden. [42]

Mit Wasserstoff betriebene Brennstoffzellen–PKW sind eine Möglichkeit, motorisierten Individualverkehr, ohne die Emission von Treibhausgasen und anderen Luftschadstoffen zu gestalten. Bereits in den 1960er Jahren fanden erste Tests mit Brennstoffzellen–PKW statt. Inzwischen bieten einige große Automobilhersteller Serienfahrzeuge an, die sich im Hinblick auf die Funktionalität kaum von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren unterscheiden. [34] Vorreiter auf dem Gebiet sind die asiatischen Hersteller Toyota und Hyundai. So fertigt Toyota seit 2014 das Modell Mirai in Serie und hat 2019 die Marke von 10.000 produzierten Fahrzeugen durchbrochen. Im Jahr 2020 soll die zweite Generation des Toyota Mirai auf den Markt kommen. [35] Deutsche Automobilhersteller haben derzeit keine Brennstoffzellen–PKW in Serienfertigung im Portfolio. Lediglich Mercedes–Benz bietet mit dem GLC F–Cell ein Demonstrationsmodell in geringer Stückzahl an. [36] Die Anzahl der Brennstoffzellen–PKW lag Ende 2018 in Deutschland bei knapp 500. In den USA waren zu diesem Zeitpunkt bereits etwa 6000 Brennstoffzellen–PKW zugelassen. [37]

2.3.2 Omnibusse

Insbesondere in Großstädten spielt die Reduzierung der Schadstoffbelastung in der Luft eine wichtige Rolle. Ein Großteil der städtischen Luftschadstoffe hat im Verkehr ihren Ursprung. Die im öffentlichen Nahverkehr in Deutschland eingesetzten Busse fahren derzeit fast ausschließlich mit Dieselmotoren und tragen wesentlich zur Luftbelastung in den Städten bei. Neben batterieelektrisch betriebenen Bussen stellt der Einsatz von Brennstoffzellenfahrzeugen eine emissionsfreie Alternative zu konventionellen Bussen dar. [43] Nachdem deutsche Nahverkehrsunternehmen den Einsatz von Brennstoffzellenbussen in den vergangenen Jahren im Rahmen von Pilotprojekten immer wieder getestet haben (z.B. die Hamburger Hochbahn (2014)), leiten nun die ersten Betreiber die Teilumstellung ihrer Flotten ein. So hat die Regionalverkehr Köln GmbH (RVK) in diesem Jahr ihre Brennstoffzellenbusflotte um 35 auf insgesamt 37 Fahrzeuge erhöht. Neben dem belgischen Hersteller Van Hool hat sich auch der polnische Hersteller Solaris mit einem Brennstoffzellenbus auf dem europäischen Markt positioniert.

Tabelle 2–3 bietet eine Übersicht der aktuell am Markt verfügbaren Modelle der FC–Busse, welche im Detail in Anhang F aufgeführt sind. Nachfolgend wird beispielhaft der Urbino 12 hydrogen von Solaris mit Steckbrief vorgestellt.

Tabelle 2–3: Marktübersicht – FC–Busse

Hersteller	Fahrzeuge	Erhältlich 2020	Erhältlich 2025
Solaris	Urbino 12 hydrogen	ja, Serie	ja, Serie
Van Hool	A300 FC	ja, Serie	ja, Serie
Mercedes Benz	Citaro FC–Hybrid	nein, Pilot	ja, Serie (ab 2023)
Toyota	Sora	ja, Kleinserie (Japan)	ja, Serie
CaetanoBus SA (Brennstoffzellentechnik von Toyota)	H2.City Gold	ja, Kleinserie	ja, Serie

Solaris – Urbino 12 hydrogen

Key–Facts

H_2–Tank (Kapazität | Druckniveau): fünf Tanks mit insgesamt 37,5 kg I 350 bar

Batteriekapazität: 29,2 kWh

Reichweite: etwa 350 km

Aktueller Status

Der Urbino 12 hydrogen von Solaris wurde 2019 erstmals in Stockholm vorgestellt. Das als Wasserstoff–Plug–in–Hybrid konzeptionierte Fahrzeug verfügt über eine Reichweite von 350 km und einer elektrischen Antriebsleistung von 125 kW je Achse. Die insgesamt fünf Wasserstofftanks wurden auf dem Dach positioniert. [44]

In der Vergangenheit konnte Solaris bereits Erfahrungen mit Brennstoffzellen als Range Extender sammeln. Nun folgt mit dem Urbino 12 hydrogen das erste Serienmodell. Die Auslieferung von zwölf Brennstoffzellenfahrzeugen des Modells Urbino 12 hydrogen erfolgte erstmals im Jahr 2019 durch die Stadt Bozen. [45, 46]

Ausblick

Weitere Bestellungen des Urbino 12 hydrogen sind derzeit für die niederländische Provinz Zuid–Holland für das Jahr 2021 über 20 Fahrzeuge sowie für die Stadt Wien ab 2023 mit insgesamt zehn Fahrzeugen geplant. [47, 48]

2.3.3 Nutzfahrzeuge

Unter dem potenziellen Absatzmarkt „Nutzfahrzeuge" werden sowohl leichte Nutzfahrzeuge (LNF, <3,5t) als auch schwere LKW (SNF, >3,5t) betrachtet. Der LKW–Verkehr in Deutschland basiert derzeit in erster Linie auf Dieselantrieben. Alternative Antriebe spielen bislang kaum eine Rolle. Der Einsatz brennstoffzellenbetriebener Fahrzeuge im Schwerlastverkehr wird jedoch voraussichtlich schon in naher Zukunft stark zunehmen und kann einen Beitrag zur Reduktion der Treibhausgasemissionen des Sektors leisten. [49] Während im Bereich der leichten Nutzfahrzeuge bereits erste Serienmodelle verfügbar sind (z.B. der Kangoo Z.E. Hydrogen von Renault), befinden sich mit Brennstoffzellen angetriebene mittelschwere und schwere LKW derzeit noch in der Pilotphase. Allerdings haben inzwischen einige Hersteller den Start der Produktion von Brennstoffzellen–LKW für den Schwerlastverkehr angekündigt. Auch im Bereich der Brennstoffzellen–LKW scheinen Toyota und Hyundai der europäischen Konkurrenz einen Schritt voraus zu sein. So hat Hyundai angekündigt, noch im Jahr 2020 die ersten 50 LKW mit Brennstoffzellenantrieb in die Schweiz zu liefern. Dort plant der südkoreanische Konzern gemeinsam mit dem Konsortium H2 Mobility Schweiz den Aufbau einer wasserstoffbasierten Logistikinfrastruktur. Dazu sollen bis zum Jahr 2025 insgesamt 1600 LKW des angekündigten Modells H2 Xcient auf den schweizerischen Markt gebracht werden. [50] Für besonders viel Aufsehen hat in den vergangenen Jahren das amerikanische Unternehmen Nikola Motor gesorgt. Nikola Motor wird unter anderem von Bosch und CNH Industrial (Mutterkonzern der Nutzfahrzeugherstellers Iveco) jeweils mit Beträgen im dreistelligen Millionenbereich unterstützt und möchte mit dem Modell „Nikola One" schon im Jahr 2021 einen Brennstoffzellenbetriebenen LKW mit einer Reichweite von über 1.500 km auf den Markt bringen. [51]

Die nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht der verfügbaren und für 2025 angekündigten Fahrzeuge, welche im Detail in Anhang F aufgeführt sind. Nachfolgend wird beispielhaft für LNF das Modell KANGOO Z.E. (Hydrogen Version) von Renault und für SNF das Modell Xcient Fuel Cell von Hyundai vorgestellt,

Tabelle 2–4: Marktübersicht – FC–Nutzfahrzeuge (LNF und SNF)

LNF–Hersteller	Fahrzeuge	Erhältlich 2020	Erhältlich 2025
Renault	Kangoo Z.E. & Master Z.E. Hydrogen	Nein	ja, zunächst Kleinserie in Frankreich
Mercedes–Benz	Sprinter FC	nein, Konzeptfahrzeug	nicht bekannt
SNF–Hersteller	**Fahrzeuge**	**Erhältlich 2020**	**Erhältlich 2025**
Hyundai	Xcient Fuel Cell	nein, Pilot	ja, Kleinserie
Toyota & Hino	Profia FR1AWHG	nein, nur Japan	nicht bekannt
FAUN	BLUEPOWER	ja, Kleinserie	ja (Kleinserie)
Daimler Trucks & Volvo	Gen H2	Nein	ja, Kleinserie
Kenworth & Toyota	T680 (Hydrogen)	Nein	Kleinserie möglich
Nikola Motors & Iveco	Nikola One, Two, Tre	Nein	ja, Kleinserie

LNF–Beispiel: Renault – KANGOO Z.E. & MASTER Z.E. (Hydrogen Version)

Key–Facts

H_2–Tank (Kapazität | Druckniveau): zwei H_2–Tanks mit jeweils 2,1 kg I 700 bar

Batteriekapazität: 33 kWh

Reichweite: bis zu 370 km

Aktueller Status

Bei dem Renault Kangoo Z.E. bzw. Master Z.E. handelt es sich um einen Wasserstoff–Plug–in–Hybrid Kleintransporter. Die Brennstoffzelle fungiert in beiden Modellen als Range Extender. Sobald der Ladezustand der eingebauten Batterie ein Niveau von 80 % unterschreitet, erfolgt eine zusätzliche Energiezufuhr durch die eingebaute Brennstoffzelle zur Aufladung des Akkumulators bzw. zur Aufrechterhaltung des Ladezustandes. [52] Die Modelle Renault KANGOO Z.E. und MASTER Z.E. Kangoo sind ab einem Preis von 48.300 € erhältlich. [53]

Ausblick

Renault ist nach eigenen Aussagen mit 41,5 % Marktanteil bei Elektro–Nutzfahrzeugen in Europa einer der führenden Automobilhersteller im Bereich der leichten Nutzfahrzeuge. Mit dem Kangoo Z.E. und dem Master Z.E. jeweils in der Hydrogen–Version soll dieser Marktanteil am Markt gefestigt und ausgebaut werden. [54] Der Markteintritt und Serienfertigung ist für den Kangoo Z.E. im Jahr 2019 und für den Master Z.E. 2020 erfolgt.

SNF–Beispiel: Hyundai – Xcient Fuel Cell

Key–Facts

H_2–Tank (Kapazität | Druckniveau): sieben Tanks mit insgesamt 32,09 kg I 350 bar

Batteriekapazität: 73,2 kWh

Reichweite: 400 km

Aktueller Status

Bei dem Hyundai Xcient Fuel Cell handelt es sich um einen brennstoffzellenangetriebenen Schwerlast–LKW mit Brennstoffzellenantrieb. Im Jahr 2020 hat Hyundai die Lieferung der ersten 10 Modelle in die Schweiz angekündigt. Im Laufe des Jahres sollen 50 weitere Exemplare folgen. [55] Ein Einsatz auf dem deutschen Markt wird von Hyundai zunächst nicht angestrebt. Nach der erfolgreichen Einführung in der Schweiz soll jedoch der Vertrieb der Fahrzeuge auf weitere europäische Länder ausgeweitet werden.

Ausblick

Bis 2025 sollen insgesamt 1.600 Modelle in die Schweiz geliefert werden. [56] Aus der Kooperation von Hyundai und der Nation Schweiz soll eine Etablierung der Brennstoffzellentechnologie im Schwerlastverkehr erzielt werden.

Die Entwicklung einer Zugmaschine mit 1.000 km Reichweite ist bereits in Planung. Der Eintritt in europäische und amerikanische Märkte soll in den kommenden Jahren folgen. Hyundai formuliert mit dem Wasserstoff–Fahrplan ein klares Ziel für Konzern–Zukunft. Demnach sollen bis 2030 die Produktionskapazitäten auf 700.000 Fahrzeuge pro Jahr aufgestockt werden. Außerdem soll die Technologie abseits der Fahrzeugbranche auf andere Anwendungen übertragen werden. [56, 57]

2.3.4 Schienenfahrzeuge

Für nicht elektrifizierte Schienenstrecken ist der Einsatz von wasserstoffbetriebenen Zügen eine vielversprechende Option. [43] Ende 2018 wurde in Deutschland im Rahmen eines Pilotprojekts der weltweit erste Zug getestet, der ausschließlich mit Wasserstoff angetrieben wird. Seitdem verkehren zwei Brennstoffzellen–Züge des Herstellers Alstom im Regionalverkehr auf der Strecke zwischen Bremervörde, Cuxhaven und Bremen. Nachdem die Testphase erfolgreich abgeschlossen wurde, planen die zuständigen Verkehrsbetriebe Elbe–Weser alle 15 Dieseltriebwagen, die in ihrem Schienennetz aktuell noch eingesetzt werden, ab Dezember 2022 durch die Brennstoffzellen–Züge von Alstom zu ersetzen. [58] Auch der Rhein–Main–Verkehrsverbund plant den Austausch von Dieseltriebwagen und hat zu diesem Zweck 27 Brennstoffzellen–Züge bei Alstom bestellt. Alstom vermarktet seine Brennstoffzellen–Züge unter dem Namen „Coradia iLint".

Im Folgenden wird beispielhaft das Modell Coradia iLint von Alstom vorgestellt. Im Anschluss wird eine Tabelle mit weiteren Fahrzeugen aufgeführt (siehe hierzu auch Anhang F).

Tabelle 2–5: Marktübersicht – FC–SPNV

Hersteller	Fahrzeuge	Erhältlich 2020	Erhältlich 2025
Alstom	Coradia iLint	ja, Kleinserie	ja
Siemens Mobility	Mireo	nein, nur Batterie	ja
Tangshan	CRRC TRC	Nein, Pilot in China	nicht bekannt
BNSF Railway	HH20B	Nein, Pilot	nicht bekannt

Alstom – Coradia iLint

Key–Facts

H_2–Tank (Kapazität | Druckniveau): zwei Tanks à 90 kg I 350 bar

Batteriekapazität: 110 kWh

Reichweite: 600 bis 1.000 km

Aktueller Status

Der Coradia iLint von Alstom ist weltweit der erste wasserstoffbetriebene Personenzug im Linienverkehr. Nach erfolgreich absolvierten Tests wurden 2014 Verträge zu insgesamt 48 Personenzügen geschlossen. Unterzeichnende Bundesländer waren Niedersachsen und Hessen. [59] Im Jahr 2018 folgte die Zulassung für den Nahverkehr in Deutschland. Infolgedessen startete noch im selben Jahr der Pilotbetrieb auf der Strecke zwischen Cuxhaven, Bremervörde und Buxtehude. [58, 60–62]

Ausblick

Bis 2021 sollen in Nordrhein–Westfalen insgesamt 14 Brennstoffzellenfahrzeuge des Models Coradia iLint in Betrieb genommen werden. Auch Thüringen plant eine Einführung der Brennstoffzellentechnik im Nahverkehr. 2022 sollen 27 neue Personenzüge in Hessen dazukommen. Auf internationaler Ebene wurde für die kommenden Jahre ein Konzept zur Belieferung der Niederlande und der UK erarbeitet. [63]

2.3.5 Schiffe

Der maritime Sektor emittiert heute etwa 2,5 Prozent der weltweiten Kohlenstoffemissionen, was 940 Mt pro Jahr entspricht. Die Internationale Seeschifffahrtsorganisation (IMO) hat sich verpflichtet, die Emissionen bis 2050 um 50 Prozent oder mehr zu reduzieren, und es gibt mehrere Wege zur Dekarbonisierung. Dazu gehören der Ersatz der derzeitigen Bunkertreibstoffe durch LNG und die Verwendung von flüssigem Ammoniak oder wasserstoffbasierten E–Fuels anstelle der Verbrennung von Schiffstreibstoff auf größeren Schiffen und Wasserstoff–Brennstoffzellen auf kleineren Schiffen. [22] Der Einsatz von E–Fuels für den Schiffsverkehr stellt aus heutiger Perspektive die vielversprechendste Option zur Dekarbonisierung dar. Anders als im Flugverkehr ist auch der Einsatz von Wasserstoff–Brennstoffzellen für den Antrieb von Schiffen denkbar. Diese sind allerdings abhängig von der jeweiligen Anwendung. [22]

Jedoch sprechen auch gegen wasserstoffbetriebene Schiffe einige Gründe. Einerseits geschieht der Einsatz neuer Schiffe nur nach Vollendung der Nutzungsdauer alter Modelle. Diese liegt i.d.R. bei 30 Jahren, d.h. eine Erneuerung kompletter Flotten kommt erst in einigen Jahrzehnten in Frage. Weiterhin wird LNG bereits als relativ umweltfreundlicher Treibstoff angesehen und bisher besteht kein anerkanntes Regelwerk für den Einsatz von Wasserstoff und Brennstoffzellen auf Schiffen [22, 64].

Diesel–Brennstoffzellen–Hybridschiffe bieten eine gute Alternative für die Binnenschifffahrt, um den Technologiewechsel wirtschaftlich zu überbrücken. Für die Umrüstung auf einen weitestgehend emissionsfreien Antrieb für Schiffe können bestehende Dieselgeneratoren durch Brennstoffzellen ersetzt werden. Letzte Möglichkeit erscheint auch für den maritimen Bereich denkbar. Im Hochseebereich ist der Einsatz von Wasserstoff derzeit durch die Konkurrenz von Methanol als emissionsneutraler Treibstoff derzeit begrenzt. Methanol besitzt im Vergleich zu Wasserstoff bereits bestehende Transportverflechtungen und Lagerkapazitäten in den Häfen. [64]

Bereits einige Projekte entwickeln unter dem Cluster e4ships Konzepte für die Binnen– und Seefahrt. Die Brennstoffzellentechnologie kann hierbei für die Versorgung des Schiffantriebes oder des Bordstromes zum Einsatz kommen. Beispiele für mit Wasserstoff betriebenen Brennstoffzellenschiffe sind die Elektra in Berlin oder die Alsterwasser in Hamburg als Passagierschiff. Für künftige Anwendungen ist es essenziell integrierte Energiesysteme in den Häfen auszubauen. Dazu gibt es bereits erste Konzepte zur Gestaltung und Zusammenspiel von Logistikanlagen, der Nähe zu Industriezentren sowie der Produktion von Strom aus erneuerbaren Energien. [65]

Unter Anhang F werden drei Modelle bzw. Konzepte für wasserstoffbetriebene Schiffe vorgestellt.

2.3.6 Flugzeuge

Unter allen Endenergieverbrauchssektoren wies der Flugverkehr in den vergangenen Jahren den höchsten prozentualen Anstieg von Treibhausgasemissionen auf. Die Emissionen des Flugverkehrs in der EU sind im Zeitraum zwischen 2010 und 2016 um 25 % gestiegen. [43] Gleichzeitig stellt die Luftfahrt besonders hohe Anforderungen an die Eigenschaften des Treibstoffs. Insbesondere Gewicht und Volumen des mitgeführten Kraftstoffs spielen eine große Rolle und sollten möglichst gering sein. Dementsprechend müssen die eingesetzten Kraftstoffe sehr hohe gravimetrische und volumetrische Energiedichten aufweisen. Aufgrund der hohen Anforderungen an den Kraftstoff ist die Einführung neuer Antriebssysteme in der Luftfahrt auch langfristig nicht zu erwarten. [66] In Anbetracht dessen ist die Substitution von fossilem Kerosin durch synthetisch hergestellte Flüssigkraftstoffe auf absehbare Zeit die einzige Option, emissionsarmen Flugverkehr zu erreichen. [19, 68]

Für eine CO_2–Emissionen Senkung würden also sowohl der Wasserstoffantrieb als auch E–Fuels aus der direkten Luftaufnahme für eine vollständige Dekarbonisierung des Luftverkehrs sorgen.

Nichtsdestotrotz wäre der Wasserstoffantrieb für Mittel– und Kurzstreckenflugzeuge immer noch eine wirtschaftlichere Wahl als E–Fuels. Die auf herkömmlichen Treibstoff bezogenen Vermeidungskosten eines H_2–betriebenen Nahverkehrsflugzeug würden sich auf 40 bis 80 € pro Tonne CO_2 belaufen. Ein Regionalflugzeug hätte Vermeidungskosten von 90 bis 135 € pro Tonne CO_2. [11, 22]

Die Raffinerie Heide in Schleswig–Holstein hat im vergangenen Jahr einen Kooperationsvertrag über die Lieferung von synthetischem Kerosin mit der Deutschen Lufthansa und dem Flughafen Hamburg abgeschlossen. Demnach soll auf dem Gelände der Raffinerie Heide eine Pilotanlage entstehen, die bis zum Jahr 2025 fünf Prozent des am Flughafen Hamburg benötigten Flugzeugkraftstoffs synthetisch herstellt [67].

Unter Anhang F werden vier Modelle bzw. Konzepte aus dem Bereich der wasserstoffbetriebenen Flugzeuge vorgestellt.

2.4 Analyse der Wirtschaftlichkeit von FCEV

Wenn man die Wirtschaftlichkeit von FCEV gegenüber anderen Antriebsarten in der Mobilität wie konventionelle Verbrennern (engl. "Internal Combustion Engine", kurz: ICE), BEV und unterschiedlich ausgeprägten Hybrid–Varianten darstellt, hängt diese immer von der jeweiligen Perspektive und Motivation des Betrachters ab. Grundsätzlich kann man zwischen drei Perspektiven unterscheiden; Hersteller von FCEV, Inhaber und Nutzer. In vielen Fällen werden die Fahrzeuge auch von den Inhabern selbst genutzt, jedoch wird es zunehmend differenzierter, je mehr der wirtschaftliche Aspekt und Nutzen je Einheit in den Fokus gerät. Denn je größer die Flotten werden, umso mehr werden Aufgabenteilung und wirtschaftliche Optimierung relevanter.

Auch wenn die Automobilhersteller mit Blick auf die Kundengruppen z.B. den Kraftstoffverbrauch im Blick haben, so stehen hier vor allem die Herstellungskosten im Fokus. Die meisten Privatkunden werden sich auch in erster Linie an diesem Preis orientieren, wobei mit zunehmender Professionalisierung neben den Anschaffungskosten auch die Betriebskosten relevant werden. Ein Inhaber von Fahrzeugen, welcher professionellen Nutzern die Verwendung von FCEV anbietet, und auch ggf. selbst nutzt, sollte daher für die Kontrolle seiner Kosten die Gesamtkosten des Betriebs berücksichtigen (engl. Total Cost of Ownership, kurz: TCO). Beim TCO werden nicht nur die Anschaffungskosten, sondern auch die weiteren Aspekte der anschließenden Nutzung wie Treibstoffkosten, Reparatur und Wartung berücksichtigt.

Der TCO ist abzugrenzen von der Lebenszykluskostenrechnung (engl. Life–Cycle–Costing; kurz LCC), welche die Entwicklung eines Produkts von der Idee bis hin zur Entsorgung im Sinne des Produktlebenszyklus betrachtet. Im Falle des LCC sind die negativen Zahlungsströme über die gesamte Produktlebenszeit von Interesse und insbesondere aus volkswirtschaftlicher bzw. wirtschaftspolitischer Sicht relevant.

In diesem Kapitel des Gutachtens werden die TCO von PKW, LNF, Bussen und SPNV betrachtet, wobei jeweils die Kraftstoffe Diesel, Strom (BEV) und Wasserstoff (FCEV) dargestellt werden. Lediglich bei SNF wird nur der Vergleich zwischen Diesel und FCEV untersucht, da hierbei der Fokus auf LKW, Sattelschlepper gesetzt wurde. Die Mobilitätsbereiche Schiffe und Flugzeuge werden an dieser Stelle bei der TCO–Betrachtung nicht berücksichtigt, da die Datengrundlage diesbezüglich noch unzureichend ist und eine Abschätzung daher nicht aussagekräftig wäre.
Das Ziel dieser TCO–Betrachtung ist, dass abseits der Fördermaßnahmen und Beauftragung von FCEV von öffentlicher Hand und in der Wirtschaft auf Grund von Quoten und Vorschriften eine Aussage zur Konkurrenzfähigkeit von FCEV in erster Linie gegenüber Diesel–ICE, aber auch BEV treffen zu können.
Bei der Darstellung und Interpretation der Ergebnisse wird sich im Weiteren in der Beschreibung auf FCEV und Diesel reduziert. Dieses Vorgehen wurde neben der Umfangreduzierung auch deshalb gewählt, da FCEV voraussichtlich am wahrscheinlichsten den Diesel–ICE ersetzen wird und daher ein Vergleich dieser beiden Antriebsarten besonders relevant erscheint. FCEV spricht auf Grund der schnelleren Betankung und der höheren Reichweite gegenüber BEV eher die Diesel–ICE Kundengruppen mit dem bisherigen erlebten Mobilitätsversprechen an. Hierfür spricht, dass bei Umfragen zur Elektromobilität (BEV) gegen die Anschaffung im Privatbereich neben 49 % der Bundesbürger mit zu hohen Kosten gleich 47 % die Reichweite für zu geringhalten. Interessant ist in diesem Kontext für die Tankstelleninfrastruktur von FCEV, dass 39 Prozent monieren, dass die BEV–Ladestationen nicht gut erreichbar seien und es zu wenige gebe. [68, 69] Im Folgenden werden wir auf die hier angewendeten Rahmenbedingungen und Annahmen der TCO eingehen und anschließend die Ergebnisse vorstellen und interpretieren.

2.4.1 Rahmenbedingungen und Annahmen

Als wichtige Rahmenbedingung für den Hochlauf der FCEV und BEV wird in diesem Gutachten neben der Anpassung der Gesetzeslage und Fördermöglichkeiten eine progressive Zunahme des CO_2–Preises in der EU angenommen. Der Verlauf bis 2027 basiert auf Angaben des Vermittlungsausschusses zum Klimapaket und auf Annahmen des BMWi bis 2040 [70]. Der Verlauf von 2040 bis 2050 basiert auf der eigenen Annahme, dass der lineare Verlauf von 2037 bis 2040 weiterhin fortgesetzt wird.

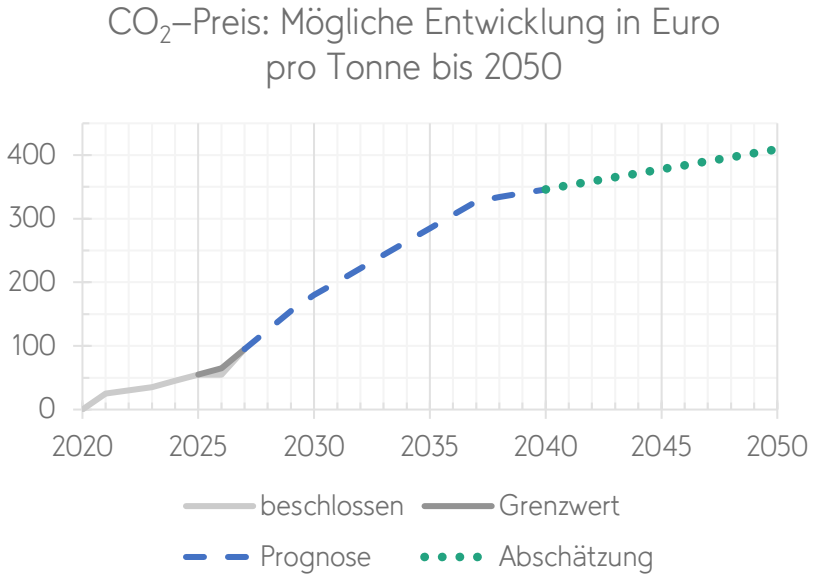


Abbildung 2–4: Darstellung der Entwicklung des CO_2–Preises in der EU von 2020 bis 2027 und Ausblick auf einen zu erwartenden Verlauf bis 2050 [70]

Dieser CO_2–Preisverlauf wurde zur Berechnung der Diesel–Kraftstoffpreise beim TCO berücksichtigt und an weiteren Stellen dieses Gutachten ebenso herangezogen. An dieser Stelle sei erwähnt, dass ohne eine signifikante CO_2–Preiserhöhung bis 2050 für die Wirtschaft aus betriebsgründen eine Verwendung von elektrischen Antrieben (BEV & FCEV) im Wettbewerb nachteilig ist. Gleiches gilt neben der nationalen und EU–Ebene auch für den internationalen Wettbewerb.

Alle Kostenabschätzungen in diesem Kapitel sowie im gesamten Gutachten berücksichtigen nicht einen möglichen Verlauf der Inflationszahlen im Eurowährungsraum von 2020 bis 2050.

Zur Berechnung des TCO wurden durchschnittliche Anschaffungskosten des Forschungszentrum Jülich [71] herangezogen. Ebenso wurden für Kraftstoffverbräuche, Basiskosten, Jahresfahrleistung und eine Abschätzung des Verlaufs mit Entwicklung diese Quelle verwendet. Bzgl. FCEV wurde auf die Kraftstoffverbräuche von Cerniauskas, S. [32] zurückgegriffen. Für die Kosten der Wartung und Instandhaltung wurden neben [71] auch [72–74] als Grundlage verwendet.

Zudem wurde von einer Zunahme der durchschnittlichen Personenkilometer bei gleichzeitiger Abnahme des Fahrzeugbestandes ausgegangen. Hierfür sprechen die Trends hin zu selbstfahrenden Autos und Routenoptimierung sowie die Abnahme des persönlichen Besitzes eines Automobiles, insbesondere im Bereich der PKW – in diesem Kontext wird gerne das Stichwort „Mobility–as–a–Service" sinnbildlich für den Wandel der Mobilität hin zum Serviceangebot des Dienstleistungssektors genannt.

Zur Berechnung des TCO wurden allgemein beschrieben die Investitionsausgaben (engl. Capital Expenditure, kurz: CAPEX) pro Jahr und Betriebskosten (engl. Operational Expenditure, kurz: OPEX) der Fahrzeuge für jeden zurückgelegten Kilometer ermittelt. Bei Multiplikation der OPEX pro Kilometer mit der durchschnittlich jährlich zurückgelegten Strecke je nach Fahrzeugklasse addiert mit den jährlichen CAPEX, ergibt sich das durchschnittliche TCO für die Fahrzeugklasse je nach Kraftstoff. Für CAPEX werden die Anschaffungskosten, Haltedauer, Anteil des Restwertes, Kalkulationszinssatz und Kfz–Steuer berücksichtigt. Die OPEX–Ermittlung benötigt als Parameter Kraftstoffverbrauch und –preis unter Berücksichtigung des CO_2–Preises, sowie Wartung und Instandhaltung, Basiskosten und die durchschnittliche Jahreslaufleistung je nach Fahrzeugklasse.

2.4.2 Ergebnisdiskussion

Bei der Diskussion der Ergebnisse wird das Hauptaugenmerk auf die TCO–Parität d.h. den Kurvenschnittpunkt von Diesel–ICE und FCEV gelegt. Abbildung 2–5 bis Abbildung 2–9 sind hierbei insofern gleich aufgebaut, dass die x–Achse die Jahre 2020 bis 2050 und die y–Achse die TCO–Kosten in Euro pro Jahr darstellt.

Wie Abbildung 2–5 zu entnehmen ist, kann man die TCO–Parität von Diesel und FCEV im Jahr um 2029 erkennen. Die Parität tritt auf Grund der wettbewerbsfähigen Treibstoffkosten und bereits erfolgten Kostensenkungen deutlich früher ein als bei LNF, Bussen, Zug oder SNF. Entsprechend dieser Reihenfolge treten nach dieser Betrachtung die weiteren TCO–Paritäten ein.
So ist in Abbildung 2–6 der Diesel–FCEV–Schnittpunkt von LNF um 2032 und in Abbildung 2–7 für Busse (ÖPNV) im Jahr 2034 zu erkennen. Das lässt sich dadurch erklären, dass der Entwicklungsstand von LNF–Systemen aktuell noch nicht so weit in der serienreifen Entwicklung sind wie PKW, jedoch sehr ähnlich bzgl. der Komponenten sind.
Da FC–Busse in der Stückzahl und Serienreife hinter den PKW liegen, folgen diese den LNF, welche wie besprochen vom System aus gesehen nahe beim PKW liegt. Hinzu kommt, dass die Dieselpreise bei (Linien–) Bussen aus steuerlichen Gründen ca. 14 % niedriger als beim PKW und LNF sind.

Die TCO–Parität für SPNV wird wie für Bussen um das Jahr 2034 erreicht (vgl. Abbildung 2–8). Jedoch wurden für den Vergleich BEV–Züge mit geringer Reichweite von ca. 60 km herangezogen. Die meisten BEV–SPNV–Systeme sehen aktuell primär noch eine Versorgung per Oberleitung vor. Somit ist der TCO–Verlauf in Abbildung 2–8 dem Verlauf reiner Oberleitungs–SPNV sehr ähnlich. Die zeitlich enge Korrelation von Bussen und SPNV kann auf die ähnlich ausgeprägte Nachfrage der öffentlichen Hand und einen vergleichbaren technischen Reifegrad zurückgeführt werden.

Die in Abbildung 2–9 dargestellte TCO–Parität für schwere Nutzfahrzeuge (SNF) im Jahr 2038 legt nahe, dass die zur THG–Minderung notwendigen nachhaltigen Fahrzeuge in den Jahren 2020 bis 2034 nur durch Quoten und Förderung zu erreichen sein. Hierbei erscheinen die Flottengrenzwerte (siehe Verordnung (EU) 2019/1242 in Kapitel 6.1) aktuell noch nicht ambitioniert genug. Die Abschätzung der TCO im Bereich der SNF kann aktuell noch nicht auf eindeutig gesicherten Daten aufgebaut werden und könnte sich durch die Dynamik von großen Flottenprojekten deutlich beschleunigen, wie die Bestellungen des Hyundai – Xcient mit 1.600 Stück bis 2025 und weitere Beispiele am Markt vermuten lassen.

Aus den Ergebnissen wird ersichtlich, dass der CO_2–Preis eine entscheidende Rolle bei der Einführung von Elektromobilität insgesamt – FCEV und BEV – spielt. Eine Änderung der CO_2–Preisentwicklung hat neben den Marktpreisen von fossilen Rohstoffen einen direkten Einfluss auf den Zeitpunkt der TCO–Parität.

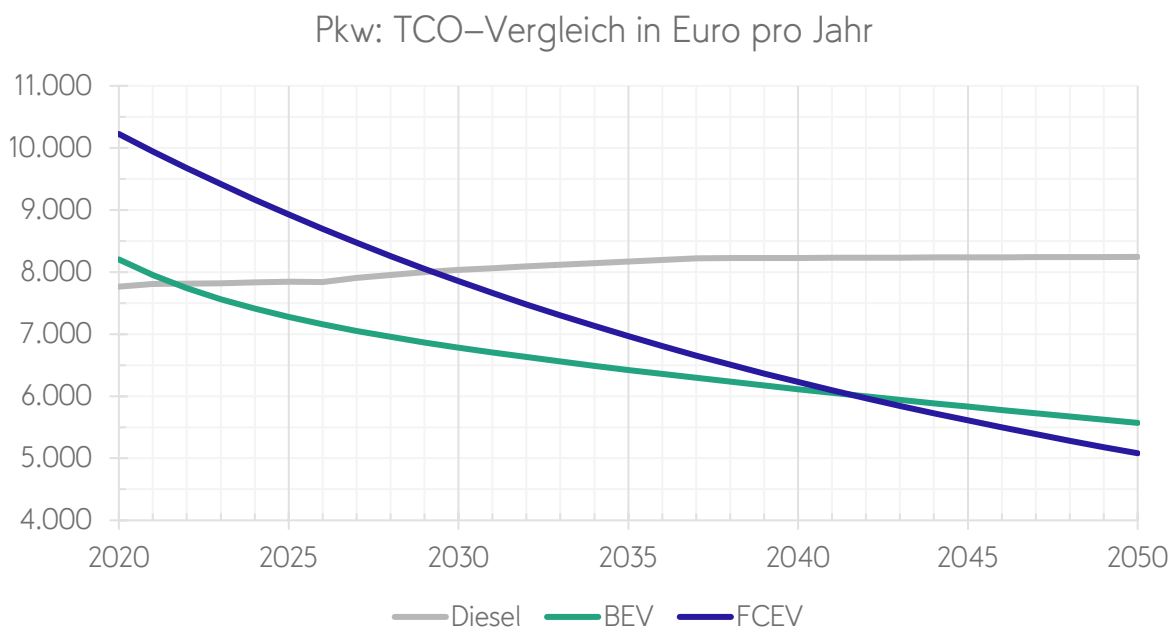


Abbildung 2–5: TCO–Vergleich von Pkw mit den Antriebsarten Diesel (ICE), BEV und FCEV in Euro pro Jahr im Zeitraum 2020 bis 2050

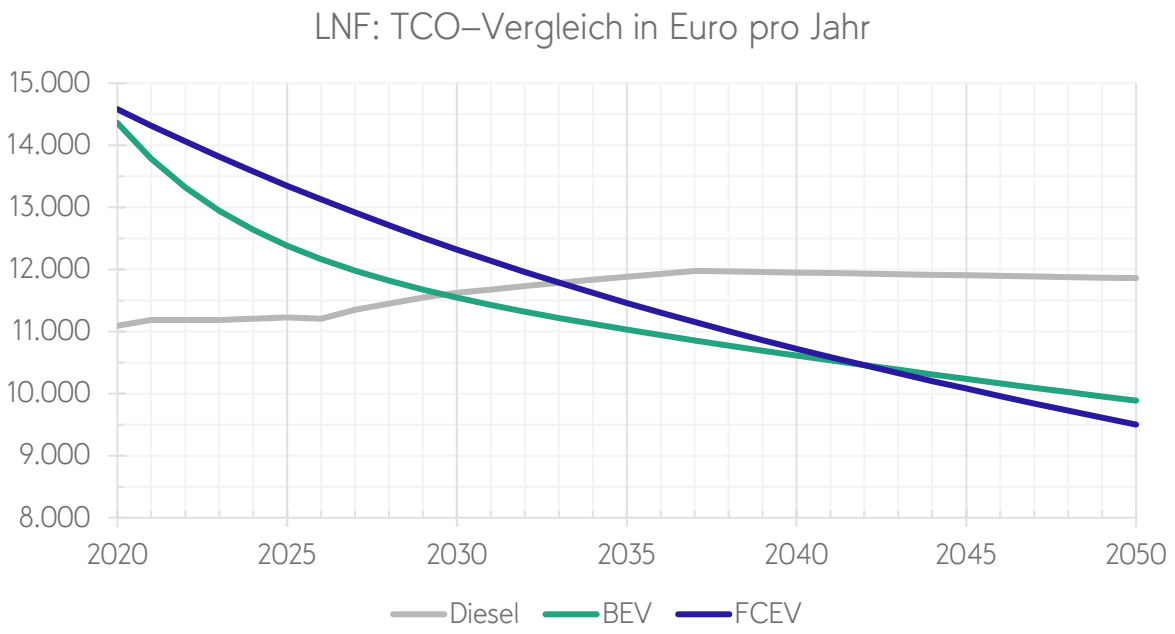


Abbildung 2–6: TCO–Vergleich von LNF mit den Antriebsarten Diesel (ICE), BEV und FCEV in Euro pro Jahr im Zeitraum 2020 bis 2050

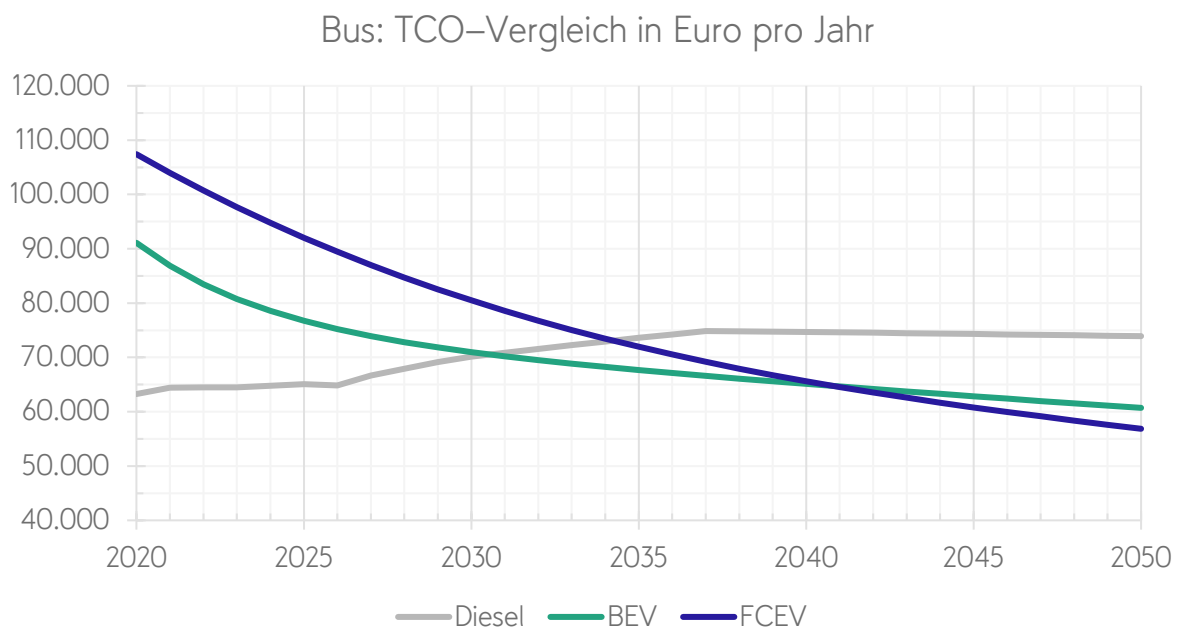


Abbildung 2–7: TCO–Vergleich von Bus (ÖPNV) mit den Antriebsarten Diesel (ICE), BEV und FCEV in Euro pro Jahr im Zeitraum 2020 bis 2050

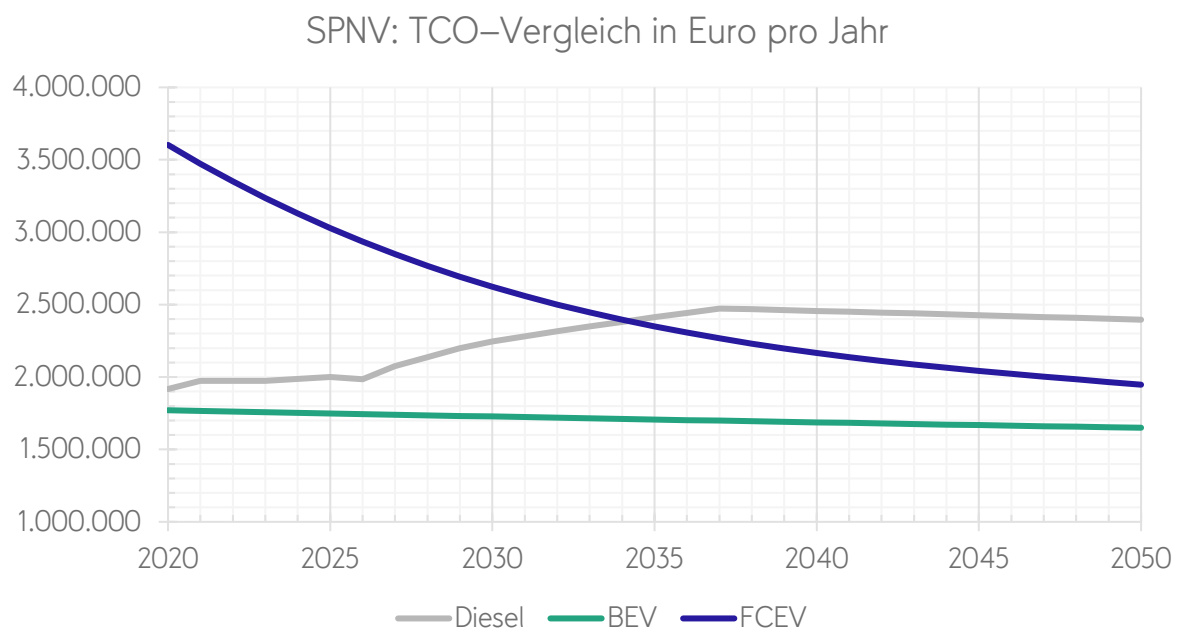


Abbildung 2–8: TCO–Vergleich von SPNV mit den Antriebsarten Diesel (ICE), BEV und FCEV in Euro pro Jahr im Zeitraum 2020 bis 2050

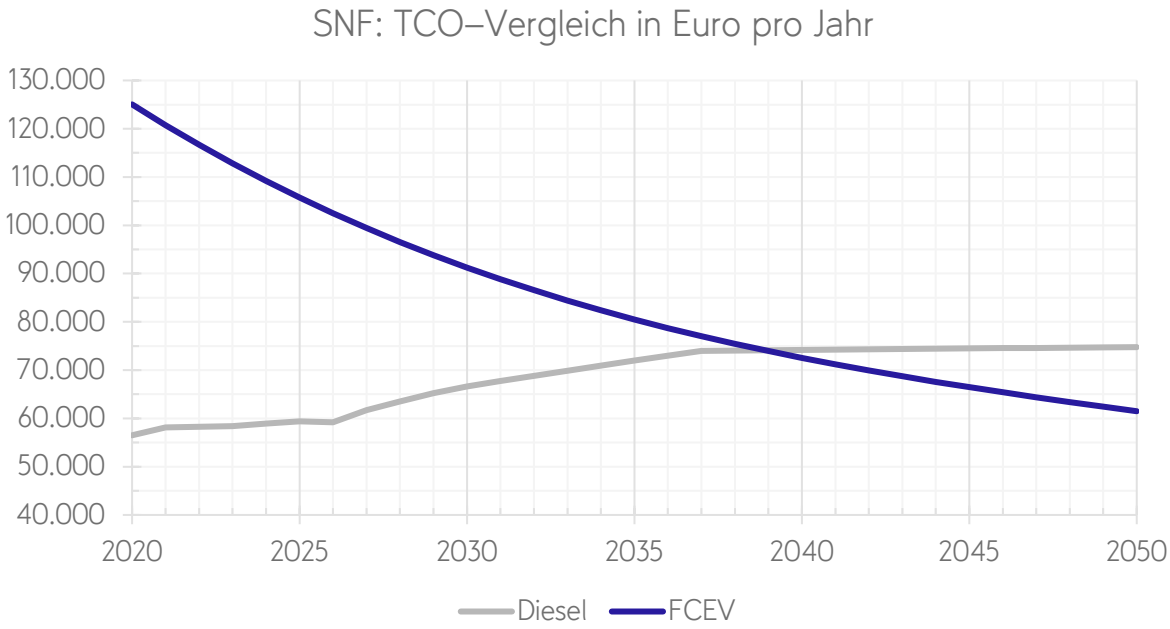


Abbildung 2–9: TCO–Vergleich von SNF mit den Antriebsarten Diesel (ICE) und FCEV in Euro pro Jahr im Zeitraum 2020 bis 2050

2.5 Workshop zur H_2–Mobilität in Schleswig–Holstein

Am 09. September 2020 haben die Energy Transition Consulting GmbH und die umlaut energy GmbH einen virtuellen Workshop zum Austausch über Potenziale der Wasserstoffmobilität und Anforderungen an Wasserstofftankstellen in Schleswig–Holstein durchgeführt, dessen Ergebnisse Eingang in dieses Gutachten finden. Neben den Ausrichtern haben hieran das Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung und das Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Arbeit, Technologie und Tourismus für das Land Schleswig–Holstein teilgenommen. Erweitert wurde der Expertenkreis um die folgenden Unternehmen und Verbände: Logistik Initiative Schleswig–Holstein e.V., hySOLUTIONS GmbH, NOW GmbH, Zentralverband Deutsches Kraftfahrzeuggewerbe e. V., TOYOTA, ORLEN Deutschland GmbH, GP Joule GmbH und H2 MOBILITY Deutschland GmbH & Co. KG.

Im Vorlauf des Workshops ist ein Fragebogen an die Teilnehmer versendet worden. Ein Ergebnis aus dem Rücklauf des Fragebogens zeigt Abbildung 2-6. Die zugehörige Frage lautete „Für welches Verkehrsmittel wird sich Wasserstoff aus ihrer Sicht zuerst durchsetzen?". Die teilnehmenden Personen hatten die Möglichkeit die im Diagramm genannten Antwortoptionen zu sortieren. Als Resultat ergab sich die dargestellte Rangreihenfolge, wobei die Spannbreite der abgebebenen Antworten über die eingezeichneten Fehlerbalken („Whisker") dargestellt ist. Eins („1") stellt die bestmögliche Platzierung dar. Wasserstoff wird aus Sicht der Teilnehmenden zuerst bei Bussen, schweren Nutzfahrzeugen und PKW gesehen. Der Flugverkehr und die Hochseeschifffahrt bilden die Schlusslichter. Auch im Bereich kommunaler Fahrzeuge werden schnelle Nutzungspotenziale gesehen.

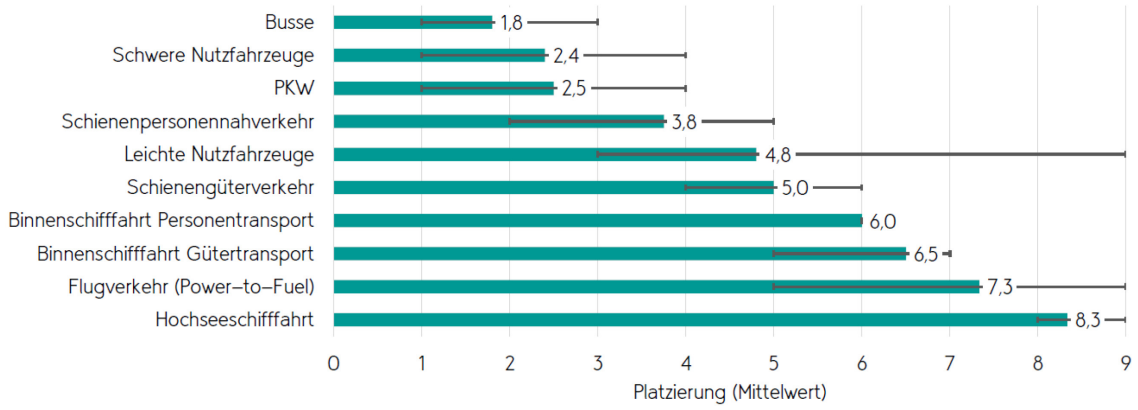


Abbildung 2-6: Rangreihenfolge und Bandbreite der abgegebenen Antworten auf die Frage „Für welches Verkehrsmittel wird sich Wasserstoff aus ihrer Sicht zuerst durchsetzen? (1 = beste Durchsetzung, 9 = schlechteste Durchsetzung)

Der Workshop selbst wurde durch kurze Impulsvorträge der teilnehmenden Organisationen und eine moderierte Diskussion gestaltet. Die Aussagen bezüglich der Anforderungen des Hochlauf von FCEV und der entsprechenden Infrastruktur der teilnehmenden Unternehmen und Verbände können auf die folgenden Punkte zusammengefasst werden:

Brennstoffzellenfahrzeuge

- Paralleler Markthochlauf PKW und LKW soll angestrebt werden, um gerade über absolut hohe Stückzahlen bei PKW–Skaleneffekte in der Brennstoffzellenproduktion zu realisieren
- Die öffentliche Hand sollte Vorreiter der Fahrzeugbeschaffung sein
- Betrachtung einer Mautbefreiung für Brennstoffzellen–LKW

H_2–Tankstellen

- Modular erweiterbare Tankstellen bauen, um heute den Grundstein für morgen zu legen

Förderung und Genehmigung

- Förderung der Beschaffungs– und Betriebskosten von H_2–Tankstellen sowie Brennstoffzellenfahrzeugen erforderlich
- Genehmigung und Inbetriebnahme von H_2–Tankstellen kann bis zu 2 Jahre dauern. Frühzeitige Schulung der Genehmigungsbehörden und Leitfaden zur Genehmigung wünschenswert

Die Ergebnisse finden Eingang in den Entwurf einer bedarfsorientierten Tankstelleninfrastruktur für Schleswig–Holstein in Kapitel 3.

2.6 Möglicher Einfluss der COVID–19–Pandemie auf die Marktdurchdringung von FCEV

Die COVID–19–Pandemie hat im Jahr 2020 und wird voraussichtlich auch noch zukünftig einen relevanten Einfluss auf die weltweiten Automobilhersteller einschließlich der dazugehörigen Supply–Chains haben. Zuvor von den Umstellungen der Transition hin zu Elektromobilität schon betroffen, erleben die Verbraucher aktuell eine bedeutende Krise und eine sich hierdurch abschwächende Nachfrage–Tendenz für die nächsten Jahre. Dies verstärkt die Unsicherheiten im Mobilitäts–Sektor allgemein und hat das Potential negative Auswirkungen auf die Weiterentwicklung von FCEV und die Angebot– und Produktionskapazitäten haben.

Welche Folgen die Pandemie für die weitere Entwicklung und Marktdurchdringung von Wasserstoffantriebstechnologien haben wird, hängt maßgeblich von folgenden vier Randbedingungen ab:

1. Anpassung der Kaufentscheidungen bei Kunden
2. Angebot und Produktionskapazitäten
3. Wirtschaftliche Stabilität der Automobilhersteller
4. Stimulierende Maßnahmen der Politik

Einerseits hat die Angst vor einer Ansteckung für die nahe und mittelfristige Zukunft die Menschen allgemein verunsichert, sodass öffentliche Verkehrsmittel voraussichtlich eher gemieden werden und eine Tendenz zum Umstieg auf das Privatauto entsteht. Als starkes Indiz hierzu kann die vermehrte Nutzung von Routenführungen auf dem Smartphone (siehe Abbildung 2–10) herangezogen werden, denn typischerweise wird dieses Hilfsmittel weniger bei der Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel verwendet.

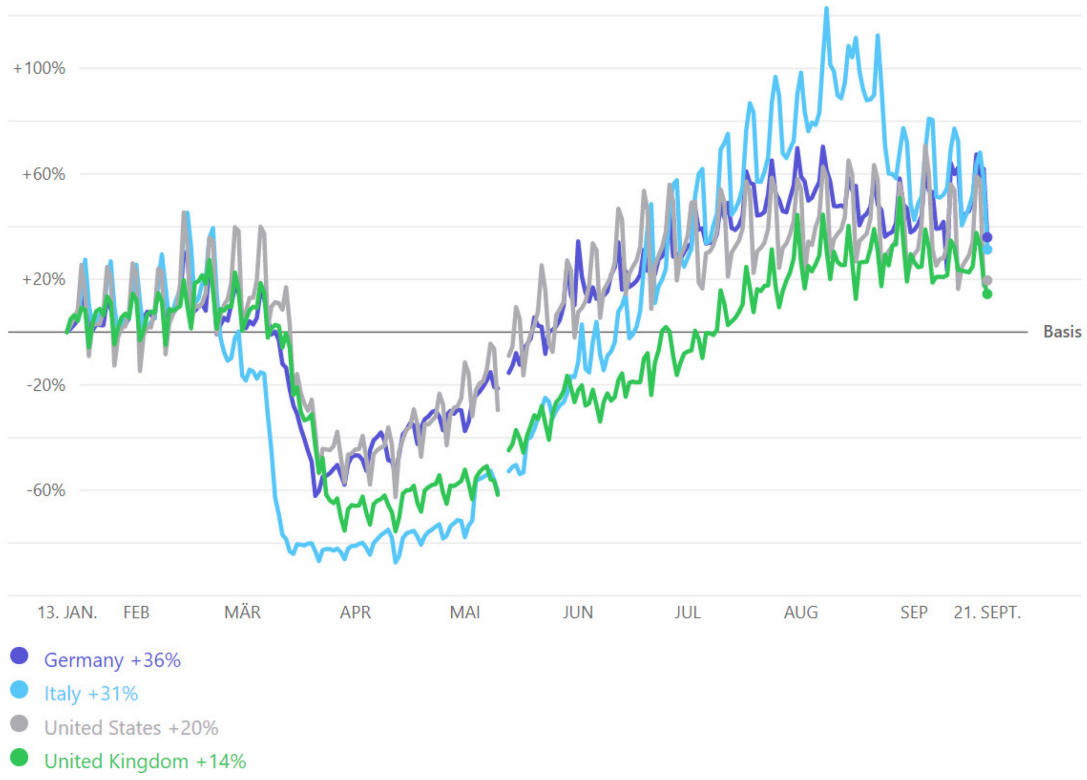


Abbildung 2–10: Änderung in den Anfragen zur Routenführung seit 13. Januar 2020 – Apple iOS – Maps [75]

Andererseits wird insgesamt die Lage bzgl. COVID–19 voraussichtlich dazu führen, dass in den nächsten Jahren weniger private PKW gekauft werden, da höhere Haushaltsausgaben aktuell verschoben werden. Zusätzlich führt das vermehrte Anbieten von Optionen für flexibleres Arbeiten und Homeoffice zu einem geringeren Bedarf an PKWs. Das Vertrauen der Kunden in die eigene wirtschaftliche Zukunft könnte von der Krise negativ beeinflusst werden. Diese Tatsache könnte das Verhältnis zwischen den wirtschaftlichen Faktoren und der Umweltfaktoren beim Kaufen eines neuen Fahrzeugs ändern und das Gleichgewicht zugunsten der wirtschaftlichen Aspekte verschieben.

Der Wasserstoffbedarf entfällt derzeitig zum größten Teil noch auf die Industrie (Raffinierung, Chemiesektor und Stahlherstellung), welche stark vom Ausbruch der Pandemie betroffen ist. Prognosen deuten auf einen geringeren Verbrauch von Benzin (–9%), Diesel (–6%) und Düsentreibstoff (–26%), während die Nachfrage nach wichtigen Chemikalien, die unter Verwendung von Wasserstoff hergestellt werden (z.B. Methanol), um 7% gesunken sind.
Auf der Herstellerseite werden große Automobilhersteller keine bedeutenden zusätzlichen wirtschaftlichen Lasten in Deutschland erfahren. Mit Kurzarbeitergeld konnte die sich schon vor der Krise andeutende niedrigere Nachfrage nach Fahrzeugen staatlich abgemildert werden. Kleinere Automobilunternehmen, Start–Ups und Pilotprojekte sind wesentlich stärker von der COVID–19–Krise betroffen und werden somit auch eher voraussichtlich noch länger auf staatliche Hilfen angewiesen sein, da eine Abnahme der Investitionsbereitschaft zu erwarten ist. [76]

Eine maximale Anwendung von Plattform– und Skaleneffekten wird im Bereich der Elektromobilität den größten Einfluss auf die Umstellung von Diesel–PKW und LKW und Bussen hin zu FCEV haben. Die COVID–19–Krise verdeutlich hierbei die Relevanz von Digitalisierung und der Automatisierung bei der Elektrifizierung des Antriebstrangs, welche Skaleneffekte verstärken und beschleunigen. Eine unmittelbare Ausweitung der Maßnahmen von Seite der Unternehmen der Automobilindustrie könnten die Zulassungszahlen von alternativ angetriebenen Fahrzeugen auf bis zu 1,4 Mio. im Jahr 2030 erhöhen. [77]

Der Wasserstoffbedarf entfällt derzeitig zum größten Teil noch auf die Industrie (Raffinierung, Chemiesektor und Stahlherstellung), welche stark vom Ausbruch der Pandemie betroffen ist. Prognosen deuten auf einen geringeren Verbrauch von Benzin (–9%), Diesel (–6%) und Düsentreibstoff (–26%), während die Nachfrage nach wichtigen Chemikalien, die unter Verwendung von Wasserstoff hergestellt werden (z.B. Methanol), um 7% gesunken sind.
Die positiven Trends bzgl. Herstellung und Nutzung kohlenstoffarmer Formen von Wasserstoff als Kraftstoff könnten zusätzlich durch die nachlassende Demonstration von Schlüsseltechnologien für die Endnutzung und Entwicklung neuer Projekte somit auch für die Mobilität gefährdet sein. [78] Insbesondere der Zubau von Elektrolyseuren, die aktuell die etablierte Technologie zur Erzeugung von grünem Wasserstoff darstellen, könnte von der COVID–19–Krise besonders negativ beeinflusst werden. Die sinkende Stromnachfrage und die damit verbundene höhere Netzflexibilität könnte den Zubau von Speichertechnologien wie die von den Elektrolyseuren zurückhalten, bis die Nachfrage vollständig wiederhergestellt ist.

Auf der Herstellerseite werden große Automobilhersteller keine bedeutenden zusätzlichen wirtschaftlichen Lasten in DE erfahren. Mit Kurzarbeitergeld konnte die sich schon vor der Krise entwickelnde niedrigere Nachfrage nach Fahrzeugen staatlich abgemildert werden. Schwächere OEMs, Start–Ups und Pilotprojekte sind wesentlich stärker von der COVID–19–Krise betroffen und werden somit auch eher voraussichtlich noch länger auf staatliche Hilfen angewiesen sein, da eine Abnahme der Investitionsbereitschaft zu erwarten ist. [76] Natürlich wäre auch eine flächendeckende Rettung aller Unternehmen, die von der Krise betroffen sind, nicht einfach realisierbar und vielleicht nicht zielführend. In diesem Zusammenhang wäre die Definition eines richtigen Maßes für die Rettung bestimmter Unternehmen schwierig. Die Unternehmen der Automobilindustrie können die

Transformation der Mobilität durch die Verfolgung langfristiger Maßnahmen vorantreiben. Unter anderem könnten die zunehmende Batterieentwicklung sowie die Reduzierung des Stromverbrauchs eine wichtige Rolle spielen. Zusätzlich wird der Wandel zu alternativen Antrieben von der Entwicklung und Ausbreitung der Infrastruktur weiter unterstützt.

Neben den regionalen und nationalen Wasserstoffstrategien unterstützt Deutschland weiterhin ambitioniert die Ziele der emissionsfreien Mobilität. Dabei spielt das von der Bundesregierung auf den Weg gebrachte Corona–Konjunkturprogramm eine wesentliche Rolle für die Förderung von BEVs, FCEVs und PHEVs für Privatkäufer. [79] Der Bundesanteil der Kaufprämie wird verdoppelt (für Fahrzeuge über 40.000 € von 2.500 auf 5.000 €) und die neu beschlossene Innovationsprämie findet bis zum 31.12.2021 Anwendung. Zusätzlich wird die Kfz–Steuer für PKW stärker an den CO_2–Emissionen ausgerichtet, indem neuzugelassene Fahrzeuge einer pro geleisteten Kilometer Bemessung ausgesetzt sind. Weiterhin werden Flottenaustauschprogramme für soziale Dienste regional frühzeitig verabschiedet, neue Investitionen in die Infrastruktur voraussichtlich veranlasst und der Mehrwertsteuersatz wird für die kommenden Monate von 19 % auf 16 % gesenkt. [79, 80] Hierdurch wird eine Kompensation des Nachfragerückgangs von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben erwartet. Durch diese Maßnahmen könnten bis zu 400.000 alternativ angetriebene Fahrzeuge neu zugelassen werden und somit die Transformation der Mobilität in Richtung alternativer Antriebe trotz der COVID–19–Krise beschleunigen – entgegen dem aktuell allgemeinen negativen Trend., FCEVs und PHEVs für Privatkäufer. [79] Dabei wird eine erhöhte Nachfrage von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben erwartet. Durch diese Maßnahmen könnten bis zu 400.000 alternativ angetriebene Fahrzeuge neu zugelassen werden und somit die Transformation der Mobilität in Richtung alternativer Antriebe trotz der COVID–19–Krise beschleunigen – entgegen dem aktuell allgemeinen negativen Trend.

Die COVID–19–Krise hat jedoch weiterhin das Potenzial die Entwicklung der Elektromobilität in Deutschland zu verlangsamen. Eine Reduzierung der zu erwartenden Zulassungen alternativ angetriebener Fahrzeuge von bis zu 500.000 Einheiten (ohne Konjunkturmaßnahmen) [77] ist auf die Auswirkungen der Pandemie zurückzuführen. Ohne staatliche Maßnahmen könnte somit eine Verspätung der Wirtschaftlichkeit (siehe TCO in Kapitel 2) von FCEV die Folge sein. Die Zulassungs–entwicklung von alternativ angetriebenen Fahrzeugen wird bis 2030 von der Politik jedoch weiterhin stark beeinflusst werden und unter Umständen durch die beschlossenen Maßnahmen sogar die Prognose für 2030 vor der COVID–19–Krise übersteigen. Neben der Politik und den Verbrauchern können allerdings auch die Unternehmen einen großen Beitrag zur Entwicklung der Nachfrage und der Zulassungszahlen von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben geltend machen.

2.7 Zusammenfassung

Die Untersuchung bezüglich der H_2–Nachfrageentwicklung in Schleswig–Holstein und Hamburg ergibt in allen drei betrachteten Szenarien – konservativ, basis und progressiv – zunächst eine politisch durch Gesetze, Vorschriften und Förderungen exponentielle Entwicklung. Ein Markthochlauf von FC–PKW erzeugt erst ab etwa 2030 signifikante Nachfragemengen, was sich auch mit dem Eintreten der Wirtschaftlichkeit (TCO) ab 2029 deckt. Dem gegenüber stehen jedoch aktuell noch wenige FC–PKW–Anbieter, welche ab dem Jahr 2025 serienreife Brennstoffzellenfahrzeuge bereitstellen können.

Der Schienenverkehr, Busse und leichte Nutzfahrzeuge spielen langfristig bezogen auf die Gesamtnachfrage in Schleswig–Holstein und Hamburg eher eine untergeordnete Rolle, sind jedoch entscheidend für den Hochlauf zu Beginn, da hierdurch initiale Nachfrage an den ermittelten Bedarfszentren bei Flottenbetreibern, Ballungszentren und Logistikzentren generiert wird und die FCEV–Produktion hochgefahren wird. Hierzu gibt es bereits Pilotprojekte für FCEV–Busse bei der Hamburger Hochbahn.
Der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) steht mit den Fahrzeugflotten der öffentlichen Hand durch die Clean Vehicle Directive unter Handlungsdruck.

Schwere Nutzfahrzeuge weisen in Form von LKW und Sattelzugmaschinen bis 2030 auf dieselbetriebenen Strecken bedeutendes Potential auf, wobei sich hier – geringes Potential in SH und Hamburg. Auch hier gibt es aktuell noch eine überschaubare Anzahl an Modelle am Markt. Eine Umrüstung von Bestandsfahrzeugen kann hier als Übergangslösung dienen.

Aus der wirtschaftlichen Analyse von FCEV wird ersichtlich, dass der CO_2–Preis eine entscheidende Rolle bei der Einführung von FCEV und BEV und somit der Elektromobilität allgemein spielt. Eine Anpassung an diesem Preis hat neben den Marktpreisen von fossilen Rohstoffen einen direkten Einfluss auf den Zeitpunkt der TCO aller Mobilitätsbereiche. Bei der TCO–Betrachtung gilt, wie auch beim Markthochlauf von FCEV, dass eine starke Abhängigkeit zu externen, politischen Rahmenbedingungen herrscht.

Die COVID–19–Krise wird auch nach dem Jahr 2020 noch ihre Spuren in der Wirtschaft hinterlassen, da die Kunden eine Anpassung der Kaufentscheidung vollziehen. Dem begegnet die Politik mit umfangreichen Konjunkturmaßnahmen, welche nach Auffassung von Experten sogar das Potential haben die negativen Folgen überkompensieren zu können.

Es muss beachtet werden, dass selbst bei erfolgreich anspringender Nachfrage bei gleichzeitigem niedrig bleibendem Angebot der Automobilhersteller voraussichtlich ein Lieferengpass zu erwarten ist, dem es vorausschauend mit einer Aktivierung der Hersteller zu begegnen gilt. Verbindliche politische Aussagen schaffen hierbei Planungssicherheit für die FCEV–Industrie allgemein, was wiederum die Bereitstellung serienreifer Fahrzeuge begünstigt und durch Skaleneffekte auch die Kosten senkt.

3 Entwurf einer bedarfsorientierten Mobilitäts–Planung der Wasserstoffinfrastruktur in Schleswig–Holstein

In diesem Kapitel soll auf Basis des potenziellen Wasserstoffbedarfs aus Kapitel 2 und bestehender Anforderungen an Tankstelleninfrastrukturen eine mögliche bedarfsorientierte Tankstelleninfrastruktur für Schleswig–Holstein aufgezeigt werden. Dazu werden auch bestehende Herausforderungen bei der Realisierung von Tankstellenprojekten identifiziert und mögliche Betreiberkonzepte zur Bewältigung aufgezeigt. Ausgangspunkt bilden die bestehenden und in der Realisierung befindlichen Wasserstofftankstellen in Schleswig–Holstein.

3.1 Bestehende und geplante Tankstelleninfrastruktur

In Schleswig–Holstein sind im September 2020 zwei Wasserstofftankstellen in Handewitt und Brunsbüttel in Betrieb, zwei Tankstellen in Niebüll und Husum in der Realisierung und eine Tankstelle in Westre in der Genehmigungsphase. Die zugehörigen Tankstellenprojekte wurden und werden von regionalen Akteuren jeweils in Kooperation mit der H2 Mobility Deutschland GmbH (H2 Mobility) vorangetrieben. Alle Tankstellen sollen noch innerhalb des Jahres 2020 in Betrieb gehen (vgl. Tabelle 3–1).

Tabelle 3–1: Bestehende und geplante H_2–Tankstellen in Schleswig–Holstein

Tankstelle	Standort	Phase	Druckniveau
Handewitt (Schleswig–Flensburg)	Shell Lecker Chaussee 36 24983 Flensburg	In Betrieb seit 2019	700 bar
Brunsbüttel (Dithmarschen)	Holstendamm 25572 Brunsbüttel	In Betrieb seit 2019	700 bar
Husum (Nordfriesland)	Andreas–Clausen–Straße 3 25813 Husum	Inbetriebnahme November 2020	700 & 350 bar
Niebüll (Nordfriesland)	Ostring 2b 25899 Niebüll	Inbetriebnahme Oktober 2020	700 & 350 bar
Westre (Nordfriesland)	Grenzstraße 1 25926 Westre	Inbetriebnahme Dezember 2020	700 bar

Die erste Wasserstofftankstelle Schleswig–Holsteins im nordfriesischen **Handewitt** entstand auf Initiative des Flensburger Vereins EES (Erneuerbare Energien und Speicher), um die Lücke zwischen Wasserstofftankstellen im Hamburg und dem dänischen Kolding zu schließen. Kolding liegt ca. 90 km nördlich der dänischen Grenze. Diese von der H2 Mobility GmbH betriebene Tankstelle war Voraussetzung für heute ca. 15 entlang der dänischen Grenze betriebene Brennstoffzellenfahrzeuge und wird Stand 2020 mit einem Gemisch aus grünem und grauem Wasserstoff beliefert [81].

Die Wasserstofftankstelle der Wind to Gas Energy GmbH & Co. KG in **Brunsbüttel** nutzt grünen Wasserstoff aus einer angeschlossenen Elektrolyseanlage, die mit Windstrom versorgt wird. Auf diese Weise wird die Abregelung der Windenergieanlagen aufgrund von Netzengpässen reduziert. An der ebenfalls von der H2 Mobility GmbH betriebenen Tankstelle können bis zu 12 PKWs pro Stunde betankt werden [82].

Die Tankstellen in **Husum** und **Niebüll** sind in das sogenannte eFarm–Konzept der federführenden GP Joule GmbH integriert. Die eFarm bündelt die Erzeugung von grünem Wasserstoff an fünf Standorten

mit jeweils 225 kW installierter Elektrolyseleistung, den Transport mittels sieben mobilen Wasserstoffspeicher–Containern und die Betankung von zwei ÖPNV–Bussen. Die Inbetriebnahme der Tankstellen ist für Oktober bzw. November 2020 geplant. [83] Die Tankstellen werden von der eFarming GmbH & Co. KG betrieben.

Eine fünfte Tankstelle ist in **Westre** von der Windpark Ellhöft GmbH & Co. KG geplant, welche sich in der Genehmigung befindet. Der grüne Wasserstoff wird mittels Elektrolyse vor Ort erzeugt. Zur Wasserstofferzeugung wird der verwendete Strom aus einer von vier verbleibenden Windkraftanlagen des Windparks Ellhöft genutzt [84]. Die Tankstelle wird von der Windpark Ellhöft GmbH & Co.KG betrieben.

Die fünf Tankstellen sind bzw. werden in die Online–Plattform der H2 Mobility GmbH integriert, so dass an allen Tankstellen mit einer H2 MOBILITY Card Wasserstoff getankt werden kann.

Über die bereits beschriebenen Tankstellen hinaus befinden sich weitere Projekte in einer frühen Konzeptphase. So wird in Neumünster die Errichtung einer Wasserstofftankstelle für zu Beginn 20 Brennstoffzellen–LKW geplant. Das Konsortium umfasst die Handelsunternehmen Edeka und Netto, die MBA Neumünster, die Speditionen Christian Carstensen und Herbert Voigt, den Fachgroßhändler Henry Kruse, das Bauunternehmen Ernst Krebs sowie Clean Logistics und das Beratungshaus Hypion [85]. In Kiel denkt GP Joule perspektivisch den Aufbau einer H_2–Schiffstankstelle und eine Betankungsmöglichkeit für die Hafenbahn an [83]. Und auch die Tankstellenkette Anton Willer GmbH & Co. KG plant in Kiel eine Wasserstofftankstelle [86].

Abbildung 3–1 zeigt die in Betrieb befindlichen und geplanten Wasserstofftankstellen. Neben den fünf namentlich genannten Tankstellen in Schleswig–Holstein sind vier Tankstellen in Hamburg in Betrieb und drei Tankstellen geplant.

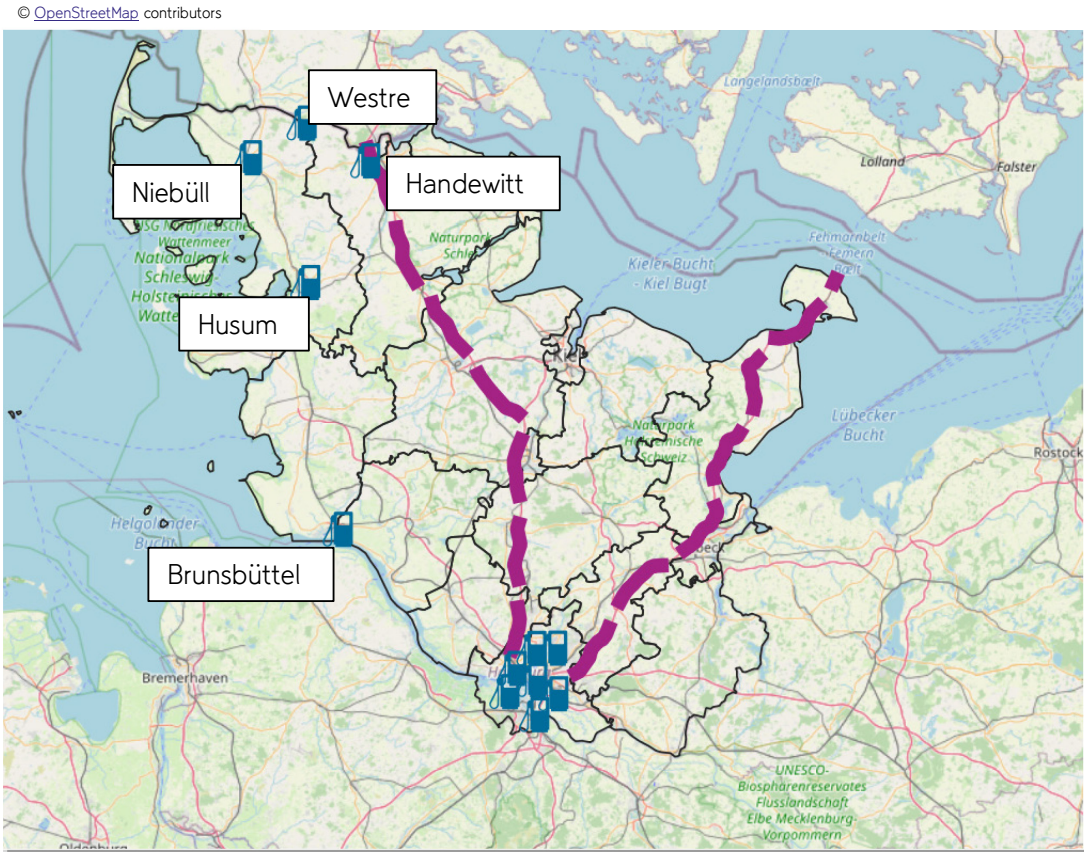


Abbildung 3–1: Bestehende und bis Ende 2020 realisierte Wasserstofftankstellen (Stand: September 2020)

3.2 Anforderungen verschiedener Stakeholder

Die Anforderungen an eine Tankstelleninfrastruktur unterscheiden sich je nach betrachteter Akteurs– bzw. Stakeholdergruppe. Im Folgenden werden wesentliche Anforderungen von Wasserstofftankstellenbetreibern und –kunden sowie des Landes Schleswig–Holstein dargelegt.

Wesentliche Anforderung von Tankstellenbetreibern an die Tankstelleninfrastruktur ist der wirtschaftliche Betrieb der einzelnen Tankstellen. Im Einzelfall können zwar idealistische Motive überwiegen, im Allgemeinen jedoch müssen die durch den Verkauf des Wasserstoffs erzielten Einnahmen unter Berücksichtigung eventueller Förderungen die Ausgaben übersteigen. Auf den Aspekt „Wirtschaftlichkeit von Wasserstofftankstellen" geht das Gutachten ausführlich in Kapitel 4 ein.

Die Anforderung der Tankstellenkunden lässt sich nach Fahrzeugkategorie unterscheiden. Fahrer privater und gewerblicher Brennstoffzellen–PKW bzw. leichter Nutzfahrzeuge (LNF) verlangen nach einem dichten und flächendeckenden Tankstellennetz, um möglichst ohne Umwege nahe am Wohnort oder der Betriebsstätte tanken zu können. Im Gegensatz dazu benötigen die mehr oder minder an feste Routen gebundenen schweren Nutzfahrzeuge (SNF) oder auch Busse wenige Tankstellen an strategisch gut in den Betriebsablauf integrierten Orten [87]. So werden (Diesel–)Busse im Linienbetrieb heute im Regelfall auf Betriebshöfen getankt, wo eine zeit– und ressourcenschonende Integration des Tankvorgangs in den Betriebsablauf möglich ist. So können die Fahrzeuge beispielsweise parallel zum Tankvorgang gereinigt und gewartet werden. Auch die Betankung von Zügen erfolgt an einzelnen Endstationen oder Netzknotenpunkten, an denen längere Standzeiten keine Auswirkungen auf den Betriebsablauf verursachen. Die Anforderung der Tankstellenkunden lässt sich nach Fahrzeugkategorie unterscheiden. Fahrer privater und gewerblicher Brennstoffzellen–PKW bzw. leichter Nutzfahrzeuge (LNF) verlangen nach einem dichten und flächendeckenden Tankstellennetz, um möglichst ohne Umwege nahe am Wohnort oder der Betriebsstätte tanken zu können. Im Gegensatz dazu benötigen die mehr oder minder an feste Routen gebundenen schweren Nutzfahrzeuge (SNF) oder auch Busse wenige Tankstellen an strategisch gut in den Betriebsablauf integrierten Orten [87]. So werden (Diesel–)Busse im Linienbetrieb heute im Regelfall auf Betriebshöfen getankt, wo eine zeit– und ressourcenschonende Integration des Tankvorgangs in den Betriebsablauf möglich ist. So können die Fahrzeuge beispielsweise parallel zum Tankvorgang gereinigt und gewartet werden. Auch die Betankung von Zügen erfolgt an einzelnen Endstationen oder Netzknotenpunkten, an denen längere Standzeiten keine Auswirkungen auf den Betriebsablauf verursachen.

Das Land Schleswig–Holstein in Person des Ministeriums für Justiz, Europa und Verbraucherschutz (MJEVG) wünscht darüber hinaus explizit geeignete Tankstellenstandorte für den grenzüberschreitenden Schwerlastverkehr nach Skandinavien entlang des sogenannten „STRING–Korridors" von Hamburg bis Oslo. Im Rahmen eines Pilotprojektes sollen die Kohlendioxidemissionen des Schwerlastverkehrs reduziert werden. Für Schleswig–Holstein betrifft dies die Bundesautobahnen A1 und A7. Eine detaillierte Analyse mit dem Titel „Initiale Wasserstofftankstelleninfrastruktur für Brennstoffzellen–LKW in der STRING Region" findet sich in Robinius & Gillessen (2020) [88].

3.3 Aktuelle Herausforderungen bei der Realisierung von Wasserstofftankstellen

Zentrale Herausforderungen sind zurzeit die geringe Wasserstoffnachfrage und damit einhergehende geringe Auslastung und Wirtschaftlichkeit der Wasserstofftankstellen, ein schneller technischer Fortschritt, die Verfügbarkeit geeigneter Flächen und die komplexe Regulatorik.

Der noch geringe Bestand an Brennstoffzellenfahrzeugen und die damit einhergehende geringe Wasserstoffnachfrage und Auslastung der Tankstellen erschweren den wirtschaftlichen Betrieb von Tankstellen und hemmen daher die Investition in Tankstellen. Andererseits hemmt eine fehlende Tankinfrastruktur ebenfalls die Investition in Brennstoffzellenfahrzeuge. In diesem Fall wird auch vom Henne–Ei–Problem der Wasserstoffmobilität gesprochen. Die Auslastung der Wasserstofftankstellen für Brennstoffzellen–PKW der H2 Mobility GmbH liegt heute noch unter 5 % [89]. Der noch geringe Bestand an Brennstoffzellenfahrzeugen und die damit einhergehende geringe Wasserstoffnachfrage und Auslastung der Tankstellen erschweren den wirtschaftlichen Betrieb von Tankstellen und hemmen daher die Investition in Tankstellen. Andererseits hemmt eine fehlende Tankinfrastruktur ebenfalls die Investition in Brennstoffzellenfahrzeuge. In diesem Fall wird auch vom Henne–Ei–Problem der Wasserstoffmobilität gesprochen. Die Auslastung der Wasserstofftankstellen für Brennstoffzellen–PKW der H2 Mobility GmbH liegt heute noch unter 5 % [89].

Ein weitere Herausforderung rund um die Investition in und den Betrieb von Tankstellen liegt in der schnellen technologischen Weiterentwicklung der Tankstellenkomponenten, so dass gebaute Tankstellen nach zwei bis drei Jahren bereits technisch überholt sind [89]. Eine Ursache hierfür liegt in den bisher geringen produzierten Stückzahlen und einer damit verbundenen Kleinserienproduktion, die dynamisch auf geänderte technische Anforderungen und Verbesserungen reagieren kann. Eine großskalige Serienproduktion mit entsprechenden Skaleneffekten ist bisher nicht etabliert. Dies schlägt sich neben den erforderlichen Investitionen je Tankstelle auch in den Betriebs– und Wartungskosten sowie der technischen Verfügbarkeit der Anlagen nieder. Fällt eine Tankstelle aus betrifft dies heute üblicherweise mehrere Fahrzeuge, da heute nur in vereinzelten Ballungsgebieten, wie z.B. Hamburg, Ausweichtankstellen für Fahrer von Brennstoffzellenfahrzeugen verfügbar sind.

Zusätzlich stellt die Verfügbarkeit von Flächen in geeigneter Lage eine Herausforderung dar. Geeignete Lagen zeichnen sich durch ein hohes Verkehrsaufkommen von (Brennstoffzellen–)fahrzeugen aus. Ein solches findet sich regelmäßig an Standorten konventioneller Tankstellen für Benzin– und Dieselkraftstoff, da deren Standortentscheidung auf dem gleichen Kriterium beruht. Dies ist nur ein Grund weshalb z.B. die H2 Mobility GmbH regelmäßig Wasserstofftankstellen an Standorten von Shell, Total oder OMV aufstellt und betreibt.

Zuletzt soll die komplexe Genehmigungssituation als aktuelle Herausforderung bei der Realisierung von Wasserstofftankstellen genannt werden. Auf diesen Aspekt geht Kapitel 4 des Gutachtens ausführlich ein.

3.4 Betreiberkonzepte

Für Wasserstofftankstellen können die in Tabelle 3–2 aufgeführten zwei Betreiberkonzepte unterschieden werden, wobei die Übergänge in der Praxis fließend sein können. Das Konzept „Flexible Nachfrage" ohne vertraglich gesicherte Grundauslastung, das in den letzten Jahren häufig umgesetzt wurde, verliert zunehmend an Bedeutung, während das Konzept „Grundauslastung" mit eben solcher Grundauslastung zunehmend an Bedeutung gewinnt.

Tabelle 3–2: Wesentliche Merkmale heute üblicher Betreiberkonzepte für Wasserstofftankstellen

	Flexible Nachfrage	Grundauslastung
Grundauslastung vertraglich gesichert	Nein	Ja
Typischer Betreiber	H2 Mobility GmbH	Lokale / Regionale Initiative
Fläche	Konventionelle Tankstelle	Kommunale Flächen, Flächen von Akteuren der Wasserstoffprozesskette
Zielgruppe	PKW und LNF	PKW, LNF sowie SNF
Druckniveau	700 bar	700 & 350 bar
Payment über H2 Mobility GmbH	Ja	Ja

Das **Betreiberkonzept „Flexible Nachfrage"** ist typisch für den bisherigen Aufbau der ersten öffentlichen, flächendeckenden Wasserstoffinfrastruktur für Brennstoffzellen–PKW durch die H2 Mobility GmbH. Das Unternehmen plant bis Ende des Jahres 2020 insgesamt 100 und bis Ende 2023 insgesamt 400 H_2–Tankstellen für PKW realisiert zu haben. Dazu koordiniert, plant, baut und betreibt die H2 Mobility GmbH Wasserstofftankstellen in insgesamt sieben deutschen Ballungszentren (Hamburg, Berlin, Rhein–Ruhr, Frankfurt, Nürnberg, Stuttgart und München) und entlang der verbindenden Fernstraßen und Autobahnen. Tankkunden der H2 Mobility GmbH erhalten eine H2 Mobility Card, mit der Sie an allen zugehörigen Wasserstofftankstellen in Deutschland tanken können. Auch nicht direkt von der H2 Mobility GmbH betriebene Wasserstofftankstellen können, in die zur H2 Mobility Card gehörende Payment–Lösung integriert werden. Die Tankstellen werden typischerweise auf konventionellen Tankstellenstandorten der konventionellen Tankstellenbetreiber Shell, TOTAL und OMV ohne vertraglich gebundene Abnehmer betrieben.

Gefördert werden die Tankstellen durch Mittel des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff– und Brennstoffzellentechnologie (NIP), der Europäischen Kommission durch das Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (FCH 2 JU) im Projekt Hydrogen Mobility Europe (H2ME) und der Europäischen Kommission durch das trans–European Transport Network (TEN–T CEF) im Projekt Connecting Hydrogen Refueling Stations (COHRS) [90]. Gefördert werden die Tankstellen durch Mittel des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff– und Brennstoffzellentechnologie (NIP), der Europäischen Kommission durch das Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (FCH 2 JU) im Projekt Hydrogen Mobility Europe (H2ME) und der Europäischen Kommission durch das trans–European Transport Network (TEN–T CEF) im Projekt Connecting Hydrogen Refueling Stations (COHRS) [90].

Das Betreiberkonzept „Grundauslastung" unterscheidet sich vom Betreiberkonzept „Flexible Nachfrage" im Wesentlichen durch die Schaffung einer gesicherten Grundauslastung der Wasserstofftankstellen, indem Verträge mit sicheren Abnehmern fixiert werden. Auch die H2 Mobility GmbH verschiebt ihren Schwerpunkt zunehmend in Richtung dieses Konzepts [89]. Auf diese Weise kann das unternehmerische Risiko der Investition in eine Wasserstofftankstelle deutlich reduziert werden. Solche Abnehmer können Flottenbetreiber im öffentlichen Personennahverkehr, LKW–Logistiker, Betreiber kommunaler Flotten, Taxibetriebe, usw. mit einer planbaren Nachfrage sein. Das Betreiberkonzept „Grundauslastung" unterscheidet sich vom Betreiberkonzept „Flexible Nachfrage" im Wesentlichen durch die Schaffung einer gesicherten Grundauslastung der Wasserstofftankstellen, indem Verträge mit sicheren Abnehmern fixiert werden. Auch die H2 Mobility GmbH verschiebt ihren Schwerpunkt zunehmend in Richtung dieses Konzepts [89]. Auf diese Weise kann das unternehmerische Risiko der Investition in eine Wasserstofftankstelle deutlich reduziert werden. Solche Abnehmer können Flottenbetreiber im öffentlichen Personennahverkehr, LKW–Logistiker, Betreiber kommunaler Flotten, Taxibetriebe, usw. mit einer planbaren Nachfrage sein.

Als Tankstellenstandorte dienen zumeist kommunale Flächen, wie z.B. Betriebshöfe, oder Standorte beteiligter Akteure der Wasserstoffprozesskette. Ein Beispiel für letzteres ist die bestehende Wasserstofftankstelle in Brunsbüttel, die auf dem Betriebsgelände der Covestro AG steht. Prinzipiell ist jeder Standort in geeigneter (Nachfrage bietender) Lage mit ausreichend Platz und Stromanschluss für eine Wasserstofftankstelle geeignet, sofern auch die Akzeptanz in der lokalen Bevölkerung gesichert ist. Seitens der Anwohner von Wasserstofftankstellen bestehen bisher geringe Vorbehalte, wie die Projekte HyTrust und HyTrustPlus gezeigt haben [87]. Ein dezidiertes Kommunikationskonzept und Akzeptanzmonitoring wird dennoch empfohlen [4].

Über die Grundauslastung hinaus können z.B. PKW die Auslastung der Tankstelle weiter erhöhen. Durch softwareseitige Integration der Tankstelle in eine verbreitete Payment Lösung, wie z.B. von der H2 Mobility GmbH, kann die Abrechnung der Tankvorgänge erfolgen. Für die Grundlast gilt, dass diese in vielen Fällen über Busse oder Nutzfahrzeuge erzeugt werden kann, die heute üblicherweise mit 350 bar Wasserstoff betankt werden. Die darüberhinausgehende Nachfrage von PKW oder leichten Nutzfahrzeugen fällt auf 700 bar Druckniveau an. Für den Ausbau der Tankstelleninfrastruktur bedeutet dies die Wahl von kombinierten Tankstellen für sowohl 350 bar als auch 700 bar Brennstoffzellenfahrzeuge. Eine Standardisierung aller Fahrzeugtypen auf z.B. 700 bar Wasserstoff ist aus heutiger Sicht nicht absehbar.

Angemerkt sei, dass konventionelle Tankstellen im Durchschnitt knapp 1 Mio. € Umsatz durch Shop–Artikel generieren [91]. Die Integration eines Shops in Form eines Ladenlokals oder eines Automaten kann auch im Betreiberkonzept „Grundauslastung" zusätzliche Umsätze generieren. Eine weitere Möglichkeit zur Generierung zusätzlicher Umsätze bietet die Kombination der Wasserstofftankstelle mit E–Ladesäulen für batterieelektrische Fahrzeuge an Multi–Energie–Tankstellen. Angemerkt sei, dass konventionelle Tankstellen im Durchschnitt knapp 1 Mio. € Umsatz durch Shop–Artikel generieren [91]. Die Integration eines Shops in Form eines Ladenlokals oder eines Automaten kann auch im Betreiberkonzept „Grundauslastung" zusätzliche Umsätze generieren. Eine weitere Möglichkeit zur Generierung zusätzlicher Umsätze bietet die Kombination der Wasserstofftankstelle mit E–Ladesäulen für batterieelektrische Fahrzeuge an Multi–Energie–Tankstellen.

Im Land Schleswig–Holstein können die bestehenden Tankstellen in Handewitt und Brunsbüttel eher dem Betreiberkonzept „Flexible Nachfrage" und die geplanten Tankstellen in Niebüll, Husum und Westre eher dem Betreiberkonzept „Grundauslastung" zugeordnet werden.

3.5 Bedarfsorientierten Ausbau von Wasserstofftankstellen in Schleswig–Holstein

Wasserstoffmobilität benötigt eine leistungsfähige Tankstelleninfrastruktur Bis zum Jahr 2050 ist daher der Aufbau eines flächendeckenden Tankstellennetzes, vergleichbar mit dem heutigen konventionellen Tankstellennetz, anzustreben. Bis dahin gilt es mit möglichst wenigen bedarfsorientierten – und dadurch gut ausgelasteten und somit wirtschaftlich betreibbaren – Tankstellen eine möglichst flächendeckende Versorgung zu gewährleisten. Auf Basis des Wasserstoffbedarfs gemäß Basisszenario aus Kapitel 2 ergibt sich die in Abbildung 3–2 dargestellte Tankstelleninfrastruktur für das Jahr 2025. Der bis Ende 2020 erwartete Bestand an Wasserstofftankstellen (vgl. Kapitel 3.1) in Schleswig–Holstein ist in blau standortgenau eingetragen. Nicht öffentlich zugängliche ÖPNV–Tankstellen für 350 bar Betankungen auf Busbetriebshöfen finden sich in Schleswig–Holstein bis 2025 nicht, wenn die Wasserstoffnachfrage über alle Busunternehmen verteilt wird. Die durchschnittlich 1 – 2 Busse je Unternehmen können an öffentlich zugänglichen Wasserstofftankstellen tanken, auch wenn dies aus Sicht des Betriebsablaufs nicht optimal ist und nur eine Übergangslösung darstellt. Diese Tankstellen sind entsprechend zur Betankung von 350 bar und 700 bar Brennstoffzellenfahrzeugen auszustatten, so dass neben PKW auch Busse und Nutzfahrzeuge betankt werden können. Trifft z.B. ein Busunternehmen jedoch die unternehmerische Entscheidung eine größere Fahrzeugzahl auf Brennstoffzellenantrieb umzustellen, kann sich die Errichtung einer eigenen Wasserstofftankstelle auf dem Betriebshof lohnen.

Die öffentlichen Tankstellen sind in Abbildung 3–2 türkisfarben für jeden Kreis bzw. jede kreisfreie Stadt eingezeichnet, wobei das Symbol der jeweiligen Kreisstadt zugeordnet wurde. Für jeden Kreis bzw. jede kreisfreie Stadt sind zwei Ziffern angegeben, die erste Ziffer nennt die Anzahl an Tankstellen der Größe „M" (siehe Kapitel 3), die zweite Ziffer die Anzahl zusätzlicher Tankstellen der Größe „S". Die angegebene Kombination aus Tankstellen der Größe „M" und „S" sichert die maximal mögliche Auslastung der Tankstellen unter Berücksichtigung des bereits bestehenden Tankstellenbestandes für das Basisszenario. Auf diese Weise wird die Chance auf einen wirtschaftlichen Tankstellenbetrieb erhöht. Wird die Zugstrecke des AKN mit dem Wartungsstandort Kaltenkirchen auf Wasserstoffantrieb umgerüstet, so ist auf Basis der Bedarfsanalyse aus Kapitel 2 in Kaltenkirchen eine Zugtankstelle mit einer Nenn–Abgabe von täglich ca. 2.000 kg erforderlich.

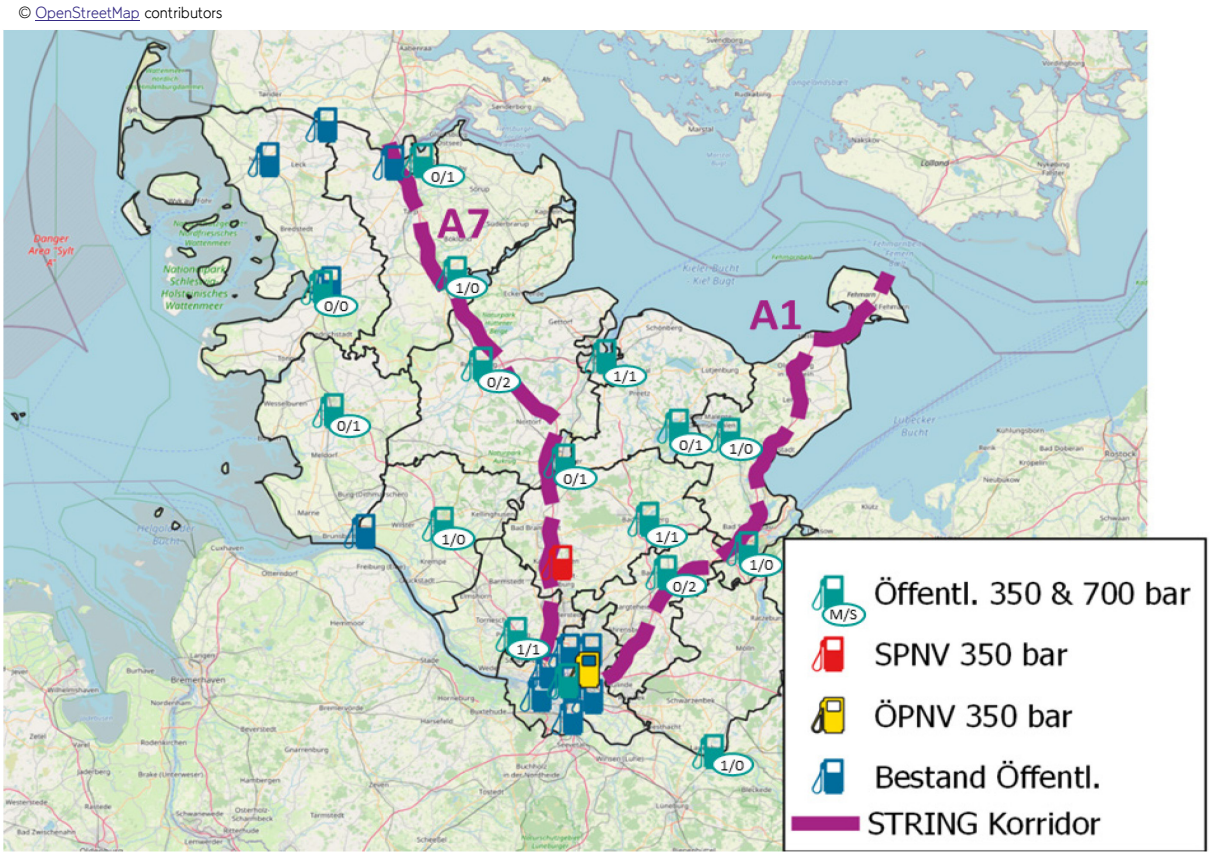


Abbildung 3–2: Entwurf einer effizienten bedarfsorientierten Tankstelleninfrastruktur im Jahr 2025 für das Basisszenario. Die Zifferangaben an öffentlichen Tankstellen beschreiben den Ausbaubedarf der M (500 kg H_2 / d) bzw. S (300 kg H_2 / d) Tankstellen zwischen den Jahren 2021 und 2025 je Kreis bzw. kreisfreie Stadt.

Für Schleswig–Holstein ergibt sich im Basisszenario für das Jahr 2025 neben den fünf Bestandstankstellen ein Ausbaubedarf von mindestens acht öffentlichen Tankstellen der Größe „M" und elf öffentlichen Tankstellen der Größe „S". Hinzu kommt eine Zugtankstelle. Die Gesamtzahl der Wasserstofftankstellen beträgt somit 25 Tankstellen.

Abbildung 3–3 erweitert den Zeithorizont und zeigt die korrespondierende bedarfsorientierte Tankstelleninfrastruktur für das Jahr 2030, wobei die Zifferangaben an den türkisfarbenen öffentlichen Tankstellensymbolen den gesamten Ausbaubedarf zwischen 2021 und 2030 je Kreis bzw. kreisfreier Stadt und nicht die Differenz zwischen 2025 und 2030 angeben. So wie zur Ermittlung der Tankstelleninfrastruktur für das Jahr 2025 der Bestand im Jahr 2020 als gegeben angesehen wird, wird für das Jahr 2030 die ermittelte Infrastruktur im Jahr 2025 als gegeben angesehen.

Die Ergebnisse der Bedarfsanalyse aus Kapitel 2 zeigen sowohl für Kiel und Lübeck als auch Stormarn bei Hamburg signifikante Wasserstoffbedarfe von Busunternehmen mit ca. 180 – 230 kg Wasserstoffbedarf. Hier kann sich die Errichtung jeweils einer Wasserstofftankstelle im Busdepot lohnen, was den Wasserstoffbedarf an den öffentlichen Tankstellen der Region entsprechend reduziert. Solche Depottankstellen sind aufgrund des Betriebsablaufs und Platzbeschränkungen typischerweise nicht öffentlich zugänglich. Der zahlenmäßige Ausbaubedarf an öffentlichen Tankstellen ergibt sich im Basisszenario für den Zeitraum von 2021 bis zum Jahr 2030 zu mindestens 29 Tankstellen der Größe „M" und 18 Tankstellen der Größe „S".

© OpenStreetMap contributors

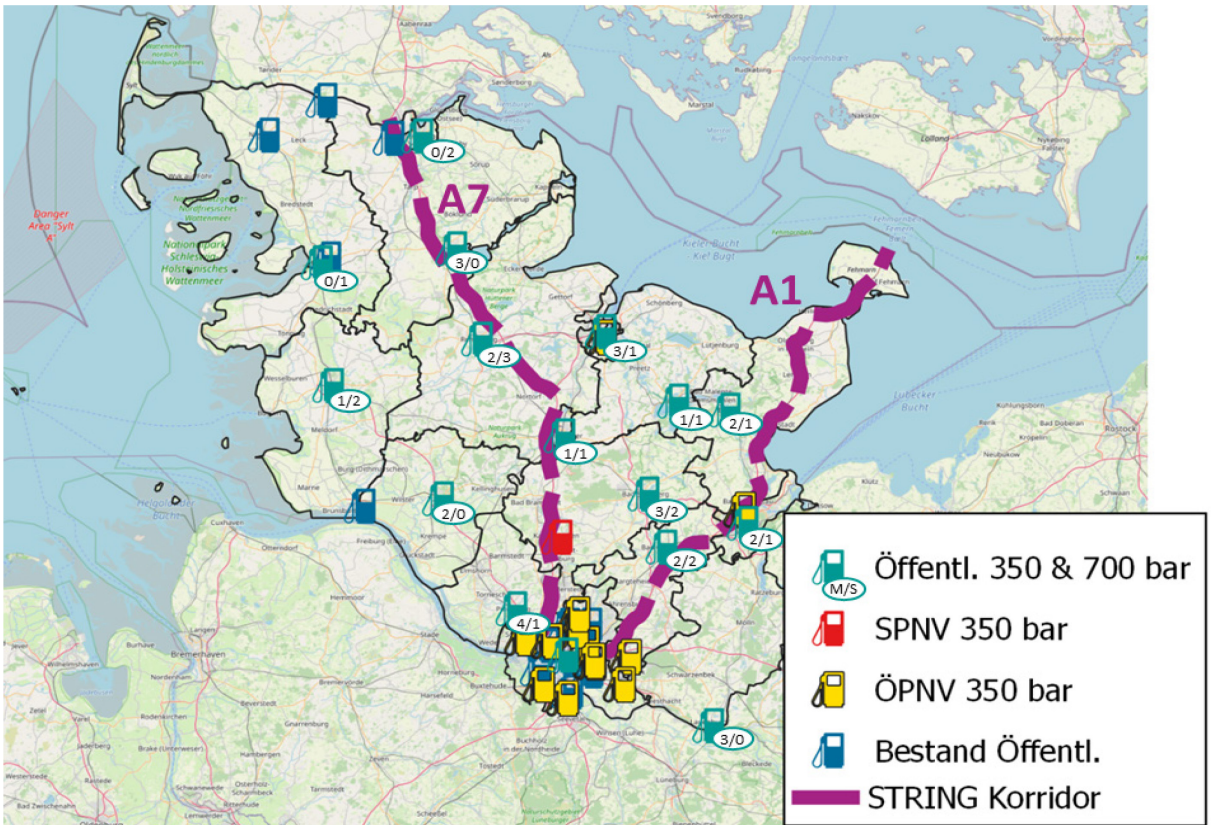


Abbildung 3–3: Entwurf einer effizienten bedarfsorientierten Tankstelleninfrastruktur im Jahr 2030 für das Basisszenario. Die Zifferangaben an öffentlichen Tankstellen beschreiben den (Gesamt–)Ausbaubedarf der M (500 kg H_2 / d) bzw. S (300 kg H_2 / d) Tankstellen zwischen den Jahren 2021 und 2030 je Kreis bzw. kreisfreier Stadt.

Tabelle 3–3 stellt die Ergebnisse für jeden Kreis bzw. jede kreisfreie Stadt noch einmal tabellarisch dar und zeigt die erzielbare durchschnittliche Auslastung für die Jahre 2025 und 2030. Diese bessert sich von im Mittel ca. 81 % im Jahr 2025 auf ca. 94 % im Jahr 2030. Wichtig zu beachten ist, dass sich die bestimmte Auslastung auf die Entwicklung des Wasserstoffbedarfs im Basisszenario aus Kapitel 2 bezieht.

Wird statt des Basisszenarios das progressive Szenario betrachtet, erhöht sich die benötigte Zahl benötigter Tankstellen der Größe „M" bis 2030 auf 62 Stück und benötigter Tankstellen der Größe „S" auf 20 Stück. Die Aufschlüsselung auf die einzelnen Kreise bzw. kreisfreien Städte findet sich in Tabelle 3–4. Die durchschnittliche Auslastung der Tankstellen liegt im Jahr 2025 bei ca. 87 % und im Jahr 2030 bei ca. 96 % und damit etwas höher als im Basisszenario.

Tabelle 3–3: Ausbaubedarf an öffentlichen (Straßen–)Tankstellen als Anzahl je Kreis bzw. kreisfreier Stadt im Basisszenario für die Jahre 2025 und 2030. Zusätzliche Angabe der zugehörigen Tankstellenauslastung.

Kreis bzw. kreisfreie Stadt	2020	2021 – 2025		2021 –> 2030		Ø Auslastung	
	S	M	S	M	S	2025	2030
Flensburg	0	0	1	0	2	63 %	91 %
Kiel	0	1	1	3	1	90 %	94 %
Lübeck	0	1	0	2	1	99 %	95 %
Neumünster	0	0	1	1	1	80 %	85 %
Dithmarschen	1	0	1	1	2	69 %	85 %
Herzogtum Lauenburg	0	1	0	3	0	93 %	92 %
Nordfriesland	3	0	0	0	1	45 %	99 %
Ostholstein	0	1	0	2	1	80 %	94 %
Pinneberg	0	1	1	4	1	93 %	95 %
Plön	0	0	1	1	1	84 %	95 %
Rendsburg–Eckernförde	0	0	2	2	3	97 %	93 %
Schleswig–Flensburg	1	1	0	3	0	79 %	100 %
Segeberg	0	1	1	3	2	83 %	95 %
Steinburg	0	1	0	2	0	65 %	95 %
Stormarn	0	0	2	2	2	98 %	98 %
Summe	**5**	**8**	**11**	**29**	**18**	**81 %**	**94 %**

Mit Blick auf den STRING–Korridor zwischen Hamburg und Oslo sind besonders die für den Schwerlastverkehr relevanten Bundesautobahnen 1 und 7 von Hamburg Richtung Fehmarn bzw. Flensburg zu beachten. Eine Analyse des Schwerlastverkehrs auf Basis der letzten Verkehrsmengenzählung aus dem Jahr 2015 [92] zeigt für die A1 durchschnittlich 6.720 Fahrzeuge je 24 Stunden mit einem Minimum von 4.685 Fahrzeugen an der letzten Zählstelle vor Dänemark und einem Maximum von 8.738 bei Neumünster. Für die A1 ergibt sich ein Mittelwert von 5.275 Fahrzeugen mit einem Minimum von 1.588 Fahrzeugen bei Heiligenhafen und einem Maximum von 11.946 Fahrzeugen bei Hamburg. Im Vergleich zur A1 ist die A7 deutlich gleichmäßiger ausgelastet, auf der A1 ist die Achse Hamburg – Lübeck signifikant höher frequentiert als die Achse Lübeck – Heiligenhafen. Unter Beachtung des Aspekts, dass Tankstellen für einen wirtschaftlichen Betrieb möglichst gut auszulasten sind und Brennstoffzellen–Nutzfahrzeuge über Reichweiten von über 400 km [56] verfügen, eignen sich der bestehende Standort in Handewitt bei Flensburg an der A7 und ein neuer Standort bei Lübeck an der A1 besonders als Standorte für Wasserstofftankstellen entlang des STRING–Korridors. Diese sind zur Betankung

relevanter Nutzfahrzeugzahlen nach Möglichkeit in Größe „M" zu realisieren, um eine zuverlässige Betankungsmöglichkeit auch für schwere Nutzfahrzeuge zu bieten.

Zur Kostenreduktion kann es sinnvoll sein, multimodale Betankungsmöglichkeiten, also für mehrere Fahrzeugklassen, vorzusehen. Der Begriff kann z.B. sowohl die kombinierte Betankungsmöglichkeit von ausschließlich straßengebundenen PKW und Nutzfahrzeugen umfassen als auch die kombinierte Betankungsmöglichkeit von Straßen– und Schienenfahrzeugen oder Straßen– und Wasserfahrzeugen. Neben der Nutzung gemeinsamer technischer Komponenten, wie Speicherbehälter für Wasserstoff, zur Reduzierung der Investitionskosten besteht auch die Möglichkeit einer gemeinsamen Beschaffung bzw. Anlieferung des Wasserstoffs, um über größere Abnahmemengen einen besseren Wasserstoff–bezugspreis auszuhandeln. Eine Schiffstankstelle ist z.B. in Kiel geplant (vgl. Kapitel 3.1), so dass auch hier abhängig von den örtlichen Gegebenheiten der Tankstelle die Möglichkeit einer multimodalen Tankstelle zu prüfen ist. Diese kann auch die zugehörige Hafenbahn umfassen.

Tabelle 3–4: Ausbaubedarf an öffentlichen (Straßen–)Tankstellen als Anzahl je Kreis bzw. kreisfreier Stadt im progressiven Szenario für die Jahre 2025 und 2030. Zusätzliche Angabe der Tankstellenauslastung.

Kreis bzw. kreisfreie Stadt	2020	20–1 – 2025		2021 –> 2030		Ø Auslastung	
	S	M	S	M	S	2025	2030
Flensburg	0	1	0	2	0	63 %	98 %
Kiel	0	2	1	6	1	87 %	96 %
Lübeck	0	2	0	5	0	84 %	95 %
Neumünster	0	1	0	2	1	84 %	96 %
Dithmarschen	1	1	0	2	3	91 %	100 %
Herzogtum Lauenburg	0	2	0	4	2	81 %	97 %
Nordfriesland	3	1	0	2	1	74 %	97 %
Ostholstein	0	1	1	4	1	85 %	96 %
Pinneberg	0	2	1	7	2	99 %	97 %
Plön	0	1	0	3	0	83 %	90 %
Rendsburg–Eckernförde	0	2	0	6	1	99 %	96 %
Schleswig–Flensburg	1	1	1	5	2	99 %	97 %
Segeberg	0	2	1	7	1	90 %	96 %
Steinburg	0	0	2	2	3	92 %	91 %
Stormarn	0	1	2	5	2	95 %	98 %
Summe	**5**	**19**	**9**	**62**	**20**	**87 %**	**96 %**

3.6 Zusammenfassung

- 350 & 700 bar H_2–Tankstellen für sowohl Busse und SNF als auch PKW und LNF benötigt
- Im Basisszenario garantiert Ausbau um 29 öffentliche H_2–Tankstellen der Größe „M" und 18 öfftl. Tankstellen der Größe „S", 3 nicht öfftl. zugängliche Tankstellen auf Busbetriebshöfen und eine Zugtankstelle die flächendeckende Versorgung bis 2030
- Die öffentlichen Tankstellenstandorte Handewitt und Lübeck eignen sich zur Abdeckung des STRING–Korridors
- Heute typisches Betreiberkonzept zum erfolgreichen Bau und Betrieb einer Wasserstofftankstelle
    1. Schaffung sicherer Wasserstoffabnahme (z.B. durch vertragliche Bindung von Flottenbetreibern)
    2. Sicherung der Fläche
    3. Schaffung zusätzlicher, unsicherer Wasserstoffabnahme durch weitere Abnehmer (z.B. Integration in H2 Mobility–Infrastruktur)
- Potenzielle Betreiber von Wasserstofftankstellen: Betreiber konventioneller Tankstellen, private Investoren(–verbünde) und kommunale Unternehmen, z.B.: H2 Mobility, GP Joule, Orlen Deutschland, Hamburger Hochbahn
- Mögliche multimodale Tankstellen in Kaltenkirchen und Kiel (Straße – Schiene) bzw. Kiel und Husum (Straße – Wasser)

4 Wirtschaftlichkeitsberechnung für den Betrieb einer bundeslandweiten Tankstelleninfrastruktur

In diesem Kapitel erfolgt die Wirtschaftlichkeitsberechnung für eine landesweite Tankstelleninfrastruktur. Dazu werden zunächst die erforderlichen Investitionen für einzelne Wasserstofftankstellen beleuchtet, bevor anhand von zwei typischen Beispielen die Wirtschaftlichkeit von Wasserstofftankstellen und die Sensitivität relevanter Einflussparameter analysiert wird. Darauf folgt eine Diskussion möglicher Wasserstoffverkaufspreise bzw. möglicher CO_2–Preise, um gegenüber konventionell angetriebenen Fahrzeugen mit Blick auf die Kraftstoffkosten konkurrenzfähig zu sein. Abschließend werden die Gesamtinvestitionen für die in Kapitel 3 vorgestellte bedarfsorientierte Tankstelleninfrastruktur bestimmt und ein mögliches Förderbudget abgeleitet.

4.1 Aufstellung der Investitionskosten einer Wasserstofftankstelle und zukünftige Entwicklung

Die Investitionskosten einer Tankstelle hängen im Wesentlichen von der täglichen Nenn–Abgabe und dem Befüllungsdruck bzw. Druckniveau der Wasserstofftankstelle ab. Heute relevante Wasserstofftankstellen können entsprechend grob in die drei verschiedenen Tankstellengrößen S, M und L eingeteilt werden, die sich in ihrer täglichen Nenn–Abgabe unterscheiden [93]. Die aufgeführten Werte verstehen sich als Richtwerte [94].

Tabelle 4–1: Größenklassen von Wasserstofftankstellen [94, 95]. Für Busse wird ein Tankvolumen von 25 kg und PKW von 5 kg angenommen

	S	M	L
Dispenserzahl	1	2	4
Nenn–Abgabe H_2 pro Tag	200–300	500	>1000
PKW–Betankungen pro Tag	40	–	200
Busbetankungen pro Tag	–	20	40

Je „größer" die Tankstelle desto höher ist die tägliche Nenn–Abgabe und damit auch die Zahl täglich möglicher Tankvorgänge. Je nach Größe verfügen die Wasserstofftankstellen über ein bis vier Dispenser zur (parallelen) Befüllung von Brennstoffzellenfahrzeugen. Heute werden Tankstellen der Größe „S" vor allem zum Aufbau einer öffentlichen Tankstelleninfrastruktur für PKW und Tankstellen der Größe „M" für die Betankung von Busflotten eingesetzt [4].

Abbildung 4–1 zeigt die Investitionskosten für verschiedene Wasserstofftankstellen in Abhängigkeit von Nenn–Abgabe und Druckniveau für verschiedene dem Konsortium vorliegende Angebote, die auch durch den Austausch mit Akteuren [81, 89] bestätigt werden konnten. Da sich der Markt für Wasserstofftankstellen und die technischen bzw. sicherheitsrelevanten Anforderungen an Tankstellen dynamisch weiterentwickeln, streuen die Preise für Wasserstofftankstellen um den vorliegenden Trend. Tankstellen zur Befüllung von 350 bar Fahrzeugen sind zur Betankung von Bussen, schweren Nutzfahrzeugen oder Zügen geeignet. Tankstellen zur Befüllung von Fahrzeugen von 700 bar Fahrzeugen sind zur Betankung von PKW und leichten Nutzfahrzeugen geeignet.

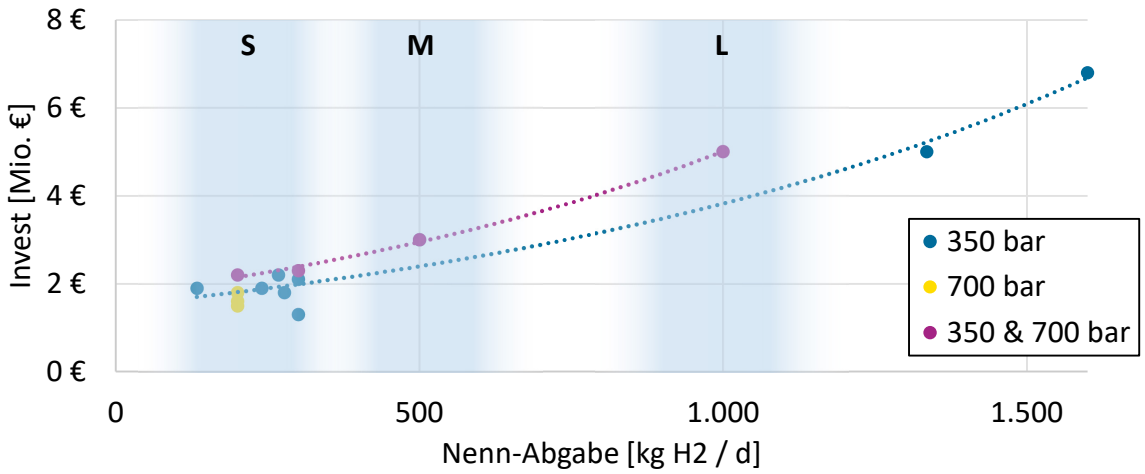


Abbildung 4–1: Investitionskosten von Wasserstofftankstellen in Abhängigkeit von Druckniveau und Nenn–Abgabe auf Basis dem Konsortium vorliegender Angebote.

Das jeweils günstigste Angebot beläuft sich für 350 bar Tankstellen auf 3.750 €/kg H_2 (bei 1.335 kg H_2/d), für 700 bar Tankstellen auf 7.500 €/kg H_2 (bei 200 kg H_2/d) und kombinierte Tankstellen für sowohl 350 bar als auch 700 bar Fahrzeuge bei ca. 5.000 €/kg H_2 (bei 1.000 kg H_2/d). Tankstellen zur Befüllung von 350 bar Fahrzeugen sind tendenziell günstiger als solche für 700 bar Fahrzeuge. Die höheren Anforderungen an Komponenten für das Handling von 700 bar Wasserstoff schlagen sich kostenseitig nieder. Kombinierte Tankstellen für sowohl 350 bar als auch 700 bar sind jedoch günstiger als solche für ausschließlich 350 oder 700 bar, da Komponenten, wie z.B. Niederdrucktanks, geteilt werden können.

Mit Blick auf die zukünftige Entwicklung der Tankstellenpreise wird auf eine Studie des Forschungszentrums Jülich im Auftrag der H2 Mobility GmbH zugegriffen [93]. In der beauftragten Studie wurde die Entwicklung der Preise für Wasserstofftankstellen für PKW in Abhängigkeit des Markthochlaufs von Brennstoffzellenfahrzeugen und damit auch der Tankstellenzahlen analysiert. Aus Basis einer internen Berechnung und einer Annahme von deutschlandweit ca. 1000 Tankstellen ergeben sich die in Tabelle 4–2 angegebenen Tankstellenpreise für die im Gutachten besonders relevanten Zeiträume. Bis 2030 ergibt sich eine erwartete Kostenreduktion von ca. 25 – 30 %.

Tabelle 4–2: Entwicklung der Investitionskosten für H_2–Tankstellen auf Basis einer internen Berechnung unter Berücksichtigung einer Studie des Forschungszentrums Jülich [93]

Entwicklung	Tankstelle „S" (300 kg H_2/d, 350 & 700 bar)	Tankstelle „M" (500 kg H_2/d, 350 & 700 bar)
2021 –> 2025	2,3 Mio. €	3,0 Mio. €
2026 –> 2030	1,7 Mio. €	2,1 Mio. €

4.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einer Tankstelle für den Vertrieb von grünem Wasserstoff

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Wasserstofftankstellen werden Tankstellen der Größe „S" und „M" gewählt, wie sie in der Phase des Markthochlaufs von Relevanz sind. Für Tankstellen der Größe „L" zur Betankung von täglich bis zu 200 Brennstoffzellen–PKW fehlt es an Fahrzeugen. Die Tankstellen sollen zur Unterstützung eines Fahrzeugklassenübergreifenden Markthochlaufs sowohl zur Betankung von 350 bar als auch 700 bar Fahrzeugen geeignet sein. Tabelle 4–3 fasst typische Parameter für diese Wasserstofftankstellen zusammen.

Tabelle 4–3: Basisparameter der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

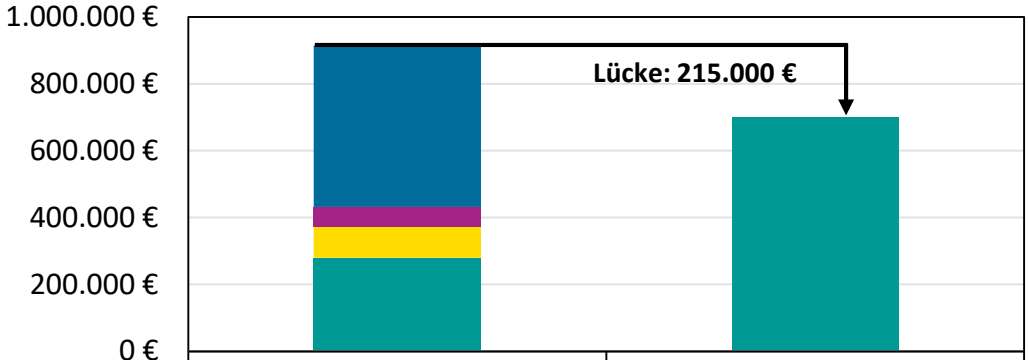
	Tankstelle „S" (300 kg H_2/d, 350 & 700 bar)	Tankstelle „M" (500 kg H_2/d, 350 & 700 bar)
Invest	2,3 Mio. €	3,0 Mio. €
Nutzungsdauer	10 a [93]	
Betrieb & Wartung	92.000 € / a	120.000 € / a
Strombedarf	3 kWh_{el} / kg H_2 + 50 kWh_{el} / d	
Auslastung	80 %	
Kalkulatorischer Zins	4 %	
Energiesteuer	0 € / kg H_2	
MwSt.	19 %	
Bezugspreis	5,50 € / kg H_2 netto (6,55 € / kg H_2 brutto)	
Verkaufspreis	7,98 € / kg H_2 netto (9,50 € / kg H_2 brutto)	
Strompreis	21 ct / kWh_{el} netto (25 ct / kWh_{el} brutto)	

Der Betrag der zu tätigenden Investition beider Tankstellen ergibt sich aus den vorhergehenden Betrachtungen. Die Nutzungsdauer von Wasserstofftankstellen wird auf zehn Jahre begrenzt angenommen [93]. Aufgrund des dynamischen Marktumfeldes ist nach diesen zehn Jahren von einem Austausch der Anlagen auszugehen. Die jährlichen Kosten für Betrieb und Wartung liegen für Tankstellen zur Betankung von Fahrzeugen bis 700 bar bei ca. 92.000 € für die Tankstelle „S" sowie 120.000 € für die Tankstelle „M". Dies entspricht jährlich ca. 4 % der Investition4 % des Investments und reduziert sich für reine 350 bar Tankstellen auf ca. 3 %. In den Werten für die Tankstelle „S" sind ca. 70.000 € für Wartung und anfallende Reparaturen veranschlagt und die restliche Summe für Grundstücksmiete, Verwaltungskosten, IT–Systeme und Payment–Service. Diese Kostenkomponenten können je nach Tankstelle und Standort deutlich variieren.

Der Strombedarf heutiger Wasserstofftankstellen für elektrische Systeme, Temperaturregelung oder Verdichtung beträgt für 700 bar ca. 3 kWh_{el} / kg H_2 und für 350 bar ca. 2 kWh_{el} / kg H_2. Zusätzlich kann ein Standby–Stromverbrauch von ca. 50 kWh_{el} pro Tag angenommen werden. [89] Für die weiteren Betrachtungen wird der Stromverbrauch für beide Tankstellengrößen konservativ zu 3 kWh_{el}/kg H_2 angesetzt. Die Auslastung von 80 % liegt deutlich über der einstelligen Auslastung

heutiger öffentlicher Wasserstofftankstellen. [89] Der angenommene kalkulatorische Zins beträgt 4 %, was dem maximal zulässigen Wert entspricht, um Förderungen für öffentlich zugängliche Wasserstofftankstellen im Straßenverkehr in Anspruch zu nehmen. [96] Energiesteuer fällt für Wasserstoff nicht an und wird daher auf 0 €/kg H_2 gesetzt. [97] Für die Mehrwertsteuer gilt Stand September 2020 ab 2021 wieder der reguläre Satz in Höhe von 19 %. Für den Bezug des Wasserstoffs wird nach Austausch mit der H2 Mobility GmbH [89] und den Erstellern des Partnergutachtens „Erzeugung und Märkte" ein Preis von 5,50 €/kg H_2 angenommen, der für grünen Wasserstoff erreicht werden kann. Der Verkaufspreis beträgt die an Tankstellen der H2 Mobility GmbH üblichen 7,98 €/kg H_2. [90] Der Strompreis für kleine Gewerbe ist je nach Standort und Abnahme sehr variabel und wird zu 21 ct / kWh_{el} angenommen. Alle Preise sind Nettopreise, da diese der unternehmerischen Kalkulation zugrunde liegen. Der übliche Wasserstoffverkaufspreis für Kunden an der Tankstelle beträgt inklusive Mehrwertsteuer 9,50 €/kg H_2.

Abbildung 4–2 zeigt die durchschnittlichen jährlichen Einnahmen und Ausgaben der Tankstelle „S" für die in Tabelle 4–3 angegebenen Basisparameter. Ausgaben i.H.v. ca. 914.000 € für den Wasserstoff– und Strombezug, Betrieb & Wartung sowie die auf das durchschnittliche Jahr umgelegte Investition (CAPEX) stehen Einnahmen i.H.v. ca. 699.000 € durch den Wasserstoffverkauf gegenüber. Die durchschnittliche jährliche Lücke beträgt 215.000 €. Wesentliche Einflussgrößen auf die Höhe der Ausgaben sind insbesondere der Wasserstoffbezug und der CAPEX mit 53 bzw. 31 % Anteil an den Gesamtausgaben. Einzige Einnahmequelle ist der Wasserstoffverkauf.



	Ausgaben	Einnahmen
Wasserstoffverkauf		699.000 €
Wasserstoffbezug	482.000 €	53%
Strombezug	60.000 €	7%
Betrieb & Wartung	92.000 €	10%
CAPEX	280.000 €	31%

Abbildung 4–2: Durchschnittliche jährliche Einnahmen und Ausgaben der öfftl. Tankstelle „S" (ca. 300 kg H_2 / d, 350 & 700 bar)

Mit Blick auf die Tankstelle „M" zeigen sich für die Basisparameter die in Abbildung 4–3 dargestellten Ergebnisse der durchschnittlichen jährlichen Einnahmen und Ausgaben. Ausgaben i.H.v. 1.390.000 € stehen Einnahmen i.H.v. 1.166.000 € gegenüber. Die durchschnittliche jährliche Lücke beträgt 224.000 €. Wesentliche Einflussgrößen auf die Höhe der Ausgaben sind auch für die Tankstelle „M" der Wasserstoffbezug und der CAPEX mit 58 bzw. 27 % Anteil an den Gesamtausgaben. Der im Vergleich zur kleineren Tankstelle „S" geringere Ausgabenanteil des CAPEX spiegelt die aufgrund des Größenvorteils der Tankstelle gesunkenen spezifischen Investitionen wider. Einzige Einnahmequelle bleibt der Wasserstoffverkauf.

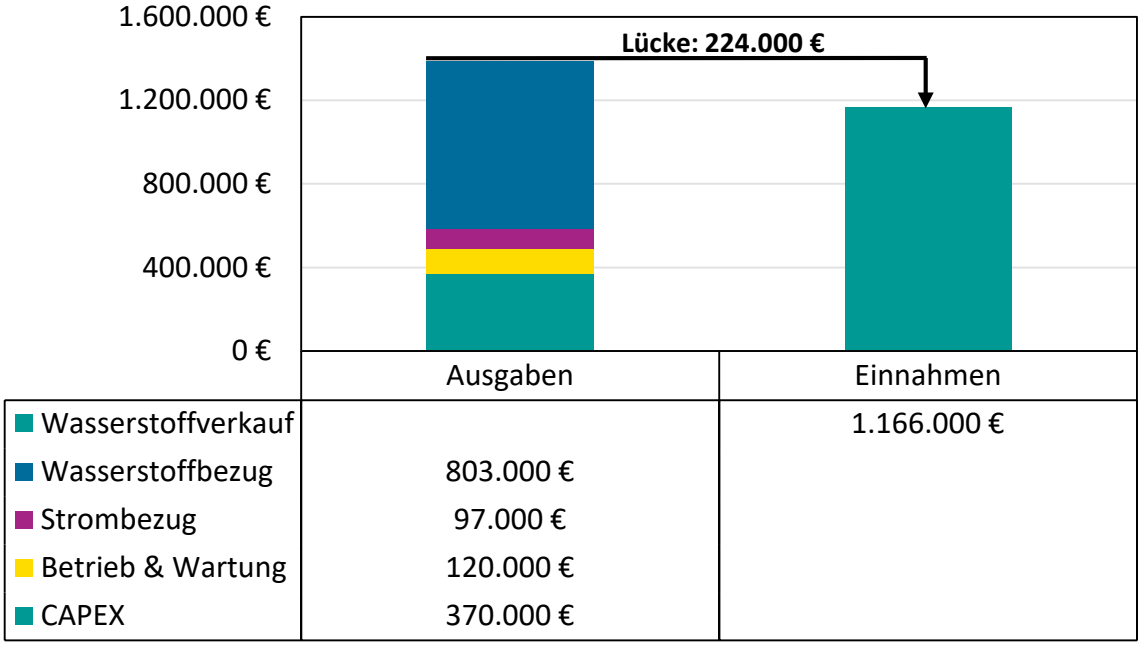


Abbildung 4–3: Durchschnittliche jährliche Einnahmen und Ausgaben der Tankstelle „M" (500 kg H_2 / d, 350 & 700 bar)

Der Einfluss der verschiedenen Parameter auf die Wirtschaftlichkeit der Wasserstofftankstellen unterscheidet sich erheblich. Abbildung 4–4 stellt die Ergebnisse einer Sensitivitätsanalyse für die öffentliche Wasserstofftankstelle „S" in Form eines Tornado–Diagramms dar. Das Diagramm zeigt die Kapital– bzw. Barwerte der Investition in die Tankstelle, wenn der in den einzelnen Zeilen des Diagramms aufgeführte Parameter um 20 % erhöht bzw. reduziert wird. Der Basiskapitalwert beträgt für die öffentliche Tankstelle „S" –1,77 Mio. €. Das negative Vorzeichen kennzeichnet die fehlende Wirtschaftlichkeit der Tankstelleninvestition.

Eine Veränderung des erzielbaren Wasserstoffverkaufs– oder –bezugspreises hat den größten Effekt auf den Kapitalwert und damit die Wirtschaftlichkeit der Tankstelle. Dies ist wenig verwunderlich, da die Spannweite (oder auch Spread) zwischen Verkaufs– und Bezugspreis den Spielraum darstellt, in dem die Tankstelle ihr Geld verdienen kann. Vom erforderlichen Invest in die Tankstelle über die Auslastung und die Betriebs– und Wartungskosten der Tankstelle reduziert sich der Einfluss. Der Strompreis, der Strombedarf, die Nutzungsdauer und der angesetzte kalkulatorische Zins sind von nachrangiger Bedeutung. Eine Wirtschaftlichkeit der Tankstelle, also ein positiver Kapitalwert, zeigt sich für keine hier betrachtete Sensitivität.

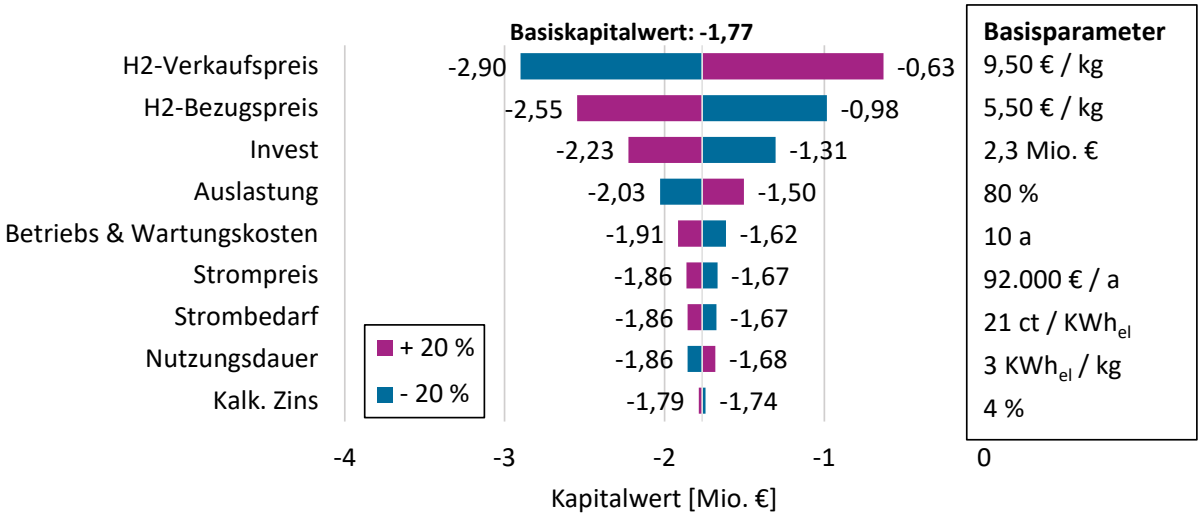


Abbildung 4–4: Sensitivitätsanalyse der öfftl. Tankstelle „S" (ca. 300 kg H_2 / d, 350 & 700 bar): Parametervariation um 20 %

Abbildung 4–5 zeigt die Ergebnisse der gleichen Analyse für die Tankstelle „M". Der Basiskapitalwert beträgt –1,82 Mio. €. Auch für die Tankstelle „M" sind der Wasserstoffverkaufs– und –bezugspreis, der Invest und die Auslastung die wesentlichen Einflussgrößen. Im Unterschied zur Tankstelle „S" zeigt die Nutzungsdauer einen leicht höheren Einfluss auf den Kapitalwert und reiht sich hinter der Auslastung und vor den Betriebs– und Wartungskosten ein. Der Strompreis, der Strombedarf sowie der kalkulatorische Zins zeigen auch für die Wirtschaftlichkeit der Tankstelle „M" nur eine nachgelagerte Bedeutung. Auffallend ist, dass die Wirtschaftlichkeit der Tankstelle für einen 20 % höheren Verkaufspreis, also 9,58 € netto, erreichbar ist. Für diesen Fall ist der Kapitalwert mit 0,07 Mio. € knapp positiv.

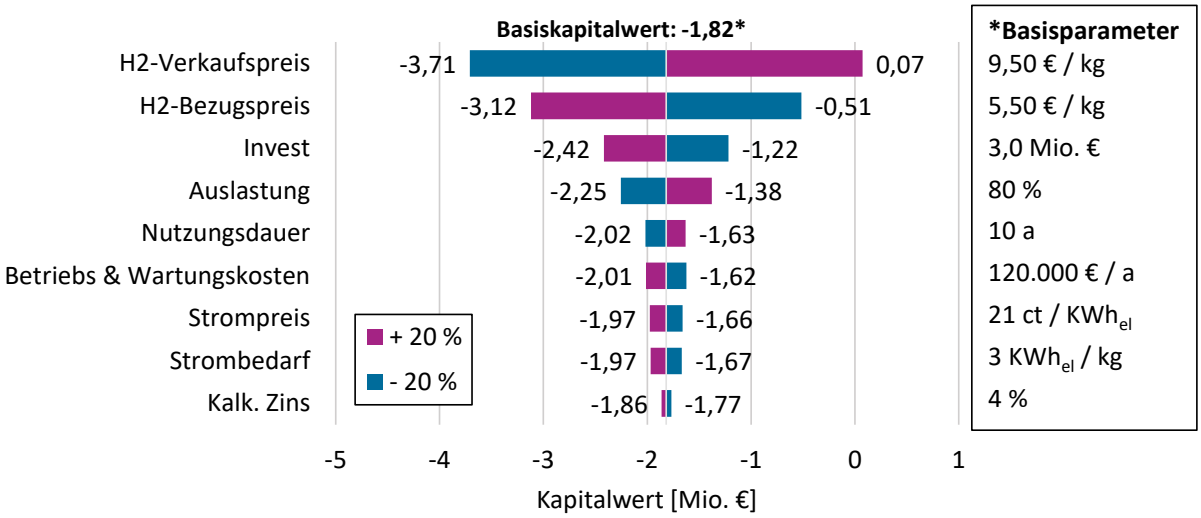


Abbildung 4–5: Sensitivitätsanalyse der Tankstelle „M" (ca. 500 kg H_2 / d, 350 & 700 bar): Parametervariation um 20 %

Tabelle 4–4 zeigt die Break–even Werte aller Parameter der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für beide betrachteten Tankstellen. Die Tankstellen befinden sich für die genannten Werte an der Gewinnschwelle, verbessert sich ein Eingangswert minimal, so ist die Investition in die Tankstelle wirtschaftlich. Für die Ergebnisse gilt, dass je Zeile nur der betrachtete Parameter vom Basiswert aus Tabelle 4–3 variiert wurde, bis die Gewinnschwelle erreicht wird. Zur besseren Übersicht sind diese Werte in Tabelle 4–4 erneut in Klammern hinter den Break–even Wert eingetragen.

Tabelle 4–4 Break–even Werte zur Wirtschaftlichkeit der betrachteten Wasserstofftankstellen

	Tankstelle „S" (300 kg H_2/d, 350 & 700 bar)	Tankstelle „M" (500 kg H_2/d, 350 & 700 bar)
Invest	0,5 Mio. € (Basis: 2,3 Mio. €)	1,2 Mio. € (Basis: 3 Mio. €)
Nutzungsdauer	> 100 a (10 a)	44 a (10 a)
Wartungs– und Betriebskosten	< 0 €/a (92.000 €/a)	< 0 € / a (120.000 €/a)
Strombedarf	< 0 kWh_{el}/kg H_2 (3,0 kWh_{el}/kg H_2)	< 0 kWh_{el}/kg H_2 (3,0 kWh_{el}/kg H_2)
Auslastung	> 100 % (80 %)	> 100 % (80 %)
Kalkulatorischer Zins	< 0 % (4 %)	< 0 % (4 %)
H_2–Bezugspreis netto	3,02 €/kg H_2 (5,5 €/kg H_2)	3,97 €/kg H_2 (5,5 €/kg H_2)
H_2–Verkaufspreis netto	10,47 €/kg H_2 (7,98 €/kg H_2)	9,52 €/kg H_2 (7,98 €/kg H_2)
Strompreis	< 0 ct/kWh_{el} (21 ct/kWh_{el})	< 0 ct/kWh_{el} (21 ct/kWh_{el})

Nur der Wasserstoffverkaufs– und –bezugspreis sowie der Invest sind Stellgrößen, mit denen jeweils die Wirtschaftlichkeit im Rahmen zulässiger Parameterwerte gezielt erreicht werden kann. Die weiteren Parameter können die Wirtschaftlichkeit unterstützen, genügen jedoch im Rahmen zulässiger Werte allein nicht für die Erzielung eines positiven Kapitalwerts. Die Tankstelle „S" wird ab einer Investition unter 0,5 Mio. € wirtschaftlich, wenn für alle anderen Parameter die Basiswerte angenommen werden. Eine Investition von 0,5 Mio. € entspricht z.B. einer Förderung in Form eines Investitionszuschusses von ca. 78 %. Für die Tankstelle „M" muss die Investition unter 1,2 Mio. € liegen, was einem exemplarischen Investitionszuschuss von ca. 60 % entspricht.

Alternativ müsste der Wasserstoffverkaufspreis für die öffentliche Tankstelle „S" über 10,47 €/kg H_2 netto liegen, für die Tankstelle „M" über 9,52 €/kg H_2. Auch ein Wasserstoffbezugspreis unter 3,02 €/kg H_2 bzw. 3,97 €/kg H_2 genügt, um die Tankstelle mit den gegebenen Werten wirtschaftlich zu betreiben.

Etablierte Förderquoten in Form von Investitionszuschüssen für Wasserstofftankstellen liegen gemäß der Förderrichtlinie für Maßnahmen der Marktaktivierung des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Bereich bis 60 % [96]. In Bayern sind 90 % möglich [98]. Die Wirkung einer solchen Förderung stellt Abbildung 4–6 noch einmal dar.

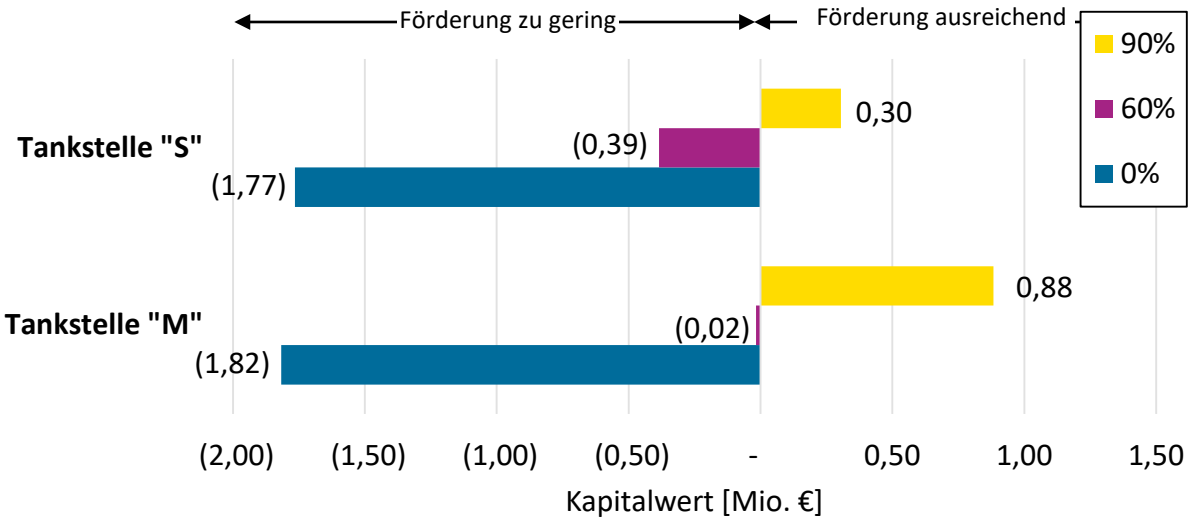


Abbildung 4–6: Wirkung der Förderung in Form eines Investitionszuschusses (0 %, 60 %, 90 %) auf den Kapitalwert der betrachteten Wasserstofftankstellen „S" und „M". Die ausgewiesenen Kapitalwerte gelten für die zugrunde gelegten Basiswerte der verschiedenen Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit von Tankstellen (z.B. Auslastung der Tankstelle von 80 %).

Die Ergebnisse zeigen in Übereinstimmung mit der vorangehenden Break–even Betrachtung, dass unter Beachtung der gewählten Basiswerte (u.a. eine Auslastung der Tankstelle von 80 %) für die Tankstelle „M" ein Investitionszuschuss i.H.v. 60 % fast zur Wirtschaftlichkeit genügt, da der erzielbare Kapitalwert i.H.v. ca. –0,02 Mio. € nur knapp negativ ist. Für Tankstellen „S" genügt ein solcher 60 % Zuschuss nicht. Ein Investitionszuschuss i.H.v. 90 %, wie in Bayern, ermöglicht jedoch auch für die Tankstelle „S" mit einem Kapitalwert von ca. 0,88 Mio. € die Wirtschaftlichkeit und kann als Investitionsanreiz dienen. Diese Summe kompensiert auch anfänglich geringere Auslastungen der Wasserstofftankstelle.

4.3 Analyse des Wasserstoffverkaufspreises

Im Folgenden Kapitel soll zur Einordnung des bestehenden Wasserstoffverkaufspreises der CO_2–Preis bestimmt werden, welcher für verschiedene Fahrzeugtypen zur Parität der Kraftstoffkosten führt. Dazu ist in Abbildung 4–7 für dieselbetriebene schwere Nutzfahrzeuge (SNF Diesel), leichte dieselbetriebene Nutzfahrzeuge (LNF Diesel), diesel– und benzinbetriebene PKW (PKW Diesel, PKW Benzin) sowie dieselbetriebene Busse (Bus Diesel) der erforderliche CO_2–Preis in Abhängigkeit des Brutto–Wasserstoffverkaufspreises eingetragen, um Kraftstoffkostenparität zum Brennstoffzellenfahrzeug herzustellen.

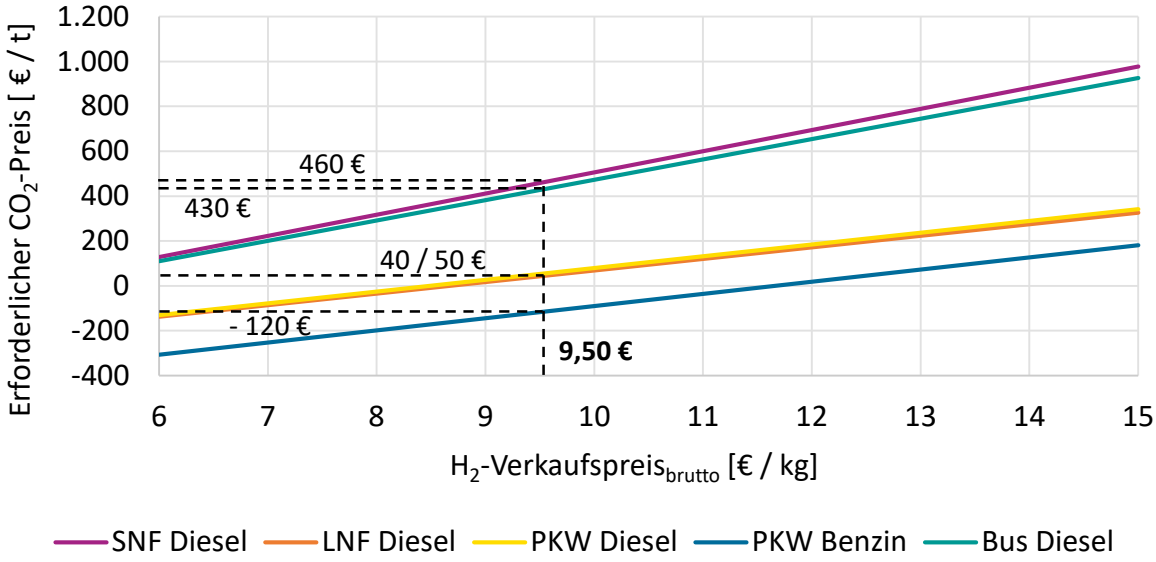


Abbildung 4–7: Erforderlicher CO_2–Preis für paritätische Kraftstoffkosten von konventionellen und wasserstoffgetriebenen Fahrzeugen. Erforderlicher CO_2–Preis in Abhängigkeit des H_2–Verkaufspreises aufgetragen und exemplarisch ausgelesen am Beispiel des heutigen Wasserstoffverkaufspreises an Tankstellen der H2 Mobility GmbH.

Das eingetragene Beispiel des heutigen H_2–Verkaufspreises der H2 Mobility GmbH i.H.v. 9,50 € brutto zeigt eine Spanne der erforderlichen CO_2–Preise zur Kraftstoffkostenparität mit Brennstoffzellen–fahrzeugen zwischen 460 €/t für dieselbetriebene schwere Nutzfahrzeuge und –120 €/t für benzinbetriebene PKW. PKW Diesel und LNF Diesel liegen mit ca. 40 bzw. ca. 50 €/t CO_2 nahezu gleichauf. Der negative Wert für Benzin–PKW zeigt, dass Brennstoffzellen–PKW mit Blick auf die reinen Kraftstoffkosten bereits heute konkurrenzfähig sein können. Für Busse und insbesondere schwere Nutzfahrzeuge sind jedoch signifikante Preise von ca. 430 bzw. 460 €/t CO_2 erforderlich, was die Notwendigkeit von Mindestquoten für die Beschaffung von emissionsfreien/– armen Fahrzeugen demonstriert (vgl. Kapitel 6). Tabelle 4–5 listet die zugrunde liegenden Kenndaten. Der unterstellte Dieselpreis beträgt 1,09 € und der Benzinpreis 1,29 € brutto, das entspricht den deutschen Durchschnittspreisen im Juli 2020 [99].Der unterstellte Dieselpreis beträgt 1,09 € und der Benzinpreis 1,29 € brutto, das entspricht den deutschen Durchschnittspreisen im Juli 2020 [99].

Tabelle 4–5: Angenommene Kenndaten der verschiedenen Fahrzeugtypen. Werte für das Jahr 2020 gemäß Parallelgutachten (Wasserstofferzeugung und –märkte).

Konventionelles Vergleichsfahrzeug	Verbrauch konv. [l/100 km]	Verbrauch H_2 [kg/100 km]	spez. CO_2 konv. Fzg. [g/km]
PKW Benzin	7,9	0,9	162
PKW Diesel	6,8	0,9	167
LNF Diesel	9,9	1,3	243
SNF Diesel	30,0	7,1	751
Bus Diesel	41,8	9,6	1.053

Umgekehrt zeigt Abbildung 4–8 den paritätischen Wasserstoffpreis ohne CO_2–Bepreisung konventioneller Fahrzeuge, wiederum aufgeschlüsselt auf die verschiedenen Fahrzeugtypen. Zur Orientierung ist der heutige Wasserstoffpreis der H2 Mobility GmbH eingetragen. Erneut zeigt sich die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit des Brennstoffzellenfahrzeugs gegenüber dem Benzin–PKW in Bezug auf Kraftstoffkosten. Der zulässige Preis liegt mit 11,70 € deutlich über den vorgegebenen 9,50 € an Tankstellen der H2 Mobility GmbH. Für dieselbetriebene schwere Nutzfahrzeuge und Busse liegen die zulässigen Brutto–Preise bei niedrigen ca. 4,80 bzw. ca. 4,60 € je kg H_2. Diese geringen Werte sind in den bisherigen niedrigen Kraftstoffkosten für Busse bzw. SNF begründet.

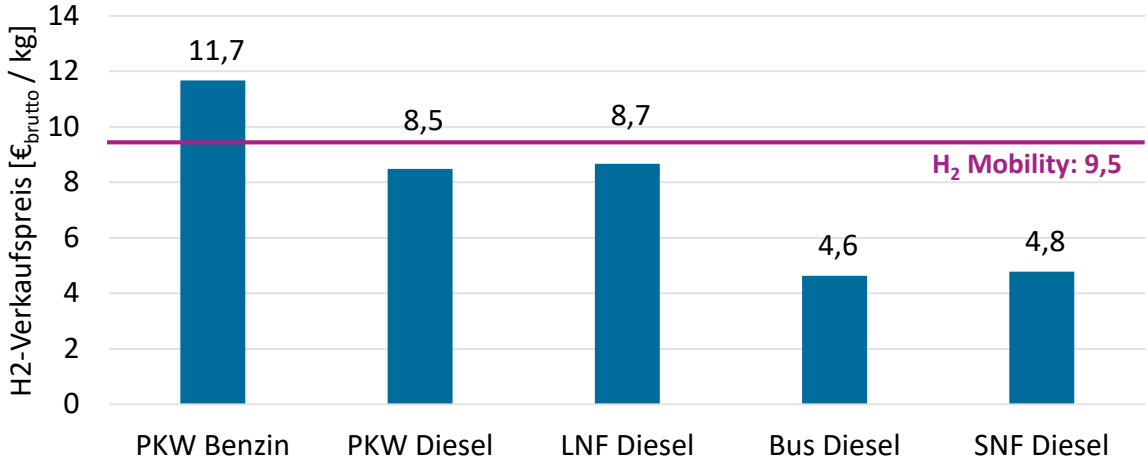


Abbildung 4–8: Möglicher H_2–Verkaufspreis, damit die Kraftstoffkosten von konventionellen und wasserstoffgetriebenen Fahrzeugen gleich sind. Keine CO_2–Bepreisung unterstellt. Werte für das Jahr 2020.

4.4 Kosten einer bedarfsorientierten Tankstelleninfrastruktur für Wasserstoff

Unter Beachtung der erforderlichen Investitionen je Tankstelle aus Kapitel 4.1 und der bedarfsorientierten Tankstelleninfrastruktur am Beispiel des Basisszenarios aus Kapitel 3.5 ergeben sich die in Abbildung 4–9 aufgetragenen Gesamtinvestitionen. Für den Zeitraum 2021 bis 2025 ergeben sich in Summe Investitionen i.H.v. 56,2 Mio. € und für den Zeitraum 2026 bis 2030 i.H.v. zusätzlichen 58,3 Mio. €. Für den Gesamtzeitraum beträgt die Summe schließlich 114,5 Mio. €.

Ein mögliches Förderbudget zur Erschließung einer wirtschaftlich betreibbaren Tankstelleninfrastruktur zeigt Abbildung 4–10. Werden beispielsweise im Zeitraum von 2021 bis 2025 Investitionszuschüsse in Höhe von 90 % – wie in Bayern – gezahlt, um zu Beginn besonders auch Investitionen in Tankstellen der Größe „S" bei noch geringer Auslastung anzuschieben, so ergibt sich ein erforderliches Förderbudget von 43,9 Mio. € bis 2025 für Straßentankstellen. Für die Zugtankstelle ist eine hohe Auslastung gesichert, so dass hier eine geringere Bezuschussung von ca. 60 % genügt. Aufgrund der Größe der Anlagen reduzieren sich die spezifischen Tankstellenkosten, was auch den Förderbedarf reduziert. Für eine Zuschussquote von 60 % beträgt das erforderliche Förderbudget für Zugtankstellen in Schleswig–Holstein ca. 4,4 Mio. €. Das Förderbudget für den Zeitraum von 2021 bis 2025 beläuft sich somit auf in Summe 48,3 Mio. €. Im Zeitraum von 2025 bis 2030 kann die Förderung für Straßentankstellen auf z.B. 60 % reduziert werden, da in diesem Zeitraum besonders Tankstellen der Größe „M" benötigt werden und für die zugrunde gelegten Basiswerte der verschiedenen Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit von Tankstellen der Größe „M" (z.B. Auslastung der Tankstelle von 80 %) eine Förderung in dieser Höhe genügt. Das Förderbudget von 2026 bis 2030 beläuft sich somit für öffentliche Straßentankstellen und die ÖPNV Tankstellen auf Betriebshöfen auf 35,0 Mio. €. Ein mögliches kumuliertes Förderbudget für den Gesamtzeitraum von 2021 bis 2030 für öffentliche Straßentankstellen, Zugtankstellen und ÖPNV Tankstellen auf Busbetriebshöfen beläuft sich für Schleswig–Holstein somit auf ca. 83,3 Mio. €. Die Fördersumme für öffentlich zugängliche Tankstellen sowie Standorte auf Betriebsgeländen in Bayern liegt zum Vergleich bei 50 Millionen Euro [40].

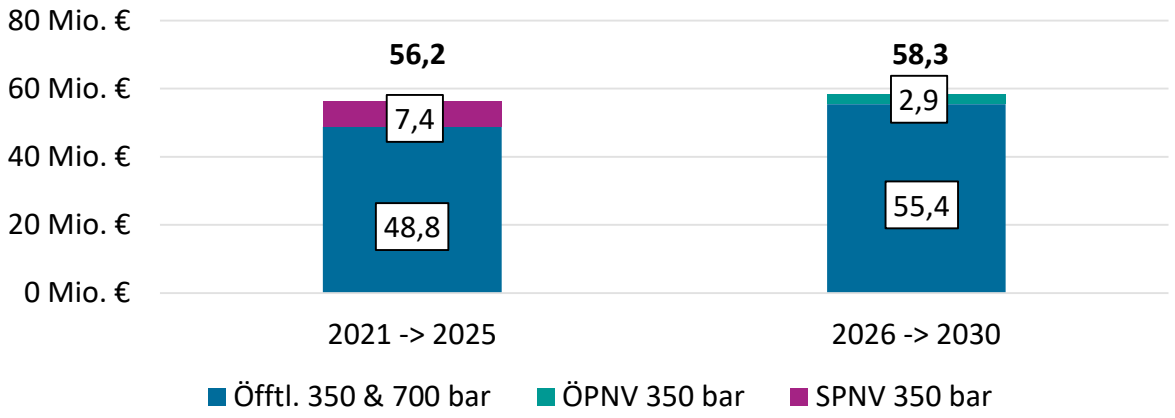


Abbildung 4–9: Investitionsvolumen für eine landesweite Tankstelleninfrastruktur gemäß Basisszenario.

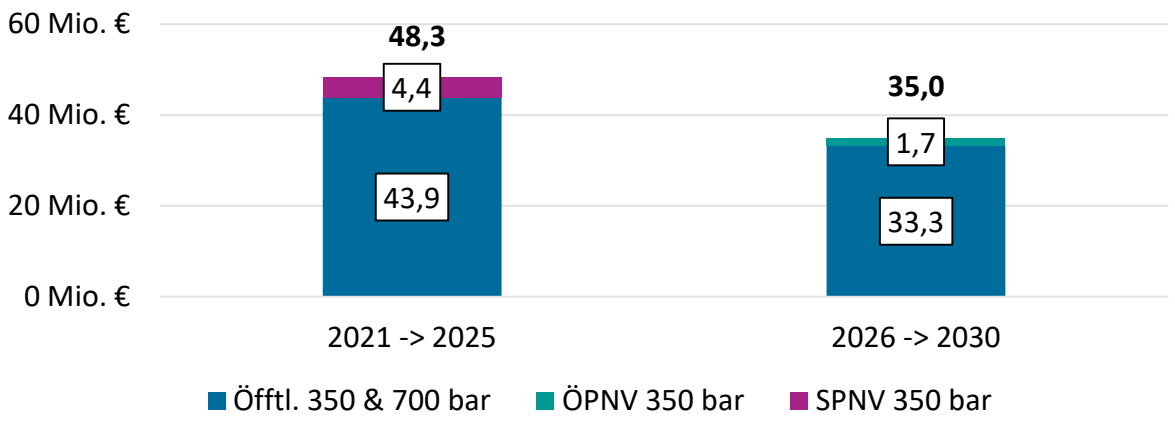


Abbildung 4–10: Mögliches Förderbudget für eine landesweite Tankstelleninfrastruktur gemäß Basisszenario.

4.5 Zusammenfassung

- Die Investitionskosten von Wasserstofftankstellen liegen für die heute üblichen Größen „S" je nach Druckniveau bei bis zu 2,3 Mio. € (für 350 & 700 bar) und für die Größe „M" bei ca. 3 Mio. €
    - Mit steigender Zahl realisierter Tankstellen werden Kostenreduktionen erwartet
    - Bis 2030 Reduktion auf 1,7 Mio. € für eine 350 & 700 bar Tankstelle Größe „S" und 2,1 Mio. € für eine Tankstelle Größe „M"
- Ohne Förderung existiert für die Tankstelle Größe „M" jährlich eine Lücke i.H.v. 224.000 € und für die Tankstelle Größe „S" i.H.v. 215.000 €
- Für rentablen Betrieb von Wasserstofftankstellen sind Förderungen in Form von z.B. Investitionszuschüssen zwingend
    - eine vollständige Auslastung allein gewährleistet keine Wirtschaftlichkeit
    - Für eine exemplarische Tankstelle Größe „M" wird ein Investitionszuschuss von mind. 60 % benötigt (bei 80 % Auslastung)
    - Für eine exemplarische Tankstelle Größe „S" wird ein Investitionszuschuss von mind. 78 % benötigt (bei 80 % Auslastung)
- Für paritätische Kraftstoffkosten darf Wasserstoff je nach Fahrzeugkategorie 4,6 €brutto / kg (Bus) – 11,7 € brutto / kg (PKW) kosten. Das entspricht erforderlichen CO_2–Preisen für konv. Kraftstoffe zwischen –120 bis 460 €netto / t CO_2
- Die Gesamtinvestitionen in eine bedarfsorientierte Infrastruktur belaufen sich auf ca. 114,5 Mio. € bis 2030. Ein zur Wirtschaftlichkeit führendes Förderbudget für Investitionszuschüsse liegt bei ca. 48,3 Mio. € (2021 → 2025) und ca. 35,0 Mio. € (2026 → 2030)

5 Analyse und Bewertung der Genehmigungssituation für Wasserstofftankstellen

5.1 Rahmenbedingungen & Bestandsaufnahme

Für die Zulassung von H_2–Tankstellen, die im juristischen Sinne als „Gasfüllanlagen" gelten, kann grundsätzlich auf den etablierten Rechtsrahmen für die Zulassung von konventionellen Tankstellen zurückgegriffen werden.

Danach erfordert die Zulassung einer H_2–Tankstelle jedenfalls zwei Genehmigungen. Das Herzstück einer Tankstelle bilden die sicherheitsrelevanten und gesondert erlaubnispflichtigen Betankungseinrichtungen einschließlich der zum Betrieb erforderlichen Anlagenteile und Baumaßnahmen (nachfolgend: H_2–Betankungseinrichtungen) im Sinne von § 18 Betriebssicherheitsverordnung (nachfolgend: BetrSichV).

Für die weiteren, nicht sicherheitsrelevanten Bereiche einer Tankstelle (z.B. Verkaufsraum, Überdachung des Tankbereiches, Werkstatt– bzw. Lagerräume, Anzeigetafeln) ist im Regelfall eine Baugenehmigung nach den §§ 62ff. der Landesbauordnung Schleswig–Holstein (nachfolgend: LBO SH) einzuholen.

Je nach der im Einzelfall der zu betrachtenden Konstellation sind weitere Genehmigungen erforderlich. Diese können sich zunächst auf besondere Eigenschaften einer H_2–Tankstelle beziehen. Die örtliche Vorhaltung von H_2–Lagerstätten ab bestimmten Lagerkapazitäten oder die Errichtung und der Betrieb von H_2–Erzeugungsanlagen auf dem Tankstellengelände bzw. in einem räumlichen Zusammenhang zur H_2–Tankstelle kann eine Genehmigungspflicht nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz (nachfolgend: BImSchG) auslösen. Außerdem können besondere Genehmigungserfordernisse bestehen, wenn die Errichtung von H_2–Tankstellen auf Flächen vorgesehen ist, die dem öffentlich–rechtlichen Fachplanungsrecht unterliegen. Ein solcher Fall ist z.B. gegeben, wenn eisenbahnrechtliche Betriebs– oder Serviceeinrichtungen um H_2–Tankstellen erweitert werden. Ein solcher eisenbahnrechtlicher Bezug erfordert eine Zulassung von H_2–Tankstellen durch einen Planfeststellungsbeschluss oder eine Plangenehmigung (vgl. §§ 18, 18b Allgemeines Eisenbahngesetz; nachfolgend: AEG). Entsprechendes gilt, wenn für die Errichtung von H_2–Tankstellen in Hafengebieten ein Ausbau von Bundeswasserstraßen erforderlich sein sollte. Dann wäre ein Planfeststellungsverfahren nach § 14 Bundeswasserstraßengesetz (nachfolgend: WaStrG) durchzuführen. Zudem kann eine Planfeststellungspflicht bestehen, wenn die Errichtung einer H_2–Tankstelle als wesentliche Änderung einer Hafeneinrichtung im Sinne von § 95 Landeswassergesetz SH (nachfolgend: LWG SH) gilt.

Grundsätzlich sind die erforderlichen Genehmigungen jeweils selbstständig einzuholen. Ausnahmen bestehen für Zulassungsverfahren nach dem BImSchG und fachrechtliche Planfeststellungsverfahren. Diese entfalten eine sog. Konzentrationswirkung, d. h. die selbstständigen Genehmigungen nach § 18 BetrSichV und §§ 62ff. LBO SH werden in die BImSchG–Verfahren bzw. Planfeststellungsverfahren integriert und im Rahmen dieser Verfahren mit erteilt.

5.1.1 Überwachungsbedürftige Anlagen

H_2–Betankungseinrichtungen gelten als „überwachungsbedürftige Anlagen" im Sinne von § 2 Nr. 30 lit. c) Produktsicherheitsgesetz (nachfolgend: ProdSG) bzw. §§ 2 Abs. 13, 18 Abs. 1 Betriebssicherheitsverordnung (nachfolgend: BetrSichV). Sie gelten zudem als Arbeitsmittel im Sinne von § 2 Abs. 1 BetrSichV.

Damit unterliegen sie den Regelungen des ProdSG und der BetrSichV für Arbeitsmittel und überwachungsbedürftigen Anlagen.

5.1.1.1 Erlaubnispflicht nach § 18 Abs. 1 BetrSichV

Die Überwachungsbedürftigkeit von H_2–Betankungseinrichtungen begründet eine Erlaubnispflicht nach § 18 Abs. 1 BetrSichV. Danach bedürfen die Errichtung und der Betrieb sowie Änderungen der Bauart oder Betriebsweise, welche die Sicherheit einer solchen Anlage beeinflussen, einer Erlaubnis der zuständigen Behörde. In Schleswig–Holstein liegt die Zuständigkeit5 für die Erteilung der Erlaubnisse nach § 18 BetrSichV bei der staatlichen Arbeitsschutzbehörde bei der Unfallkasse Nord (nachfolgend: StAUK)[6].

H_2–Betankungseinrichtungen unterfallen der Erlaubnispflicht nach § 18 Abs. 1 Nr. 3 BetrSichV für Gasfüllanlagen. Die Erlaubnispflicht betrifft Anlagen einschließlich der Lager– und Vorratsbehälter zum Befüllen von Land–, Wasser– und Luftfahrzeugen mit entzündbaren Gasen[7] zur Verwendung als Treib– oder Brennstoff. Sie erfasst zudem Mess–, Steuer– und Regeleinrichtungen, die dem sicheren Betrieb der Anlage dienen. [8]

Die unterschiedlichen Erlaubnistatbestände wirken sich im Wesentlichen auf den Prüfungsumfang und die einzureichenden Antragsunterlagen aus. In den „Erläuterungen und Hinweisen für die Durchführung der Erlaubnisverfahren nach § 18 der Betriebssicherheitsverordnung" des Länderausschusses für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI) [9] werden die Anforderungen an die komplexen Antragsunterlagen für Gasfüllstationen (Anhang 3) und Tankstellen (Anhang 6) zusammengefasst.

Erlaubnisse nach § 18 Abs. 1 BetrSichV werden grundsätzlich anlagenbezogen, im vorliegenden Kontext für die H_2–Betankungseinrichtungen, für den vorgesehenen Betriebsort erteilt. Daraus folgt, dass an Tankstellen auch unterschiedliche Betankungseinrichtungen von mehreren Betreibern errichtet und betrieben werden können, für die jeweils eine eigene Erlaubnis nach § 18 BetrSichV vorliegen muss. Eine solche Konstellation ist z.B. der Betrieb einer Gasfüllanlage für Wasserstoff (vgl. § 18 Abs. 1

[5] Vgl. Gemeinsamer Erlass des Ministeriums für Inneres, ländliche Räume und Integration und des Ministeriums für Soziales, Gesundheit, Jugend, Familie und Senioren vom 13.06.2019, Az.: IV 541/VIII 231.

[6] Weitere Informationen und Kontaktdaten unter https://www.uk–nord.de/staatliche–arbeitsschutzbehoerde–bei–der–unfallkasse–nord/

[7] Im Sinne von Anhang 1 Nr. 2.2 der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des europäischen Parlaments und des Rates vom 16.12.2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (ABl. L 353 vom 31.12.2008, S. 1).

[8] Konventionelle Tankstellen unterfallen als ortsfeste Anlagen für die Betankung von Land–, Wasser– und Luftfahrzeugen mit entzündbaren Flüssigkeiten hingegen der Erlaubnispflicht für Tankstellen nach § 18 Abs. 1 Nr. 6 BetrSichV.

[9] LASI–Veröffentlichung LV 49, Stand Oktober 2017, abrufbar unter https://lasi–info.com/publikationen/lasi–veroeffentlichungen/

Nr. 3 BetrSichV) neben dem Betrieb einer Tankstelle für konventionelle Kraftstoffe (vgl. § 18 Abs. 1 Nr. 6 BetrSichV).[10]

Es sind jeweils eigene Erlaubnisse erforderlich, die von mehreren Inhabern gehalten werden können. In den jeweiligen Erlaubnisverfahren sind deswegen auch mögliche Gefährdungen zu prüfen, die sich aus der Arbeitsumgebung und durch Wechselwirkungen mit anderen Arbeitsmitteln, insbesondere anderen überwachungsbedürftigen Anlagen, ergeben. Zudem ist bei der Erstellung der jeweiligen Gefährdungsbeurteilungen zusammenzuwirken und Schutzmaßnahmen so zu abzustimmen und durchzuführen, dass diese wirksam sind (vgl. § 18 Abs. 3 Satz 6 BetrSichV).

5.1.1.2 Anforderungen der BetrSichV

Im Erlaubnisverfahren wird u. a. geprüft, ob eine H_2–Betankungseinrichtung nach ihrer Aufstellung, Bauart und Betriebsweise den sicherheitstechnischen Anforderungen der BetrSichV entspricht. Dem Antrag sind entsprechende Unterlagen beizufügen, deren Inhalt und Umfang sich an den jeweiligen Anhängen der LASI–Veröffentlichung LV 49 zu orientieren hat.

5.1.1.3 Prüfbericht einer zugelassenen Überwachungsstelle

Ein Kernpunkt des Erlaubnisverfahrens ist die Prüfung des Vorhabens durch eine sog. zugelassene Überwachungsstelle (ZÜS). In einem Prüfbericht (ZÜS–Bericht) ist zu bestätigen, dass die Anlage bei Einhaltung der in den Antragsunterlagen bezeichneten technischen und organisatorischen Maßnahmen zur Errichtung und Betrieb der H_2–Betankungseinrichtungen sicher betrieben werden kann. Bei dieser Prüfung sind auch die im Anhang 2 Kapitel 3 und 4 der BetrSichV bezeichneten anlassbezogenen und wiederkehrenden Prüfungen von Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen und Druckanlagen heranzuziehen (vgl. § 18 Abs. 3 BetrSichV). Der ZÜS–Bericht ist den Antragsunterlagen beizufügen.

Auf dieser Ebene ist eine unterschiedliche Bewertung von H_2–Betankungseinrichtungen für Personen– bzw. Lastkraftwagen und sonstigen Fahrzeugen wahrscheinlich. Maßgeblich für Inhalt und Umfang des ZÜS–Berichtes sind auch die unterschiedlichen Bauarten der Betankungseinrichtungen, insbesondere ob eine Betankung mit 350 bar oder 700 bar erfolgt und die aus einer Bauart abzuleitenden möglichen Gefährdungen einschließlich der erforderlichen technischen und organisatorischen Schutzmaßnahmen.

Diese bauart– und standortspezifischen Prüfanforderungen erhöhen die Komplexität der ZÜS–Prüfungen erheblich. Unterschiedliche Bauarten und Standortbedingungen von H_2–Betankungseinrichtungen sind von der ZÜS zu berücksichtigen und erschweren ein standardisiertes Prüfverfahren.

[10] In der bis zum 18.11.2016 geltenden Fassung des § 18 Abs. 1 BetrSichV gab es für diese Konstellation einen eigenen Erlaubnistatbestand, sodass solche Kombinationen als „Betankungsanlagen" im Sinne des seinerzeitigen § 18 Abs. 1 Nr. 8 BetrSichV (a.F.) galten und von einer gemeinsamen Erlaubnis eines Erlaubnisinhabers erfasst wurden.

5.1.1.4 Vorgaben der Gefahrstoffverordnung

Im Erlaubnisverfahren ist außerdem nachzuweisen, dass die sicherheitstechnischen Anforderungen an den Brand– und Explosionsschutz aus der Gefahrstoffverordnung eingehalten werden können (u. a. Erstellung eines Explosionsschutzdokumentes mit Explosionsschutzkonzept einschließlich Zonenplan und Darstellung von Maßnahmen zum Brand–/Explosionsschutz). Entsprechende Unterlagen sind den Antragsunterlagen beizufügen.

5.1.1.5 Gebundene Entscheidung

Eine Erlaubnis ist nach § 18 Abs. 4 BetrSichV zu erteilen, wenn die vorgesehene Aufstellung, Bauart und Betriebsweise der H_2–Betankungseinrichtungen den sicherheitstechnischen Anforderungen der BetrSichV und darüber hinaus den Anforderungen hinsichtlich des Brand– und Explosionsschutzes der Gefahrstoffverordnung entsprechen. Sie ergeht als gebundene Entscheidung. Eine Erlaubnis kann beschränkt, befristet und unter Bedingungen erteilt bzw. mit Auflagen verbunden werden. Außerdem ist die nachträgliche Aufnahme, Änderung oder Ergänzung von Auflagen zulässig.

Nach § 18 Abs. 5 BetrSichV ist über einen Antrag grundsätzlich innerhalb von drei Monaten, nachdem dieser bei der StAUK als zuständige Behörde eingegangen ist, zu entscheiden. Die Frist kann in begründeten Fällen insbesondere bei neuen Technologien oder komplexen Anlagen durch die StAUK verlängert werden. Aufgrund der vergleichsweisen neuen Technologie, einer unzureichenden Standardisierung, z.B. durch Typenprüfungen für Bauteile und der – wegen der noch geringen Anzahl an Erlaubnissen – fehlenden Erfahrung der Erlaubnisbehörden, sind solche Fristverlängerungen regelmäßig zu erwarten.

5.1.2 Baugenehmigung nach §§ 62 ff LBO SH

Überwachungsbedürftige H_2–Betankungseinrichtungen gelten unbeschadet der Erlaubnispflicht nach § 18 BetrSichV – so wie die nicht sicherheitsrelevanten Bereiche – einer H_2–Tankstelle auch als bauliche Anlagen im Sinne von § 2 Abs.1 LBO SH. Damit besteht grundsätzliche eine Genehmigungspflicht nach den §§ 62 ff LBO SH.

Die Voraussetzungen nach § 63 LBO für eine verfahrensfreie Errichtung dürften im Regelfall nicht gegeben sein. Nach § 63 Abs. 1 Nr. 4 lit d) bzw. lit e) LBO SH gelten Flüssiggastankstellen mit einem Flüssiggaslagerbehälter mit weniger als drei Tonnen Fassungsvermögen für die Eigenversorgung von Fahrzeugen sowie Tankstellen mit einem Dieselkraftstoff–Lagerbehälter bis zu 1 m^3 für die Eigenversorgung von Fahrzeugen mit Dieselkraftstoff als verfahrensfreie Bauvorhaben. Nach derzeitiger Einschätzung ist Wasserstoff grundsätzlich nicht unter den Begriff „Flüssiggas" im Sinne von § 63 Abs. 1 Nr. 4 lit e) LBO SH zu subsumieren, sodass aus diesem Tatbestand keine Verfahrensfreiheit für H_2–Tankstellen abzuleiten sein dürfte.

Somit ist regelmäßig ein Baugenehmigungsverfahren durchzuführen. Eine Genehmigungsfreistellung nach § 68 LBO SH oder eine Genehmigung im vereinfachten Verfahren nach § 69 LBO sind grundsätzlich möglich, soweit es sich bei den jeweiligen baulichen Anlagen nicht um Sonderbauten im Sinne von § 51 LBO SH handelt. Von diesen Verfahrenserleichterungen können insbesondere die nicht sicherheitsrelevanten Bereiche einer Tankstelle profitieren.

Bei den überwachungsbedürftigen H_2–Betankungseinrichtungen dürfte es sich hingen um Sonderbauten im Sinne von § 51 Abs. 2 Nr. 18 LBO SH handeln. Danach gehören bauliche Anlagen, deren Nutzung durch Umgang oder Lagerung von Stoffen mit Explosions– oder erhöhter Brand– oder Gesundheitsgefahr verbunden ist, zu den Sonderbauten für die zwingend ein Regelverfahren durchzuführen ist.

In diesem Zusammenhang ist auf § 62 Abs. 2 LBIO SH hinzuweisen. Die Regelung erfasst einen Sonderfall der Konzentrationswirkung[11] und eröffnet die Zuständigkeit der StAUK für den Erlass einer Baugenehmigung für die überwachungsbedürftigen H_2–Betankunsgeinrichtungen. Zur Reichweite dieser besonderen Konzentrationswirkung und der Abgrenzung von sicherheitsrelevanten und nicht sicherheitsrelevanten Bereichen wird auf den Gemeinsamen Erlass des Ministeriums für Inneres, ländliche Räume und Integration und des Ministeriums für Soziales, Gesundheit, Jugend, Familie und Senioren vom 13.06.2019 verwiesen[12].

5.1.3 Genehmigungspflicht nach BImSchG

Unbeschadet der Erlaubnispflicht nach § 18 BetrSichV gelten H_2–Betankungseinrichtungen als genehmigungsbedürftige Anlagen im Sinne von § 4 BImSchG, wenn diese für länger als zwölf Monate an demselben Ort betrieben werden und vor Ort eine Lagerkapazität von mehr als 3 t Wasserstoff vorgehalten wird oder vor Ort Wasserstoff erzeugt wird.

Eine Genehmigungspflicht nach dem BImSchG kann insoweit auch dann bestehen, wenn eine H_2–Betankungseinrichtung ein Anlagenteil (vgl. § 1 Abs. 2 Nr. 1 der 4. BImSchV) oder eine Nebeneinrichtung[13] (vgl. § 1 Abs. 2 Nr. 2 der 4. BImSchV) einer anderen genehmigungsbedürftigen Anlage ist. Solche Konstellationen sind denkbar, wenn Wasserstoff im Rahmen anderer industrieller oder sonstiger Prozesse anfällt und zur weiteren Nutzung des Wasserstoffs eine H_2–Betankungseinrichtung errichtet und betrieben werden soll.

Genehmigungen nach dem BImSchG werden entweder im sog. Regelverfahren nach § 10 BImSchG mit Öffentlichkeitsbeteiligung oder im vereinfachten Verfahren nach § 19 BImSchG ohne Öffentlichkeitsbeteiligung erteilt (siehe hierzu sogleich). Weitere Anforderungen an das Genehmigungsverfahren ergeben sich aus der 9. BImSchV.

Wasserstoff gilt nach Nr. 2.44 der Stoffliste gemäß Anhang I zur 12. BImSchV (Störfall–VO) als "gefährlicher Stoff". Deswegen sind bei der Überschreitung bestimmter Mengenschwellen in den jeweiligen Betriebsbereichen die besonderen Anforderungen der Störfall–VO zu beachten. Anknüpfungspunkt ist die in einem Betriebsbereich vorhandene Menge der gefährlichen Stoffe. Ab einer Menge von 5.000 kg H_2 sind Betriebsbereiche der unteren Klasse zugeordnet, ab einer Menge von 50.000 kg H_2 gehören die Betriebsbereiche zur oberen Klasse. Je nach der Zuordnung zur unteren bzw. oberen Klasse sind besondere Schutz– und Informationspflichten zu erfüllen (u.a. Erstellung eines Störfallkonzepts und Einführung eines Sicherheitsmanagementsystems zur Umsetzung des Konzepts; für Betriebsbereiche der oberen Klasse ist zudem ein Sicherheitsbericht und ein interner Alarm– und Gefahrenabwehrplan zu erstellen).

---

[11] Vgl. unten Kapitel B, I. 1.

[12] Vgl. Gemeinsamer Erlass des Ministeriums für Inneres, ländliche Räume und Integration und des Ministeriums für Soziales, Gesundheit, Jugend, Familie und Senioren vom 13.06.2019, Az.: IV 541/VIII 231.

[13] Erfasst sind Nebeneinrichtungen, die mit den genehmigungsbedürftigen Anlagenteilen und Verfahrensschritten in einem räumlichen und betriebstechnischen Zusammenhang stehen und von Bedeutung sein können für 1.) das Entstehen schädlicher Umwelteinwirkungen, 2.) die Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen oder 3.) das Entstehen sonstiger Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen.

Nach § 10 Abs. 6a BImSchG ist über einen Antrag im Regelverfahren grundsätzlich innerhalb einer Frist von sieben Monaten nach Eingang des Antrages und der Vollständigkeit der Antragsunterlagen zu entscheiden. Im vereinfachten Verfahren ist grundsätzlich innerhalb einer Frist von drei Monaten zu entscheiden. Allerdings können diese Fristen auch mehrfach um jeweils drei Monate verlängert werden, wenn dies wegen der Schwierigkeit der Prüfung oder aus Gründen, die dem Antragsteller zuzurechnen sind, erforderlich ist. Es ist sehr wahrscheinlich, dass solche Fristverlängerungen regelmäßig in Anspruch genommen werden.

Eine Ausnahme von der Genehmigungspflicht besteht für Anlagen im Labor– oder Technikumsmaßstab, wenn diese der Forschung, Entwicklung oder Erprobung neuer Einsatzstoffe, Brennstoffe, Erzeugnisse oder Verfahren dienen. Diese Ausnahmeregelung wird beim Aufbau einer marktgereiften H_2–Tankstelleninfrastruktur jedoch nicht bzw. nur in seltenen Sonderfällen zur Anwendung kommen.

5.1.3.1 Lagerung von mehr als 3 t Wasserstoff vor Ort

Nach § 1 Abs. 1 i. V. m. Ziffer 9.1 Anhang 1 der 4. BImSchV besteht eine Genehmigungspflicht nach dem BImSchG für Anlagen zur Lagerung von Wasserstoff (und soweit vorhanden anderen entzündbaren Gasen) mit einer Kapazität ab 3 t.

Anknüpfungspunkt für die Genehmigungsbedürftigkeit ist somit nicht die H_2–Betankungseinrichtung im engeren Sinne, sondern die Menge des vor Ort gelagerten Wasserstoffes und der gegebenenfalls weiteren entzündbaren Gase.

Bei Lagerkapazitäten ab 3 t bis weniger als 30 t kann die Genehmigung im vereinfachten Verfahren nach § 19 BImSchG erteilt werden. Dies gilt auch für Lagerkapazitäten von mehr als 30 t, soweit es sich ausschließlich um Einzelbehältnisse mit einem Volumen von jeweils nicht mehr als 1.000 cm^3 handelt. Bei Lagerkapazitäten von mehr als 30 t und einer Verwendung von Einzelbehältnissen mit einem Volumen von mehr als 1.000 cm^3 ist hingegen das Regelverfahren nach § 10 BImSchG anzuwenden.

Die H_2–Betankungseinrichtungen im engeren Sinne werden als Anlagenteile oder Nebeneinrichtungen von der BImSchG–Genehmigung für die Lagerstätten erfasst.

5.1.3.2 H_2–Erzeugung vor Ort

Nach § 1 Abs. 1 i. V. m. Ziffer 4.1.12 Anhang 1 der 4. BImSchV besteht eine Genehmigungspflicht nach dem BImSchG für **„Anlagen zur Herstellung von Stoffen oder Stoffgruppen durch chemische, biochemische oder biologische Umwandlung in industriellen Umfang [...] zur Herstellung von Gasen wie [...] Wasserstoff [...]."**

Anknüpfungspunkt für die Genehmigungsbedürftigkeit ist die H_2–Erzeugung vor Ort durch die vorstehenden Verfahren in industriellen Umfang. Die H_2–Betankungseinrichtungen im engeren Sinne werden ebenfalls als Anlagenteile oder Nebeneinrichtungen von der BImSchG–Genehmigung für die H_2–Erzeugungsanlage erfasst.

5.1.3.3 Regelverfahren und IE–Richtlinie

Wenn eine H_2–Erzeugungsanlage die vorstehenden Voraussetzungen erfüllt, ist zwingend das Regelverfahren nach § 10 BImSchG mit Öffentlichkeitsbeteiligung anzuwenden. Zudem gelten solche H_2–Erzeugungsanlagen nach § 3 i. V. m. Anhang 1 der 4. BImSchV als Anlagen im Sinne der Industrieemission–Richtlinie[14], sodass sich aufgrund dieser Einstufung zusätzliche Anforderungen für das Genehmigungsverfahren (z.B. Bericht über den Ausgangszustand nach § 10 Abs. 1a BImSchG, Umsetzung der besten verfügbaren Techniken (BVT)) und die Anlagenüberwachung (z.B. § 52a BImSchG) ergeben.

5.1.3.4 Herstellung in industriellem Umfang

Die Genehmigungsbedürftigkeit erfordert die Herstellung von Wasserstoff in „industriellem Umfang". Weder in der 4. BImSchV noch im BImSchG ist geregelt, bei welchen Erzeugungsmethoden bzw. ab welchen Erzeugungsmengen von einer Herstellung im industriellen Umfang auszugehen ist.

Vor diesem Hintergrund ist in jedem Einzelfall zu bewerten, ob die Schwelle zur Herstellung von Wasserstoff in industriellen Umfang überschritten wird und eine Genehmigungsbedürftigkeit besteht. Unterhalb dieser Schwelle unterliegt eine H_2–Erzeugungsanlage keiner Genehmigungspflicht nach § 1 Abs. 1 i. V. m. Ziffern 4.1.12 Anhang 1 der 4. BImSchV.

Eine Konkretisierung der Anforderungen an eine H_2–Herstellung in industriellem Umfang ist zu empfehlen, um die Genehmigungsbedürftigkeit einer H_2–Erzeugungsanlage im Einzelfall verlässlich abzugrenzen. Wegen des anspruchsvollen Genehmigungsverfahrenes für H_2–Erzeugungsanlagen sollte mit Blick auf den weiteren Aufbau einer H_2–Tankstelleninfrastruktur geprüft werden, kleinere H_2–Erzeugungsanlagen, z.B. zur Versorgung einer H_2–Tankstelle, von der Genehmigungspflicht auszunehmen oder dem vereinfachten Verfahren nach § 19 BImSchG zuzuordnen.

5.1.3.5 H_2–Erzeugung durch „elektrochemische" Elektrolyse

Ferner besteht eine Genehmigungsbedürftigkeit nach § 1 Abs. 1 i. V. m. Ziffer 4.1.12 Anhang 1 der 4. BImSchV für eine H_2–Erzeugung „durch chemische, biochemische oder biologische Umwandlung". Nach der Konzeption der 4. BImSchV unterliegen nur die ausdrücklich benannten Erzeugungsverfahren der Genehmigungspflicht. Die Nennung der genehmigungsbedürftigen Anlagen im Anhang 1 wirkt konstitutiv und ist abschließend[15]. Eine analoge Anwendung der Genehmigungspflicht, insbesondere auf andere Umwandlungsformen, scheidet aus[16].

Daher ist fraglich, ob eine „elektrochemische bzw. elektrolytische" Erzeugung von Wasserstoff durch Elektrolyse überhaupt der Ziffer 4.1.12 Anhang 1 der 4. BImSchV zugeordnet werden kann, wenn diese Form der Umwandlung im Tatbestand nicht ausdrücklich angeführt wird.

Neben des ausschließlichen Charakters der Aufzählungen im Anhang 1 der 4. BImSchV spricht auch der Umstand, dass „elektrolytische Verfahren" in einem anderen Kapitel des Anhanges 1 (Ziffer 3.3) ausdrücklich genannt werden, gegen eine Erweiterung des Anwendungsbereiches der Ziffer 4.1.12. um Elektrolyseure bzw. elektrolytische Verfahren zu H_2–Erzeugung. Der Begriff der „elektrolytischen Verfahren" ist in der Regelungssystematik der 4. BImSchV somit bekannt. Wenn solche Verfahren vom

---

[14] Anlagen nach Art. 10 in Verbindung mit Anhang I der Richtlinie 2010/75/EU des europäischen Parlamentes und des Rates vom 24.11.2010 über Industrieimmissionen (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung) (Neufassung) (ABl. L 334 vom 17.12.2010, S. 17).

[15] Vgl. Böhm in Führ (Hrsg.), GK–BImSchG, § 4 Rn. 32; Schmidt–Kötters in BeckOK Umweltrecht, BImSchG § 4 Rn. 71.

[16] Schmidt–Kötters in BeckOK Umweltrecht, BImSchG § 4 Rn. 20; Jarass in BImSchG, § 4 Rn. 20.

Anwendungsbereich der Ziffer 4.1.12. erfasst werden sollen, wäre wegen des konstitutiven und abschließenden Charakters der Regelung und das Analogieverbot eine entsprechende Klarstellung der Ziffer 4.1.12 erforderlich.

Dessen ungeachtet werden Elektrolyseure zur H_2–Erzeugung in der bisherigen Genehmigungspraxis in Schleswig–Holstein, soweit ersichtlich[17], der Ziffer 4.1.12 zugeordnet mit der Folge, dass das Regelverfahren nach § 10 BImSchG mit Öffentlichkeitsbeteiligung durchzuführen ist und die zusätzlichen Anforderungen der Industrieemissionsrichtlinie zu beachten sind.

Die Anforderungen an diese Verfahrensart sind komplex und herausfordernd für die Antragsteller und die Genehmigungsbehörde. Regelmäßig sind diese Anforderungen nur bei der Genehmigung großer industrieller Anlagen zu erfüllen[18]. Vor diesem Hintergrund erscheint eine kritische Bewertung erforderlich, ob diese Verfahrensart insbesondere für H_2–Erzeugungsanlagen am Ort einer Tankstelle, die ihren Wasserstoff durch elektrolytische Zerlegung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff erzeugen, im Hinblick auf die damit verbundenen Umweltgefahren angemessen ist.

Eine Vereinfachung des Verfahrens wäre im Hinblick auf den Aufbau einer H_2–Tankstelleninfrastruktur unter Einbindung dezentraler H_2–Erzeugungsanlagen (insbesondere Elektrolyseure) sehr zu empfehlen. Durch eine Klarstellung zur Reichweite der „Herstellung in industriellen Umfang" oder zur Nichtanwendung der Ziffer 4.1.12 der 4. BImSchV auf elektrochemische Umwandlungen wäre die Anwendung des BImSchG–Regelverfahrens mit IE–RL–Bezug zu vermeiden. Unabhängig davon könnte in Betracht gezogen werden, den Anhang I der 4. s um einen neuen Genehmigungstatbestand für die H_2–Erzeugung durch Elektrolyseure zu erweitern.

5.1.3.6 Allgemeine Vorprüfung des Einzelfalls nach UVPG

H_2–Erzeugungsanlagen können zudem unter Ziffer 4.2 des Anhanges I zum Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (nachfolgend: UVPG) fallen. Für die „Errichtung und den Betrieb von Anlage zur Herstellung von Stoffen oder Stoffgruppen durch chemische Umwandlung im industriellen Umfang" ist eine allgemeine Vorprüfung des Einzelfalls nach § 7 Abs. 1 UVPG durchzuführen.

Wenn eine H_2–Erzeugungsanlage aufgrund einer überschlägigen Prüfung unter Berücksichtigung der in der Anlage 3 zum UVPG aufgeführten Kriterien erhebliche nachteilige Umweltauswirkungen haben kann, ist die Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung erforderlich.

Eine allgemeine Vorprüfung des Einzelfalls ist, vergleichbar zu Ziffer 4.1.12 des Anhanges I der 4. BImSchV, nur durchzuführen, wenn die H_2–Erzeugung im industrielen Umfang erfolgt. Im UVPG werden die Anforderungen für eine Herstellung im „industriellen Umfang" ebenfalls nicht geregelt, sodass auch in dieser Hinsicht – so wie bei Ziffer 4.1.12 des Anhanges I der 4. BImSchV – eine Konkretisierung der Anforderungen an eine H_2–Herstellung in industriellem Umfang sinnvoll ist.

5.1.3.7 H_2–Betankungseinrichtungen als Anlagenteil oder Nebeneinrichtung anderer genehmigungsbedürftiger Anlagen

Neben der Genehmigungsbedürftigkeit von H_2–Betankungseinrichtung im Zusammenhang mit Anlagen zur H_2–Lagerung im Sinne der Ziffer 9.1 oder mit Anlagen zur H_2–Erzeugung im Sinne der Ziffer 4.1.12 kann sich die Genehmigungsbedürftigkeit auch daraus ergeben, dass eine H_2–

[17] Vgl. Amtliche Bekanntmachung nach § 10 Abs. 3 BImSchG und § 5 UVPG vom 13.07.2020 zum einem Elektrolyse–Vorhaben in der Gemeinde Reußenköge, Kreis Nordfriesland. Abrufbar unter https://www.schleswig–holstein.de/DE/Fachinhalte/I/immissionsschutz/Genehmigungsvorhaben/Reussenkoege_1.pdf?__blob=publicationFile&v=4; zuletzt abgerufen am 17.09.2020.

[18] Vgl. Anhang 1 zur 4. BImSchV, Kennzeichnung mit Buchstaben „E".

Betankungseinrichtungen als Anlagenteil oder Nebeneinrichtung einer anderen, für sich betrachtet genehmigungsbedürftigen Anlage gelten.

Anknüpfungspunkt für die Genehmigungsbedürftigkeit wäre in solchen Konstellationen die nicht die H_2–Betankungseinrichtung, sondern die andere genehmigungsbedürftige Anlage. Insoweit entsprechen solche Konstellationen systematisch den vorstehenden Konstellationen, in denen sich die Genehmigungsbedürftigkeit der H_2–Betankungseinrichtungen aus dem Bezug zur H_2–Lagerung oder der H_2–Erzeugung ergibt. Die Genehmigungsbedürftigkeit würde hingegen aus anderen Ziffern des Anhanges 1 der 4. BImSchV folgen. Die Erzeugung von Wasserstoff durch eine thermische Verwertung von Abfällen (u.a. Pyrolyse) dürfte unter Ziffer 8.1 Anhang 1 der 4. BImSchV fallen. Werden in solchen Anlagen H_2–Betankungseinrichtungen installiert, können diese als Anlagenteile oder Nebeneinrichtungen von der Genehmigungsbedürftigkeit der Abfallverwertungsanlage erfasst sein.

Solche Konstellationen werden vermutlich Ausnahmen sein. H_2–Erzeugungsanlagen werden im Regelfall unter die Ziffer 4.1.12 des Anhanges I fallen.

5.1.3.8 Konzentrationswirkung der BImSchG–Genehmigung

Wie eingangs erwähnt, besitzen BImSchG–Genehmigungen eine weitreichende Konzentrationswirkung (vgl. § 13 BImSchG) und schließen andere die Anlage betreffende behördliche Entscheidungen ein[19].

Wenn für eine H_2–Tankstelle aufgrund der vorgehaltenen Lagerkapazitäten, einer H_2–Erzeugung vor Ort oder aus sonstigen Gründen eine Genehmigungspflicht nach dem BImSchG besteht, würde die Genehmigung die Erlaubnis für die H_2–Betankungseinrichtungen nach § 18 BetrSichV und die Baugenehmigung für die weiteren baulichen Anlagen der Tankstelle nach den §§ 62ff. LBO SH einschließen.

5.1.4 Genehmigung durch fachrechtliche Planfeststellungen

Werden H_2–Tankstellen auf Flächen errichtet und betrieben, die dem öffentlich–rechtlichen Fachplanungsrecht unterfallen, wird regelmäßig ein Planfeststellungsverfahren durchzuführen sein. Die Genehmigung der H_2–Tankstelle erfolgt im Rahmen eines Planfeststellungsbeschlusses oder einer Plangenehmigung.

5.1.4.1 Anknüpfungspunkte für die Planfeststellungsbedürftigkeit

Anknüpfungspunkt für die Planfeststellungsbedürftigkeit ist wiederrum nicht die H_2–Tankstelle mit ihren H_2–Betankungseinrichtungen, sondern die Änderung der Eigenschaften einer der Fachplanung unterliegenden Fläche. Insoweit kommen vielseitige Konstellationen in Betracht.

Bereits oben genannt wurden Planfeststellungen nach § 18 AEG für die Erweiterung von Betriebsanlagen bzw. Serviceeinrichtungen der Eisenbahn um H_2–Tankstellen. Erweiterungen von Betriebsanlagen von Straßenbahnen würden eine Planfeststellung nach § 28 Personenbeförderungsgesetz (nachfolgend: PBefG) erfordern. Entsprechendes gilt für Betriebsanlagen von Oberleitungsbussen (vgl. §§ 28, 41 PBefG).

Die Errichtung und der Betrieb einer H_2–Tankstelle an einer Bundesautobahn dürfte eine Planfeststellung nach §§ 17, 15 Abs. 1 Bundesfernstraßengesetz (nachfolgend: FStrG) erfordern. Nach § 15 Abs. 1 FStrG gelten Betriebe an Bundesautobahnen, die den Belangen der Verkehrsteilnehmer

[19] Von der Konzentrationswirkung nicht erfasst sind Planfeststellungen, Zulassungen bergrechtlicher Betriebspläne, Entscheidungen aufgrund atomrechtlicher Vorschriften und wasserrechtliche Erlaubnisse und Bewilligungen nach § 8 i.V.m. § 10 WHG

der Bundesautobahnen dienen und eine unmittelbare Zufahrt zu den Bundesautobahnen haben, als planfeststellungbedürftige Nebenbetriebe.

Die Errichtung einer H_2–Tankstelle auf dem Gelände einer Mülldeponie könnte als wesentliche Änderung derselben gelten und eine Planfeststellung nach § 35 Abs. 2 KrWG erfordern.

Auch im Bereich der Schifffahrt dürften die Errichtung und der Betrieb einer H_2–Tankstelle eine Planfeststellung erfordern, wenn dies zu einer Änderung der planfeststellungspflichtigen Flächen führt. Sollte für die Errichtung und den Betrieb einer H_2–Tankstelle ein Ausbau von Bundeswasserstraßen erforderlich sein, wäre ein Planfeststellungsverfahren nach § 14 Bundeswasserstraßengesetz (nachfolgend: WaStrG) durchzuführen.

Entsprechendes gilt nach § 95 Landeswassergesetz Schleswig–Holstein (nachfolgend: LWG SH) für wesentliche Änderung eines in oder an einer Seeschifffahrtsstraße befindlichen Handelshafens, eines Hafens für die Binnenschifffahrt an einem schiffbaren Gewässer erster Ordnung oder eines Landungssteges zum Laden und Löschen von Schiffen mit mehr als 1.350 t Tragfähigkeit.

Im Bereich des Luftverkehrs kann die Errichtung und der Betrieb von H_2–Tankstellen auf Flugplätzen eine Planfeststellung nach § 6ff. Luftverkehrsgesetz (nachfolgend: LuftVG) erfordern, wenn die H_2–Tankstelle als genehmigungsbedürftige Änderung des ursprünglich genehmigten Flugplatzes einzustufen ist.

Ob eine genehmigungsbedürftige Änderung tatsächlich vorliegt, ist für alle vorstehenden Konstellationen unter Berücksichtigung der Reichweite des jeweiligen Fachplanungsrechts im Einzelfall zu prüfen. Wenn die Errichtung und der Betrieb einer H_2–Tankstelle keine Auswirkungen auf die fachplanungsrechtlich genehmigten Anlagen haben sollten, könnte die Maßnahme im Einzelfall als nicht genehmigungsbedürftige Änderung gelten. In solchen Fällen würde sich die Genehmigungsbedürftigkeit der H_2–Tankstelle aus den allgemeinen Grundsätzen ergeben, d. h. je nach der einschlägigen Konstellation wäre eine Erlaubnis nach § 18 BetrSichV für die H_2–Betankungseinrichtungen und eine Baugenehmigung nach den §§ 62ff. LBO SH einzuholen bzw. ein BImSchG–Genehmigungsverfahren (mit konzentrierter Erlaubnis nach § 18 BetrSichV und Baugenehmigung nach LBO SH) durchzuführen.

5.1.4.2 Konzentrationswirkung

Vergleichbar zu BImSchG–Genehmigungsverfahren entfalten auch Planfeststellungen eine Konzentrationswirkung. Wenn die Errichtung und der Betrieb einer H_2–Tankstelle planfeststellungbedürftig sind, beinhaltet die Planfeststellung die Erlaubnis für die H_2–Betankungseinrichtungen und die Baugenehmigung für die weiteren baulichen Anlagen.

5.1.5 AFID–Richtlinie und „Wasserstofftankstellenverordnung"

Aus der europäischen Richtlinie 2014/94/EU über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe[20] (nachfolgend: AFID) können sich weitere Anforderungen an die jeweils einschlägigen Genehmigungsverfahren ergeben. Die AFID ist die maßgebliche europarechtliche Grundlage für den Aufbau von Infrastrukturen für alternative Kraftstoffe in den Mitgliedsstaaten, einschließlich Wasserstofftankstellen. Neben Mindestanforderungen für die Errichtung solcher Infrastrukturen, die von den Mitgliedsstaaten im Rahmen ihrer nationalen Strategierahmen umzusetzen sind, enthält die

[20] Richtlinie 2014/94/EU des europäischen Parlaments und des Rates vom 22.10.2014.

Richtlinie Vorgaben für gemeinsame technische Spezifikationen u. a. für H_2–Tankstellen und Vorgaben für die Nutzerinformation.

Insbesondere die Vorgaben zu den gemeinsamen technischen Spezifikationen für Wasserstofftankstellen wurden soweit ersichtlich bislang nicht bzw. nur unzureichend umgesetzt. Zwar wurde am 05.12.2019 die 15. Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz – Verordnung zur Festlegung technischer Standards für Wasserstofftankstellen für Kraftfahrzeuge[21] – erlassen, mit welcher die Vorgaben der AFID zur Wasserstofftankstellen (vgl. Technische Spezifikationen nach Anhang II Nr. 2 AFID) in nationales Rechst umgesetzt wurde. Diese Verordnung ist sechs Monate nach ihrem Inkrafttreten am 06.06.2020 außer Kraft getreten, weil die Geltungsdauer nicht mit Zustimmung des Bundesrates verlängert wurde[22.]

Vor diesem Hintergrund ist derzeit nicht hinreichend geklärt, ob und in welcher Form die Vorgaben der AFID zu den technischen Spezifikationen für H_2–Tankstellen zukünftig im deutschen Recht implementiert werden.

[21] Vgl. BGBl. Nr. 44, S. 1957.
[22] Vgl. § 6 Abs. 2 der 15. ProdSV.

5.2 Zulassung von H_2–Tankstellen bezogen auf Verkehrsträger

Der oben dargestellte Rechtsrahmen für die Genehmigung von H_2–Tankstellen ist mit Ausnahme der verkehrsträgerspezifischen Planfeststellungen grundsätzlich unabhängig von dem Einsatz der Tankstelle für eine bestimmte Verkehrsform. Insbesondere betrifft dies die Erlaubnispflicht nach § 18 Abs. 1 Nr. 3 BetrSichV für Anlagen einschließlich der Lager– und Vorratsbehälter zum Befüllen von Land–, Wasser– und Luftfahrzeugen mit entzündeten Gasen zur Verwendung als Treib– oder Brennstoff. Die baugenehmigungspflichtige Errichtung von weiteren baulichen Anlagenteilen einer H_2–Tankstelle oder die Genehmigungspflicht nach dem BImSchG ist ebenfalls unabhängig von der zugrunde liegenden Verkehrsform.

5.2.1 Straßenverkehr

Nachfolgend werden in Betracht kommende Genehmigungserfordernisse im Bereich des Straßenverkehrs skizziert und Grundsätze dargestellt, aus denen sich die im Einzelfall einschlägigen Genehmigungsverfahren ermitteln lassen.

5.2.1.1 Bestimmung des Genehmigungsverfahrens für eine H_2–Tankstelle

Auf der ersten Stufe ist zu prüfen, ob die Errichtung und der Betrieb einer neuen H_2–Tankstelle aufgrund der fachplanungsrechtlichen Bezüge des Standortes einer Genehmigung durch einen Planfeststellungsbeschluss oder eine Plangenehmigung erfordert. Dies ist insbesondere möglich bei der Erweiterung bzw. Änderung eines nach §§ 17, 15 Abs. 1 FStrG planfeststellungsbedürftigen Nebenbetriebes an einer Bundesautobahn, der Erweiterung bzw. Änderung einer planfeststellungsbedürftigen Mülldeponie bzw. von Betriebsanlagen von Oberleitungsbussen im Sinne von §§ 28, 41 PBefG oder sonstigen planfeststellungsbedürftigen Anlagen im Straßenverkehr. In solchen Fällen wäre ein Planfeststellungsverfahren durchzuführen, welches im Rahmen der Konzentrationswirkung die weiteren Genehmigungen einschließt.

Wenn kein fachplanungsrechtlicher Bezug besteht, ist auf der nächsten Stufe zu prüfen, ob eine H_2–Tankstelle aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften, insbesondere der H_2–Lagerkapazität oder einer H_2–Erzeugung vor Ort einer Genehmigungspflicht nach dem BImSchG unterliegt. In solchen Fällen wäre eine entsprechende Genehmigung einzuholen. Bei einer H_2–Lagerung vor Ort wird ein vereinfachtes Verfahren regelmäßig genügen. Bei einer H_2–Erzeugung vor Ort dürfte nach der wohl herrschenden Auslegung der Ziffer 4.1.12 des Anhanges I der 4. BImSchV allerdings ein Regelverfahren mit Öffentlichkeitsbeteiligung und unter Berücksichtigung der besonderen Anforderungen der Industrieemissions–Richtlinie durchzuführen sein. BImSchG–Genehmigungsverfahren entfalten eine Konzentrationswirkung und schließen die weiteren Genehmigungen mit ein.

Wenn aufgrund der besonderen Eigenschaften einer H_2–Tankstelle auch keine Genehmigungs–bedürftigkeit nach dem BImSchG besteht, verbleibt die Erlaubnispflicht nach § 18 Abs. 1 Nr. 3 BetrSichV für die H_2–Betankungseinrichtungen und die Genehmigungsbedürftigkeit der weiteren baulichen Anlagen nach der LBO SH.

Mangels umfassender Konzentrationswirkung sind diese Genehmigungen grundsätzlich unabhängig voneinander einzuholen. Nach § 62 Abs. 2 LBO SH besteht gleichwohl eine eingeschränkte Konzentrationswirkung für die Baumaßnahmen der H_2–Betankungseinrichtungen. Danach erfasst die Erlaubnis nach § 18 BetrSichV auch die Genehmigung für die Baumaßnahmen, die in direktem

Zusammenhang mit der erlaubnisbedürftigen Anlage stehen oder einen Einfluss auf diese haben können[23].

5.2.1.2 Neubau oder Erweiterung vorhandener Anlagen

Ferner ist die Art bzw. der Ablauf des Genehmigungsverfahrens davon abhängig, ob eine H_2–Tankstelle auf einer „grünen Wiese" neu errichtet wird oder ob bereits vorhandene Anlagen um H_2–Tankstellen erweitert werden. Diese Differenzierung ist grundsätzlich für alle Varianten der Genehmigungsverfahren relevant. Im planfeststellungspflichtigen Bereich dürfte die Errichtung von H_2–Tankstellen regelmäßig auf bereits planfestgestellten Flächen erfolgen, sodass der bestehende Planfeststellungsbeschluss bzw. Plangenehmigung zu ändern wäre. Die erstmalige Durchführung eines Planfeststellungsverfahrens für H_2–Tankstellen ist ebenfalls möglich, dürfte aber eine Ausnahme sein.

Bei Genehmigungsverfahren nach dem BImSchG ist ebenfalls zu prüfen, ob eine neue Genehmigung einzuholen ist oder ob eine bestehende Genehmigung geändert wird. Wesentliche Änderungen einer bestehenden BImSchG–Anlage erfordern die Durchführung eines Änderungsverfahrens nach § 16 BImSchG. Für Änderungen, die unterhalb der Wesentlichkeitsschwelle liegen, genügt hingegen eine Änderungsanzeige nach § 15 BImSchG. Dazu wären, mangels Konzentrationswirkung einer Änderungsanzeige die weiterhin erforderliche Erlaubnis nach BetrSichV und die Baugenehmigungen zusätzlich einzuholen. Welche Genehmigungsvariante zur Anwendung kommt, ist stark einzelfallabhängig. Liegt z.B. eine BImSchG–Genehmigung für eine H_2–Erzeugungsanlage bereits vor und soll diese um eine H_2–Tankstelle erweitert werden, könnte eine Änderungsanzeige im Einzelfall gegebenenfalls ausreichen. Die Neuerrichtung einer H_2–Tankstelle mit H_2–Erzeugung vor Ort würde hingegen eine Genehmigung im Regelverfahren nach § 10 BImSchG mit Berücksichtigung der Anforderungen der Industrieemissions–Richtlinie erfordern.

Bei der vollständigen Neuerrichtung einer H_2–Tankstelle ohne fachplanungsrechtliche Bezüge und ohne Genehmigungsbedürftigkeit nach dem BImSchG besteht jedoch die Ausnahme, dass die Erlaubnis nach § 18 Abs. 1 BetrSichV in diesem Sonderfall auch die Baugenehmigung für die nicht sicherheitsrelevanten Bereiche einschließt[24].

Bei einer Erweiterung bzw. Änderung einer bestehenden konventionellen oder H_2–Tankstelle um weitere H_2–Betankungseinrichtungen greift die vorstehende Ausnahme nicht. In solchen Konstellationen sind jeweils eine eigenständige Erlaubnis für die H_2–Betankungseinrichtungen nach § 18 Abs. 1 BetrSichV und eine eigenständige Baugenehmigung für die nicht sicherheitsrelevanten Bereiche einzuholen.

5.2.1.3 H_2–Betankungseinrichtungen neben Betankungseinrichtungen für andere Kraftstoffe

Darüber hinaus hat auch das Kraftstoffangebot einer Tankstelle Auswirkungen auf den Prüfumfang der Genehmigungsverfahren, insbesondere auf das Erlaubnisverfahren nach § 18 BetrSichV. Wie bereits dargestellt, werden Erlaubnisse anlagenbezogen für den vorgesehenen Betriebsort erteilt. Für eine Tankstelle mit Betankungseinrichtungen für Wasserstoff und konventionelle Kraftstoffe ist somit eine Erlaubnis nach § 18 Abs. 1 Nr. 3 BetrSichV für „Gasfüllanlagen" und eine Erlaubnis nach § 18 Abs. 1 Nr. 6 BetrSichV für „Tankstellen" erforderlich.

---

[23] Vgl. Gemeinsamer Erlass des Ministeriums für Inneres, ländliche Räume und Integration und des Ministeriums für Soziales, Gesundheit, Jugend, Familie und Senioren vom 13.06.2019, Az.: IV 541/VIII 231.

[24] Vgl. Gemeinsamer Erlass des Ministeriums für Inneres, ländliche Räume und Integration und des Ministeriums für Soziales, Gesundheit, Jugend, Familie und Senioren vom 13.06.2019, Az.: IV 541/VIII 231.

Mögliche Gefährdungen und Wechselwirkungen der jeweiligen Anlagen sind zu berücksichtigen. Die jeweiligen Antragsteller haben bei ihren Gefährdungsbeurteilungen zusammenzuwirken und die Planung und Durchführung der jeweiligen Schutzmaßnahmen aufeinander abzustimmen (vgl. § 13 BetrSichV).

Diese Grundsätze kommen auch zur Anwendung, wenn auf einer Tankstelle Betankungseinrichtungen für Wasserstoff und andere gasförmige Kraftstoffe, wie z.B. Erdgas vorgehalten werden.

Insbesondere bei Erweiterungen konventioneller Tankstellen um H_2–Betankungseinrichtungen ist somit denkbar, dass die jeweiligen Betankungseinrichtungen unterschiedliche Erlaubnisse benötigen, die von unterschiedlichen Inhabern gehalten werden können. Wenn die Erweiterung einer konventionellen Tankstelle zu keinen baugenehmigungspflichtigen Änderungen der nicht sicherheitsrelevanten Bereiche führen sollte, wäre ebenfalls denkbar, dass die Erweiterung um H_2–Betankungseinrichtungen keine zusätzliche Baugenehmigung erfordert, sondern nur eine eigne Erlaubnis nach § 18 Abs. 1 BetrSichV einzuholen wäre.

5.2.1.4 Artikel 5 AFID –Wasserstoffversorgung für den Straßenverkehr

Nach Artikel 5 Abs. 2 AFID haben die Mitgliedsstaaten sicherzustellen, dass öffentlich zugängliche Wasserstofftankstellen, die ab dem 18.11.2017 errichtet oder erneuert werden, den technischen Spezifikationen nach Anhang II Nr. 2 AFID entsprechen.

Danach sind folgende Technische Spezifikationen für Wasserstofftankstellen für Kraftfahrzeuge zu erfüllen:

> *„2.1 Wasserstofftankstellen im Freien, an denen gasförmiger Wasserstoff aufgenommen werden kann, der als Kraftstoff für Kraftfahrzeuge dient, müssen den technischen Spezifikationen der Spezifikation ISO/TS 20100 für den Einsatz von gasförmigem Wasserstoff als Kraftstoff (Gaseous Hydrogen Fuelling) entsprechen.*
>
> *2.2 Die Reinheit des an Wasserstofftankstellen angebotenen Wasserstoffs muss den technischen Spezifikationen der Norm ISO 14687–2 entsprechen.*
>
> *2.3 Wasserstofftankstellen müssen Betankungs–Algorithmen und –Ausrüstungen verwenden, die der Spezifikation ISO/TS 20100 für den Einsatz von gasförmigem Wasserstoff als Kraftstoff (Gaseous Hydrogen Fuelling) entsprechen.*
>
> *2.4 Kupplungen für die Betankung von Kraftfahrzeugen mit gasförmigem Wasserstoff müssen der Norm ISO 17268 (gaseous hydrogen motor vehicle refuelling connection devices) entsprechen."*

Diese Vorgaben wurden mit der vom 05.12.2019 bis zum 06.06.2020 geltenden „Wasserstofftankstellenverordnung" zwar im Wesentlichen umgesetzt. Wegen der fehlenden Verlängerung der Geltungsdauer ist diese Verordnung jedoch derzeit nicht anzuwenden.

Für den Aufbau einer richtlinienkonformen H_2–Tankstelleninfrastruktur ist eine kurzfristige Klarstellung zur Umsetzung der Vorgaben von Artikel 5 Abs. 2 in Verbindung mit Anhang II Nr. 2 AFID in das deutsche Recht erforderlich.

5.2.2 Schienenverkehr

Die vorstehenden Grundsätze zur Ableitung der im Einzelfall einschlägigen Genehmigungsverfahren sind auf den Bereich des Schienenverkehrs übertragbar. Aufgrund der schienengebundenen Infrastruktur und der daraus folgenden weitreichenden Planfeststellungspflicht für die Errichtung und Änderung von Bahnbetriebsanlagen (vgl. § 18 AEG) bzw. von Betriebsanlagen der Straßenbahn (vgl. § 28 PBefG) wird die Erweiterung solcher Anlagen um H_2–Betankungseinrichtungen im Regelfall eine Neuaufstellung bzw. eine Änderung (bestehenden) Planfeststellungsbeschlüsse bzw. der Plangenehmigungen erfordern.

5.2.2.1 Einstufung von H_2–Betankungseinrichtungen als Betriebsanlagen einer Eisenbahn oder einer Straßenbahn

Die Planfeststellungspflicht nach § 18 AEG umfasst den Bau oder die Änderung von „Betriebsanlagen einer Eisenbahn". Gemäß der Definition nach § 2 Abs. 9 AEG i. V. m. Anlage 2 Nr. 2 bis 4 des Eisenbahnregulierungsgesetzes gelten H_2–Betankungseinrichtungen jedoch zunächst als „Serviceeinrichtung". Diese umfassen nach Nr. 2 lit h) der Anlage 2 auch „Einrichtungen für die Brennstoffaufnahme und Bereitstellung von Brennstoffen in diesen Einrichtungen". H_2–Betankungseinrichtungen lassen sich unter diesen Begriff subsumieren.

Im AEG findet sich keine eigenständige Definition der „Betriebsanlagen einer Eisenbahn", der Begriff wird im AEG jedoch u. a. in § 18 AEG verwendet. Nach seinem Wortsinn sind hierunter alle Anlagen zu fassen, die einen Betriebsbezug aufweisen, d. h. unter Berücksichtigung der örtlichen Verhältnisse funktional für den Eisenbahnbetrieb erforderlich sind[25]. Ein solcher Betriebsbezug ist für H_2–Betankungseinrichtungen für Eisenbahnen eindeutig gegeben, sodass diese sowohl als Serviceeinrichtungen als auch als Betriebsanlagen einer Eisenbahn gelten können[26].

Auch in der bisher – soweit ersichtlich – einzigen Planfeststellung für eine H_2–Betankungseinrichtung für Eisenbahnen wurde für die Gesamtanlage ein Verfahren nach § 18 AEG durchgeführt und ein Planfeststellungsbeschluss erlassen[27].

Insofern ist zu erwarten, dass sich die Zulassung weiterer H_2–Betankungseinrichtungen für Schienenfahrzeuge an dieser Rechtsauffassung orientieren wird.

Diese Grundsätze sind auf planfeststellungspflichtige Betriebsanlagen für Straßenbahnen im Sinne von § 28 PBefG im Wesentlichen übertragbar. Soweit bekannt, werden im Bereich der Straßenbahnen bislang keine Vorhaben zur Errichtung und Betrieb von H_2–Betankungseinrichtungen, sodass noch keine Planfeststellungsverfahren durchgeführt worden sind.

5.2.2.2 Konzentrationswirkung

Wenn H_2–Betankungseinrichtungen für Schienenfahrzeuge im Rahmen von Planfeststellungen genehmigt werden, entfalten diese Verfahren eine Konzentrationswirkung und schließen eine gegebenenfalls erforderliche Genehmigung nach dem BImSchG, eine Erlaubnis nach § 18 BetrSichV und eine Baugenehmigung nach den §§ 62ff LBO ein.

---

[25] Vgl. OVG Nordrhein–Westphalen, Urteil vom 18.02.2013, Az.: 13 A 474/11.
[26] Ebenda, die Einstufung wurde vom OVG für eine andere Serviceeinrichtung bejaht. Die zugrunde liegenden Erwägungen sind jedoch übertragbar.
[27] Planfeststellungsbeschluss der Niedersächsischen Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr für den Neubau einer wasserstofftankstelle für Schienenfahrzeuge mit Tankstellengleis vom 27.03.2019, Az.: P226–30224–6/19 WT EVB.

5.2.2.3 BImSchG, BetrSichV und LBO SH

Wenn H_2–Betankungseinrichtungen für Schienenfahrzeuge im Einzelfall nicht als planfeststellungsbedürftige Betriebsanlagen gelten, wäre bei Vorliegen der oben dargestellten Voraussetzungen ein Genehmigungsverfahren nach dem BImSchG zu führen, das wiederum Konzentrationswirkung entfalten und eine Erlaubnis § 18 BetrSichV und eine Baugenehmigung nach den §§ 62ff LBO einschließen würde.

Wenn kein BImSchG–Genehmigungsverfahren zu führen sein sollte, wären eine Erlaubnis § 18 BetrSichV und eine Baugenehmigung nach den §§ 62ff LBO einzuholen.

5.2.3 Schifffahrt und Luftverkehr

Die für den Bereich des Straßenverkehrs skizzierten Grundsätze zur Ableitung der im Einzelfall einschlägigen Genehmigungsverfahren über den Bereich des Schienenverkehrs hinaus auch auf die Bereiche Schifffahrt und Luftverkehr übertragbar.

5.2.3.1 Schifffahrt

Die Rahmenbedingungen für die Genehmigung von H_2–Betankungseinrichtungen im Bereich der Schifffahrt sind durchaus vergleichbar zu den Rahmenbedingungen im Bereich des Schienenverkehrs. In diesem Bereich dürften die Errichtung und der Betrieb von H_2–Tankstelle regelmäßig eine Planfeststellung erfordern, wenn dies zu einer Änderung der planfeststellungspflichtigen Flächen führt.

Im Gegensatz zum Schienenverkehr sind die maßgeblichen Anknüpfungspunkte jedoch nicht die eisenbahnspezifischen Betriebsanlagen, sondern der Ausbau einer Bundeswasserstraße im Sinne von § 14 WaStrG bzw. eine wesentliche Änderung der in § 95 LWG SH genannten Hafenanlagen bzw. Lade–/und Löscheinrichtungen. § 95 LWG SH erfasst wesentliche Änderungen von in oder an Seeschifffahrtsstraße befindlichen Handelshäfen von Häfen für die Binnenschifffahrt an schiffbaren Gewässern erster Ordnung und von Landungsstegen zum Laden und Löschen von Schiffen mit mehr als 1.350 t Tragfähigkeit.

Wenn H_2–Betankungseinrichtungen für die Schifffahrt im Rahmen von Planfeststellungen genehmigt werden, entfalten diese Verfahren ebenfalls eine Konzentrationswirkung. Wenn im Einzelfall keine Planfeststellung erforderlich sein sollte, kommen die bereits dargestellten Grundsätze zum BImSchG–Genehmigungsverfahren, der Erlaubnis nach § 18 BetrSichV und der Baugenehmigung nach LBO SH zur Anwendung. Insofern wird auf die obenstehenden Ausführungen verwiesen.

5.2.3.2 Luftverkehr

Die vorstehenden Ausführungen sind auch auf H_2–Betankungsanlagen im Bereich des Luftverkehrs übertragbar. Anknüpfungspunkt ist jedoch die Planfeststellung nach den §§ 6 ff. LuftVG. Die Errichtung und der Betrieb von H_2–Betankungseinrichtungen auf Flugplätzen ist planfeststellungspflichtig, wenn diese als genehmigungsbedürftige Änderung des ursprünglich genehmigten Flugplatzes einzustufen ist.

In diesen Fall würde die Konzentrationswirkung greifen. Wenn keine Planfeststellungspflicht besteht, kommen ebenfalls die dargestellten Grundsätze zum BImSchG–Genehmigungsverfahren, der Erlaubnis nach § 18 BetrSichV und der Baugenehmigung nach LBO SH zur Anwendung.

Ergänzend ist anzumerken, dass gemäß § 18 Abs. 1 Nr. 7 BetrSichV ein eigener Erlaubnistatbestand für Flugfeldbetankungsanlagen besteht. Dieser ist jedoch auf „entzündbare Flüssigkeiten" ausgerichtet. Wasserstoff gilt jedoch als „endzündbares Gas", sodass dieser besondere Tatbestand für H_2–Betankungseinrichtungen im Bereich der Luftfahrt nicht zur Anwendung kommt.

5.3 Bewertung der Genehmigungssituation

Es ist voranzustellen, dass die Genehmigung von H_2–Tankstellen grundsätzlich auf der Basis des geltenden Rechtsrahmens erfolgen kann.

5.3.1 Bestimmung des Genehmigungsverfahrens

Die Bestimmung des „richtigen" Genehmigungsverfahrens ist jedoch abhängig von diversen Faktoren, deren Ermittlung und Anwendung im Einzelfall als herausfordernd bezeichnet werden kann.

Zur Bestimmung des anzuwendenden Genehmigungsverfahrens ist, unabhängig von dem jeweiligen Verkehrsträger, eine mehrstufige Vorprüfung erforderlich:

Auf der ersten Stufe ist zu prüfen, ob eine geplante H_2–Tankstelle aufgrund des Standortes Bezüge zum Fachplanungsrecht aufweist und ob deren Errichtung und Betrieb eine Neuaufstellung oder Änderung einer Planfeststellung erfordert. Diese Voraussetzung wird überwiegend in den Bereichen Schienenverkehr bzw. Schiff– und Luftfahrt gegeben sein. Wenn die Errichtung und der Betrieb von H_2–Tankstellen als Änderungen bzw. wesentliche Änderungen von planfeststellungspflichtigen Einrichtungen eingestuft werden, sind die zugrundeliegenden Planfeststellungen entsprechend zu ändern. Dies betrifft insbesondere Betriebsanlagen der Eisenbahn, Hafenanlagen oder Flugplätze.

Im Bereich des Straßenverkehrs ist eine Planfeststellungspflicht für H_2–Tankstellen eher unwahrscheinlich. H_2–Tankstellen auf Autobahnraststätten bilden eine Ausnahme und sind als potenziell planfeststellungspflichtige Nebenbetriebe einzustufen.

Auf der zweiten Stufe ist zu prüfen, ob H_2–Tankstellen wegen ihrer besonderen Eigenschaften eine Genehmigung nach dem BImSchG erfordern. Wesentliche Anknüpfungspunkte sind eine H_2–Lagerkapazität von mehr als drei Tonnen am Standort bzw. eine H_2–Erzeugung am Standort.

Auf der dritten Stufe ist die Erlaubnispflicht nach § 18 Abs. 1 BetrSichV und die Genehmigungsbedürftigkeit der sicherheits– bzw. der nicht sicherheitsrelevanten baulichen Anlagen zu betrachten. Eine Erlaubnis nach § 18 Abs.1 BetrSichV ist in jedem Fall erforderlich, die eine Baugenehmigung für die sicherheitsrelevanten baulichen Anlagen wegen § 62 Abs. 2 LBO SH im Regelfall einschließt. Für nicht sicherheitsrelevante bauliche Anlagen ist, mit Ausnahme der Neuerrichtung einer H_2–Tankstelle, eine eigene Baugenehmigung einzuholen.

Die Genehmigungsverfahren der ersten und zweiten Stufe entfalten regelmäßig eine Konzentrationswirkung und schließen, soweit erforderlich, die Genehmigungen der nachgelagerten Prüfungsebenen ein.

Für Erlaubnisverfahren nach § 18 Abs. 1 BetrSichV und Genehmigungsverfahren nach dem BImSchG existieren grundsätzlich gesetzliche Regelbearbeitungsfristen. Nach § 18 Abs. 5 BetrSichV ist über einen Antrag auf Erlaubniserteilung innerhalb von drei Monaten nach Eingang eines (vollständigen) Antrages zu entscheiden. Diese Frist kann in begründeten Fällen verlängert werden. Im Rahmen von Genehmigungsverfahren nach dem BImSchG ist nach § 10 Abs. 6a BImSchG im Regelverfahren grundsätzlich innerhalb einer Frist von sieben Monaten über den Genehmigungsantrag zu entscheiden. Voraussetzung für den Fristbeginn ist ein vollständiger Antrag einschließlich der Antragsunterlagen. Im vereinfachten Verfahren verkürzt sich die Frist auf drei Monate. Diese Fristen können (auch mehrfach) um jeweils drei Monate verlängert werden, wenn dies wegen der Schwierigkeit der Prüfung oder aus Gründen, die dem Antragsteller zuzurechnen sind, erforderlich ist.

Nicht zuletzt wegen der vergleichsweisen neuen Technologie, einer unzureichenden Standardisierung, z.B. durch Typenprüfungen für Bauteile, und der aufgrund der zurzeit noch geringen Anzahl an

Erlaubnissen bzw. Genehmigungen fehlenden Erfahrung der Zulassungsbehörden, sind solche Fristverlängerungen regelmäßig zu erwarten.

Für Planfeststellungsverfahren gibt es keine vergleichbaren Regelbearbeitungsfristen. Es gilt jedoch der allgemeine Grundsatz, dass Verwaltungsverfahren zügig durchzuführen sind. Daraus lässt sich folgende Handlungsempfehlung ableiten: Insbesondere auf der ersten Stufe ist aufgrund der noch fehlenden Genehmigungspraxis häufig unklar, ob die Errichtung und der Betrieb einer H_2–Tankstelle als Änderung bzw. wesentliche Änderung einer planfestgestellten Anlage gilt. Entsprechende Leitlinien bzw. Anwendungshinweise für die Genehmigungsbehörden würden die Einstufung von H_2–Tankstellen als planfeststellungspflichtige Änderungen erheblich erleichtern. Im Hinblick auf den Aufbau einer H_2–Tankstelleninfrastruktur ist die Durchführung von erfahrungsgemäß langwierigen Planfeststellungen hinderlich und könnte durch entsprechende Auslegungshilfen reduziert werden.

5.3.2 „Angemessenheit" der Genehmigungsverfahren prüfen

Insbesondere bei der Errichtung und dem Betrieb von H_2–Tankstellen mit H_2–Erzeugung am Standort ist nach der bestehenden Genehmigungspraxis wegen der extensiven Auslegung der Ziffer 4.1.12 der 4. BImSchV grundsätzlich ein Regelverfahren nach § 10 BImSchG mit Öffentlichkeitsbeteiligung und Berücksichtigung der zusätzlichen Anforderungen der IE–RL durchzuführen. Die inhaltlichen und zeitlichen Anforderungen an die Verfahrensführung sind erheblich und können als wesentliches Hemmnis für den Ausbau einer H_2–Tankstelleninfrastruktur (mit einer dezentralen H_2–Erzeugung durch Elektrolyseure) bezeichnet werden.

Die Umweltauswirkungen bei dem Betrieb von Elektrolyseuren sind nach den bisherigen Erkenntnissen gering, zumindest im Vergleich zu „industriellen Anlagen", die üblicherweise im vorstehenden Verfahren zu genehmigen sind. Ein Ausschluss von Elektrolyseuren vom Regelverfahren und den Anforderungen der IE–RL erscheint angemessen und würde den Aufbau einer H_2–Tankstelleninfrastruktur mit dezentralen (kleineren) H_2–Erzeugungsanlagen erheblich vereinfachen.

Daraus lassen sich folgende Handlungsempfehlungen ableiten:

Das nach Ziffer 4.1.12 der 4. BImSchV zu führende Regelverfahren knüpft zunächst an die Erzeugung von Wasserstoff in „industriellen Umfang" an, wobei dieser Begriff nicht hinreichend bestimmt ist. Eine Auslegungshilfe, unter welchen Voraussetzungen ein „industrieller Umfang" gegeben ist, wäre hilfreich und würde dazu beitragen, insbesondere kleinere Elektrolyseure vom Regelverfahren auszuklammern.

Unabhängig davon ist fraglich, ob eine elektrolytische bzw. elektrochemische Umwandlung von Stoffen zur H_2–Erzeugung begrifflich von der Ziffer 4.1.12 der 4. BImSchV erfasst ist. Auch in dieser Hinsicht wäre eine Auslegungshilfe sinnvoll. Es erscheint vertretbar, Elektrolyseure insgesamt vom Anwendungsbereich der Ziffer 4.1.12 der 4. BImSchV auszuklammern und eine eigene Kategorie einzuführen, die eine Genehmigung im vereinfachten Verfahren ermöglicht. Zudem könnte die vollständige Befreiung von (kleineren) Elektrolyseuren von der BImSchG–Genehmigungspflicht geprüft werden.

5.3.3 Standardisierung der Technik und Bauarten

Die Erlaubnis nach § 18 Abs. 1 BetrSichV erfolgt anlagenbezogen für den vorgesehenen Betriebsort. Diese bauart– und standortspezifischen Prüfanforderungen erhöhen die Komplexität der ZÜS–Prüfungen erheblich. Unterschiedliche Bauarten und Standortbedingungen von H_2–Betankungseinrichtungen sind von der ZÜS zu berücksichtigen und erschweren ein standardisiertes Prüfverfahren.

Unabhängig davon besteht nach dem Außerkrafttreten der Wasserstofftankstellenverordnung Unklarheit im Hinblick auf die technischen Spezifikationen nach dem Anhang 2 Nr. 2 AFID. Dieser Umstand erschwert den richtlinienkonformen Aufbau einer H_2–Tankstelleninfrastruktur.

Daraus lassen sich folgende Handlungsempfehlungen ableiten:

Durch Leitlinien bzw. Anwendungshinweise können Gemeinsamkeiten unterschiedlicher technischer Konzepte und Bauarten identifiziert werden. Daran anknüpfend können diese bestimmten technischen Kategorien bzw. Gefährdungskategorien zugeordnet werden, die im Rahmen der ZÜS–Prüfungen einheitlich behandelt werden könnten. Durch solche Standardisierungen könnte der Prüfumfang vereinheitlicht werden und das Prüfverfahren insgesamt erleichtert werden.

Im Hinblick auf die Umsetzung der technischen Spezifikationen nach dem Anhang 2 Nr. 2 AFID besteht Handlungsbedarf. Es sollte konkretisiert werden, in welchen Umfang und für welche Anwendungsfälle die Vorgaben der AFID in den deutschen Rechtsrahmen integriert werden.

5.4 Zusammenfassung

- H_2–Betankungseinrichtungen gelten als überwachungsbedürftige und erlaubnispflichtige Gasfüllanlagen im Sinne von § 18 Abs. 1 Nr. 3 BetrSichV. Diese Erlaubnis ist neben einer Baugenehmigung nach LBO für die nicht sicherheitsrelevanten (bauliche) Anlagen stets erforderlich. Besondere Eigenschaften einer Gesamtanlage, z.B. bei H_2–Erzeugung am Ort der Betankungseinrichtung oder H_2–Lagerung von mehr als 3 to am Standort, können eine Genehmigung nach dem BImSchG erfordern. Zudem können fachplanungsrechtliche Bezüge, z.B. nach AEG, FStrG, LWG SH oder LuftVG, besondere Genehmigungserfordernisse begründen. Diese greifen insbesondere, wenn die Errichtung und der Betrieb einer H_2–Tankstelle zu einer (ggfs. wesentlichen) Änderung einer planfeststellungspflichtigen Einrichtung führen. Vor diesem Hintergrund ist eine dreistufige Vorprüfung zu den Genehmigungsanforderungen erforderlich.
- Planfeststellungsverfahren und Genehmigungen nach dem BImSchG entfalten eine weitgehende Konzentrationswirkung und schließen die jeweils "nachgelagerten" Genehmigungen ein. Erlaubnisse nach § 18 Abs. 1 BetrSichV können in begrenztem Umfang Baugenehmigungen nach LBO SH einschließen.
- Über einen Antrag auf Erlaubniserteilung nach § 18 Abs. 1 BetrSichV ist grundsätzlich innerhalb von drei Monaten nach Eingang eines (vollständigen) Antrages zu entscheiden. Diese Frist kann in begründeten Fällen verlängert werden. Über Genehmigungsanträge nach dem BImSchG ist im Regelverfahren grundsätzlich innerhalb einer Frist von sieben Monaten zu entscheiden. Im vereinfachten Verfahren verkürzt sich die Frist auf drei Monate. Voraussetzung für den Fristbeginn ist ein vollständiger Antrag einschließlich der Antragsunterlagen. Diese Fristen können (auch mehrfach) um jeweils drei Monate verlängert werden, wenn dies wegen der Schwierigkeit der Prüfung oder aus Gründen, die dem Antragsteller zuzurechnen sind, erforderlich ist. Für Planfeststellungsverfahren gibt es keine vergleichbaren Regelbearbeitungsfristen.
- Errichtung und Betrieb von H_2–Tankstellen mit H_2–Erzeugung erfordert nach der bestehenden Genehmigungspraxis im Regelfall, ein Regelverfahren nach § 10 BImSchG mit Öffentlichkeitsbeteiligung und Berücksichtigung der zusätzlichen Anforderungen der IE–RL durchzuführen. Diese hohen Anforderungen können als wesentliches Hemmnis für den Ausbau einer H_2–Tankstelleninfrastruktur (mit dezentralen H_2–Erzeugung durch Elektrolyseure) bezeichnet werden. Die Umweltauswirkungen bei dem Betrieb von Elektrolyseuren sind nach den bisherigen Erkenntnissen vergleichsweise gering, zumindest im Vergleich zu „industriellen Anlagen", die üblicherweise im vorstehenden Verfahren zu genehmigen sind. Ein Ausschluss von Elektrolyseuren vom Regelverfahren und den Anforderungen der IE–RL wird empfohlen.
- Die Bereitstellung von Leitlinien, Anwendungshilfen oder sonstige Hilfestellungen für Genehmigungsbehörden und Antragssteller, z.B. für die Einordnung von H_2–Tankstellen in das Fachplanungsrecht, zu den Verfahrensanforderungen nach dem BImSchG oder zur Durchführung bzw. Optimierung der ZÜS–Prüfung, wird empfohlen. Dies umfasst auch die Einrichtung einer zentralen Anlaufstelle für Genehmigungsfragen ("Task Force H_2–Genehmigungen).
- Öffentlich zugängliche H_2–Tankstellen für Kfz im Straßenverkehr müssen nach Art. 5 der europäischen Alternative Fuel Infrastructure Directive (AIFD) die technischen Spezifikationen nach Anhang 2 Nr. 2 AFID erfüllen. Mangels Konkretisierung durch deutsche Normgeber besteht Unklarheit über Umsetzung. Dies erschwert richtlinienkonforme Genehmigungen und einen flächendeckenden Aufbau einer H_2–Tankstelleninfrastruktur.

6 Regulatorische Rahmenbedingungen zur Förderung der Wasserstoffmobilität

Um die Wasserstoffmobilität im Land Schleswig–Holstein voranzubringen, bedarf es Kenntnisse über die rechtlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen, wobei hierbei das Genehmigungs– und Förderrecht besonders relevant sind. Während die genehmigungsrechtlichen Rahmenbedingungen vorschreiben, welche technischen Standards für die Errichtung und Betrieb einer Anlage eingehalten werden müssen, können die förderrechtlichen Rahmenbedingungen den Markthochlauf der Wasserstoffmobilität, wie Kapitel 2.1 dargestellt, beschleunigen, indem gezielt finanzielle Unterstützungen für bestimmte Projektvorhaben ermöglicht werden.

Ziel dieses Kapitels ist es daher, die rechtlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen der Wasserstoffmobilität in Schleswig–Holstein zu analysieren und zu prüfen, inwiefern eine weitere Stimulierung dieser durch zusätzliche Förderrichtlinien und/ oder Regulierungen in Schleswig–Holstein oder eine Ergänzung einer bereits vorhandenen Förderrichtlinie und/ oder Regulierung erreicht werden kann. Dies soll es Schleswig–Holstein ermöglichen als Vorreiter die Mobilitätswende in Deutschland aktiv voranzutreiben.

Da dieses Kapitel nicht den Schwerpunkt des Gutachtens darstellt, erfolgt hier keine Detailanalyse der rechtlichen Rahmenbedingungen im Sinne eines Rechtsgutachtens. Es werden überblicksmäßig relevante rechtliche Aspekte aufgezeigt und Hinweise gegeben, in welchen Themenfeldern es sinnvoll wäre, Rechtsfragen einer vertiefenden Prüfung der Rechtslage, zu unterziehen. Im Rahmen dieses Gutachtens wird keine Förderrichtlinie erstellt. Es werden in diesem Gutachten lediglich Eckpunkte einer Förderrichtlinie für die Wasserstoffmobilität in Schleswig–Holstein definiert. Die Erstellung einer Förderrichtlinie könnte in einem Folgegutachten betrachtet werden.

6.1 Europäische Rahmenbedingungen der Wasserstoffmobilität

Die rechtlichen Rahmenbedingungen des Einsatzes von Wasserstoff im Energiesystem werden maßgeblich durch folgende EU–Richtlinien und eine Verordnung bestimmt:

- RED II: Richtlinie (EU) 2018/2001 (Renewable Energy Directive) [100]
  → Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen
- CVD: Richtlinie 2009/33/EG (Clean Vehicles Directive) [101]
  → Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge
- AFID: Richtlinie 2014/94/EU (Alternative Fuels Infrastructure Directive) [102]
  → Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe
- FQD: Richtlinie 2009/30/EG (Fuel Quality Directive) [103]
  → zur Änderung der Richtlinie 98/70 / EG in Bezug auf die Spezifikation von Benzin, Diesel und Gasöl sowie zur Einführung eines Mechanismus zur Überwachung und Verringerung der Treibhausgasemissionen und zur Änderung der Richtlinie 1999/32/EG des Rates über die Spezifikation des von Binnenschiffen verwendeten Kraftstoffs und die Aufhebung der Richtlinie 93/12/EWG
- Flottengrenzwerte: Verordnung (EU) 2019/631 [104]
  → Regulierung der CO_2–Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen und für neue leichte Nutzfahrzeuge
- RED II: Richtlinie (EU) 2018/2001 (Renewable Energy Directive) [100]
  → Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen

- CVD: Richtlinie 2009/33/EG (Clean Vehicles Directive) [101]
  → Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge
- AFID: Richtlinie 2014/94/EU (Alternative Fuels Infrastructure Directive) [102]
  → Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe
- FQD: Richtlinie 2009/30/EG (Fuel Quality Directive) [103]
  → zur Änderung der Richtlinie 98/70 / EG in Bezug auf die Spezifikation von Benzin, Diesel und Gasöl sowie zur Einführung eines Mechanismus zur Überwachung und Verringerung der Treibhausgasemissionen und zur Änderung der Richtlinie 1999/32/EG des Rates über die Spezifikation des von Binnenschiffen verwendeten Kraftstoffs und die Aufhebung der Richtlinie 93/12/EWG
- Flottengrenzwerte: Verordnung (EU) 2019/631 [104]
  → Regulierung der CO_2–Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen und für neue leichte Nutzfahrzeuge
- Flottengrenzwerte: Verordnung (EU) 2019/1242 [105]
  → Regulierung der CO_2–Emissionsnormen für neue schwere Nutzfahrzeuge

Die RED II definiert dabei das Ziel, den Anteil der erneuerbaren Energien am Brutto–endenergieverbrauch der Europäischen Union bis zum Jahr 2030 auf mindestens 32 % zu erhöhen (vgl. Art. 3). Für den Verkehrssektor wurde hierbei festgelegt, dass der Anteil der erneuerbaren Energien in diesem bis zum Jahr 2030 auf mindestens 14 % steigt (vgl. Art. 25 Abs. 1). [100] Grüner Wasserstoff kann in diesem Kontext als erneuerbare Energie angerechnet werden (vgl. Art. 7 Abs. 1c). Um den Handel mit grünem Wasserstoff zu ermöglichen, werden Herkunftsnachweise, wie sie bereits für erneuerbaren Strom verwendet werden, benötigt. Diese würden eine einheitliche Nachweisführung für die Herkunft von Gas aus erneuerbaren Quellen erlauben und einen länderübergreifenden Handel erleichtern (vgl. Abs. 59). Nach Artikel 19 sind die Mitgliedstaaten dazu verpflichtet ein Herkunftsnachweissystem für erneuerbare Gase einzuführen. [100] Die RED II definiert dabei das Ziel, den Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch der Europäischen Union bis zum Jahr 2030 auf mindestens 32 % zu erhöhen (vgl. Art. 3). Für den Verkehrssektor wurde hierbei festgelegt, dass der Anteil der erneuerbaren Energien in diesem bis zum Jahr 2030 auf mindestens 14 % steigt (vgl. Art. 25 Abs. 1). [100] Grüner Wasserstoff kann in diesem Kontext als erneuerbare Energie angerechnet werden (vgl. Art. 7 Abs. 1c). Um den Handel mit grünem Wasserstoff zu ermöglichen, werden Herkunftsnachweise, wie sie bereits für erneuerbaren Strom verwendet werden, benötigt. Diese würden eine einheitliche Nachweisführung für die Herkunft von Gas aus erneuerbaren Quellen erlauben und einen länderübergreifenden Handel erleichtern (vgl. Abs. 59). Nach Artikel 19 sind die Mitgliedstaaten dazu verpflichtet ein Herkunftsnachweissystem für erneuerbare Gase einzuführen. [100]

Neben der RED II kann auch die CVD einen Beitrag zur verstärkten Nutzung von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen leisten. So gibt die CVD Mindestquoten für die Beschaffung von emissionsfreien bzw. emissionsarmen Fahrzeugen durch öffentliche Aufträge vor, die für die Zeiträume bis 2025 sowie bis 2030 einzuhalten sind. Für Deutschland ergeben sich folgende Mindestquoten für „saubere Fahrzeuge":

Tabelle 6–1: Mindestquoten für die Beschaffung von emissionsfreien/– armen Fahrzeugen durch öffentliche Aufträge nach CVD [101]

Fahrzeugklasse	Mindestquote
LNF	38,5 % bis 2025 bzw. auch bis 2030
LKW	10 % bis 2025 bzw. 15 % bis 2030
Busse	45 % bis 2025 bzw. 65 % bis 2030

Dabei gelten LNF für den Zeitraum bis zum Jahr 2025 als „clean", wenn sie höchstens 50 g CO_2/km ausstoßen. Ab 2026 sinkt dieser Grenzwert auf 0 g CO_2/km. Für LKW und Busse hingegen gilt, dass Fahrzeuge „sauber" sind, wenn sie mit alternativen Kraftstoffen betrieben werden. Neben batterieelektrischem Fahren bzw. Strom, Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen zählt im Sinne der Richtlinie auch Erdgas zu den alternativen Kraftstoffen. Für die öffentliche Anschaffung von Bussen schreibt die CVD darüber hinaus für beide Perioden vor, dass mindestens die Hälfte der sauberen Fahrzeuge einen emissionsfreien Antrieb haben muss. Als emissionsfreie Busse kommen faktisch nur Fahrzeuge mit einem reinen Elektroantrieb (Batterie oder Brennstoffzelle) in Frage. [101]

Eine weitere Richtlinie, die den Markthochlauf von Wasserstoff in der Mobilität fördert, ist die Richtlinie 2014/94 über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (AFID). Ziel dieser Direktive ist es einen europäischen Rahmen für den Aufbau von Infrastruktur für alternative Kraftstoffe zu schaffen. Dadurch soll die Abhängigkeit von Erdöl verringert werden und die Umweltbelastung durch den Verkehr begrenzt werden (vgl. Art.1). Es wird gefordert, dass die Mitgliedsstaaten einen Strategierahmen für die Marktentwicklung von alternativen Kraftstoffen im Verkehrsbereich vorlegen und umsetzen (vgl. Art. 3). Länder, die in ihren nationalen Strategierahmen Wasserstofftankstellen aufnehmen, sind dabei nach Art. 5 dazu verpflichtet bis zum 31.12.2025 eine angemessene Anzahl an öffentlich zugänglichen Tankstellen zur Verfügung zu stellen. Durch den Aufbau einer öffentlich zugänglichen Wasserstoffinfrastruktur soll das Brennstoffzellenfahrzeug für den Verbraucher attraktiver werden. Die Mitgliedstaaten werden zudem aufgefordert seit November 2019 alle drei Jahre einen Bericht über die Umsetzung ihres nationalen Strategierahmens vorzulegen (vgl. Art. 10 Abs. 1). [102]

Die Fuel Quality Directive (FQD) schreibt vor, dass Inverkehrbringer[28] von Kraftstoffen in Europa bis zum 31.12.2020 dazu verpflichtet sind, die Treibhausgasemissionen von fossilen Benzin– und Dieselkraftstoffen zu senken. Dabei wird eine Minderung der THG–Emissionen von 6 % gegenüber dem Referenzwert von 94,1 g CO_2–Äq./MJ aus dem Jahr 2010 vorgeschrieben. [103]

[28] Als Inverkehrbringen von Kraftstoffen gilt die Versteuerung nach § 2 Absatz 1 Nummer 1,4,7,8 oder Absatz 2 des Energiesteuergesetzes [106].

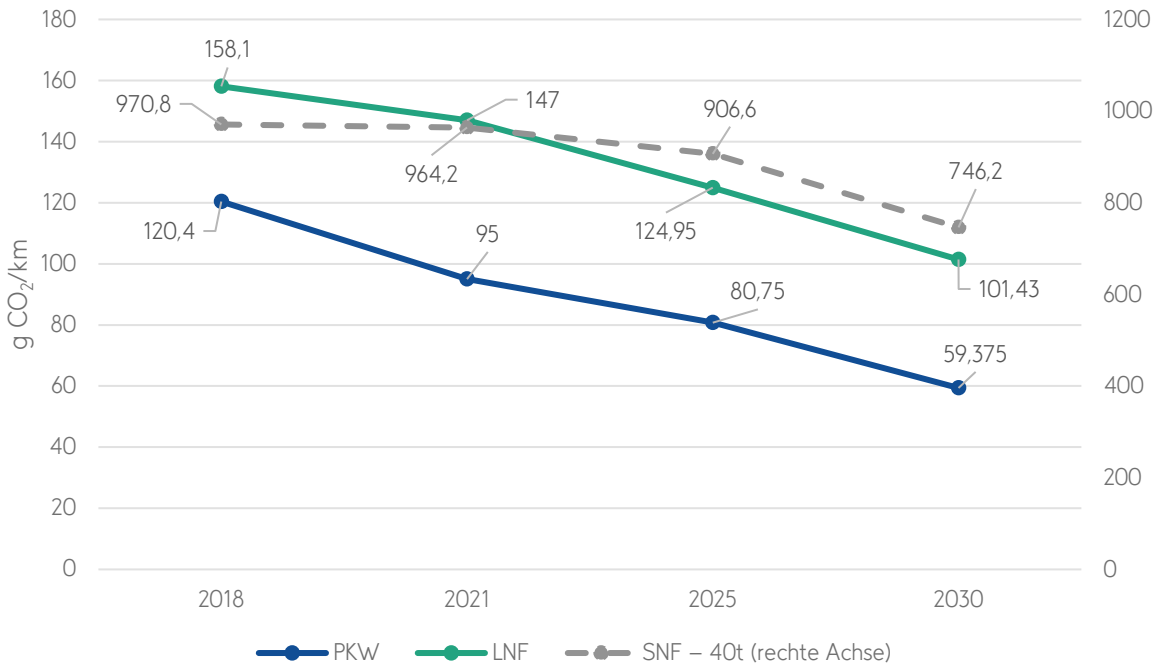


Abbildung 6–1: Entwicklung der durchschnittlichen CO_2–Flottenwerte in der Union nach Verordnung 2019/631 [104, 107]

Die Verordnung 2019/631 zur Festsetzung von CO_2–Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen und für neue leichte Nutzfahrzeuge (Flottengrenzwerte) ist eine Richtlinie, die den Markthochlauf von emissionsfreier Mobilität allgemein unterstützen soll. Ziel der Richtlinie ist es, die Treibhausgas–emissionen im europäischen Verkehrssektor durch Vorschreiben eines maximal zulässigen CO_2–Emissionsdurchschnitts für in der Union zugelassene PKW und leichte Nutzfahrzeuge schrittweise zu reduzieren. Dabei wird ab dem 01.01.2021 der Emissionsdurschnitt der in der Union zugelassenen PKW bzw. leichten Nutzfahrzeugen auf 95 bzw. 147 g CO_2/km festgelegt. In Abbildung 6–1 werden die aktuellen Emissionsdurchschnitte für PKW und leichte Nutzfahrzeuge sowie die für die Jahre 2025 und 2030 geforderten Emissionsdurchschnitte dargestellt.

Durch diese Verordnung wird für Fahrzeughersteller ein Anreiz geschaffen den Absatz emissionsarmer Fahrzeuge zu erhöhen. Sollten die Fahrzeughersteller dies nicht schaffen und die vorgegebenen Emissionsdurchschnittswerte ihrer neu zugelassenen Flotte nicht erreichen, drohen Strafzahlungen (vgl. Artikel 8) [104, 107]. Im gleichen Zuge wie die Verordnung (EU) 2019/631 die CO_2–Emissionen von PKW & LNF vorschreibt, regelt die Verordnung (EU) 2019/1242 die SNF. In Tabelle 6–2 sind die Minderungswerte für den Verbrauch mit der daraus resultierenden jährlichen Reduktion aufgeführt. Für die Tabelle 6–2 und den in Abbildung 6–1 aufgeführten Verlauf wurde ein CO_2–Grenzwertszenarion mit in [108] nachzulesenden Rahmenbedingungen angenommen. Durch diese Verordnung wird für Fahrzeughersteller ein Anreiz geschaffen den Absatz emissionsarmer Fahrzeuge zu erhöhen. Sollten die Fahrzeughersteller dies nicht schaffen und die vorgegebenen Emissionsdurchschnittswerte ihrer neu zugelassenen Flotte nicht erreichen, drohen Strafzahlungen (vgl. Artikel 8) [104, 107]. Im gleichen Zuge wie die Verordnung (EU) 2019/631 die CO_2–Emissionen von PKW & LNF vorschreibt, regelt die Verordnung (EU) 2019/1242 die SNF. In Tabelle 6–2 sind die Minderungswerte für den Verbrauch mit der daraus resultierenden jährlichen Reduktion aufgeführt. Für die Tabelle 6–2 und den in Abbildung 6–1 aufgeführten Verlauf wurde ein CO_2–Grenzwertszenario angenommen.

Tabelle 6–2: Minderungsraten des spezifischen Kraftstoffverbrauchs bei SNF bis 2030 nach Verordnung (EU) 2019/1242

Fahrzeug–Kategorie (TREMOD)	Minderung gegenüber einem Neufahrzeug 2015		Jährliche Reduktion		
	bis 2025	bis 2030	2015–2020	2021–2025	2026–2030
Solo–LKW	–15%	–27%	–0,5%	–3,3%	–3,0%
Last–/ Sattelzüge	–15%	–38%	–0,5%	–3,3%	–6,8%

Die aufgelisteten europäischen Richtlinien und Verordnungen setzen Rahmenbedingungen für die Wasserstoffmobilität, welche die Mitgliedstaaten umzusetzen haben. Zusätzlich neben diesen Richtlinien gibt es bereits europaweite Förderprogramme, welche die Wasserstoffmobilität fördern. Zu diesen zählt der europäische Fond für regionale Entwicklung (EFRE) und der Innovationsfond.

Der EFRE ist einer der fünf Struktur– und Investitionsfonds der Union. Ziel dieses Fonds ist es, den wirtschaftlichen, sozialen und territorialen Zusammenhalt innerhalb der Union zu stärken. Dies soll mittels eines Ausgleichs der regionalen Ungleichgewichte in der Union durch die Finanzierung einer nachhaltigen Entwicklung und Strukturanpassung der regionalen Wirtschaften realisiert werden. Die aktuelle Phase des Programms läuft seit 2014 und endet zum 31.12.2020. Innerhalb dieser Periode werden neben Bestrebungen zur Verringerung der CO_2–Emissionen in allen Bereichen der Wirtschaft durch die Förderung der Produktion und Verteilung erneuerbarer Energien, auch die Nachhaltigkeit im Verkehr gefördert (Vgl. Art. 5 Abs. 4, 7). [109] Der EFRE ist einer der fünf Struktur– und Investitionsfonds der Union. Ziel dieses Fonds ist es, den wirtschaftlichen, sozialen und territorialen Zusammenhalt innerhalb der Union zu stärken. Dies soll mittels eines Ausgleichs der regionalen Ungleichgewichte in der Union durch die Finanzierung einer nachhaltigen Entwicklung und Strukturanpassung der regionalen Wirtschaften realisiert werden. Die aktuelle Phase des Programms läuft seit 2014 und endet zum 31.12.2020. Innerhalb dieser Periode werden neben Bestrebungen zur Verringerung der CO_2–Emissionen in allen Bereichen der Wirtschaft durch die Förderung der Produktion und Verteilung erneuerbarer Energien, auch die Nachhaltigkeit im Verkehr gefördert (Vgl. Art. 5 Abs. 4, 7). [109]

Ein weiterer Fond, der Investitionen in erneuerbare Energien und die dafür notwendige Infrastruktur unterstützt, ist der Innovationsfond der EU. Der Fokus dieses Förderprogramms ist die Unterstützung von innovativen kohlenstoffarmen Technologien und Prozessen in der energieintensiven Industrie, „carbon capture and utilisation" (CCU), Installation und Betrieb von „carbon capture and storage" (CCS), innovative erneuerbare Energieproduktion sowie Projekte zur Energiespeicherung. Die Fördermittel stammen dabei aus dem europäischen Emissionshandel (EU ETS) durch den Verkauf von 450 Mio. Zertifikaten im Zeitraum von 2020 bis 2030. [110]

6.2 Nationale Rahmenbedingungen der Wasserstoffmobilität

Aufbauend auf den europäischen Rahmenbedingungen aus Kapitel 6.1 ergeben sich für die Mitgliedstaaten Stichtage. Bis zu diesen festgelegten Daten müssen Deutschland und die anderen Mitgliedstaaten die Anforderungen aus den oben genannten Richtlinien umgesetzt haben.
Die Bundesregierung reagierte auf RED II und AFID bereits mit verschiedenen Maßnahmen. Ein Überblick dieser Maßnahmen und die bisher erzielten Erfolge für die Wasserstoffwirtschaft, können im ersten Bericht über die Umsetzung des nationalen Strategierahmens eingesehen werden. [111]

Die Entscheidung eines Konsumenten für den Kauf eines bestimmten Fahrzeugs hängt neben Fahrerlebnis und der Außendarstellung maßgeblich von den Total Cost of Ownership (TCO – siehe auch Kapitel 2.4) ab. Deshalb werden im Folgenden einzelne gesetzliche Rahmenbedingungen der Wasserstoffmobilität in Deutschland dargestellt, welche einen direkten oder indirekten Einfluss auf den TCO von FCEV haben.

Die Bundesregierung reagierte auf diese bereits mit verschiedenen Maßnahmen. Ein Überblick dieser Maßnahmen und die bisher erzielten Erfolge für die Wasserstoffwirtschaft, können im ersten Bericht über die Umsetzung des nationalen Strategierahmens eingesehen werden. [111]

Neben den Anschaffungskosten (CAPEX) sind die Betriebskosten (OPEX) eines Fahrzeugs der entscheidende Kostenfaktor der TCO. Diese sind wiederum stark geprägt von den Kraftstoffkosten.
Im Falle eines FCEV ist der Kraftstoff Wasserstoff. Dieser kann unter Bezug von Strom aus erneuerbaren Quellen in einem Elektrolyseur hergestellt werden (sog. grüner Wasserstoff). Die Strombezugskosten von Elektrolyseuren sind derzeit stark von den staatlich induzierten Abgaben, Umlagen und Steuern belastet. Diese erhöhen die Strombezugskosten und verringern wiederum die Wettbewerbsfähigkeit von Wasserstoff. Neben dem Erneuerbare–Energien–Gesetz (EEG)–Umlage zählen zu diesen Preisbestandteilen die Netzentgelte und die Stromsteuer.

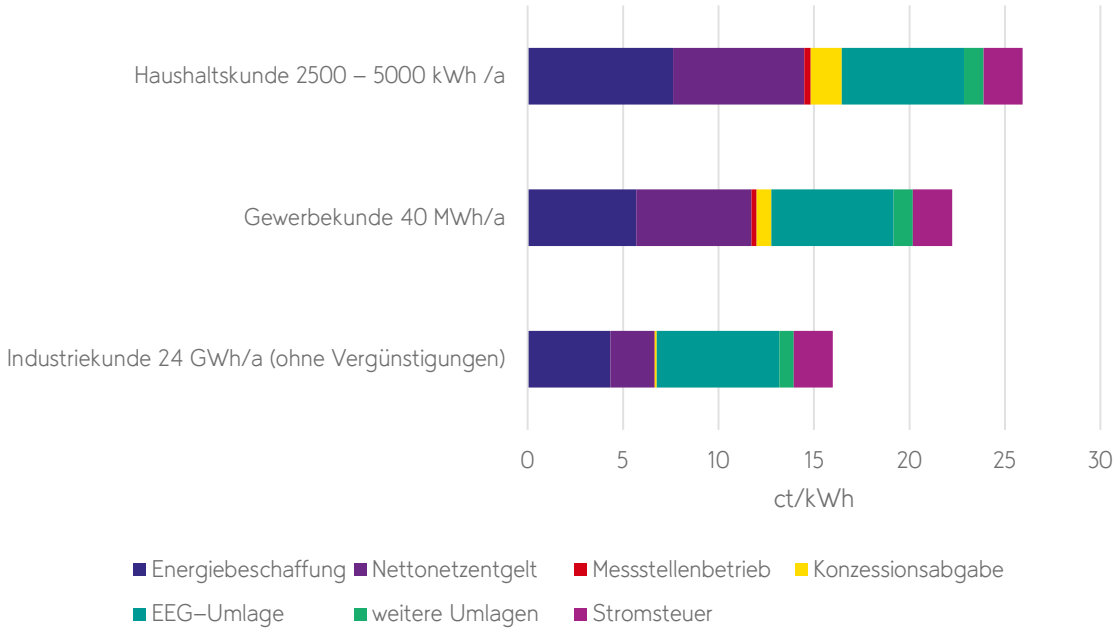


Abbildung 6–2: Die Preisbestandteile des Strombezugs in 2019 [112]

Die Betriebskosten von FCEV werden vom Gesetzgeber derzeit durch das Kraftfahrzeugsteuergesetz (KraftStG), das Elektromobilitätsgesetz (EmoG), das Bundesfernstraßenmautgesetz (BFStrMG) und das Einkommenssteuergesetz (EStG) gefördert. Das Halten von Elektrofahrzeugen ist nach § 3d des KraftStG zehn Jahre lang seit der Zulassung von der Kfz–Steuer befreit. Voraussetzung der Steuerbefreiung ist die erstmalige Zulassung des Fahrzeugs in der Zeit vom 18.05.2011 bis zum 31.12.2020. [113] Das Halten eines Elektrofahrzeugs wird für den Besitzer weiter attraktiver gestaltet, indem Kommunen nach §3 EmoG das Recht erhalten, Elektrofahrzeugen Bevorrechtigungen beim Nutzen von Straßen oder beim Parken zu gewährleisten. [114]

Die Betriebskosten von Elektrofahrzeugen werden zusätzlich durch § 1 Absatz 1 Satz 7 BFStrMG gesenkt. Dieser besagt, dass für die Benutzung der Bundesautobahnen und Bundesstraßen mit einem Elektrofahrzeug keine Maut bezahlt werden muss [115]. Des Weiteren wird das Halten eines Elektrofahrzeugs steuerlich durch das EstG begünstigt. Zum einen wird das Aufladen des Elektrofahrzeugs beim Arbeitgeber von der Einkommenssteuer befreit und zum anderen wird die Bemessungsgrundlage für die Ermittlung der Entnahme/ des geldwerten Vorteils für die private Nutzung eines betrieblichen Elektrofahrzeugs halbiert. [116]

Durch das Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz (GVFG) oder, im Langtitel, Gesetz über Finanzhilfen des Bundes zur Verbesserung der Verkehrsverhältnisse der Gemeinden gewährt der Bund den Ländern Finanzhilfen für Investitionen zur Verbesserung der Verkehrsverhältnisse der Gemeinden (§ 1 GVFG).

Im Gesetzestext sind verschiedene „förderungsfähige Vorhaben" (§ 2 Abs. 1 GVFG), die „Voraussetzungen der Förderung" (§ 3 GVFG) sowie „Höhe und Umfang der Förderung" (§ 4 GVFG) angegeben. Eine der Voraussetzungen ist, dass die Standardisierte Bewertung für das Vorhaben ein gesamtwirtschaftliches Nutzen–Kosten–Verhältnis größer als 1 errechnet (§ 2 Abs. 1 Nr. 2, § 11 GVFG).

Die Förderung ist nicht für jedes Bundesland gleich, da auch auf die örtlichen Gegebenheiten eingegangen wird. Beispielsweise werden die besonderen Umstände der neuen Bundesländer mitberücksichtigt (§ 2 Abs. 3, § 6 Abs. 2 Satz 5, § 10 Abs. 2 Nr. 2, § 12 Abs. 4 GVFG).

Damit FCEV für den Verbraucher attraktiv werden, bedarf es neben diesen nationalen Fördermaßnahmen einer flächendeckenden Infrastruktur, deren Aufbau und Betrieb daher unbedingt unterstützt werden müssen. Das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff– und Brennstoffzellentechnologie (NIP) fördert den Aufbau von öffentlich zugänglichen Wasserstofftankstellen. Der Betrieb von Wasserstofftankstellen wird derzeit nicht gefördert. [117]

6.2.1 Umrüstung von Fahrzeugen auf Wasserstoffantrieb

Der Kauf energieeffizienter LKW ab 7,5 t wird vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) bis Ende 2020 mit 10 Mio. € jährlich gefördert. Die Subventionen pro Fahrzeug betragen 8.000 € für CNG–LKW, 12.000 € für LNG–LKW und Elektro–LKW bis zu 12 Tonnen und 40.000 € für Elektrofahrzeuge über 12 Tonnen. Der Zuschuss ist auf 500.000 € Jahr pro Unternehmen begrenzt.

Im Rahmen des sogenannten De–minimis–Förderprogramms (siehe auch Unterkapitel 8.4.1) wird die Umrüstung von Diesel–LKW von 7,5 t auf Elektroantriebe, Diesel–Hybrid, Plug–in–Diesel–Hybrid (PHEV) und CNG, LNG–Antriebe und LPG gefördert. Der Finanzierungssatz beträgt maximal 80 % der förderfähigen Kosten und bezieht sich auf die Kosten für den Erwerb des Motors und für dessen Umbau/ Installation (Montagekosten). Im Rahmen des De–minimis–Programms sind die Zuschüsse auf maximal 2.000 € pro LKW und 33.000 € pro Jahr und Unternehmen begrenzt. Die Finanzierung gilt nur für bestehende Fahrzeuge.

Folgende Maßnahmen könnten ergriffen werden:

- Vollständige Mautbefreiung für alle CO_2–armen Nutzfahrzeuge
- Einführung einer Finanzierung für den Erwerb neuer Wasserstoff– / Brennstoffzellenfahrzeuge ab 3,5 t mit 25.000 € und ab 7,5 t mit 50.000 € pro Fahrzeug
- Finanzierung für die Umstellung von Diesel–Nutzfahrzeugen auf Wasserstoff / Brennstoffzellen ab 3,5 t mit 25.000 € und ab 7,5 t mit 50.000 € pro Fahrzeug
- Parallel zu den beschriebenen Maßnahmen sollte die Steuerabschreibung für energieeffiziente LKW attraktiver gestaltet werden als für Diesel–LKW, um die Unternehmer zu motivieren, in solche emissionsarmen Fahrzeuge zu investieren.

6.3 Nationale & internationale Best–Practice–Ansätze

Im Zuge des Siegeszugs der BEV sind deutschlandweit und international schon eine Vielzahl an Maßnahmen getroffen worden, um die Elektrifizierung des Antriebstranges in der Mobilität voran zu bringen. Jedoch liegt hierbei der Fokus oftmals auf BEV und ist nicht gänzlich technologieoffen gestaltet bzw. deckt nicht die ganze Wertschöpfungskette ab. Bei FCEV ist es umso bedeutender die gesamte Wertschöpfungskette zu betrachten, da hierbei ein neuer Kraftstoff mit Anforderungen an die Infrastruktur benötigt wird.

Im Folgenden wird zunächst Deutschland und dann die Vereinigten Staaten (insb. Kalifornien), Südkorea, Japan und China bezogen auf die Best–Practice–Ansätze beleuchtet.

6.3.1 Deutschland

Deutschland bietet eine Vielzahl von Fördermaßnahmen auf Bundesebene. Im Folgenden werden beispielhaft einige Maßnahmen vorgestellt.

Mit dem Förderprogramm „Absatz von elektrisch betriebenen Fahrzeugen (Umweltbonus) bezuschusst das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) bundesweit Unternehmen, Privatpersonen, Verbände/ Vereinigungen und öffentliche Einrichtungen die Anschaffung von neuen und jungen gebrauchten Elektrofahrzeugen. [118] Ebenso erhalten FCEV auf Bundesebene bei Zulassung eine Bezuschussung der Betriebskosten innerhalb eines Unternehmens. [119]

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) unterstützt Investitionen zur Marktaktivierung von FCEV für umweltfreundliche Bordstrom– und mobile Landstromsysteme von See– und Binnenschiffen. Gefördert werden Investitionen für eine bordseitige Aus– und Umrüstung.

Die Höhe des Zuschusses beträgt für Bordstromversorgungssysteme oder mobile Landstromversorgungssysteme zur Eigenversorgung von Schiffen 40 % der zuwendungsfähigen umweltschutzbedingten Investitionsmehrausgaben. Für kleine Unternehmen ist die Förderquote 20 % und für mittlere Unternehmen 10 % höher. Für mobile Landstromversorgungssysteme als hafenseitiges Infrastrukturangebot beträgt der Zuschuss 80 % der zuwendungsfähigen Investitionsausgaben. Der Höchstbetrag für die Modernisierungsmaßnahme in Seehäfen liegt bei 5 Millionen € und für Modernisierungsmaßnahme in Binnenhäfen bei 2 Millionen €. [120]

Das Gesetz über den öffentlichen Personennahverkehr in Nordrhein–Westfalen (nach §13 Absatz 1 NR. 6 ÖPNVG NRW) fördert Elektrobusse (Batterie, Brennstoffzelle oder Oberleitung), notwendige Infrastruktur (Wasserstofftankstellen, Ladesäulen) und notwendige Werkstatteinrichtungen (z.B. Hocharbeitsplätze). Voraussetzung hierfür ist, dass die geförderten Busse und Infrastruktur alleinig im ÖPNV Einsatz finden. Die Förderhöhe beträgt bei wasserstoffbetriebenen Bussen 60 % des Differenzbetrages zwischen einem wasserstoffbetriebenen Bus und einem vergleichbaren Dieselbus. Bei H_2–Infrastruktur und Werkstatteinrichtungen können bis zu 90 % der zuwendungsfähigen Investitionskosten gefördert werden. [121]

Für die Fuhrparks der Freien und Hansestadt Hamburg wurde im Hamburger Klimaplan beschlossen, in dem Jahr 2020 eine Elektrofahrzeugquote von 50% für die öffentliche Verwaltung (Fachbehörden, Bezirksämter und Landesbetriebe) zu erreichen. Außerdem wirkt der Senat darauf hin, für öffentliche Unternehmen mit Kraftfahrzeugbestand (rechtlich selbstständige Einheiten mit einer mindestens 50–prozentigen Beteiligung der Freien und Hansestadt Hamburg) bis 2020 den Anteil elektrisch betriebener PKW und leichter Nutzfahrzeuge soweit wirtschaftlich vertretbar auf 35% zu steigern sowie den Anteil an öffentlichen Unternehmen mit Kraftfahrzeugbestand, die elektrisch betriebene Fahrzeuge einsetzen auf mindestens 50% zu erhöhen. Über Bundesförderprojekte sind in

den öffentlichen Flotten Hamburgs und der Metropolregion seit 2014 bereits 599 E–Fahrzeuge zum Einsatz gekommen. [122]

Zudem hat Hamburg mit der „Leitlinie zur Beschaffung von Fahrzeugen mit geringen CO_2– und Schadstoffemissionen" die Einführung der Beweislastumkehr in die Beschaffungsrichtlinien für den Verwaltungsfuhrpark (Landesministerien, Bezirksverwaltung, Landesbetriebe) zugunsten von BEV (Battery Electric Vehicle), PHEV (Plug–in Hybrid Electric Vehicle) und FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle) aufgenommen. Das heißt, wenn EV–Fahrzeugmodelle erhältlich sind und weitere Voraussetzungen erfüllt sind, sind diese emissionsarmen Fahrzeugtypen bevorzugt zu beschaffen. Eine abweichende Beschaffung von Fahrzeugen mit konventionellen Verbrennungsmotoren muss explizit begründet und diese Begründung schriftlich nachvollziehbar dokumentiert werden. [122]

6.3.2 Vereinigte Staaten (Kalifornien)

Das Zero Emission Vehicle (ZEV) – Programm ist eine Verordnung des Staates Kalifornien, die Autohersteller verpflichtet, Elektroautos und –LKW in Kalifornien und zehn weiteren Bundesstaaten zu verkaufen. ZEV bezeichnet Fahrzeuge, welche weder im Stillstand noch im Betrieb Schadstoff–, Luftschadstoff– oder Treibhausgasemissionen verursachen. Das ZEV–Programm wird vom ARB (auch CARB – California Air Resources Board) als Luftreinhaltungsbehörde von Kalifornien verwaltet. Die genaue Anzahl der Fahrzeuge ist an die Gesamtverkäufe von Benzin und Diesel des Autoherstellers innerhalb des Bundesstaates gebunden. Ziel ist es, sicherzustellen, dass Automobilhersteller Elektrofahrzeuge erforschen, entwickeln und vermarkten. [123]

Das System basiert auf ZEV–Credits, mit denen Anreize geschaffen werden. Autohersteller verdienen sich Credits durch den Verkauf emissionsfreier PKW und LKW. Die Credit–Gutschrift pro Fahrzeug variiert je nach Antriebsstrangtyp und elektrischer Reichweite. Im Falle von FCEV werden Credits zusätzlich über die ausgegebene Wasserstoffmenge (in kg) und den Carbon Intensity– (CI) Wert vom Kraftstoff bestimmt.

BEV und FCEV erhalten je nach Reichweite zwischen ein und vier Credits. Beispielsweise benötigt ein Autohersteller, welcher 2018 in Kalifornien 100.000 Autos verkauft, mindestens 7.000 ZEV–Credits, von denen mindestens 4.000 aus dem Verkauf von BEV oder FCEV stammen müssen. Ähnlich wie bei den Emissionszertifikaten in der EU (siehe EU–ETS) besteht die Möglichkeit eines Handels. Die Hersteller dürfen zudem überschüssige Credits von einem Jahr auf das nächste übertragen. Darüber hinaus können Automobilhersteller ZEV–Credits von anderen Herstellern kaufen oder handeln. Bis Oktober 2018 hatten die Hersteller über 816.000 BEV/FCEV–Credits und 251.000 PHEV–Credits auf ihrem Konto, was ausreicht, um der Verordnung bis 2022 ohne neue ZEV–Verkäufe nachzukommen. [123]

Die Vertriebsanforderungen in den anderen Staaten von USA werden jedoch durch zwei Bestimmungen in der ZEV–Verordnung beeinflusst, die nicht für Kalifornien gelten: "Travel" und "Pooling".

Die Travel–Regelung, die nach 2017 weitgehend auslief, ermöglichte es den Autoherstellern, in allen anderen ZEV–Bundesstaaten Gutschriften für in Kalifornien verkaufte Fahrzeuge zu erhalten, proportional zu den Fahrzeugverkäufen in den Bundesstaaten. Sie erhielten die proportionalen Gutschriften in allen Bundesstaaten, die ZEV–Programme hatten, obwohl sie nur ein Fahrzeug (in Kalifornien) verkauften. Infolge der Travel–Programme sammelten die Autofirmen in den Bundesstaaten, in denen sie nicht viele Elektroautos oder Lastwagen verkauft hatten, beträchtliche Kreditbanken an. [124]

Die Pooling–Regelung ermöglicht es den Automobilherstellern, in einem östlichen ZEV–Land zu übererfüllen und die zusätzlichen Gutschriften auf ein anderes östliches ZEV–Land zu übertragen. Im Gegensatz zur Travel–Regelung vermeidet das Pooling das Problem der Doppelzählung und erfordert nach wie vor, dass ein tatsächliches Fahrzeug produziert und verkauft wird, bevor die Gutschriften belohnt und übertragen werden.

Der Low Carbon Fuel Standard (kurz LCFS – Standard für kohlenstoffarme Brennstoffe) fördert die Verwendung von Elektrizität und Wasserstoff als kohlenstoffarme Transportkraftstoffe, indem es mehrere Möglichkeiten zur Generierung von LCFS–Credits bietet. Diese Credits können nur auf dem kalifornischen LCFS–Credit–Markt gehandelt werden. Eine Kraftstoffmeldeeinheit, die Strom oder Wasserstoff als Transportkraftstoff bereitstellt, kann LCFS–Credits für die abgegebene Strom– oder Wasserstoffmenge erzeugen oder eine Drittpartei in ihrem Namen mit der Erzeugung von Credits beauftragen. [123]

Im Folgenden werden relevante Gesetze und Vorschriften sowie staatliche Anreizprogramme aufgelistet und kurz erläutert:

Gesetze und Vorschriften [123, 124]

- Förderplan für ZEV: Benchmarks zur Erreichung der Ziele für die Vermarktung und den Einsatz von ZEV. Diese Ziele umfassen:
    - Bis 2020 wird der Bundesstaat eine angemessene Infrastruktur zur Unterstützung von einer Million ZEV eingerichtet haben.
    - Bis 2025 werden in Kalifornien 1,5 Millionen ZEV unterwegs sein, und saubere, effiziente Fahrzeuge werden jährlich 1,5 Milliarden Gallonen Erdölkraftstoffe verdrängen.
    - Bis 2025 wird es in Kalifornien 200 Wasserstofftankstellen und 250.000 PEV–Ladegeräte (Plug–in–Elektrofahrzeuge) geben, darunter 10.000 Gleichstrom–Schnellladegeräte.
    - Bis 2030 werden in Kalifornien 5 Millionen ZEV unterwegs sein und
    - bis 2050 werden die Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors um 80% unter dem Niveau von 1990 liegen
- Anforderungen zur Reduzierung der Flottenemissionen – Staatliche Flotten und private Auftragnehmer, die mit öffentlichen Einrichtungen unter Vertrag stehen, müssen Fahrzeuge (Bus, Schulbus, Mülltransporter usw.) mit geringerem Dieselverbrauch und alternativen Kraftstoffen kaufen.
- Einsatzunterstützung für ZEV – Verschiedene Staaten haben ein Memorandum of Understanding unterzeichnet, um den Einsatz von ZEVs durch die Teilnahme an einer Task Force zur Implementierung des ZEV–Programms zu unterstützen. Ziel ist eine Bereitstellung von mindestens 3,3 Millionen ZEV und angemessene Infrastruktur für die Kraftstoffversorgung in den Unterzeichnerstaaten bis 2025.
- Anforderungen an die Verwendung von kohlenstoffarmem Kraftstoff durch staatliche Behörden – Mindestens 3% der von der Landesregierung gekauften Gesamtmenge an Massenkraftstoff müssen aus kohlenstoffarmen Transportkraftstoffquellen stammen. Der Betrag wird bis zum 1. Januar 2024 jährlich um 1% erhöht.
- Einrichtung eines emissionsfreien Programms für mittelschwere und schwere Nutzfahrzeuge – Bereitstellung von Finanzmitteln für Entwicklungs–, Demonstrations–, vorkommerzielle Pilot– und frühzeitige kommerzielle Umsetzungsprojekte für emissionsfreie und nahezu emissionsfreie Lastkraftwagen, Busse sowie Geländefahrzeuge und Ausrüstung.

- Anforderungen an die Beschaffung von Flottenfahrzeugen – Bei der Vergabe eines Auftrags zur Fahrzeugbeschaffung müssen 75% der erworbenen Personenkraftwagen und/ oder leichten Lastkraftwagen energieeffiziente Fahrzeuge sein.
- Mittelschwere und schwere ZEV–Nutzfahrzeuge – Alle in Kalifornien verkauften neuen mittelschweren und schweren Nutzfahrzeuge müssen bis 2045 ZEV sein. Ab 2024 müssen Hersteller, die eine ARB–Zertifizierung oder komplette Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren anstreben, emissionsfreie LKW als zunehmenden Prozentsatz ihres Jahresumsatzes in Kalifornien verkaufen.
- Emissionsfreie Flughafen–Shuttle–Anforderung – Bis 2035 müssen alle Flughafen–Shuttle–Flotten mit fester Route auf 100% ZEV umgestellt werden.
- Emissionsfreie Transitbusanforderung – Bis 2040 müssen alle öffentlichen Verkehrsbetriebe auf 100% emissionsfreie Busflotten umsteigen.

Staatliche Anreize [124]

- Ausschluss der Kfz–Steuer – Steuerausschluss für qualifizierte Hersteller von fortschrittlichen Transportprodukten, –komponenten oder –systemen, die die Umweltverschmutzung und den Energieverbrauch reduzieren und die wirtschaftliche Entwicklung fördern.
- Zuschüsse für Fahrzeuge mit alternativem Kraftstoff (AFV) und Kraftstoffinfrastruktur – Bereitstellung von Finanzmitteln für Projekte zur Reduzierung der Luftverschmutzung durch Straßen– und Geländefahrzeuge. Förderfähige Projekte umfassen den Kauf von AFV und die Entwicklung einer alternativen Kraftstoffinfrastruktur.
- Anreize für alternative Kraftstoffe und Fahrzeuge – Bereitstellung finanzieller Anreize für Unternehmen, Fahrzeug– und Technologiehersteller, Partner für die Schulung von Arbeitskräften, Flottenbesitzer, Verbraucher und akademische Einrichtungen mit dem Ziel, alternative und erneuerbare Kraftstoffe sowie fortschrittliche Verkehrstechnologien zu entwickeln und einzusetzen.
- Finanzierung der von Arbeitgebern investierten Emissionsreduzierung – Bereitstellung von Finanzmitteln, mit denen Arbeitgeber jährliche Investitionen in einen verwalteten Fonds tätigen können, um die Emissionsreduktionsziele der Arbeitgeber zu erreichen. Die erzielten Einnahmen werden zur laufenden Finanzierung alternativer Emissionen aus mobilen Quellen und zur Reduzierung von Fahrten, einschließlich Projekten für Fahrzeuge mit alternativen Kraftstoffen, verwendet.
- Zuschüsse zur Reduzierung der Emissionen von Schwerlastkraftwagen – Bereitstellung von Finanzmitteln für Flotten, um alte Fahrzeuge durch Fahrzeuge mit geringerer Emission zu ersetzen.
- Rabatte für emissionsfreie leichte Nutzfahrzeuge – Rabatte für den Kauf oder das Leasing qualifizierter Fahrzeuge. Die Zuschüsse betragen bis zu 3.700 € pro FCEV.
- Technische Schulung für Fahrzeuge mit AFV – Mechanikerschulungsprogramm, das Anreize bietet, das Personal über Mechanik, Betriebssicherheit und Wartung von AFV, Tankstellen und Werkzeugen für die Implementierung alternativer Kraftstofftechnologien zu informieren.
- Steuerbefreiung für emissionsfreie Transitbusse – Emissionsfreie Transitbusse sind steuerbefreit, wenn sie an öffentliche Stellen verkauft werden

6.3.3 Südkorea

Südkorea setzt bei den Maßnahmen zur Förderung der FCEV–Mobilität auf einen Mix aus Vorschriften und Anreizen. Hierbei liegt jedoch der Schwerpunkt auf staatlichen Anreizen, um den Markthochlauf zu fördern und die Binnenwirtschaft zu stärken.

Im Januar 2020 verabschiedete die koreanische Nationalversammlung das "Hydrogen Safety Management Law" und schuf damit die rechtliche Grundlage für die Unterstützung der Regierung für die Sicherheitsstandards von H_2–Anlagen. [125] Obwohl das Wasserstoffgesetz eine gewisse Sicherheit über die langfristige Konsistenz der staatlichen Unterstützung gibt, ist es fraglich, ob die Ausgaben der gegenwärtigen Regierung für H_2–Förderprogramme beibehalten werden oder nicht. Kürzlich legte die regierende Liberale Partei des Landes einen Vorschlag für einen Grünen Deal vor, der die Kohlenstoffneutralität bis 2050 anstrebt. Dies würde ernsthafte Anpassungen der H_2–Strategie und ein robustes Kohlenstoff–Instrument erfordern. [125]

Die Regierung hat außerdem beschlossen, die Vorschriften für Wasserstoff–Tankstellen zu lockern und gleichzeitig mehr FC–Busse und –Taxen bereitzustellen, so das Ministerium für Handel, Industrie und Energie. [126]

2018 kündigte die Regierung ein ca. 18 Mrd. € Budget für die Einrichtung eines öffentlich–privaten H_2–Fahrzeugindustrie–Ökosystems bis 2022 an. [125] Im Jahr 2019 veröffentlichte die Regierung die "Wasserstoff–Roadmap zur Entwicklung der Wasserstofftechnologie" mit langfristigen Zielen bis 2040. [125] Das Hauptziel dieser Roadmap ist die Schaffung eines Ökosystems der Wasserstoffindustrie einschließlich Energieerzeugung, –speicherung, –transport, –sicherheit und der Nutzbarmachung seiner Nutzung (d.h. Mobilität). Auf diese Weise wird erwartet, dass die Wasserstoffwirtschaft der nächste Wachstumsmotor sein wird, der bis 2040 einen wirtschaftlichen Wert von rund 24 Milliarden € und 420.000 Arbeitsplätze schaffen wird. [127]

Es werden Subventionen für den Kauf von BEV und FCEV angeboten. Es handelt sich um eine Kombination aus nationalen Subventionen (zwischen ca. 3.200 € und 6.800 €) und zusätzlichen lokalen Subventionen (zwischen ca. 3.400 € und 7.500 €). [128] Das bedeutet, dass bis zu 14.300 € an staatlicher Unterstützung für den Kauf eines neuen Autos bereitgestellt werden. Zusätzlich gibt es Anreize, die kostenloses (oder ermäßigtes) Parken ermöglichen, 50 % auf die Mautstellengebühren und niedrigere Fahrzeugsteuern.

Die Regierung wird zunächst einen Rat zur Förderung der Wasserstoffwirtschaft bilden, der aus sechs verschiedenen Ministerien und einigen privaten Unternehmen besteht. Darüber hinaus wird die Regierung bis 2022 drei Städte als nationale H_2–Teststadt auswählen. Die Stadt wird eine Modellstadt sein, in der Wohnen, Verkehr und Industrie mit Wasserstoff betrieben werden. [127]

Die Regierung strebt an, bis 2040 die Produktion von 6,2 Millionen FCEV zu erreichen (3,3 Millionen Einheiten für den Export). Das Ziel für die Stromerzeugung mit Brennstoffzellen liegt bei 15 GW. Der größte Teil der Unterstützung der Regierung zielt auf die Schaffung eines Binnenmarktes ab. [125] Im Jahr 2019 beträgt der kombinierte Zuschuss der Zentralregierung und der lokalen Regierungen für den Kauf eines FCEV etwa die Hälfte des Preises eines Hyundai NEXO (ca. 26.000 €). Südkoreas Regierung erhöht die Verbrauchersubventionen für Elektrofahrzeuge als Teil eines Investitionsprogramms (rund 750 Millionen € an Subventionen), das die Einführung von Null–Emission–Autos beschleunigen soll. [129] Kaufanreize sind Teil eines staatlichen Ausgabenpakets, welches das Wachstum der EV– und FCEV–Industrie ankurbeln soll. Subventionen werden dieses Jahr für bis zu 84.150 BEV und für 10.280 FCEV bereitgestellt, was einer Erhöhung um 87 % entspricht. [129]

Die derzeitige Politik ist auf den Aufbau der notwendigen Infrastruktur für die H_2–Produktion und –Verteilung ausgerichtet. Gegenwärtig wird etwa die Hälfte der Installationskosten der H_2–Tankstellen

von der Regierung subventioniert. Im März 2019 wurde von der Zentralregierung und 13 Unternehmen eine Zweckgesellschaft (Hydrogen Energy Network) gegründet, die bis 2022 rund 100 neue Tankstellen bauen will. Die Regierung unterstützt weiterhin die Stromerzeugung mit Brennstoffzellen unter anderem durch die Renewable Portfolio Standard Policy, die seit 2012 umgesetzt wird. [125]

Im Mai stellte Südkorea seine Pläne zum Bau der weltweit größten Flüssigwasserstoffanlage v–r – Südkoreas chemisch orientierter Mischkonzern Hyosung Group unterzeichnete mit Linde einen Vertrag über ein 244–Millionen–Dollar–Projekt zum Bau der Anlage bis 2022 mit einer Kapazität von 13.000 Mt/Jahr. [126]

6.3.4 Japan

Die Zentralregierung setzt eine Vielzahl von politischen Instrumenten ein, um Innovation und den Wandel zur Wasserstoffgesellschaft zu fördern. Die wichtigsten politischen Instrumente sind die finanzielle Unterstützung von Forschung und Entwicklung sowie Einführungssubventionen für Verbraucher und Unternehmen. [130] In sechs Jahren hat die japanische Regierung fast 1,5 Milliarden für Wasserstoffprogramme ausgegeben. Im Jahr 2018 plant das Ministerium, eine Rekordsumme von 272 Millionen für Wasserstoffforschung und Subventionen bereitzustellen, was 3,5 % seines Energiebudgets entspricht. [131]

Im Januar 2018 enthüllte Japans Ministerrat für erneuerbare Energien, Wasserstoff und verwandte Themen eine neue, von Premierminister Shinzo Abe gebilligte Strategie, die es Japan ermöglichen soll, auf dem globalen Weg zu einer kohlenstofffreien Gesellschaft eine Führungsrolle zu übernehmen. Die Strategie fördert die Einführung von Wasserstoff–FCVs, indem sie den Preis für Wasserstoff als Kraftstoff bis 2050 auf nur ein Fünftel der derzeitigen Kosten senkt. Durch eine wettbewerbsfähigere Preisgestaltung für Wasserstoffkraftstoff gegenüber Benzin und Flüssiggas kann Japan seinem Ziel von 40.000 FCVs bis 2020 und 800.000 bis 2030 näherkommen. [132] Um die groß angelegte Zunahme von FCVs im Land zu unterstützen, plant die japanische Regierung auch neue Gesetzesreformen, um den Bau von Wasserstofftankstellen zu beschleunigen – bis 2025 sollen landesweit bis zu 320 Tankstellen gebaut werden. [133]

Die japanische Regierung hat 2015 begonnen, Subventionen für die Anschaffung neuer Fahrzeuge mit sauberer Energie wie Elektrofahrzeuge, brennstoffzellenbetriebene Fahrzeuge, Plug–in–Hybrid–Fahrzeuge und saubere Diesel–Personenfahrzeuge zu gewähren. Einzelpersonen, lokale öffentliche Einrichtungen und Unternehmen können Subventionen für den Kauf dieser Fahrzeuge beantragen. [134] Die Höhe des Zuschusses wird auf der Grundlage der Preisdifferenz zwischen dem Fahrzeug mit sauberer Energie und den benzinbetriebenen Fahrzeugen desselben Modells bzw. derselben Klasse berechnet. [135]
So senken die Subventionen in Japan den Kaufpreis des Mirai von etwa 58.000 auf etwa 41.000 €. [136] Subventionen für FCEV wurden 2016 als Anteil des nationalen Budgets für saubere Fahrzeuge wie BEVs, PHEVs und saubere Diesel–LKW eingeführt; das nationale Budget für saubere Fahrzeuge belief sich 2018 auf ca. 100 Millionen € wobei zusätzliche Subventionen für FCEV und FC–Busse, die von den Präfekturregierungen angeboten werden, hinzugerechnet werden müssen [131]

Japan investiert stark in die Schaffung der Infrastruktur, die zur Förderung von Wasserstofffahrzeugen erforderlich ist. Es ist schwierig, ein Wasserstoffauto zu verkaufen, wenn es nicht an vielen Orten betankt werden kann. Aber ohne mehr Autos auf den Straßen sind solche Tankstellen keine kluge Investition für private Unternehmen. Deshalb ist die japanische Regierung mit Subventionen eingesprungen. Zusammen mit privaten Unternehmen wie Toyota hat das Land bisher 100 Wasserstoff–Tankstellen gebaut und betrieben. Japan hat das Ziel, bis 2030 landesweit 900 Tankstellen zu bauen. Bis dahin, so hofft Toyota, wird es genügend Wasserstofffahrzeuge geben, um die Tankstellen rentabel zu machen. [136] Um die Bedeutung der Wasserstoffnutzung im

Verkehrssektor zu erhöhen und den Nutzern Anreize zur Nutzung von Wasserstoff zu geben, wird die Regierung ein System zur Visualisierung des Umweltwertes von Wasserstoff für die Bewertung und Zertifizierung in Betracht ziehen. [137]

6.3.5 China

In China ist auf Grund der hohen Besiedlungs– und Automobildichte in den über 100 Städten mit mehr als eine Millionen Einwohner sehr an einer raschen Entwicklung der Mobilität hin zur Emissionsfreiheit interessiert. Im Sinne eines schnellen Erfolges werden von der Volkspartei ambitionierte Ziele vorgeschrieben.

Chinas New Energy Vehicle (kurz NEV) – Mandatspolitik wurde im September 2017 eingeführt. Ziel ist die Förderung von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben und die Bereitstellung zusätzlicher Flexibilität bei der Einhaltung der bestehenden Kraftstoffverbrauchsregelung. Im Jahr 2018 wurden die Ziele auf 10% des Marktes für konventionelle PKWs für das Jahr 2019 und 12% im Jahr 2020 festgelegt. [138]

Ähnlich wie in Kalifornien wird jedem NEV abhängig von Metriken wie elektrische Reichweite, Energieeffizienz und Nennleistung von Brennstoffzellensystemen eine bestimmte Anzahl von Credits zugewiesen. Geht man davon aus, dass alle Hersteller im Jahr 2020 beispielsweise Fahrzeuge mit einem NEV–Guthaben von drei pro Fahrzeug produzieren, so würde der Marktanteil der NEVs in China auf der Grundlage der Anzahl der verkauften Fahrzeuge im Jahr 2020 bei etwa 4% liegen, während das Ziel von 12% auf der Grundlage der NEV–Gutschriften immer noch erreicht wird. [138]

Das System übernimmt ein ZEV–Mandatsprogramm im kalifornischen Stil und ergänzt die bestehende Kraftstoffverbrauchsregelung für Personenkraftwagen um dieses. Gleichzeitig erlaubt es den Herstellern, überschüssige NEV–Gutschriften zum Ausgleich von Kreditdefiziten beim durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch der Unternehmen zu verwenden, wodurch die bestehende Kraftstoffverbrauchsregelung für Personenkraftwagen flexibler gestaltet wird. Als weltweit erstes ZEV–Mandat auf nationaler Ebene wird erwartet, dass Chinas NEV–Politik den chinesischen NEV–Markt erheblich ankurbeln wird. Je nachdem, für welchen NEV–Technologiepfad sich die Hersteller entscheiden, würde die Regel die Produktion von 2,2 bis 8,7 Millionen neuen NEV–PKW in den Jahren 2016–2020 erfordern. Kombiniert mit NEVs im kommerziellen Sektor würde die chinesische Regierung ihr kumulatives Ziel von 5 Millionen NEV–Verkäufen im Jahr 2020 erreichen. [138]

6.4 Schaffung von weiteren Anreizen

Im Parallelgutachten „Wasserstofferzeugung und –märkte" sind Maßnahmen zur Reduzierung der Gestehungskosten von Wasserstoff sowie eine ausführliche Beschreibung der Möglichkeiten zur regulatorischen Unterstützung von Wasserstoffanwendungen dargestellt.

Die Dekarbonisierung des Verkehrssektors ist für die Umsetzung nationaler und europäischer Klimaschutzziele eine wichtige Stellschraube, da ein großer Anteil der Treibhausgasemissionen auf den Bereich der Mobilität zurückzuführen ist. Im Folgenden sollen Maßnahmen zusammengefasst werden, welche die Nutzung von Wasserstoff insbesondere im Verkehr spezifisch fördern könnten.
Dabei gilt es allerdings zu bedenken, dass gerade im Verkehrsbereich eine technologieoffene Entwicklung gewünscht ist und deshalb eine ausschließliche Förderung von Wasserstofftechnologien oftmals politisch nicht angestrebt und daher schwer durchsetzbar sein dürfte. Deshalb verfolgen die vorgeschlagenen Maßnahmen einen technologieoffenen Ansatz, der den Einsatz von Wasserstoff neben anderen (erneuerbaren) Gasen fördern könnte.

6.4.1 Inhalt und Umsetzung der Art. 25, 27, 28 RED II

Die zeitnahe Umsetzung der RED II ist für den Einsatz erneuerbarer Gase im Verkehrssektor und für deren Marktfähigkeit im Verkehrssektor elementar. Zur Umsetzung der betreffenden Artikel der RED II im Verkehrssektor ist in erster Linie eine Änderung des BImSchG, der 37., 38. BImSchVO und der BioSt–NachV erforderlich. Eine wichtige Stellschraube für die Umsetzung ist somit die Treibhausgasminderungsquote.

Dabei sollte Deutschland als Vorreiter im Bereich der Energiewende eine ambitioniertere Umsetzung, welche die von der Europäischen Union gesetzten Mindeststandards überschreitet, in Betracht ziehen. So könnten weitere Anreize für die Nutzung erneuerbarer Energien und EE–Gasen im Verkehrssektor gesetzt werden. Für eine Überschreitung des Mindeststandards der EU sprechen auch mögliche Strafzahlungen, die bei einer Verfehlung der Klimaziele seitens der EU auf Deutschland zukommen können. Der Verkehrssektor hält einen hohen prozentualen Anteil an Emissionen und stellt damit eine wichtige Stellschraube für eine Reduktion der Emissionen und damit die Erreichung der Emissionseinsparziele dar.

Insoweit wäre denkbar, das nationale Ziel für erneuerbare Energien im Kraftstoffbereich auf beispielsweise 20 Prozent im Jahr 2030 festzusetzen.

6.4.2 Anrechenbarkeit auf die CO_2–Flottenquote für Autohersteller

Ein Anreizmechanismus für die Nutzung von Wasserstoff als Kraftstoff im Verkehrssektor besteht durch die privilegierte Anrechnung des Inverkehrbringens emissionsfreier und emissionsarmer Fahrzeuge bei der sog. „CO_2–Flottenquote" für Autohersteller.

Mit Blick auf die Erhöhung des vermehrten Einsatzes von Wasserstoff und Gasen im Verkehrsbereich sind die in der aktuellen Verordnung fortgeführten Anreize zum Inverkehrbringen emissionsfreier und emissionsarmer Fahrzeuge von Relevanz. Bereits die Vorgängerregelung sah sogenannte „Supercredits" vor. Bei der Berechnung der durchschnittlichen spezifischen CO_2–Emissionen zählen Personenkraftwagen mit CO_2–Emissionen von weniger als 50 g CO_2/km mehrfach: Der Verkauf von Null– und Niedrigemissionsfahrzeugen wirkt sich daher stärker auf den CO_2–Flottwert des einzelnen Herstellers aus. Im Jahr 2020 zählt ein neuer emissionsfreier– bzw. emissionsarmer Personenkraftwagen wie zwei Personenkraftwagen, in den Jahren 2021 und 2022 werden entsprechende Personenkraftwagen mit 1,67 und 1,33 gewichtet. Die maximal anrechenbare Einsparung liegt bei

7,5 g CO_2/km je Hersteller (siehe hierzu insgesamt Art. 5 VO (EU) 2019/631). Ab dem Jahr 2023 gibt es keine Mehrfachanrechnungsmöglichkeit nach Artikel 5 der Verordnung mehr.

Ab dem Jahr 2025 wird das System modifiziert: Dabei werden auch leichte Nutzfahrzeuge in den Anreizmechanismus einbezogen. Für den Anteil emissionsfreier und emissionsarmer Fahrzeuge wird ein Schwellenwert eingeführt, der einem Anteil von 15% an den jeweiligen Flotten neuer Personenkraftwagen bzw. neuer leichter Nutzfahrzeuge entspricht (Art. 1 Abs. 6 VO (EU) 2019/631). Der Anteil erhöht sich im Jahr 2030 auf 35% für Personenkraftwagen und 30% für leichte Nutzfahrzeuge (Art. 1 Abs. 7 VO (EU) 2019/631). Für jeden Prozentpunkt, um den ein Hersteller den Schwellenwert überschreitet, erhält er eine Erleichterung seines Flottengrenzwertes um 1 %. Der Berechnungsmechanismus zur Erzielung der Referenzvorgabe ist im Detail in Anhang I der Verordnung beschrieben. Auch diese Vorgaben können im Ergebnis dazu führen, dass künftig deutlich mehr wasserstoffbetriebene Fahrzeuge von den Herstellern in Verkehr gebracht werden könnten.

Die Regelungen sind grundsätzlich förderlich für die Schaffung von Anreizen des vermehrten Einsatzes von Wasserstoff und dienen damit mittelbar auch der Umsetzung der Zielvorgaben der RED II. Mit Blick auf die Transformation der Antriebskonzepte gibt es auch Überschneidungen zwischen den Regelwerken. Sollte sich daher herausstellen, dass zur Umsetzung der RED II für alle Mitgliedstaaten eine weitere Anpassung der Verordnung (EG) Nr. 2019/631 förderlich wäre, sollte dies in dem politischen Prozess berücksichtigt werden. Die Regelungen der Verordnung (EG) Nr. 2019/631 sollten daher auch im Zuge der Umsetzung der RED II bewertet werden.

6.4.3 Anhebung der Quote für fortschrittliche Kraftstoffe bzw. schnellere Absenkung der Mindestmenge

Mit der 38. BImSchV wurde eine Regelung eingeführt, nach der der Anteil fortschrittlicher Kraftstoffe graduell über einen vorgeschriebenen Mindestanteil gesteigert werden soll. Diese Unterquote für fortschrittliche Kraftstoffe muss unabhängig von der Treibhausgasquote erfüllt werden. Die Höhe der Unterquote steigt von Jahr zu Jahr kontinuierlich an. Im Jahr 2020 sollen beispielsweise 0,05 Prozent der in den Verkehr gebrachten Kraftstoffe von den nach § 37a BImSchG verpflichteten Unternehmen (Unternehmen, die fossile Otto– und/oder Dieselkraftstoffe in Verkehr bringen) jene fortschrittlichen Kraftstoffe ausmachen (§ 14 Abs. 1 38. BImSchV). Bis 2025 soll die Quote auf 0,5 % angehoben werden. Gleichzeitig sinkt die Kraftstoffmenge, die ein Unternehmen in Verkehr gebracht haben muss, um der (Unter–)Quotenpflicht zu unterliegen, wobei es ab dem Jahr 2025 keine Mindestmenge mehr gibt. Der Mechanismus ist grundsätzlich positiv zu bewerten, da mit einer solchen Quote ein berechenbarer Hochlauf der Erzeugungskapazitäten erreicht wird.

Zu den fortschrittlichen Kraftstoffen zählt beispielsweise Wasserstoff der „vollständig durch nicht–biogene erneuerbare Energien gespeiste Elektrolyse" erzeugt wurde (§ 2 Abs. 6 38. BImSchV i. V. m. Anlage 1 b) 37. BImSchV).

In Betracht kämen daher mit Blick auf die Förderung der Einsatzmöglichkeiten für Wasserstoff die Ausweitung der Quote zur graduellen Steigerung des Anteils fortschrittlicher Kraftstoffe und/oder eine schnellere Absenkung der Kraftstoffmenge, ab der die Unternehmen dieser Verpflichtung unterliegen.

6.5 Zusammenfassung und Handlungsmöglichkeiten

Der internationale Vergleich zeigt auf, dass Deutschland mit den europäischen, nationalen und regionalen Vorgaben den Markthochlauf unterstützt, jedoch der Umfang und die Detailtiefe noch deutlichen Handlungsspielraum bieten. In anderen Regionen der Welt ist die Bereitschaft explizit den Markthochlauf von FCEV zu unterstützen wesentlich stärker ausgeprägt. Hierbei kann man sich an den bestehenden Best–Practices orientieren und sollte Akzente insb. beim Ausbau der Infrastruktur setzen.

Die zeitnahe Umsetzung der RED II ist für den Einsatz erneuerbarer Gase im Verkehrssektor und für deren Marktfähigkeit im Verkehrssektor elementar. Dabei sollte Deutschland als Vorreiter im Bereich der Energiewende eine ambitioniertere Umsetzung, die die von der Europäischen Union gesetzten Mindeststandards überschreitet, in Betracht ziehen. Insoweit wäre denkbar, das nationale Ziel für erneuerbare Energien im Kraftstoffbereich auf beispielsweise 20 Prozent im Jahr 2030 festzusetzen.

Ein Anreizmechanismus für die Nutzung von Wasserstoff als Kraftstoff im Verkehrssektor besteht bereits durch die privilegierte Anrechnung des Inverkehrbringens emissionsfreier und emissionsarmer Fahrzeuge bei der sog. „CO_2–Flottenquote" für Autohersteller von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeuge. Die Regelungen sind grundsätzlich förderlich für die Schaffung von Anreizen des vermehrten Einsatzes von Wasserstoff und dienen damit mittelbar auch der Umsetzung der Zielvorgaben der RED II.

Zur weitergehenden Förderung von Wasserstoff kommt die Ausweitung der Quote zur graduellen Steigerung des Anteils fortschrittlicher Kraftstoffe und/oder eine schnellere Absenkung der Kraftstoffmenge, ab der Unternehmen (Unternehmen, die fossile Otto– und/oder Dieselkraftstoffe in Verkehr bringen) dieser Verpflichtung unterliegen in Betracht. Nach den Vorgaben der 38. BImSchV soll die Quote bis 2025 von derzeit 0,05 % auf 0,5 % angehoben werden. Gleichzeitig sinkt die Kraftstoffmenge, die ein Unternehmen in Verkehr gebracht haben muss, um der (Unter–)Quotenpflicht zu unterliegen, wobei es ab dem Jahr 2025 keine Mindestmenge mehr gibt. Durch Anhebung der Quote könnte die Produktion und Verwendung von Wasserstoff im Verkehrssektor angehoben werden.

7 Förderrichtlinien in Schleswig–Holstein

Aufbauend auf den nationalen Rahmenbedingungen, die zu einem nicht unerheblichen Teil eingebettet sind in die Europäischen Fonds, wie insbesondere den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und den entsprechenden operationellen Programmen, haben die Länder die Möglichkeit, den Markthochlauf von Wasserstoffanwendungen weiter zu fördern.

Bereits im November 2019 veröffentlichten die Bundesländer Bremen, Hamburg, Mecklenburg–Vorpommern, Niedersachsen und Schleswig–Holstein die Norddeutsche Wasserstoffstrategie. Schleswig–Holstein hat sich dabei dafür entschieden, als Küstenland mit vorteilhaften Rahmenbedingungen für die Produktion von grünem Wasserstoff, voranzuschreiten. Ein übergeordnetes Ziel dieser Strategie ist es, durch gezielte Förderungen den Einsatz von Wasserstoff in der Mobilität zu steigern sowie eine grüne Wasserstoffwirtschaft aufzubauen. Nachfolgend wird daher überblicksartig untersucht, inwieweit bestehende Förderrichtlinien geeignet sind, die in der Norddeutschen Wasserstoffstrategie festgelegten Strategieziele zu fördern. Ziel dieser Untersuchung ist die Identifizierung von Förderlücken entlang der Wasserstoffwertschöpfungskette, um eine Evaluierung des politischen Handlungsbedarfes Schleswig–Holsteins bzgl. weiterer Förderprogramme sowohl in der jetzigen Förderperiode als auch perspektivisch zu ermöglichen. Die möglichen Förderbereiche für Wasserstoffmobilität können dabei folgendermaßen klassifiziert werden:

- Level 1: Forschung und Entwicklung
- Level 2: Bau von Fahrzeugen
- Level 3: Anschaffung von Fahrzeugen
- Level 4: Betrieb von Fahrzeugen
- Level 5: Produktion von H_2
- Level 6: H_2–Tankstellen
- Level 7: sonstige H_2–Infrastruktur (Speicher, Pipelines, Gasnetzeinspeisung)
- Level 8: Querschnittsbereich (KWK)
- Level 9: Markthochlauf/Quote für Kommunen/Städte

Parallel zu föderalen Förderprogrammen kommen auch nationale bzw. besondere EU–Förderprogramme, wie etwa aus dem Bereich der Forschung und Entwicklung im derzeitigen EU – Horizont 2020 Programm sowie dem künftigen Horizont Europe Programm in Betracht oder auch besondere Förderprogramme wie der Europäische Just Transition Fonds oder ReactEU zur Wiederbelebung der Wirtschaft nach der Corona Pandemie. Diese weiteren Programme sind jedoch in diesem Rahmen nicht Gegenstand der nachfolgenden Untersuchung.

Aktuell sind keine spezifischen Wasserstoffförderprogramme im Land Schleswig–Holstein vorhanden. Dennoch besteht auch kurzfristig in der aktuellen Förderperiode 2014–2020 die Möglichkeit, im Rahmen der vorhandenen Förderprogramme Fördermittel für Projekte der Wasserstoffmobilität zu erhalten. Maßgeblich sind dabei die nachfolgenden Förderrichtlinien, die auf Grundlage des Landesprogramm Wirtschaft (LPW) erlassen wurden. Im LPW werden Fördermittel des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE), der Bund–Länder–Gemeinschaftsaufgabe "Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur" (GRW) und des Landes gebündelt. Das Landesprogramm Wirtschaft hat eine Laufzeit bis Ende 2020 mit drei Auslaufjahren bis Ende 2023. Darüber hinaus ist auch eine Förderung außerhalb des LPW möglich. Folgende Förderrichtlinien können für die Förderung von Wasserstoff von Bedeutung sein:

Aufbauend auf den nationalen Rahmenbedingungen haben die Länder die Möglichkeit den Markthochlauf von Wasserstoffanwendungen weiter zu fördern. Bereits im November 2019 veröffentlichten die Bundesländer Bremen, Hamburg, Mecklenburg–Vorpommern, Niedersachsen und Schleswig–Holstein die Norddeutsche Wasserstoffstrategie. Schleswig–Holstein hat sich dabei dafür entschieden, als Küstenland mit vorteilhaften Rahmenbedingungen für die Produktion von grünem Wasserstoff, voranzuschreiten. Ein übergeordnetes Ziel dieser Strategie ist es, durch gezielte Förderungen den Einsatz von Wasserstoff in der Mobilität zu steigern sowie eine grüne Wasserstoffwirtschaft aufzubauen. Um den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft in den norddeutschen Ländern voranzubringen haben sich die Länder dazu entschieden in ihren Förderprogrammen Technologieoffenheit und dadurch auch die Förderung von Wasserstoffanwendungen zu ermöglichen. Diese Förderprogramme sollen über eine Laufzeit von mindestens drei bis fünf Jahren wirksam sein, um eine ausreichende Sicherheit der Marktanreize zu schaffen [139].

Tabelle 7–1:Übersicht der für Wasserstoff relevanten Förderrichtlinien in Schleswig–Holstein

Förderrichtlinie	Beschreibung	Wertschöpfungs–kette	Art der Förderung
EUI	Gewährung von Zuwendungen zur Förderung der Energiewende und von Umweltinnovationen	Wasserstoff–gestehungs–kosten	Förderung von Vorhaben, die zur Entwicklung von Energie–erzeugungsanlagen für erneuerbare Energien und deren Schlüsselkomponenten
BFEI	Förderung betrieblicher Forschung, Entwicklung und Innovation	Forschung & Entwicklung	Gefördert werden Vorhaben der industriellen Forschung und experimentellen Entwicklung
FIT	Förderung von anwendungsorientierter Forschung, Innovationen, zukunftsfähigen Technologien und des Technologie– und Wissenstransfers	Forschung & Entwicklung	Stärkung der öffentlichen anwendungsnahen Forschungs– und Entwicklungskapazitäten
Landesprogramm Wirtschaft – Kommunale Hafen–baumaßnahmen	Richtlinie für die Gewährung von Zuwendungen zur Förderung von kommunalen Hafenbaumaßnahmen in Schleswig–Holstein	Wasserstoffinfrastruktur	allgemeine Modernisierung von Häfen

7.1 EUI – Gewährung von Zuwendungen zur Förderung der Energiewende und von Umweltinnovationen

Die „Richtlinie für die Gewährung von Zuwendungen zur Förderung der Energiewende und von Umweltinnovationen" (kurz: EUI–Richtlinie) [140] bündelt Förderungen für den Aufbau umweltgerechter Wirtschafts– und Infrastrukturen durch die Förderung der Produktion und Verteilung von Energie aus erneuerbaren Energien sowie die Steigerung der Energie– und Ressourceneffizienz und der Nutzung erneuerbarer Energien in Unternehmen.

7.1.1 Förderziel und Rahmenbedingungen

Ein Fokus des Landesprogramms Wirtschaft ist die Förderung von Vorhaben, die zur Entwicklung von Energieerzeugungsanlagen für erneuerbare Energien und deren Schlüsselkomponenten, Vorhaben, die die Elektromobilität, insbesondere unter Einbeziehung der regionalen Strukturen des Landes Schleswig–Holstein, stärken (vgl. Abs. 2.2.1 EUI Richtlinie) sowie Vorhaben, die zur Senkung der THG–Emissionen und der Erreichung der Klimaschutzziele Schleswig–Holsteins beitragen (vgl. Abs. 2.2.2. EUI–Richtlinie). Diese Förderungen sind in der EUI–Richtlinie gebündelt.

Mit diesem Programm wird die Entwicklung und Etablierung zukunftsorientierter Technologien und Verfahren mit besonderer Umweltrelevanz angeregt. Gefördert werden Vorhaben der experimentellen Entwicklung und industriellen Forschung, die zum Aufbau umweltfreundlicher Infrastrukturen beitragen – zum Beispiel durch die Produktion und Verteilung von Energie aus erneuerbaren Energien, durch die Steigerung der Energie– und Ressourceneffizienz oder durch die Nutzung erneuerbarer Energien in Unternehmen.

Das Programm hat eine Laufzeit bis Ende 2020 mit drei Auslaufjahren bis Ende 2023. Entsprechend den gewährten Fördermitteln bestimmen sich die zum Tragen kommenden Rechtsgrundlagen in ihrer jeweils geltenden Fassung. Darüber hinaus ist die Förderung der Energiewende und von Umweltinnovationen mit weiteren Fördermitteln außerhalb des LPW möglich [141].

Bzgl. des Förderbetrages gelten folgende Rahmenbedingungen:

Das gesamte Projektvolumen des Vorhabens soll in der Regel 150.000 Euro nicht unterschreiten. Eine Ausnahme bilden die Durchführbarkeitsstudien: Hier sollte das Projektvolumen mindestens 50.000 Euro betragen. Bzgl. der Höhe der Förderung gelten Art. 8, 25, 36, 38, 40, 41, 47–49 AGVO (max. 80 Prozent des Vorhabens).

7.1.2 Anwendbarkeit auf Wasserstoff–Mobilität

Im Folgenden werden aus der EUI–Richtlinie die für Wasserstoff–Mobilität relevanten Passagen bzgl. des Fördergegenstandes aufgeführt. Förderfähig sind Vorhaben aus den Bereichen Energiewende und Umweltinnovation.

Relevante Energiewendevorhaben i.S.d. der Richtlinie sind im Bereich Wasserstoff Vorhaben,

- die zur Entwicklung von Energieerzeugungsanlagen für erneuerbare Energien und deren Schlüsselkomponenten dienen;
- die die Integration erneuerbarer Energien in den Markt verbessern;
- die zum regionalen Einsatz von Speichertechnologien beitragen;
- die den Ausbau der erneuerbaren Energien nachhaltig unterstützen;
- die die Regelbarkeit, den Wirkungsgrad oder die Verfügbarkeit von erneuerbaren Energie–Erzeugungsanlagen verbessern; oder
- die die Elektromobilität, insbesondere unter Einbeziehung der regionalen Strukturen des Landes Schleswig–Holstein, stärken.

Relevante Umweltinnovationsvorhaben i.S.d. der Richtlinie sind im Bereich Wasserstoff Vorhaben,

- die zur Senkung der Treibhausgas–Emissionen (THG) – insbesondere der CO_2–Emissionen – und/oder der Erreichung der Klimaschutzziele Schleswig–Holsteins beitragen;
- die der Reduktion des Eintrags von Schadstoffen in Böden und in die Luft dienen; oder
- deren Ziel die Entwicklung neuer Produkte, Verfahren und Dienstleistungen mit besonderer, positiver Umweltrelevanz ist.

Hinsichtlich des Fördergegenstandes sind demnach entlang der Wasserstoffwertschöpfungskette diverse Vorhaben förderfähig. In Betracht kommt die Förderung von Wasserstoffproduktion und sonstiger Infrastruktur als Energiewendevorhaben. Ebenso ist die Förderung von Elektromobilität mit Brennstoffzelle möglich. Unter der Formulierung „Stärkung der Elektromobilität", könnte zudem auch die dafür notwendige H_2–Tankstelleninfrastruktur subsumierbar sein. Alternativ dürfte entlang der Wertschöpfungskette auch eine Förderung als Umweltinnovationsvorhaben zur Senkung der CO_2–Emissionen möglich sein.

Zu beachten ist in diesem Zusammenhang aber, dass gem. 4.2. der EUI–Richtlinie alle für das Vorhaben erforderlichen Zulassungen und Genehmigungen (z.B. Baugenehmigung, Betriebserlaubnis) bereits vorliegen müssen. Wie in Kapitel 2.5. dargelegt, kann die Genehmigung von H_2–Tankstellen momentan noch bis zu zwei Jahre dauern. Die Stellung eines Förderantrages wäre damit in der jetzigen Laufzeit bis Ende 2020 (mit drei Auslaufjahren) nicht mehr möglich. Weiterhin bezieht sich die Förderung auf Investitionsbeihilfen; eine Förderung von Betriebsbeihilfen, die gerade in der Anfangsphase notwendig sind (vgl. Kapitel 4), ist auf Grundlage der EUI–Richtlinie nicht möglich.

7.2 BFEI – Gewährung von Zuwendungen zur Förderung betrieblicher Forschung, Entwicklung und Innovation

Die „Richtlinie für die Gewährung von Zuwendungen zur Förderung betrieblicher Forschung, Entwicklung und Innovation" (kurz: BFEI–Richtlinie)[29] bündelt Förderungen, die Unternehmen bei der Entwicklung und der Umsetzung von neuen Ideen, Wissen und Technologien in marktfähige Produkte durch die Minderung des Risikos für Forschungs– und Entwicklungsleistungen unterstützen.

7.2.1 Förderziel und Rahmenbedingungen

Fokus des Förderprogrammes ist demnach die Stärkung von Innovation, Wettbewerbsfähigkeit und der Sicherung bzw. Schaffung von Arbeitsplätzen im Bereich Forschung und Entwicklung. In Abgrenzung zur Förderung nach der EUI–Richtlinie, die ebenso Forschung und Entwicklung von Umwelttechnologien umfasst, liegt der Schwerpunkt der BFEI–Richtlinie allgemeiner auf Vorhaben der industriellen Forschung und experimentellen Entwicklung, welche die Schaffung und Sicherung zukunftsorientierter Arbeitsplätze in Schleswig–Holstein erwarten lassen (FuE–Vorhaben).

Bzgl. des Förderbetrages gelten folgende Rahmenbedingungen:

Das gesamte Projektvolumen soll einen Betrag von 150.000 Euro nicht unterschreiten. Die Zuwendung wird als Projektförderung im Wege der Anteilfinanzierung in Form eines nicht rückzahlbaren Zuschusses gewährt. Die Förderung aus GRW–Mitteln ist auf maximal 500.000 Euro je Förderfall begrenzt.

Die Höhe der Förderung beträgt

- für kleine Unternehmen bis zu 45 Prozent der förderfähigen Kosten für die experimentelle Entwicklung und bis zu 70 Prozent für die industrielle Forschung,
- für mittlere Unternehmen bis zu 35 Prozent der förderfähigen Kosten für die experimentelle Entwicklung und bis zu 60 Prozent für die industrielle Forschung, und
- für große Unternehmen bis zu 25 Prozent der förderfähigen Kosten für die experimentelle Entwicklung und bis zu 50 Prozent für die industrielle Forschung.

[29] Bekanntmachung des Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit, Verkehr und Technologie vom 30. November 2015 – VII 311 – .

7.2.2 Anwendbarkeit auf Wasserstoff–Mobilität

Im Folgenden werden aus der BFEI–Richtlinie die für Wasserstoff–Mobilität relevanten Passagen bzgl. Fördergegenstand aufgeführt.

Relevante Vorhaben i.S.d. der Richtlinie sind im Bereich Wasserstoff Vorhaben,

– die technisch–wissenschaftlichen Voraussetzungen für die Entwicklung neuer zukunftsorientierter Produkte, Verfahren oder Dienstleistungen schaffen;

– neue zukunftsorientierte Produkte, Verfahren oder Dienstleistungen schaffen; – der Unterstützung zur Entwicklung von Pilotlinien und fortschrittlichen Fertigungskapazitäten in Schlüsseltechnologien dienen (Verfahrensentwicklung).

Die erstmalige Anwendung oder Umsetzung zukunftsträchtiger Technologien wird gem. 2.2 BFEI–Richtlinie bevorzugt gefördert. Dieser Vorrang kann im Bereich Wasserstoff auch in Betracht kommen, wenn etwa auf die Realisierung von Technologieführerschaft abgezielt wird. Gleichfalls werden andere Wasserstoffvorhaben nicht ausgeschlossen, sofern sie sich insgesamt noch im Definitionsbereich FuE bewegen, also einen innovativen Ansatz darlegen können (vgl. hierzu die Begriffsbestimmung im Anhang der BFEI–Richtlinie).

Die Förderung aus dem Operationellen Programm EFRE konzentriert sich gem. 2.3 BFEI–Richtlinie auf die in der Regionalen Innovationsstrategie (RIS)[30] des Landes definierten Spezialisierungsfelder und deren korrespondierenden, in der RIS verankerten Schlüsseltechnologien. Nach der RIS sind hierfür Spezialisierungsfelder und korrespondierende Schlüsseltechnologien definiert. Für Wasserstoff kommen dabei die darin bereits identifizierten Forschungskompetenzen „Erneuerbare Energien", „Mikroelektronik, Mikrosystemtechnik und Nanotechnologie" und „Maritime Wirtschaft" in Betracht.

Unter der BFEI–Richtlinie ist daher ebenso grundsätzlich die Förderung von Wasserstoffvorhaben möglich.

Gleichwohl steht dies unter der Einschränkung, dass es sich dabei entweder um industrielle Forschung i.S.v. Art. 2 Nr. 85 Allgemeinen Gruppenfreistellungsverordnung (EU) Nr. 651/2014 (AGVO) oder um experimentelle Entwicklung i.S.v. Art. 2 Nr. 86 AGVO handelt. Die experimentelle Entwicklung kann die Entwicklung von kommerziell nutzbaren Prototypen und Pilotprojekten einschließen, wenn es sich dabei zwangsläufig um das kommerzielle Endprodukt handelt und dessen Herstellung allein für Demonstrations– und Validierungszwecke zu teuer wäre. Dies kann also entlang der Wertschöpfungskette Level 1 und 2 (Forschung und Entwicklung, Fahrzeugbau) umfassen. Ebenso dürften, sofern der innovative Ansatz entsprechend dargelegt wird, bestimmte Vorhaben auf Level 5 (H_2–Produktion), 6 (Tankstellen) und 7 (sonstige Infrastruktur) förderfähig sein.

Hier gilt allerdings gleichfalls die Beschränkung hinsichtlich des Förderzeitraumes und der Art der förderfähigen Kosten. Betriebsbeihilfen, die anfangs für den Aufbau einer Tankstelleninfrastruktur benötigt werden, sind auf Grundlage der BFEI–Richtlinie nicht möglich.

---

30 https://www.schleswig–holstein.de/DE/Fachinhalte/F/foerderprogramme/MWAVT/Downloads/regionale_innovationsstrategieNEU.pdf?__blob=publicationFile&v=2, zuletzt abgerufen am 25.11.2020.

7.3 FIT – Gewährung von Zuwendungen zur Förderung von anwendungsorientierter Forschung, Innovationen, zukunftsfähigen Technologien & des Technologie– und Wissenstransfers

Unter der „Richtlinie für die Gewährung von Zuwendungen zur Förderung von anwendungsorientierter Forschung, Innovationen, zukunftsfähigen Technologien und des Technologie– und Wissenstransfers" (kurz: FIT–Richtlinie)[31] werden insbesondere der Aufbau von Forschungs– und Entwicklungskapazitäten (FuE) gestärkt.

7.3.1 Förderziel und Rahmenbedingungen

Mit diesem Programm soll die anwendungsnahe Forschung und Entwicklung in Schleswig–Holstein gestärkt und der Technologie– und Wissenstransfer zwischen Wissenschaft und Wirtschaft beschleunigt werden. Ziel ist damit die Steigerung von Innovationskapazitäten schleswig–holsteinischer Unternehmen und Umsetzungsunterstützung wissenschaftlicher Erkenntnisse in marktfähige Produkte, Verfahren und Dienstleistungen. Gefördert werden innovative Forschungs– und Entwicklungsvorhaben, die sich mit Herausforderungen aus den Bereichen Technologie und Gesellschaft, Ökologie und Ökonomie beschäftigen.

Förderfähig nach dieser Richtlinie sind daher Einrichtungen für Forschung und Wissensverbreitung, Hochschulen und Kliniken des Landes im Bereich der Selbstverwaltung, ähnliche Einrichtungen der öffentlichen Hand bzw. Einrichtungen oder Institutionen, die überwiegend öffentlich getragen werden, sofern keine wirtschaftliche Tätigkeit ausgeübt wird sowie Unternehmen.

Bzgl. des Förderbetrages gelten folgende Rahmenbedingungen:

Die Förderung für Unternehmen ist von Unternehmensgröße, Projektinhalt sowie Projektart abhängig und beträgt maximal 50 % der förderfähigen Kosten. Die Höhe der Förderung für Forschungseinrichtungen richtet sich nach Projektart und Innovationsgehalt und kann maximal 90 % der förderfähigen Kosten betragen. Für wirtschaftliche Tätigkeiten gelten Art. 8, 25–27 AGVO (max. 80 Prozent des Vorhabens).

7.3.2 Anwendbarkeit auf Wasserstoff–Mobilität

Im Folgenden werden aus der FIT–Richtlinie die für Wasserstoff–Mobilität relevanten Passagen bzgl. des Fördergegenstandes aufgeführt. Die Förderung konzentriert sich vorrangig auf die in der Regionalen Innovationsstrategie des Landes Schleswig–Holstein (RIS SH) definierten Spezialisierungsfelder. Gefördert werden insbesondere Forschungsvorhaben, Durchführbarkeitsstudien, Forschungsinfrastrukturen, Kompetenzzentren, Verbundvorhaben, Kooperationsvorhaben und Innovationsorientierte Netzwerke. Insofern gibt es Überschneidungen mit dem Förderbereich der BFEI Richtlinie. Wesentlicher Abgrenzungspunkt dürfte hier der verstärkte Fokus der FIT auf die Kompetenzbündelung zwischen Wissenschaft und Wirtschaft sein. Eine Förderung von Wasserstoffvorhaben, deren Betriebsmodell (zumindest zukünftig) rein auf Wirtschaftlichkeit abstellt, ist hiervon hingegen nicht erfasst. Eine Förderung von H_2–Tankstellen durch Investitionsbeihilfen scheint unter diesem Gesichtspunkt nur schwer darlegbar.

[31] Bekanntmachung des Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr, Arbeit, Technologie und Tourismus vom 9. Dezember 2019 – V II 303 – .

7.4 Gewährung von Zuwendungen zur Förderung von kommunalen Hafenbaumaßnahmen in Schleswig–Holstein Beschreibung

Mit der „Richtlinie für die Gewährung von Zuwendungen zur Förderung von kommunalen Hafenbaumaßnahmen in Schleswig–Holstein" (kurz: Hafenrichtlinie) [140] werden die Vorgaben der Auswahl– und Fördergrundsätze von Projekten im Rahmen des LPW für Hafeninfrastruktur konkretisiert.

7.4.1 Förderziel und Rahmenbedingungen

Das Ziel des Förderprogramms ist der Ausbau einer ökonomischen sowie ökologischen Hafeninfrastruktur in Schleswig–Holstein. Dies umfasst ressourcenschonende Transport– und Logistikleistungen, die eine ökologisch verantwortungsvolle Entwicklung des Offshore–Marktes und der Insel– und Halligversorgung unterstützt. Hierzu zählen im Sinne der Richtlinie auch kommunale Anlege– und Umschlagstellen. Primäres Förderziel ist damit der Aus– bzw. Neubau von Häfen.

Die Hafeninfrastrukturförderung ermöglicht den Bau von kommunalen Infrastrukturen, die ihrerseits ressourcenschonende Transport– und Logistikleistungen anbieten zu können. Durch die Förderung des kommunalen Infrastrukturaufbaus wird die ökologisch verantwortungsvolle Entwicklung des Offshore–Marktes und der Insel– und Halligversorgung unterstützt. Die fortschreitende technische Entwicklung von LNG–Antrieben, schadstoffreduzierten Antriebskonzepten und Energieversorgungen unterstützt den ökologischen Vorteil des Verkehrsträgers und verstärkt im Sinne einer nachhaltigen Transportkette das Erfordernis angemessener Infrastrukturen.

Die Richtlinie wendet sich primär an Gemeinden und Gemeindeverbände. Juristische Personen kommen nur unter Einschränkungen als Zuwendungsberechtigte in Betracht, etwa wenn sie überwiegend im öffentlichen Auftrag handeln und etwaige Gewinne für GRW–Zwecke[32] eingesetzt werden.

Bzgl. des Förderbetrages gelten folgende Rahmenbedingungen:

- Projekte mit zuwendungsfähigen Ausgaben von weniger als 150.000 Euro werden grundsätzlich nicht gefördert.

Die Förderung aus Mitteln der GRW beträgt grundsätzlich bis zu 60 Prozent der förderfähigen Kosten. Das Land kann bei Vorliegen bestimmter Voraussetzungen mit bis zu 90 Prozent fördern. Bzgl. der Höhe der Förderung gelten Teil II B Ziffer 3.1.1 des GRW–Koordinierungsrahmens und Art. 8 (Ziffer 3), 56b AGVO.

[32] Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur" (GRW), siehe hierzu https://www.schleswig–holstein.de/DE/Fachinhalte/F/foerderprogramme/MWAVT/grw_2014_2020.html.

7.4.2 Anwendbarkeit auf Wasserstoff-Mobilität

Im Folgenden werden aus der Richtlinie für die Gewährung von Zuwendungen zur Förderung von kommunalen Hafenbaumaßnahmen in SH die für Wasserstoff–Mobilität relevanten Passagen bzgl. des Fördergegenstandes aufgeführt. Nach dieser Richtlinie können die folgenden öffentlichen Infrastrukturen gefördert werden:

- Infrastruktur für alternative Kraftstoffe, insbesondere auch zur landseitigen Stromversorgung der Schiffe
- Die Errichtung und die Modernisierung von Anlagen der öffentlichen Hafeninfrastruktur
- Ersatzinvestitionen in öffentlichen Häfen und von Anlege– und Umschlagstellen, die zur Aufrechterhaltung der Grundversorgung bzw. für die bedarfsgerechte Erhaltung von Fährverbindungen zu den Inseln und Halligen funktionsfähig gehalten werden müssen und zu einer nachhaltigen Erhöhung des Gebrauchswertes der Hafeninfrastruktur führen.
- Die landseitige Anbindung an das öffentliche Straßen– und Schienennetz

Im Bereich Wasserstoff kommt hier die Förderung von alternativen Kraftstoffen in Betracht. Diese können mitgefördert werden, wenn sie dem Hafen funktional zuzurechnen sind. Obgleich als Fördergegenstand auch die landseitige Anbindung an das öffentliche Straßen– und Schienennetz erfasst ist, ist die Förderung einer H_2–Tankstelle daher nur möglich, wenn diese unmittelbar für Hafenverkehrsfahrzeuge genutzt wird. Einer öffentlichen Tankstelle würde hingegen der funktionale Zusammenhang zum Hafen fehlen. Eine öffentliche Mitnutzung wäre ggf. denkbar, allerdings nicht förderfähig, vgl. 5.5 der Hafenrichtlinie. Die Förderrichtlinie scheint daher, sowie unter Berücksichtigung der Einschränkungen bezüglich Zuwendungsempfängern, nur in einem sehr eingeschränkten Randbereich für die Wasserstoffförderung geeignet.

7.5 Förderlücken

Förderprogramme sollten über eine Laufzeit von mindestens drei bis fünf Jahren wirksam sein, um eine ausreichende Sicherheit der Marktanreize zu schaffen. Dies ist in der aktuellen Förderperiode naturgemäß nicht mehr möglich. Eine inhaltsähnliche Übertragung der Programme in die nächste Förderperiode ist selbstverständlich möglich. Für den Auf– und Ausbau von H_2–Tankstellen sollte dabei konkret das Hemmnis „Vorliegen sämtlicher Zulassungen und Genehmigungen" in 4.2 der EUI–Richtlinie angepasst werden, um den Konflikt zwischen langer Genehmigungsphase und Förderbedarf vor Inbetriebnahme aufzulösen.

Gleichwohl gibt es einige Bereiche, die von dem bestehenden Förderrahmen nicht erfasst werden. Entlang der Wertschöpfungskette betrifft dies insbesondere Maßnahmen auf Level 3, 4, 6, 8 und 9 (siehe hierzu Auflistung in Kapitel 7). Schwerwiegend ins Gewicht dürfte dabei insbesondere die fehlende Möglichkeit für Betriebsbeihilfen für H_2–Tankstellen fallen. Ohne entsprechende Wirtschaftlichkeitsmöglichkeit bieten sich für die Stakeholder hierbei nur wenige Anreize, die notwendige Infrastruktur bis zum Markthochlauf aufzubauen. Aufgrund der sachlogischen Wechselwirkungen würde sich ein mangelhafter Infrastrukturaufbau in Zweifel insgesamt negativ auf alle Wertschöpfungsebenen oberhalb der Ebene „Forschung und Entwicklung" auswirken.

Um eine möglichst effektive Förderung im Einklang mit der norddeutschen Wasserstoffstrategie zu ermöglichen und den Stakeholdern Rechts– und Planungssicherheit zu gewährleisten, wäre die Erstellung einer eigenen wasserstoffspezifischen Förderrichtlinie jedoch auch unter praktischen Gesichtspunkten empfehlenswert. Bei einer konkreten Darlegung des Fördergegenstandes können so etwa Anträge für Projekte vermieden werden, deren Förderung von dem Fördergeber anhand des Förderprogramms nicht beabsichtigt ist. Zudem besteht bei einem offenen Tatbestand des Fördergegenstands die erhöhte Gefahr, dass Rechtsmittel gegen abgelehnte Förderbescheide eingelegt werden.

7.6 Zusammenfassung

- Sowohl die EUI–Richtlinie als auch die BFEI–Richtlinie sind inhaltlich hinsichtlich der möglichen Fördergegenstände weit gefasst, so dass eine Förderung von Wasserstoff auf Grundlage der Richtlinien in Betracht kommt. In praktischer Hinsicht findet dies seine Begrenzung aber sowohl hinsichtlich des Förderzeitraumes als auch in der Begrenzung auf Investitionsbeihilfen.
- Sofern auf bestehende Förderrichtlinien aufgebaut werden soll, ist für H_2–Tankstellen eine Änderung der EUI–Richtlinie bezüglich des Antragserfordernisses „Vorliegen sämtlicher Zulassungen und Genehmigungen" empfehlenswert.
- Die Hafenrichtlinie kann im Bereich der Wasserstoffförderung nur einen Randbereich abdecken, sofern die jeweilige Anlage funktional dem Hafen zuzurechnen ist und ist für eine ganzheitliche Markthochlaufstrategie nicht geeignet.
- Förderlücken bestehen auf verschiedenen Ebenen der Wertschöpfungskette. Handlungsbedarf besteht hier insbesondere hinsichtlich des Ausbaus und Betriebs von H_2–Tankstelleninfrastruktur.
- In einem weiteren Schritt ist empfehlenswert, noch einmal ein Augenmerk auf Fördermöglichkeiten grenzüberschreitender Zusammenarbeit im EU Kontext zu werfen sowie auf die H_2–Förderentwicklungen auf EU Ebene im Rahmen des kommenden Mehrjährigen EU Finanzrahmen und der Umsetzung des Green Deals der EU Kommission.

8 Analyse beihilferechtlicher Voraussetzungen für eine Förderrichtlinie in SH

Bei jeder staatlichen Förderung müssen Vorgaben des jeweiligen Bundes– oder Landeshaushaltsrechts, aber insbesondere auch die beihilferechtlichen Vorgaben der EU beachtet werden. Dies gilt auch für die Förderung für den Aufbau von Infrastruktur im Bereich alternativer Kraftstoffe, für die ein nationaler Strategierahmen festgelegt wurde. Dies ergibt sich direkt auch aus Art. 3 Abs. 5 der Richtlinie Nr. 2014/94/EU:

> „Fördermaßnahmen für die Infrastruktur für alternative Kraftstoffe sind unter Einhaltung der Vorschriften des AEUV für staatliche Beihilfen umzusetzen."

Im Folgenden werden daher die EU–Beihilfenrechtsrahmenbedingungen untersucht. Anhand dessen wird erläutert, welche Voraussetzungen eine Wasserstoffförderung in Schleswig–Holstein erfüllen muss, und welche Gestaltungsmöglichkeiten es hinsichtlich eines vereinfachten Beihilfenverfahrens gibt. Hinsichtlich des Fördergegenstandes wird hierbei, im Einklang mit den Arbeitsergebnissen aus Kapitel 4, ein besonderer Fokus auf die Förderung von H_2–Tankstellen gelegt.

8.1 Rahmenbedingungen EU–Beihilfenrecht

Das System der Beihilfenkontrolle in der Europäischen Union ist primärrechtlich in den Art. 107, 108 des Vertrages über die Arbeitsweise der Europäischen Union (AEUV) verankert. Art. 107 Abs. 1 AEUV definiert dabei den Begriff der Beihilfe und stellt ein grundsätzliches Verbot auf, solche zu gewähren. Ungeachtet der Erfüllung des Beihilfentatbestandes sind jedoch einzelne Beihilfen bereits unmittelbar durch den Vertrag für mit dem gemeinsamen Markt vereinbar erklärt (Art. 107 Abs. 2 AEUV). Darüber hinaus ist es möglich, dass die Kommission auf eine Anmeldung durch einen Mitgliedstaat bestimmte Beihilfen im Einzelfall durch Entscheidungen für mit dem gemeinsamen Markt vereinbar erklärt (Art. 107 Abs. 3 AEUV).

Eine Beihilfe ist mit dem Binnenmarkt unvereinbar, wenn die Beihilfen den Wettbewerb verfälschen oder zu verfälschen drohen. Beihilfen können aber der EU–Kommission angezeigt und nach Prüfung genehmigt werden (Art. 108 Abs. 3 AEUV). Eine Beihilfe, die rechtswidrig ist oder schlicht nicht genehmigt wurde, muss zurückgefordert werden. Das System der Beihilfenkontrolle regelt Art. 108 AEUV. Insbesondere wird in Art. 108 Abs. 3 AEUV die Verpflichtung aufgestellt, neue oder umgestaltete Beihilfen der Kommission mitzuteilen (sog. Notifizierung). Ungeachtet einer möglichen Rechtfertigung (Vereinbarkeitserklärung) durch Einzelentscheidung der Kommission bei Vorliegen der Voraussetzungen des Art. 107 Abs. 3 AEUV dürfen Beihilfen bis zu einer Entscheidung der Kommission nicht vollzogen werden (Art. 108 Abs. 3 S. 3 AEUV). Zur Sicherung des Vollzugsverbots nimmt, aufbauend auf der Rechtsprechung des EuGH[33], der BGH[34] teilweise die Nichtigkeit von Verträgen, welche Beihilfen enthalten, an.

[33] EuGH, Urt. v. 11.12.1973 – Rs. 120/73, Lorenz, Slg. 1973, 1471; Urt. v. 21.11.1991 – Rs. C–354/90, FNCE – Slg. 1991, I–5505, Rn. 11 f.

[34] BGH, EuZW 2003, 444 (444 f.); EuZW 2004, 252, BGH, EuZW 2004, 254.; einschränkend: BGH, Urt. v. 5.12.2012 – I ZR 92711.

Bei der Erstellung einer Förderrichtlinie ist daher in einem ersten Schritt zu prüfen, ob auf deren Grundlage erfolgte Zuwendungen den Beihilfentatbestand des Art. 107 Abs. 1 AEUV erfüllen. In einem zweiten Schritt sind die sich daraus ergebenden Konsequenzen zu evaluieren, um die sich aus der konkreten Ausgestaltung ergebenden Handlungsspielräume zu identifizieren. Konkret dürfte es sich dabei maßgeblich um die Frage drehen, wie eine rechtskonforme Zuwendung gewährt werden kann, ohne dass hierfür ein Notifizierungsverfahren erforderlich wird.

8.2 Notifizierungsverfahren

Beihilfen, die die Schwellenwerte der Verordnung (EU) Nr. 1407/2013 (De–minimis–Verordnung) überschreiten, die nicht nach der AGVO ausgenommen sind, müssen der Kommission angezeigt werden. Sie können als konkrete Einzelbeihilfe genehmigt werden. Darüber hinaus kann auch eine Beihilferegelung, die abstrakt Förderbedingungen regelt, angezeigt und genehmigt werden.

Der Prüfungsmaßstab der Kommission ergibt sich aus den Leitlinien für staatliche Umweltschutz und Energiebeihilfen 2014–2020[35] (UEBLL). Deren Gültigkeit ist bis Ende 2021 verlängert worden.[36] Die UEBLL sind keine formellen Rechtsvorschriften, sondern dienen der EU–Kommission als Auslegungshilfe bei der Beurteilung, ob eine Beihilfe zulässig oder unzulässig ist. Sie prägen die Entscheidungspraxis der EU–Kommission und führen so in Verbindung mit dem Rechtsstaatsprinzip und dem Gleichbehandlungsgrundsatz zu einer faktischen Rechtsbindung der Kommission. Wird eine beihilferechtliche Genehmigung erteilt, geht sie den Vorschriften der AGVO und der UEBLL als die speziellere Maßgabe vor. Diese Vorschriften können aber zur ergänzenden Auslegung herangezogen werden.

8.3 Erfüllung des Beihilfentatbestandes des Art. 107 Abs. 1 AEUV

Gemäß Art. 107 Abs. 1 AEUV sind, soweit im AEUV nichts anderes bestimmt ist, staatliche oder aus staatlichen Mitteln gewährte Beihilfen gleich welcher Art, die durch die Begünstigung bestimmter Unternehmen oder Produktionszweige den Wettbewerb verfälschen oder zu verfälschen drohen, mit dem gemeinsamen Markt unvereinbar, soweit sie den Handel zwischen Mitgliedstaaten beeinträchtigen. Nach einer von der Kommission und der Rechtsprechung in ständiger Praxis angewandten Formel ist eine staatliche Maßnahme dann eine Beihilfe im Sinne dieser Norm, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt sind: Sie muss

- dem begünstigten Unternehmen einen wirtschaftlichen Vorteil verschaffen;
- vom Staat oder aus staatlichen Mitteln gewährt werden;
- im Einzelfall gewährt werden, d. h. sie darf nur bestimmte Unternehmen oder bestimmte Produktionszweige begünstigen (sogenannte sektorale Selektivität);
- den Handel zwischen den Mitgliedstaaten beeinträchtigen und
- den Wettbewerb verfälschen oder zu verfälschen drohen, was sich zumeist bereits aus den Umständen ergibt, unter denen die Beihilfe gewährt worden ist.

[35] Mitteilung der Kommission vom 28.6.2014 Leitlinien für Staatliche Umweltschutz– und Energiebeihilfen 2014–2020 (2014/C 200/01), nachstehend: UEBLL.
36 Mitteilung der Kommission über die Verlängerung und Änderung der Leitlinien vom 08.07.2020, 2020/C 224/02.

Diese Voraussetzungen müssen kumulativ erfüllt sein, d. h. die Anwendung von Art. 107 AEUV ist ausgeschlossen, wenn eine der genannten Voraussetzungen nicht erfüllt ist[37].

8.3.1 Begünstigung

Ausweislich des Wortlauts des Art. 107 Abs. 1 AEUV sind von der Norm *„Beihilfen gleich welcher Art"* betroffen, bei denen es zu einer *„Begünstigung"* kommt. Der Begriff der Begünstigung ist nach ständiger Rechtsprechung des EuGH weit auszulegen und umfasst neben positiven Leistungen wie Subventionen auch Maßnahmen, welche in verschiedener Form die Belastungen vermindern, welche ein Unternehmen normalerweise zu tragen hat[38]. Dabei kommt es nicht auf die Form oder das Ziel der Beihilfengewährung an, ausschlaggebend ist vielmehr allein die Wirkung der Maßnahme[39]. In diesem Zusammenhang wird auch der Begriff der Leistung weit verstanden und jeder geldwerte Vorteil für den Empfänger einbezogen, wobei dieser in der Form der Geldzuführung oder der Belastungsminderung bestehen kann.[40]

8.3.2 Bestimmte Unternehmen oder Produktionszweige

Das präventive Beihilfenverbot ist darauf gerichtet, den Wettbewerb zu schützen, indem es staatliche Eingriffe in den Wettbewerb durch die selektive Begünstigung einzelner oder mehrerer Unternehmen oder Produktionszweige verbietet. Dementsprechend findet das Beihilfenrecht nur dann Anwendung, wenn durch die staatliche Zuwendung Unternehmen i.S.d. EU–Wettbewerbsrechts selektiv begünstigt werden. Unter den weit auszulegenden Begriff des Produktionszweiges fallen sämtliche Gewerbezweige und auch die freien Berufe.[41]

8.3.3 Staatliche Mittel

Staatlich sind Beihilfen, wenn es sich bei dem Beihilfegeber um einen Hoheitsträger handelt. Dazu zählen neben den Mitgliedstaaten (Gesamtstaaten) die Länder (Teilstaaten). Bei einem Förderprogramm des Landes Schleswig–Holstein erfolgt die Zuwendung mithin aus staatlichen Mitteln.

8.3.4 Wettbewerbsverfälschung

Die Begünstigung aus staatlichen Mitteln verfälscht oder droht den Wettbewerb zu verfälschen. Eine solche (drohende) Wettbewerbsverfälschung ist dann anzunehmen, wenn ein bestimmtes Unternehmen einen wirtschaftlichen Vorteil erhält, den es unter marktkonformen Voraussetzungen nicht erhalten hätte, und wenn dadurch die Marktbedingungen der Wettbewerber verändert werden.[42]

---

[37] Siehe nur EuGH, Urt. v. 03.05.2005, Rs. C–172/03 – Heiser, Slg. 2005, I–1627, Rn. 27; EuGH, Urt. v. 15.07.2004, Rs. C–345/02 – Pearle, Slg. 2004, I–7139, Rn. 32; EuGH, Urt. v. 24.07.2003, Rs. C–280/00 – Altmark Trans, Slg. 2003, I–7747, Rn. 74; EuGH, Urt. v. 02.09.2010, Rs. C–399/08 P – Kommission/Deutsche Post, Slg. 2010, I–7831.

[38] Ständige Rechtsprechung, vgl. EuGH, Urt. v. 23.02.1961, Rs. 30/59 – Limburg/Hohe Behörde, Slg. 1961, 3, 42 f.; EuGH, Urt. v. 07.03.2002, Rs. C–310/99 – Italien/Kommission, Slg. 2002, I–2289, Rn. 51; EuGH, Urt. v. 10.01.2006, Rs. C–222/04 – Cassa di Risparmio, Slg. 2006, I–289, Rn. 131; EuGH, Urt. V. 16.12.2010, Rs. C–239/09 – Seydaland, Slg. 2010, I–13083, Rn. 30.

[39] EuGH, Urt. v. 03.05.2005, Rs. C–172/03 – Heiser, Slg. 2005, I–1627, Rn. 46; EuGH, Urt. v. 29.04.2004, Rs. C–159/01 – Niederlande/Kommission, Slg. 2004, I–4461, Rn. 51.

[40] EuGH, Urt. v. 13.10.1993, Rs. C–378/92, Banco Exterior de España, Slg. 1994, I–877 907 ff., Rn. 13 ff.; Urt. v. 1.12.1998, Rs. C–200/97, Ecotrade, Slg. 1998, I–79/07, Rn. 34; Urt. v. 29.6.1999, Rs. C–256/97, BMT, Slg. 1999, I–3913, 3933, Rn. 19.

[41] Streinz/*Koenig/Förtsch*, 3. Aufl. 2018, AEUV Art. 107 Rn. 73–100.

Das heißt, sie liegt dann vor, wenn die Zuwendung, die das einzelne Unternehmen erhält, die Stellung des Begünstigten oder eines dritten Unternehmens auf den sachlich, zeitlich und räumlich relevanten Markt zu Lasten seines (potenziellen) Konkurrenten verbessert.[43] In der Rechtsprechung der Unionsgerichte sowie der Aufsichtspraxis der Kommission werden an dieses Tatbestandsmerkmal keine hohen Anforderungen gestellt. Vielmehr ergibt sich dies aus den Umständen, unter denen eine Beihilfe gewährt wird.

Betriebsbeihilfen in Abgrenzung zu Investitionsbeihilfen unterfallen grundsätzlich nicht dem Anwendungsbereich des Art. 107 Abs. 3 AEUV, also derjenigen Beihilfen, die von mit dem Binnenmarkt als vereinbar angesehen werden können. Bei Betriebsbeihilfen, also Beihilfen an Unternehmen, mit denen ihnen Kosten abgenommen werden, die diese regelmäßig im Rahmen ihrer geschäftlichen Tätigkeit zu tragen hätten, wird zudem nach der Rechtsprechung des EuGH regelmäßig eine Wettbewerbsverfälschung angenommen, so dass die Beihilfe nach Art. 107 Abs. 1 als mit dem Binnenmarkt unvereinbar angesehen wird.[44]

Eine Förderung, die auf die Unterstützung von H_2–Tankstellenbetreibern abzielt, würde demnach regelmäßig eine Wettbewerbsverfälschung im EU–rechtlichen Sinne darstellen. Betriebsbeihilfen sind aber in bestimmten Rahmen dennoch möglich, wenn diese etwa gem. Art. 109 AEUV durch Verordnung als mit dem Binnenmarkt vereinbar eingestuft wurden. Ausnahmen bestehen z.B. für Energieeffizienzmaßnahmen, zur Förderung erneuerbarer Energien, für Flughäfen und in den Förderregionen des Art. 107 Abs. 3 lit. a AEUV[45]. Erforderlich ist aber auch dann, dass die Beihilfe geeignet ist, zu einer dauerhaften und ausgeglichenen wirtschaftlichen Entwicklung beizutragen.[46] Die Förderung von erneuerbaren Energien stellt dabei primär auf die Erzeugung von erneuerbaren Energien ab. Erneuerbare Energien im Sinne der Leitlinien für staatliche Umweltschutz– und Energiebeihilfen (UEBLL) ist die Energie, die in Anlagen erzeugt wird, in denen ausschließlich erneuerbare Energiequellen eingesetzt werden, sowie bezogen auf den Heizwert der Anteil der Energie, der aus erneuerbaren Energiequellen in Hybridanlagen, die auch konventionelle Energiequellen einsetzen, erzeugt wird, einschließlich Strom aus erneuerbaren Energiequellen, der zum Auffüllen von Speichersystemen genutzt wird, siehe 1.3 Nr. 11 UEBLL. In Bezug auf Wasserstoff kann dies auf Elektrolyseure, die erneuerbaren Wasserstoff herstellen, übertragbar sein. Die Förderung von Betriebsbeihilfen zur Förderung von erneuerbaren Energien ist in diesem Rahmen jedoch auch mittelbar möglich, siehe 3.3.2.2. UEBLL. Auf dieser Ebene könnten dann auch Betriebsbeihilfen für H_2–Tankstellen möglich sein, wenn die dort weiter aufgeführten Voraussetzungen erfüllt sind. Entsprechend hat die Kommission etwa auch Zuschüsse für Ladesäuleninfrastruktur für Elektrofahrzeuge bewilligt.[47] Demnach sprechen gute Anhaltspunkte dafür, dass in Parallele hierzu auch Betriebsbeihilfen für H_2–Tankstellen bewilligungsfähig sind.

---

[43] *Cremer*, in: Calliess/Ruffert, EUV, AEUV, Kommentar, 5. Aufl., 2016, Art. 107, Rn. 32 mit zahlreichen weiteren Nachweisen.

[44] EuGH 102/87, Slg. 1988, 4067 Rn. 19 – Frankreich/Kommission; EuGH C–303/88, Slg. 1991, I–1433 Rn. 27 – Italien/Kommission.

[45] Beihilfen zur Förderung der wirtschaftlichen Entwicklung von Gebieten, in denen die Lebenshaltung außergewöhnlich niedrig ist oder eine erhebliche Unterbeschäftigung herrscht, sowie der in Artikel AEUV Artikel 349 genannten Gebiete unter Berücksichtigung ihrer strukturellen, wirtschaftlichen und sozialen Lage;

[46] *Cremer,* in: Callies/Ruffert, EUV, AEUV, Kommentar, 5. Aufl. 2016, Art. 107 Rn. 78.

[47] KOM, 10. Februar 2020, SA.49276, noch nicht veröffentlicht, Pressemitteilung IP/20/224, State Aid: Commission approves € 53 million public support scheme for charging stations for low emmission vehicles in Romania.

8.3.5 Beeinträchtigung des Handels zwischen den Mitgliedstaaten

Schließlich ist für Art. 107 Abs. 1 AEUV erforderlich, dass die Wettbewerbsbeschränkung geeignet ist, den Handel zwischen den Mitgliedstaaten zu beeinträchtigen.

In der Rechtsprechung des EuGH[48] wird eine Beeinträchtigung des Handels zwischen Mitgliedstaaten dann angenommen, wenn eine Maßnahme

> „unmittelbar oder mittelbar, tatsächlich oder der Möglichkeit nach geeignet ist, die Freiheit des Handels zwischen Mitgliedstaaten in einer Weise zu gefährden, die der Verwirklichung der Ziele eines einheitlichen zwischenstaatlichen Marktes nachteilig sein kann."

Ob eine Handelsbeeinträchtigung vorliegt, ist regelmäßig eine Einzelfallentscheidung. Aus der jüngeren Entscheidungspraxis der Kommission lässt sich jedoch eine gewisse Lockerung im Bereich kleiner Förderungen ableiten.[49] Als Indizien wurden dabei folgende Merkmale geprüft:

- Angebot der Dienstleistungen nur in einem geografisch begrenzten Gebiet
- Unwahrscheinlichkeit der Anreizwirkung für Nutzer aus anderen Mitgliedstaaten
- Unwahrscheinlichkeit von nicht nur marginalen Auswirkungen der Maßnahme auf grenzüberschreitende Investitionen oder die Niederlassung von Unternehmen (z.B. aufgrund niedriger Förderbeträge)

Da die geförderte Etablierung eines H_2–Tankstellennetzes in Schleswig–Holstein durchaus Auswirkungen auf grenzüberschreitende Investitionen oder die Niederlassung von Unternehmen haben dürfte (bzw. bezweckt werden soll), spricht jedoch viel dafür, dass die Kommission hier von einer Handelsbeeinträchtigung ausgehen könnte.

[48] St. Rspr. des EuGH, avgl. EuGH, Urt. v. 17.7.1997, Rs. C–219/95, Ferriere Nord, Slg. 1997, I–4411.
[49] Vgl. hierzu Bonhage/Dieterich, (Neue) Beihilfenrechtliche Maßstäbe für lokale Infrastrukturförderung, EuZW 2018, 720.

8.4 Fördermöglichkeiten, für die kein Notifizierungsverfahren erforderlich ist

Sofern ein Notifizierungsverfahren erforderlich ist, kann die beabsichtigte Förderung bis zur Entscheidung der Kommission nicht gewährt werden (Art. 108 Abs. 3 S. 3 AEUV). Ein Notifizierungsverfahren dauert regelmäßig mindestens sechs Monate, kann aber – abhängig von den Umständen des jeweiligen Falls auch bis zu mehreren Jahren andauern. Um eine schnelle und beihilfenrechtskonforme Förderung zu ermöglichen, sind bei einer möglichen Wasserstoffförderung in Schleswig–Holstein insbesondere Fördermöglichkeiten, in denen kein Notifizierungsverfahren erforderlich ist, interessant. Weiterhin bestehen in gewissem Spielraum, insbesondere im Bereich regionaler Infrastrukturmaßnahmen, auch Fördermöglichkeiten, die von vornherein im Rahmen der Operationellen Programme der Mitgliedstaaten unterhalb der entsprechenden Verordnungen[50] wie EFRE zugelassen sind. Das Beihilfenrecht erfasst prinzipiell zwar auch die staatliche Förderung regionaler Infrastrukturmaßnahmen. Dies gilt für alle in Betracht kommenden Bereiche, also sowohl zu Errichtung, Betrieb als auch Nutzung der Infrastruktur. Allerdings bestehen in diesem Bereich bestimmte Privilegierungen aufgrund der entsprechenden Förderverordnungen der EU. Außerdem ist zu beachten, dass die Infrastruktur als Dienstleistung, im Bereich der Wasserstoffförderung mithin auch die Tankstelleninfrastruktur, von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse (DAWI) eingestuft werden kann. Bei entsprechender Ausgestaltung der Förderung wäre dann insgesamt keine Beihilfenprüfung erforderlich. Die Möglichkeiten von Förderungen ohne Notifizierungspflicht werden daher im Folgenden dargestellt und mit Blick auf H_2–Tankstellen untersucht.

8.4.1 De–minimis–Verordnung

Da das Genehmigungsverfahren aufwändig ist, gibt es diverse unionsrechtliche Vorschriften, um dieses Verfahren zu vereinfachen. Die Fähigkeit einer Begünstigung, den Handel zwischen den Mitgliedstaaten zu beeinträchtigen, kann im Einzelfall auch aufgrund ihrer geringen Höhe verneint werden. Hierzu hat die Europäische Kommission in der sogenannten De–minimis–Verordnung bestimmte Beihilfen auf der Grundlage des Art. 2 der Verordnung (EG) Nr. 994/98[51] des Rates von der Notifizierung freigestellt.

Nach Art. 2 Abs. 2 Satz 1 der derzeit geltenden De–minimis–Verordnung[52], die seit 1.7.2007 in Kraft ist, liegt der Betrag der Gesamtsumme der Beihilfen für ein Unternehmen, der nicht überschritten werden darf, in einem Zeitraum von drei Steuerjahren bei 200.000,00 €. Zu beachten ist, dass der De–minimis–Verordnung mit Blick auf die Höchstsumme, die „ein einziges Unternehmen" auf Grundlage der Verordnung erhalten darf, ein weites Verständnis der „wirtschaftlichen Einheit" zugrunde liegt.[53] So bezieht sich der Begriff „ein einziges Unternehmen" (als Empfänger einer De–minimis–Beihilfe) gemäß Art. 2 Abs. 2 der Verordnung auch Unternehmen, die miteinander in Verbindung stehen.

Von Bedeutung ist jedoch, dass die De–minimis–Verordnung eine Unterscheidung zwischen sog. transparenten und intransparenten Beihilfen trifft. Gemäß Art. 2 Abs. 4 der De–minimis–Verordnung

---

[50] Hier insbesondere die Strukturdachverordnung der jetzigen Förderperiode, VO (EU) Nr. 1303/2016, eine Gesamtübersicht der derzeit gültigen Struktur– und Investitionsfondsverordnungen findet sich hier: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/guides/blue_book/blueguide_de.pdf.

[51] Verordnung des Rates vom 7.5.1998 über die Anwendung der Art. 92 und 93 des Vertrags zur Gründung der Europäischen Gemeinschaft auf bestimmte Gruppen horizontaler Beihilfen, ABlEG Nr. 142 v. 14.5.1998, S. 1.

[52] Verordnung (EG) 1998/2006 der Kommission vom 15.12.2006 über die Anwendung der Art. 87 und 88 EG–Vertrag auf „De–minimis"–Beihilfen, ABlEG Nr. L 379 v. 28.12.2006, S. 5.

[53] Vgl. hierzu Koenig/Paul, in Streinz, EUV/AEUV, Kommentar, 3. Aufl. 2018, Art. 109, Rn. 17.

gilt diese nur für sogenannte transparente Beihilfen, nämlich für solche Beihilfen, *„für die das Bruttosubventionsäquivalent im Voraus genau berechnet werden kann, ohne dass eine Risikobewertung erforderlich ist."* In Art. 4 Abs. 2–7 der Verordnung werden, je nach Art der Begünstigung, weitere Voraussetzungen konkretisiert. So sind bspw. Zuschüsse und Zinszuschüsse nach Art. 4 Abs. 2 der Verordnung als transparent einzustufen, wohingegen dies für Darlehen nur unter Einschränkungen (vgl. Abs. 3 lit. a–c) gilt.

Bei einer Förderung von Tankstelleninfrastruktur dürften Zuschüsse also rechtssicher notifizierungsfrei möglich sein, sofern vermieden wird, dass mehrere Zuschüsse an die gleiche wirtschaftliche Einheit geleistet werden.

8.4.2 Allgemeine Gruppenfreistellungsverordnung

Ähnlich ist es mit der Allgemeinen Gruppenfreistellungsverordnung[54] (AGVO). Diese Verordnung setzt für bestimmte Sektoren Schwellenwerte fest. **Wenn eine Beihilfe die Vorgaben dieser Verordnung einhält, ist sie ebenfalls vom Genehmigungsverfahren nach Art. 108 Abs. 3 AEUV freigestellt und muss nicht angezeigt werden.** Es müssen lediglich die Vorgaben zur Berichterstattung gem. Art. 11 AGVO erfüllt werden. Aus diesem Grund orientieren sich Förderprogramme in der Regel an den Schwellenwerten und Vorgaben der AGVO. Bei der Frage, ob der jeweilige Schwellenwert erreicht wird, wird grundsätzlich auf das Bruttosubventionsäquivalent abgestellt.[55]

In der AGVO sind verschiedene Gruppen von Beihilfen (Art. 1 Nr. 1 AGVO) und Begriffe (Art. 2 AGVO) definiert. Nach Art. 39 können etwa Energieinfrastrukturen gefördert werden. Darunter fallen nach Art. 2 Nr. 130 lit. a AGVO unter anderem

i) Übertragungsinfrastruktur im Sinne des Artikels 2 Absatz 3 der Richtlinie 2009/72/EG vom 13. Juli 2009 über gemeinsame Vorschriften für den Elektrizitätsbinnenmarkt;

ii) Verteilungsinfrastruktur im Sinne des Artikels 2 Absatz 5 der Richtlinie 2009/72/EG;

Für Wasserstoff ist in der AGVO explizit nur die Förderung im Bereich der Hafeninfrastruktur definiert, Art. 2 Nr. 161 AGVO:

> „Infrastruktur für alternative Kraftstoffe": feste, mobile oder Offshore–Hafeninfrastruktur, die einem Hafen die Versorgung von Schiffen mit Energiequellen wie Strom, Wasserstoff oder Biokraftstoffen im Sinne des Artikels 2 Buchstabe i der Richtlinie 2009/28/EG, synthetischen und paraffinhaltigen Kraftstoffen, Erdgas einschließlich Biomethan, gasförmig (komprimiertes Erdgas (CNG)) und flüssig (Flüssigerdgas (LNG)), und Flüssiggas (LPG) ermöglicht, die zumindest teilweise als Ersatz für Erdöl als Energieträger für den Verkehrssektor dienen, zur Reduzierung der CO_2–Emissionen beitragen und die Umweltverträglichkeit des Verkehrssektors erhöhen können".

Eine Freistellung für Wasserstoffförderung ergibt sich nicht explizit aus der AGVO. In Betracht kommt vorliegend eine Freistellung als Umweltschutzbeihilfe (Abschnitt 7 AGVO) oder als Beihilfe für Forschung und Entwicklung und Innovation (Abschnitt 4 AGVO), etwa als Innovationscluster nach Art. 27 AGVO.

Gem. Art. 2 Nr. 83 AGVO ist der Begriff eines **Innovationsclusters** denkbar weit auszulegen und umfasst Einrichtungen oder organisierte Gruppen von unabhängigen Partnern (z.B. innovative

[54] Verordnung (EU) Nr. 651/2014 der Kommission vom 17. Juni 2014 zur Feststellung der Vereinbarkeit bestimmter Gruppen von Beihilfen mit dem Binnenmarkt in Anwendung der Artikel 107 und 108 des Vertrags über die Arbeitsweise der Europäischen Union; nachstehend: AGVO.
[55] Nowak, in: Immenga/Mestmäcker, Art. 4 AGVO Rn. 3 m. w. N.

Unternehmensneugründungen, kleine, mittlere und große Unternehmen, Einrichtungen für Forschung und Wissensverbreitung, gemeinnützige Einrichtungen sowie andere miteinander verbundene Wirtschaftsbeteiligte), die durch entsprechende Förderung, die gemeinsame Nutzung von Anlagen, den Austausch von Wissen und Know–how und durch einen wirksamen Beitrag zum Wissenstransfer, zur Vernetzung, Informationsverbreitung und Zusammenarbeit unter den Unternehmen und anderen Einrichtungen des Innovationsclusters Innovationstätigkeit anregen sollen. Wirtschaftliche Tätigkeiten sind daher explizit auch möglich**. Die Förderung von Wasserstoff in Schleswig–Holstein könnte demnach auch unter diesem Gesichtspunkt erfolgen.** Die konkrete Ausgestaltung müsste im Einzelfall geprüft werden.

Gerade im Bereich der **Umweltschutzbeihilfen** könnte hier auch die konkrete Herkunft des Wasserstoffes eine Rolle spielen, da prinzipiell nur grüner Wasserstoff unter die Förderung von erneuerbaren Energien bzw. Umweltschutz subsumierbar sein dürfte. Allerdings sieht die Kommission in ihrer Wasserstoffstrategie auch den Einbezug anderer Arten von Wasserstoff als möglich an. Für eine richtungsweisende Definition, inwiefern Wasserstoff aus anderen Energiequellen EU–rechtlich eingestuft werden wird, gibt der Bericht der Technischen Expertengruppe zur Taxonomieverordnung über die Klassifizierung wirtschaftlicher Aktivitäten als nachhaltig Anhaltspunkte: Demnach ist Wasserstofferzeugung als „climate mitigation measure" zu betrachten, wenn der Grenzwert der CO_2 Erzeugung von 100g/ CO_2e/kWh nicht überschritten wird.[56]

Umweltschutzbeihilfen sind nach der AGVO vom Beihilfenverbot freigestellt, wenn sie kumulativ

- einer Kategorie der Art. 36 bis 49 AGVO unterfallen (Umweltschutzbeihilfe i. S. d. AGVO),
- die allgemeinen Anforderungen des Kapitels 1 (z.B. hinsichtlich Anmeldeschwellen, Transparenz, Anreizeffekt, und Beihilfenintensität), und
- die besonderen Voraussetzungen der Art. 36 bis 49 AGVO erfüllt sind.

Die AGVO erfasst vier Arten von Umweltschutzbeihilfen: Investitionsbeihilfen (Art. 36 bis 41 und 45 bis 48 AGVO), Betriebsbeihilfen (Art. 42, 43 AGVO), Umweltsteuerermäßigungen (Art. 44 AGVO) sowie Beihilfen für Umweltstudien (Art. 49 AGVO).

Im Bereich der Wasserstoffförderung kommen für Investitionsbeihilfen Freistellungen im Rahmen von Art. 36 AGVO (Investitionsbeihilfen, die Unternehmen in die Lage versetzen, über die Unionsnormen für den Umweltschutz hinauszugehen oder bei Fehlen solcher Normen den Umweltschutz zu verbessern) in Betracht. Gem. Art. 36 Abs. 4 kann dies auch den Erwerb von Fahrzeugen für den Straßen–, Schienen–, Binnenschifffahrts– und Seeverkehr betreffen. Freistellungen nach Art. 41, 42 (Investitionsbeihilfen zur Förderung erneuerbarer Energien) zielen hingegen primär auf die Energieerzeugung ab. Von Relevanz könnte für den Ausbau bzw. die Förderung eines Tankstellennetzes hier aber insbesondere Art. 48 AGVO (Investitionsbeihilfen für Energieinfrastrukturen) sein. Der Begriff der Energieinfrastruktur ist gemäß Art. 2 Nr. 130 AGVO im Einklang mit den UEBLL jede materielle Ausrüstung oder Anlage, die sich in der Union befindet oder die Union mit einem oder mehr als einem Drittland verbindet und unter die Kategorien Strom, Gas, Erdöl und CO_2 fällt. In geographischer Hinsicht schränkt Art. 48 Abs. 2 AGVO jedoch ein, dass die vorgenannten Investitionsbeihilfen für Energieinfrastrukturen in Fördergebieten[57] gewährt werden müssen. Außerdem

[56] EU Technical Expert Group Report on Sustainable Finance, Taxonomy Report, Technical Annex 2020, S. 180. https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/business_economy_euro/banking_and_finance/documents/200309–sustainable–finance–teg–final–report–taxonomy–annexes_en.pdf, zuletzt abgerufen am 08.09.2020.

[57] In Deutschland kommen Regionen gemäß Art. 107 Abs. 3 lit. c AEUV (sog. C–Fördergebiete) in Betracht: Hierbei handelt es sich um Regionen, die auf Grundlage von durch die Mitgliedstaaten vorgeschlagenen

dürfen sich die Investitionen gemäß Abs. 5 nicht auf Vorhaben zur Strom– oder Gasspeicherung beziehen.

Im grenznahen Bereich zu Dänemark können gemeinsame Infrastrukturvorhaben als Projekte gemeinsamen Europäischen Interesses (PCIs) strukturiert werden. PCIs sind Infrastrukturprojekte, die in besonderer Weise dazu beitragen, gemeinsame Ziele auf Unionsebene zu erreichen. Mit dem Status eines PCI sind verschiedene Vorteile verbunden, die zur Förderung eines Projekts führen können. Insbesondere unterliegt das Vorhaben einem vereinfachten bzw. privilegierten Genehmigungsverfahren. Ferner können Fördermittel beantragt werden, wenn die weiteren Voraussetzungen der Verordnung (EU) Nr. 1316/2013 (Verordnung zur Schaffung der Fazilität „Connecting Europe") erfüllt sind. Das Land Schleswig–Holstein könnte hier auf Grundlage von Art. 49 AGVO Vorhabenträger bei der Vorbereitung der Aufnahme als PCI unterstützen; etwa durch Förderung von Vorstudien, Kartierung, Durchführbarkeits–, Bewertungs–, Prüf– und Validierungsstudien.

Die AGVO enthält auch Freistellungen für Betriebsbeihilfen. Bei der Freistellung zur Förderung von erneuerbaren Energien (Art. 42 AGVO) ist hier jedoch wiederum auf die Erzeugungsebene (von grünem Wasserstoff) abzustellen.

8.4.3 Verordnung (EG) Nr. 1370/2007 für ÖPNV

Die Verordnung (EG) Nr. 1370/2007 enthält weitere beihilfenrechtliche Privilegierungen für Förderungen im Bereich des öffentlichen Personennahverkehrs auf Schiene und Straße. Im Anschluss an die EuGH Rechtsprechung zu Altmark Trans kombiniert die Verordnung beihilfen– und vergaberechtliche Anforderungen und legt fest, dass bei deren Beachtung von einer Vereinbarkeit der Ausgleichsleistungen mit dem primärrechtlichen Beihilfenrecht auszugehen ist, Art. 9 Abs. 1 VO 1370/2007. Nach Art. 1 Abs. 2 ist die Verordnung für den innerstaatlichen und grenzüberschreitenden Personenverkehr mit der Eisenbahn und andere Arten des Schienenverkehrs sowie auf der Straße, mit Ausnahme von Verkehrsdiensten, die hauptsächlich zu touristischen und historischen Zwecken betrieben werden, anwendbar. Die mit dem so definierten ÖPNV in Verbindung stehenden Kosten können insbesondere Personalkosten, Energiekosten, Infrastrukturkosten, Wartungs– und Instandsetzungskosten für Fahrzeuge des öffentlichen Personenverkehrs, das Rollmaterial und für den Betrieb der Personenverkehrsdienste erforderliche Anlagen sowie die Fixkosten und eine angemessene Kapitalrendite umfassen, Art. 4 Abs. 1 lit. c der VO.

In sachlicher Hinsicht muss es sich weiterhin um gemeinwirtschaftliche Verpflichtungen für Betreiber von Personenverkehrsdiensten handeln, für die als Gegenleistung Ausgleichszahlungen und/oder ausschließliche Rechte eingeräumt werden, Art. 3 der Verordnung. Eine gemeinwirtschaftliche Verpflichtung ist nach Art. 2 lit. e der Verordnung eine von der zuständigen Behörde festgelegte oder bestimmte Anforderung im Hinblick auf die Sicherstellung von im allgemeinen Interesse liegenden öffentlichen Personenverkehrsdiensten, die der Betreiber unter Berücksichtigung seines eigenen wirtschaftlichen Interesses nicht oder nicht im gleichen Umfang oder nicht zu den gleichen Bedingungen ohne Gegenleistung übernommen hätte. Liegen keine gemeinwirtschaftlichen Verpflichtungen vor, ist die Verordnung auch nicht anwendbar; eine Förderung müsste dann an den allgemeinen Beihilferegeln gemessen werden. Wasserstoffförderungen könnten also auch nach dieser Verordnung beihilfenrechtlich vom Notifizierungsverfahren freigestellt sein. Dies wäre auch für Wasserstofftankstellen möglich, da diese als Teil der notwenigen Infrastruktur betrachtet werden. Neben der Erfüllung weiterer in der Verordnung normierter Voraussetzungen müsste sich die

---

nationalen Indikatoren in einer nationalen Fördergebietskarte ausgewiesen sind. In Deutschland geschieht dies im Rahmen der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur" (GRW).

Förderung aber dann auf nichtöffentliche Tankstelleninfrastruktur, die etwa für kommunale Busunternehmen erforderlich wäre, beschränken. Eine Förderung, die einen allgemeinen Markthochlauf – über den Bereich des ÖPNV hinaus – bezwecken soll, ist mithin nach dieser Verordnung nicht zweckdienlich gestaltbar.

8.4.4 Wirtschaftliche Tätigkeit

Lokale Infrastrukturförderungen stellen keine Beihilfe dar, wenn kein Unternehmen im Sinne des Beihilfenrechts gefördert wird. Der Begriff des Unternehmens ist unionsrechtsautonom weit auszulegen und umfasst jede Einheit, die, unabhängig von ihrer Rechtsform und der Art ihrer Finanzierung, eine wirtschaftliche Tätigkeit ausübt. Es kommt dabei nicht auf eine Gewinnerzielungsabsicht an, sondern darauf, ob Waren und Dienstleistungen auf dem Markt angeboten werden. Da selbst im Bereich der Daseinsvorsorge oftmals Wettbewerb öffentlicher und privater Anbieter besteht, kommt der Unternehmensbegriff auch hier zum Tragen. Um den Tatbestand der beihilfenrechtlichen relevanten Tätigkeit bzgl. der wirtschaftlichen Tätigkeit zu verneinen, muss die Maßnahme sich überwiegend auf eine nichtwirtschaftliche Tätigkeit beziehen, eine wirtschaftliche Nutzung des jeweiligen Fördergegenstandes darf demnach nur eine deutlich untergeordnete Rolle spielen. Die Kommission sieht beispielsweise die wirtschaftliche Nutzung einer Infrastruktur als nicht beihilfenrelevante Tätigkeit an, wenn nicht mehr als 20% der jährlichen Gesamtkapazität der Infrastruktur für wirtschaftliche Tätigkeiten eingesetzt werden.[58] Es wäre daher grundsätzlich möglich, ohne Notifizierungsverfahren Wasserstofftankstelleninfrastruktur zu fördern. Dies gilt allerdings nur unter der Einschränkung, dass mindestens 80% der Tankstelleninfrastruktur nichtwirtschaftlich, z.B. für Grundlagenforschung genutzt, oder der Öffentlichkeit kostenlos zur Verfügung gestellt wird.[59] Sofern die Förderung aber konkret den Markthochlauf bezwecken soll, dürfte eine nichtwirtschaftliche Ausgestaltung der Infrastruktur hingegen impraktikabel sein.

Helfen könnte hier wiederum, den Ausbau der Infrastruktur als DAWI zu strukturieren, siehe sogleich im Text untenstehend. Auch könnten im grenznahen Bereich zu Dänemark gemeinsame Infrastrukturvorhaben als Projekte gemeinsamen Europäischen Interesses strukturiert werden.

8.4.5 Keine Wettbewerbsverfälschungen

Der Tatbestand der Wettbewerbsverfälschung kann bei der Förderung von öffentlichen Infrastrukturen entfallen, wenn für diese Infrastruktur kein effektiver Wettbewerb möglich ist. Dafür muss die jeweilige Infrastruktur kumulativ keinem natürlichen Wettbewerb ausgesetzt sein, in dem Segment nur minimale private Finanzierungsmittel aufgebracht werden und keine selektive Begünstigung bestimmter Unternehmen oder Wirtschaftszweige gegeben sein.[60] Das ist z.B. für die Eisenbahninfrastruktur oder öffentliche Wassernetze bejaht worden. [61] Hinsichtlich der Einstufung einer Wasserstofftankstelleninfrastruktur ist dieser Punkt noch offen. Da die Förderung einer Wasserstofftankstelleninfrastruktur aber ja gerade den Markthochlauf – und damit einen funktionierenden Wettbewerb – bezwecken soll, dürfte eine Einstufung der Förderung als „nicht beihilfenrelevant, da keine Wettbewerbsverfälschung droht", aber mindestens perspektivisch problematisch sein.

---

[58] Beihilfenmitteilung 2016, Rn. 207.
[59] Vgl. hierzu auch Bonhage/Dieterich, (Neue) Beihilfenrechtliche Maßstäbe für lokale Infrastrukturförderung, EuZW 2018, 716.
[60] Beihilfenmitteilung 2016, Rn. 211.
[61] Beihilfenmitteilung 2016, Rn. 22.

8.4.6 Dienstleistungen von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse

Sofern sich die Förderung auf Dienstleistungen von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse (DAWI) bezieht, kann die Beihilfe gerechtfertigt sein. DAWIs beziehen sich im weitesten Sinne immer auf Leistungen der staatlichen Daseinsvorsorge. Praktisch gesehen handelt es sich bei DAWI typischerweise um Leistungen, die zwar von der Allgemeinheit nachgefragt werden, aber für Anbieter keine oder nur geringe Renditen erwarten lassen. Dies könnte für den Aufbau und Betrieb einer Wasserstofftankstelleninfrastruktur interessant sein, da diese laut Branchenrückmeldung (siehe Kapitel 2.5) bislang, vor allem in der Phase des Markthochlaufs, die Tankstellen nicht rentabel betreiben können. Der Begriff der DAWI ist aber nicht unionsweit einheitlich definierbar, da in den Mitgliedstaaten unterschiedliche Vorstellungen darüber herrschen, welche Leistungen als Daseinsvorsorge einzustufen seien. Den Mitgliedstaaten steht daher ein Ermessensspielraum zu, ob eine Leistung als DAWI zu kategorisieren ist. Wenn ein Mitgliedstaat eine Leistung als DAWI kategorisiert, beschränkt sich der unionsrechtliche Prüfungsmaßstab der Kommission und der Unionsgerichte auf eine Missbrauchskontrolle, d.h., ob der Mitgliedstaat bei der Einstufung als DAWI einen „offensichtlichen Fehler"[62] begangen habe.

Für die Kategorisierung einer Leistung als DAWI bestand lange große Rechtsunsicherheit; auch heute sind die Einzelheiten dieser Kriterien umstritten. Folgender Kriterienkatalog hat sich für DAWI herausgebildet, die kumulativ erfüllt sein müssen:

- Es handelt sich um wirtschaftliche Tätigkeiten. Nicht wirtschaftliche Tätigkeiten (vgl. oben) können keine DAWI darstellen. Das Vorliegen eines Marktes für die jeweilige Tätigkeit indiziert die wirtschaftliche Tätigkeit.
- Die Tätigkeit muss im Interesse der Allgemeinheit erbracht werden. Die Tätigkeit ist im Interesse der Allgemeinheit, wenn die Leistung im öffentlichen Interesse für die gleichmäßige Versorgung der Bevölkerung unverzichtbar ist. Dabei kann es sich z.B. um unrentable Leistungen handeln, die gleichwohl zur Versorgung der Bevölkerung erbracht wird. Dies wurde in der Vergangenheit z.B. für sozialen Wohnungsbau bejaht, aber für die Bereitstellung von Breitbandzugängen für Gewerbeparks verneint, da dies nicht der Allgemeinheit zugutekomme.[63] Entsprechend müsste eine Wasserstofftankstelleninfrastrukturförderung für alle geöffnet werden, d.h. die Tankstellen müssten für die Allgemeinheit geöffnet sein und auch in Gebieten errichtet werden, die zwar markttechnisch keine hohe Profitabilität versprechen, aber für eine sinnvolle Versorgungsstruktur erforderlich sind.
- Im Bereich der Tätigkeit muss ein Marktversagen vorliegen. Das ist dann gegeben, wenn die Leistung ohne staatliche Intervention nicht in ausreichender Qualität und Umfang erbracht werden würde. Beachtenswert ist in diesem Zusammenhang die Entscheidung der Kommission bzgl. einer Fährverbindungsförderung zwischen Marseille und Korsika, in der das Marktversagen deshalb verneint wurde, weil die Förderung auch die touristisch relevante Sommerzeit miteinbezöge, obwohl in diesem Zeitraum kein Marktversagen erkennbar sei.[64] Sofern eine Wasserstofftankstellenförderung als DAWI ausgestaltet würde, müsste dies dargelegt werden, bzw. im als Fördergegenstand eingeschränkt werden.

[62] Statt vieler: Kommissionsentscheidung vom 28. Juni 2016, SA.36112, ABl. EU C369, S. 78.
[63] EuGH, Urteil vom 10.07.2007, Rs. EU C 218 (SICOVAL).
[64] Kommission, Entscheidung vom 02.05.2013, SA.22843 (SNCM), ABl. EU L 220, S. 20.

Im Bereich von DAWI können Förderungen also, bei Vorliegen der oben genannten Kriterien, gerechtfertigt sein. Weiterhin wurden mit der Altmark Trans Entscheidung[65] Merkmale bestimmt, bei denen DAWI bereits tatbestandlich keine Beihilfe darstellen. Auch in diesem Fall ist kein Notifizierungsverfahren erforderlich. Sind die nachfolgenden Bedingungen kumulativ erfüllt, handelt es sich bei der Förderung um keine Begünstigung, die von der Kommission beihilfenrechtlich geprüft werden müsste:

- Das Unternehmen wird mittels Betrauungsakt mit der Erfüllung einer DAWI betraut. Die Verpflichtungen müssen im Betrauungsakt klar definiert werden.
- Es wird ein Ausgleichsberechnungsmechanismus mittels objektiver und transparenter Parameter festgelegt.
- Dieser Ausgleich darf nicht über das hinausgehen, was erforderlich ist, um die Kosten der Erfüllung der gemeinwirtschaftlichen Verpflichtung unter Berücksichtigung der erzielten Einnahmen und eines angemessenen Gewinns ganz oder teilweise abzudecken (Überkompensationsverbot).
- Das betraute Unternehmen ist entweder als das wirtschaftlich Günstigste im Rahmen eines offenen oder nicht offenen Vergabeverfahrens ausgewählt worden oder die Ausgleichsleistungen beschränken sich auf die Nettokosten, die ein durchschnittliches, gut geführtes Unternehmen für die Erbringung der betrauten DAWI haben würde. Eine Definition eines gut geführten Unternehmens existiert dabei nicht und wird einzelfallabhängig entschieden. Die Auswahl durch Vergabeverfahren ist daher hier die rechtssichere Variante.

Insbesondere durch das im letzten Punkt verankerte Effizienzgebot soll die Subventionierung ineffizienter Betriebe verhindert werden.

[65] EuGH, Urteil vom 24.07.2003, Rs. C–280/00 (Altmark Trans GmbH).

8.5 EU–Rahmenbedingungen für Wasserstoffförderung im Verkehrsbereich

Die rechtlichen Rahmenbedingungen für Wasserstoff sind bislang noch nicht klar determiniert. Gleichwohl ist mit der EU–Wasserstoffstrategie[66] ein umfangreiches Maßnahmenbündel verabschiedet worden, dass die Weiterentwicklung und den Ausbau von Wasserstofftechnologien in den Mitgliedstaaten befördern soll. Die EU–Wasserstoffstrategie wird mit zahlreichen Investitionsmaßnahmen flankiert. So sind etwa der Europäische Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und der Kohäsionsfonds für die Wasserstoffförderung nutzbare Quellen für die Konzipierung operationeller Programme.[67] Dieser wird im Rahmen der neuen Initiative REACT–EU[68] um zusätzliche Mittel in Höhe von 55 Mrd. € aufgestockt werden, die unter anderem auch für EFRE zur Verfügung gestellt werden. Diese zusätzlichen Mittel werden im Zeitraum 2021–2022 im Rahmen des Programms NextGenerationEU und bereits 2020 im Wege einer gezielten Überarbeitung des geltenden Finanzrahmens bereitgestellt. Auch zukünftig, mit Ablauf des jetzigen Förderrahmens ab 2021, ist mit der Möglichkeit operationeller Programme zur Förderung von Wasserstoff im Rahmen von EFRE zu rechnen; insbesondere, da Klimaschutzzielen im Entwurf der Strukturdachfondsverordnung als Politikziel ein noch höherer Stellenwert eingeräumt wird.[69]

8.6 Allgemeine Hinweise zu Förderrichtlinien

Förderrichtlinien sind in der Regel Verwaltungsvorschriften. Eine Verwaltungsvorschrift ist auf das Innenverhältnis der Verwaltung beschränkt. Das bedeutet sie hat, im Gegensatz zu einem förmlichen Gesetz, keine unmittelbare Rechtswirkung nach außen. Sie steuert das Handeln der nachgeordneten Behörde bei einer Entscheidungsfindung und hat eine verhaltenslenkende Wirkung. Sie regelt keine Rechte und Pflichten im Verhältnis zum Antragsteller.

Die Verwaltungsvorschrift wird dennoch für Dritte, also für potenzielle Antragsteller, relevant bei der Beantragung von Fördermitteln. Wenn die zuständige Behörde über Förderanträge durch genehmigenden oder ablehnenden Verwaltungsakt entscheidet und dabei die Förderrichtlinie als Grundlage ihrer Entscheidungen heranzieht, führt diese Praxis zu einer Selbstbindung der Verwaltung. Die Richtlinie kommt eine mittelbare Außenwirkung zu. Die zuständige Behörde ist dann aus verfassungsrechtlichen Gründen, insbesondere aufgrund des Gleichbehandlungsgrundsatzes, dazu angehalten sich auch künftig in ihren Entscheidungen an der Verwaltungsvorschrift und der darauf gestützten Praxis auszurichten. Die Behörde muss also de facto die Vorgaben der Förderrichtlinie beachten. Der Antragsteller kann sich also an der Förderrichtlinie orientieren, um die Erfolgsaussichten eines Förderantrags zu bewerten. Aus diesem Grunde sind bei der Entwicklung eines Förderprogramms Aufbau und Inhalt der Förderrichtlinie von entscheidender Bedeutung und können zum Gelingen des Projekts beitragen.

---

[66] Kommission, Mitteilung vom 08.07.2020, COM (2020) 301 final.
[67] EU–Wasserstoffstrategie, S. 14, https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/energy_system_integration_strategy_.pdf.
[68] "Recovery Assistance for Cohesion and the Territories of Europe" ist die Aufbauhilfe für den Zusammenhalt und die Gebiete Europas ist die EU–Initiative mit der die Maßnahmen zur Krisenbewältigung und zur Linderung der Krisenfolgen der COVID–19 Krise.
[69] Vgl. Art. 4 Abs. 1 lit. b des Verordnungsvorschlages, COM(2018) 375 final.

8.7 Gliederungspunkte einer Förderrichtlinie unter beihilfenrechtlichen Aspekten

Nachfolgend werden die wichtigsten Gliederungspunkte einer Richtlinie kurz erläutert. Dazu weisen wir vereinzelt auf Formulierungsbeispiele aus anderen Förderrichtlinien an jenen Stellen hin, die nach unserer Einschätzung besonders für eine Förderung von geeignet sind.

8.7.1 Zuwendungszweck

Öffentliche Mittel können grundsätzlich nur zur Förderung öffentlicher Zwecke gewährt werden. Im Rahmen des Zuwendungszwecks wird daher der politische Leitgedanke der Förderrichtlinie dargestellt. Dieser Teil beschreibt regelmäßig die Ausgangslage im jeweiligen Wirtschaftsbereich und legt die politische Zielsetzung dar, auf Grund derer eine Förderung gewährt werden soll. Dadurch wird die Stoßrichtung der Förderrichtlinie angegeben und eine grobe Richtung für mögliche Projekte aufgezeigt werden. Die Zielsetzung wird später im Rahmen des Förderungsgegenstandes noch genauer definiert und ein konkreter Bezug zum geförderten Vorhaben hergestellt.

> Bsp.: „Die Förderung für Bau oder Ausbau von Energieinfrastrukturen soll dazu dienen, die Entwicklung der regionalen Wirtschaft zu fördern."

8.7.2 Rechtsgrundlage einer Förderrichtlinie

Rechtsgrundlagen einer potenziellen Förderrichtlinie finden sich 1) im Zuwendungsrecht und 2) in den beihilferechtlichen Vorschriften. Förderrichtlinien enthalten in dem Zusammenhang mit der Nennung der Rechtsgrundlage regelmäßig den Hinweis, dass kein Rechtsanspruch auf die Gewährung der Zuwendung besteht und dass die Bewilligungsstelle aufgrund ihres pflichtgemäßen Ermessens im Rahmen der verfügbaren Haushaltsmittel entscheidet.

8.7.2.1 Zuwendungsrecht

Zuwendungen werden auf Grundlage der §§ 23 und 44 der Landeshaushaltsordnung Schleswig–Holstein (LHO SH) gewährt. § 23 LHO SH definiert Zuwendungen als Ausgaben und Verpflichtungsermächtigungen für Leistungen an Stellen außerhalb der Landesverwaltung zur Erfüllung bestimmter Zwecke (Zuwendungen). Gemäß § 23 LHO SH dürfen diese Leistungen nur veranschlagt werden, wenn das Land an der Erfüllung durch solche Stellen ein erhebliches Interesse hat, das ohne die Zuwendungen nicht oder nicht im notwendigen Umfang befriedigt werden kann. § 44 Abs. 1 LHO SH gibt weitere Anwendungsregeln für Zuwendungen vor: Gemäß § 44 Abs. 1 S. 2 LHO SH ist durch den Zuwendungsgeber zu bestimmen, dass die zweckentsprechende Verwendung der Zuwendungen nachzuweisen ist. Außerdem ist gemäß § 44 Abs. 1 S. 3 LHO SH ein Prüfungsrecht der zuständigen Dienststelle oder ihrer Beauftragten festzulegen.

Die Verwaltungsvorschrift zum Vollzug der Landeshaushaltsordnung (VV–LHO SH)[70] ist ebenfalls anwendbar. Nach dieser Vorschrift gehören zu Zuwendungen zweckgebundene Zuschüsse, Zuweisungen, Schuldendiensthilfen und andere nicht rückzahlbare Leistungen sowie zweckgebundene Darlehen und andere bedingt oder unbedingt rückzahlbare Leistungen.

[70] Erlass vom 19. Dezember 1974 (ABl.SH 1975, S.1), zuletzt geändert durch Erlass vom 12. März 2020 (ABl. SH S. 780).

8.7.2.2 Mit dem Binnenmarkt vereinbar gemäß AGVO

Bei der Entwicklung eines Förderprogramms müssen die Vorgaben des EU–Beihilfenrechts beachtet werden. Ein Programm, das sich im Rahmen der Vorgaben der AGVO bewegt, gilt als mit dem Binnenmarkt vereinbar und ist von der Anmeldepflicht gegenüber der EU–Kommission nach Art. 108 Abs. 3 AEUV freigestellt (vgl. Art. 3 AGVO). Aus diesem Grund orientieren sich Landesförderprogramme in der Regel an den Vorgaben der AGVO. Dadurch wird das Verfahren zur Vergabe einzelner Fördermittel erheblich erleichtert.

Im Rahmen der Angabe der Rechtsgrundlage kann entweder pauschal auf „beihilfenrechtliche Vorschriften" Bezug genommen werden, und an einer anderen geeigneten Stelle auf die konkret einschlägigen Vorschriften verwiesen werden. Alternativ ist auch ein Verweis auf die AGVO bei der Nennung der Rechtsgrundlage möglich. Die Verordnung gilt für Umweltschutzbeihilfen, worunter auch Beihilfen für Energieeffizienzmaßnahmen, für Strom aus erneuerbaren Energien und für Energieinfrastruktur fallen, vgl. Art. 1 Nr. 1 lit. c, Art. 36 bis 49 AGVO. Ob eine Freistellung nach der AGVO für Wasserstoffförderung in Betracht kommt, müsste jedoch vertieft geprüft werden (vgl. oben).

8.7.3 Gegenstand der Förderung

Unter dem Punkt „Gegenstand der Förderung" oder „Zuwendungsgegenstand" werden die Merkmale eines Vorhabens dargelegt, das in den Anwendungsbereich der Förderrichtlinie fallen soll. Hier kommen verschiedene Regelungsansätze in Betracht: ein offener Tatbestand oder eine möglichst konkrete Darstellung des Fördergegenstandes. Dies geschieht zunächst über die Abgrenzung der geförderten Bereiche sowie der geförderten Art von Anlagen und Vorhaben. Darüber hinaus kann angegeben werden, für welche Realisierungsphasen (z.B. gutachterliche Entwicklung technisch–wissenschaftlicher Voraussetzungen eines Projekts, Machbarkeitsstudien, Pilot– und Demonstrationsprojekte, Bau, Aus– und Umbau) eine Förderung möglich ist. Dafür können Regelbeispiele angegeben werden. Aus Gründen der Rechtssicherheit und um den mit dem Förderprogramm verfolgten Zweck besser zu unterstützen, ist es daher ratsam, den Fördergegenstand möglichst konkret zu definieren. Beispielhaft kann hier die die Formulierung auf Nr. 3 des Förderprogrammes „H2 BW Innovationsprogramm Wasserstoffinfrastruktur Baden–Württemberg" verwiesen werden. [71]

Die Vorgaben der AGVO können sich ebenfalls auf die Regelung des Fördergegenstandes auswirken; insbesondere sind die jeweiligen Begriffsbestimmungen nach Art. 2 AGVO zu beachten.

8.7.4 Zuwendungsempfänger

In diesem Kapitel ist zu definieren, für welchen Personenkreis die Förderung offensteht. Das Spektrum reicht hier von natürlichen Personen über Forschungseinrichtungen und Unternehmen bis hin zu kommunalen (Gebiets–)Körperschaften und deren Eigengesellschaften.

Um die Abgrenzung des förderfähigen Personenkreises zu erleichtern, ist es zudem möglich, festzulegen, welche Personen oder Personengruppen nicht gefördert werden. Auch hierzu enthält die AGVO Vorgaben. Nach Art. 1 Nr. 4 lit. a AGVO muss eine AGVO–konforme Beihilferegelung ausdrücklich festgelegen, dass einem Unternehmen, das einer Rückforderungsanordnung aufgrund eines früheren Beschlusses der Kommission zur Feststellung der Unzulässigkeit einer Beihilfe und ihrer

[71] „H2 BW Innovationsprogramm Wasserstoffinfrastruktur Baden–Württemberg", https://um.baden–wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m–um/intern/Dateien/Dokumente/6_Wirtschaft/Ressourceneffizienz_und_Umwelttechnik/F%C3%B6rderm%C3%B6glichkeiten/Innovationsprogramm_Wasserstoffinfrastruktur_H2BW.pdf.

Unvereinbarkeit mit dem Binnenmarkt nicht nachgekommen ist, keine Einzelbeihilfen gewährt werden dürfen. Beihilfen dürfen auch nicht an sog. Unternehmen in Schwierigkeiten[72] gewährt werden (Art. 1 Nr. 4 lit. c AGVO).

8.7.5 Zuwendungsvoraussetzungen

Unter diesem Punkt sind die Voraussetzungen zu definieren, die ein Vorhaben erfüllen muss, damit die Behörde aufgrund ihres pflichtgemäßen Ermessens positiv über die Bewilligung der Fördermittel entscheiden kann. Sind die Voraussetzungen hinreichend klar definiert, erleichtert es die Anwendung der Förderrichtlinie für die zuständige Behörde und ist auch aus Sicht potenzieller Antragsteller hilfreich. Die Zuwendungsvoraussetzungen können allgemein oder vorhabenbezogen sein.

8.7.5.1 Allgemeine Zuwendungsvoraussetzungen

Als Zuwendungsvoraussetzung muss das geförderte Vorhaben regelmäßig einen Bezug zum Gebiet des Landes haben, das die Förderung gewährt. So kommt etwa folgende Formulierung in Betracht:

„Gefördert werden Einzelprojekte sowie Verbundvorhaben im Bereich der nutzer– und anwendungsorientierten, insbesondere Umweltschutzinvestitionen in innovative Anlagen, die dem systematischen Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur in Schleswig–Holstein dienen und sich in das Gesamtkonzept des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff– und Brennstoffzellentechnologie (NIP) des Bundes einfügen."[73]

Unter Fördervoraussetzungen kann weiterhin geregelt werden, dass bestimmte (notwendigen) Zulassungen und Genehmigungen vorliegen müssen. Damit kann einerseits die Realisierungswahrscheinlichkeit eines geförderten Projektes erhöht werden, andererseits können zu restriktive Voraussetzungen investitionshemmend wirken. Im Bereich der Förderung des tatsächlichen Baus und Betriebs von Tankstellen könnte beispielsweise auf das Vorliegen der erforderlichen Zulassungen abgestellt werden, vgl. Kapitel 5.

Förderrichtlinien sehen regelmäßig vor, dass Maßnahmen nur gefördert werden dürfen, wenn mit der Maßnahme vor Erteilung des Zuwendungsbescheids noch nicht begonnen wurde. Diese Vorgabe ist auf Art. 6 der AGVO zurückzuführen, nach der nur solche Beihilfen von der Notifizierungspflicht freigestellt sind, die einen Anreizeffekt haben. Beihilfen gelten als Beihilfen mit Anreizeffekt, wenn der Beihilfeempfänger vor Beginn der Arbeiten für das Vorhaben einen schriftlichen Beihilfeantrag gestellt hat (Art. 6 Nr. 2 AGVO).

Die Vorlage einer Kooperationsvereinbarung kann eine weitere Fördervoraussetzung sein, wenn ein Vorhaben gemeinsam von mehreren Personen realisiert werden soll. Die Kooperationsvereinbarung muss dabei meist bestimmte Mindestangaben enthalten zu Verantwortlichkeiten und zur Planung. Weitere allgemeine Zuwendungsvoraussetzungen können Vorgaben zur Einhaltung von Mindestlohnvorschriften, zur Darlegung der Gesamtfinanzierung anhand geeigneter Unterlagen, zur Dokumentation des Vorhabens und/oder zum Umgang mit Daten enthalten.

Beihilfen, die unter die AGVO fallen, müssen grundsätzlich die Voraussetzungen des Abschnitts I (Art. 1 bis 9 AGVO) der AGVO erfüllen. Dort sind Vorschriften zu Transparenz, Anforderungen an den

[72] Definiert in Art. 2 Nr. 18 AGVO und erfasst etwa Unternehmen, die Gegenstand eines Insolvenzverfahrens sind oder einen bestimmten buchwertbasierten Verschuldungsgrad aufweisen.
[73] Vgl. hierzu „H2 BW Innovationsprogramm Wasserstoffinfrastruktur Baden–Württemberg", https://um.baden–wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m–um/intern/Dateien/Dokumente/6_Wirtschaft/Ressourceneffizienz_und_Umwelttechnik/F%C3%B6rderm%C3%B6glichkeiten/Innovationsprogramm_Wasserstoffinfrastruktur_H2BW.pdf.

Anreizeffekt, Beihilfeintensität und beihilfefähige Kosten, Veröffentlichung von Information und Kumulierung geregelt.

8.7.5.2 Vorhabenbezogene Zuwendungsvoraussetzungen

Sofern dies nicht bereits durch den Fördergegenstand determiniert wurde, können hier weitere Vorgaben konkretisiert werden. Beispielsweise können Angaben zu Mindestkapazität des Vorhabens oder zu einem Mindestbetrag festgelegt werden, den die förderfähigen Investitionsaufwendungen erreichen müssen. Letzteres kann auch unter Art, Umfang und Höhe der Zuwendung geregelt werden.

Art. 48 AGVO enthält weitere besondere Vorgaben, die Investitionsbeihilfen für Energieinfrastrukturen erfüllen müssen. Danach muss die Energieinfrastruktur uneingeschränkt einer Tarif– und Zugangsregulierung im Einklang mit den Energiebinnenmarktvorschriften im Sinne des Art. 2 Nr. 131 AGVO unterliegen. Ferner muss die geförderte Energieinfrastruktur in Fördergebieten im Sinne des Art. 2 Nr. 27 AGVO liegen, d.h. in Fördergebieten des GRW–Rahmenplans[74].

8.7.6 Regelungen zur Zuwendung

In diesem Kapitel wird die Art der Finanzierung, deren Form und Höhe geregelt. Darüber hinaus können konkrete Angaben darüber gemacht werden welche Kostenbestandteile förderfähig sind und wie hoch die Förderquote für die einzelnen Kostenbestandteile ist. In diesem Kapitel spielen die Vorgaben der AGVO eine entscheidende Rolle.

8.7.6.1 Art und Form der Finanzierung

Die Art der Finanzierung kann frei gewählt werden. Denkbar sind in diesem Zusammenhang Anteils– bzw. Festbetragsfinanzierungen oder Vollfinanzierungen.

Die Finanzierung kann in Form eines rückzahlbaren oder nicht–rückzahlbaren Zuschusses erfolgen. Für den Fall eines rückzahlbaren Zuschusses sind die Bedingungen der Rückzahlung zu bestimmen, z.B. im Fall des Vorliegens eines positiven Investitionsbeschlusses.

8.7.6.2 Höhe der Finanzierung

In diesem Unterpunkt können sowohl prozentuale Förderquoten als auch absolute Fördersummen festgelegt werden. Diese ergeben sich aus den Vorgaben des EU–Beihilfenrechts.

Wenn der Gesamtbetrag an Beihilfen, der an ein einziges Unternehmen in einem Zeitraum von drei Steuerjahren gewährt wurde, 200.000 € nicht übersteigt, ist die Förderung zulässig, Art. 3 Abs. 2 de–minimis–Verordnung.

Art. 4 AGVO enthält Schwellenwerte für Förderbeträge, die über 200.000 € liegen. Werden sie überschritten, führt es dazu, dass die Beihilfe der Kommission zur Genehmigung notifiziert werden muss im Sinne des Art. 108 Abs. 3 AEUV. Aus den Bestimmungen zu den einzelnen Beihilfegruppen ergeben sich Beihilfeintensitäten für die jeweiligen Sektoren und geförderten Maßnahmen, deren Überschreitung ebenfalls die Notifizierungspflicht auslöst. Für die Berechnung der Beihilfeintensität und der beihilfefähigen Kosten werden Beträge grundsätzlich vor Abzug von Steuern und sonstigen

[74] Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur" (GRW), siehe hierzu GRW–Fördergebiete 2014–2020, https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/foerdergebietskarte–ab–08–2017.pdf?__blob=publicationFile&v=9

Abgaben herangezogen (Art. 7 Nr. 1 AGVO). In der Regel ist für kleine und mittlere Unternehmen eine höhere Beihilfenintensität zulässig.

Bei der Prüfung der Frage, ob die Schwellen und Beihilfeintensitäten eingehalten sind, werden die für die geförderte Tätigkeit, das geförderte Vorhaben oder das geförderte Unternehmen insgesamt gewährten staatlichen Beihilfen berücksichtigt, Art. 8 Nr. 1 AGVO (Kumulierung).

Für Investitionsbeihilfen für Energieinfrastrukturen gilt nach Art. 4 Nr. 1 lit. x AGVO beispielsweise eine Schwelle von maximal 50 Mio. € pro Unternehmen und Investitionsvorhaben. Außerdem darf der Beihilfebetrag nicht höher sein als die Differenz zwischen den beihilfefähigen Kosten und dem Betriebsgewinn der Investition, Art. 48 Nr. 5 AGVO.

8.7.6.3 Förderfähige Ausgaben

Damit korrekt ermittelt werden kann welche, ob die Grenzen der maximal zulässigen Förderung erreicht ist, müssen auch die förderfähigen Ausgaben beziehungsweise die beihilfefähigen Kosten definiert werden. Diese Grenzen ergeben sich aus der jeweiligen Rechtsgrundlage, die herangezogen wird. Begrenzungen ergeben sich hier sowohl hinsichtlich der Art der förderfähigen Kosten, z.B. Personal– oder Sachausgaben, als auch der Höhe nach.[75] Im Bereich der de–minimis Förderung gilt der Grenzwert von 200.000 Euro, für Investitionsbeihilfen nach Art. 48 AGVO gilt, dass der Beihilfebetrag nicht höher sein darf als die Differenz zwischen den beihilfefähigen Kosten und dem Betriebsgewinn der Investition, Art. 48 Abs. 5.

8.7.7 Auswahlkriterien

Die Förderrichtlinie sollte materielle Auswahlkriterien enthalten, die die Bewilligungsbehörde bei der Auswahl des zu fördernden Vorhabens unter den eingegangenen Anträgen berücksichtigen muss. Diese können in den Zuwendungsvoraussetzungen, in Regelungen zum Antragsverfahren oder auch im Rahmen des Zuwendungszwecks erwähnt werden und beziehen sich meist auf den öffentlichen Zweck, der mit dem Programm gefördert werden soll. Beispiele für solche Kriterien sind

- Energie– und Kosteneffizienz,
- Innovationsgehalt,
- Vorbildfunktion für ähnlich gelagerte Fälle,
- Wirtschaftlichkeit des Betriebs installierten Technologien und Verfahren,
- Beitrag zur Entwicklung der regionalen Wirtschaft,
- Zahl der geschaffenen/gesicherten Arbeitsplätze.

8.7.8 Allgemeine Schlussbestimmungen

Abschließend werden Regelungen zum Antrags– und Bewilligungsverfahren sowie einzureichenden Unterlagen, zur Auszahlung der Fördermittel, zum Nachweis der Verwendung, zum Inkrafttreten und ggf. zur Dauer des Förderprogramms getroffen.

[75] Beispielhaft hierzu Nr. 5 des H2 BW Innovationsprogramms Wasserstoffinfrastruktur Baden–Württemberg, https://um.baden–wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m–um/intern/Dateien/Dokumente/6_Wirtschaft/Ressourceneffizienz_und_Umwelttechnik/F%C3%B6rderm%C3%B6glichkeiten/Innovationsprogramm_Wasserstoffinfrastruktur_H2BW.pdf.

8.8 Zusammenfassung

- Ob ein Notifizierungsverfahren bei der EU–Kommission erforderlich ist, hängt von der konkreten Ausgestaltung der Förderung in Art, Höhe und Gegenstand ab.
- Denkbar sind hier im Wesentlichen drei Ausnahmemöglichkeiten von der Notifizierungspflicht: Unterschreiten der notifizierungspflichtigen Förderhöhe nach der de–minimis Verordnung, eine Freistellung nach der AGVO oder eine Ausgestaltung der Förderung als DAWI.
- Da die Verwendung und Nutzung von Wasserstoff eine relativ neue Technologie ist, gibt es hierzu jedoch noch keine gesicherte Entscheidungspraxis der Kommission.
- Eine vertieftere Prüfung und sorgfältige Ausgestaltung der geplanten Förderrichtlinie ist daher erforderlich, wenn von einem Notifizierungsverfahren abgesehen werden soll und die Förderung die Förderhöhen nach der de–minimis Verordnung überschritten werden sollen.
- Gleichwohl ist, insbesondere vor dem politischen Kontext der EU–Wasserstoffstrategie, mit einer wohlwollenden Entscheidungspraxis zu rechnen. Weiterhin ist eine rechtssichere Handhabung im Bereich von Wasserstoff absehbar. So hat die Kommission kürzlich in einer Konsultation zur Überarbeitung der Richtlinie (EU) 2018/2001 (RED II) insbesondere auch nach Stellungnahmen zu Möglichkeiten, die Wasserstoffstrategie in die Richtlinie zu integrieren, gefragt.[76] Ebenso ist eine Überarbeitung der UEBLL geplant.

[76] https://ec.europa.eu/info/law/better–regulation/have–your–say/initiatives/12553–Revision–of–the–Renewable–Energy–Directive–EU–2018–2001.

III. Handlungsempfehlungen

Für das Erreichen des langfristigen Ziels der Dekarbonisierung des Verkehrssektors ist der Einsatz von Wasserstoff unausweichlich. Aktuell steht die Wasserstoffmobilität an der Schwelle, von einem Nischenprodukt zu einem globalen Markt aufzusteigen. Um diese Entwicklung weiter zu forcieren bedarf es kurz– und mittelfristiger Maßnahmen, um zum einen eine Verbesserung der Kostenstruktur wasserstoffbetriebener Fahrzeuge zu ermöglichen und um zum anderen konventionelle Antriebe weniger attraktiv zu machen. Diese Schritte sind nicht nur auf internationaler und europäischer Ebene zu gehen, auch regional kann durch klimapolitische Instrumente ein Hochlauf von Wasserstoffmobilität initiiert werden.

Für die Erprobung und Einführung der Wasserstofftechnologie im Verkehr, wie es in Schleswig–Holstein schon teilweise in einzelnen Pilotprojekten erfolgt (siehe Kapitel 1), sind für die beteiligten Akteure verlässliche Signale und Rahmenbedingungen erforderlich. Dies ist umso wichtiger, da Wasserstoff ohne Vorgaben und Anreize nur schwer eine vollständige Wettbewerbsfähigkeit zu konventionellen, klimaschädlichen Kraftstoffen erreichen kann.
In diesem Kapitel werden auf Basis der Ergebnisse des Gutachtens Handlungsempfehlungen gegeben, mit deren Hilfe der Markthochlauf der Wasserstoffmobilität in Schleswig–Holstein beschleunigt werden kann. Jede dieser Maßnahmen und Handlungen bringt unterschiedliche Auswirkungen und Potenziale mit sich, sodass davon ausgegangen wird, dass eine Kombination aller Instrumente in einem schlüssigen Politikrahmen eine größtmögliche und zeitnahe Hebelwirkung für die regionale Wasserstoffmobilität bewirkt. Abbildung 8–1 stellt die Handlungsempfehlungen auf einer übergeordneten Ebene dar.

Die dargestellten Handlungsempfehlungen konzentrieren sich auf die Einführung wasserstoff–betriebener Mobilität. Als spezieller Teilbereich der Maßnahmen, um den allgemeinen Hochlauf von Wasserstoffanwendungen zu fördern, finden sich einige Handlungsempfehlungen auch im Parallelgutachten „Wasserstofferzeugung– und –märkte" wieder.

Abbildung 8–1: Politische Maßnahmen für die Unterstützung der Einführung einer Wasserstoffmobilität in Schleswig–Holstein

Absatzmärkte sichern

Es ist wichtig, die Nachfrage nach wasserstoffbetriebenen Verkehrsanwendungen in Schleswig–Holstein zu stimulieren und auch langfristig aufrecht zu erhalten. Ohne ausreichende Nachfrage kann nur schwer ein Hochlauf der Wasserstoffmobilität stattfinden. Gleichzeitig nimmt eine erhöhte Nachfrage die Hersteller in die Pflicht und führt zu einem erhöhten Marktangebot sowie der Weiterentwicklung der Technologie.

Sinkende CO_2–Grenzwerte, Steigende Mindestquoten

CO_2–Flottengrenzwerte sukzessiv reduzieren und Überschreitungen sanktionieren

- Ein wichtiger Treiber für den Markthochlauf der wasserstoffbasierten (Straßen–)Fahrzeuge sind die auf europäischer Ebene definierten CO_2–Grenzwerte für Fahrzeugflotten. Hersteller sind verpflichtet den Treibhausgasausstoß der verkauften Fahrzeugflotte sukzessiv zu reduzieren. Die Reduzierung sollte ambitioniert angegangen und vorangetrieben werden. Gleichzeitig müssen die Einhaltung konsequent nachverfolgt und Grenzwert–Überschreitungen sanktioniert werden, sodass nachhaltig der Handlungsdruck auf der Angebotsseite erhöht wird.

Mindestquoten an klimafreundlichen Fahrzeugen für kommunale Flotten einführen

- Eine Erhöhung und Gewährleistung der Nachfrage kann über Mindestquoten an klimafreundlichen Fahrzeugen bei der Beschaffung von Flotten (z.B. kommunale Flotten) erzielt werden. Um einen nachhaltigen Absatzmarkt zu schaffen, ist ein stetiger Anstieg dieser Mindestquoten erforderlich.

Klimapolitische Vorschriften

Klimafreundliche Fahrzeuge durch Vorschriften und Auflagen stärken

- Grundsätzlich kann die regionale Politik über Vorschriften und Auflagen Einfluss auf die lokale Nachfrage nach emissionsfreien Fahrzeugen nehmen. So ist es möglich durch die Verschärfung von Umweltzonen (z.B. Einführung von Zero–Emission–Zonen) und frühe Fahr– und Verkaufsverbote für Verbrenner ein stärkeres Bestreben nach klimafreundlichen Fahrzeugen zu generieren.

  Hierbei sollte eine vorrauschauende Strategie mit einer frühzeitigen, klaren Kommunikation gefahren werden. Die Vorschriften und Auflagen müssen in der Lage sein, Anwendern und Betroffenen Planungssicherheit zu bieten. Das Fehlen von verlässlichen Signalen und Unsicherheiten bezüglich der Rahmenbedingungen führt zu ausbleibendem Handeln.

Die Anrechenbarkeitsregelung von Treibhausgasemissionen erweitern

- Unternehmen, die Otto– und Dieselkraftstoffe in den Verkehr bringen, können ihre erzeugten Treibhausgasemissionen durch das Inverkehrbringen von Wasserstoff mindern. Es wäre vorteilhaft, die Anrechenbarkeitsregelung der Treibhausgasemissionen weiter auszuweiten. Hierdurch können das Marktangebot an Wasserstoff als Kraftstoff und so die Handlungsakzeptanz für wasserstoffbetriebene Verkehrsanwendungen gesteigert werden.

  Allerdings bestehen Einschränkungen bei Strombezug (für die H_2–Produktion) aus dem öffentlichen Netz. Es ist zu prüfen, ob in dieser Fallkonstellation einschränkende Anforderungen („Netzausbaugebiet", „Ab– bzw. zuschaltbare Lasten") gestrichen werden können.

Mindestanteil von fortschrittlichen Kraftstoffen an fossilen Kraftstoffen graduell ausweiten

- Unabhängig von der Treibhausgasquote muss gemäß 38. BImSchV ein Mindestanteil an fortschrittlichen Kraftstoffen (u.a. Wasserstoff) an den in Verkehr gebrachten fossilen Kraftstoffen bestehen. Dieser Anteil sollte graduell von 0,05 % im Jahr 2020 auf 0,5 % im Jahr 2025 angehoben werden.

  Mit Blick auf die Förderung der Einsatzmöglichkeiten für Wasserstoff ist eine Ausweitung der Quote zur graduellen Steigerung des Anteils fortschrittlicher Kraftstoffe und/oder eine schnellere Absenkung der Kraftstoffmenge, ab der die Unternehmen dieser Verpflichtung unterliegen, zu empfehlen.

Orientierung an erfolgreichen Markteingriffsmodellen

- Sowohl national als auch international sind bereits eine Vielzahl an Maßnahmen zur Entwicklung des FCEV–Absatzmarktes erfolgreich. Derartige gelungene Eingriffe in den Markt können als Orientierung angenommen werden, um FCEV in der Übergangsphase mit hohen Anschaffungs– und Betriebskosten zu stärken.

Beschaffung der öffentlichen Hand

Nachfrage für H_2–Nutzfahrzeuge durch die öffentliche Hand schaffen

- Viele Wasserstofftechnologien im Verkehrssektor sind technisch ausgereift, stehen jedoch vor der Herausforderung der Kommerzialisierung. Die öffentliche Hand kann durch Schaffung initialer Nachfragen nach Wasserstofffahrzeugen die Kommerzialisierung anschieben. Hierbei sollte der Fokus zunächst auf den schweren Nutzfahrzeug–Flotten (z.B. ÖPNV–Busse, Abfallsammelfahrzeuge) liegen.

Unterstützung bei der Beschaffung von H_2–Nutzfahrzeugen

- Aufgrund hoher Nachfrage kommt es immer wieder zu Beschaffungsengpässen besonders im Bereich von FCEV Bussen. Hier wäre es sinnvoll, zentral gegenüber Herstellern im Vorfeld eine Nachfrage zu deklarieren und abzusichern. Des Weiteren sollten Maßnahmen zur Umrüstung gefördert und unterstützt werden, sofern dies wirtschaftlich vertretbar erscheint.

Finanziell unterstützen

Die Umstellung auf Wasserstoff bedeutet Mehrkosten im Vergleich zu den konventionellen Technologien. Nicht nur zum Zeitpunkt der Anschaffungsinvestitionen, sondern auch im laufenden Betrieb sind wasserstoffbetriebene Fahrzeuge, mit Ausnahme von PKW, und Tankstellen aktuell nicht wirtschaftlich.

Der Aufbau der erforderlichen Infrastruktur für den Markthochlauf, insbesondere des Wasserstofftankstellennetzes, bedarf staatlicher Zuwendungen. Um eine schnelle und beihilfenrechtskonforme Förderung zu ermöglichen, sind bei einer möglichen Wasserstoffförderung in Schleswig–Holstein insbesondere Fördermöglichkeiten, in denen kein Notifizierungsverfahren bei der EU–Kommission erforderlich ist, interessant. Bleiben entsprechende Unterstützungen aus, wird das Handeln entsprechender Tankstellenakteure zurückhaltend bleiben:

Grüne Finanzierungsinstrumente

Förderrichtlinie mit Fokus auf den Ausbau einer H_2–Tankstelleninfrasturkur einführen

- Mit Hilfe einer bundeslandspezifischen Förderrichtlinie kann der Infrastrukturausbau im Verkehrssektor zeitnah vorangetrieben werden. Die Richtlinie sollte sowohl unter dem Blickwinkel „ziel– und zweckgerichtete Förderung des Markthochlaufs" als auch hinsichtlich einer „Beihilfenrechtskonformität ohne Notifizierungsverfahren" sorgfältig ausgestaltet werden.

Kooperationsmodelle stärken

Akteure zusammenbringen und Herausforderungen gemeinsam angehen

- Kooperationsmodelle reduzieren die Risiken für Akteure und bilden die Grundlage für neue Geschäftsmodelle. Mit der Gründung lokaler Initiativen können unter Einbindung der wichtigen Unternehmen Herausforderungen angegangen und Fahrzeugbedarfe sowie Infrastruktur–maßnahmen gebündelt werden. Dadurch können die Vorrausetzungen für privatwirtschaftliche Unternehmen wie Logistik– und Speditionsunternehmen sowie Mobilitätsdienstleister (Car–Sharing, Taxi–Unternehmen) verbessert werden.

Externe Kosten internalisieren

Neben der direkten finanziellen Förderung von Wasserstoffanwendungen ist es wichtig, die Folgekosten der CO_2–Emissionen durch Kraftstoffe auf die Endprodukte umzulegen. So kann deren Attraktivität gesenkt und Wasserstoff eher konkurrenzfähig verkauft werden.

CO_2–Preis auf fossile Kraftstoffe

- Um die Potenziale von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen nutzen zu können, ist es erforderlich, den CO_2–Preis für konventionelle Kraftstoffe zu erhöhen. Insbesondere schwere Nutzfahrzeuge können in Schleswig–Holstein der Treiber für Wasserstoff im Verkehrssektor sein. Hierfür muss die Bepreisung von CO_2 deutlich über den heute diskutierten Preisen von 25 € bis 65 € liegen.

Grundlage schaffen

Die Einführung einer Wasserstoffmobilität ist nicht von heute auf morgen möglich. Um dennoch einen zeitnahen Hochlauf in Schleswig–Holstein gewährleisten zu können, ist eine stabile Grundlage erforderlich.

Wasserstoffinfrastruktur aufbauen

20 öffentliche Wasserstofftankstellen decken bis 2025 die landesweiten Bedarfe

- Damit die potenziellen Wasserstoffbedarfe gedeckt werden können ist der landesweite Aufbau von ca. 20 öffentlichen Wasserstofftankstellen bis 2025 erforderlich. Um den Markhochlauf für alle Straßenverkehrsanwendungen gleichmäßig zu gestalten, werden sowohl 350 bar als auch 700 bar Tankstellen notwendig sein.

  Im ersten Schritt ist die Deckung des Wasserstoffbedarfs entlang des STRING Korridors (A1 und A7) vorteilhaft. Hier sind auf Seiten von Schleswig–Holstein die Standorte Handewitt und Lübeck vorerst ausreichend. Zusätzlich ist darauf zu achten, dass die Betankungsstandorte in den größten Städten und an den meistbefahrenen Straßen je Landkreis liegen, um so eine hohe Auslastung zu sichern.

Mit modularen und multimodalen Tankstellenkonzepten zukunftsorientiert handeln

- Bis zum Jahr 2030 sind in Schleswig–Holstein ca. 50 Wasserstofftankstellen erforderlich. Um für den zukünftigen Markthochlauf gerüstet zu sein, sollte beim zeitnahen Infrastrukturausbau zukunftsorientiert gehandelt werden. Es sollten möglichst modulare Tankstellen gefördert werden, um diese bei erhöhter Nachfrage ausbauen zu können.

  Zusätzlich sollte das Potenzial zur Reduktion von Investitionskosten oder der H_2–Bezugskosten von multimodalen Standorten genutzt werden (z.B. potenzielle Schiffstankstelle im Kieler Hafen).

Demonstrationsprojekte initiieren

Erfahrungen mit synthetischen Kraftstoffen sammeln und Technologieexpertise entwickeln

- Dem Luftverkehr steht derzeit keine technisch ausgereifte Alternative zum kohlenstoffhaltigen Kraftstoff Kerosin zur Verfügung. Aus diesem Grund wird synthetisch hergestelltes Kerosin auf Basis erneuerbarer Energien benötigt, um die CO_2–Emissionen in diesem Sektor zu senken. Ähnlich verhält es sich mit dem internationalen Schiffsverkehr, wo neben synthetischem Diesel auch flüssiges synthetisches Methan (LSG) eine Rolle spielt.
- Dem Luftverkehr steht keine wirkliche Alternative zum kohlenstoffhaltigen Kraftstoff Kerosin zur Verfügung. Aus diesem Grund gilt synthetisch hergestelltes Kerosin auf Basis erneuerbarer Energien als vielversprechender Weg, die CO_2–Emissionen in diesem Sektor zu senken [142]. Ähnlich verhält es sich mit dem internationalen Schiffsverkehr. Hier können neben synthetischem Diesel auch flüssiges synthetisches Methan (LSG) eine Rolle spielen.

  Um Erfahrungen mit synthetischen Kraftstoffen zu sammeln und die Herstellung kosteneffizienter zu machen, sollten Forschungs– und Demonstrationsprojekte unterstützt werden. So kann eine regionale Technologieexpertise entwickelt und mittelfristig in andere Regionen und Länder exportiert werden.

Technologieoffenheit bewahren

Politische Benachteiligung einzelner klimafreundlicher Technologien vermeiden

- Eine Dekarbonisierung des gesamten Verkehrssektors kann nur auf Basis verschiedener Technologien stattfinden. Je nach Verkehrsträger sind neben Wasserstoff auch andere CO_2–neutrale Kraftstoffe sinnvoll. Es sollte vermieden werden, dass durch Regularien und Vorschriften einzelne neue Technologien für bestimmte Anwendungen ausgegrenzt oder benachteiligt werden.

Lokale Vorteile nutzen

Schleswig–Holstein hat aufgrund regionaler Vorrausetzungen Vorteile für die Einführung von Mobilität auf Basis von Wasserstoff, die dem Bundesland langfristig die Umstellung des Verkehrssektors auf Klimaneutralität ermöglicht.

Lokale Wertschöpfung steigern

Tankstellen mit lokal produziertem Wasserstoff versorgen

- Durch die Nutzung von lokalen Windenergieanlagen kann grüner Wasserstoff in SH produziert und als nachhaltiger Kraftstoff verwendet werden. Die Wertschöpfung verbleibt so zum großen Teil in der Region und wird deshalb empfohlen. Zu berücksichtigen sind hierbei auch Synergieeffekte durch die Sektorenkopplung.

Demonstrationsprojekte für Schwerlastverkehr

- Der Ausbau des String–Korridors mit Wasserstofftankstellen könnte als Vorzeigeprojekt für internationalen, nachhaltigen Schwerlastverkehr dienen. Dies erhöht die Sichtbarkeit und Attraktivität für Nachhaltigkeitsprojekte.

Von Erfahrung lokaler Pilot– & Demonstrationsprojekte profitieren

- In Schleswig–Holstein liegen bereits umfangreiche Erfahrungen zum Betrieb von Tankstelleninfrastruktur und Wasserstoffmobilität vor. Durch Zusammenbringen der Akteure kann hiervon im weiteren Hochlauf profitiert werden.

Bestehende Infrastrukturen nutzen

Mit Hafen–Infrastruktur zum Drehkreuz für Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe werden

- Auf lange Sicht wird es in Deutschland und auch in Schleswig–Holstein keine ausreichenden Kapazitäten an erneuerbaren Energien zur großskaligen Herstellung von synthetischen Kraftstoffen geben. Die für den Flug– und Schiffsverkehr benötigten Bedarfe werden aus Regionen mit günstigeren Erzeugungsbedingungen importiert. Durch die geographische Lage und die vorhandenen Infrastrukturen (Häfen) bietet Schleswig–Holstein hierfür bereits die erforderlichen Voraussetzungen. So kann das Bundesland sowohl national als auch international als Drehkreuz für synthetische Kraftstoffe, aber auch für Wasserstoff, fungieren.

Politik und Regulierung

Um die Einführung von Wasserstoff als Kraftstoff weiter voranzutreiben, ist es erforderlich, die Rahmenbedingungen für den Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur zu optimieren und europäische Vorgaben umzusetzen. Aufgrund erforderlicher Entscheidungen auf nationaler Ebene ist es wichtig, dass sich Schleswig–Holstein in den nationalen Gremien entsprechend positioniert.

Genehmigungen von H_2–Tankstellen optimieren

Optimierung des Genehmigungsverfahren für Elektrolyseure auf nationaler Ebene

- Die erforderliche Anwendung des (zeitaufwendigen) Genehmigungsregelverfahren nach BImSchG stellt ein Hemmnis für den Aufbau einer H_2–Tankstelleninfrastruktur mit dezentraler H_2–Erzeugung durch Elektrolyse dar. Im Hinblick auf die Umweltauswirkung dürfte das Regelverfahren für einen Elektrolyseur über das Ziel „hinausschießen".

  Durch eine Schärfung der Gesetzeslage (z.B. Konkretisierung des Begriffes „industrieller Umfang", Erweiterung der 4. BImSchV um eine eigene Kategorie für Elektrolyseure) ist es möglich, die Genehmigung von Elektrolyseuren zu optimieren. Vor diesem Hintergrund ist es wichtig, den bereits auf nationaler Ebene gestarteten Vorstoß von Schleswig–Holstein bezüglich der Genehmigung von „kleinen" Elektrolyseuren im vereinfachten Verfahren weiter zu forcieren.

Mit einer „Task Force" Errichter von Tankstellen und Behörden zentral unterstützen

- Für den Infrastrukturausbau sollten Genehmigungsverfahren standardisiert und beschleunigt werden. Sowohl Akteure aus genehmigungsrechtlicher Sicht als auch die Genehmigungsbehörden selbst könnten vom Land Schleswig–Holstein unterstützt werden. Es ist sinnvoll eine Arbeitsgruppe zu etablieren, die Behörden auf anstehende Genehmigungsanträge vorbereitet, um die Genehmigungszeiten so kurz wie möglich zu halten. Gleichzeitig sollten aus der Arbeitsgruppe Leitfäden und Handlungshilfen für potenzielle Tankstellenerrichter und –betreiber hervorgehen.

EU–Vorgaben umsetzen

Die RED II zeitnah und ambitioniert umsetzen

- Auf europäischer Ebene wird die Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen durch die Förderrichtlinie 2018/2001 (RED II) unterstützt. Die Richtlinie sieht einen verpflichtenden Anteil erneuerbarer Energie am Endenergieverbrauch des Verkehrssektors von mind. 14 % bis 2030 für Kraftstoffanbieter vor. Die RED II sollte zeitnah und ambitioniert, z.B. mit einer Überschreitung der europäischen Mindeststandards, umgesetzt werden. Durch den verpflichtenden Anteil ist das Angebot erneuerbarer Kraftstoffe planbar, sodass der Absatz klimafreundlicher Fahrzeuge positiv beeinflusst wird.

Die CVD–Richtlinie national umsetzen und vorgeschriebene Quoten erhöhen

- In der europäischen Clean Vehicle Directive (CVD) sind konkrete Vorgaben für den Anteil an klimafreundlichen Fahrzeugen bei Fahrzeugneubeschaffungen öffentlicher Einrichtungen und bei der Vergabe im ÖPNV festgehalten. Die Fahrzeugquoten steigen in zwei Perioden bis zum Jahr 2030 auf 65 % (saubere Fahrzeuge) an. Um die Nachfrage an wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen zu steigern, ist es wichtig die CVD zeitnah und ambitioniert in das deutsche Recht umzusetzen.

IV. Anhang

A Übersicht der geplanten Förderungen von Wasserstofftechnologien

Tabelle IV–1 Übersicht der Förderrichtlinien und Gesetze

Förderrichtlinie/ Gesetz	Beschreibung	Kategorie	Art der Förderung	Zuwendungs–empfänger
Nationale Wasserstoffstrategie (Maβnahme 1) [143]	Befreiung des Strombezugs von Elektrolyseuren von Abgaben und Umlagen.	Wasserstoff–produktion	Finanzieller Anreiz	Betreiber von Elektrolyseuren
Nationale Wasserstoffstrategie (Maβnahme 2) [143]	Entwicklung von Geschäftsmodellen, in denen Elektrolyseure von den Netzentgelten befreit werden.	Wasserstoff–produktion	Finanzieller Anreiz	Betreiber von Elektrolyseuren
Nationale Wasserstoffstrategie (Maβnahme 3) [143]	Förderung von Elektrolyseuren für den Einsatz in der Stahlherstellung	Wasserstoff–produktion	Finanzieller Anreiz	Unternehmen des produzierenden Gewerbes
Nationale Wasserstoffstrategie (Maβnahme 4) [143]	Der Ausbau von Offshore–Windenergie und die damit verbundene Elektrolyse soll weiter vorangetrieben werden, um hohe Volllaststunden bei Elektrolyseuren zu erreichen.	Wasserstoff–produktion	Finanzieller Anreiz, Unterstützung des Ausbaus von Anlagen	Projektentwickler, Betreiber von Windkraftanlagen / Elektrolyseuren
Nationale Wasserstoffstrategie (Maβnahme 5) [143]	Umsetzung der RED II	Diverses	Regulatorik	
Nationale Wasserstoffstrategie (Maβnahme 6) [143]	Fortsetzung von NIP 2. Bereitstellung von Mitteln aus dem Energie– und Klimafonds	Fahrzeuge, Tankstellen–infrastruktur, Wasserstoff–produktion		
Nationale Wasserstoffstrategie (Maβnahme 8) [143]	Bereitstellung von weiterem Budget zum zeitnahen Aufbau einer Tankstellen–infrastruktur	Tankstellen–infrastruktur	Finanzieller Anreiz	Projektentwickler, Betreiber
Nationale Wasserstoffstrategie (Maβnahme 15) [143]	Förderung von Beschaffung und Betrieb von Elektrolyseuren in der Industrie durch Einführung durch Contracts of Difference	Wasserstoff–produktion	Finanzieller Anreiz, Regulatorik	Unternehmen des produzierenden Gewerbes

B Bewertungsmatrix – Vergleich FCEV und BEV

Bewertungsmatrix – Vergleich FCEV und BEV

Für die Bewertung des Anwendungspotenzials von Wasserstoff im Verkehrssektor wurde ein grundlegender Direktvergleich zwischen wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen (FCEV) und rein batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV) durchgeführt. Die Ergebnisse der Bewertung sind in Kapitel 1 beleuchtet.

	PKW klein[1]		PKW groß[2]		BUS		LNF		SNF		SPNV		Binnenschiff		Schiffsfähre		Flugzeug	
	BEV	FCEV	BEV	FCEV	BEV	FCEV	BEV	FCEV	BEV	FCEV	BEV	FCEV	BEV	FCEV	BEV	FCEV	BEV	FCEV
Reichweite	0		0	++	-	+	0	0	-	+	-	+	-	+	0	0	--	+
Gewicht / Größe	-		-	+	--	0	-	0	--	0	+	+	-	-	-	-	--	-
Betankung / Laden	--		--	++	--	++	--	+	--	++	+	+	-	+	+	+	--	-
Lade-/Tank-infrastruktur	0		0	--	0	0	0	--	-	-	0	-	-	-	-	-	-	--
Kosten	0		0	-	-	-	0	-	0	-	0	-	-	-	-	-	-	--
Anschaffungskosten	+		-	--	--	--	-	-	-	--	--	--	-	-	--	--	--	--
Betriebskosten	0		0	0	-	-	+	0	0	-	+	-	0	0	0	0	-	--
Infrastrukturkosten	0		0	-	0	-	0	-	0	-	0	0	-	-	-	-	-	-
Emissionen	+		+	+	+	++	+	+	+	+	+	0	+	+	+	+	++	+
Energieeffizienz	++		++	+	++	+	++	+	++	+	+	0	++	+	++	+	+	0
Marktangebot	+		+	-	+	0	+	-	--	--	-	-	--	--	--	--	--	--
Regulatorischer Rahmen	+		+	+	+	+	+	+	+	+	0	0	-	-	-	-	-	-
Technologie-empfehlung	**BEV**		**BEV + FC**		**FC**		**BEV + FC**		**FC**		**BEV**		**FC**		**BEV + FC**		**(FC)**	

Bewertungsmatrix – Vergleich Synthetische Kraftstoffe

Für die Bewertung der zukünftigen Relevanz strombasierter synthetischer Kraftstoffe in einzelnen Verkehrsanwendungen, sind dies anhand ausgewählter Parameter bewertet worden. Die Ergebnisse der Bewertung sind in Kapitel 1 beleuchtet.

	PKW klein[1]	PKW groß[2]	LNF	BUS	SNF	SPNV	Binnenschiff	Schiffsfähre	Hochsee-container-schiff	Flugzeug
Gasförmiger H2	Mittlere Relevanz	Hohe Relevanz	Hohe Relevanz	Hohe Relevanz	Hohe Relevanz	Hohe Relevanz	Mittlere Relevanz	Mittlere Relevanz	Geringe Relevanz	
Flüssiger H2	Geringe Relevanz	Geringe Relevanz	Geringe Relevanz	Geringe Relevanz	Mittlere Relevanz	Geringe Relevanz	Hohe Relevanz	Hohe Relevanz	Hohe Relevanz	Geringe Relevanz
Synthetisches Methan (CSG)	Geringe Relevanz	Geringe Relevanz	Geringe Relevanz	Mittlere Relevanz	Geringe Relevanz	Geringe Relevanz	Geringe Relevanz	Geringe Relevanz	Mittlere Relevanz	
Synthetisches Flüssiggas (LSG)	Geringe Relevanz	Geringe Relevanz	Geringe Relevanz	Mittlere Relevanz	Mittlere Relevanz	Geringe Relevanz	Hohe Relevanz	Hohe Relevanz	Hohe Relevanz	
Synthetisches Methanol	Geringe Relevanz	Geringe Relevanz	Geringe Relevanz	Mittlere Relevanz	Mittlere Relevanz	Geringe Relevanz	Geringe Relevanz	Mittlere Relevanz	Geringe Relevanz	
Synthetischer Diesel	Geringe Relevanz	Geringe Relevanz	Mittlere Relevanz	Geringe Relevanz	Mittlere Relevanz	Mittlere Relevanz	Mittlere Relevanz	Mittlere Relevanz	Hohe Relevanz	
Synthetisches Benzin	Geringe Relevanz	Geringe Relevanz	Geringe Relevanz	Geringe Relevanz						
Synthetisches Kerosin										Hohe Relevanz
Technologie-empfehlung	-	**Gasförmiger H2**	**Gasförmiger H2**	**Gasförmiger H2**	**Gasförmiger H2**	**Gasförmiger H2**	**LSG**	**LSG**	**LSG**	**Synthetisches Kerosin**

[1] Kleinwagen [2] Mittel-/Oberklasse/SUV [3] sonstige Schwere Nutzfahrzeuge (z.B. Abfallsammel-Fahrzeuge

C Wasserstoff im Flug– und Schiffsverkehr

Flugverkehr

Flugverkehr – Perspektiven [11]

- Die technischen Voraussetzungen für den Einsatz von Wasserstoff im Flugverkehr können in 5 – 10 Jahren geschaffen sein
- H_2–Verbrennungsturbinen als Antrieb sind am besten geeignet für Pendler–, Regional–, Kurzstrecken– und Mittelstreckenflugzeuge
- Für Pendler– und Regionalflugzeuge erweist sich der Brennstoffzellenantrieb als die energieeffizienteste, klimafreundlichste und wirtschaftlichste Option
- Pendler– und Regionalstreckenflugzeuge mit Wasserstoffantrieb werden in den nächsten 8 – 15 Jahren erwartet. Der Preis erhöht sich um ca. 5 – 10 USD pro Passagier (10 %)
- Für Kurzstreckenflugzeuge könnte ein Hybridantriebsansatz (H_2–Verbrennung und Brennstoffzelle) am besten geeignet sein, der die Kosten pro Passagier um 20 – 30 Prozent erhöht.
- Synthetische Kraftstoffe bieten die kosteneffektivste Lösung für Langstreckenflüge
- Emissionsreduzierungspotenziale:
    - BZ: 75–90%
    - H_2–Verbrennung: 50–75%
    - Synthetische Kraftstoffe: 30–60%
- Es ist ein Anteil an Wasserstoffantrieben im Luftverkehr von 40 % weltweit bis 2050 möglich
- Wasserstoffnutzung aus lokalen Versorgungsketten, die auch andere Industrien bedienen, ist möglich
- Flüssigwasserstoff (LH2) erhöht die Reichweite ggü. gasförmigen Wasserstoff (GH2) durch geringeres Volumen und geringerem Speichergewicht
- Der Einsatz von Brennstoffzellen für Bord– und Bodenstromversorgung sowie für Fahrzeuge am Flughafen bietet die Möglichkeit zeitnah im Flugverkehr Emissionen einzusparen

Flugverkehr – Herausforderungen [11]

- Bedeutende Forschungen und Entwicklung sind notwendig (Technische Lösungen für Verteilung oder Speicherung von LH2, für evtl. H_2–Verbrennungsturbinen, für Betankung mit zu Kerosin vergleichbaren Durchflussgeschwindigkeiten, für leichtere Tanks)
- Wasserstoff erfordert längere Betankungszeiten im Vergleich zu Kerosin (5–10 % weniger Flugzyklen pro Flugzeug)
- Neue Technologien im Flugsektor erfordern lange Entwicklungs– und Zertifizierungszeiten
- Es müssen Sicherheits–Standards und rechtlichen Rahmenbedingungen entwickelt werden
- Kostenanstieg für Mittelstreckenflüge von 30–40 % pro PAX, durch verlängerte Flugzeugrümpfe wegen 4–mal größeren, benötigten Tanks

- Für Langstreckenflüge erhöht sich durch die erforderlichen Tankgrößen der Energiebedarf erheblich und folglich die Kosten um 40–50 % pro PAX, sodass in diesem Streckensektor ganz neue Flugzeugdesigns erforderlich werden
- Wartungskosten erhöhen sich durch größere Flugzeuge und komplexere LH2 Speicher
- LH2–Flugzeuge sind schwerer als heutige; Flughafengebühren pro Flugzeug erhöhen sich
- Flugsektor erzielt langfristig weltweit einen enormen Wasserstoffbedarf, wodurch sich die Herausforderungen in der damit zusammenhängenden Infrastruktur ergibt
- Erhöhter EE–Strombedarf durch notwendige Verflüssigung des Wasserstoffs (x 1,7). Noch größerer Bedarf für synthetische Kraftstoffe (x 4,6)

Flugverkehr – Aktivitäten

- PtL–Demonstrationsanlage zur Produktion von synthetischem Kerosin im industriellen Maßstab im Projekt "GreenPower2Jet" (TU Hamburg, Airbus, DLR, DOW) soll bis zum Jahr 2021/22 in der Nähe von Hamburg entstehen. Das Kerosin soll zur Betankung von Airbus–Flugzeugen am Flughafen Hamburg genutzt werden. Jährlich sollen dort 5000 t Biokerosin hergestellt werden.
- Produktion von synthetischem Kerosin im Projekt „Projekt KEROSyN100". Lufthansa dient als Abnehmer des Kerosins. [142]
- Erprobung der Produktion von synthetischen Kraftstoffen im Reallabor „Westküste 100" [18]
- Nationale Wasserstoffstrategie sieht als Maßnahme eine Quote von 2 % an strombasierten Flugkraftstoffen im Jahr 2030 vor [143]
- Airbus arbeitet an Flugzeugstudien mit Wasserstoff–Antrieb [144]

Schiffsverkehr

Schiffsverkehr – Perspektiven

- PEM Brennstoffzellensysteme bieten durch ihre physische Größe einen Vorteil gegenüber anderen FC–Systemen für den maritimen Einsatz [9]
- Brennstoffzellen können für Nebenstromaggregate d. Schiffes (Strom und Wärme) genutzt werden [9]
- Fortschritte in Brennstoffzellentechnologie zu erwarten: Wirkungsgrad und Kostenreduktion [8]
- Brennstoffzellen erfordern durch eine hohe Effizienz im Nenn– und Teillastbetrieb geringe Kraftstoffverbräuche und somit auch geringere Betriebskosten gegenüber Verbrennern [8]
- H_2 kann zur Produktion synthetischer Kraftstoffe genutzt werden (E–MeOH, E–LNG, E–Diesel) [8]
- Für Hochseeschiffe werden synthetische Kraftstoffe durch erhöhte Energiedichte relevant

Schiffsverkehr – Herausforderungen

- Lebensdauer der Brennstoffzelle [7]
- Alternative Kraftstoffe sind im Preis teurer als Diesel–Kraftstoffe, vor allem durch den Strompreis [8]
- Kosten für FC–Schiffsantriebe noch nicht abschätzbar [8]

- Es müssen Sicherheits–Standards und rechtlichen Rahmenbedingungen entwickelt werden
- Bisher gibt es wenige Erfahrungen und finanzielle Förderungen
- Erhöhter EE–Strom ist zur Herstellung der synthetischen Kraftstoffe notwendig

Schiffsverkehr – Aktivitäten

- Deutschlandweite Erprobung des Einsatzes von Brennstoffzellensystem auf Schiffen im Projekt „E4SHIPS". Im ersten Schritt ist die Unterstützung von Nebenverbraucher priorisiert. Partner aus SH sind involviert [10]
- Ballard Power System hat eine modulare Brennstoffzelle für den Antrieb von Schiffen vorgestellt [145]
- Das Australische Unternehmen Global Energy Ventures hat im Oktober 2020 die Entwicklung eines innovativen H_2–Schiffes (gasförmige Wasserstoffspeicherung) vorgestellt. [146]
- Anwendungsbeispiele: In Bristol, Großbritannien befindet sich seit 2012 eine kleine Passagierfähre „Hydrogenesis" (12 kW) im Einsatz. In Bergen, Norwegen wird seit 2010 die „MF Vågen" (12 kW) betrieben. [9]

Tabelle IV–8–2 Bestandsdaten behördeneigener Schiffe in Schleswig–Holstein

Schiffstyp	Schiffsname	Baujahr	Motorleistung	Heimathafen
Schlepper	Trischen	2019	442 kW	Meldorf
Schlepper	Hooge	2018	442 kW	Husum
Schlepper	Odin	2005	880 kW	Husum
Ponton	Gröde	2008	–	Husum
Ponton	Lüttmoor	2005	–	Husum
Vermessungsschiff	Oland	2016	442 kW	Husum oder Einsatzliegeort
Transportschiff Schadstoffunfallbekämpfung	Norderhever	1978	446 kW	Husum
Gewässerüberwachungs–/ Ölfangschiff	Haithabu	2014	882 kW	Kiel oder Einsatzliegeort
Küstenboot mit Tochterboot	Helgoland	2014	2 x 1440 kW	Büsum
Küstenboot mit Tochterboot	Sylt	2009	2 x 1440 kW	Husum
Küstenboot mit Tochterboot	Falshöft	2009	2 x 900 kW	Kiel
Küstenboot mit Tochterboot	Staberhuk	2009	2 x 900 kW	Kappeln
Küstenboot mit Tochterboot	Fehmarn	2010	2 x 900 kW	Heiligenhafen
Streifenboot	Angeln	2004	2 x 272 kW	Kiel
Streifenboot	Stör	2004	2 x 272 kW	Kiel
Streifenboot	Brunswik	2007	2 x 272 kW	Kappeln
Streifenboot	Neumühlen	2007	2 x 272 kW	Flensburg
Streifenboot	Duburg	2007	2 x 272 kW	Flensburg
Streifenboot	Habicht	2011	2 x 273 kW	L–Travemünde
Streifenboot	Schwansen	2012	2 x 273 kW	Brunsbüttel
Streifenboot	Warder	2012	2 x 273 kW	Heiligenhafen
Streifenboot	Vossbrook	2013	2 x 273 kW	Brunsbüttel
Streifenboot	Wagrien	2013	2 x 260 PS	L–Travemünde
Streifenboot	Adler	2014	2 x 260 PS	NO Kanal
Mobile Streifenboote	Wakenitz	2010	60 PS	L–Travemünde
Mobile Streifenboote	Buchhorst	2014	60 PS	Rendsburg
Mobile Streifenboote	Booknis	2011	150 PS	Flensburg
Mobile Streifenboote	Kieholm	2011	150 PS	Kiel
Mobile Streifenboote	Hooge	2012	150 PS	L–Travemünde
Mobile Streifenboote	Sperber	2012	150 PS	L–Travemünde
Mobile Streifenboote	Wallnau	2013	150 PS	Puttgarden
Mobile Streifenboote	Habernis	2013	150 PS	Kappeln
Mobile Streifenboote	Lachswehr	2014	150 PS	Brunsbüttel
Mobile Streifenboote	Falke	2008	140 PS	Husum
Mobile Streifenboote	Olsborg	2009	115 PS	Kiel

D SWOT–Analyse

Zielsetzung:

Festlegung geeigneter strategischer Ansätze, wie mit bestehenden Charakteristiken des Bundeslandes Schleswig–Holstein und Hamburg hinsichtlich der Wasserstoffmobilität umgegangen wird und diese weiterentwickelt werden können. Dazu wurden die Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken im Verkehrssektor betrachtet.

Tabelle IV–8–3 Straßenverkehr – Stärken, Schwächen, Chance und Risiken

Stärken (S)	Schwächen (W)
• „Norddeutsches Reallabor" fokussiert u.a. die Nutzung von FCEV sowie die Infrastruktur [16] • eFARM von GP Joule als ambitioniertes Projekt zum Infrastrukturausbau und Fahrzeugerprobung [15] • Große Bereitschaft zu Investitionen in FECV unter den eFARM Akteuren [15]	• Fehlende Erfahrungen aus Pilot– und Demonstrationsprojekten ins. von Nutzfahrzeugen • Fehlende Tankstelleninfrastruktur für Nutzfahrzeuge • Geringe Handlungsakzeptanz aufgrund schwieriger wirtschaftlicher und regulatorischer Rahmenbedingungen • 12 PKW–Tankstellen in SH und HH in Betrieb oder in der Realisierung (2 in SH in Betrieb, 3 in Planung) [147]
Chancen (O)	**Risiken (T)**
• CO_2–Flottengrenzwerte für PKWs, LNFs und Pkws [104] • Quoten der Clean Vehicle Directive (CVD) für Neubeschaffung von Bussen und Nutzfahrzeugen [101] • Norddeutsche und Nationale Wasserstoffstrategie fördern die Wasserstoffwirtschaft (insb. Infrastrukturaufbau und Erzeugung von grünem H_2) [139, 143] • Hohe Erzeugungskapazitäten von grünem H_2 durch On– und Offshore–Windstrom • Großabnehmer (z.B. Speditionen, Busbetriebe) bieten Planungssicherheit für Infrastrukturausbau	• Priorisierung oder Wettbewerb mit anderen Technologien (BEV oder z.B. Teststrecke Oberleitungs–LKW) [148] • Hohe Investitionskosten und fehlende Finanzierungsmöglichkeiten • Kein bis mangelndes Marktangebot insbesondere für den privaten Nutzer • Hinterherhinkende Entwicklung geeigneter Infrastruktur außerhalb der Region • Erzeugung von ausreichenden Mengen grünem Wasserstoff nicht wirtschaftlich bzw. machbar

Tabelle IV–8–4 Straßenverkehr – Strategische Ansätze

	Stärken (S)	Schwächen i.S. von Nachholbedarf (W)
Chancen (O)	**Strategieansatz „Ausbauen"** • Pilotprojekte im ÖPNV und Transport–sektor vorantreiben • Kooperationen fördern (insb. kommunale Flotten) • Fahrzeugbedarfe in der Region mit dem Ziel bündeln, wirtschaftlich sinnvolle Geschäftsmodelle für Fahrzeughersteller zu schaffen und die Bereitstellung von Fahrzeugen in der Anfangsphase (geringes Kontingent) für die Region sicherzustellen • Nutzfahrzeuge als Treiber für Wasserstoff im Verkehrssektor • Kompetente Partner aus der Region bündeln und gemeinsam die H_2–Bereit–stellung vorantreiben mit dem Fokus auf Hamburg als Logistikschwerpunkt und H_2–Großabnehmer	**Strategieansatz „Aufholen"** • Politische Anreize schaffen, durch z.B. Förderungen und Marktanreizpro–gramme um H_2–Infrastruktur, insbe–sondere im Straßenverkehr auszubauen • CO_2 Preis um die Attraktivität von Wasserstoff als Kraftstoff zu steigern
Risiken (T)	**Strategieansatz „Absichern"** • Tankstellennetz in Abstimmung mit Partnern (z.B. H_2–Mobility) und anderen gleichgerichteten Initiativen außerhalb der Region ausbauen inkl. multimodale TS oder Hubs • Durch die öffentliche Hand, z.B. in Form von erhöhten Mindestquoten für saubere Fahrzeuge, die Beschaffung von emissionsfreien Fahrzeugen sicherstellen • Interesse an Wasserstofftechnologie aufrecht erhalten durch entsprechende Politik, Verbandsarbeit sowie Vernetzung mit anderen gleichgerichteten Initiativen außerhalb der Region	**Strategieansatz „Vermeiden"** • Öffentlichkeitsarbeit zur Akzeptanz–steigerung • Infrastruktur schaffen, damit durch an–dere Technologien nicht harte Fakten geschaffen werden (z.B. Oberleitungen auf Autobahnen, Hochlauf LNG–LKW)

Tabelle IV–8–5 Schienenverkehr – Stärken, Schwächen, Chance und Risiken

Stärken (S)	Schwächen (W)
• Strecken–Elektrifizierung kann mit FECV–Zügen ergänzt und so ein Oberleitungsausbau vermieden werden [25] • Bereitschaft zur Umstellung auf klima–freundliche Züge (siehe 55 BEV–Züge [25])	• Fehlende Erfahrungen aus Pilot– und Demonstrationsprojekten
Chancen (O)	**Risiken (T)**
• Norddeutsche und Nationale Wasser–stoffstrategie fördern die Wasserstoffwirtschaft (insb. Infrastrukturaufbau und Erzeugung von grünem H_2) **[139, 143]** • Lange Strecken auf absehbare Zeit schlecht mit BEV–Zug elektrifizierbar [6] • Züge als Großabnehmer bieten Planungssi–cherheit für Infrastrukturausbau	• Priorisierung oder Wettbewerb mit an–deren Technologien (55 BEV–Züge sind geplant ab 2022) [25] • Hohe Investitionskosten [6] • Für einige Streckenabschnitte sind BEV–Züge oder Oberleitungsausbau wirtschaftlicher [6]

Tabelle IV–8–6 Schienenverkehr – Strategische Ansätze

	Stärken (S)	Schwächen i.S. von Nachholbedarf (W)
Chancen (O)	**Strategieansatz „Ausbauen"** • Potenziale des Streckennetzes nutzen, und mit Rückenwind der Wasser–stoffstrategien die Einführung von FCEV–Zügen auf geeigneten Strecken zu unterstützen	**Strategieansatz „Aufholen"** • Politische Anreize schaffen, durch z.B. Förderungen und Marktanreizpro–gramme um H_2–Infrastruktur • CO_2 Preis um die Attraktivität von Wasserstoff als Kraftstoff zu steigern
Risiken (T)	**Strategieansatz „Absichern"** • Interesse an Wasserstofftechnologie aufrecht erhalten durch entsprechende Politik, Verbandsarbeit sowie Vernetzung mit anderen gleichgerichteten Initiativen außerhalb der Region	**Strategieansatz „Vermeiden"** • Streckenpotenziale für FCEV–Züge identifizieren • Infrastruktur und Business Case für identifizierte Strecken schaffen • Politische Beschlüsse auf Technologie–offenheit ausrichten

Tabelle IV–8–7 Schiffsverkehr – Stärken, Schwächen, Chance und Risiken

Stärken (S)	Schwächen (W)
• Maritime Unternehmen und große Expertise (innovativer Schiffbau und Technologieorientierung) • Vorhandene Infrastrukturen zur Verteilung (Import, Export) von H_2 oder wasserstoffbasierenden synthetischen Kraftstoffen (Häfen, Partner) • Bereitschaft zum umweltfreundlichen Fährverkehr (MS Gaarden) [25] • Hamburg Port Authority hat seit 2019 eine „grüne" Hafengebühren. (Rabatte für umweltfreundliche Schiffe) [8]	• Fehlende Erfahrungen aus Pilot– und De–monstrationsprojekten und Anreize für den Einsatz von Wasserstoff oder H_2–basierten synthetischen Kraftstoffen
Chancen (O)	**Risiken (T)**
• Durch Logistikstandort Hamburg den Einsatz von synthetischen Kraftsoffen weltweit voranbringen • Hohe Ausbaugeschwindigkeit möglich durch vorliegende Erfahrung im Schiffsverkehr • Hohe Erzeugungskapazitäten von grünem H_2 durch On– und Offshore–Windstrom, auch als Rohstoff für synthetische Kraftstoffe • Geringere Schadstoff und Lärm–Emissionen für erhöhte Lebensqualität und Attraktivität für Tourismusbranche („emissionsfreie Fähren") • Brennstoffzellen für die Bordstrom–Nutzung	• Technologische Reife von H_2–Einsatz nicht erreicht • Unklare Marktperspektiven und –anforde–rungen[8] • langwierige Änderung bzw. Entwicklung und Durchsetzung von Standards • Abhängigkeit von überregionaler und internationaler Infrastruktur • Hohe Investitionskosten [8] und fehlende Finanzierungsmöglichkeiten • Preisgünstigere Konkurrenzkraftstoffe

Tabelle IV–8–8 Schiffsverkehr – Strategische Ansätze

	Stärken (S)	Schwächen i.S. v. Nachholbedarf (W)
Chancen (O)	**Strategieansatz „Ausbauen"** • Bereitschaft für umweltfreundlichen Fährverkehr nutzen, um die Wasserstoffnutzung in diesem Bereich voranzutreiben und gleichzeitig Attraktivitätsaspekte für die Tourismusbranche zu schaffen • Vorhandene Seeinfrastrukturen nutzen, um Import von Wasserstoff und synthetischer Kraftstoffe zu fördern • Erfahrungen aus Pilotprojekten und bestehende Expertise nutzen, um die Produktion synthetischer Kraftstoffe für den Schiffsverkehr voranzutreiben • Multimodales Tankstellennetz in Abstimmung mit Partnern (z.B. H_2–Mobility) an den Häfen aufbauen • Marktaktivierung der Brennstoffzelle im maritimen Einsatz im ersten Schritt durch Forschungs– und Pilotprojekte für die Nutzung von Brennstoffzellen zur On–Board–Stromversorgung unterstützen	**Strategieansatz „Aufholen"** • Pilot– und Demonstrationsprojekte für den Einsatz von Wasserstoff oder H_2–basierenden synthetischen Kraftstoffen im Schiffsverkehr initiieren • Praxiserfahrung sammeln • Regulatorischen Rahmen für die vermehrte Nutzung synthetischer Kraftstoffe schaffen • CO_2–Preis erhöhen und so die Attraktivität von Wasserstoff als Kraftstoff oder synthetischer Kraftstoffe zu steigern
Risiken (T)	**Strategieansatz „Absichern"** • Voraussetzungen schaffen für den Einsatz und Handel von H_2 und H_2–basierten Kraftstoffen • Durch entsprechende Marktanreizprogramme und Kooperationen Attraktivität der Hafenstandorte erhalten • Interesse an Wasserstofftechnologie aufrecht erhalten durch entsprechende Politik, Verbandsarbeit sowie Vernetzung mit anderen gleichgerichteten Initiativen außerhalb der Region	**Strategieansatz „Vermeiden"** • Den Einsatz von Wasserstoff im Schiffsverkehr politisch unterstützen, sodass Hersteller und Werften frühzeitig den Technologietrend mitgehen

Tabelle IV–8–9 Luftverkehr – Stärken, Schwächen, Chance und Risiken

Stärken (S)	Schwächen (W)
• Hohe Expertise in Hamburg, zählt zu den innovativsten Luftfahrtstandorten der Erde mit großen Fördersummen des Bundes • Ambitioniertes Projekt „Westküste 100" zur Produktion klimafreundlicher Treibstoffe für Flugzeuge aus H_2 [18] • „Projekt KEROSyN100": Produktion von synthetischem Kerosin mit kompetenten Partnern aus Wirtschaft und Forschung [19] • Demonstrationsprojekt "GreenPower2Jet" für eine PtL–Anlage im industriellen Maßstab (TU Hamburg, Airbus, DLR) [29] • Vorhandene Infrastrukturen zum Import von H_2 oder wasserstoffbasierenden synthetischen Kraftstoffen (Häfen, Partner)	• Fehlende Erfahrungen aus Pilot– und De–monstrationsprojekten und Anreize zum Einsatz von Wasserstoff und H_2–basierten synthetischen Kraftstoffen im Luftverkehr
Chancen (O)	**Risiken (T)**
• Nationale Wasserstoffstrategie sieht als Maßnahme die Einführung eines Quotenan–teils von 2 % grünem Kerosin im Jahr 2030 vor [143] • Durch Logistikstandort Hamburg den Einsatz von synthetischen Kraftstoffen weltweit voranbringen • Hohe Ausbaugeschwindigkeit möglich durch vorliegende Erfahrung im Luftverkehrssektor • Der Einsatz von Brennstoffzellen für die Bordstrom–Versorgung verringert erheblich den Treibstoffverbrauch [11] • Der Einsatz von Brennstoffzellen am Flug–hafen (z.B. Vorfeldfahrzeuge, Bodenstrom–aggregate) kann die Emissionen des Flug–hafens senken • Hohe Erzeugungskapazitäten von grünem H_2 durch On– und Offshore–Windstrom, auch als Rohstoff für die Produktion synthetischer Kraftstoffe	• Fossiles Kerosin als preisgünstigeres Konkurrenzprodukt [11] • Technologische Reife von H_2–Einsatz nicht erreicht [11] • Unklare Markperspektiven [11] • langwierige Änderung bzw. Entwicklung und Durchsetzung von Standards [11] • Abhängigkeit von überregionaler und internationaler Infrastruktur • Hohe Investitionskosten [11] und fehlende Finanzierungsmöglichkeiten

Tabelle IV–8–10 Luftverkehr – Strategische Ansätze

	Stärken (S)	Schwächen i.S. von Nachholbedarf (W)
Chancen (O)	**Strategieansatz „Ausbauen"** • Erfahrungen aus Pilotprojekten und bestehende Expertise nutzen, um die Produktion und Nutzung von synthetischen Kraftstoffen für den Luftverkehr insb. am Logistikstandort Hamburg zu forcieren	**Strategieansatz „Aufholen"** • Pilot– und Demonstrationsprojekte für den Einsatz von Wasserstoff oder H_2–basierenden synthetischen Kraftstoffen im Luftverkehr initiieren • Praxiserfahrung mit dem Einsatz von H_2 sammeln (in erster Linie am Flughafen) • CO_2–Preis erhöhen und so die Attraktivität von Wasserstoff als Kraftstoff oder synthetischer Kraftstoffe zu steigern
Risiken (T)	**Strategieansatz „Absichern"** • Interesse an Wasserstofftechnologie aufrecht erhalten durch entsprechende Politik, Verbandsarbeit sowie Vernetzung mit anderen gleichgerichteten Initiativen außerhalb der Region • Kooperationen zwischen Herstellern und Akteuren am Logistikstandort Hamburg schaffen und fördern, um wirtschaftliche Szenarien und ausreichende Kapazitäten für entsprechende Maßnahmen zu schaffen • Wasserstoff im Luftverkehr im ersten Schritt über die Anwendung von Brennstoffzellensystemen für Flughafen (z.B. Vorfeldfahrzeuge, Bodenstromversorgung) und Bordstrom etablieren	**Strategieansatz „Vermeiden"** • Den Einsatz von Wasserstoff im Luftverkehr politisch unterstützen, sodass Hersteller frühzeitig den Technologietrend mitgehen

Tabelle IV–8–11: Verkehrssektor – Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken

Stärken (S)	Schwächen (W)
• **Ambitionierte Wasserstoffprojekte** im Straßenverkehr wie eFarm oder Norddeutsches Reallabor. [15, 149] Projekte Westküste 100 und KEROSyN100 zur Produktion klimafreundlicher Kraftstoffe aus H_2, z.B. für den Schiffs– und Flugverkehr. [150, 151] • **Hervorragende Expertise** im Schiffs– und Luftverkehr; innovativer Schiffbau, Hamburg zählt zu den innovativsten Luftfahrtstandorten der Erde mit Fördersummen des Bundes [152] • **Vorhandene Infrastrukturen zur Verteilung (Import, Export)** von H_2 oder wasserstoffbasierenden synthetischen Kraftstoffen (Häfen, Partner): z.B. Hamburger Hafen, Lübecker Hafen [153] • **Projekt– und Forschungserfahrungen** für den Einsatz von Brennstoffzellen im maritimen Bereich und im Flugverkehr, (z.B. Flensburger–Schiffsgesellschaft in E4SHIPS [154], Fuel Cell Lab des ZAL Hamburg[155])	• **Fehlende Anreize** für den Einsatz von Wasserstoff im Verkehr • **Nicht flächendeckende öffentliche Wasserstoff–Infrastruktur** (erst 2 Tankstelle in SH, 3 in Umsetzung) [156] hemmt Individual– und Wirtschaftsverkehr auf H_2 Basis • Geringe Handlungsakzeptanz aufgrund **schwieriger wirtschaftlicher Rahmenbedingungen** (ÖPNV, LKW, Schiffsverkehr) • **Fehlende Praxiserfahrungen** für den Einsatz von Wasserstoff oder H_2–basierenden synthetischen Kraftstoffen im Nutzfahrzeug–, Schienen–, Flug– und Schiffsverkehr • **Aufwendige Genehmigungsverfahren** (z.B.: Genehmigung von Elektrolyseanlagen nach BImSchG §10 bei „Herstellung [...] in industriellem Umfang"). [157] Anmerkung: Es wird ein Vorschlag zur Vereinfachung des Elektrolyseur–Genehmigungsverfahren eingereicht.
Chancen (O)	**Risiken (T)**
• Abhängigkeit vom Import fossiler Energieträger kann vermindert werden, **Steigerung der lokalen Wertschöpfung** durch lokal erzeugten Wasserstoff [158] • Geringere Schadstoff– und Lärm–Emissionen erhöhen die **Lebensqualität** und bieten attraktive Alternativen für die Tourismusbranche • **Großabnehmer** (z.B. Speditionen, Busbetriebe, Züge) **bieten Planungssicherheit** für Erzeugung und Infrastrukturausbau • **BZ–Züge** ermöglichen eine Elektrifizierung langer Strecken ohne Oberleitungsausbau [159] • Einsatz von **Brennstoffzellen zur Substitution von Nebenverbrauchern** (z.B. Bordstrom von Schiffen und Flugzeugen, Bodenstrom und Vorfeldfahrzeuge am Flughafen) [126] • Rückenwind zum Infrastrukturausbau und Anreize zur Investition durch **bundesweite Förderprogramme** (NIP und EKF)	• **Wasserstoffpreis liegt deutlich über** dem Diesel–/Benzin–/Kerosin–/Gas– und Strompreis • **Priorisierung oder Wettbewerb mit anderen Technologien** (Batterieelektromobilität, synthetische Kraftstoffe, Oberleitungs–LKWs) [160] • Für einige SPNV–Streckenabschnitte sind **BEV–Züge oder Oberleitungsausbau wirtschaftlicher** [159] • **Unklare Marktperspektive** für H_2–Fahrzeuge, Schiffe, Flugzeuge und Schienenfahrzeuge [161, 162] • **Fehlende Hersteller–Initiative**, Produktreife/Markteintritts–Stadium einiger Fahrzeuge noch nicht erreicht, z.T. noch keine Serienproduktion von Fahrzeugen. Dadurch ist die **Marktverfügbarkeit geringer als Nachfrage** (z.B. bei Bussen und Nutzfahrzeugen) • **Abhängigkeit von überregionaler und internationaler Infrastruktur** (z.B. Schiffe, Flugzeuge)

Tabelle IV–8–12: Verkehrssektor – Strategische Ansätze

	Stärken (S)	Schwächen i.S. von Nachholbedarf (W)
Chancen (O)	Strategieansatz „Ausbauen" • **Kompetente Partner aus der Region bündeln** und gemeinsam die H_2–Bereitstellung vorantreiben mit dem Fokus auf Hamburg als Logistikschwerpunkt und H_2–Großabnehmer • **Pilotprojekte im ÖPNV und Transportsektor** (insb. Straßenverkehr) vorantreiben • **Kooperationen zur Beschaffung fördern** (z.B. kommunale Flotten, LKW) • **Vorhandene Seeinfrastrukturen nutzen**, um Import und Export von Wasserstoff und synthetischer Kraftstoffe zu fördern • **Multimodales Tankstellennetz** in Abstimmung mit Partnern (z.B. H_2–Mobility) an den Häfen aufbauen	Strategieansatz „Aufholen" • **Politische Anreize schaffen**, durch z.B. Förderungen und Marktanreizprogramme um H_2–Infrastruktur, insbesondere im Straßenverkehr, auszubauen • **Pilot– und Demonstrationsprojekte** für den Einsatz von Wasserstoff in allen Verkehrsbereichen ermöglichen und unterstützen • **CO_2–Bepreisung** konventioneller Kraftstoffe **unterstützen**, um die Attraktivität von Wasserstoff als Kraftstoff zu steigern
Risiken (T)	Strategieansatz „Absichern" • **Interesse an Wasserstofftechnologie aufrechterhalten und fördern** durch entsprechende Politik, Verbandsarbeit sowie Vernetzung mit anderen gleichgerichteten Initiativen • **EU–Richtlinien** umsetzen (CO_2–Flottengrenzwerte, CVD–Quoten) • Durch die öffentliche Hand, z.B. in Form von erhöhten Mindestquoten für saubere Fahrzeuge, die **Beschaffung von emissionsfreien Fahrzeugen vorgeben** • **Kooperationen zwischen Herstellern und Akteuren** fördern, um wirtschaftliche Szenarien und ausreichende Kapazitäten für entsprechende Maßnahmen zu schaffen • Wasserstoff im Luftverkehr im ersten Schritt über die **Anwendung von BZ–Systemen für Flughafen** (z.B. Vorfeldfahrzeuge, Bodenstromversorgung) etablieren	Strategieansatz „Vermeiden" • **H_2–Infrastrukturaufbau unterstützen**, damit durch andere Technologien nicht einseitig Fakten geschaffen werden (z.B. Oberleitungen auf Autobahnen, Hochlauf CNG–LKW, Batterie–Züge) • Untersuchungen für den Einsatz von Wasserstoff im Luft– und Schiffsverkehr politisch unterstützen, sodass Hersteller frühzeitig den **Technologietrend erkennen und mitgehen** • **Öffentlichkeitsarbeit zur Akzeptanzsteigerung**

E Methodik Szenarienentwicklung für Wasserstoffbedarfe

Das klassische Bass–Modell der Diffusion beschreibt die Wirkung der Markteinführung von innovativen Produkten mit dem Ziel, die Marktsituation hinsichtlich der Sicherheit von Investitionen in neue Technologien einzuschätzen, ohne auf komplexe Modellierungswerkzeuge zurückgreifen zu müssen. Die Modellierung erfolgt anhand von Innovations– und Imitationseffekten sowie einem geschätzten Marktpotenzial.

$$\text{Absatz} = \left(\text{Innovationskoeffizient} + \text{Imitationskoeffizient} \cdot \frac{\text{Bestand}}{\text{Marktpotential}}\right) \cdot (\text{Marktpotential} - \text{Bestand})$$

Das Marktpotenzial wurde anhand einer Untersuchung des Forschungszentrums Jülich [32] sowie eigenen Berechnungen auf Basis von Literaturrecherchen [163–167] definiert. Die Parameter sowie die resultierenden Hochläufe sind in den nachfolgenden Tabellen und Abbildungen dargestellt.

Die Bedarfszentren bis 2030 ergeben sich über die Kombination von theoretischen Kraftstoffverbräuchen und den Markthochlaufszenarien. So wurden die Energie– bzw. Kraftstoffbedarfe der größten Akteure in Industrie, Verkehr und Wärme über einen bottom–up–Ansatz ermittelt und der potenzielle Wasserstoffbedarf anhand der prozentualen Marktanteile in 2030 aus Abbildung 8–2 berechnet. Das Marktpotenzial wurde anhand einer Untersuchung des Forschungszentrums Jülich [32] sowie eigenen Berechnungen auf Basis von Literaturrecherchen [163–167]definiert. Die Parameter sowie die resultierenden Hochläufe sind in den nachfolgenden Tabellen und Abbildungen dargestellt.

Tabelle IV–8–13: Marktpotenzial (Zielwert) in 2050 für CO_2–Neutralität (95% Szenario) [32]

Marktpotenzial für 2050 in %	PKW	LNF	Busse	SNF
Konservatives Szenario	25,00	25,00	30,00	25,00
Basisszenario	50,00	50,00	60,00	50,00
Progressives Szenario	75,00	75,00	90,00	75,00

Tabelle IV–8–14: Fahrzeugbestand und durchschnittliche Fahrleistung Straßenverkehr [23]

	PKW	LNF	Bus	SNF
Fahrzeugbestand 2020 [–]	2.491.566	184.321	4.744	38.552
Durchschnittliche Fahrleistung [km]	13.602	19.343	57.036	47.800

Tabelle IV–8–15: Fahrleistungen im SPNV in km [33]

AKN	2.109.000,00

Tabelle IV–8–16: Bestand und Anteile an CO_2–Emissionen [23]und [24]

Anteile an 1	PKW	LNF	BUS	SNF
Bestand	0,89	0,07	0,00	0,04
CO_2–Emissionen	0,66	0,09	0,03	0,21

Tabelle IV–8–17: Entwicklung des H_2–Verbrauchs im Verkehr in kg/100 km [32]

	PKW	LNF	BUS	SNF	Zug
2020	0,88	1,25	9,55	7,08	28,23
2030	0,79	1,13	9,03	6,69	27,32
2040	0,71	1,01	8,52	6,29	26,41
2050	0,63	0,90	8,00	5,90	25,50

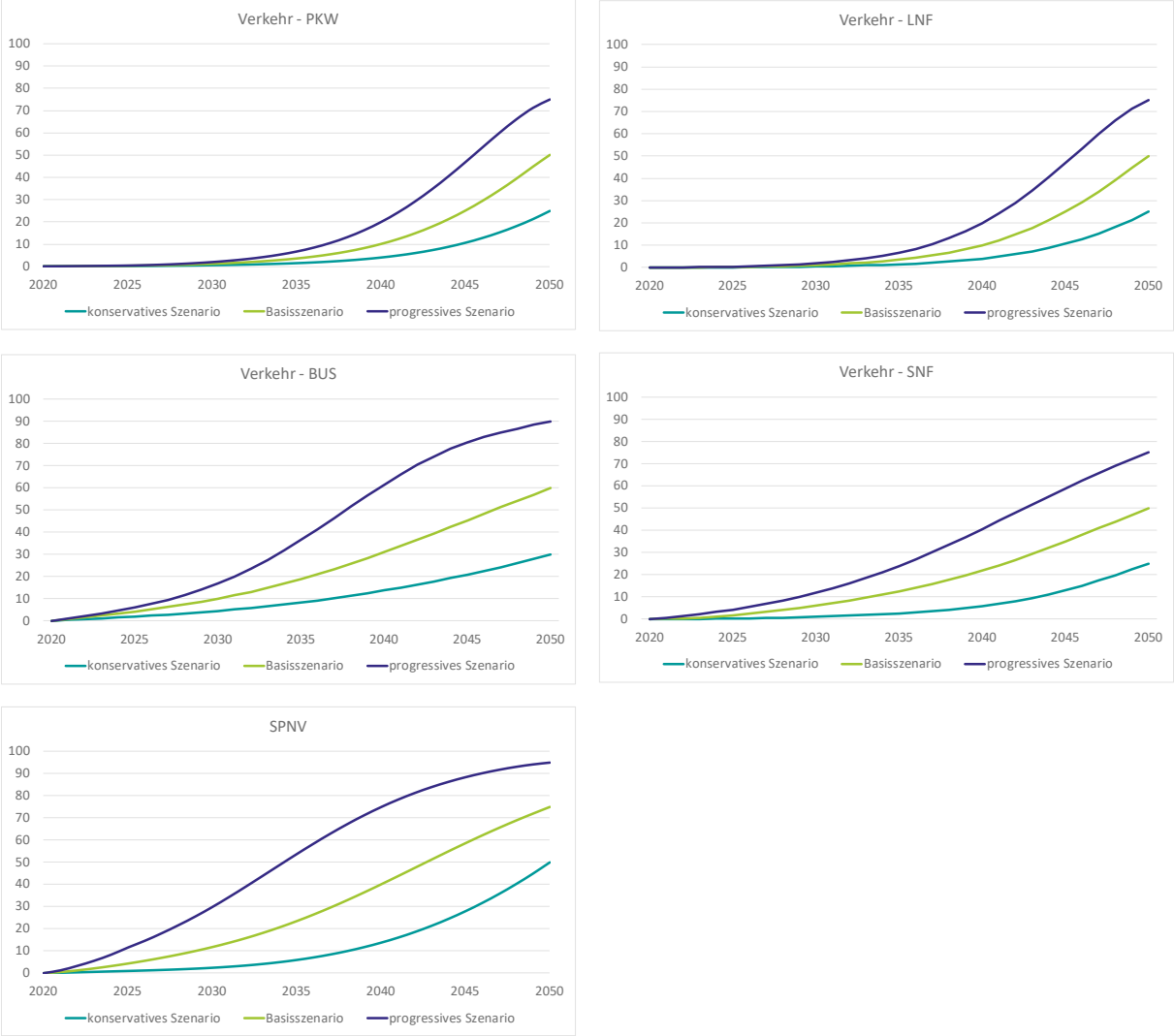


Abbildung 8–2: Markthochlaufszenarien im Verkehrssektor in SH nach [32]

F Marktüberblick FCEV – Ergänzung

Personenkraftwagen

Hyundai – Nexo

Key–Facts

H_2–Tank (Kapazität | Druckniveau): drei H_2–Tanks mit insgesamt 6,33 kg I 700 bar

Batteriekapazität: 1,56 kWh

Reichweite: 756 km

Aktueller Status

Bei dem Hyundai Nexo handelt es sich um eine Weiterentwicklung des Hyundai ix35 FCEV. [168, 169] Während sich die Neuzulassungen 2018 noch auf 41 Fahrzeuge beliefen, wurden im Jahr 2019 140 Neuzulassungen registriert. [170] Mit einer angegebenen Reichweite von 756 km besitzt er die größte Reichweite aller verfügbaren Brennstoffzellen–PKW. Obendrein ist er mit 1.900 kg Leergewicht leichter als vergleichbar große Batterieautos im SUV–Segment. Der Nexo ist für autonomes Fahren vorgesehen und es wurden entsprechende Tests bis einschließlich Level 4 durchgeführt. Dies ist die vorletzte Autonomiestufe und gewährleistet die dauerhafte Bewältigung von Verkehrssituationen. [168] Der aktuelle Preis beläuft sich auf 77.000 €.

Ausblick

Hyundai forscht weiterhin intensiv an der Brennstoffzellentechnologie und plant bis 2025 den Verkauf von 670.000 Elektrofahrzeugen pro Jahr. Davon sollen 110.000 Fahrzeuge durch Brennstoffzellentechnologie betrieben werden. [55, 171]

Audi – A7 h–tron quattro

Key–Facts

H_2–Tank (Kapazität | Druckniveau): drei Tanks mit insgesamt 6 kg I 700 bar

Batteriekapazität: 8,8 kWh

Reichweite: ca. 500 km

Aktueller Status

Der Audi A7 h–tron quattro ist ein Plug–in–Hybrid mit Brennstoffzelle. Das Modell gilt seit seiner Vorstellung 2014 auf der Los Angeles Auto Show als Prototyp und wurde bisher nicht in die Serienproduktion übernommen. [172, 173]

Ausblick

Sobald die Marktentwicklung sowie die Wasserstoffinfrastruktur eine Serienfertigung rechtfertigen, plant Audi die sich derzeit im Prototypenstatus befindlichen Brennstoffzellenfahrzeugen in die Serienfertigung zu überführen. Aktuell ist diesbezüglich eine Serienfertigung und damit einhergehende Kommerzialisierung ab dem Jahr 2025 vorgesehen. Zur Unterstützung der Markteinführung dient unter anderem auch ein limitiertes Leasingprogramm, welches 2021 erstmals in europäischen Staaten angeboten werden soll. [174]

Honda – Clarity Fuel Cell

Key–Facts

H_2–Tank (Kapazität | Druckniveau): zwei Tanks mit insgesamt 5 kg I 700 bar

Batteriekapazität: nicht veröffentlicht

Reichweite: 650 km

Aktueller Status

Der Honda Clarity Fuel Cell ist aktuell nur in den USA (Kalifornien) und Japan verfügbar. Honda ist derzeit der einzige Hersteller, bei dem sich die Brennstoffzellentechnologie ausschließlich im Motorraum befindet. Ein daraus resultierender Vorteil ist, dass der Platz im Innenraum im Vergleich zu anderen Brennstoffzellenmodellen größer ausfällt. Der Preis für das Modell beläuft sich gegenwärtig auf 51.000 € und ist im Leasing für ca. 320 € pro Monat verfügbar [175, 176].

Ausblick

Aktuell sind für die Markteinführung des Honda Clarity Fuel Cell im europäischen Raum noch keine Angaben bekannt. Eine Überführung in die allgemeine Serienproduktion ist derzeit in Planung [177].

BMW – I–HYDROGEN NEXT

Key–Facts

H_2–Tank (Kapazität | Druckniveau): zwei Tanks mit insgesamt 6 kg I 700 bar

Batteriekapazität: Pufferbatterie zur Zwischenspeicherung – Kapazität nicht veröffentlicht

Reichweite: nicht veröffentlicht

Aktueller Status

Der BMW iHydrogen Next wurde 2019 erstmals auf der Internationalen Automobil–Ausstellung (IAA) in Frankfurt am Main vorgestellt und befindet sich derzeit noch in der Entwicklungsphase. Das auf dem Modell X5 basierende Brennstoffzellenfahrzeug wurde in Zusammenarbeit mit Toyota, von denen die im Fahrzeug eingesetzten Brennstoffzellen–Stacks stammen. Die Kooperation beider Unternehmen besteht seit 2013. [178]

BMW ist Mitbegründer der 2017 gegründeten Organisation „Hydrogen Council", welche sich zum langfristigen Ziel gesetzt hat die Kommerzialisierung der Wasserstoffnutzung voranzutreiben. [179]

Ausblick

Ab 2022 plant BMW die Kommerzialisierung von Fahrzeugen mit Brennstoffzellenantrieben in Kleinserie. Die ersten geplanten Modelle sollen hierbei auf dem Modell X5 basieren. Früheste Überführung der Kleinserie in die Serienproduktion ist ab dem Jahr 2025 mit dem BMW iHydrogen NEXT geplant. [180]

Daimler – Mercedes–Benz GLC F–CELL

Key–Facts

H_2–Tank (Kapazität | Druckniveau): zwei Tanks mit insgesamt 4,4 kg I 700 bar

Batteriekapazität: 13,5 kWh

Reichweite: 478 km

Aktueller Status

Der Mercedes–Benz GLC F–CELL ist ein Wasserstoff–Plug–in–Hybrid und aktuell nur für ausgewählte Kunden und Partner in Form von Leasing erhältlich. Mercedes verfügt im Bereich der Brennstoffzellentechnologe im Vergleich zu anderen Automobilherstellern über eine eigene Fertigungsfabrik. Nachteile des Mercedes–Benz GLC F–CELL ist der hohe Platzbedarf des Wasserstoffantriebs sowie das vergleichsweise hohe Leergewicht von 2.150 kg. Der Preis beträgt mit Leasing 799 € pro Monat. [36, 181]

Ausblick

Ein Privatverkauf des GLC F–CELL ist aktuell nicht absehbar. Bis heute wurden insgesamt 3.000 Exemplare des F–CELL gebaut, jedoch wurde das Projekt im Jahr 2020 eingestellt, um sich zukünftig auf Brennstoffzellenantriebe in Bussen und Lastkraftwagen zu konzentrieren. [182]

Opel – HydroGen4

Key–Facts

H_2–Tank (Kapazität | Druckniveau): 4,8 kg I 700 bar

Batteriekapazität: 1,8 kWh

Reichweite: 400 km

Aktueller Status

Bei dem Opel HydroGen4 handelt es sich um einen Prototyp, bei welchem zwei Modelle mit jeweils unterschiedlich großen Tanks produziert wurden. Das Fahrzeug wurde im Rahmen des Opel Fuel Cell Marathon, bei dem Brennstoffzellenfahrzeuge einem Dauertest in Form von 10.000 km durch 14 europäische Länder unterzogen werden, erfolgreich getestet. [183, 184]

Ausblick

Als Teil der Groupe PSA hat Opel in Rüsselsheim ein globales Kompetenzzentrum für Wasserstoff und Brennstoffzellen gegründet. Bis zum Jahr 2024 sollen alle Opel–Baureihen elektrifiziert werden. Hierbei sollen einige Modelle wie der Zafira Life als HydroGen5 ebenfalls als Brennstoffzellenfahrzeug verfügbar sein. [185]

VW – Golf HyMotion

Key–Facts

H_2–Tank (Kapazität | Druckniveau): vier H_2–Tanks mit insgesamt 4,8 kg I 700 bar

Batteriekapazität: Pufferbatterie zur Zwischenspeicherung – Kapazität nicht veröffentlicht

Reichweite: 500 km

Aktueller Status

Der Golf HyMotion wurde erstmals auf der Autoshow in Los Angeles Auto Show im Jahr 2014 auf der Los Angeles Auto Show vorgestellt. Eine Serienfertigung des Modells ist derzeit nicht geplant. [186]

Ausblick

Aufgrund der aktuellen Unternehmensstrategie, welche sich zukünftig auf batterieelektrische Fahrzeuge fokussiert, wurde eine geplante Serienfertigung des Golf HyMotion verworfen. [187]

Omnibusse

Van Hool – A330 Fuel Cell

Key–Facts

H_2–Tank (Kapazität | Druckniveau): acht Tanks mit jeweils 4,8 kg | 350 bar

Batteriekapazität: 36 kWh

Reichweite: etwa 300 km

Aktueller Status

Der A330 Fuel Cell des belgischen Herstellers Van Hool ähnelt vom Aufbau einem konventionellen Linienbus und hat eine Kapazität von bis zu 100 Fahrgästen. Die beiden integrierten Elektromotoren von Siemens haben jeweils eine Antriebsleistung von jeweils 85 kW. Die Brennstoffzelle stammt vom Kooperationspartner Ballard Power Systems. Erstmals vorgestellt wurde der A330 Fuel Cell 2015 auf der Messe in Hannover, woraufhin einige Testläufe starteten. Seit 2014 wird der Bus in Köln bereits als Linienbus eingesetzt. Auch in Wuppertal wurden 2019 und 2020 zehn Wasserstoff–Busse von Van Hool in Betrieb genommen. Im gleichen Jahr wurden weitere Busse an die Regionalverkehr Köln geliefert. Der Preis beläuft sich pro Exemplar auf etwa 650.000 €. [188, 189]

Ausblick

Unterstützt wird Van Hool bei der Vermarktung des Busses von der Initiative HyCologne. Diese Organisation setzt sich seit mehreren Jahren für nachhaltige Lösungen im Bereich von Wasserstoff, Brennstoffzelle und Elektromobilität ein und möchte auch zukünftig die Etablierung fördern. [190]

Mercedes Benz – Citaro FC–Hybrid

Key–Facts

H_2–Tank (Kapazität | Druckniveau): 45 kg I 350 bar

Batteriekapazität: 27 kWh

Reichweite: 250 km

Aktueller Status

Der Citaro FC–Hybrid von Mercedes–Benz verfügt über eine Kapazität von 26 Sitz– und 50 Stehplätzen. Basis des bereits erstmals 2009 vorgestellten Modells ist der konventionelle Omnibus Citaro. Der Citaro FC–Hybrid ist demnach ein Nachfolger des 2002 vorgestellten Citaro FC, von dem jedoch lediglich 37 Exemplare gebaut wurden. Mit dem neuen Modell soll eine drastische Reduzierung des Wasserstoffverbrauchs einhergehen. [37]

Insgesamt 23 Busse sind in 6 europäischen Städten im Einsatz. Neben den deutschen Städten Stuttgart, Frankfurt am Main, Karlsruhe und Hamburg wird auch in Bozen, Mailand und im schweizerischen Brugg die Wasserstofftechnologie von Mercedes–Benz angewandt. Die beiden Brennstoffzellen mit jeweils 69 kW und eine Batterie zur Energierückgewinnung ermöglichen dem Citaro FC–Hybrid eine höhere Betriebsdauer als dem Sprinter FC. [191]

Ausblick

Im hauseigenen Brennstoffzellen–Kompetenzzentrum in Kirchheim–Nabern wird intensiv an der Entwicklung der Brennstoffzellentechnologie gearbeitet. Dabei profitiert das Unternehmen von einem zentral entwickelten Brennstoffzellenantrieb für alle Marken und Sparten des Konzerns. Mit dem Citaro FC–Hybrid möchte man diese Entwicklung vorantreiben und die Brennstoffzellenantriebe im öffentlichen Personennahverkehr etablieren.

Toyota – Sora

Key–Facts

H_2–Tank (Kapazität | Druckniveau): zehn Tanks mit jeweils 2,4 kg I 700 bar

Batteriekapazität: 235 kWh

Reichweite: über 200 km

Aktueller Status

Das Wasserstoffmodell von Toyota mit dem Namen „Sora" wurde erstmals 2017 auf der Tokyo Motor Show präsentiert. Wie bei weiteren marktplatzierten Modellen von Toyota wird auch hier das Brennstoffzellensystem aus dem Mirai verwendet. Der Bus verfügt außerdem über ein Notstromaggregat, welches im Bedarfsfall die Energieversorgung sicherstellen soll. Großen Wert legte Toyota bei diesem Modell auf den Bereich der Sicherheit. Insgesamt acht hochauflösende Kameras erfassen das Umfeld des Busses und warnen den Fahrer sowohl optisch als auch akustisch vor möglichen Gefahren. Mit dem sogenannten „ITS Connect" wird eine Kommunikationsschnittstelle zwischen den Bussen angeboten und damit die Personenbeförderung im Nahverkehr optimiert. [192] Der Bus ist bereits 2019 in den Linienbetrieb Japans eingestiegen und soll in den kommenden Jahren flächendeckend ausgebreitet werden. [193]

Ausblick

Im Rahmen der Toyota Environmental Challenge 2050 wurden klare Ziele im Bereich der Reduzierung Kohlenstoffdioxid– Emissionen gesetzt. Bis 2050 sollen rund 90 Prozent der Emissionen im Vergleich zum Jahr 2010 gesenkt werden. Mit dem Toyota Sora steigt das Unternehmen auch in den klimaneutralen Nahverkehr ein. [193] Derzeit ist eine Markteinführung in Europa nicht geplant und Toyota agiert lediglich als Zulieferer von Antriebstechnologien (siehe z.B. CaetanoBus). [194]

CaetanoBus – H2.City Gold

Key–Facts

H_2–Tank (Kapazität | Druckniveau): fünf Tanks mit jeweils 7,5 kg I 350 bar

Batteriekapazität: 29 bis 44 kWh

Reichweite: bis zu 400 km

Aktueller Status

Bei dem H2.City Gold handelt es sich um den ersten Wasserstoffbus mit Brennstoffzellentechnik des portugiesischen Herstellers CaetanoBus. Er wurde erstmals 2019 auf der Busworld in Brüssel vorgestellt. Seit 2018 arbeitet das Unternehmen zusammen mit Toyota an einer Wasserstoffversion für die firmeneigene Flotte. Im Zuge der Kooperation wurde der H2.City Gold mit der Brennstoffzellentechnik von Toyota ausgerüstet. [195, 196]

Ausblick

Bereits 2017 hat das Unternehmen CaetanoBus mit dem eCity Gold ein elektrisches Modell vorgestellt. Nun soll ein weiterer Schritt der Elektrifizierung durch die Brennstoffzellentechnologie stattfinden. Der vorgestellte Prototyp H2.City Gold wurde als Wasserstoffvariante des eCity Gold im Anschluss an seine Präsentation in mehreren europäischen Städten getestet. Die Markteinführung in Europa hat 2020 stattgefunden und die ersten Auslieferungen der Brennstoffzellenbusse ist für 2022 geplant. [197]

Leichte Nutzfahrzeuge

Mercedes–Benz – Sprinter F–Cell

Key–Facts

H_2–Tank (Kapazität | Druckniveau): 3 Tanks à 1,5 kg | 700 bar

Ausrüstbarer H_2–Zusatztank (Kapazität | Druckniveau): 2,9 kg | 700 bar

Batteriekapazität: 9,2 kWh

Reichweite: 300 km (bis zu 500 km mit Zusatztank) [198–200]

Aktueller Status

Der Mercedes–Benz Sprinter F–Cell wurde 2018 erstmals auf der IAA vorgestellt und basiert auf dem System des mittlerweile eingestellten GLC F–Cell. Auch hierbei handelt es sich um einen Wasserstoff–Plug–in–Hybrid, bei welchem die Brennstoffzelle als Range Extender dienen soll. Die eingebaute Antriebsbatterie trägt mit rund 30 km zu der Gesamtreichweite bei und erreicht in Kombination mit der Brennstoffzelle eine größere Reichweite als der reine E–Sprinter mit einer Reichweite von 150 km. [199]

Ausblick

Mit dem Sprinter F–Cell hat Mercedes ein Konzeptfahrzeug mit einem breiten Anwendungsspektrum entwickelt. Demnach kann das Modell nicht nur als Reisebegleiter in Form eines Wohnmobils mit autarker Energieversorgung eingesetzt werden, sondern auch als geräumiger Lastenträger verwendet werden. Mit einer deutlichen Reduzierung des Einsatzes von kostenintensivem Platin konnte der Preis der Brennstoffzelle gesenkt werden. Derzeit ist für das Konzeptfahrzeug Sprinter F–Cell aktuell weder ein Preis noch ein genaues Datum des Markteintritts bekannt. [201]

Schwere Nutzfahrzeuge

Hino & Toyota – Profia FR1AWHG

Key–Facts

H_2–Tank (Kapazität | Druckniveau): nicht veröffentlicht | 700 bar

Batteriekapazität: Lithium–Ionen–Akku – Kapazität nicht veröffentlicht

Reichweite: 600 km

Aktueller Status

Der Profia FR1AWHG ist in der Zusammenarbeit von Toyota und Hino entwickelt worden und gehört mit seinem Gesamtgewicht von 25 Tonnen zu den schweren Nutzfahrzeugen (SNF). Das Fahrzeug basiert dabei auf dem ICE–Modell Hino Profia und wurde mit Brennstoffzellen–Stacks von Toyota ausgerüstet. Das Modell ist zunächst nur für den japanischen Markt vorgesehen. [202]

Ausblick

Toyota und Hino forschen bereits seit vielen Jahren an der Brennstoffzellentechnologie und haben sich zum Ziel gesetzt die Technologie im Markt zu etablieren. Diese Zusammenarbeit soll in den kommenden Jahren intensiviert werden. [203]

Zusätzlich zu dem geplanten Modell besteht zwischen dem zur Toyota–Gruppe gehörenden Unternehmen Hino und den im selben Bereich tätigen Nutzfahrzeuge–Hersteller Traton seit 2018 ein Joint Venture. Diese Zusammenarbeit diente bisher dem gemeinsamen Einkauf von Teilen und Komponenten. In diesem Jahr wurde eine Erweiterung der Zusammenarbeit beschlossen, um die Elektrifizierung im Bereich der Nutzfahrzeuge weiter voranzutreiben. Es soll auf möglichst vielen Ebenen, wie der Brennstoffzellen– oder der Batterieentwicklung, zusammengearbeitet werden. Auch eine gemeinsame EV–Plattform inklusive Software und Schnittstellen soll im Rahmen des Projekts entstehen. Traton, welches als Tochtergesellschaft der Volkswagen AG agiert, plant bis 2025 eine Milliarde Euro in die Elektrifizierung seiner Nutzfahrzeuge zu investieren. [204, 205]

FAUN – BLUEPOWER

Key–Facts

H_2–Tank (Kapazität | Druckniveau): 1–4 Tanks à 4,2 – 16,8 kg | 700 bar

Batteriekapazität: 85 kWh

Reichweite: bis zu 560 km

Brennstoffzellenmodule und Wasserstofftanks sind modular erweiterbar

Aktueller Status

Faun ist ein Unternehmen, welches sich auf Müllfahrzeuge und Kehrmaschinen spezialisiert hat. Mit Bluepower wurde ein Nutzfahrzeug–Plattform entwickelt, welche unter anderem auf die innerstädtische Abfalllogistik ausgelegt ist. Das Anwendungsgebiet soll sich neben dem innerstädtischen Betrieb auf Land– und Autobahnfahrten ausweiten lassen. Das Modell basiert auf einem batterie–elektrischen Antrieb mit einem zusätzlich verbauten Brennstoffzellensystem zur Erweiterung der Reichweite (Range Extender). Das modulare Baukastensystem ermöglicht die Anpassung des Antriebssystems für unterschiedliche Einsatzszenarien. [206, 207]

Ausblick

Aktuell läuft ein erster Praxistest durch die Abfalllogistik Bremen (ALB). Dabei wird das konventionelle Diesel–Fahrzeug für 14 Wochen von einem Faun Bluepower ersetzt. Bereits ab 2021 sollen die Brennstoffzellen–Trucks von Faun in Serie produziert werden. Ab 2025 sollen dann insgesamt mehr Brennstoffzellen–Trucks als konventionelle Fahrzeuge verkauft werden. [208]

Daimler Truck Fuel Cell GmbH & Co. KG – GenH2 Truck

Key–Facts

H_2–Tank (Kapazität | Druckniveau): 2 Tanks à 40 kg | 16,5 bar (flüssig)

Batteriekapazität: 70 kWh

Reichweite: bis zu 1.000 km

Aktueller Status

Der Daimler GenH2 Truck wurde im Jahr 2020 erstmals als Konzeptfahrzeug vorgestellt. Basis des Modells ist der Actros Fernverkehr–Lastkraftwagen mit 40 Tonnen Gesamtgewicht in der Serienvariante. Als Treibstoff wir der GenH2 Truck mit flüssigem Wasserstoff angetrieben. Aufgrund der höheren Energiedichte im Vergleich zu gasförmigem Wasserstoff ist die Verwendung kleinerer Tanks – bezogen auf das Volumen – bei größeren Reichweiten von bis zu 1.000 km möglich. Erste Kundenerprobungen mit dem GenH2 Truck sollen im Jahr 2023 stattfinden. Die Überführung in die Serienproduktion ist bis 2030 geplant. [209–211]

Ausblick

Der Ursprung des Projekts ist eine nicht bindende Vereinbarung zur Gründung eines Joint Ventures mit der Volvo Group. Im Rahmen dieser Vereinigung soll die Entwicklung von Brennstoffsystemen für Nutzfahrzeuge und andere Anwendungsgebiete vorangetrieben werden. Daimler hat hierzu alle konzernweiten Brennstoffzellen–Aktivitäten in der neu gegründeten Tochtergesellschaft Daimler Truck Fuel Cell GmbH & Co. KG zusammengeführt. Beide Unternehmen erhoffen sich neben der intensiven Förderung der Brennstoffzellentechnologie eine Senkung der Entwicklungskosten. 2020 ist die Zusammenarbeit von Volvo und Daimler verbindliche geworden. [209–213]

Kenworth & Toyota – T680 (Hydrogen)

Key–Facts

H_2–Tank (Kapazität | Druckniveau): 6 Tanks à 10 kg | 700 bar

Batteriekapazität: 70 kWh

Reichweite: bis zu 500 km

Aktueller Status

Für die Fertigung des T680 Hydrogen kooperieren die Unternehmen Kenworth und Toyota. Die Antriebstechnologie des Kenworth T680 Class 8 basiert auf dem Toyota Mirai. Das Modell befindet sich derzeit in der Pilotphase und wird seit 2019 in Kalifornien (USA) getestet. [214, 215]

Ausblick

Derzeit sind in den Häfen von Long Beach und Los Angeles im US–Bundestaat Kalifornien mehr als 16.000 Nutzfahrzeuge im Einsatz. [216] Im Rahmen der ZANZEFF–Initiative[77], welche vom California Air Resources Board mit 41 Millionen US–Dollar unterstützt wird, soll sich diese Zahl bis 2030 verdoppeln. Toyota und Kenworth streben in diesem Zusammenhang eine enge Kooperation ein, um den Einsatz klimaneutraler Nutzfahrzeuge im Rahmen der Initiative zu unterstützen.

Nikola Motors & Iveco & FPT – Nikola TRE

Key–Facts

H_2–Tank (Kapazität | Druckniveau): 40 bis 80 kg I 700 bar

modulare Batteriekapazität: vsl. bis zu 720 kWh

Reichweite: 500 – 1.200 km

Aktueller Status

Die Lastkraftwagen–Serie One, Two, Tre stammt aus einer Kooperation der Unternehmen Nikola Motors und Iveco. Das TRE–Modell basiert auf der Basis des Iveco S–Way, wohingegen der Antrieb und das Cockpit vom amerikanischen Unternehmen Nikola entwickelt wurden. [217] In der Fahrzeugentwicklung unterstützt die Firma Bosch neben der Soft– und Hardware für die Fahrzeugsteuerung auch bei der Brennstoffzellen–Entwicklung. [218] Bei der Vermarktung des Fahrzeugs setzt Nikola auf eine All–Inclusive–Leasing–Strategie. [219]

Ausblick

Im Zuge des Joint Venture von Nikola Motors und Iveco ist eine Markteinführung des Nikola Tre in Europa für das Jahr 2023 geplant. Die Produktion der ersten Modelle soll 2021 am Iveco–Standort in Ulm anlaufen. Bis 2030 soll die Elektrifizierung und somit auch die Brennstoffzelle im Bereich der schweren Nutzfahrzeuge etabliert werden. [217, 220, 221]

[77] Zero and Near–Zero Emissions Freight Facilities

Schienenfahrzeuge

Siemens Mobility – Mireo

Key–Facts

H_2–Tank (Kapazität | Druckniveau): nicht veröffentlicht

Batteriekapazität: 200 kWh

Reichweite: bis 900 km

Aktueller Status

Mit dem Mireo von Siemens Mobility kommt ein weiterer brennstoffzellenbetriebener Personenzug auf den Markt, der seinen Vorgänger, den Desiro ML, ersetzen soll. Mit dem neuen Modell geht ein modulares Baukastensystem einher, welches je nach Einsatzregion frei wählbar ist. Somit kann sich der Kunde von der Wagenkastenlänge bis hin zu technischen Details, wie Beschleunigung und Höchstgeschwindigkeit, sein individuelles Produkt konfigurieren. Neben der Entwicklung der technischen Komponenten rund um die Brennstoffzelle orientiert sich Siemens Mobility auch an den Anforderungen der Endverbraucher und Kunden. Durch die Unterbringung der technischen Komponenten unterhalb des Bodens und auf dem Dach wird den Fahrgästen mehr Raum und Komfort ermöglicht. Eine Optimierung der Aerodynamik sowie eine Reduzierung des Gewichts um bis zu 25 Prozent sorgen zusätzlich für eine deutliche Senkung des Wasserstoffverbrauchs [222–224].

Ausblick

In einer Kooperation mit der Deutschen Bahn wird mit dem Mireo Plus H ein neuer Wasserstoffzug mit Schnellbetankung entwickelt. Der Zug soll erstmals 2024 für ein Jahr auf der Strecke Tübingen, Horb und Pforzheim getestet werden. Hierbei sollen insgesamt 330 Tonnen Kohlenstoffdioxid eingespart werden [225].

Tangshan – CRRC TRC

Key–Facts

H_2–Tank (Kapazität | Druckniveau): 12 kg I nicht veröffentlicht

Batteriekapazität: nicht veröffentlicht

Reichweite: bis 40 km

Aktueller Status

Bei dem chinesischen Unternehmen CRRC Tangshan handelt sich um einen Hersteller aus dem Schienenverkehr. Mit dem TRC wurde die weltweit erste kommerzielle Hybrid–Straßenbahn mit Brennstoffzellentechnik vorgestellt. Die Straßenbahn besitzt 3 Wagen, in denen sie insgesamt 336 Passagiere transportieren kann. Im Betrieb erreicht sie eine Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h. Die verwendete Brennstoffzelle stammt von Ballard Power Systems [226, 227].

Ausblick

Nachdem im Jahr 2017 erste Demonstrationstests in China abgeschlossen wurden, soll die Straßenbahn zunächst auf dem chinesischen Markt etabliert werden. Aktuell wird sie lediglich in der Provinz Herbei verwendet. Bei der 14 km langen Nahverkehrsstrecke wird die Bahn an einem der beiden Endbahnhöfe getankt [226, 227].

BNSF Railway – HH20B

Key–Facts

H_2–Tank (Kapazität | Druckniveau): 14 Tanks à 5 kg I 350 bar

Batteriekapazität: nicht veröffentlicht

Reichweite: ca. 500 km

Aktueller Status

Der HH20B vom nordamerikanischen Unternehmen BNSF Railway ist der Nachfolger des GG20B. Dabei wurde die emissionsarme Diesellokomotive in eine Wasserstoffvariante umgewandelt. Das Projekt startete 2008 und endete mit der Vorstellung der Wasserstofflokomotive im Jahr 2009. Sie wurde in Topeka im Bundesstaat Kansas gebaut. Eine Pufferbatterie zur Zwischenspeicherung und eine Leistungsspitze von 100 kW charakterisieren den elektrischen Antrieb [228–230].

Ausblick

Hierbei handelt es sich lediglich um ein Demonstrationsprojekt im Bereich der hybriden Rangierloks [230].

Schiffe

Ulstein – SX190

Key–Facts

H_2–Tank (Kapazität | Druckniveau): zwei Tanks (Kapazität & Druckniveau nicht veröffentlicht)

Batteriekapazität: nicht veröffentlicht

Reichweite: nicht veröffentlicht

Gesamtleistung: 7,5 MW, 2 MW von Brennstoffzelle

Aktueller Status

Mit dem Hybridschiff SX190 des norwegischen Schiffbauers Ulstein kann eine große Vielfalt von Offshore–Unterstützungsoperationen abgedeckt werden. Demnach soll es vorwiegend beim Bau und Betrieb von Windkraftanlagen eingesetzt werden und als Serviceschiff dienen. Gerade in diesem Anwendungsbereich spielt die Elektrifizierung von Schiffen eine große Rolle. Trotz Strömung, Wind und Wellengang ist es bei Offshore–Arbeiten notwendig die Position möglichst genau zu halten. Dieser schwankende Leistungsbedarf kann mit Elektromotoren besser abgedeckt werden. Das eingebaute Brennstoffzellensystem stammt vom niederländischen Spezialisten Nedstack Fuel Cell Technology [231, 232].

Ausblick

Im Zuge dieses Projekts werden weitere Joint Ventures angestrebt, um die Entwicklung des Hybridschiffs voranzutreiben. Erste Testversuche auf hoher See sind für 2022 geplant. Kurze Zeit später soll das Schiff erstmals ausgeliefert werden. In der aktuellen Entwicklungsphase wird ein emissionsfreier Aufenthalt auf dem Meer von zwei Wochen angestrebt [231, 232].

Kawasaki – Suiso Frontier

Key–Facts

Antrieb: Dieselgenerator – nicht elektrisch (Zweck: Transport von Wasserstoff)

Tankgröße der Wasserstofflagerung: 1.250 Kubikmeter

Höchstgeschwindigkeit: 24 km/h

Aktueller Status

Bei dem Suiso Frontier handelt es sich im Vergleich zu den bereits behandelten Modellen um ein Schiff, welches lediglich von einem Dieselgenerator und keiner Brennstoffzelle angetrieben wird. Allerdings soll es weltweit das erste Schiff sein, dass die Verfrachtung von Wasserstoff ermöglicht. Dabei sollen bis zu 1.250 Kubikmeter Wasserstoff auf dem 116 Meter langen Schiff gelagert und transportiert werden können [233, 234].

Ausblick

Japan forscht seit mehreren Jahren intensiv im Bereich der Brennstoffzellentechnik und sieht zukünftig einen großen Markt in der alternativen Antriebsmöglichkeit. Da Japan jedoch nicht ausreichend Wasserstoff produziert, will es die Herstellung nach Australien auslagern. Mittels dem Suiso Frontier entwickelten Schiff von Kawasaki soll der produzierte Wasserstoff anschließend verfrachtet werden. Dies soll langfristig gesehen jedoch lediglich eine Übergangslösung darstellen. Der in Australien

gewonnene Wasserstoff wird über Braunkohle–Kraftwerke gewonnen und ist somit nicht emissionsfrei. In fernerer Zukunft soll das Gas aus erneuerbaren Energien, wie zum Beispiel überschüssigem Strom aus Windkraftanlagen, gewonnen werden.

Ende 2020 soll das Schiff zur Verfügung stehen und spätestens Anfang 2021 die erste Ladung Wasserstoff von Australien nach Japan verschiffen [234, 235].

HySeas III

Key–Facts

H_2–Tank (Kapazität | Druckniveau): 600 kg | 350 bar

Batteriekapazität: 768 kWh

Reichweite: nicht veröffentlicht

Aktueller Status

Dieses Projekt zum Bau einer Passagierfähre mit Brennstoffzellenantrieb startete 2018 und wird in einer schottischen Werft in Glasgow vollzogen. 2021 soll die Fähre an den Orkney Inseln in Schottland erstmals in Betrieb genommen werden. Unterstützt und gefördert wird das Projekt durch das Forschungs– und Innovationprogramm „Horizon 2020" von der Europäischen Union [65, 236–238].

Ausblick

Grundlage des Projekts ist ein seit Jahren produzierter Überschuss an erneuerbaren Energien auf den schottischen Orkney–Inseln. Dieser Überschuss wird durch Wind–, Wellen– und Gezeitenkraftwerke generiert. Da vor Ort nur begrenzte Netzkapazitäten vorhanden sind, werden die Überschüsse direkt in Wasserstoff umgewandelt. Mit Hilfe dieses Wasserstoffs kann die Passagierfähre aus dem Projekt HySeas III zukünftig betrieben werden. [237, 238].

Flugzeuge

Airbus – ZEROe

Key–Facts

H_2–Tank (Kapazität | Druckniveau): nicht veröffentlicht

Batteriekapazität: nicht veröffentlicht

Reichweite:

- Turbofan: 3.700 km
- Turboprop: bis zu 1.850 km
- Blended–Wing Body (BWB): 1.850 km

Aktueller Status

Zum aktuellen Zeitpunkt sind drei Antriebsvarianten für das ZEROe–Modell von Airbus vorstellbar. Neben zwei klassischen Verkehrsflugzeugen (Turbofan und Turboprop) wird auch an einem futuristischen Konzept (Blended–Wing–Body) gearbeitet. Der Wasserstofftank soll sich hierbei im hinteren Drittel des Flugzeuges befinden. Insgesamt sollen 120 bis 200 Personen an Bord Platz finden. Auffällig bei der Betrachtung des futuristischen Konzepts ist die Verschmelzung von Rumpf und Flügeln, was einen großen aerodynamischen Vorteil mit sich bringen wird [239, 240].

Ausblick

Aus den drei Varianten soll bis 2035 ein flugfähiges Transportmittel für Passagiere geschaffen werden, welches eine neutrale Kohlenstoffdioxid–Bilanz aufweisen kann. Aufgrund der erhöhten Energiedichte von Wasserstoff gegenüber herkömmlichem Kerosin wird deutlich mehr Platz für die Lagerung des Treibstoffs benötigt. Aus diesem Grund ist die Reichweite Flugzeuges auf Kurz– und Mittelstrecken begrenzt [239, 240].

DLR & MTU Aero Engines– Electric Flight Demonstrator

Key–Facts

H_2–Tank (Kapazität | Druckniveau): nicht veröffentlicht

Batteriekapazität: nicht veröffentlicht

Reichweite: 8.000 km

Flugdemonstrator: Do 228

Aktueller Status

Im August 2019 wurde das Konzept des Electric Flight Demonstrator vom Deutschen Zentrum für Luft– und Raumfahrt (DLR) vorgestellt. Es handelt sich hierbei um ein hybrid–elektrisches Forschungsflugzeug mit insgesamt 19 Sitzplätzen. Der DLR soll sowohl bei der Entwicklung als auch der Validierung des Modells eng mit der ebenfalls aus Deutschland stammenden MTU Aero Engines AG zusammenarbeiten [241]. Eine Absichtserklärung soll hierzu bereits unterschrieben worden sein. Während der DLR die Gesamtsystemkompetenz für das Projekt mitbringt, soll der Antriebsstrang von MTU entwickelt werden. Insgesamt sind bei dem Projekt bis zu 80 Experten involviert [242].

Ausblick

Klares Ziel des DLR ist dabei die Optimierung der zivilen Luftfahrt. Hier sollen auf langfristige Sicht Leistung und Reichweite für Regional–, Kurz– sowie Mittelstreckenflugzeuge durch eine Brennstoffzelle bereitgestellt werden. Die Brennstoffzelle hat dabei großes Potenzial, jedoch besteht noch erheblicher Forschungsbedarf. Ein angesetzter Erstflug des Modells soll 2026 stattfinden [242].

ZeroAvia – N504EZ

Key–Facts

H_2–Tank (Kapazität | Druckniveau): nicht veröffentlicht

Batteriekapazität: nicht veröffentlicht

Reichweite: bis zu 800 km

Aktueller Status

Im September 2020 ist es dem Unternehmen ZeroAvia gelungen einen Testflug mit einem auf Wasserstofffflugzeug durchzuführen. Dabei wurde eine Antriebskombination aus Batterien und Brennstoffzellen verwendet [243]. Bei dem Modell handelte es sich um eine modifizierte Piper M350 mit insgesamt 6 Sitzplätzen. Mit dem geplanten Modell von ZeroAvia sollen die Treibstoff– und Wartungskosten um bis zu 75 % gesenkt werden. Damit soll eine Gesamtreisekostenreduzierung im Flugverkehr von bis zu 50 Prozent einhergehen. Es sollen Kurzstreckenflüge von bis zu 800 km möglich sein [244].

Ausblick

In den nächsten 10 Jahren wird eine Nachfrage von über 100.000 Wasserstofffflugzeugen erwartet. Ab 2023 soll der Antrieb kommerziell einsetzbar sein. Zum Zeitpunkt der Markteinführung soll es möglich sein, das entwickelte Antriebssystem in bestehende Flugzeugmodelle einzubauen [245].

H2FLY – HY4

Key–Facts

H_2–Tank (Kapazität | Druckniveau): zwei Tanks à 9 kg I 350 bar

Batteriekapazität: vier Batterien mit jeweils 21 kWh = 84 kWh

Reichweite: 800 bis 1.500 km

Aktueller Status

Mit dem HY4 von H2FLY wurde 2016 das erste viersitzige Passagierflugzeug präsentiert, dass ausschließlich mit Brennstoffzellen und Batterien betrieben wird. Das aus einem Demonstrationsprojekt entstandene Flugzeug besitzt ein Höchstabfluggewicht (MTOW) von 1500 kg und basiert auf dem Pipistrel Taurus G4. Es kann eine Höchstgeschwindigkeit von bis zu 200 km/h erreichen. Das Konzept für das Flugzeug entstand aus einer Zusammenarbeit einer Vielzahl von Partnern. Neben der Universität Ulm, dem Flughafen Stuttgart, Pipistrel und dem Deutsches Zentrum für Luft– und Raumfahrt (DLR) steuern sowohl Hydrogenics als auch das Nationale Innovationsprogramm für Wasserstoff– und Brennstoffzellentechnologie (NIP) ihre Expertise im Bereich der Brennstoffzellentechnik bei [246].

Ausblick

Mit der Entwicklung des HY4 zielt man auf das Konzept von „Electric Air Taxis". Durch emissionsfreie Personenbeförderung über den Luftweg können auf langfristige Sicht die Straßen entlastet und regionale Flughäfen gefördert werden. In Anbetracht der modularen Antriebstechnologie sind Flugzeuge mit bis zu 40 Sitzplätzen denkbar [246].

V. Abkürzungen

BEV	Battery Electric Vehicle
BZ	Brennstoffzelle
CAPEX	Investitionskosten (capital expenditure)
EEG	Erneuerbare–Energien–Gesetz
E–Fuels	Electric fuels (synthetische Kraftstoffe)
EL	Elektrolyse
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle
H_2	Wasserstoff
HAT–EL	Hochtemperatur–Elektrolyse
LCOE	Levelized Cost of Energy
LNF	Leichte Nutzfahrzeuge
LSG	Liquid Synthetic Gas (synthetisches Flüssiggas)
OPEX	Betriebskosten (operational expenditure)
ÖPNV	Straßengebundener öffentlicher Personennahverkehr
PEM–EL	Polymerelektrolyt–Membran – Elektrolyse
PHEV	Plug–in Hybrid Electric Vehicle
SH	Schleswig–Holstein
SNF	Schwere Nutzfahrzeuge
SPNV	schienengebundenen Personennahverkehr
THG	Treibhausgas
VLS	Volllaststunden
WEA	Windenergieanlagen

VI. Literaturverzeichnis

[1] Meereis, J.; Lutz–Kulawik, T.; Rickert, M. et al.: Potenzialstudie Wasserstoffwirtschaft, 2019.

[2] Agora Verkehrswende, Agora Energiewende und Frontier Economics: Die zukünftigen Kosten strombasierter synthetischer Brennstoffe. (2018).

[3] Belmer, F.; Bensamann, B.; Brandt, T. et al.: Brennstoffzellen– und Batteriefahrzeuge. Bedeutung für die Elektromobilität – VDI/VDE–Studie, 2019.

[4] Kristuf, M.; Kuhn, J.; Maier, L. et al.: H2R – Wasserstoff Rheinland. FEINKONZEPT ZUM WETTBEWERB Modellregion Wasserstoff–Mobilität NRW, 2020.

[5] Pagenkopf, J.; Schirmer, T.; Böhm, M. et al.: Marktanalyse alternativer Antriebe im deutschen Schienen–personennahverkehr, 2020.

[6] Klebsch, W.; Guckes, N.; Heininger, P.: Bewertung klimaneutraler Alternativen zu Dieseltriebzügen. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen am Praxis–Beispiel ›Netz Düren‹. VDE Verband der Elektrotechnik, Elektronik Informationstechnik e. V, 2020.

[7] Vogler, F.; Würsig, G.: New Developments for Maritime Fuel Cell Systems. Forschungszentrum Jülich, 2010.

[8] Zerta, M.; Schmidt, P.; Weindorf, W. et al.: SHIPFUEL – Strombasierte Kraftstoffe für Brennstoffzellen in der Binnenschifffahrt. Hintergrundbericht; Studie im Auftrag der Nationalen Organisation Wasserstoff– und Brennstoffzellentechnologie (NOW) für das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), 2019.

[9] European Maritime Safety Agency: Study on the use of fuel cells ins Shipping, 2017.

[10] e4ships c/o hySOLUTIONS GmbH: e4ships. Brennstoffzellen im maritimen Einsatz. https://www.e4ships.de/ (Abruf: 30.09.2020).

[11] McKinsey & Company: Hydrogen–powered aviation. A fact–based study of hydrogen technology, economics, and climate impact by 2050. Clean Sky 2 JU and Fuel Cells and Hydrogen 2 JU, 2020.

[12] Siegemund, S.; Trommler, M.; Kolb, O. et al.: The potential of electricity–based fuels for low–emission transport in the EU. An expertise by LBST and dena, 2017.

[13] Busa, A.: Aviation and the environment: Sustainable Aviation Fuels. Open Access Government (2020), S. 450–451.

[14] Pichlmaier, S.; Hübner, T.; Kigle, S.: Welche strombasierten Kraftstoffe sind im zukünftigen Energiesystem relevant? https://www.ffe.de/publikationen/veroeffentlichungen/863–welche–strombasierten–kraftstoffe–sind–im–zukuenftigen–energiesystem–relevant (Abruf: 01.10.2020).

[15] GP JOULE GmbH: "eFarm" – echt nordisch. Innovatives Pilotprojekt: Wasserstoffmobilität in Nordfriesland. https://www.gp–joule.de/referenzen/efarm (Abruf: 30.09.2020).

[16] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Gewinner des Ideenwettbewerbs „Reallabore der Energiewende". https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/P–R/reallabore–der–energiewende–gewinner–ideenwettbewerb–steckbriefe.pdf?__blob=publicationFile (Abruf: 30.09.2020).

[17] Staatskanzlei des Landes Schleswig–Holstein: Revolution für den Güterverkehr. https://www.schleswig–holstein.de/DE/Landesregierung/I/_startseite/Artikel2020/III/200917_wasserstoff_logistik.html (Abruf: 30.09.2020).

[18] PLÜCOM e.K.: Wesküste100. Sektorenkopplung komplett: Grüner Wasserstoff und Dekarbonisierung im industriellen Maßstab. https://www.westkueste100.de/ (Abruf: 30.09.2020).

[19] Entwicklungsagentur Region Heide: KEROSyN100. http://kerosyn100.de/ (Abruf: 30.09.2020).

[20] Hamburger HOCHBAHN AG: Emissionsfrei mit grünem Wasserstoff. Innovative Antriebstechnologien. https://www.hochbahn.de/hochbahn/hamburg/de/Home/Medien/Presse/Presseinformationen/emissionsfrei_mit_gr%C3%BCnem_wasserstoff (Abruf: 19.10.2020).

[21] Hamburg Aviation e.V.: Hamburg Aviation. Deutschlands größter Luftfahrtstandort. https://www.hamburg-aviation.de/luftfahrt-standort.html (Abruf: 06.10.2020).

[22] Hydrogen Council (Hrsg.): Path to hydrogen competitiveness. A cost perspective, 2020.

[23] Kraftfahrt-Bundesamt: Statitiken. https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/fahrzeuge_node.html (Abruf: 11.11.2020).

[24] INFRAS Bern: HBEFA 4.1. Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs, 2019.

[25] Wirtschaftsförderung und Technologietransfer Schleswig-Holstein: Elektromobilität in Schleswig-Holstein. https://wtsh.de/innovative-ideen-realisieren/landeskoordinierungsstelle-elektromobilitaet/elektromobilitaet-in-sh/) (Abruf: 30.09.2020).

[26] Alstom S.A: Weltpremiere: Alstoms Wasserstoff-Züge starten im öffentlichen Linienverkehr in Niedersachsen, 2018.

[27] Niedersächsisches Ministerium für Wirtschaft, Arbeit, Verkehr und Digitalisierung: Weltweit erster Wasserstoffzug aus Niedersachsen. Im Gespräch mit Stefan Schrank, Produktmanager Coradia Lint + iLint bei Alstom Transport Deutschland GmbH. https://www.nds.de/de/darum-niedersachsen/erfolgsgeschichten/alstom (Abruf: 29.10.2020).

[28] Lübeck Port Authority: Implementierung einer Wasserstoffinfrastruktur am Skandinavienkai, 2020.

[29] Institut für Umwelttechnik und Energiewirtschaft: GreenPower2Jet – Power-to-Liquid (PtL) Demonstrationsvorhaben Norddeutschland. https://www.tuhh.de/iue/forschung/projekte/greenpower2jet.html (Abruf: 04.10.2020).

[30] Hamburg Aiport: Mit grünem Kraftstoff fliegen, 2019.

[31] ecomento.de: Bericht: EU will noch strengere CO2-Grenzwerte für Autos. https://ecomento.de/2020/09/14/eu-will-noch-strengere-co2-grenzwerte-fuer-autos-bericht/ (Abruf: 19.10.2020).

[32] Cerniauskas, S.; Grube, T.; Praktiknjo, A. et al.: Future Hydrogen Markets for Transportation and Industry: The Impact of CO2 Taxes. Energies 2019 (2019), Heft 12.

[33] Nahverkehrsverbund Schleswig-Holstein GmbH: NAH.SH. https://www.nah.sh/ (Abruf: 11.11.2020).

[34] Klell, M.; Eichlseder, H.; Trattner, A.: Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik. Erzeugung, Speicherung, Anwendung. ATZ/MTZ-Fachbuch. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2018.

[35] Toyota: Toyota Modelle. EGAL OB KLEINWAGEN ODER SUV, HYBRID- ODER NUTZFAHRZEUG. https://www.toyota.de/automobile/?focusImage=17-323795 (Abruf: 06.10.2020).

[36] Mercedes-Benz: Der neue GLC F-CELL. https://www.mercedes-benz.de/passengercars/mercedes-benz-cars/models/glc/glc-f-cell/der-neue-glc-f-cell/stage.module.html (Abruf: 05.10.2020).

[37] Daimler Global Media Site: Zukunft wird Gegenwart: Weltpremiere für den Mercedes-Benz Citaro FuelCELL-Hybrid. https://media.daimler.com/marsMediaSite/de/instance/ko/Zukunft-wird-Gegenwart-Weltpremiere-fuer-den-Mercedes-Benz-Citaro-FuelCELL-Hybrid.xhtml?oid=9271703 (Abruf: 26.11.2020).

[38] Toyota Europe: Long-distance driving with a hydrogen fuel cell car. https://www.toyota-europe.com/world-of-toyota/articles-news-events/long-distance-driving-with-toyota-mirai (Abruf: 24.11.2020).

[39] H2.LIVE: Toyota MIRAI. MIRAI bedeutet Zukunft. https://h2.live/wasserstoffautos/toyota–mirai (Abruf: 06.10.2020).

[40] Toyota: Toyota Mirai Concept: Ausblick auf zweite Modellgeneration. https://www.toyota.de/news/mirai_concept (Abruf: 24.11.2020).

[41] Lang, P.: Ab November, ab 63.900 Euro. https://www.auto–motor–und–sport.de/tech–zukunft/alternative–antriebe/toyota–mirai–zweite–generation–2020/ (Abruf: 24.11.2020).

[42] Werwitzke, C.: Neuer Toyota Mirai kostet in Deutschland ab 63.900 Euro. https://www.electrive.net/2020/10/27/neuer–toyota–mirai–kostet–in–deutschland–ab–63–900–euro/ (Abruf: 24.11.2020).

[43] Wilms, V.: Elbe–Lübeck–Kanal: Teil der Konzeptlosigkeit. https://valerie–wilms.de/themen/verkehr–mobilitaet/binnenschifffahrt/volltext–schifffahrt/article/elbe_luebeck_kanal_teil_der_konzeptlosigkeit/ (Abruf: 15.10.2020).

[44] Solaris: ZERO EMISSIONS POWERTRAINS: Produktkatalog 2020/2021 (2020).

[45] Solaris: RICHTUNG: Hydrogen. https://www.solarisbus.com/de/fahrzeuge/zero–emissions/hydrogen (Abruf: 06.10.2020).

[46] Schaal, S.: Solaris stellt neuen Brennstoffzellen–Bus Urbino 12 hydrogen vor. https://www.electrive.net/2019/06/11/solaris–stellt–neuen–brennstoffzellen–bus–urbino–12–hydrogen–vor/ (Abruf: 06.10.2020).

[47] Solaris: Wasserstoffbusse von Solaris in den Niederlanden! https://www.solarisbus.com/de/busmania/wasserstoffbusse–von–solaris–in–den–niederlanden–1045 (Abruf: 26.11.2020).

[48] Helmer, M.: Wien testet Wasserstoffbus Solaris Urbino 12 hydrogen. https://emobilitaet.online/news/produkte–und–dienstleistungen/6559–wien–solaris–wasserstoffbus (Abruf: 26.11.2020).

[49] Mottschall, M.; Kasten, P.; Minnich, L. et al. (Hrsg.): Sensitivitäten zur Bewertung der Kosten verschiedener Energieversorgungsoptionen des Verkehrs bis zum Jahr 2050 – Abschlussbericht. Abschlussbericht, 2019.

[50] Nefzger, E.: Hyundai Übergibt Ersten Brennstoffzellen–Lkw. https://www.verkehrsrundschau.de/nachrichten/hyundai–uebergibt–ersten–brennstoffzellen–lkw–2670750.html.

[51] Rathmann, M.; Eurotransport: Elektro–Lkw Nikola Tre kommt planmäßig. Iveco–Chef Marx hält am Zeitplan fest. https://www.eurotransport.de/artikel/iveco–chef–marx–haelt–am–zeitplan–fest–elektro–lkw–nikola–tre–kommt–planmaessig–11162232.html (Abruf: 05.10.2020).

[52] Renault: Brennstoffzelle für KANGOO Z.E. und MASTER Z.E. https://blog.renault.de/neues–von–renault–brennstoffzelle–fuer–kangoo–ze–master–ze/ (Abruf: 24.11.2020).

[53] Förster, S.: Renault Kangoo und Master Z.E. Hydrogen: Weiter mit Wasserstoff. https://www.mobile.de/magazin/artikel/renault–kangoo–und–master–ze–hydrogen–neuvorstellung–15988 (Abruf: 24.11.2020).

[54] Schaal, S.: Renault bringt Brennstoffzelle in leichte Nutzfahrzeuge (Abruf: 24.11.2020).

[55] Hyundai: Erste Brennstoffzellen–Lkw Hyundai Xcient Fuel Cell kommen nach Europa. https://www.hyundai.news/de/unternehmen/erste–brennstoffzellen–lkw–hyundai–xcient–fuel–cell–kommen–nach–europa/ (Abruf: 05.10.2020).

[56] Hyundai: Erste Brennstoffzellen–Lkw Hyundai Xcient Fuel Cell kommen nach Europa. https://www.hyundai.news/de/unternehmen/erste–brennstoffzellen–lkw–hyundai–xcient–fuel–cell–kommen–nach–europa/?L=0 (Abruf: 30.09.2020).

[57] Hyundai Hydrogen Mobility AG: Hyundai XCIENT Fuel Cell ist auf dem Weg nach Europa zur kommerziellen Nutzung – Lieferung von Seoul nach Antwerpen. https://hyundai-hm.com/2020/07/08/worlds-first-fuel-cell-heavy-duty-truck-hyundai-xcient-fuel-cell-heads-to-europe-for-commercial-use/ (Abruf: 24.11.2020).

[58] Alstom S.A: Coradia iLint Wasserstoffzug erhält Zulassung für den Fahrgasteinsatz im deutschen Schienenverkehrsnetz. https://www.alstom.com/de/press-releases-news/2018/7/coradia-ilint-wasserstoffzug-erhalt-zulassung-fur-den-fahrgasteinsatz-im-deutschen-schienenverkehrsnetz (Abruf: 06.10.2020).

[59] Alstom: Erfolgreiche erste Testfahrt von Alstoms Wasserstoffzug Coradia iLint bei 80 km/h. https://www.alstom.com/de/press-releases-news/2017/3/erfolgreiche-erste-testfahrt-von-alstoms-wasserstoffzug-coradia-ilint-bei-80-kmh (Abruf: 30.11.2020).

[60] IWR: Hydrogenics liefert für Alstom Brennstoffzellen-Züge. https://www.iwr.de/news/hydrogenics-liefert-fuer-alstom-brennstoffzellen-zuege-news35508 (Abruf: 26.11.2020).

[61] Jendrischik, M.: Leise zur Revolution: Alstom's Brennstoffzellenzug weckt breites Interesse.

[62] Alstom S.A: Coradia iLint – der weltweit erste Wasserstoffzug. https://www.alstom.com/de/our-solutions/rolling-stock/coradia-ilint-der-weltweit-erste-wasserstoffzug (Abruf: 26.11.2020).

[63] Pluta, W.: Hessen bestellt Brennstoffzellenzüge von Alstom. https://www.golem.de/news/coradia-ilint-hessen-bestellt-brennstoffzellenzuege-von-alstom-1905-141405.html (Abruf: 30.11.2020).

[64] FCH2 JU; Roland Berger: Development of Business Cases for Fuel Cells and Hydrogen Applications for Regions and Cities. FCH Boats (2017).

[65] HySeasIII: HySeasIII. https://www.hyseas3.eu/ (Abruf: 06.10.2020).

[66] Ausfelder, F.; Drake, F.-D.; Erlach, B. et al.: "Sektorkopplung" – Untersuchungen und Überlegungen zur Entwicklung eines integrierten Energiesystems. Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft. acetech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V; Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e.V. – Nationale Akademie der Wissenschaften; Union der Deutschen Akademien der Wissenschaften e.V, München, Halle (Saale), Mainz, 2017.

[67] Raffinerie Heide: Energising the north. https://www.heiderefinery.com/en/ (Abruf: 15.10.2020).

[68] Krempl, S.: VdTÜV-Umfrage: Hohe Preise und geringe Reichweite halten vom E-Auto-Kauf ab. https://www.heise.de/newsticker/meldung/VdTUeV-Umfrage-Hohe-Preise-und-geringe-Reichweite-halten-vom-E-Auto-Kauf-ab-4675646.html (Abruf: 30.11.2020).

[69] Metz, J.: Meinungsbild E-Mobilität. https://www.bdew.de/media/documents/Awh_20190527_Fakten-und-Argumente-Meinungsbild-E-Mobilitaet.pdf (Abruf: 30.11.2020).

[70] Kemmler, A.: Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen 2030/2050, 2020.

[71] Robinius, M.: Wege für die Energiewende. Kosteneffiziente und klimagerechte Transformationsstrategien für das deutsche Energiesystem bis zum Jahr 2050. Schriften des Forschungszentrums Jülich : [...], Reihe Energie & Umwelt, Band 499. Forschungszentrum Jülich GmbH Zentralbibliothek, Verlag, Jülich, 2020.

[72] Weichenhain, U.; Lange, S.; Koolen, J. et al.: Potenziale der Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Industrie in Baden-Württemberg, 2020.

[73] Deloitte China; Ballard Power Systems: Fueling the Future of Mobility. Hydrogen and fuel cell solutions for transportation, 2020.

[74] FCH2 JU; Roland Berger: Development of Business Cases for Fuel Cells and Hydrogen Applications for Regions and Cities. FCH Cars (2017).

[75] Apple Maps: Berichte zu Mobilitätstrends. https://covid19.apple.com/mobility (Abruf: 01.12.2020).

[76] Lienkamp; M; Schmid et al.: Status Elektromobilität: Das Endspiel nach der Corona Krise (2020).

[77] Proff, H.; Deloitte: Elektromobilität in Deutschland. Marktentwicklung bis 2030 und Handlungsempfehlungen, 2020.

[78] IEA: The Covid–19 Crisis and Clean Energy Progress. https://www.iea.org/reports/the–covid–19–crisis–and–clean–energy–progress/energy–integration#hydrogen (Abruf: 07.10.2020).

[79] Energie Lösung: Die Elektromobilität profitiert durch das Corona–Konjunkturprogramm! https://www.energieloesung.de/magazin/das–corona–konjunkturpaket–unterstuetzt–die–e–mobilitaet (Abruf: 07.10.2020).

[80] The Mobility House: Leise surren ab 12.000 Euro: Corona–Konjunkturpaket senkt Preise für E–Autos deutlich. https://www.mobilityhouse.com/de_de/magazin/e–mobility/corona–konjunkturpaket–senkt–preise–fuer–e–autos.html (Abruf: 07.10.2020).

[81] Christiansen, R.: Wasserstofftankstelle am Windpark Ellhöft in Westre, Telefonat, 2020.

[82] Wind2Gas: Projekte. https://www.w2g–energy.de/projekte/ (Abruf: 28.09.2020).

[83] Steinau, A.: Aufbau eines grünen regionalen Wasserstoffökosystems. Wasserstofftankstellen in Schleswig Holstein, 2020.

[84] Windpark Ellhöft: Wasserstofftankstelle und Elektrolyseur. https://windpark–ellhoeft.de/aktuell/ (Abruf: 18.09.2020).

[85] Johanning, R.: In Neumünster startet die grüne LKW–Zukunft. https://www.dvz.de/rubriken/test–technik/detail/news/in–neumuenster–startet–die–gruene–lkw–zukunft.html (Abruf: 18.09.2020).

[86] Anton Willer GmbH & Co KG: Eine grüne Wasserstoff–Tankstelle für Kiel! https://www.antonwiller.de/index.php/Elektromobilit%C3%A4t.html (Abruf: 11.11.2020).

[87] Ehret, O.: Wasserstoffmobilität: Stand, Trends, Perspektiven. DVGW, Bonn, 2020.

[88] Robinius, M.; Gillessen, B.: Initiale Wasserstofftankstelleninfrastruktur für Brennstoffzellen–Lkw in der STRING Region, 2020.

[89] Becker, B.: Nachgang Tankstellenworkshop SH: Kosten und Förderung H2–Tankstellen aus Sicht von H2Mobility, Telefonat, 2020.

[90] H2Mobility: Wir bauen das Tankstellennetz der Zukunft. https://h2.live/h2mobility (Abruf: 18.09.2020).

[91] Scope: Branchenstudie. Tankstellenmarkt 2018 Deutschland.

[92] LBV.SH: Verkehrsmengenkarte Schleswig–Holstein 2015.

[93] Robinius, M.; Linβen, J.; Grube, T. et al.: Comparative Analysis of Infrastructures: Hydrogen Fueling and Electric Charging of Vehicles, 2018.

[94] Schulte–Wintrop, F.: H2 Infrastruktur in SH heute und die Bedingungen für morgen. Wasserstofftankstellen in Schleswig Holstein, 2020.

[95] H2Mobility: 70 MPa Hydrogen Refuelling Station Standardization – Function Description of Station Modules, 2010.

[96] Projektträger Jülich: Aufruf zur Antragseinreichung zur Förderung von öffentlich zugänglichen Wasserstofftankstellen im Straßenverkehr (11/2017), 2017.

[97] BMJV: Energiesteuergesetz. EnergieStG, 2006.

[98] Bayerisches Staatsministeriums für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie: Bayerisches Förderprogramm zum Aufbau einer Wasserstofftankstelleninfrastruktur, Heft 2020, 2020.

[99] Mineralölwirtschaftsverband e.V.: Preiszusammensetzung Juli 2020. https://www.mwv.de/statistiken/preiszusammensetzung/.

[100] Europäisches Parlament und Rat: Richtlinie 2008/2001 zur Förderung der Nutung von Energien aus erneuerbaren Quellen. RED II, 2018.

[101] Europäisches Parlament und Rat: RICHTLINIE (EU) 2019/1161 zur Änderung der Richtlinie 2009/33/EG über die Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge. CVD, 2019.

[102] Europäisches Parlament und Rat: RICHTLINIE 2014/94/EU über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe. AFID, 2014.

[103] Europäisches Parlament und Rat: RICHTLINIE 2009/30/EG zur Änderung der Richtlinie 98/70/EG im Hinblick auf die Spezifikationen für Otto–, Diesel– und Gasölkraftstoffe und die Einführung eines Systems zur Überwachung und Verringerung der Treibhausgasemissionen sowie zur Änderung der Richtlinie 1999/32/EG des Rates im Hinblick auf die Spezifikationen für von Binnenschiffen gebrauchte Kraftstoffe und zur Aufhebung der Richtlinie 93/12/EWG. FQD, 2009.

[104] Europäisches Parlament und Rat: VERORDNUNG (EU) 2019/631 zur Festsetzung von CO2–Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen und für neue leichte Nutzfahrzeuge und zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 443/2009 und (EU) Nr. 510/2011. CO2–Flottenwertregulierung.

[105] Europäische Union: Die EU–Verordnungen zur Verminderung der CO2–Emissionen von Straßenfahrzeugen. https://www.bmu.de/gesetz/die–eu–verordnungen–zur–verminderung–der–co2–emissionen–von–strassenfahrzeugen/ (Abruf: 07.12.2020).

[106] Bundesamt für Justiz und Verbraucherschutz: Energiesteuergesetz. EnergieStG, 2006.

[107] Focus: Pkw–Flottenverbrauch in der EU. CO2–Ausstoß erneut gestiegen. https://www.focus.de/auto/news/pkw–flottenverbrauch–in–der–eu–co2–ausstoss–erneut–gestiegen_id_10874088.html#:~:text=Der%20durchschnittliche%20CO2%2DAussto%C3%9F%20von,%C3%BCber%20dem%20Wert%20des%20Vorjahres. (Abruf: 22.09.2020).

[108] Heidt, C.; Biemann, K.; Dünnebeil, F. et al.: Entwicklung und Bewertung von Maßnahmen zur Verminderung von CO2–Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen. Institut für Energie– und Umweltforschung Heidelberg GmbH, 2018.

[109] Europäisches Parlament und Rat: VERORDNUNG (EU) Nr. 1301/2013 über den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung und mit besonderen Bestimmungen hinsichtlich des Ziels "Investitionen in Wachstum und Beschäftigung" und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1080/2006. EFRE, 2013.

[110] Europäische Kommission: Innovation Fund. The Innovation Fund is one of the world's largest funding programmes for demonstration of innovative low–carbon technologies. https://ec.europa.eu/clima/policies/innovation–fund_de.

[111] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Erster Bericht über die Umsetzung des nationalen Strategierahmens in Deutschland. AFID–Bericht, gemäß Art. 10 Absatz 1 der. Berlin, 2019.

[112] Bundesnetzagentur; Bundeskartellamt: Monitoringbericht 2019. Bonn, 2020.

[113] Bundesamt für Justiz und Verbraucherschutz: Kraftfahrzeugsteuergesetz. KraftStG 2002, 1927.

[114] Bundesamt für Justiz und Verbraucherschutz: Elektromobilitätsgesetz. EmoG, 2015.

[115] Bundesamt für Justiz und Verbraucherschutz: Bundesfernstraßenmautgesetz. BFStrMG, 2011.

[116] Bundesamt für Justiz und Verbraucherschutz: Einkommensteuergesetz. EStG, 1934.

[117] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Nationales Innovationsprogramm Wsserstoff– und Brennstoffzellentechnologie Phase 2. NIP 2, 2017.

[118] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Absatz von elektrisch betriebenen Fahrzeugen (Umweltbonus). FÖRDERPROGRAMM. https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/BAFA/umweltbonus-elektrisch-betriebene-fahrzeuge.html (Abruf: 07.12.2020).

[119] Bundesministerium für Justiz und für Verbraucherschutz: Kraftfahrzeugsteuergesetz (KraftStG 2002). KraftStG 2002, 2002.

[120] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Marktaktivierung alternativer Technologien für die umweltfreundliche Bordstrom- und mobile Landstromversorgung von See- und Binnenschiffen (BordstromTech-Richtlinie). https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/BMVI/bordstromtech-richtlinie.html (Abruf: 07.12.2020).

[121] Europäische Union: Gesetz Über den Öffentlichen Personennahverkehr in Nordrhein-Westfalen (nach §13 Absatz 1 Nr. 6 ÖPNVG NRW). ÖPNVG NRW, 2014.

[122] Senatskanzlei: Mitteilung des Senats an die Bürgerschaft. https://www.buergerschaft-hh.de/ParlDok/dokument/59190/haushaltsplan-2017-2018-einzelplan-7-0-%E2%80%9Ebeh%C3%B6rde-f%C3%BCr-wirtschaft-verkehr-und-innovation%E2%80%9C-hier-nachbewilligung-nach-%C2%A7-35-lho-und-stellungnahme.pdf (Abruf: 07.12.2020).

[123] California Air Resources Board: LCFS Electricity and Hydrogen Provisions. https://ww2.arb.ca.gov/resources/documents/lcfs-electricity-and-hydrogen-provisions#:~:text=The%20LCFS%20incentivizes%20use%20of,the%20California%20LCFS%20credit%20market (Abruf: 14.10.2020).

[124] Alternative Fuels Data Center: Hydrogen Laws and Incentives in California. https://afdc.energy.gov/fuels/laws/HY?state=CA (Abruf: 07.12.2020).

[125] Kan, S.: South Korea's Hydrogen Strategy and Industrial Perspectives. Édito Énergie (2018).

[126] Mohanty, S.; Lee, C.: South Korea's hydrogen ambitions propel Hyundai Motor into top gear. https://www.spglobal.com/platts/es/market-insights/latest-news/electric-power/061020-south-koreas-hydrogen-ambitions-propel-hyundai-motor-into-top-gear (Abruf: 14.10.2020).

[127] Ha, J. E.: Hydrogen Economy Plan in Korea, 2019.

[128] Medimorec, N.: Electric car incentives in Korea are double-edged sword. The Korea Times (2019).

[129] Cox, T.: South Korea boosts EV subsidies to spur demand. https://www.argusmedia.com/en/news/2054477-south-korea-boosts-ev-subsidies-to-spur-demand (Abruf: 14.10.2020).

[130] Valovirta, V.: Case Study Report Hydrogen Society (Japan). Mission-oriented R&I policies: In-depth case studies, 2018.

[131] Nagashima, M.: Japan's hydrogen strategy and its economic and geopolitical implications. Etudes de l'Ifri. Ifri, Paris, France, 2018.

[132] Chaben, J.: Japan Fuel Cell Developments. http://www.fchea.org/in-transition/2019/3/11/japan-fuel-cell-developments (Abruf: 15.10.2020).

[133] Ministerial Council on Renewable Energy: Basic Hydrogen Strategy, 2017.

[134] IEA: Subsidies for new clean energy vehicles. https://www.iea.org/policies/6184-subsidies-for-new-clean-energy-vehicles (Abruf: 15.10.2020).

[135] NeV: Overview of CEV Subsidy. http://www.cev-pc.or.jp/english/cev-subsidy.html (Abruf: 15.10.2020).

[136] Phillips, S.: Japan Is Betting Big On The Future Of Hydrogen Cars. https://www.npr.org/2019/03/18/700877189/japan-is-betting-big-on-the-future-of-hydrogen-cars?t=1601279793320 (Abruf: 15.10.2020).

[137] Harding, R.: Japan's hydrogen dream: game-changer or a lot of hot air? https://www.ft.com/content/c586475e-7260-11e9-bf5c-6eeb837566c5 (Abruf: 15.10.2020).

[138] International Council on Clean Transportation: China's New Energy Vehicle Mandate Policy (Final Rule). https://theicct.org/sites/default/files/publications/China_NEV_mandate_PolicyUpdate%20_20180525.pdf (Abruf: 15.10.2020).

[139] Wirtschafts- und Verkehrsministerien der norddeutschen Küstenländer: Norddeutsche Wasserstoffstrategie, 2019.

[140] Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr, Arbeit, Technologie und Tourismus: Richtlinie für die Gewährung von Zuwendungen zur Förderung von kommunalen Hafenbaumaßnahmen in Schleswig-Holstein, 2019.

[141] Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Arbeit, Technologie und Tourismus: Richtlinie für die Gewährung von Zuwendungen zur Förderung der Energiewende und von Umweltinnovationen. EUI-Richtlinie, 2015.

[142] Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e.V: Portfolio KEROSyN100. https://www.ikem.de/portfolio/kerosyn100/ (Abruf: 04.10.2020).

[143] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Die Nationale Wasserstoffstrategie. Berlin, 2020.

[144] Werwitzke, C.: Airbus arbeitet an Flugzeugstudien mit Wasserstoff-Antrieb. https://www.electrive.net/2020/09/21/airbus-arbeitet-an-flugzeugstudien-mit-wasserstoff-antrieb/ (Abruf: 05.10.2020).

[145] Werwitzke, C.: Ballard stellt Brennstoffzellen-Modul für Schiffe vor. https://www.electrive.net/2020/09/08/ballard-stellt-brennstoffzellen-modul-fuer-schiffe-vor/ (Abruf: 16.10.2020).

[146] Global Energy Ventures Ltd: DEVELOPMENT OF WORLD FIRST COMPRESSED Hydrogen Ship To Export `Zero Carbon` Energy. https://gev.com/wp-content/uploads/2020/10/launch-of-compressed-hydrogen-ship.pdf (Abruf: 19.10.2020).

[147] H2 MOBILITY Deutschland GmbH & Co. KG: H2 Live. https://h2.live/ (Abruf: 16.10.2020).

[148] Forschungs- und Entwicklungszentrum Fachhochschule Kiel GmbH: FESH – Feldversuch eHighway an der BAB A1 in Schleswig-Holstein, eHighway.SH. https://www.ehighway-sh.de/de/ (Abruf: 16.10.2020).

[149] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Gewinner des Ideenwettbewerbs „Reallabore der Energiewende". Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.

[150] Westküste100. https://www.westkueste100.de/raffinerie-heide/ (Abruf: 05.10.2020).

[151] Entwicklungsagentur Region Heide: KEROSyN100. https://www.westkueste100.de/ (Abruf: 30.09.2020).

[152] Hamburg Aviation: Deutschlands größter Luftfahrtstandort. https://www.hamburg-aviation.de/luftfahrt-standort.html (Abruf: 19.10.2020).

[153] Gesamtverband Schleswig-Holsteinischer Häfen e.V.: Schleswig-holsteinische Häfen. Netzknoten maritimer Wirtschaft zwischen Nord-, Ost- und Kontinentaleuropa. https://www.haefen-sh.de/sh-haefen (Abruf: 19.10.2020).

[154] e4ships c/o hySOLUTIONS GmbH: e4ships. Brennstoffzellen im maritimen Einsatz. https://www.e4ships.de/ (Abruf: 30.09.2020).

[155] Zentrum für Angewandte Luftfahrtforschung: Fuel Cell Lab. https://zal.aero/innovation–rt/research–infrastructure/ (Abruf: 19.10.2020).

[156] H2Mobility: H2 tanken. Wasserstoffmobilität beginnt jetzt. https://h2.live/ (Abruf: 19.10.2020).

[157] Energiepark Mainz: Erfahrungen beim Genehmigungsverfahren der Power–to–Gas Anlage „Energiepark Mainz". Handlungsempfehlung hinsichtlich einer Vereinfachung des Genehmigungsverfahrens bei Power–to–Gas–Anlagen. https://www.energiepark–mainz.de/uploads/tx_news/2016–03–31_Genehmigungsverfahren_Erfahrungen_Handlungsempfehlungen.pdf (Abruf: 19.10.2020).

[158] Landesverband Erneuerbare Energien Schleswig–Holstein (Hrsg.): Maßnahmenkatalog EE–Wasserstoff SH. zur Drucksache 19/1801 des Schleswig–Holsteinischen Landtags, 2020.

[159] Klebsch, W.; Guckes, N.; Heininger, P.: Bewertung klimaneutraler Alternativen zu Dieseltriebzügen. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen am Praxis–Beispiel ›Netz Düren‹, 2020.

[160] Forschungs– und Entwicklungszentrum Fachhochschule Kiel GmbH: FESH – Feldversuch eHighway an der BAB A1 in Schleswig–Holstein, eHighway.SH.

[161] McKinsey & Company: Hydrogen–powered aviation. A fact–based study of hydrogen technology, economics, and climate impact by 2050, 2020.

[162] Zerta, M.; Schmidt, P.; Weindorf, W. et al.: SHIPFUEL – Strombasierte Kraftstoffe für Brennstoffzellen in der Binnenschifffahrt. Hintergrundbericht; Studie im Auftrag der Nationalen Organisation Wasserstoff– und Brennstoffzellentechnologie (NOW) für das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI),, 2019.

[163] Bründlinger, T.; Elizadle König, J.; Frank, O. et al.: dena–Leitstudie Integrierte_Energiewende. Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050, 2018.

[164] Joest, S.; Fichtner, M.; Wietschel, M. et al.: Woher kommt der Wasserstoff in Deutschland bis 2050?, 2009.

[165] Albrecht, U.; Bünger, U.; Michalski, J. et al.: Kommerzialisierung der Wasserstoff–Technologie in Baden–Württemberg. Rahmenbedingungen und Perspektiven, 2016.

[166] Bünger, U.; Landinger, H.; Pschorr–Schoberer, E. et al.: Power–to–Gas (PtG) in transport. Status quo and perspectives for development, 2014.

[167] Hydrogen Council: Hydrogen scaling up. A sustainable pathway for the global energy transition, 2017.

[168] Hyundai: Der Hyundai NEXO. https://www.hyundai.de/modelle/nexo/ (Abruf: 06.10.2020).

[169] H2.LIVE: Hyundai NEXO. FUV – Future Utility Vehicle. https://h2.live/wasserstoffautos/hyundai–nexo (Abruf: 06.10.2020).

[170] Harloff, T.: Die Ladenhüter des vergangenen Jahres. https://www.auto–motor–und–sport.de/verkehr/neuzulassungen–flop–50–ladenhueter–2019/ (Abruf: 24.11.2020).

[171] May, H.: Werden Brennstoffzellen–Autos auch gefördert? https://www.dmt–puls.de/news/werden–brennstoffzellen–autos–auch–gefoerdert/#:~:text=Der%20Listenpreis%20des%20Hyundai%20Nexo,f%C3%B6rderf%C3%A4higen%20Fahrzeuge%20gibt%20es%20hier. (Abruf: 24.11.2020).

[172] Audi MediaCenter: Der Audi A7 Sportback h–tron quattro. https://www.audi–mediacenter.com/de/audi–future–performance–days–2015–5097/der–audi–a7–sportback–h–tron–quattro–5107https://www.audi–mediacenter.com/de/pressemitteilungen/der–audi–a7–sportback–h–tron–quattro–4367 (Abruf: 24.11.2020).

[173] MotorTalk: Dieser Audi A7 geht nie in Serie. https://www.motor–talk.de/news/dieser–audi–a7–geht–nie–in–serie–t5127562.html (Abruf: 24.11.2020).

[174] Grundhoff, S.: Nächster Anlauf für den Wasserstoff: Kommt die Brennstoffzelle doch noch? https://www.automobil-produktion.de/technik-produktion/fahrzeugtechnik/naechster-anlauf-fuer-den-wasserstoff-kommt-die-brennstoffzelle-doch-noch-118.html (Abruf: 24.11.2020).

[175] Honda News: Honda Clarity Fuel Cell 2017 – Pressemappe. https://hondanews.eu/at/de/cars/media/pressreleases/107266/honda-clarity-fuel-cell-2017-pressemappe (Abruf: 24.11.2020).

[176] H2.LIVE: Honda Clarity Fuel Cell. Alles unter der Motorhaube. https://h2.live/wasserstoffautos/honda-clarity-fuel-cell (Abruf: 06.10.2020).

[177] Honda: Honda übergibt Brennstoffzellenfahrzeug. https://www.honda.de/cars/world-of-honda/news-events/2019-08-08-honda-uebergibt-brennstoffzellenfahrzeug.html (Abruf: 24.11.2020).

[178] BMW Group: BMW I Hydrogen NEXT. Unser Brennstoffzellen-Entwicklungsfahrzeug. https://www.bmwgroup.com/de/unternehmen/bmw-group-news/artikel/BMWi_Hydrogen_NEXT.html (Abruf: 24.11.2020).

[179] Drechsler, N.: BMW i Hydrogen NEXT auf der IAA 2019. https://www.press.bmwgroup.com/deutschland/article/detail/T0300507DE/bmw-i-hydrogen-next-auf-der-iaa-2019?language=de (Abruf: 24.11.2020).

[180] Gebhardt, M.: Brennstoffzellen-BMW kommt 2022. BMW i Hydrogen Next. https://www.firmenauto.de/bmw-i-hydrogen-next-brennstoffzellen-bmw-kommt-2022-10891490.html#:~:text=BMW%20bringt%20den%20Wasserstoffantrieb%20in,Stromer%20im%20gro%C3%9Fen%20Stil%20bringen. (Abruf: 24.11.2020).

[181] ADAC: Mercedes GLC F-Cell: Das Aus für die Wasserstoff-Brennstoffzelle. https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autokatalog/marken-modelle/mercedes/mercedes-glc-fuel-cell/ (Abruf: 05.10.2020).

[182] Vision Mobility: Mercedes-Benz stellt GLC F-Cell ein. https://vision-mobility.de/news/mercedes-benz-stellt-glc-f-cell-ein-43624.html (Abruf: 24.11.2020).

[183] Opel Media: Forschung & Entwicklung in Rüsselsheim für die gesamte Groupe PSA. https://de-media.opel.com/de/forschung-entwicklung-r%C3%BCsselsheim-f%C3%BCr-die-gesamte-groupe-psa (Abruf: 24.11.2020).

[184] Auto.de: Opel HydroGen4: Wasserstoffauto im Alltagstest. https://www.auto.de/magazin/opel-hydrogen4-wasserstoffauto-im-alltagstest/ (Abruf: 24.11.2020).

[185] Opel Media: „Opel wird elektrisch": CEO Michael Lohscheller kündigt auf der IAA nächste Schritte der Opel-Elektro-Offensive an. https://de-media.opel.com/de/09-10-opel-wird-elektrisch (Abruf: 24.11.2020).

[186] Auto Zeitung: Dampf ablassen. VW Golf Hymotion Variant: Brennstoffzellen-Auto auf der L.A. Auto Show 2014. https://www.autozeitung.de/vw-golf-hymotion-variant-2014-la-auto-show-brennstoffzelle-wasserstoff-87618.html (Abruf: 05.10.2020).

[187] Leichsenring, S.: VW: Elektroautos sind viel effizienter als Wasserstoff-Fahrzeuge. https://de.motor1.com/news/403772/vw-elektroauto-brennstoffzelle-wasserstoff/#:~:text=Das%20spielt%20laut%20VW%20schon,Laden%20immer%20schneller%2C%20so%20VW.&text=Das%20Fazit%20von%20VW%20ist,praktisch%20nichts%20f%C3%BCr%20den%20Wasserstoff. (Abruf: 24.11.2020).

[188] Van Hool: Van Hool baut 40 Wasserstoffbusse für Kölner und Wuppertaler Verkehrsunternehmen. https://www.vanhool.be/de/nachrichten/grote-auftrag-weltweit-van-hool-baut-40-wasserstoffbusse-fur-kolner-und-wuppertaler-verkehrsunternehmen (Abruf: 26.11.2020).

[189] Sustainable Bus: Van Hool towards the launch of the new A330 FC and Exqui.City 18 FC. A fuel cell future. https://www.sustainable-bus.com/news/van-hool-launch-new-a330-fc-and-exqui-fuel-cell-future/ (Abruf: 26.11.2020).

[190] HyCologne: Van Hool H2-Brennstoffzellenbus fährt während der HANNOVER. https://www.hycologne.de/2015/03/17/van-hool-h2-brennstoffzellenbus-fahrt-wahrend-der-hannover-messe/ (Abruf: 06.10.2020).

[191] Daimler Truck Fuel Cell: Brennstoffzellenbusse zeigen heute schon, wo die Zukunft hinführt. https://www.daimler-truck-fuelcell.com/aktuelles-leser/emissionsfrei-durch-die-stadt-f-cell-busse-bewaehren-sich (Abruf: 26.11.2020).

[192] Toyota: Toyota präsentiert Brennstoffzellenbus „Sora". https://www.toyota.de/news/toyota-stellt-brennstofzellenbus-auf-tokyo-motorshow-vor (Abruf: 26.11.2020).

[193] Toyota: Brennstoffzellenbus Toyota Sora noch sicherer Unterwegs. https://www.toyota.de/news/toyota-sora-brennstoffzellenbus-sicherheit (Abruf: 26.11.2020).

[194] Wagner, T.: Brennstoffzellen-Stadtbusse für Portugal (Abruf: 26.11.2020).

[195] Verkehrswesen: Caetano Bus präsentiert neuen Stadtbus H2.City Gold. https://www.internationales-verkehrswesen.de/caetano-bus-sa-praesentiert-neuen-stadtbus-h2-city-gold/ (Abruf: 26.11.2020).

[196] CaetanoBus: H2.City Gold. Hydrogen in, water out. https://caetanobus.pt/en/buses/h2-city-gold/ (Abruf: 26.11.2020).

[197] Schaal, S.: Barcelona bestellt acht H2-Bussee bei Caetano. https://www.electrive.net/2020/09/24/barcelona-bestellt-acht-h2-busse-bei-caetano/ (Abruf: 26.11.2020).

[198] Manthey, N.: Mercedes-Benz Vans presents fuel cell Sprinter concept. https://www.electrive.com/2018/07/02/mercedes-benz-vans-presents-fuel-cell-sprinter-concept/ (Abruf: 24.11.2020).

[199] Jordan, M.: Mercedes-Benz zeigt erstmals Concept Sprinter F-CELL #IAA2018. https://blog.mercedes-benz-passion.com/2018/07/mercedes-benz-zeigt-erstmals-concept-sprinter-f-cell-iaa2018/ (Abruf: 24.11.2020).

[200] Seibt, T.: Wohnmobil mit Brennstoffzellen-Antrieb. https://www.auto-motor-und-sport.de/news/mercedes-sprinter-fcell-brennstoffzelle-wohnmobil/ (Abruf: 24.11.2020).

[201] Schmidt, B.: Mit der Brennstoffzelle gegen das Reichweitenproblem. https://www.faz.net/aktuell/technik-motor/motor/concept-sprinter-f-cell-faehrt-mithilfe-von-brennstoffzelle-15681271.html (Abruf: 24.11.2020).

[202] Toyota: Toyota Brennstoffzellen-Lkw ab Frühjahr 2022 im Praxistest. https://www.toyota.de/news/brennstoffzellen-lkw-ab-2022 (Abruf: 24.11.2020).

[203] Industrie.de: Toyota und Hino Motors entwickeln Brennstoffzellen-Truck. https://industrie.de/mobilitaet/toyota-hino-brennstoffzellen-lkw/ (Abruf: 24.11.2020).

[204] Manager Magazin: Volkswagen und Toyota bündeln ihre Kräfte für Elektro-Trucks. https://www.manager-magazin.de/unternehmen/autoindustrie/traton-se-joint-venture-mit-hino-volkswagen-und-toyota-buendeln-ihre-kraefte-fuer-elektro-trucks-a-31fa7acb-82e4-44d6-92a4-8567fd31d6e2 (Abruf: 24.11.2020).

[205] Dekra: Traton und Hino gründen Joint Venture. https://www.dekra.net/de/traton-hino-partnerschaft/ (Abruf: 24.11.2020).

[206] Ecomento: Bremen testet Wasserstoff-Müllfahrzeug von Faun, Serienstart für 2021 geplant. https://ecomento.de/2020/08/14/bremen-testet-faun-wasserstoff-muellfahrzeug-serienstart-2021/ (Abruf: 24.11.2020).

[207] Faun: Die Zukunft der emissionsfreien Entsorgung. https://www.faun.com/produkte/alternative_antriebe/bluepower/ (Abruf: 24.11.2020).

[208] Hoffmann, J.: Bremen erprobt Müll–Lkw mit Brennstoffzelle. https://www.eurotransport.de/artikel/faun–bluepower–im–test–bremen–erprobt–muell–lkw–mit–brennstoffzelle–11166605.html (Abruf: 24.11.2020).

[209] Daimler Truck: Technologiestrategie für Elektrifizierung: Weltpremiere des Mercedes–Benz Brennstoffzellen–Konzept–Lkw. https://www.daimler–truck.com/innovation–nachhaltigkeit/effizient–emissionsfrei/brennstoffzellen–lkw–mercedes–benz–genh2–truck.html (Abruf: 24.11.2020).

[210] Daimler Media: Daimler Trucks präsentiert Technologiestrategie für Elektrifizierung – Weltpremiere des Mercedes–Benz Brennstoffzellen–Konzept–Lkw. https://media.daimler.com/marsMediaSite/de/instance/ko.xhtml?oid=47453560&ls=L2RlL2luc3RhbmNlL2tvLnhodG1sP29pZD00NzQ2OTQ2MSZyZWxJZD02MDgyOSZmcm9tT2lkPTQ3NDY5NDYxJmJvcmRlcnM9dHJ1ZSZyZXN1bHRJbmZvVHlwZUlkPTQwNjI2JnZpZXdUeXBlPWxpc3Qmc29ydERlZmluaXRpb249UFVCTEITSEVEX0FULTImdGh1bWJTY2FsZUluZGV4PTAmcm93Q291bnRzSW5kZXg9NSZmcm9tSW5mb1R5cGVJZD00MDYyOA!!&rs=0 (Abruf: 24.11.2020).

[211] Elektroauto–News: Mercedes–Benz Brennstoffzellen–Konzept–Lkw erblickt das Licht der Welt. https://www.elektroauto–news.net/2020/mercedes–benz–brennstoffzellen–konzept–lkw–genh2–truck (Abruf: 24.11.2020).

[212] Schaal, S.: Daimler und Volvo gründen Brennstoffzellen–Joint–Venture. https://www.electrive.net/2020/11/02/daimler–und–volvo–gruenden–brennstoffzellen–joint–venture/ (Abruf: 24.11.2020).

[213] Daimler: Brennstoffzellen–Joint Venture. Volvo Group und Daimler Truck AG unterzeichnen verbindliche Vereinbarung. https://www.daimler.com/konzern/news/brennstoffzellen–joint–venture–volvo.html#:~:text=November%202020%20%2D%20Die%20Volvo%20Group,Produktion%20und%20Vermarktung%20von%20Brennstoffzellensystemen. (Abruf: 26.11.2020).

[214] Toyota: Emissionsfreier Güterverkehr mit neuem Brennstoffzellen–Lkw. https://www.toyota.de/news/brennstoffzellen–lkw–toyota–kenworth (Abruf: 26.11.2020).

[215] Kenworth: The Kenworth T680 with Integrated Toyota Hydrogen Fuel Cell Technology Stars at Port of Los Angeles. https://www.kenworth.com/news/news–releases/2019/april/kenworth–toyota–pola/ (Abruf: 05.10.2020).

[216] Platzer–Autowelt: Emissionsfreier Güterverkehr mit neuem Brennstoffzellen–Lkw. https://platzer–autowelt.de/hp53801/Emissionsfreier–Gueterverkehr–mit–neuem–Brennstoffzellen–Lkw.htm (Abruf: 26.11.2020).

[217] Iveco: Nikola Tre wird in Ulm gebaut. CNH Industrial und Nikola Motor Company bauen Nikola TRE in Ulm. https://www.iveco.com/germany/presse/veroeffentlichungen/pages/cnhi–und–nikola–bauen–nikola–tre.aspx (Abruf: 26.11.2020).

[218] Seibt, T.: Wasserstoff–Lkw mit 1.000 PS. https://www.auto–motor–und–sport.de/news/nikola–one–wasserstoff–truck–1000–ps/ (Abruf: 26.11.2020).

[219] Hoffmann, J.: Elektro–Lkw kommt 2021. Nikola Tre auf Iveco–Basis. https://www.eurotransport.de/artikel/nikola–tre–auf–iveco–basis–elektro–lkw–kommt–2021–11037980.html (Abruf: 26.11.2020).

[220] Buchenau, M.: Iveco baut Elektro– und Brennstoffzellen–Lkw Nikola TRE in Ulm. https://www.handelsblatt.com/technik/forschung–innovation/nutzfahrzeughersteller–iveco–baut–elektro–und–brennstoffzellen–lkw–nikola–tre–in–ulm/25519686.html?ticket=ST–1281373–WQ0RtvG1JNDqu9bkU5bb–ap3 (Abruf: 26.11.2020).

[221] Brien, J.: Nikola Tre: E–Truck des Tesla–Rivalen soll in Deutschland gebaut werden. https://t3n.de/news/nikola–tre–e–truck–tesla–rivalen–1250946/ (Abruf: 26.11.2020).

[222] Siemens Mobility GmbH: Mireo. Der Zug, der alle intelligent vereint, 2019.

[223] Siemens Mobility GmbH: Erstzulassung für den neuen Mireo von Siemens Mobility. https://press.siemens.com/global/de/pressemitteilung/erstzulassung–fuer–den–neuen–mireo–von–siemens–mobility (Abruf: 30.11.2020).

[224] Rother, F. W.: Siemens verkauft seinen ersten Batteriezug. https://edison.media/siemens–setzt–batteriezuege–aufs–gleis/25202512/ (Abruf: 30.11.2020).

[225] Brien, J.: Deutsche Bahn und Siemens bauen Wasserstoffzug mit Schnellbetankung (Abruf: 30.11.2020).

[226] Ballard Power Systems: Tangshan Railway Vehicle Company Commences Hydrogen Powered Tram Trial. https://www.ballard.com/about–ballard/newsroom/market–updates/tangshan–railway–vehicle–company–commences–hydrogen–powered–tram–trial (Abruf: 30.11.2020).

[227] Mitzel, J.; Friedrich, K. A.: Wasserstoff und Brennstoffzellen 2018. https://www.ingenieur.de/fachmedien/bwk/energieversorgung/wasserstoff–und–brennstoffzellen–2/ (Abruf: 30.11.2020).

[228] Lustig, D.: BNSF explores the fuel cell. https://www.railwaygazette.com/news/bnsf–explores–the–fuel–cell/33745.article (Abruf: 30.11.2020).

[229] Green Car Congress: BNSF Railway and Vehicle Projects Develop Experimental Hydrogen Fuel–Cell Switch Locomotive; Locomotive–to–Grid Application Explored. https://www.greencarcongress.com/2008/01/bnsf–railway–an.html (Abruf: 30.11.2020).

[230] Trainoftheweek: BNSF HH20B. https://trainoftheweek.blogspot.com/2010/02/bnsf–hh20b.html (Abruf: 06.10.2020).

[231] Schaal, S.: Norweger wollen Service–Schiff mit Wasserstoffantrieb bauen. https://www.electrive.net/2019/11/20/norweger–wollen–errichterschiff–mit–wasserstoffantrieb–bauen/ (Abruf: 30.11.2020).

[232] EES–e.V.: Mit H2 (Wasserstoff) zum Windpark. https://ees–ev.de/mit–h2–wasserstoff–zum–windpark/ (Abruf: 30.11.2020).

[233] En:former: Stapellauf für Japans ambitionierte Wasserstoff–Strategie. Der Inselstaat arbeitet an dem weltweit ersten Tankschiff für das flüchtige Gas. https://www.en–former.com/japan–weltweit–erster–tanker–fuer–wasserstoff–als–teil–ambitionierter–strategie/ (Abruf: 30.11.2020).

[234] Kawasaki Global: World's First Liquefied Hydrogen Carrier SUISO FRONTIER Launches Building an International Hydrogen Energy Supply Chain Aimed at Carbon–free Society. https://global.kawasaki.com/en/corp/newsroom/news/detail/?f=20191211_3487 (Abruf: 30.11.2020).

[235] Freist, R.: Kawasaki baut den ersten Wasserstofftanker. https://www.hannovermesse.de/de/news/news–fachartikel/kawasaki–baut–den–ersten–wasserstofftanker#:~:text=F%C3%BCr%20den%20Transport%20des%20auf,erster%20Wasserstoff%2DTransporter%20der%20Welt (Abruf: 30.11.2020).

[236] HySeasIII: Consortium. https://www.hyseas3.eu/ (Abruf: 30.11.2020).

[237] Gomez Trillos, J. C.: Forschungsprojekt HySeas III. Die Realisierung der weltweit ersten wasserstoffbetriebenen Hochseefähre mit Brennstoffzellen für den Personen– und Fahrzeugtransport. https://www.dlr.de/ve/desktopdefault.aspx/tabid–13039/22775_read–52988/ (Abruf: 30.11.2020).

[238] Gomez Trillos, J. C.; Wilken, D.; Brand, U. et al.: HySeas III: The World's First Sea–Going Hydrogen–Powered Ferry – A Look at its Technical Aspects, Market Perspectives and

Environmental Impacts. Nutzung Regenerativer Energiequellen und Wasserstofftechnik 2019, 2019.

[239] DW: Das Wasserstoff–Flugzeug nimmt Gestalt an. https://www.dw.com/de/das–flugzeug–mit–wasserstoffantrieb/a–55040747 (Abruf: 30.11.2020).

[240] Lücke, H.: Airbus ZEROe: So sieht das Flugzeug der Zukunft aus. https://www.inside–digital.de/news/airbus–zeroe–das–flugzeug–der–zukunft (Abruf: 30.11.2020).

[241] Industrie.de: In die emmissionsfreie Zukunft mit dem „Electric Flight Demonstrator". https://industrie.de/technik/in–die–emmissionsfreie–zukunft–mit–dem–electric–flight–demonstrator/ (Abruf: 30.11.2020).

[242] Deut-sches Zen-trum für Luft– und Raum-fahrt (DLR): DLR und MTU Ae-ro En-gi-nes er-for-schen Flug-an-trieb mit Brenn-stoff-zel-le. https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2020/03/20200805_dlr–und–mtu–aero–engines–erforschen–flugantrieb–mit–brennstoffzelle.html (Abruf: 30.11.2020).

[243] Kaminski–Morrow, D.: ZeroAvia conducts pioneering flight with hydrogen–electric M350. https://www.flightglobal.com/air–transport/zeroavia–conducts–pioneering–flight–with–hydrogen–electric–m350/140317.article (Abruf: 30.11.2020).

[244] Zero Avia: Piper absolviert Jungfernflug mit Wasserstoff. https://www.aerotelegraph.com/zero–avia–piper–absolviert–jungfernflug–mit–wasserstoff (Abruf: 30.11.2020).

[245] Alcock, C.: ZeroAvia Targets Commercial Hydrogen Aircraft Ops by 2023. https://www.ainonline.com/aviation–news/air–transport/2020–06–23/zeroavia–targets–commercial–hydrogen–aircraft–ops–2023#:~:text=ZeroAvia%20believes%20that%20by%202023,up%20to%20around%20500%20nm. (Abruf: 30.11.2020).

[246] Kallo, J.: Hy4 – Emissionsfreie Passagierflüge. https://www.dlr.de/tt/desktopdefault.aspx/tabid–10743/ (Abruf: 30.11.2020).