



EINSTIEG IN EINE GRÜNE WASSERSTOFFWIRTSCHAFT

THESENPAPIER FÜR DEN DEUTSCHEN WASSERSTOFF- UND
BRENNSTOFFZELLEN-VERBAND (DWV)



**ludwig bölkow
systemtechnik**

Reinhold Wurster, Christopher Kutz, Martin Zerta
November 2020

EXPERTISE DER LUDWIG-BÖLKOW-SYSTEMTECHNIK GMBH
ERSTELLT UNTER MITWIRKUNG DES DWV UND UNTER
BERÜCKSICHTIGUNG SEINER POLITISCHEN FORDERUNGEN



VORWORT

Grüner Wasserstoff kann einen wesentlichen Beitrag dazu leisten, Mensch und Natur zu versöhnen. Gleichzeitig bietet grüner Wasserstoff die Möglichkeit, Besitzstand und Wohlstand langfristig zu sichern und birgt dadurch die einmalige Chance, bereits heute für zukünftige Generationen vorzusorgen. Deutschland kann diesen Transformationsprozess aktiv mitgestalten oder aber lediglich begleiten. Das vorliegende Thesenpapier zeigt den Weg in eine nachhaltige und industrielle Wasserstoffwirtschaft auf.

ZUSAMMENFASSUNG

Mit der Umsetzung der folgenden fünf Thesen wird ein schneller Einstieg in eine grüne Wasserstoffwirtschaft Realität. Dies ist nicht nur für das Erreichen unserer Klimaschutzziele erforderlich, sondern stärkt gleichzeitig auch die Souveränität Europas hinsichtlich Energiesicherheit und Technologieführerschaft und sichert damit langfristig unseren sozialen Wohlstand.

» Wasserstoff ist der Schlüssel zu einem treibhausgasneutralen, versorgungssicheren und bezahlbaren Energiesystem, das unserem Anspruch als Industrie-, Automobil- und Energiewendeland gerecht wird. «

Deutschland braucht grünen Wasserstoff, um die ambitionierten Klimaschutzziele zu erreichen. Als Industrie- und Automobilland sind wir auf ein bezahlbares Energiesystem mit hoher Versorgungssicherheit angewiesen und dürfen gleichzeitig unseren Wohlstand nicht auf Kosten der nächsten Generationen bewahren.

» Weltweit wird eine Wende zu erneuerbaren Energien und Wasserstoff vollzogen. Deutschland muss aktiver werden, um den Wandel mitgestalten und eigene Vorstellungen einbringen zu können. «

Regierungen und Unternehmen weltweit haben die Notwendigkeit und das wirtschaftliche Potenzial von Wasserstoff erkannt. Heute werden die Weichen gestellt, wie das zukünftige Energiesystem aussehen wird und Deutschland muss sich hier klar für einen nachhaltigen Wandel einsetzen.



» Wasserstofftechnologien „Made in Germany“ – Deutsche Akteure müssen jetzt ihre gute industrielle Ausgangsposition zur Sicherung und Stärkung unseres sozialen Wohlstandes nutzen. «

Trotz langjähriger Forschung, Entwicklung und Erfahrung in der Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologie hat Deutschland es bisher nicht geschafft, einen Rahmen für den industriellen Markteinstieg in diesen bedeutenden Zukunftsmarkt zu erarbeiten. Andere Staaten dagegen fördern ihre Industrie massiv auf dem Weg zur Technologieführerschaft.

» Ein Großteil der notwendigen Maßnahmen ist identifiziert und die Regulatorik für den industriellen Markthochlauf von Wasserstofftechnologien muss jetzt implementiert werden. «

In diversen Strategien sind die wesentlichen Handlungsansätze und nächsten Schritte beschrieben, allein an der Umsetzung mangelt es (bislang). Es bedarf eines kohärenten regulatorischen Handlungsrahmens für die Ausgestaltung eines marktwirtschaftlichen Systems, das den Einstieg in eine nachhaltige Wasserstoffwirtschaft ermöglicht.

» Deutschland und Europa müssen jetzt den radikalen Wandel zu einer grünen Wasserstoffwirtschaft einleiten, denn ein zögerliches Handeln käme uns teuer zu stehen – Act Now! «

Die deutsche Politik und Wirtschaft müssen jetzt handeln, um rechtzeitig die Weichen für die nächsten Jahrzehnte zu stellen. Zielvorgaben und Absichtserklärungen für 2030 reichen dafür nicht mehr aus. Vielmehr bedarf es einer stringenten, verlässlichen und maßgeblichen Roadmap bis zum Jahr 2050, um in einer gemeinsamen Kraftanstrengung mit mutigen Entscheidungen den radikalen Wandel zu einer grünen Wasserstoffwirtschaft rechtzeitig einzuleiten.



Was kurzfristig zu tun ist

Aus Sicht des DWV ist die kurzfristige Umsetzung der folgenden Punkte unerlässlich, um den Einstieg in eine grüne Wasserstoffwirtschaft und -industrie maximal erfolgreich zu gestalten:

1. Kurzfristig handeln und parallel langfristige Rahmenbedingungen setzen

Die in der Nationalen Wasserstoffstrategie (NWS) in Aussicht gestellten finanziellen Mittel sowie die Programme aus dem Konjunkturpaket müssen kurzfristig zur Verfügung gestellt werden – bereits vor der gesetzlichen Verankerung adäquater marktwirtschaftlicher Rahmenbedingungen.

2. Abgaben- und Entgeltbefreiung für Elektrolyseure

Erst durch eine Abgaben- und Entgeltbefreiung für Elektrolysestrom kann die Energiewende sowie der großflächige Aufbau von Windstromkapazitäten in Deutschland ermöglicht werden, wodurch auch die Wettbewerbsfähigkeit des Technologiestandortes Deutschland gestärkt wird. Durch eine entsprechende Übergangsregelung sollte unmittelbar die maximale Reduzierung der EEG-Umlage nach dem geltenden EEG erfolgen und mit der anstehenden Überarbeitung des EEG die vollständige Befreiung gesetzlich verankert werden. Die von der Bundesregierung angekündigte Ausweitung der besonderen Ausgleichsregelung für stromintensive Unternehmen auf Elektrolyseure oder eine darüber hinausgehende Befreiung wird unterstützt.

3. Markteinführung und Markthochlauf von Wasserstofftechnologien fördern

Die Bundesregierung muss durch ein geeignetes Markteinführungsprogramm die heimische Nachfrage nach Brennstoffzellenfahrzeugen (FCEV) anregen. Der DWV hat deswegen gemeinsam mit führenden deutschen Logistikunternehmen ein Markteinführungsprogramm für den Betrieb von 1.000 BZ-Lkw dem Bundesverkehrsministerium vorgestellt. Welche Wirkung ein solches Programm haben kann, wird an der Nachfrage nach Brennstoffzellen-Lkw in der Schweiz und nach Brennstoffzellen-Pkw in Korea deutlich. Es gilt daher – noch vor der Umsetzung der in der NWS angekündigten CO₂-differenzierten Maut – das vom DWV entwickelte Förderprogramm umzusetzen.

Um die notwendige Investitionssicherheit zu generieren, fordert der DWV eine ambitionierte THG-Minderungsquote im Verkehrssektor durch erneuerbare Kraftstoffe von mindestens 24 % bis zum Jahr 2030 durch die Bundesregierung. Ohne eine derartige Quote sind die nationalen Klimaziele unerreichbar.

Einen kurzfristigen, wenn auch begrenzten Beitrag zur Dekarbonisierung konventioneller Kraftstoffe kann der Ersatz der bestehenden erdgasbasierten Wasserstofferzeugung in Raffinerien durch grünen Wasserstoff erbringen (die NWS sieht hier 2 GW Elektrolysekapazitäten bis 2030 vor). Dies würde aber vor allem den heimischen Produktionshochlauf von Elektrolyseuren bis 2025 unterstützen. Perspektivisch können dann deutlich größere Erzeugungskapazitäten für den geplanten großflächigen Markteintritt von Brennstoffzellen-Lkw in der zweiten Hälfte des Jahrzehnts geliefert werden, um dann auch signifikante Erzeugungskapazitäten für die Stahlerzeugung bereitstellen zu können.

Es sollte daher bereits jetzt über eine deutliche Ausweitung der etwa in der NWS ausgewiesenen Ziele für Elektrolysekapazitäten diskutiert und entschieden werden (auch für den Zeitraum bis 2025), um die notwendigen Investitionsentscheidungen zeitnah zu beeinflussen. Die wirtschaftlichen Potenziale in der Brennstoffzellen-Stack-Produktion sind erheblich und eine Investition in die Zukunft. Die Bundesregierung sollte daher an verschiedenen Standorten den Aufbau derartiger großskaliger Produktionsanlagen fördern.

4. Bestehende Infrastruktur für Wasserstoff nutzen und gezielt weiter ausbauen

Deutschland wird in Zukunft neben der Eigenproduktion auch grünen Wasserstoff importieren müssen. Neben einem notwendigen Zubau von Gasinfrastrukturen kann bei Wasserstoffimporten auf vorhandene Infrastrukturen zurückgegriffen werden. Die gegenwärtige, strategische Berücksichtigung grünen Wasserstoffs im Aus- und Umbau der Gasinfrastruktur ist für die Gewährleistung der zukünftigen Energieversorgungssicherheit unabdingbar.

Für den Verkehrssektor gilt es, den Ausbau von Wasserstofftankstellen weiter voranzutreiben. Nicht nur für den Pkw-Bereich, sondern insbesondere auch für den Lkw-Bereich, wo der Brennstoffzellenantrieb alternativlos ist. Auch ist dessen konsequente Markteinführung zwingend erforderlich, um die CO₂-Ziele und Emissionsgrenzwerte für das Jahr 2030 zu erreichen.

5. Gezielte Ansiedlung von Fertigungskapazitäten für Brennstoffzellen und Elektrolyseure

Mit der Ansiedlung von Brennstoffzellen- und Elektrolysefertigung sowie einer sektorenübergreifenden Wasserstoffwirtschaft in Deutschland könnten bereits bis zum Jahr 2030 zehntausende von Arbeitsplätzen neu geschaffen werden. Der globale Wasserstoffmarkt bietet bis 2050 sogar ein Marktpotenzial von über 2.500 Mrd. US\$, was etwa dem Umsatz der 10 größten Ölfirmen in 2019 entspricht. Der Bedarf an Elektrolyseleistung wird bis 2050 auf bis zu 70.000 GW geschätzt [McKinsey 2017] [HB 2020].

Die deutsche Politik und Wirtschaft darf sich diese Gelegenheit zum Aufbau eines nachhaltigen Energiesystems und die sich daraus ergebenden wirtschaftlichen Chancen nicht entgehen lassen und muss nun konsequent und rasch handeln.



Auf den folgenden Seiten wird anhand der fünf Thesen dargelegt, warum Wasserstoff bei der notwendigen Transformation unseres Energiesystems zur Bekämpfung des menschengemachten Klimawandels eine wesentliche Rolle spielen muss und welchen einzigartigen Beitrag er dabei zu leisten in der Lage ist.

» Wasserstoff ist der Schlüssel zu einem treibhausgasneutralen, versorgungssicheren und bezahlbaren Energiesystem, das unserem Anspruch als Industrie-, Automobil- und Energiewendeland gerecht wird. «

Deutschland muss mehr tun, um seine Klimaschutzziele zu erreichen – Generationengerechtigkeit in der Klimadebatte darf keine hohle Phrase bleiben

Um die Vorgaben des Pariser Klimaschutzabkommens einhalten zu können, hat die EU-Kommission für Europa das langfristige Ziel ausgegeben, bis 2050 der erste treibhausgasneutrale Kontinent zu werden [EC2020a]. Dazu soll im Rahmen des Green Deals eine Anpassung des bisherigen Emissionsziels für Treibhausgase (THG) für das Jahr 2030 von –40 % auf –55 % (EU-Kommission) im Vergleich zu 1990 erfolgen. Auch weitergehende Forderungen von –60 % sind Teil der Diskussion (EU-Parlament / Umweltbundesamt) [EC 2020a, EC 2020b, UBA 2020a].

Auf welches Ergebnis auch immer die Regierungschefs sich mit den europäischen Organen verständigen werden, ein „Weiter so“ wird es danach nicht geben können, wie sich insbesondere der Blick auf die bisher erreichten THG-Emissionsvermindierungen in den unterschiedlichen Sektoren für Deutschland zeigt (siehe Abbildung 1) [BMU 2020b]. So bescheinigte etwa die Europäische Umweltagentur (EEA) Deutschland schon 2019 ein deutliches Verfehlen des bisher festgelegten Reduktionsziels für 2030 in den Sektoren außerhalb des ETS um 16 Prozentpunkte [EC 2020c, EEA 2019], was mit hohen Ausgleichszahlungen an andere EU Mitgliedsstaaten verbunden wäre [Öko-Institut 2018]. Aus globaler Perspektive müsste Deutschland aufgrund der hohen spezifischen CO₂-Emissionen seine Ambitionen sogar weiter verschärfen (siehe Infobox 1).

Wasserstoff kommt beim zu erfolgenden Paradigmenwechsel (und nichts anderes ist die vollständige Abkehr von fossilen Energieträgern in den einzelnen Sektoren bis spätestens 2050) eine entscheidende Rolle zu (siehe Abbildung 2), die unter anderem folgende Aspekte umfasst:

Integration erneuerbarer Stromerzeugung durch PtG

Die Energiewende in Deutschland stockt – und dass obwohl erneuerbare Energien zukünftig der Hauptpfeiler unserer Energieversorgung werden müssen. Zwar konnten im Jahr 2019 42,1 % des Strombedarfs durch erneuerbare Energien gedeckt werden, THG-Neutralität bedeutet aber, dass der gesamte Endenergieverbrauch in Deutschland (heute etwa 2.500 TWh) [BMWi 2019] nahezu vollständig durch erneuerbaren Strom und Wasserstoff anstelle fossiler Energieträger bereitgestellt werden muss. Aktuell liegt hier der Anteil erneuerbarer Energien allerdings erst bei 17,1 % [UBA 2020b]. Aufgrund regional und zeitlich begrenzter Potenziale von Wind- und PV-Erzeugung erfordert die deutliche Erhöhung dieses Anteils zugleich einen verstärkten Ausbau der Speicher- und Transportkapazitäten für erneuerbaren Strom [Fraunhofer ISE 2013, enervis 2017, FZJ 2019]. In einem komplett dekarbonisierten Energiesystem kann dies nur durch den Einsatz von Wasserstoff gelingen [FZJ 2018], insbesondere mittels kostengünstiger Speicherung etwa in Salzkavernen [VDE 2008].

Bisherige Engpässe und Verzögerungen beim Stromnetzbau führten im Jahr 2019 zu einer Abregelung von 6,2 TWh Stromerzeugung aus Windenergieanlagen durch Einspeisemanagement (vorwiegend in Norddeutschland) mit geschätzten Ausgleichszahlungen in Höhe von

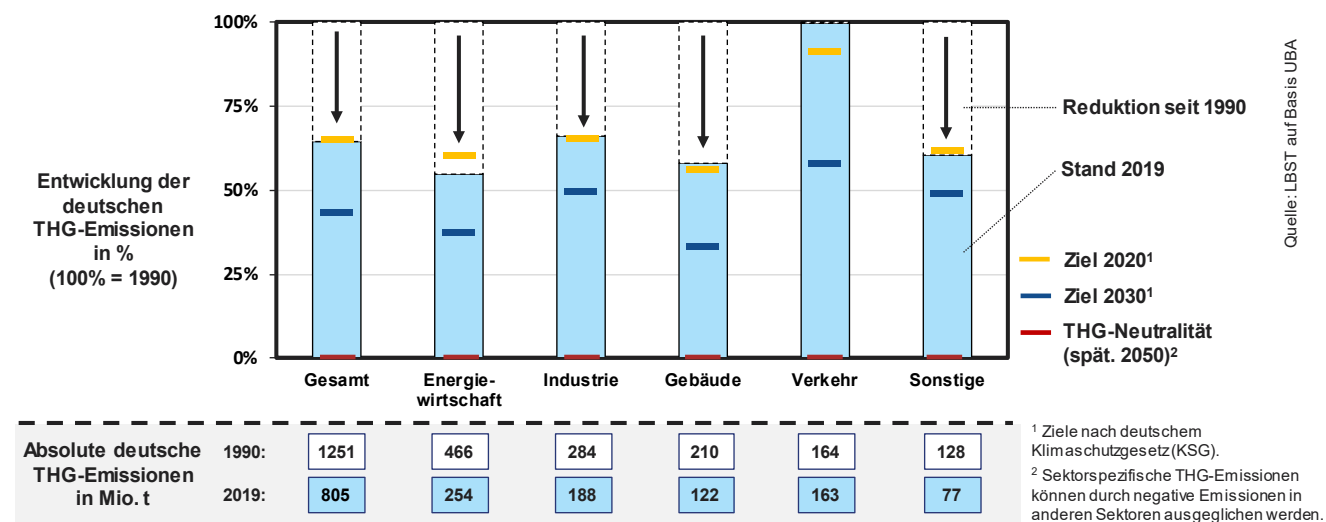


Abbildung 1



667 Mio. € [BNetzA 2020]. Wasserstoff bietet beim Energietransport zwei Vorteile: Zum einen können die angekündigten Wasserstoffleitungen (mit bis zu 13 GW) [H₂Backbone 2020] eine wesentlich größere Transportkapazität bereitstellen als eine HGÜ-Freileitung (etwa 4 GW) [MKS2016]. Zum anderen stellt die Umwidmung bestehender Erdgasrohrleitungen die Möglichkeit zum kosteneffizienten Aufbau einer Wasserstoffversorgungsinfrastruktur dar. Verschiedene Ferngasnetzbetreiber präsentierten im Sommer 2020 entsprechende Pläne für ein europäisches Wasserstoffnetz, mit einer Gesamtlänge von bis zu 23.000 km im Jahr 2040 [H₂Backbone 2020]. Die geschätzten Transportkosten lägen pro kg Wasserstoff zwischen 9 ct€ und 17 ct€ pro 1.000 km. Eine Beimischung von Wasserstoff im Erdgasverteilnetz sollte nur in der Transformationsphase und anschließend nur noch in wenigen Ausnahmefällen als Option für eine ausschließlich thermische Wasserstoffnutzung angesehen werden.

Verkehrswende durch Brennstoffzellen und Wasserstoff

Wenn Deutschland seine sektoralen Klimaziele erreichen und auch in Zukunft eine Vorreiterrolle als Land der Autobauer einnehmen will, muss ohne weiteren Zeitverzug gehandelt und Wasserstoff umfassend im Verkehrssektor integriert und eingesetzt werden. Denn dieser ist der einzige Sektor, in dem Deutschland seit 1990 seine THG-Emissionen nicht senken konnte [BMU 2020b]. Entsprechend groß ist der Handlungsbedarf, um das Sektorenziel von mindestens –40 % bis 2030 zu erreichen.

Mit Blick über Deutschland hinaus haben europaweit Pkw mit 44,3 % sowie Nutzfahrzeuge mit 27,9 % die größten Anteile an den THG-Emissionen des Verkehrssektors [EEA 2019b]. Auch deswegen soll etwa im Nutzfahrzeugsegment der durchschnittliche CO₂-Ausstoß laut Clean Vehicle Directive (CVD) bis 2030 um 30 % sinken [EU 2019]. Speziell bei Fernstrecken-Lkw mit einem zulässigen Gesamtgewicht über 34 t, die in Deutschland für mehr als 60 % des Kraftstoffverbrauchs und der THG-Emissionen von Nutzfahrzeugen verantwortlich sind [MKS 2015], werden rein batterieelektrische Antriebe auch langfristig keine wirtschaftliche und kundenorientierte Alternative sein können. Gleiches gilt für Oberleitungs-Lkw, die sich höchstens eingeschränkt für einzelne Punkt-zu-Punkt-Verbindungen eignen und die höchsten Infrastrukturkosten verursachen [Fondation Tuck 2019].

Infobox 1

Sachverständigenrat: »THG-Neutralität bis spätestens 2038«

Unter Berücksichtigung des Anteils Deutschlands an der Weltbevölkerung, müssten wir wesentlich schneller CO₂-Emissionen komplett reduzieren. Denn das Deutschland zustehende CO₂-Kontingent von insgesamt 6,7 Mrd. t CO₂ würde bei linearer Reduktion spätestens 2038 aufgebraucht sein, im Falle überhaupt keiner weiteren Reduktion sogar schon im Jahr 2029 [SRU 2020]. Wie die THG-Neutralität bis 2035 in Deutschland gelingen könnte, hat das Wuppertal Institut kürzlich aufgezeigt und dabei auch die Bedeutung von Wasserstoff hervorgehoben [Wuppertal Institut 2020].

In einem zukünftigen Energiesystem mit hohen erneuerbaren Anteilen wird Wasserstoff als Energiespeicher zwischen volatiler Stromerzeugung und dem Energieverbrauch im Fahrzeug benötigt, weswegen sich bei der Betrachtung des Gesamtsystems die Wirkungsgrade von Batteriefahrzeugen (BEVs) und Brennstoffzellenfahrzeugen (FCEVs) einander stark annähern (dies gilt insbesondere in den langfristig relevanten Szenarien mit hohen Anteilen an erneuerbarer Energie). Überdies ermöglicht der Einsatz von Brennstoffzellen niedrigere CO₂-Vermeidungskosten als im Falle einer Vollelektrifizierung des Verkehrssektors unter Berücksichtigung etwa der Infrastrukturinvestitionen [LBST 2018].

Neben dem steigenden Einsatz von grünem Wasserstoff in der heutigen Kraftstoffproduktion wird auch die Herstellung synthetischer Kraftstoffe für den Einsatz in Verbrennungsmotoren für eine Übergangszeit von 1–2 Jahrzehnten erforderlich sein, insbesondere um Emissionen bestehender Schiffs- und Flugzeugflotten zu reduzieren (siehe Infobox 2) [EC 2020d]. Perspektivisch gilt allerdings auch für diese Sektoren, kontinuierlich an neuen Schiffs- und Flugzeugdesigns zu arbeiten, um aus Effizienzgründen langfristig ebenfalls auf eine direkte Wasserstoffnutzung u. a. in der Brennstoffzelle setzen zu können. So kündigte etwa Airbus

Sektorübergreifende Bedeutung von H₂

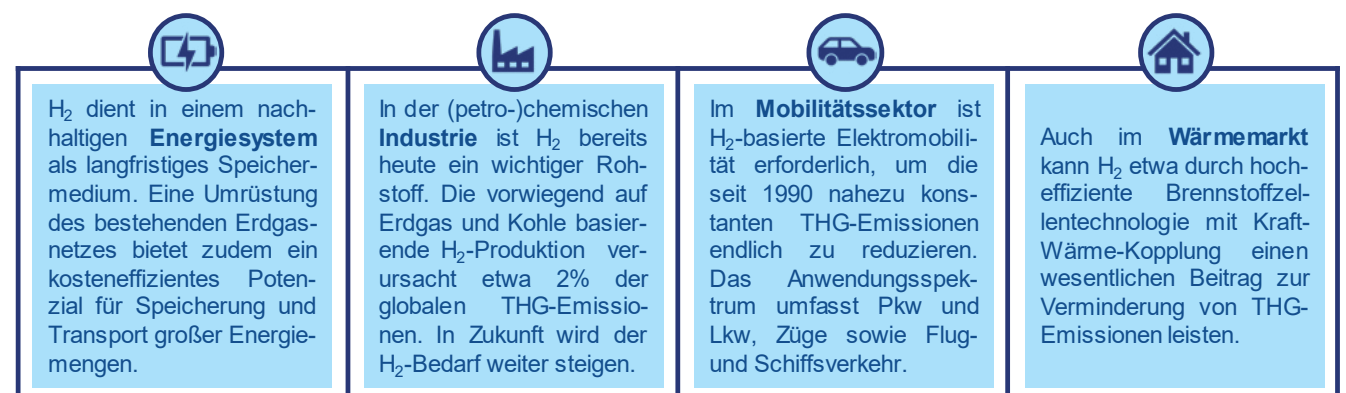


Abbildung 2



die Entwicklung von H₂-betriebenen Flugzeugen bis 2035 an [Airbus 2020] [FMT 2020] [EURACTIV 2020], ebenso das DLR und MTU Aero Engines [MTU 2020]. Insgesamt sieht die europäische Luftfahrtindustrie einen großen Anwendungsbereich von flüssigem Wasserstoff in Brennstoffzellen sowie Hybridlösungen mit zusätzlichen Wasserstoffturbinen, mit Kostenvorteilen gegenüber synthetischen Kraftstoffen bei Flugentfernungen bis 7.000 km. Ein Markteintritt dieser Flugzeuge ist laut Industrieangaben in den nächsten 10 bis 20 Jahren (Kurz- bzw. Mittelstrecke) realisierbar [McKinsey 2020]. Im Schiffsverkehr eignet sich die direkte Wasserstoffnutzung etwa für die Binnenschifffahrt [LBST et al. 2020], ebenso existiert beispielsweise ein Konzept für ein mittelgroßes Kreuzfahrtschiff mit Brennstoffzellenantrieb und LH₂-Kraftstoffversorgung [Fossati 2017].

Nur mit einer ganzheitlichen zukünftigen Wasserstoffmobilität können die Klimaziele erreicht werden. Ferner gewährleistet dieser Transformationspfad aber auch einen effizienten Einsatz von Infrastrukturinvestitionen, da unter anderem eine hohe Wertschöpfungstiefe im eigenen Land verankert wird.

Industrierohstoff Wasserstoff – Industrieland Deutschland

Die Bundesregierung geht von einem Anstieg des Bedarfs für Wasserstoff von heute etwa 50 TWh auf 90–110 TWh bis zum Jahr 2030 aus [BMW i 2020]. Um als Volkswirtschaft weiterhin prosperieren zu können, muss der Industriestandort Deutschland den steigenden Bedarf an Wasserstoff befriedigen.

Der jährliche weltweite Wasserstoffbedarf beläuft sich heute auf etwa 74 Mio. t (= 2.467 TWh), hauptsächlich für die (petro) chemische Industrie. Die nahezu ausschließlich fossile Produktion verbraucht etwa 6 % der globalen Erdgas- sowie 2 % der globalen Kohleförderung und ist für den Ausstoß von rund 830 Mio. t CO₂, oder etwas mehr als 2 % der globalen CO₂-Emissionen verantwortlich [IEA 2019].

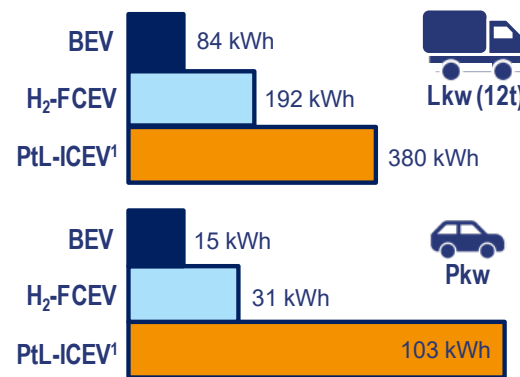
Neben der schrittweisen Umstellung der bestehenden Wasserstoffproduktion (etwa in Raffinerien) sind neue wasserstoffbasierte Produktionsprozesse umzusetzen. Gerade der Wasserstoffeinsatz in der Stahlindustrie bietet enormes Potenzial für hohe Emissionsreduktionen bei geringen CO₂-Vermeidungskosten. Kurzfristig kann hier bereits das Einblasen von Wasserstoff als Re-

duktionsmittel im Hochofenprozess eine Option zur CO₂-Emissionsreduktion (bis zu 20 %) [thyssenkrupp 2019]. Langfristig muss die Stahlherzeugung vom Hochofenprozess auf die Direktreduktion mit Wasserstoff umgestellt werden. Ein erstes Pilotprojekt wurde im August 2020 durch SSAB in Betrieb genommen [SSAB 2020]. Kostenschätzungen belaufen sich auf etwa 400–500 Mio. Euro für die Umrüstung eines typischen Stahlwerks in der EU nach dessen Lebenszeitende (Produktionskapazität: 1 Mio. Tonnen Stahl) [ASSET 2020]. Eine Versorgung dieser Großverbraucher (thyssenkrupp rechnet allein für den Standort Duisburg mit einem Bedarfsanstieg auf ca. 7,8 TWh/a Wasserstoff zum Jahr 2028 [thyssenkrupp 2020]) könnte bereits bis 2030 durch ein Wasserstoffnetz („Rückgrat“ oder „Backbone“ genannt) in Deutschland sichergestellt werden [FNB 2020], welches nach ersten Abschätzungen für rund 660 Mio. Euro realisierbar wäre. [Ringel 2020].

Um die Erzeugung von grünem Stahl voranzubringen, initiierte der DWV die Innovationsplattform Hydrogen-Steel (HySteel) zum Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft in Deutschland, die vom Bundesumweltministerium (BMU) unterstützt wird.

Abbildung 3

Erneuerbarer Strombedarf für verschiedene Antriebsformen (pro 100 km)



¹ PtL-ICEV: Nutzung synth. Kraftstoffe in Verbrennungsmotor

Quelle: [Agora 2017] auf Basis [DLR, ifeu, LBST, DLZ 2015]

Synthetische Kraftstoffe für Verbrennungsmotoren im Fahrzeugbestand

Infobox 2

Synthetische Kraftstoffe, hergestellt über die Power-to-Liquid-(PtL-)Route, bieten die Möglichkeit, die Emissionen im Fahrzeugbestand mit Verbrennungsmotoren unmittelbar zu reduzieren. Der Einsatz wird in der Übergangsphase bis zur flächendeckenden großskaligen Markteinführung von Null-Emissionsfahrzeugen (BEVs und FCEVs) zwingend erforderlich sein, um die Klimaziele zu erreichen und kann beispielsweise durch Import der Kraftstoffe aus sonnenreichen Ländern erfolgen. Mittel- bis langfristig ist im Vielfahrer-Pkw-Segment und insbesondere im Lkw-Segment der direkte Einsatz von Wasserstoff in der Brennstoffzelle zu bevorzugen, da aufgrund geringerer Umwandlungsverluste nur knapp die Hälfte des Strombedarfs zur Versorgung des Verkehrs benötigt wird (siehe Abbildung 3) [ifeu et al. 2020]. Gegen den langfristigen Einsatz von Verbrennungsmotoren (auch mit synthetischen Kraftstoffen) sprechen außerdem die deutlich höheren Lärm- und Schadstoffemissionen, aufgrund derer erste große Städte bereits Befahrungsverbote angekündigt haben [FAZ 2017]: Paris, Madrid, Athen und Mexico City werden Dieselfahrzeuge ab 2025 aussperren und Paris alle Verbrenner ab 2030. Zusätzlich plant Norwegen ab 2025 den Verkauf von verbrennungsmotorischen Fahrzeugen komplett zu untersagen, Dänemark, die Niederlande, Großbritannien, China und Indien folgen ab 2030 und Frankreich und Kalifornien spätestens ab 2040 [ICCT 2020].



» Weltweit wird eine Wende zu erneuerbaren Energien und Wasserstoff vollzogen. Deutschland muss aktiver werden, um den Wandel mitgestalten und eigene Vorstellungen einbringen zu können. «

Grüner Wasserstoff wird langfristig kein knappes Gut sein. Gleichwohl gilt es die Prozesse und Mechanismen der internationalen Energiepolitik genau zu verfolgen und zu beachten.

Regierungen und Unternehmen weltweit haben die Notwendigkeit sowie das große wirtschaftliche Potenzial von Wasserstoff erkannt, mit zum Teil sehr unterschiedlichen Strategien und Motivationen. Klar ist, ein auf erneuerbarer Stromerzeugung und Wasserstoff basierendes Energiesystem bietet einen entscheidenden Vorteil gegenüber dem Status quo: Es ist praktisch überall umsetzbar, reduziert die Abhängigkeiten gegenüber wenigen energieexportierenden Ländern (sowie deren Marktmacht) und ermöglicht so eine flexiblere und dezentralisierte Energieversorgung. Faktisch wird jedes Land mit einem guten erneuerbaren Energiedargebot und großen verfügbaren freien Landflächen zu einem möglichen Energielieferanten für dichtbesiedelte Industriestaaten. Dies stärkt einerseits die Resilienz im Vergleich zum heutigen Energiesystem, andererseits eröffnet es neue Möglichkeiten einer globalen Friedenspolitik sowie der wirtschaftlichen Stabilisierung der Außengrenzen eines freien demokratischen Europas.

Internationale Wasserstoffaktivitäten

Die Bundesregierung hat in der vorgestellten Nationalen Wasserstoffstrategie (NWS) die große Bedeutung von (grünem) Wasserstoff als Energieträger und Rohstoff in einem zukünftigen, nachhaltigen Energiesystem sowie die wirtschaftlichen Chancen für Deutschland aufgezeigt [BMW i 2020]. Konkrete Zielvorgaben sucht man jedoch vergeblich, mit Ausnahme der Ausbauziele für 5 GW Elektrolyseleistung bis 2030 bzw. 10 GW bis spätestens 2040. Dadurch könnte ein Großteil des im Jahr 2030 erwarteten Wasserstoffbedarfs von

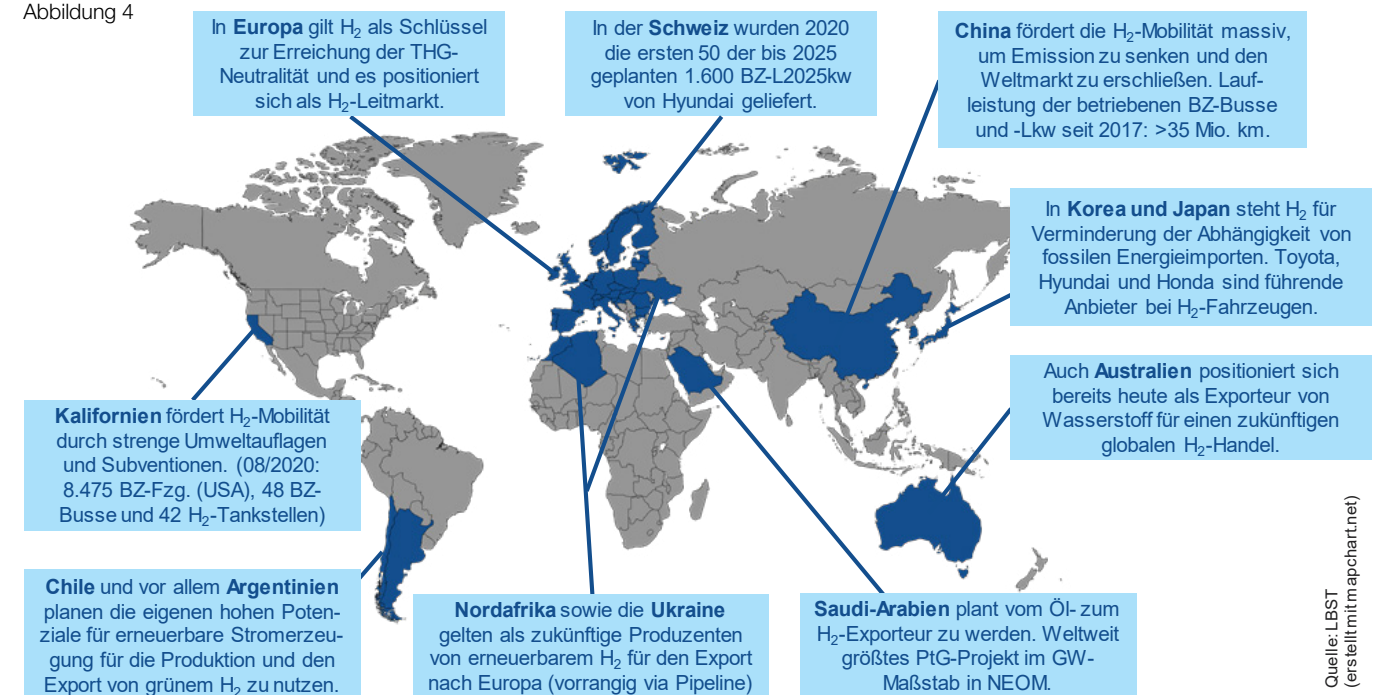
etwa 90 bis 110 TWh (entspricht ca. 32 bis 39 GW Elektrolyseleistung) nur durch Importe gedeckt werden.

Im Gegensatz zur NWS fordert der DWV, dass die erforderliche zusätzliche Wasserstoffproduktion vor dem Hintergrund der Klimaziele in jedem Falle erneuerbar sein muss. Ferner empfiehlt der DWV nachdrücklich, den künftigen Wasserstoffbedarf Europas durch heimische Produktion zu decken sowie, insbesondere unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Stärkung der angrenzenden Nicht-EU-Länder, vorrangig aus diesen Nachbarregionen (z. B. Nord- und Westafrika oder Ukraine) per Pipeline zu importieren [Hydrogen Europe 2020]. Erst bei darüber hinausgehendem Bedarf an grünem Wasserstoff sollte der globale Handel kontinuierlich ausgeweitet werden (siehe Infobox 3). Damit die dafür erforderlichen Produktionskapazitäten möglichst mit heimischen Technologien ausgestattet werden, sind frühzeitig entsprechende Wasserstoff-Energiepartnerschaften durch die Bundesregierung zu initiieren.

Die EU-Kommission brachte zudem den Euro als Leitwährung für diesen internationalen H₂-Handel ins Spiel [EC 2020e]. Auch die Wasserstoffstrategie der EU-Kommission setzt eher langfristig auf die Nutzung von erneuerbarem Wasserstoff als eine der Säulen des Green Deal [HZwei 2020]: Der Einstieg soll mit mindestens 6 GW Elektrolysekapazität bis 2024 sowie insgesamt 40 GW bis 2030 gelingen [EC 2020e]. Zusätzlich beabsichtigt die EU-Kommission die Errichtung weiterer 40 GW Elektrolysekapazität in EU-Nachbarstaaten anzureizen.

Eine gemeinsame EU-Strategie zur Erzeugung von grünem Wasserstoff für die Versorgung der europäischen Wirtschaft macht Europa jedoch nicht nur unabhängiger von Energieimporten und stärkt gleichzeitig den europäischen Gemeinschaftsgedanken. Vielmehr ermöglicht es vor allem den süd- und südosteuropäischen Ländern, ihr großes Potenzial an verfügbaren Flächen für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien

Abbildung 4





zur wirtschaftlichen Wertschöpfung und Stabilisierung zu nutzen [Weinberger 2020, Trinomics et al. 2019].

Nennenswerte H₂-Technologie- und Marktentwicklungsaktivitäten außerhalb Europas sind vor allem in China, Japan und Korea sowie Teilen der USA (z. B. Kalifornien) wahrnehmbar (siehe Abbildung 4). Zudem beginnen einige Regionen, sich als Exporteur für Wasserstoff zu positionieren (Australien, Nordafrika, Osteuropa und Südamerika).

Einbettung deutscher Aktivitäten in internationale Entwicklungen

Die Motivationen der unterschiedlichen Akteure, sich im Wasserstoffmarkt zu etablieren, sind vielfältig [WEC Deutschland 2020]. Daher ist es kurzfristig enorm wichtig, dass sich Vertreter der deutschen Exekutive und der Industrie stärker international positionieren und aktiv an den Leitplanken des zukünftigen, auf erneuerbaren Energien und Wasserstoff basierenden Energiesystems mitarbeiten. Heute werden die Weichen gestellt, etwa beim Thema Zertifizierung von Wasserstoff, bei der Normierung und Regulierung der Wasserstoffinfrastruktur sowie bei der Frage, welche Rolle in Zukunft Wasserstoff aus nicht nachhaltigen Quellen spielen darf und welche Nachhaltigkeitskriterien eingehalten werden müssen. Der DWV fordert die Bundesregierung auf, sich aktiv in diese internationalen Diskussionen einzubringen.

Wasserstofftransport

Infobox 3

Der globale Handel von Wasserstoff bedarf der Einführung standardisierter Technologien und Transportvektoren. Prinzipiell sind verschiedene Formen denkbar und gegenwärtig in der Diskussion: Für große Wasserstoffmengen im regionalen Kontext (etwa für den Import aus Nordafrika nach Europa) ist generell der Pipelinetransport als die kosten- und energieeffizienteste Transportweise anzusehen [ASSET 2020, van Wijk 2020, IEA 2019]. Der Schiffstransport ist in verflüssigter Form (z. B. HySTRA-Projekt: Transport von Hastings, Australien, nach Kobe, Japan [HySTRA 2020]) oder auch in organischen Trägersubstanzen (Liquid Organic Hydrogen Carrier, LOHC) wie Methylcyclohexan möglich (z. B. AHEAD-Projekt: Transport von Brunei nach Japan [AHEAD 2020]). Aufgrund der bereits heute existierenden Transportketten werden auch Ammoniak oder andere Grundchemikalien wie Methanol als Trägersubstanzen diskutiert [Air Products 2020]. Bei der Diskussion sollten allerdings die Umweltauswirkungen und Sicherheitsaspekte genau im Blick behalten werden, wie etwa die gerichtlich angeordnete Schließung eines Ammoniak-Speichertanks im Hafen von Haifa, Israel, zeigt [Keinan 2017].

» Wasserstofftechnologien „Made in Germany“ – Deutsche Akteure müssen jetzt ihre gute industrielle Ausgangsposition zur Sicherung und Stärkung unseres sozialen Wohlstandes nutzen. «

Deutschland bringt im internationalen Vergleich sehr gute Voraussetzungen für einen radikalen Wandel zu Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien mit. Dies wird etwa durch die Führerschaft im Maschinenbau und der Fertigungstechnik aber auch in der Automobil- und Chemieindustrie deutlich, also einigen der Schlüsselindustrien für den Umstieg auf Wasserstoff. Insofern verwundert es zunächst nicht, dass Bundeswirtschaftsminister Peter Altmaier wiederholt betonte, dass Deutschland Technologieführer im Bereich Wasserstofftechnologien werden solle. Eine kritische Bestandsaufnahme offenbart jedoch den Bedarf für ein rasches und konsequentes Handeln aller Akteure, um bestehende Vorteile nicht (weiter) zu verspielen.

Die deutsche Automobilbranche verspielt ihre globale Führungsposition

Vor dem Hintergrund, dass die umfängliche Wasserstoff- und Brennstoffzellennutzung eine notwendige Bedingung für die Mobilität von morgen ist, gilt es die technologische Führerschaft in diesem Industrie- und Wirtschaftsfeld anzustreben.

Verschiedene Szenarien deuten auf einen substanziellen Hochlauf von Brennstoffzellenfahrzeugen bereits bis 2030 hin, mit kontinuierlicher Fortsetzung bis 2050: So wird der Bestand von FCEVs im Jahr

2030 auf etwa 2,7 bis 5,5 Mio. FCEVs in Europa geschätzt [Trinomics et al. 2020]. Andere Studien sprechen für Europa sogar von jährlichen Verkaufszahlen im selben Jahr von zwischen 1,2 und 4,2 Mio. FCEV [McKinsey 2019], mit einem Anstieg auf jährlich bis zu 52,7 Mio. in 2050. Auch Bosch rechnet damit, dass bis zum Jahr 2030 jedes fünfte Elektrofahrzeug mit Brennstoffzelle betrieben wird [Welt 2020]. Alle diese Szenarien werden jedoch nur Realität, wenn die Automobilhersteller und Politik jetzt die entsprechenden (industriepolitischen) Entscheidungen treffen und das Feld nicht wie gegenwärtig den asiatischen Wettbewerbern überlassen.

Befeuert wird die Nachfrage etwa durch die gesetzten Zielvorgaben der EU-Kommission in der Clean Vehicle Directive, die für die Jahre 2025 und 2030 Mindestquoten für die Beschaffung öffentlicher Fahrzeuge (Pkw, Busse sowie Nutzfahrzeuge) mit niedrigen und keinen Emissionen vorschreibt [EU 2019]. Hinzu kommen regionale Fahr- und Zulassungsverbote für Fahrzeuge mit Diesel- oder generell Verbrennungsmotoren. Aus Sicht des DWV muss die Automobilindustrie (einschließlich der Zulieferindustrie) diesem künftigen Bedarf nach Brennstoffzellenfahrzeugen durch rechtzeitige Investitionen begegnen.

Einige der großen deutschen Automobilkonzerne haben sich zuletzt jedoch mehrfach von der Brennstoffzellentechnologie und ihrem Einsatz im Personenverkehr distanziert (neben VW auch



Daimler, Porsche und Audi) – trotz intensiver Entwicklungsaktivitäten in den vergangenen Jahrzehnten. Stattdessen wurde ausschließlich die batterieelektrische Mobilität in den Fokus gerückt. Als direkte Folge hat mittlerweile Asien klar die Technologieführerschaft im Mobilitätssektor übernommen. Durch die Erkenntnis, dass die Massenfertigung von Brennstoffzellen für eine deutliche Kostenreduktion notwendig ist [Bloomberg 2020], zielen Toyota, Hyundai und auch Honda neben Nutzfahrzeugen auch konsequent auf den Pkw-Markt ab. Mit Blick auf China, den größten automobilen Absatzmarkt der deutschen OEMs, ist das zögerliche Vorgehen deutscher Hersteller umso unverständlicher, weil gerade dort der Brennstoffzellenantrieb massiv entwickelt und gefördert wird [Bork 2020]. Zwar zeichnen sich in Folge der aktuell hohen Dynamik im Bereich Wasserstoff erste aus Frankreich initiierte Korrekturbewegungen ab (z. B. Opel [FAZ 2020]), jedoch bleibt abzuwarten, ob der große Technologievorsprung damit aufgeholt werden kann.

Demgegenüber halten einige deutsche Zulieferer weiterhin an der eigenen und selbstständigen Entwicklung der Brennstoffzellentechnologie – auch für den Pkw-Markt fest – und setzen, oft mangels deutscher Partner, vor allem auf internationale Aktivitäten und Märkte [Bosch 2019], [ErlingKlinger 2019]. Doch auch hier drängen vermehrt asiatische Firmen auf den Weltmarkt (z. B. die chinesische Firma REFIRE) [H₂View 2019].

Im Schwerlastverkehr, auf den sich deutsche Fahrzeughersteller mit ihren BZ-Aktivitäten konzentrieren, ist eine Serienfertigung erst nach 2025 angekündigt (z. B. Daimler [Daimler 2020]) – zu spät für die erforderliche kurzfristige Reduktion der CO₂-Emissionen im Verkehrssektor bis 2030 oder eine Erfüllung der Mindestquoten in der CVD. Das kanadische Unternehmen Ballard dagegen meldete im August 2020, dass die ersten 1.000 mit der eigenen Brennstoffzellentechnik ausgestatteten Busse sowie 2.200 BZ-Lkw die Marke von 50 Mio. km Fahrleistung überschritten hatten – zum überwiegenden Teil davon in China [Ballard 2020]. Hyundai lieferte seit Juli 2020 die ersten 50 von bis 2025 insgesamt 1.600 BZ-Lkw in die Schweiz [Hyundai 2020]. Auch andere Firmen wie Toyota [Toyota 2020] sowie Start ups wie das US-Unternehmen Nikola (in Europa: Produktion in Ulm in Kooperation mit Iveco) [Nikola 2020], HYZON (mit angekündigtem Produktionsstandort in den Niederlanden) [HYZON 2020], Quantron [Quantron 2020] oder Josef Paul GmbH [PNP 2020] kündigten den Markteintritt ihrer Brennstoffzellen-Lkw bis spätestens 2023 an.

Flankiert werden diese Ankündigungen in einigen asiatischen Ländern, wie China, Korea oder Japan, durch eine starke strategische Vorgabe mit entsprechenden regulatorischen Rahmenbedingungen, die damit zuerst einen heimischen Markt für die Technologien schaffen. Ähnliches ist auch in Deutschland bzw. der EU überfällig.

Abbildung 5



Wasserstofftechnologien bieten bedeutendes Marktpotenzial

Entscheidend für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft sind die Entwicklung sowie Aufbau und Betrieb technischer Großanlagen, allen voran Elektrolyseure und Industrieanlagen.

Mit thyssenkrupp und Siemens verfügt Deutschland hier über zwei etablierte sowie über viele weitere Akteure im Anlagen- und Maschinenbau. Doch mit ITM Power, NEL, McPhy oder auch Cummins/Hydrogenics positionieren sich vermehrt hochspezialisierte Hersteller von Elektrolyseuren aus dem Ausland. Während bis vor einigen Monaten ein Großteil der Elektrolyse-Pilotprojekte in Deutschland zu finden war, besteht jetzt die Gefahr, dass die Investitionen für den Fertigungshochlauf von Elektrolyseuren woanders getätigt werden: Durch ITM Power in Sheffield (UK) [ITM 2019], NEL in Notodden (Norwegen) & Wallingford (USA) [Nel 2019, Nel 2020], McPhy in San Miniato (Italien) [McPhy 2019], aber auch Cummins/Hydrogenics in Oevel (Belgien) & Mississauga (Kanada) oder in China (z. B. Cockerill Jingli Hydrogen in Suzhou, PERIC in Handan oder THE in Tianjin).

Um die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie in Deutschland in großem Umfang einführen und europaweit das Potenzial eines künftigen Wasserstoffmarktes nutzen zu können (siehe Abbildung 5), ist es ferner geboten, bereits heute die benötigten Experten und Arbeitskräfte auszubilden. Dies würde auch die oft mittelständische Zulieferindustrie für die peripheren Komponenten, wie beispielsweise Ventile, Regler oder Sensoren, in die Lage versetzen, große Stückzahlen in den erforderlichen Spezifikationen und Qualitäten zu fertigen. Der DWV sieht hier insbesondere auch Handwerkskammern, Berufsgenossenschaften, Versicherungen und Wirtschaftsverbände in der Pflicht.

Auch muss der Umbruch an den betroffenen Standorten durch klar kommunizierte, zukunftsgerichtete und Sicherheit vermittelnde Ausbildungs- und Investitionsaktivitäten flankiert und unterstützt werden. Entsprechende Initiativen finden sich bereits in der NWS (z. B. Ansiedlung von Forschungszentren in Kohleregionen), aber auch in den bereits veröffentlichten H₂-Strategien auf Bundeslandebene (z. B. der nord-deutschen Küstenländer oder Bayerns). Erfahrungen aus anderen Branchen zeigen, dass es exakt zwei Hebel braucht, um die angestrebte Einführung neuer und





» Ein Großteil der notwendigen Maßnahmen ist identifiziert und die Regulatorik für den industriellen Markthochlauf von Wasserstofftechnologien muss jetzt implementiert werden. «

nachhaltiger Technologien zu fördern. Einerseits muss die Schieflage in der aktuellen Marktausgestaltung ausgeglichen werden, die sich aus der unzureichenden Berücksichtigung der externen Kosten (teilweise weiterhin subventionierter) fossiler Energieträger für die Allgemeinheit ergibt. Nur so können Investitionshemmnisse seitens der Industrie abgebaut werden, da anderweitig eine profitable Umsetzung emissionsarmer Technologien größtenteils nur schwer möglich ist. Andererseits muss die Wettbewerbsfähigkeit auch durch Kostensenkungen auf der Technologieseite erfolgen. Hier würde die Schaffung eines Heimatmarktes für grünen Wasserstoff den entscheidenden Beitrag leisten, angefangen etwa bei der Umstellung des existierenden Wasserstoffbedarfs von jährlich etwa 50 TWh in Deutschland auf grüne Technologien.

In der Übergangsphase hin zu einem adäquaten Marktdesign, fordert der DWV marktersetzende Fördermechanismen zu entwickeln und kurzfristig temporär einzuführen. Auch müssen sich die Förderungen weg von heutigen Einmalförderungen der Investitionskosten bei Pilotprojekten hin zum operativen Geschäft bewegen.

Es bedarf einer Vielzahl von Anpassungen, um das gewünschte Ziel einer auf Wasserstoff basierenden nachhaltigen Wirtschaft anzustoßen und den raschen Markthochlauf zu unterstützen. Folgende regulatorischen Maßnahmen erscheinen dem DWV notwendig und hilfreich und werden daher in die Diskussion eingebracht:

Wasserstofferzeugung und -infrastruktur

- Ermöglichung von Großprojekten zu grünem Wasserstoff durch Schaffung tragfähiger Geschäftsmodelle (u. a. durch sofortige Befreiung des Elektrolysestroms von Entgelten und Abgaben, Prüfung und Klarstellung der Regelungen zur Abschreibungsdauer (AfA) für Elektrolyseure oder Betriebskostenförderungen) ergänzt durch den dringend notwendigen weiteren Ausbau an erneuerbarer Stromerzeugung.
- Beschleunigter Aufbau der Wasserstoffinfrastruktur durch Optimierung der Genehmigungs- und Regulierungsverfahren bei der Errichtung von Elektrolyseuren und Wasserstofftankstellen sowie eine einheitliche Regelung zur Qualitäts- und Mengenmessung.
- Aufbau industrieller Produktionskapazitäten für Elektrolyseure, um die bis 2030 in Deutschland für Schwerlastverkehr, Stahlindustrie und Raffinerien benötigte Elektrolyseleistung von mindestens 10 GW installieren zu können.
- Wettbewerbsfähigkeit von grünem Wasserstoff stärken gegenüber jenem aus fossilen Quellen durch klare Nachhaltigkeitskriterien und Zertifizierung (etwa CertifHy [CertifHy 2016]) sowie der Schaffung eines Level-Playing-Fields durch angemessene CO₂-Bepreisung oder CO₂-Grenzwerte.

Verkehr und Mobilität

- Ambitionierte Umsetzung der Erneuerbare-Energien-Richtlinie RED II durch Deutschland mit mindestens 24 % erneuerbarer Energien (entsprechend Climate Target Plan der EU-Kommission [EC 2020b]) sowie einer Unterquote von 5 % für grünen Wasserstoff oder deren Folgeprodukte für die in den Verkehr gebrachten Kraftstoffe.
- Umsetzung des vom DWV entwickelten Markteinführungsprogramms für den Betrieb von 1.000 BZ-Lkw.
- Unterstützung bei der Erfüllung der Clean Vehicle Directive (CVD), etwa durch eine mehrkostenausgleichende Regelung für emissionsfreie Fahrzeuge im öffentlichen Beschaffungswesen/ÖPNV – für vielfahrende Fahrzeuge und Nutzfahrzeuge mit prioritärer Berücksichtigung des BZ-Antriebs.
- Förderung des raschen Markthochlaufs für BZ-Fahrzeuge im Güterverkehr, etwa durch harmonisierte europäische CO₂-basierte Fahrzeugmaut (z. B. nach Schweizer Vorbild), mit weitestgehender Mautabsenkung für emissionsfreie Fahrzeuge (siehe Vorschlag EU-Kommission [SZ 2017]).
- Beschaffungsprogramm für Schienenfahrzeuge mit Brennstoffzellen als Ersatz für Dieselschienenfahrzeuge auf nicht-elektrifizierten Strecken.
- Faire monetäre Berücksichtigung von emissionsfreien Kraftstoffen gegenüber fossilen durch staatlich induzierte Lenkungsabgaben. Spätestens ab 2027 ist eine Quote von mindestens 2 % für erneuerbare strombasierte Flug- und Schiffskraftstoffe einzuführen, bei Festlegung eines investitionssicheren Korridors für den Quotenanstieg auf 100 % bis zum Jahr 2050.

Industrie- und Energiesektor

- Förderung wasserstoffbasierter und nachhaltiger Produktionstechnologien durch regulatorische Rahmenbedingungen, etwa durch die Einführung eines (Carbon) Contract-for-Difference (CfD)-Systems oder maximal zulässiger CO₂-Produktgrenzwerte, z. B. in der Stahlerzeugung.
- Adäquate Berücksichtigung von Wasserstoffnetzen durch Aufnahme von H₂-Pipelines in die Regulated Asset Base, rasche Anpassung der technischen Regelwerke sowie der geltenden Regelungen bei Fernleitungsnetzen und Gasspeichern (insbesondere im EnWG).
- Ermöglichung neuer Geschäftsmodelle für Elektrolyseure zwischen Strom- und Gasnetzen. Dabei sollen existierende Hürden insbesondere zwischen Strom- und Gasnetzbetreibern und Betreibern von Elektrolyseuren vermieden werden, unter Berücksichtigung der Unbundling-Vorschriften.

Die zukünftige Marktausgestaltung muss überdies durch ein vereinheitlichtes und integriertes Regel- und Maßnahmenpaket erfolgen, welches Effizienzverbesserungen bzw. THG-Emissionen über alle Akteure der H₂-Wertschöpfungskette erfasst bzw. begrenzt. Dies erfordert auch eine Harmonisierung des heute zerstückelten europäischen Rechtsrahmens. Im Verkehrssektor schließt dies beispielsweise alle Stufen von der Wasserstofferzeugung über -Konditionierung, -Transport, -Verteilung, -Abgabe sowie Wandlung bis hin zur finalen Nutzung im Fahrzeug ein. Erst diese Vorgehensweise wird alle Marktteilnehmer (z. B. Infrastruktur- und Fahrzeugindustrie) zu einer einheitlichen und abgestimmten Vorgehensweise bewegen.



» Deutschland und Europa müssen jetzt den radikalen Wandel zu einer grünen Wasserstoffwirtschaft einleiten, denn ein zögerliches Handeln käme uns teuer zu stehen – Act Now! «

Bei der Diskussion um die zukünftige Rolle von Wasserstoff, darf als wesentlicher Grundstein die angestrebte Treibhausgasneutralität und die damit verbundene notwendige zeitnahe und deutliche Emissionsminderung in allen Sektoren nicht aus dem Fokus geraten. Fossil produzierter Wasserstoff z. B. aus Erdgas, wird aufgrund der Methanemissionen bei Gasförderung und -transport keine treibhausgasneutrale Lösung darstellen. Dies gilt selbst dann, wenn der bei der Wasserstoffproduktion freigesetzte Kohlenstoff (in Form von CO₂ oder festem Kohlenstoff) abgetrennt und langfristig dem Kreislauf entzogen werden kann, etwa durch die unterirdische Lagerung. Vielmehr besteht die Gefahr, dass eine kurzfristige Fokussierung auf diese Technologien als „Übergangstechnologien“ bis zum Ende des Jahrzehnts zwar die großtechnische Anwendbarkeit ermöglicht, die getätigten Investitionen allerdings zu Lock-in-Effekten führen, ohne dabei eine vollständige THG-Vermeidung zu bewirken. De facto hätte dies eine verschleppte Markteinführung der emissionsfreien Elektrolysetechnologie zur Folge und birgt das Risiko, die Rolle von Wasserstoff als grünem Energieträger und Hilfsmittel der Energiewende zu diskreditieren.

Klimaschutz erfordert Investitionen – aber nicht zu handeln wäre teuer

Für das Erreichen unserer Klimaschutzziele sind hohe Investitionen (z. B. in neue Technologien) erforderlich. Ein Nichthandeln jedoch ist mit wesentlich höheren Kosten verbunden – etwa zur Kompensation der Schäden des Klimawandels [Stern et al. 2006]. Energie- und Kraftstoffpreise werden dadurch zunächst ansteigen, was sich auf diverse Stufen der Wertschöpfungskette auswirken wird. Die Aufklärung von Öffentlichkeit, Gewerbe und Industrie über diese Zusammenhänge ist deshalb essenziell, auch um die Akzeptanz langfristig zu sichern [Daum 2020]. Zu grünem Wasserstoff gibt es langfristig keine Alternative, um die notwendige nahezu vollständige Emissionsreduktion in allen Sektoren zu erreichen. Dabei muss alles unternommen werden, um die Kosten für Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien sowie für erneuerbare Stromzeugung durch Massenproduktion und Skaleneffekte weiter zu senken. Einen positiven Ausblick gibt der Hydrogen Council, der in einer Studie deutlich sinkende Gestehungskosten für erneuerbaren Wasserstoff bis 2030 von heute 4–6 US\$/kg auf 1–1,5 US\$/kg an optimalen Standorten und von 2–3 US\$/kg an durchschnittlichen Standorten beschreibt [Hydrogen Council 2020].

Die bisherigen Ausbauziele für 2030 sind nicht ausreichend

Die in der NWS aber auch in der europäischen H₂-Strategie anvisierten Zielgrößen von 5 bzw. 40 GW Elektrolysekapazität können nur ein erster Zielwert sein. Gleiches gilt für die Strategien weiterer Länder [WEC Deutschland 2020]. Unter realistischen Annahmen (4.000 h/a Volllaststunden und 70 % Wirkungsgrad) könnten so in Deutschland 2030 etwa 14 TWh grüner Wasserstoff durch Elektrolyse produziert werden, bei einem Bedarf von etwa 7 GW erneuerbarer Stromkapazität. Dies wird für die Deckung des Bedarfs von insgesamt 90–110 TWh nicht ausreichen (siehe Abbildung 6). Eine Auswertung diverser Langzeitstudien zeigt, trotz großer Bandbreite, einen bis 2050 weiter steigenden Elektrolysebedarf von 65 GW (Mittelwert) in Deutschland, für Energiesysteme mit hohen EE-Anteilen zum Teil deutlich darüber [Fraunhofer ISE et al. 2018].

Elektrolyseleistung: Ankündigungen vs. Bedarf



5 bzw. 40 GW_{el}
als Zielsetzung in der NWS bzw. der europ. H₂-Strategie (bis 2030)



ca. 32-39 GW_{el}
für Deckung des erwarteten deutschen H₂-Bedarfs¹ in 2030² (90-110 TWh)



ca. 20 GW_{el}
für Umstellung der deutschen Stahlerzeugung (30 Mio. t) auf Direktreduktion²



ca. 20 GW_{el}
zusätzlich bei Umstellung aller 130.000 Lkw³ auf Brennstoffzellen (in Deutschland)²

¹ nach Schätzungen der Bundesregierung
² benötigte Elektrolyseleistung unter Annahme von 4.000 Volllaststunden und 70% Wirkungsgrad
³ LKW der 22-44 t-Klasse
Quellen: [ASSET 2020, Hölling et al. 2017, LBST 2019] Abbildung 6

Der DWV fordert daher, dass jetzt konkrete Schritte für den industriellen Markthochlauf sowie die Schaffung eines heimischen Marktes erfolgen müssen, um mit dem großskaligen Aufbau von Produktionskapazitäten für grünen Wasserstoff in Deutschland zu starten. Den Weg skizzieren die vorliegenden Wasserstoffstrategien, nun gilt es, die erforderlichen regulatorischen Rahmenbedingungen zu schaffen. Nur so können wir unsere Klimaziele erreichen und gleichzeitig an wirtschaftlichen Chancen partizipieren, die mit Umbau der gesamten Energiewirtschaft verbunden sind. Ohne gesetzliche Umsetzung ist die Wirkung der Strategien jedoch schnell verhallt.

Haftungsausschluss LBST: Der Mitarbeiterstab der Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH hat diesen Bericht erstellt. Die Sichtweisen und Schlüsse, die in diesem Bericht ausgedrückt werden, sind jene der Mitarbeiter der Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH. Alle Angaben und Daten sind sorgfältig recherchiert. Allerdings gibt weder die Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH noch irgendeiner ihrer Mitarbeiter, Vertragspartner oder Unterauftragnehmer irgendeine ausdrückliche oder implizierte Garantie oder übernimmt irgendeine rechtliche oder sonstige Verantwortung für die Korrektheit, Vollständigkeit oder Nutzbarkeit irgendeiner Information, eines Produktes oder eines enthaltenen Prozesses oder versichert, dass deren Nutzung private Rechte nicht verletzen würden.

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|---|------------------------------|
| BEV: Batterieelektrisches Fahrzeug (battery electric vehicle) | BZ: Brennstoffzelle |
| EnWG: Energiewirtschaftsgesetz | CVD: Clean Vehicle Directive |
| FOEV: Brennstoffzellenfahrzeug (fuel cell electric vehicle) | THG: Treibhausgas |
| NWS: Nationale Wasserstoffstrategie der Bundesregierung | |
| EEG: Erneuerbare-Energien-Gesetz | |
| HGÜ: Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung | |
| LH ₂ : Flüssigwasserstoff (Liquid Hydrogen) | |
| PV: Photovoltaik | |
| EE: Erneuerbare Energien | |



LITERATUR

[Agora 2017]
Agora Verkehrswende (Agora): Mit der Verkehrswende die Mobilität von morgen sichern. 12 Thesen zur Verkehrswende. MÄR 2017, abgerufen unter https://static.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2017/12_Thesen/Agora-Verkehrswende-12-Thesen_WEB.pdf am 30. OKT 2020

[AHEAD 2020]
Advanced Hydrogen Energy Chain Association for Technology Deployment (AHEAD) – Pressemitteilung: The World’s First Transocean Shipment of Hydrogen Begins to Fuel Gas Turbines for Power Generation. 26. MAI 2020, abgerufen unter https://www.ahead.or.jp/en/pdf/20200526_ahead_press.pdf am 30. JUL 2020

[Air Products 2020]
Air Products – Pressemitteilung: Air Products, ACWA Power and NEOM Sign Agreement for \$5 Billion Production Facility in NEOM Powered by Renewable Energy for Production and Export of Green Hydrogen to Global Markets. 07. JUL 2020, abgerufen unter <http://www.airproducts.com/Company/news-center/2020/07/0707-air-products-agreement-for-green-ammonia-production-facility-for-export-to-hydrogen-market.aspx> am 30. JUL 2020

[Airbus 2020]
Airbus – Pressemitteilung: ZEROe - Towards the world’s first zero-emission commercial aircraft. 21. SEP 2020, abgerufen unter <https://www.airbus.com/innovation/zero-emission/hydrogen/zeroe.html> am 22. SEP 2020

[ASSET 2020]
Guidehouse & Tractebel Impact im Auftrag von Directorate-General for Energy (DG ENER): Hydrogen generation in Europe - Overview of costs and key benefits, ASSET Project. JUL 2020, abgerufen unter https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/7e4afa7d-d077-11ea-adf7-01aa75ed71a1/language-en?WT.mc_id=Searchresult&WT.ria_c=37085&WT.ria_f=3608&WT.ria_ev=search am 07. AUG 2020

[Ballard 2020]
Ballard – Pressemitteilung: Fuel Cell Electric Vehicles Powered by Ballard Have Now Driven Over 50 Million Kilometers – Enough to Circle the Globe 1,250 Times. 04. AUG 2020, abgerufen unter <https://www.ballard.com/about-ballard/newsroom/news-releases/2020/08/04/fuel-cell-electric-vehicles-powered-by-ballard-have-now-driven-over-50-million-kilometers-enough-to-circle-the-globe-1-250-times> am 07. AUG 2020

[BayH2 2020]
Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie: Bayerische Wasserstoffstrategie, München, MAI 2020, abgerufen unter <https://www.stmwi.bayern.de/wasserstoffstrategie/> am 06. AUG 2020

[Bloomberg 2020]
Park, K. (Bloomberg News): Hyundai Hydrogen Chief on Why the Company Bet on Fuel Cell. Financial Post, 09. JUN 2020, abgerufen unter <https://business.financialpost.com/pmn/business-pmn/hyundais-hydrogen-chief-on-why-the-auto-giant-bet-on-fuel-cells?MvBriefArticleId=5971> am 15. AUG 2020

[BMU 2020b]
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) – Pressemitteilung: Treibhausgasemissionen gingen 2019 um 6,3 Prozent zurück. 16. MÄR 2020, abgerufen unter: <https://www.bmu.de/pressemitteilung/treibhausgasemissionen-gingen-2019-um-63-prozent-zurueck/> am 04. AUG 2020

[BMWi 2019]
Energiedaten: Gesamtausgabe, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, OKT 2019, abgerufen unter <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html> am 23. AUG 2020

[BMWi 2020]
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Die Nationale Wasserstoffstrategie, Berlin, 10. JUN 2020, abgerufen unter <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.html> am 12. JUN 2020

[BNetzA 2020]
Bundesnetzagentur (BNetzA): Bericht Netz- und Systemsicherheit – Gesamtes Jahr 2019. MAI 2020, abgerufen unter https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Berichte/2020/Quartalszahlen_Gesamtjahr_2019.pdf;jsessionid=8234C31FA0081E9F787C6FCAD10BD9AB?__blob=publicationFile&v=9 am 30. JUL 2020

[Bork 2020]
Bork, H.: Diese Hersteller von Brennstoffzellen-Komponenten wittern ihre Chance. Automobil-Industrie, 5. AUG 2020, abgerufen unter <https://www.automobil-industrie.vogel.de/diese-hersteller-von-brennstoffzellen-komponenten-wittern-ihre-chance-a-954154/> am 05. AUG 2020

[Bosch 2019]
Robert Bosch GmbH (Bosch) – Pressemitteilung: Bosch steigt in die Serienfertigung von Brennstoffzellen für Lkw und Pkw ein. 29. APR 2020, Stuttgart, abgerufen unter <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/de/bosch-steigt-in-die-serienfertigung-von-brennstoffzellen-fuer-lkw-und-pkw-ein-188480.html> am 07. AUG 2020

[CertifHy 2016]
Barth, F. (Hinicio): CertifHy— Developing a European guarantee of origin scheme for green hydrogen - Definition of Green Hydrogen. Präsentation, abgerufen unter https://www.certifyhy.eu/images/media/files/CertifHy_Presentation_19_10_2016_final_Definition_of_Premium_Hydrogen.pdf am 27. AUG 2020

[Daimler 2020]
Daimler – Pressemitteilung: Volvo Group und Daimler Truck AG forcieren Entwicklung nachhaltigen Transports. 21. APR 2020, abgerufen unter <https://media.daimler.com/marsMediaSite/instance/ko.xhtml?oid=46192201&filename=Volvo-Group-und-Daimler-Truck-AG-forcieren-Entwicklung-nachhaltigen-Transports&ls=L2RIL2luc3RhbmNIL2tvLnhodG1sP3JlbElkPTEwMDEmcnVzdWx0SW5mb1R5cGVJZ-D0kxNmYmb2lkPTQ2MTkyMjAxJmZyb21PaWQ9NDYxOTlyMDEmYm9yZGVyc310cnVJmZyb21JbmZvVHlwZUlKPTQwNjI2&rs=0> am 07. AUG 2020

[Daum 2020]
Daum, M. (Daimler Truck): Gastkommentar – Der CO2-neutrale Lkw-Verkehr ist möglich. Handelsblatt, 16. FEB 2020, abgerufen unter <https://www.handelsblatt.com/meinung/gastbeitraege/gastkommentar-vorstandschef-von-daimler-truck-der-co2-neutrale-lkw-verkehr-ist-moeglich/25546420.html?ticket=ST-419339-oA-XhF9jqJufLVuNVb2NI-ap6> am 17. FEB 2020

[DLR, ifeu, LBST, DLZ 2015]
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DL), Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu), Ludwig-Bölkow-Systemtechnik (LBST) und Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ) im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): Erneuerbare Energien im Verkehr. Potenziale und Entwicklungsperspektiven verschiedener erneuerbarer Energieträger und Energieverbrauch der Verkehrsträger. 10. MÄR 2015, abgerufen unter <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/MKS/mks-wiss-kurzstudie-ee-im-verkehr.html> am 30. OKT 2020

[EC 2020a]
European Commission (EC): Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulation (EU) 2018/1999 (European Climate Law), COM/2020/80 final, Brüssel, 04. MÄR 2020, abgerufen unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1588581905912&uri=CELEX:52020PC0080> am 07. AUG 2020

[EC 2020b]
European Commission (EC): COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS Stepping up Europe’s 2030 climate ambition Investing in a climate-neutral future for the benefit of our people. COM/2020/562 final, abgerufen unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0562> am 30. Okt 2020

[EC 2020c]
European Commission (EC): Effort Sharing: Member States’ emission targets. Abgerufen unter <https://ec.europa.eu/clima/policies/effort/#tab-0-0> am 06. AUG 2020

[EC 2020d]
European Commission (EC): Sustainable aviation fuels – ReFuelEU Aviation. Consultation process. Abgerufen unter <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12303-ReFuelEU-Aviation-Sustainable-Aviation-Fuels> am 07. AUG 2020

[EC 2020e]
European Commission (EC): A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. COM(2020) 301 final, Brüssel, 08. JUL 2020, abgerufen unter https://ec.europa.eu/knowledge4policy/publication/communication-com2020301-hydrogen-strategy-climate-neutral-europe_en am 09. JUL 2020

[EEA 2019]
European Environmental Agency (EEA): Trends and projections in Europe 2019. Report No. 15/2019, abgerufen unter: <https://www.eea.europa.eu/publications/trends-and-projections-in-europe-1> am 04. AUG 2020

[EEA 2019b]
European Environmental Agency (EEA): Greenhouse gas emissions from transport in Europe. 17. DEZ 2019, abgerufen unter <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-greenhouse-gases/transport-emissions-of-greenhouse-gases-12> am 04. AUG 2020

[ErlingKlinger 2019]
ErlingKlinger – Pressemitteilung: ErlingKlinger cooperates with bus manufacturer VDL in the field of fuel cell technology. 21. OKT 2019, abgerufen unter <https://www.erlingklinger.de/en/investor-relations/releases/press-releases/21-10-2019> am 07. AUG 2020

[enervis 2017]
enervis energy advisors (enervis) im Auftrag der Initiative Erdgasspeicher e.V. (INES) und des Bundesverbandes Windenergie e.V. (BWE): Erneuerbare Gase – ein Systemupdate der Energiewende. 12. DEZ 2017, abgerufen unter <https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/pressemitteilungen/2017/20171212-studie-erneuerbare-gase.pdf> am 11. AUG 2020

[EU 2019]
Directive (EU) 2019/1161 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2019 amending Directive 2009/33/EC on the promotion of clean and energy-efficient road transport vehicles. 20. JUN 2019, abgerufen unter, <http://data.europa.eu/eli/dir/2019/1161/oj> am 05. AUG 2020

[EURACTIV 2020]
Morgan, S.: Airbus ponders hydrogen’s flying future. EURACTIV, 09. JUN 2020, abgerufen unter <https://www.euractiv.com/section/aerospace/news/airbus-ponders-hydrogens-flying-future/> am 29. JUL 2020

[FAZ 2017]
Paris will Benziner und Diesel früher verbannen, Frankfurter Allgemeine Zeitung, 13. OKT 2017

[FAZ 2020]
Opel bringt Autos mit Brennstoffzellen auf die Straße, Frankfurter Allgemeine Zeitung, 23. OKT 2020

[FMT 2020]
France: Minister of Transport Supports Plans for Hydrogen Plane. FuelCells-Works, 15. JUN 2020, abgerufen unter <https://fuelcellsworks.com/news/france-minister-of-transport-supports-plans-for-hydrogen-plane/> am 08. AUG 2020

[FNB 2020]
FNB Gas – Pressemitteilung: Fernleitungsnetzbetreiber veröffentlichen Karte für visionäres Wasserstoffnetz (H2-Netz). 28. JAN 2020, abgerufen unter <https://www.fnb-gas.de/fnb-gas/veroeffentlichungen/pressemitteilungen/fernleitungsnetzbetreiber-veroeffentlichen-karte-fuer-visionaeres-wasserstoffnetz-h2-netz/> am 06. AUG 2020

[Fondation Tuck 2019]
Ludwig-Bölkow-Systemtechnik (LBST); Hincio im Auftrag der Fondation Tuck: Future Fuel for Road Freight - Techno-Economic & Environmental Performance Comparison of GHG-Neutral Fuels & Drivetrains for Heavy-Duty Trucks, Präsentation auf dem CARA Think Tank meeting “Future fuels for heavy duty vehicles” IFP Energies Nouvelles Solaise (Lyon) 06. MAR 2019, abgerufen unter http://www.lbst.de/news/2019_docs/Future-fuel-road-freight-Presentation_LBST-Hincio_Lyon_06MAR2019.pdf am 14. AUG 2020

[Fossati 2017]
Fossati, S. (Viking Cruises): The future of maritime propulsion – VOC Fuel Cell R&D, Präsentation auf der ZERO CONFERENCE am 01. NOV 2017 in Oslo

[Fraunhofer ISE et al. 2018]
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE; E4tech; Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie und Automatisierung IPA: Industrialisierung der Wasserelektrolyse in Deutschland (IndWEDe): Chancen und Herausforderungen für nachhaltigen Wasserstoff für Verkehr, Strom und Wärme. / Stuttgart – Deutschland. Berlin, 2018, abgerufen unter https://www.now-gmbh.de/content/service/3-publikationen/1-nip-wasserstoff-und-brennstoffzellentechnologie/indwede-studie_v04.1.pdf am 27. JUL 2020

[Fraunhofer ISE 2013]
Henning, H.-M., Palzer, A. (Fraunhofer ISE): Energiesystem Deutschland 2050. NOV 2013, Freiburg, abgerufen unter https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Fraunhofer-ISE_Energiesystem-Deutschland-2050.pdf am 03. AUG 2020

[FZJ 2018]
Robinius, M. et.al. (Forschungszentrum Jülich): Comparative Analysis of Infrastructures: Hydrogen Fueling and Electric Charging of Vehicles, 2018, abgerufen unter <http://user.fz-juelich.de/record/842477> am 04. AUG 2020

[FZJ 2019]
Robinius, M. et.al. (Forschungszentrum Jülich): Wege für die Energiewende – Kosteneffiziente und klimagerechte Transformation für das deutsche Energiesystem bis zum Jahr 2050. 2019, abgerufen unter https://fz-juelich.de/iek/iek-3/DE/News/TransformationStrategies2050/_node.html am 04. AUG 2020

[H2Backbone 2020]
Wang, A. et al. (Guidehouse) im Auftrag von Enagás, Enginet, Fluxys Belgium, Gasunie, GRTgaz, NET4GAS, OGE, ONTRAS, Snam, Swedegas, Teréga: Hydrogen Backbone – How a dedicated hydrogen infrastructure can be created. JUL 2020, abgerufen unter <https://gasforclimate2050.eu/publications/> am 07. AUG 2020

[H2View 2019]
Burgess, M.: eCap signs agreement [with reFire] to develop hydrogen mobility solutions in Europe. H2View, 12. NOV 2019, abgerufen unter <https://www.h2-view.com/story/ecap-signs-agreement-to-develop-hydrogen-mobility-solutions-in-europe/> a, 15. NOV 2019

[Handelsblatt 2020]
Berndt, G.: Die größten Öl- und Gaskonzerne der Welt. Handelsblatt, 10. JUL 2020, abgerufen unter <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/shell-total-gazprom-die-groessten-oel-und-gaskonzerne-der-welt/25342258.html?ticket=ST-296213-h43hpCoSRRXbcwff6m7l-ap6> am 21. AUG 2020

[Hölling et al. 2017]
Hölling, M.; Weng, M.; Gellert, S. (ArcelorMittal): Bewertung der Herstellung von Eisenschwamm unter Verwendung von Wasserstoff, 2017, abgerufen unter <https://germany.arcelormittal.com/icc/arcelor/med/b8e/b8e0c15a-102c-d51d-b2a9-147d7b2f25d3,11111111-1111-1111-1111-111111111111.pdf> am 06. AUG 2020

[Hydrogen Council 2020]
Hydrogen Council: Path to Hydrogen Competitiveness: A Cost Perspective. 20. JAN 2020, abgerufen unter <https://hydrogencouncil.com/en/path-to-hydrogen-competitiveness-a-cost-perspective/> am 06. AUG 2020

[Hydrogen Europe 2020]
van Wijk, A. und Chatzimarkakis, J im Auftrag von Hydrogen Europe: Green Hydrogen for a European Green Deal – A 2x40 GW Initiative, 15. APR 2020, abgerufen unter <https://hydrogeneurope.eu/news/2x40gw-green-hydrogen-initiative-paper> am 30. JUL 2020

[HySTRA 2020]
CO2-free Hydrogen Energy Supply-chain Technology Research Association (HYSTRA): HYDROGEN SUPPLY CHAIN. Abgerufen unter <http://www.hystra.or.jp/en/project/#chain04> am 30. JUL 2020

[Hyundai 2020]
Hyundai Motor Company; Hyundai – Pressemitteilung: Hyundai XCIENT Fuel Cell Heads to Europe for Commercial Use. 6. JUL 2020, abgerufen unter <https://www.hyundai.news/eu/brand/hyundai-xcient-fuel-cell-heads-to-europe-for-commercial-use/> am 07. AUG 2020

[HYZON 2020]
HYZON Motors (HYZON) – Pressemitteilung: US company HYZON Motors Inc. announces Europe’s first dedicated Hydrogen Truck production facility in the Netherlands, begins immediate European roll-out. Groningen, 11. JUL 2020, abgerufen unter <https://www.hyzonmotors.com/post/hyzon-motors-europe-b-v-is-born> am 19. AUG 2020

[HZwei 2020]
Hydrogeit: Ein Botschafter für sauberen Wasserstoff - Interview mit Frans Timmermans, Europäische Kommission, HZwei, 03. JUL 2020, abgerufen unter <https://www.hzwei.info/blog/2020/07/03/ein-botschafter-fuer-sauberen-wasserstoff/> am 05. JUL 2020

[ICCT 2020]
Wappelhorst, S. (The International Council on Clean Transportation, ICCT) – Briefing: The end of the road? An overview of combustion-engine car phase-out announcements across Europe. 22. MAI 2020. Abgerufen unter <https://theicct.org/publications/combustion-engine-car-phase-out-EU> am 27. AUG 2020

[IEA 2019]
International Energy Agency (IEA): The Future of Hydrogen – Seizing today’s opportunities. Paris, JUN 2019, abgerufen unter <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen> am 15. AUG 2020



[ifeu et al. 2020]

Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu); Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR); JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH (JR) im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA): Systemvergleich speicherbarer Energieträger aus erneuerbaren Energien. Abschlussbericht, Dessau-Roßlau, MAI 2020, abgerufen unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/systemvergleich-speicherbarer-energetraeger-aus> am 21. AUG 2020

[IPCC 2013]

Myhre, G.; Shindell, D. et al.: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Abgerufen unter https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf am 28. JUL 2020

[ITM 2019]

ITM Power – Pressemitteilung: New Factory Update and Senior Production Appointment. 22. JUL 2019, abgerufen unter <https://www.itm-power.com/news/new-factory-update-and-senior-production-appointment> am 07. AUG 2020

[Keinan 2017]

Keinan, E. et. al.: An executive summary of the Professors' Report, 2017, The Israel Chemist and Engineer, Issue 3, JUN 2017, abgerufen unter <https://ice.digitaler.co.il/ice3/index.html#42> am 03. AUG 2020

[LBST et al. 2020]

Ludwig-Bölkow-Systemtechnik (LBST), DNV GL, Ingenieurbüro für Schiffstechnik (IfS) im Auftrag der Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW) und des Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): Strombasierte Kraftstoffe für Brennstoffzellen in der Binnenschifffahrt. Berlin, 19. FEB 2020, abgerufen unter <https://www.now-gmbh.de/en/news/press/study-electricity-based-fuels-for-fuel-cells-in-inland-waterway-shipping> am 07. AUG 2020

[LBST 2018]

Michalski, J.; Bünger, U; Wurster, R. (Ludwig-Bölkow-Systemtechnik, LBST): The impact of electromobility on energy supply in a future energy system dominated by renewable electricity, Präsentation auf der World Hydrogen Energy Conference 2018, Rio de Janeiro, 21 JUN 2018

[LBST 2019]

Michalski, J.; Altmann, M.; Bünger, U; Weindorf, W (Ludwig-Bölkow-Systemtechnik (LBST): Wasserstoffstudie Nordrhein-Westfalen, Eine Expertise für das Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen, Mai 2019, abgerufen unter https://www.wirtschaft.nrw/sites/default/files/asset/document/bericht_wasserstoffstudie_nrw-2019-04-09_komp.pdf am 25. AUG 2020

[McKinsey 2017]

McKinsey & Company im Auftrag des Hydrogen Council: Hydrogen, scaling up - A sustainable pathway for the global energy transition. NOV 2017, abgerufen unter <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2017/11/Hydrogen-scaling-up-Hydrogen-Council.pdf> am 04. AUG 2020

[McKinsey 2019]

McKinsey im Auftrag von FCHJU: Hydrogen Roadmap Europe – A sustainable pathway for the European energy transition. JAN 2019, abgerufen unter <https://www.fch.europa.eu/news/hydrogen-roadmap-europe-sustainable-pathway-european-energy-transition> am 3.11.2020

[McKinsey 2020]

McKinsey & Company im Auftrag des Clean Sky 2 JU und des Fuel Cells and Hydrogen 2 JU F(FCH2JU): Hydrogen-powered aviation – A fact-based study of hydrogen technology, economics, and climate impact by 2050. MAI 2020. Abgerufen unter https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/FCH%20Docs/20200507_Hydrogen%20Powered%20Aviation%20report_FINAL%20web%20%28ID%208706035%29.pdf am 03. AUG 2020

[McPhy 2019]

McPhy: Where do we operate? Abgerufen unter <https://mcphy.com/en/mcphy/facilities/> am 24. AUG 2020

[MKS 2015]

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR); Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu); Ludwig-Bölkow-Systemtechnik (LBST), Deutsches Biomasse-forschungszentrum gemeinnützige GmbH (DBFZ) des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): Identifizierung von Hemmnissen der Nutzung von LNG und CNG im schweren Lkw-Verkehr sowie Möglichkeiten zu deren Überwindung. 8. OKT 2015, abgerufen unter <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/MKS/Ing-cng-schwere-lkw.html> am 25. AUG 2020

[MKS 2016]

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR); Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu); Ludwig-Bölkow-Systemtechnik (LBST), Deutsches Biomasse-forschungszentrum gemeinnützige GmbH (DBFZ) im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): Analyse von Herausforderungen und Synergiepotenzialen beim Zusammenspiel von Verkehrs- und Stromsektor, Wissenschaftlichen Begleitung, Unterstützung und Beratung des BMVI in den Bereichen Verkehr und Mobilität mit besonderem Fokus auf Kraftstoffen und Antriebstechnologien sowie Energie und Klima. APR 2016, abgerufen unter <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/MKS/synergiepotentiale-verkehrs-stromsektor.html> am 25. AUG 2020

[MTU 2020]

MTU Aero Engines – Pressemitteilung: DLR und MTU Aero Engines erforschen Flugantrieb mit Brennstoffzelle. München, 5. AUG 2020, abgerufen unter <https://www.mtu.de/de/news-media/presse/aktuelle-presseinformationen/press-release-detail/dlr-und-mtu-aero-engines-erforschen-flugantrieb-mit-brennstoffzelle/> am 07.AUG 2020

[Nel 2019]

Nel ASA (Nel) – Pressemitteilung: Secured location for low-cost electrolyzer manufacturing with infrastructure allowing for more than 1 GW/year capacity. 28. AUG 2019, abgerufen unter <https://nelhydrogen.com/press-release/nel-asa-secured-location-for-low-cost-electrolyzer-manufacturing-with-infrastructure-allowing-for-more-than-1-gw-year-capacity/> am 07. AUG 2020

[Nel 2020]

Nel ASA (Nel) – Pressemitteilung: Operational update from Nel ASA in relation to COVID-19. 22. MÄR 2020, abgerufen unter <https://nelhydrogen.com/press-release/operational-update-from-nel-asa-in-relation-to-covid-19/> am 07. AUG 2020

[Nikola 2020]

Nikola Corporation (Nikola) – Pressemitteilung: CNH Industrial brands IVECO and FPT together with Nikola Motor Company announce future Nikola TRE production in Ulm, Germany. 06. Februar 2020, abgerufen unter https://nikolamotor.com/press_releases/cnh-industrial-brands-iveco-and-fpt-together-with-nikola-motor-company-announce-future-nikola-tre-production-in-ulm-germany-72 am 07. AUG 2020

[Öko-Institut 2018]

Gores, S.; Graichen, J. (Öko-Institut e.V.): Abschätzung des erforderlichen Zukaufs an Annual Emission Allocations bis 2030. 22. JUN 2018, abgerufen unter <https://www.oeko.de/aktuelles/2018/effort-sharing-hohe-kosten-ohne-ambitionierten-klimaschutz> am 07.AUG 2020

[PNP 2020]

Shell und Niederbayern gründen Modellregion für Wasserstoff. Passauer Neue Presse, 27. AUG 2020, abgerufen unter <https://www.pnp.de/lokales/stadt-und-landkreis-passau/pocking-bad-fuessing-bad-griesbach/Shell-und-Niederbayern-gruenden-Modellregion-fuer-Wasserstoff-3768783.html> am 28. AUG 2020

[Quantron 2020]

Quantron – Pressemitteilung: Quantron AG realisiert Brennstoffzellen-Lkw in Europa. 17. JUN 2020, abgerufen unter <https://www.quantron.net/wp-content/uploads/2020/07/Quantron-AG-realisiert-Brennstoffzellen-Lkw-in-Europa.pdf> am 07. AUG 2020

[Ringel 2020]

Ringel, U. (Ontras): DWV -Monatspromi, Webinar 31. JUL 2020

[SRU 2020]

Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU): Für eine entschlossene Umweltpolitik in Deutschland und Europa – Kurzfassung. MAI 2020, abgerufen unter https://www.umwelttrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01_Umweltgutachten/2016_2020/2020_Umweltgutachten_Kurzfassung.html am 03. AUG 2020

[SSAB 2020]

SSAB – Pressemitteilung: HYBRIT: SSAB, LKAB und Vattenfall to start up the world's first pilot plant for fossil-free steel. 31. AUG 2020, abgerufen unter <https://www.ssab.com/news/2020/08/hybrit-ssab-lkab-and-vattenfall-to-start-up-the-worlds-first-pilot-plant-for-fossilfree-steel> am 1. SEP 2020

[Stern et al. 2006]

Stern, N. H., et al.: Stern Review: The economics of climate change. Vol. 30. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. Abgerufen unter https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20100407172955/http://www.hm-treasury.gov.uk/d/Executive_Summary.pdf am 03. AUG 2020

[SZ 2017]

Balser, M., Ratzesberger, P: EU-Kommission plant einheitliche Maut für ganz Europa. Süddeutsche Zeitung, 31. MAI 2017, abgerufen unter <http://www.sueddeutsche.de/auto/verkehr-eu-kommission-plant-einheitliche-maut-fuer-ganz-europa-1.3529514> am 06. AUG 2020

[thyssenkrupp 2019]

thyssenkrupp – Pressemitteilung: Wasserstoff statt Kohle. 16. APR 2020, abgerufen unter <https://www.thyssenkrupp-steel.com/de/newsroom/pressemitteilungen/wasserstoff-statt-kohle.html> am 20. AUG 2020

[thyssenkrupp 2020]

Dr. Schöffel, M. (thyssenkrupp steel): Hydrogen in the steel industry, webinar. Mission Hydrogen webinar, 23. SEP 2020

[Toyota 2020]

Toyota Motor Corporation (Toyota) – Pressemitteilung: Toyota and Hino to Jointly Develop Heavy-Duty Fuel Cell Truck. 23. MÄR 2020, abgerufen unter <https://global.toyota/en/newsroom/corporate/32024083.html> am 07. AUG 2020

[Trinomics et al. 2019]

Trinomics; Ludwig-Bölkow-Systemtechnik (LBST); E3-Modelling im Auftrag des DG ENER: Impact of the use of the biomethane and hydrogen potential on trans-European infrastructure. Abschlussbericht. Specific Tender under Framework Contract MOVE/ENER/SRD/2016-498 Lot 2 ENER/B1/2018-278, 04. MAI 2020, abgerufen unter https://ec.europa.eu/energy/studies/impact-use-biomethane-and-hydrogen-potential-trans-european-infrastructure_en am 04. MAI 2020

[Trinomics et al. 2020]

Trinomics, Ludwig-Bölkow-Systemtechnik (LBST) im Auftrag von FCHJU: Study on Opportunities arising from the inclusion of Hydrogen Energy Technologies in the National Energy & Climate Plans. AUG 2020, abgerufen unter <https://www.fch.europa.eu/publications/opportunities-hydrogen-energy-technologies-considering-national-energy-climate-plans> am 3.11.2020

[UBA 2020a]

Umweltbundesamt (UBA) -Pressemitteilung: EU-Klimaziele: 60 Prozent weniger Klimagase bis 2030 sind möglich. 29 OKT 2020, abgerufen unter <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/eu-klimaziele-60-prozent-weniger-klimagase-bis-2030> am 30 OKT 2020

[UBA 2020b]

Umweltbundesamt (UBA): Erneuerbare Energien in Zahlen. 13. MÄR 2020, Abrufbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#statusquo> am 06. AUG 2020

[UNFCCC 2015]

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC): Adoption of the Paris Agreement: FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1. Abgerufen unter <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/09r01.pdf> am 08. AUG 2020

[van Wijk 2019]

van Wijk, A. J. M., & Wouters, I. F.: The Bridge between Africa and Europe. SEP 2019, abgerufen unter <http://profadvanwijk.com/wp-content/uploads/2019/09/Hydrogen-the-bridge-between-Africa-and-Europe-5-9-2019.pdf> am 07. AUG 2020

[VDE 2008]

VDE ETG Task Force Energiespeicher: Energiespeicher in Stromversorgungssystemen mit hohem Anteil erneuerbarer Energieträger, 01. DEZ 2008, abgerufen unter <https://www.vde.com/de/etg/publikationen/studien/studieenergiespeicher> am 24. JUL 2020

[Weinberger 2020]

Weinberger, C. (GD Grow, Europäische Kommission) – Diskussionsbeitrag: GreenDeal statt CoronaBonds: Ist grüner Wasserstoff das neue EU-Wirtschaftswunder? - Pfeiffer fragt - Der Polit-Talk, Saarbrücker Schloss, 05. JUN 2020, abgerufen unter <https://derpfeiffer.de/greendeal-statt-coronabonds-ist-gruener-wasserstoff-das-neue-eu-wirtschaftswunder/> am 06. JUL 2020

[WEC Deutschland 2020]

Weltenergieerat Deutschland (WEC Deutschland) – Studie von Ludwig-Bölkow-Systemtechnik im Auftrag des Weltenergierats Deutschland. SEP 2020, abgerufen unter <https://www.weltenergieerat.de/international-hydrogen-strategies/> am 30. OKT 2020.

[Welt 2020]

Welt: Daimler und BMW liegen im Duell um die Brennstoffzelle weit hinten. 27. April 2020, abgerufen unter <https://www.welt.de/wirtschaft/article207541343/Daimler-und-BMW-liegen-im-Duell-um-Brennstoffzelle-weit-hinten.html> am 3.11.2020

[Wuppertal Institut 2020]

Wuppertal Institut – CO2-neutral bis 2035: Eckpunkte eines deutschen Beitrags zur Einhaltung der 1,5-°C-Grenze. Diskussionsbeitrag für Fridays for Future. OTK 2020, abgerufen unter <https://wupperinst.org/a/wi/a/s/ad/5169/> am 30 OKT 2020

Weiterführende Links:

[ADAC 2019]

Ludwig-Bölkow-Stiftung; Ludwig-Bölkow-Systemtechnik (LBST); Fraunhofer IOSB-AST gefördert durch die ADAC Stiftung: Infrastrukturbedarf E-Mobilität - Analyse eines koordinierten Infrastrukturaufbaus zur Versorgung von Batterie- und Brennstoffzellen-Pkw in Deutschland, 27. JUN 2019. Abgerufen unter <https://stiftung.adac.de/foerderschwerpunkte/mobilitaetsforschung/e-mobilitaet/> am 05. AUG 2020

[Blackrock 2020]

Fink, L. (Blackrock): A Fundamental Reshaping of Finance, 14. JAN 2020, abgerufen unter <https://www.blackrock.com/uk/individual/larry-fink-ceo-letter> am 14. AUG 2020

[BMU 2020]

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU): Die Klimakonferenz in Paris. Abgerufen unter <https://www.bmu.de/themen/klima-energie/klimaschutz/internationale-klimapolitik/pariser-abkommen/> am 05. APR 2020

[CREO 2019]

Maisch, M.: CREO 2019: A roadmap for China's energy system. PV-Magazin, 6 DEC 2019, abgerufen unter <https://www.pv-magazine.com/2019/12/17/creo-2019-a-roadmap-for-chinas-energy-system/> am 12. DEC 2019

[DWD 2020]

Jendrischik, M: Klimavorhersage: DWD erwartet deutlichen Anstieg der Lufttemperatur bis 2029. Cleanthinking.de, 12. APR 2020, abgerufen unter <https://www.cleanthinking.de/klimavorhersage-dwd-deutlicher-anstieg-lufttemperatur-2029/> am 05. AUG 2020

[General Motors 2020]

General Motors – Pressemitteilung: GM Statement on Fuel Cell Development. 16. JUL 2020, abgerufen unter <https://media.gm.com/media/us/en/gm/home.detail.html/content/Pages/news/us/en/2020/jul/0716-statement.html> am 06. AUG 2020

[Risiko 2012]

Bundesregierung: „Risikoanalyse „Pandemie durch Virus Modi-SARS“ inkl. Anhang 4 im Bericht zur Risikoanalyse im Bevölkerungsschutz 2012, 03. JAN 2013, abgerufen unter <https://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/17/120/1712051.pdf> am 07. AUG 2020

[Robinius 2020]

Robinius, M. (Forschungszentrum Jülich): Windkraft ist der Grundpfeiler, das Rückgrat der Energiewende. Ohne sie werden wir unsere selbstgesteckten Klimaziele nicht einhalten können. 26. FEB 2020, abgerufen unter <https://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Meldungen/PORTAL/DE/2020/2020-02-26-interview-robinus.html?nn=2538180> am 20. AUG 2020



**Deutscher Wasserstoff-
und Brennstoffzellen-Verband (DWV)**

Robert-Koch-Platz 4
10115 Berlin

Telefon: +49 30 629 594 82
Telefax: +49 30 629 594 83

E-Mail: h2@dwv-info.de
Web: www.dwv-info.de



@DWV_H2



www.dwv-info.de

Wir danken unseren Partnern für die langjährige Unterstützung und freuen uns auf die weitere erfolgreiche Zusammenarbeit mit Ihnen.