

Diskussionsbeitrag

KAS Regionalprojekt Energiesicherheit und
Klimawandel in Asien und Pazifik

 KONRAD
ADENAUER
STIFTUNG



Wasserstoff – Energieträger der Zukunft?

David Waibel, Praktikant der KAS RECAP Hong Kong

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
Abbildungsverzeichnis	2
Tabellenverzeichnis	2
Einleitung	3
Kapitel 1 – Wasserstoff: Eine Einführung	4
1.1 Aktueller Stand der Wasserstoffverwendung	6
Kapitel 2 – Wasserstoff in Asien	8
Kapitel 3 – Chancen und Herausforderungen des Wasserstoffs	11
3.1 Chancen der Technologie	11
3.2 Herausforderungen der Technologie	13
Kapitel 4 – Ausblick: Zukunft des Wasserstoffs	15
4.1 Alternativen zu Wasserstoff	15
4.2 Zukünftige Rolle von H ₂	19
Literaturverzeichnis	20

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Globale CO2 Emissionen (2015)	3
Abbildung 2: Anwendungsbereiche von Wasserstoff	12
Abbildung 3: Herausforderungen einer Wasserstoffwirtschaft	14
Abbildung 4: Emissionsverteilung E-Auto.....	17

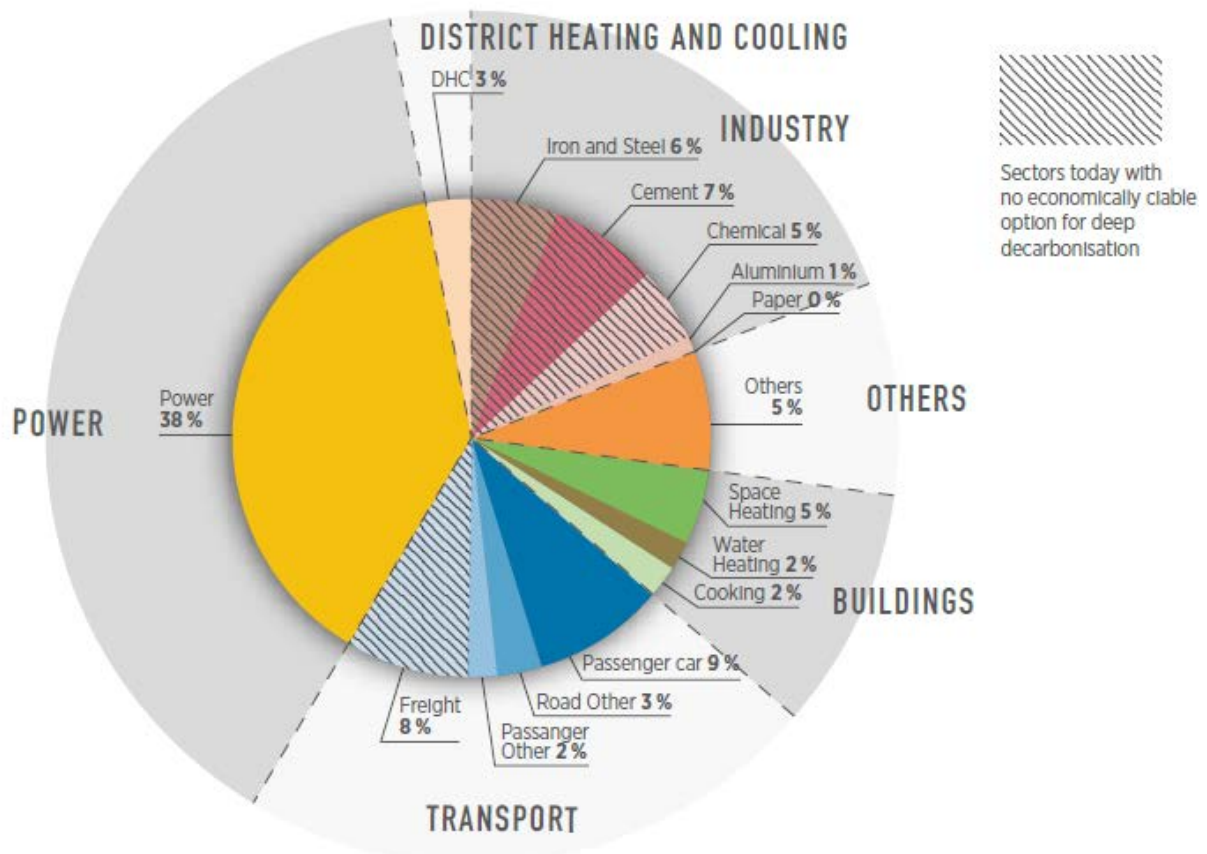
Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verfahren Wasserstoffgewinnung	4
Tabelle 2: Projekte Wasserstofftechnologie weltweit.....	6
Tabelle 3: Wasserstoffentwicklung im asiatischen Raum	9
Tabelle 4: Alternative Energieträger	15

Einleitung

Bis zum Jahr 2050 wird der Energieverbrauch nach OECD Schätzungen um 80% höher sein, als zum heutigen Zeitpunkt (2019) (Reiblein, 2015). Der Hunger nach Energie wächst mit der Bevölkerung und dem wirtschaftlichen Aufschwung in vielen Entwicklungsländern, wie Indien oder China. Die Suche nach nachhaltigen Energiequellen, die auch in Zukunft den Bedarf der Menschen decken werden, gleichzeitig auch mit den Klimazielen vereinbar sind, ist alternativlos, wenn die in Paris vereinbarten Klimaziele eingehalten werden sollen. Als weltweit angestrebtes Ziel soll die globale Erwärmung auf weniger als zwei Grad Celsius bis zum Jahr 2100, gegenüber dem Niveau vor Beginn der Industrialisierung, begrenzt werden. Dieses Paper zielt darauf ab, einen möglichen Beitrag zum Erreichen dieser Ziele, durch den Einsatz von Wasserstoff als Energieträger, zu erläutern, jedoch auch die Herausforderungen kenntlich zu machen, die eine Implementierung einer solchen Technik mit sich bringt.

Abbildung 1: Globale CO₂ Emissionen (2015)



(International Renewable Energy Agency [IRENA], 2018)

Die Graphik zeigt, dass der Energiesektor zu mehr als einem Drittel der weltweit produzierten CO₂ Emissionen beiträgt, was die Wichtigkeit einer Reform dieses Bereiches verdeutlicht. Auch der Transportsektor trägt seinen Teil maßgeblich bei und ist aus diesem Grund auch Ziel vieler neuer Technologien, wie der Elektromobilität oder dem Wasserstoffantrieb.

Kapitel 1 – Wasserstoff: Eine Einführung

Viel diskutiert und regelmäßig als Zukunftstechnologie gepriesen, mit deren Hilfe alle Probleme der heutigen Energieversorgung in naher Zukunft gelöst sein werden. So wurde und wird Wasserstoff in vielen Medien, aber auch von Politikern gerne dargestellt, doch ist die Realität, wie so häufig, komplexer als dargestellt.

Wasserstoff ist das kleinste und leichteste der Wissenschaft bekannte Element. Auf der Erde existiert es nicht in reiner Form, sondern taucht in chemischen Verbindungen auf. Der größte Anteil von Wasserstoff kommt auf der Erde in Verbindung mit Sauerstoff, als Wasser oder Wasserdampf, vor. Wasserstoff kommt in nahezu allen organischen Verbindungen vor, was nicht nur lebende Geschöpfe betrifft, sondern z.B. auch fossile Rohstoffe, die aus Kohlenwasserstoffverbindungen bestehen (Adolf et al., 2017). Wasserstoff an sich ist eine Sekundärenergiequelle, ebenso wie elektrischer Strom, was bedeutet, dass er aus einer anderen, primären Energiequelle gewonnen werden muss (Eisenbeiß, 2005).

Für die Herstellung werden diese zwei Verfahren am häufigsten verwendet:

Tabelle 1: Verfahren Wasserstoffgewinnung

Verfahren	Beschreibung
<i>Reformierungsverfahren</i>	Im industriellen Maßstab wird Wasserstoff hauptsächlich durch Reformierung von Erdgas erzeugt. In den unterschiedlichen Reformierungsverfahren wird den aus Kohlen-Wasserstoffen-Ketten bestehenden fossilen Energieträgern, in mehreren Schritten, der Wasserstoff entzogen. Als Nebenprodukte entstehen u.a. Kohlenmonoxid, Stickoxide und Schwefeldioxid.
<i>Wasser-Elektrolyse</i>	Bei der Elektrolyse wird Wasser (H ₂ O) mit einer Flüssigkeit versetzt, die den Ionentransport ermöglicht. Unter Einsatz von Strom wird Wasser in die Bestandteile Wasserstoff (H ₂) und Sauerstoff (O ₂) zerlegt. Dabei wird die elektrische in chemische Energie umgewandelt und im Wasserstoff gespeichert. In einer Brennstoffzelle kann das umgekehrte Prinzip genutzt werden, um die zuvor chemisch im Wasserstoff gespeicherte Energie wieder in elektrische Energie zurückzugewinnen.

(iea Hydrogen, 2017)

Sinnvoll ist auf lange Sicht lediglich das Verfahren der Wasser-Elektrolyse, aufgrund der Tatsache, dass dabei, wenn der Strom aus erneuerbaren Energien stammt, keine Emissionen erzeugt werden, oder umweltbelastende Nebenprodukte (siehe Reformierungsverfahren) anfallen. Die Ähnlichkeit in der Vielfalt der Einsetzbarkeit zu Erdgas macht den Wasserstoff zu einem Energieträger mit großem Potential, jedoch erst wenn die Förderung der Technologie ökonomisch attraktiver wird als fossile Energieträger. Die Wirkungsbereiche reichen von Kraftfahrtantrieben, über die Betreibung von Industrieanlagen, bis hin zur Verwendung in privaten Haushalten.

1.1 Aktueller Stand der Wasserstoffverwendung

Die Länder sind in der Verantwortung eigene Maßnahmen zu ergreifen, um die Klimaziele umzusetzen und das 1,5 Grad Ziel einhalten zu können. Auf diesem Weg setzen die unterschiedlichen Staaten auf verschiedene Methoden, wobei einige Staaten den Wasserstoff als zukunftsfähigstes Modell einer nachhaltigen Energieversorgung sehen. Allen voran Japan investiert und fördert den Ausbau von Wasserstofftankstellen und die Entwicklung von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen. Auf diese Thematik wird im nächsten Kapitel näher eingegangen.

Die Förderung von Wasserstoff ist in vielen Industrien und Regierungen ein diskutiertes Thema und wird dementsprechend auch in verschiedener Art und Weise finanziell unterstützt. Folgend ist eine Auflistung wichtiger Projekte im Bereich des Wasserstoffs, die bereits umgesetzt oder noch in Planung sind.

Table 2: Projekte Wasserstofftechnologie weltweit

Projekt	Bereich	Beschreibung	Land/Region
<i>Basic Hydrogen Strategy</i>	Automobile, Industrie, Haushalte	In drei Phasen soll Japan in den kommenden zwei Jahrzehnten umgestellt werden. Das Jahr 2020, mit den Olympischen Spielen im Land, gilt der Regierung als erste wichtige Etappe auf dem Weg zur Umsetzung. Bis dahin sollen 40.000 Brennstoffzellenautos wie der Honda Clarity oder der Toyota Mirai auf der Straße sein, bis 2030 gar 800.000.	Japan
<i>ARENA Kooperation mit AquaHydrex</i>	Energieversorgung	Die australische Regierung fördert den Aufbau einer Testanlage zur Herstellung von Wasserstoff, um Wasserstoff in das Gasversorgungsnetz einspeisen zu können.	Australien
<i>Easy Jet Kooperation mit Safran</i>	Luftfahrt	Die Fluggesellschaft „EasyJet“ plant die Aufrüstung ihrer Flugzeugflotte, um mit Hilfe von Solarmodulen und kinetischer Energie, Antrieb für Brennstoffzellen zu generieren und dadurch bis zu 15% Treibstoff einzusparen. Starten soll die erste Maschine 2022.	England

<i>Alstom Coradia iLint Wasserstoffzug</i>	Schienenverkehr	Im Jahr 2017 hat Alstom den ersten wasserstoffbetriebenen Zug nach Deutschland geliefert. Diese Züge sollen auf allen nicht-elektrifizierten Strecken die Diesellokomotiven in Deutschland ersetzen.	Deutschland; Frankreich
<i>Hyundai Buslieferungen</i>	Öffentlicher Nahverkehr	Südkoreas Automobilhersteller Hyundai wurde von Staat damit beauftragt, die Busflotte des Landes mit wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellen auszustatten.	Südkorea

(US Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, 2017); (iea Hydrogen, 2017); (Hastie, 2018)

Die in der Tabelle 2 aufgezeigten Projekte stellen nicht den gesamten Umfang dar, doch sollen einen Eindruck vermitteln, inwieweit die Technologie in die verschiedenen Regionen und Industrien Einzug erhalten hat. Auch sind einige Länder engagierter als andere bei der Förderung der Wasserstoffenergie und der Brennstoffzellenentwicklung. Dies liegt zum einen daran, dass einige Länder alternative Ressourcen zur Verfügung haben und somit weniger Notwendigkeit sehen sich davon zu entfernen, zum anderen an den nationalen Zielvorgaben in Bezug auf Emissionen und erneuerbare Energien. Zwar gibt es supranationale Abkommen wie jenes aus Paris oder Kyoto, jedoch sind dies freiwillige Zusagen der Staatengemeinschaft, bei deren Nichteinhaltung keinerlei Konsequenzen drohen. Auch sind nicht alle Staaten im Pariser Abkommen, so traten die Vereinigten Staaten von Amerika 2017 aus und verfolgen nun eine sehr eigene Richtlinie, wenn es um Klimafragen geht (Shear, M., D., 2017).

Kapitel 2 – Wasserstoff in Asien

Asien ist der am schnellsten wachsenden Markt der Welt mit enormem Potential nicht nur in wirtschaftlichen Bereichen (Monetary, 2018). Aus diesem Grund ist der asiatische Raum auch bei der Thematik der Emissionsreduktion ein entscheidender Faktor, ob es gelingen wird die gesetzten Ziele umzusetzen. Viele Regionen des Kontinents bekommen die Auswirkungen des Klimawandels bereits jetzt zu spüren. So hat China mit massiver Luftverschmutzung, besonders in den Großstädten, und den daraus resultierenden Erkrankungen zu kämpfen. Ähnliches erleben die Menschen auf dem indischen Subkontinent und Südostasien.

Häufig sind auch Staaten betroffen, die trotz geringer eigener Emissionen die Konsequenzen tragen müssen, so werden in Bangladesch, durch den steigenden Meeresspiegel, wesentliche Nahrungsanbaugelände nachhaltig unwirtlich, was die Versorgungslage in diesen Gebieten weiter verschärft. Ebenso in Indonesien, wo Abholzung Bodenerosionen und Austrocknungen von Landflächen bedeuten und klimaregulierende Regenwälder durch Monokulturen ersetzt werden (Hijioka, Lin, & Pereira, 2014)

Wichtig ist daher zu schauen, inwieweit die Nutzung fossiler Energieträger ersetzt werden kann, nicht nur um die Klimabilanz aufzubessern, sondern auch, um die Bevölkerung vor klimabedingten Gesundheitsschäden zu schützen. Im Folgenden wird der Fortschritt im Bereich des Wasserstoffs und der Brennstoffzellen in den Ländern Asiens untersucht, die als einige der Hauptemittenten von Treibhausgasen in der Region gelten.

Tabelle 3: Wasserstoffentwicklung im asiatischen Raum

Länder	Aktueller Stand: Wasserstoff/Brennstoffzelle
<i>China</i>	Der Ausbau von Pipelines und der Transport von Wasserstoff sind kaum verbreitet in China, was momentan mit den strengen Regulationen zu tun hat, unter denen der Energieträger produziert und bewegt werden darf. Doch das Interesse wächst, besonders von Seiten der Automobilindustrie. Im Zuge des Programms „Made in China 2025“, plant die Regierung bis zum Jahr 2030 über 1.000 Wasserstoffproduktionsfabriken zu bauen und mehr als 1.000.000 Fahrzeuge mit H ₂ -Antrieb, öffentlich und privat, auf die Straßen zu bringen.
<i>Indien</i>	Indien hat, besonders in den Großstädten, Probleme die Energieversorgung aufrecht zu erhalten. Das Land setzt deshalb auf massiven Ausbau von Kohlekraftwerken, um unabhängiger von Importen zu werden und baut gleichzeitig seinen Solarenergiesektor stark aus. Im Jahr 2015 wurde die erste Wasserstofftankstelle in Indien eröffnet und heutzutage fahren gut 200 Buse in Neu-Delhi mit Brennstoffzellen. Die „National Hydrogen Energy Road Map“ ist ein Regierungsprogramm, welches 2003 mit dem Ziel implementiert wurde, bis zum Jahr 2020 Minimum 1. Million Fahrzeuge mit entsprechenden Antrieben in den Verkehr zu bringen. Erreicht wurde das Ziel noch nicht, was auch an den vergleichsweise hohen Kosten der Brennstoffzellenproduktion liegt.
<i>Japan</i>	Die „Basic Hydrogen Strategy“ Japans ist mit Abstand die größte Förderung von wasserstoffbetriebenen Technologien weltweit. Die Regierung möchte gemeinsam mit der Industrie Stück für Stück die gesamte Wirtschaft, von Transport, über Produktion bis hin zur Energieversorgung auf klimaneutralen Wasserstoff umstellen. Bis zum Jahr 2030 soll der Wasserstoff ausschließlich durch erneuerbare Energien erzeugt werden und bis zum Jahr 2050 sollen die eigenen CO ₂ Emissionen um 80 % gesenkt werden. Eine Kernrolle bei diesem Vorhaben fällt dem Energieträger H ₂ zu, der, für die japanische Regierung und Wirtschaft, das Mittel der Zukunft darstellt.
<i>Südkorea</i>	Das Ministerium für Wissenschaft und Technologie arbeitet gemeinsam mit dem Ministerium für Handel, Wirtschaft und Energie an der Entwicklung von neuen Einsatzbereichen von Wasserstoff. Die Schwerpunkte der Forschung liegen momentan auf Produktionsfabriken für Wasserstoff, Lagerung in Hochdrucktanks und die Verwendung von Brennstoffzellen in privaten Haushalten zur Energieerzeugung. Zu den wichtigsten Programmen der Regierung in diesem Bereich gelten das „High-Efficient Hydrogen Production Program“ und das „Alternative Energy Technologies Development Program“, welche sich den Ausbau der Technologie in Schlüsselbereichen der Industrie zum Ziel gesetzt haben.

(Pudukudy, Yaakob, Mohammad, Narayanan, & Sopian, 2014); (US Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, 2017); (iea Hydrogen, 2017)

Neben den oben dargestellten Akteuren gibt es in der Region noch weitere Länder, die in Klimafragen eine bedeutende Rolle spielen, jedoch ist die Entwicklung und Förderung von Wasserstofftechnologien dort weniger ausgebreitet, als in den genannten. Auch unter den vorgebrachten Beispielen gibt es Unterschiede in der Fortschrittlichkeit. So ist Japan mit Abstand das Land, was am stärksten in den Wasserstoff als Zukunftsenergieträger investiert und diesen auch langfristig als Kern seiner Energieversorgung sieht. Nach dem Reaktorunfall in Fukushima hat sich diese Position noch weiter bestärkt, da vor allem die Bevölkerung Alternativen zur risikobehafteten Kernenergie fordert. Die Olympischen Spiele 2020 in Japan will die Regierung nutzen, um die Welt von der Nutzbarkeit und den Vorteilen des Wasserstoffs zu überzeugen. Es braucht die Staatengemeinschaft, um ein globales Netz von Wasserstoffproduktionen und Transporten aufzubauen und die Preise der für die Herstellung dauerhaft senken zu können (Hastie, 2018).

Südkorea ist im asiatischen Raum, zusammen mit Japan und zunehmend auch China, ein Vorreiter in der Förderung von erneuerbaren Energien. So sollen bis 2030 12% des gesamten Energiebedarfs durch Wind- und Solaranlagen gedeckt werden, wobei die Abhängigkeit von Kernenergie und Kohle gesenkt werden soll (Chung, 2019). Der effiziente Energietransport und die Speicherung von erneuerbaren Energien spielen dabei eine gewichtige Rolle. Heutzutage besteht das Problem der Speicherung bei vielen Technologien, so sollte es möglich sein, Energie aus Windkraft zu lagern, wenn die Windparks viel Energie produzieren, gleiches gilt bei intensivem Sonnenschein für Solaranlagen. Diese gelagerte Energie kann dann, wenn die Anlagen wetterbedingt weniger Leistung erbringen, in die Netze eingespeist werden.

In China sieht die Situation etwas anders aus. So investiert China viel Geld in die Förderung von „grüner“ Energie und hat den eigenen Automarkt strikt auf Elektromobilität umgestellt, doch werden parallel neue Kohle- und Kernkraftwerke gebaut (McGrath, 2018). Der wachsende Energiebedarf ist eine Herausforderung für die ambitionierten Klimaziele Chinas. Nichtsdestotrotz ist die Entwicklung in China positiv zu bewerten, da das Bewusstsein für die Umweltprobleme gewachsen ist und die Forschung, auch im Bereich des Wasserstoffs, nur förderlich sein kann, für eine Weiterentwicklung der Technologie.

Indien produziert mehr als dreiviertel seines Stroms durch Kohle, was zu massiven Problemen in Sachen Luftverschmutzung führt, ganz abgesehen von den Treibhausgasemissionen, die dadurch entstehen. Die Abhängigkeit von Kohle wird durch den Ausbau von Kernenergie zu reduzieren versucht, was aus Sicht von Sekundärenergieträgern, wie Wasserstoff, nur unwesentlich besser ist (IMF, 2018). Indien muss versuchen die Energieerzeugung nachhaltiger zu gestalten, bevor Investitionen wie in Wasserstoff einen positiven Effekt auf die Klimabilanz des Landes aufweisen können. Der Umstieg auf Brennstoffzellenantriebe im Transportwesen Indiens, besonders der Großstädte, ist jedoch ein richtiger und wichtiger Schritt, da vor allen dort die Menschen unter der Smogbelastung leiden, was zu großen Teilen auch durch die vielen veralteten Verkehrsmittel verursacht wird.

Kapitel 3 – Chancen und Herausforderungen des Wasserstoffs

In diesem Kapitel wird näher auf die Möglichkeiten eingegangen, die der Wasserstoff für die zukünftige Energieversorgung weltweit bietet, jedoch wird auch erläutert, welche Schwierigkeiten die Länder bei der Implementierung von wasserstoffbetriebener Technologie erwartet.

3.1 Chancen der Technologie

Vielversprechend ist Wasserstoff in vielerlei Hinsicht, da die Abgase aus reinem Wasserdampf bestehen, wenn ein Fahrzeug mit einer Brennstoffzelle angetrieben wird, die Wasserstoff umwandelt. Zudem ist die Energiedichte von Wasserstoff viermal so hoch wie etwa die von Benzin oder Diesel, was bedeutet, dass es auf die eigene Masse (z.B. Kilogramm) bezogen, mehr Energie enthält, als Benzin, Diesel oder auch Methan. Diese Eigenschaft macht das Element zu einem hervorragenden Speicher für elektrische Energie, die bspw. aus erneuerbaren Energien erzeugt wird. Die Speicherung, und vor allem der Transport von Energie, stellen eine große Herausforderung für viele Staaten dar, da Windparks, Solaranlagen oder Wasserkraftwerke nicht an jedem beliebigen Ort aufgebaut werden können und somit einige Regionen über mehr Energie verfügen, als diese eigentlich verbrauchen können, während andere Schwierigkeiten haben, eine ordentliche Versorgung zu gewährleisten.

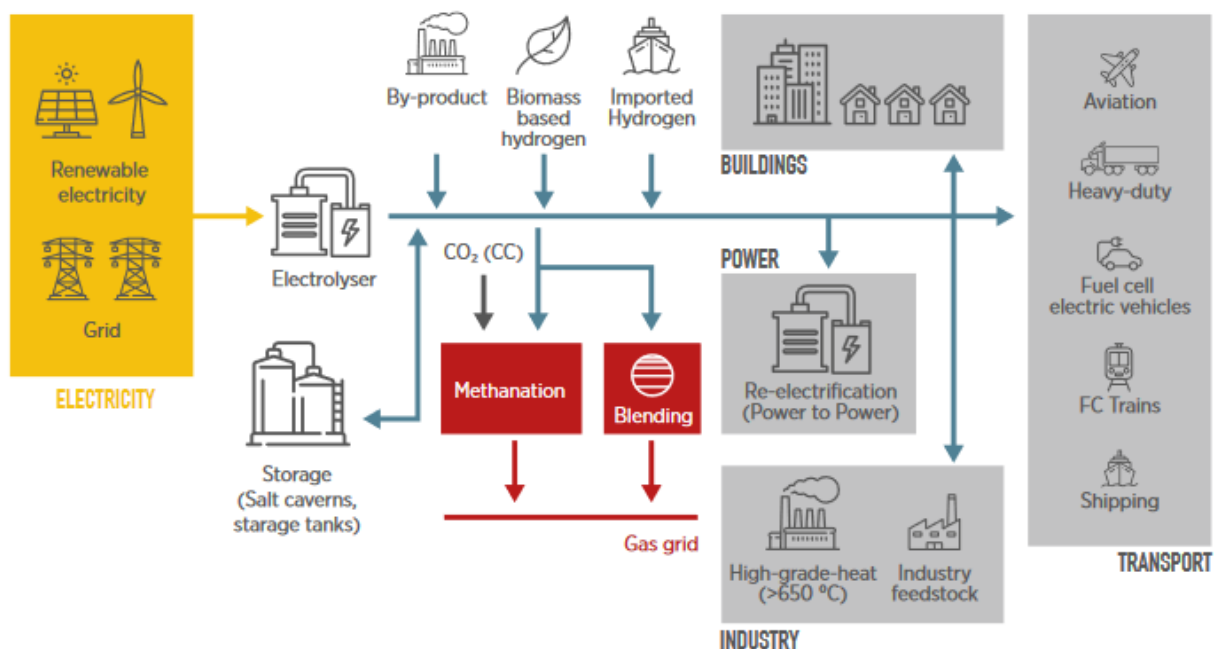
Wasserstoff kann in verschiedenen Formen gelagert werden. Zum einen in flüssiger und gasförmiger Form, zum anderen in Materialien wie Metallhydride. In gasförmigem Zustand muss Wasserstoff unter sehr hohem Druck in Tanks gepresst werden, um Speicherung zu ermöglichen, während die flüssige Lagerung ein Herunterkühlen auf ca. -253 Grad Celsius erfordert. Bei der Speicherung in Materialien geben die beladenen Metallhydride durch zugeführte Wärme die gespeicherte Energie frei (Zhevago, Chabak, Denisov, Glebov, & Korobtsev, 2013).

Wasserstoff könnte dabei als Lösung eingesetzt werden. Die guten Speicher- und Transporteigenschaften können eingesetzt werden, um Regionen besser miteinander zu vernetzen und Orte mit viel Energiepotential mit weniger Versorgten zu verbinden. So sind Überlegungen mit großen Solarparks in der Sahara, die den europäischen und afrikanischen Kontinent mit Strom versorgen, keine reine Utopie mehr, wenn die Transportfrage geklärt wäre (iea Hydrogen, 2017). Auch in kleineren Dimensionen kann H₂ nützlich eingesetzt werden. Wie in Kapitel 2 bereits kurz erläutert, haben Windparks und Solaranlagen das Problem, dass die Energie, die erzeugt wird, nicht effizient gelagert und transportiert werden kann. Auch weht der Wind, oder scheint die Sonne nicht immer dann, wenn ein großer Bedarf an Strom anfällt, was uns zurück zum Problem Speicherung dieser Energie führt.

Pipelines, die für die Gasförderung gebaut wurden, könnten modernisiert oder neue Pipelines könnten eingesetzt werden, um den Transport des auf See hergestellten Wasserstoffs in andere Regionen zu transportieren. Dieses Verfahren wäre sinnvoller und effizienter als z.B. Unterseeleitungen verlegen zu lassen oder gigantische Batterien für die Speicherung der Energie einzusetzen (IRENA, 2018). Eine teilweise Umwandlung der vorhandenen Energielieferinfrastruktur würde die Kosten für eine flächendeckende Wasserstoffinfrastruktur reduzieren und, wenn global angewendet, dafür sorgen, dass rohstoffarme Länder, mit weniger Potential für erneuerbare Energien, wie z.B. Japan, von anderen Staaten mit „grüner“ Energie beliefert werden und diese dann ins eigene Netz eingespeist werden kann.

Zudem kann mit Hilfe von Druckbehältern und Metallhydriden Energie über lange Zeiträume gespeichert werden, ohne dass Energie langfristig verloren geht. Dies ist bei Batterien nicht immer gewährleistet, zum einen wegen der Selbstentladung einiger Batterietypen, zum anderen auch wegen der kurzen Lebensdauer, die hohe Kosten für die Betreuung mit sich bringt, wenn Energie langfristig gespeichert werden soll und die Batterien nach einigen Aufladezyklen ausgetauscht werden müssen.

Abbildung 2: Anwendungsbereiche von Wasserstoff



(IRENA, 2018)

Die Darstellung zeigt wie Wasserstoff dabei helfen könnte das Stromnetz mit den verschiedenen Sektoren aus Industrie, Transport und Gebäuden zu koppeln und gleichzeitig die Einspeisung von erneuerbaren Energien in das System der Energieversorgung zu erleichtern. Eine globale Reform des Energiesektors würde die Entwicklung der Technologie wesentlich beschleunigen, da allein die Preise für die Herstellung, aufgrund der Masse, sinken würden und somit ggf. auch Staaten, die sich durch die zuvor erhöhten Kosten der Herstellung abgeschreckt gefühlt haben, für die neue Technologie entscheiden würden.

Viele Entwicklungsländer scheuen die Kosten einer Energietransition und setzen zunächst auf fossile Energieträger als Motor für Wirtschaft und Bevölkerungsversorgung (Konrad Adenauer Stiftung [KAS], 2014). Dieser Anreiz würde durch eine Kostensenkung und eine internationale Förderung wegfallen, da unter anderem diese Entwicklungsländer (z.B. Ägypten, Tansania, Indonesien, etc.) über gute Voraussetzungen für die Förderung erneuerbarer Energien verfügen, welche dann in Wasserstoff gespeichert und transportiert werden könnte. Ein weltweiter Ausbau wäre, auch unter den zuvor genannten Gesichtspunkten der regionalen Unterschiedlichkeiten an Energieerzeugungsmöglichkeiten und des einhergehenden Austauschs des Energieträgers, von immenser Bedeutung.

3.2 Herausforderungen der Technologie

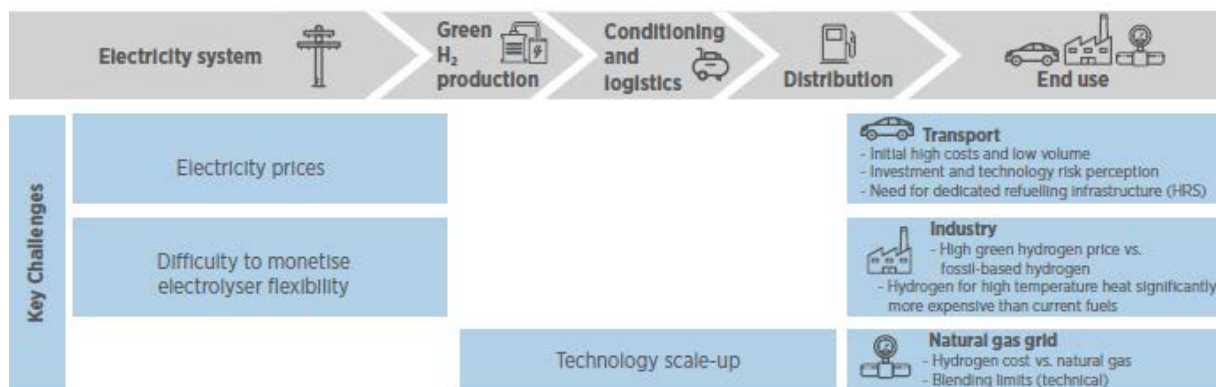
Die gute Speicherkapazität von Wasserstoff und seine hohe Energiedichte machen ihn zu einem Element mit vielversprechenden Aussichten in den Bereichen der Energielagerung und des Energietransports. Jedoch ist Wasserstoff ein leichtes Gas, was dazu führt, dass die Energiedichte pro Volumeneinheit geringer ausfällt, als bspw. Benzin oder Diesel. Um dennoch die gleiche Reichweite oder gar noch weitere Distanzen zurücklegen zu können, müssen bei Fahrzeuge mit einem solchen Antrieb große Tanks eingebaut werden (US Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, 2017). Diese Tanks nehmen Platz weg und müssen aufgrund des hohen Drucks, unter dem H₂ gelagert wird, sehr stabil gefertigt werden. Momentan fassen die Tanks noch nicht die Menge an Wasserstoff, die nötig wäre, damit identische Reichweiten zurückgelegt werden können, wie mit klassischen Benzin- oder Dieseltanks.

Auch die flüssige Lagerung hält Hürden bereit, wenn diese nicht nur für Industrieanlagen, sondern für den Gebrauch bei Verkehrsmitteln angewendet werden soll. (Gangloff & Somerday, 2012) erklären es folgendermaßen: *„Wasserstoffabkühlung und die hohen Kosten hochentwickelter Isolationstechniken, die zur Aufrechterhaltung sehr niedriger Temperaturen erforderlich sind, zusammen mit den anfänglichen Energiekosten für die Erzeugung von flüssigem Wasserstoff machen diese Methode der Wasserstoffspeicherung für die Anwendung in Fahrzeugen mit Wasserstoffbrennstoffzelle unpraktisch.“*

Ein anderer kritischer Punkt sind die hohen Kosten der Herstellung. Momentan fällt ein Großteil des produzierten Wasserstoffs als Nebenprodukt bei der Erdgasförderung an, was die Klimabilanz ins Negative rückt. Durch Elektrolyse werden bisher nur geringe Mengen gewonnen, da die verwendeten Katalysatoren kurzlebig sind und mit teuren Edelmetallen wie Platin oder Rutheniumoxid verbunden sind, was die Kosten für den gesamten Prozess der Herstellung in die Höhe treibt (Sultana, Riches, & O'Mullane, 2018). Hierbei ist zu erwähnen, dass mittlerweile neue Katalysatoren entwickelt wurden, die mit anderen, kostengünstigeren Materialien operieren, was die Wirtschaftlichkeit der Produktion deutlich verbessern könnte, falls diese in Zukunft flächendeckend eingesetzt werden (Michler, Lindner, Eberle, & Meusinger, 2012).

Ein weiteres Problem betrifft die Speicherung von Energie in Wasserstoff und die erneute Umwandlung zu Strom in der Brennstoffzelle. Bei all diesen Prozessen geht Energie verloren, die optimalerweise vorher aus „grünem“ Strom gewonnen wurde (Diermann, 2017). In extremen Fällen können nur 50% der eigentlich erzeugten Energie als Endprodukt verwendet werden, da die andere Hälfte bereits für die Umwandlungen aufgewendet wurde. Diese Herausforderung wurde bei den Speichertanks erfolgreich gemeistert, bei denen es zuvor zu erheblichen Energieverlusten während der Lagerung und des Transports kam.

Abbildung 3: Herausforderungen einer Wasserstoffwirtschaft



(IRENA, 2018)

Die Darstellung ist nochmal eine kurze Sammlung der Herausforderungen, die in diesem Unterkapitel näher erläutert wurden und führt gleichzeitig noch einige neue Barrieren ein, welche ebenfalls beachtet werden sollten

Hürden bestehen zudem auch bei der Betankung von Fahrzeugen mit Wasserstoff durch spezielle Wasserstofftankstellen. So müssen, um eine zu starke Erhitzung des Wasserstoffs während des Tankvorgangs zu vermeiden, Vorkühler in die Tankeinrichtungen installiert werden und spezielle Vorrichtungen für die Tankeingänge implementiert werden (IRENA, 2018). Diese Kühlsysteme verbrauchen ebenfalls Energie, welche möglichst klimaneutral produziert werden sollte. Allgemein muss beachtet werden, dass die Richtlinien für den Transport und die Speicherung von H₂ strenge Sicherheitsauflagen enthalten, da der meiste Wasserstoff noch in Industrieanlagen, durch die Reformation von Erdgas, gewonnen wird (Netherlands Enterprise Agency, 2019). Bei einem Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur und zunehmendem Transport sollte darüber nachgedacht werden die Richtlinien anzupassen, um eine reibungslosere Abwicklung zu ermöglichen, mit Sicherheitsstandards, die dem Risiko der Herstellung und des Transports angemessen sind.

Kapitel 4 – Ausblick: Zukunft des Wasserstoffs

Die vorherigen Kapitel haben sich mit dem aktuellen Stand der Wasserstofftechnologie beschäftigt und versucht die Umsetzung bestimmter Vorhaben realistisch einzuordnen. In diesem Abschlusskapitel geht es darum einen Blick in die Zukunft des Wasserstoffs zu eröffnen und zu erörtern, wie hoch das Potential einer weltweit vernetzten Wasserstoffwirtschaft zu bewerten ist, bzw. welche alternativen Energieträger ähnliche Möglichkeiten bieten.

4.1 Alternativen zu Wasserstoff

Tabelle 4: Alternative Energieträger

Technologie	Vorteile	Nachteile
<i>Batterie/Akku</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Schnell und flexibel einsetzbar/erweiterbar • Kostengünstige Produktion • Vereinfachte Technologie, z.B. bei Fahrzeugmotoren 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoher Konsum von nicht-erneuerbaren Ressourcen (Edelmetalle, seltene Erden) • Starker Emissionsausstoß während Produktion und Transport • Umweltbelastung bei Recyclemaßnahmen
<i>Bioenergie</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Verschiedene Energieformen herstellbar (Wärme, elektrische Energie, Kraftstoffe) • Fest, flüssig oder gasförmig einsetzbar • Energiequelle und Energieträger kombiniert 	<ul style="list-style-type: none"> • Emissionen durch Abfallprodukte (Stickoxide, Ruß, etc.) • Produktion von Biomasse verursacht hohe Emissionen (Palmöl → Waldrodung) • Anbau konkurriert mit Nahrungsmitteln um Flächen

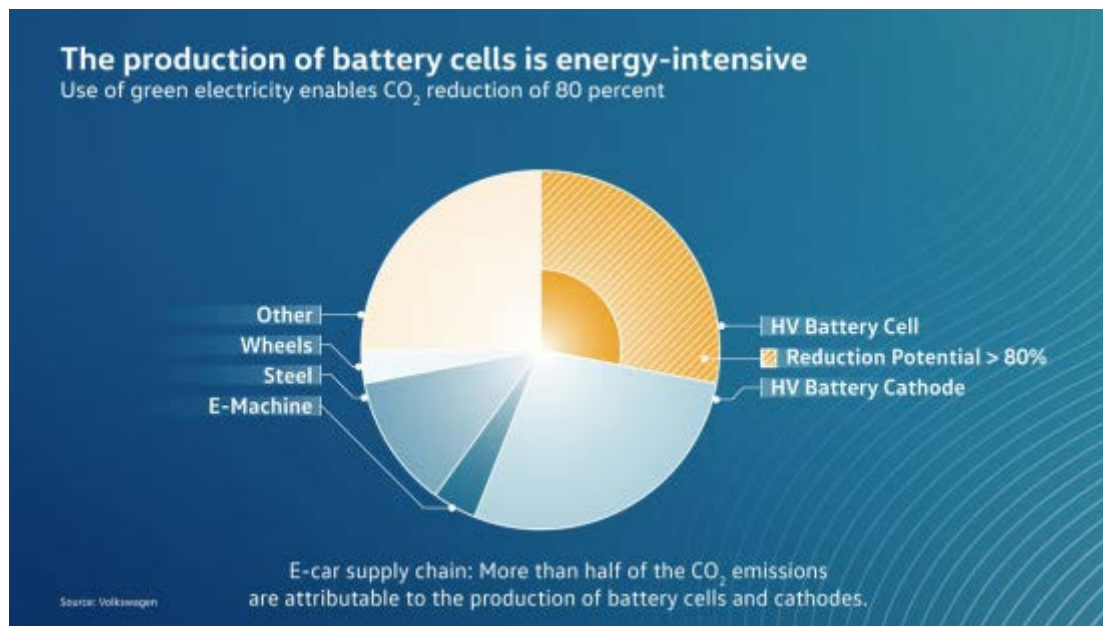
(Umweltbundesamt, 2019); (Strom-Forschung, 2017); (Carbon-Connect AG, 2018)

Die beiden oben genannten Alternativen sind die geläufigsten Anwendungen der Energiespeicherung bzw., Produktion ohne direkte Verwendung fossiler Brennstoffe. Die Batterie- bzw., Akkutechnologie ist das Maß aller Dinge in der E-Mobilität und wird permanent weiterentwickelt, um Reichweite und Ladedauer zu optimieren. Konzerne wie Tesla aus Amerika oder Byton aus China setzen seit Jahren auf das Elektroauto als Fahrzeug der Zukunft und setzen damit die gesamte Branche unter Druck (Eckl-Dorna, 2018). Vor allem die Reduzierung der Kosten von leistungsstarken Batterien (z.B. Lithium-Ionen-Batterie) hat den Aufschwung, besonders bei der E-Mobilität, vorangetrieben und sorgt dafür, dass sich der Fokus in vielen Bereichen der Energieversorgung auf diese Art der Energiespeicherung legt.

Auch in der Industrie werden Batterietechnologien regelmäßig verwendet, um Energie zu speichern oder Anlagen zu betreiben. So werden beispielweise riesige Batterieparks neben Anlagen für erneuerbare Energien aufgezogen, um die Einspeisung ins Stromnetz und die Spannungsschwankungen zu regulieren (Dunn, Kamath, & Tarascon, 2011).

Das Problem mit der Batterietechnologie ist ihre nicht nachhaltige Herstellung. Für die modernen Akkus werden seltene Erden und Schwermetalle, wie Lithium oder Kobalt benötigt, die nur in sehr begrenztem Maße vorhanden sind. Durch den steigenden Bedarf wird auch der Abbau dieser Ressourcen zunehmen und womöglich zu Engpässen bei der Produktion führen. Zu dieser Problematik gesellt sich die CO₂-intensive Herstellung von Batterien. Bei der Förderung von Kobalt und anderen Bestandteilen der Akkus werden große Mengen des Treibhausgases freigesetzt und Nebenprodukte wie Stickoxide entstehen (Carbon-Connect AG, 2018).

Abbildung 4: Emissionsverteilung E-Auto



(Green Car Congress, 2019)

Die Klimabilanz der E-Autos hängt somit auch maßgeblich am Strom, mit dem diese Fahrzeuge angetrieben werden. So ist ein Ausbau der erneuerbaren Energien unabdingbar mit einer Aufbesserung der Klimabilanz von E-Autos verbunden. Des Weiteren ist ein ressourcenschonendes und nachhaltiges Recycling der Batterien nötig, um die umweltschädlichen Inhaltsstoffe von Batterien ordnungsgemäß aufbereiten zu können. Solch ein Konzept ist aufgrund der Tatsache, dass die Förderung der benötigten Materialien günstiger ist als die Wiedergewinnung dieser aus alten Batterien, noch nicht entwickelt worden, was die Klimaverträglichkeit weiterhin in Frage stellt (Larcher & Tarascon, 2015).

Biomasse ist gespeicherte Sonnenenergie in Form von Energiepflanzen, Holz oder Reststoffen wie z.B. Stroh, aus der sowohl Strom, Wärme und Treibstoff gewonnen werden kann. Biomasse kann in fester, gasförmiger oder flüssiger Form hergestellt werden und ist damit in vielen Sektoren flexibel einsetzbar. In der Theorie wird bei Bioenergie nur so viel CO₂ freigesetzt, wie zuvor durch die Pflanzen aufgenommen, was eine klimaneutrale Emissionsbilanz bedeuten würde. Doch in der Praxis geht diese Rechnung meist nicht auf. So werden beispielsweise beim Anbau von Palmöl für die Herstellung von Biodiesel große Landflächen, meist durch Brandrodungen, „aufbereitet“ (Umweltbundesamt, 2019). Solche Aktionen setzen große Mengen CO₂ und andere Schadstoffe in die Atmosphäre frei und zerstören gleichzeitig Wälder, die der Reduzierung der Treibhausgase dienen.

Weiterhin wird, wenn Energiegewinnung aus Bioenergie in großem Maße vorangetrieben würde, der Nahrungsmittelanbau mit dem Anbau der Bioenergie um Landfläche konkurrieren, was, bei wachsender Bevölkerung und steigendem Energieverbrauch, Konfliktpotential birgt. Auch die Verdrängung von Waldgebieten und deren Artenvielfalt könnte langfristig zu einem Faktor werden, der Bioenergie als Zukunftsenergiequelle ausscheiden lässt. In vielen Entwicklungsländern wird viel Energie mit Holz oder Holzkohle erzeugt, da dies häufig die ökonomischste Alternative für die Bevölkerung darstellt und zudem einfach verfügbar ist, was aber gleichzeitig ineffizient und wenig nachhaltig ist. Im Allgemeinen ist, mit Blick auf die Energieeffizienz in Relation zur benötigten Fläche, die Bioenergie keine realistische Alternative, um langfristig große Teile der weltweiten Energieversorgung sicherzustellen, da riesige Flächen benötigt werden würden, um einen bedeutenden Teil des Energiebedarfs zu decken.

Es gibt jedoch auch andere Arten die Biomasse zu nutzen, z.B. die stoffliche Nutzung, welche in doppelter Hinsicht Vorteile birgt. Die Energiegewinnung aus Rest- und Abfallstoffen, wie die Vergärung Gülle, liefert zum einen Energie und transformiert zum anderen die Gülle in einen bodenverträglichen Dünger (Strom-Forschung, 2017). Die Verwendung von Abfallstoffen liefert hierbei eine umweltverträglich Möglichkeit Energie zu erzeugen und Reststoffe weiterzuverarbeiten.

4.2 Zukünftige Rolle von H₂

Die Tatsache, dass es möglich ist Wasserstoff ohne Emissionen oder schädliche Nebenprodukte bei Erzeugung und Verwendung zu generieren, machen das Element zu einem Energieträger mit großem Potential. Eine der fortschrittlichsten Ökonomien unserer Zeit, Japan, setzt als führende Kraft auf eine Wirtschaft und Gesellschaft, die ihren Energiebedarf durch, sauber erzeugten, Wasserstoff deckt. Zudem kommt H₂ auf unserem Planeten, wenn auch nicht in reiner Form, in nahezu unbegrenztem Maße vor, was die Beschaffungsfrage klärt und gleichzeitig, in Zeiten der Diskussionen über die Einhaltung der festgelegten Klimaziele, eine Möglichkeit bietet, diese Ziele realistisch umsetzen zu können. Die Anwendungsbereiche von Wasserstoff sind vielfältig, reichen von Raumfahrt, über Nutzfahrzeuge, bis zur Energieversorgung großer Städte, von denen es in Zukunft immer mehr, mit wachsender Bevölkerung, geben wird.

Betrachtet man die oben genannten gängigen Alternativen, so erscheint Wasserstoff als realistische und umsetzbare Technologie für die Energieversorgung der Zukunft. Die Förderung von Batterie- und Akkuspeichern wird auch zu Verbesserungen in den kritisch angesprochenen Bereichen führen, doch wird diese Art der Energielagerung in absehbarer Zeit nicht emissionsfrei erzeugt werden können. Bioenergie hat in bestimmten Formen Potential zur Energieversorgung beizutragen, besonders wenn Energiegewinnung aus Abfallstoffen oder Reststoffen forciert wird, da diese in natürlich großen Mengen, während der Produktionsschritte anderer Prozesse, anfallen.

Ein Hauptfaktor für das Gelingen einer funktionierenden Wasserstoffwirtschaft ist die weltweite Zusammenarbeit. Nur wenn es einen globalen Trend hin zu Herstellung von Wasserstoff und Ausbau von Infrastrukturprojekten gibt, wird es sich für viele Staaten, die aus ökonomischen Gründen auf Kernenergie oder fossile Energieträger setzen, lohnen auf Wasserstoff als Kerntreiber der Wirtschaft zu setzen. Japan, als Haupttreiber von wasserstoffbasierten Technologien, wird kurioserweise darauf hoffen, dass andere Staaten die Techniken kopieren und adaptieren werden, um somit Produktionskosten zu senken und Transportmöglichkeiten verbessern zu können.

Wasserstoff allein ist nicht die Lösung zur Deckelung der weltweiten Emissionen, da die Klimabilanz mit der Entwicklung erneuerbarer Energien steht und fällt. Werden jedoch in Zukunft vermehrt effiziente und nachhaltige Methoden der Energiegewinnung entwickelt und vorangetrieben, so kann Wasserstoff einen wichtigen Beitrag leisten, die gewonnene Energie effektiv zu transportieren und für emissionsfreie Antriebe bereitzustellen.

Literaturverzeichnis

- Adolf, J., Balzer, C. H., Louis, J., Schabla, U., Fishedick, M., Arnold, K., . . . Schüwer, D. (2017). *Shell Hydrogen Study: Energy of the Future?: Sustainable Mobility through Fuel Cells and H₂*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31848.57604>
- Carbon-Connect AG. (2018). Elektromobilität: Die Batterie - zu schwer, zu teuer, zu umweltbelastend. Retrieved from <https://www.carbon-connect.ch/de/klimalounge/news-detail/194/elektromobilitaet-die-batterie-zu-schwer-zu-teuer-zu-umweltbelastend/>
- Chung, J. (2019). South Korea likely to miss its 2030 renewable energy target. Retrieved from <https://www.reuters.com/article/us-southkorea-energy/south-korea-likely-to-miss-its-2030-renewable-energy-target-woodmac-idUSKCN1R807X>
- Diermann, R. (2017). Technik-Mythos: Wasserstoff revolutioniert die Energieversorgung. Retrieved from <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Technik-Mythos-Wasserstoff-revolutioniert-die-Energieversorgung-3638549.html>
- Dunn, B., Kamath, H., & Tarascon, Jean-Marie. (2011). Electrical energy storage for the grid: a battery of choices. *Science (New York, N.Y.)*, 334(6058), 928–935. <https://doi.org/10.1126/science.1212741>
- Eckl-Dorna, W. (2018). Elektroauto: Tesla-Konkurrent Lucid Motors hofft auf Geld aus Saudi-Arabien. Retrieved from <https://www.manager-magazin.de/unternehmen/autoindustrie/elektroautos-diese-startups-aus-china-wollen-tesla-konkurrenz-machen-a-1143214.html>
- Eisenbeiß, G. (2005). Kommt die Wasserstoff-Wirtschaft? Wasserstoff als Energieträger. *Physik in Unserer Zeit*, 36(3), 135–140. <https://doi.org/10.1002/piuz.200501070>
- Gangloff, R. P., & Somerday, B. P. (Eds.). (2012). *Gaseous hydrogen embrittlement of materials in energy technologies*. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd.
- Green Car Congress. (2019). Volkswagen striving to make production of the electric ID. carbon-neutral. Retrieved from <https://www.greencarcongress.com/2019/02/20190218-volkswagenid.html>
- Hastie, R. (2018). Hydrogen: How Japan hopes to lead a global hydrogen revolution. Retrieved from <https://www.smart-energy.com/industry-sectors/smart-energy/hydrogen-japan/>
- Hijioka, Y., Lin, E., & Pereira, J. J. (2014). IPCC Climate Change Report: Asia.
- lea Hydrogen. (2017). *Global Outlook and Trends for Hydrogen*.
- IMF. (2018). *Good times, uncertain times: A time to prepare* (World economic and financial surveys). Washington, DC.

- International Renewable Energy Agency. (2018). *Hydrogen from Renewable Power: Technology Outlook for the Energy Transition*.
- Konrad Adenauer Stiftung. (2014). *Klimareport 2014: Energisicherheit und Klimawandel*.
- Larcher, D., & Tarascon, J-M. (2015). Towards greener and more sustainable batteries for electrical energy storage. *Nature Chemistry*, 7(1), 19–29.
<https://doi.org/10.1038/nchem.2085>
- McGrath, M. (2018). Worries over China coal power boom. Retrieved from <https://www.bbc.com/news/science-environment-45640706>
- Monetary, I. (2018). *Regional Economic Outlook, April 2018, Asia Pacific*. Washington, D.C.: International Monetary Fund.
- Netherlands Enterprise Agency. (2019). *Overview of Hydrogen and Fuel Cell Developments in China*.
- Pudukudy, M., Yaakob, Z., Mohammad, M., Narayanan, B., & Sopian, K. (2014). Renewable hydrogen economy in Asia – Opportunities and challenges: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 743–757. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.015>
- Shear, M., D. (2017). Trump Will Withdraw U.S. From Paris Climate Agreement. Retrieved from <https://www.nytimes.com/2017/06/01/climate/trump-paris-climate-agreement.html>
- Strom-Forschung. (2017). Bioenergie. Retrieved from <https://strom-forschung.de/forschungsthemen/bioenergie/>
- Sultana, U. K., Riches, J. d., & O'Mullane, A. P. (2018). Gold Doping in a Layered Co-Ni Hydroxide System via Galvanic Replacement for Overall Electrochemical Water Splitting. *Advanced Functional Materials*, 28(43), 1804361.
<https://doi.org/10.1002/adfm.201804361>
- Umweltbundesamt. (2019). Bioenergie. Retrieved from <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/bioenergie>
- US Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. (2017). Hydrogen Storage. Retrieved from <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage>
- Zhevago, N. K., Chabak, A. F., Denisov, E. I., Glebov, V. I., & Korobtsev, S. V. (2013). Storage of cryo-compressed hydrogen in flexible glass capillaries. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(16), 6694–6703. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.03.107>

Konrad-Adenauer-Stiftung e. V.

David Waibel
Praktikant bei der KAS RECAP, Hong Kong
www.kas.de/recap

Die Ansichten und Meinungen, welche in diesem Paper geäußert werden, sind die des Autors und repräsentieren nicht immer die Sichtweisen der Konrad-Adenauer-Stiftung.



The text of this publication is published under a Creative Commons license: “Creative Commons Attribution- Share Alike 4.0 international” (CC BY-SA 4.0), <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>