

Wasserstoff und synthetische Treibstoffe mehr als theoretische Alternativen?

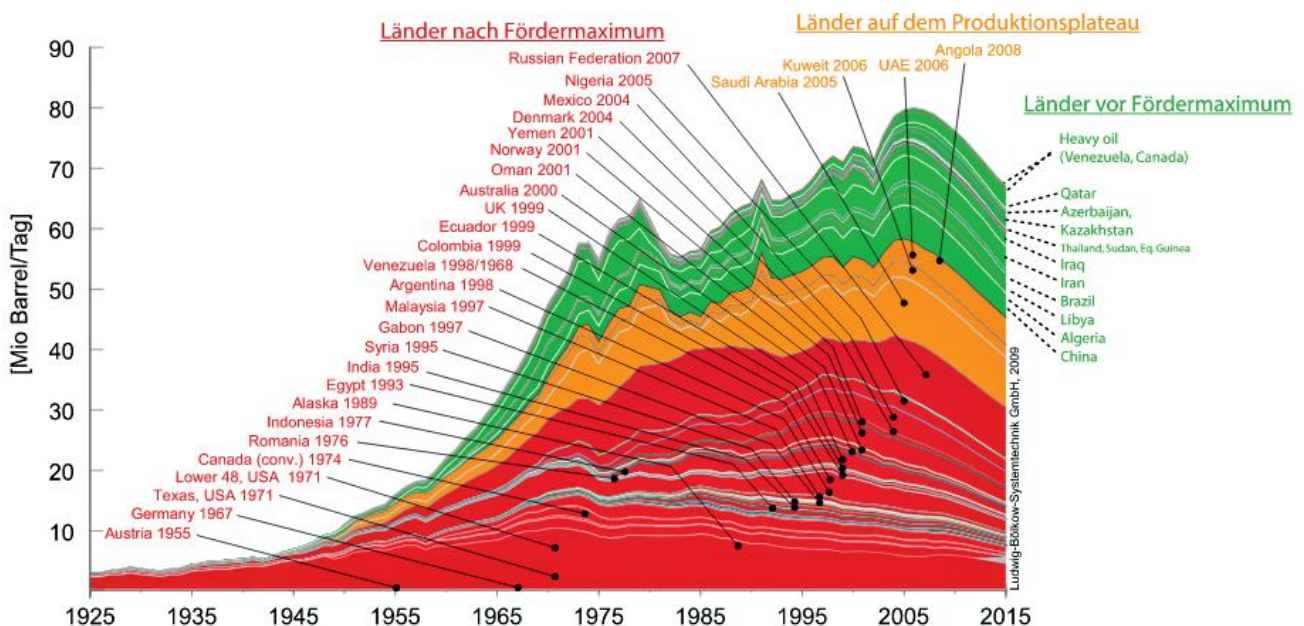
Mit dieser Arbeit wird der Versuch unternommen, die wesentlichen Inhalte einer großen Zahl von Quellen zu diesem Thema zusammen zu fassen. Auf die verwendeten Quellen wird in Klammernummern verwiesen. Die Quellen sind im Anhang in der Reihenfolge ihrer Verwendung aufgelistet.

Einleitung

Allmählich gewinnt die Erkenntnis Raum, dass in den nächsten 20 bis 30 Jahren Entscheidendes passieren muss, um die Erderwärmung einzubremsen. Ebenso, dass bei Unterbleiben dieser Maßnahmen in diesem Zeitraum, gewisse Kippunkte überschritten werden und Entwicklungen irreversibel werden. Salopp formuliert kann man sagen: wenn nicht bis 2050 Entscheidendes zur Eindämmung der Erderwärmung passiert, wird es gegen Ende dieses Jahrhunderts ungemütlich auf der Erde. Immer mehr Menschen wird auch bewusst, dass das kein theoretischer, ferner Zeitpunkt ist, sondern, dass die Kinder, die jetzt in den Kindergärten sind, dann noch leben. (0)

Es ist unbestritten, dass die Erderwärmung nur gebremst werden kann, wenn die Emission von Treibhausgasen massiv eingebremst wird. Dazu gehört unverzichtbar der Ausstieg aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe. Unterstützt wird dieser umweltpolitische Ansatz zum Ausstieg aus Kohle, Erdöl und Erdgas auch durch die Tatsache, dass die Vorräte dieser Energieträger im Abnehmen begriffen sind, deren Förderung teurer und damit unwirtschaftlich wird, eines Tages zusätzlich durch zunehmende Verknappung. Diese Entwicklung kann auch durch neue Funde nicht verhindert werden. Es sprechen also auch ökonomische Aspekte für die Entwicklung von Alternativen.

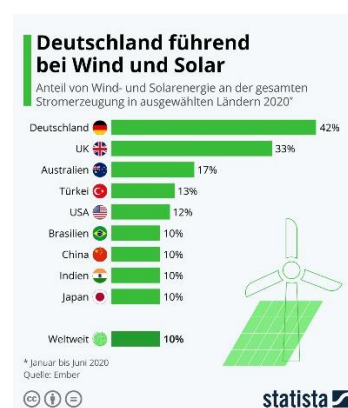
Wie die folgende Grafik zeigt, das Maximum der Weltförderung »billigen« Erdöls wurde etwa 2005 überschritten.



Es ist also unerlässlich, alternative Energieformen zu entwickeln und nutzbar zu machen. Das gilt in besonderem Ausmaß für die Sonnenenergie. Mit Ausnahme von Gezeitenenergie und der Erdwärme sind die erneuerbaren Energiequellen mehr oder weniger direkte Auswirkungen oder Folgen der Sonnenenergie. Die auf die Erde einstrahlende Sonnenenergie umfasst das 15.000-fache des derzeitigen Energieverbrauchs. Es geht also darum, Techniken zu entwickeln, die die Nachteile der sonnenausgelösten erneuerbaren Energieformen ausgleichen. Nämlich, dass sie diskontinuierlich sind und einen geringeren Wirkungsgrad als die chemische Energieumwandlung der fossilen Energieträger haben.

Bei den erneuerbaren Energieformen stehen Wasserkraft, Windenergie und direkte Solarenergie im Vordergrund. Mit all diesen Energieträgern wird elektrischer Strom erzeugt. Mit Ausnahme der Wasserkraft stehen diese Energieformen aber nicht kontinuierlich zur Verfügung, die Stromerzeugung damit kann dem Strombedarf also nur sehr bedingt angepasst werden. Damit stellt sich das Problem der Stromspeicherung. Strom kann direkt in Batterien, Akkumulatoren und Kondensatoren gespeichert werden. Dabei sind die Speichermengen relativ begrenzt. Indirekt kann Strom auch in Pumpspeicherkraftwerken oder in diversen Druckkammersystemen gespeichert werden. Hier sind zwar größere Mengen möglich, jedoch sind das technisch aufwendige kapitalintensive und teilweise auch sehr raumintensive Verfahren. (1)

Es ist unverkennbar, dass die Entwicklung im Energiesektor hin zu mehr Alternativenergien geht, auch wenn es berechtigte Kritik daran gibt, dass diese Entwicklung schneller gehen müsste. Die folgenden Grafiken zeigen das. Sie zeigen auch, dass diese Entwicklung eine globale ist, wenn auch mit kontinental und regional unterschiedlichen Geschwindigkeiten. (2)



Mit dieser Entwicklung zu deutlich mehr Strom aus Wind- und Sonnenenergie gewinnt Wasserstoff zunehmend mehr Bedeutung als Energiespeicher und Energieträger.

Wasserstoff

Wasserstoff hat die Vorteile, dass er auf der Erde nahe unbegrenzt vorhanden ist, dass er sehr leicht ist und eine sehr hohe Energiedichte aufweist. Er hat allerdings den Nachteil, dass er nur in gebundener Form vorhanden ist, also zu seiner Verwendbarkeit aus dieser Bindung gelöst werden muss. Er kann nicht gewonnen werden, sondern muss erzeugt werden. (3) Das ist natürlich mit Kosten verbunden und bringt den Wasserstoff in eine Wettbewerbssituation mit anderen Energieträgern.

Es soll daher zunächst der Frage nachgegangen werden, welcher Nachdruck auf die Entwicklung von Wasserstoff als Energieträger der Zukunft zu erkennen ist.

Die derzeitige österreichische Bundesregierung hat in ihrem Programm das Ziel festgehalten, Österreich zur Wasserstoffnation Nr. 1 der Welt zu machen. Das mag eine Übertreibung der Regierung eines kleinen Staates sein, zeigt aber immerhin, dass die österreichische Regierung Forschung und Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft vorantreiben will. Die Bundesrepublik Deutschland hat vor kurzer Zeit ihre nationale Wasserstoffstrategie vorgestellt. Darin wird dem Wasserstoff eine zentrale Rolle bei der Weiterentwicklung und Vollendung der Energiewende zugewiesen. (4) Neueste Nachrichten informieren darüber, dass die Niederlande groß in den Aufbau von Offshore Windparks und die Produktion von grünem Wasserstoff einsteigen wollen. (5) Japan hat schon vor einigen Jahren als erstes Industrieland der Welt eine nationale Wasserstoffstrategie vorgestellt. Bei den Olympischen Spielen soll demonstriert werden, wie weit man damit schon gekommen ist. (6) Ähnliches wie für Japan gilt für den gesamten asiatischen Raum. Auch in Australien bahnt sich eine massive Hinwendung zu alternativem Strom und grünem Wasserstoff an. Zwar nicht durch die Regierung, die hält derzeit noch an der Kohle fest, aber angetrieben durch Unternehmer. (7) Auch aus China und arabischen Länder gibt es Nachrichten, dass man sich verstärkt dem Wasserstoff zuwenden will. Zusammenschlüsse von Staaten und Unternehmungen mit dem Ziel die Wasserstoffwirtschaft voran zu bringen, wie das Hydrogen Council, dürfen ebenso nicht unterschätzt werden. (8)

Eine an Intensität gewinnende Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft ist unverkennbar und unbestreitbar. Das ist zu begrüßen, weil darin Potential zur Zurückdrängung der Verwendung fossiler Energieträger und damit der Reduktion von CO₂ Emissionen steckt. Aber Wasserstoff wird in gewissem Umfang schon derzeit eingesetzt.

Wasserstoff ist ein wichtiger Grundstoff für die Synthese chemischer Verbindungen und bei Reduktionsreaktionen in der Metallurgie. Aus der Sicht der Energiewirtschaft ist Wasserstoff ein Sekundärenergieträger, der heute nahezu ausschließlich aus fossilen Rohstoffen hergestellt wird. Weltweit wird der derzeitige jährliche Verbrauch von Wasserstoff auf 500 Mrd. Nm³/a geschätzt, was mit 5 400 PJ/a aus energetischer Sicht einen vernachlässigbaren Beitrag darstellt. Davon wird wiederum knapp die Hälfte direkt energetisch genutzt, meist in verunreinigter Form als Abfallprodukt chemischer Prozesse. Etwa die Hälfte des in Deutschland hergestellten Wasserstoffs (ca. 19 Mrd. Nm³/a) wird aus Erdgas und Naphta erzeugt. Die andere Hälfte fällt als Nebenprodukt in Raffinerien an und wird dort weitgehend für die Hydrierung eingesetzt. Ein geringer Anteil (ca. 2%) ist Nebenprodukt der Chloralkalielektrolyse. (9)

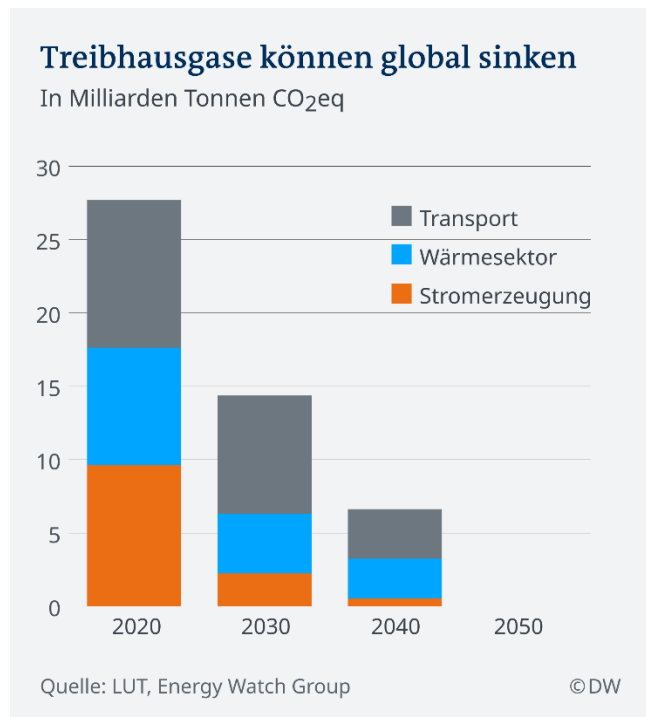
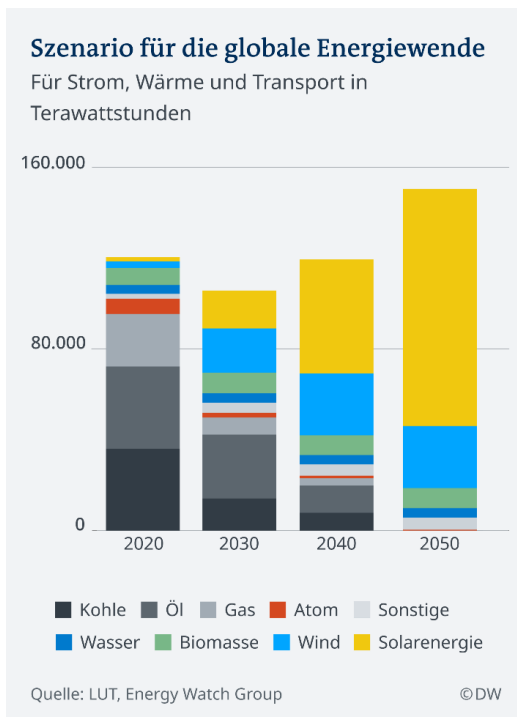
Wie vorstehend angedeutet, kann Wasserstoff auf verschiedene Art erzeugt werden. Hier unterscheidet man zwischen grauem, blauem und grünem Wasserstoff. Grauer Wasserstoff wird aus fossilen Energieträgern, hauptsächlich Erdgas, gewonnen. Blauer Wasserstoff wird auch aus fossilen Energieträgern oder Biogas gewonnen. Der Unterschied zu grauem Wasserstoff besteht darin, dass beim blauen Wasserstoff das bei der Dampfreformierung anfallende CO₂ nicht in die Atmosphäre abgegeben, sondern abgesondert und dauerhaft gelagert oder industriell verwendet wird. Grüner Wasserstoff wird mittels Elektrolyse hergestellt, wobei bei dieser Trennung von Wasser in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff ausschließlich Strom aus erneuerbaren Energien verwendet werden darf. (10)

Grüner Wasserstoff

Es liegt auf der Hand, dass eine nachhaltige Wasserstoffwirtschaft ausschließlich auf grünem Wasserstoff basieren kann. Durch das Bekenntnis von immer mehr Regierungen, auch der EU-Organen (11), das Pariser Klimaabkommen umsetzen zu wollen sowie die Konkretisierung von CO₂ Bepreisungsvorhaben, gewinnen die Alternativenenergien an Wettbewerbsfähigkeit und kommt Dynamik in deren Entwicklung. Das bedeutet, dass immer mehr Unternehmen hier ein neues rentables Geschäftsfeld entstehen sehen und die Entwicklung vorantreiben, wie neben anderen auch der deutsche Energiekonzern RWE (12). Dadurch entsteht ein sich selbst beschleunigender Prozess

von Forschung und Entwicklung, der nicht nur die vorhandenen Produkte und Methoden verbessert, sondern auch neue, noch effektivere hervorbringt. Das optimiert langfristig auch die Kosten der alternativen Energieformen.

Das zeigt auch die folgende Grafik mit Prognosen der Entwicklung der Verteilung der Energieträger in den nächsten Jahrzehnten. Damit könnten auch die CO₂ Emissionen entsprechend sinken. (13)



Die mit flüssigen Kraftstoffen betriebenen Motoren bekommen zukünftig Konkurrenz durch Hybrid- oder rein elektrische Antriebe, die Elektrizität aus erneuerbaren Quellen beziehen.

Die fluktuierend erzeugte erneuerbare Energie kann in Batterien oder als elektrolytisch hergestellter Wasserstoff gespeichert werden. Der so produzierte Wasserstoff kann direkt in Wasserstofffahrzeugen genutzt oder in die Produktion von flüssigen Kraftstoffen eingekoppelt werden, zum Beispiel um Erdölkomponenten in der Raffinerie zu hydrieren. Außerdem lässt sich Wasserstoff mit Kohlenstoffmonoxid oder Kohlenstoffdioxid zu synthetischen Kohlenwasserstoffen, Methan oder andere Energieträger umsetzen. (14) Wasserstoff stellt eine Schlüsseltechnologie der Energiewende dar und eröffnet gerade für Deutschland auch Exportpotenziale. Bei durch Skaleneffekte weiter sinkenden Kosten wird die Wasserstofftechnologie einen signifikanten Beitrag zur Wirtschaftsleistung leisten. Insgesamt stimmt optimistisch, dass weltweit Förderprogramme aufgelegt werden und im Rahmen des Klimaschutzes mit Nachdruck an der Entwicklung der wirtschaftlichen Nutzung der Wasserstofftechnologie gearbeitet wird. Optimistisch stimmt auch, dass wichtige Teile dieser Wertschöpfungskette allmählich aus dem Labor in die industrielle Produktion übertragen werden. (15)

Durch die stetig zunehmende Produktion von Strom aus den diskontinuierlichen Energieformen Wind und Sonne kommt der langfristigen Speicherung Strom durch Wasserstoff und Methan eine wachsende Bedeutung zu. Daher ist auf diesem Gebiet eine enorme Entwicklung im Gange. Wasserstoff und Methan werden als Energiespeicher für elektrische Energie hoch gehandelt. Denn diese Gase lassen sich prinzipiell ganz einfach unter Einsatz elektrischer Energie aus Wasser gewinnen. Mit der Gewinnung geht elektrische in chemische Energie über. Als Wasserstoff oder in Form von Methan kann Energie auch langfristig gespeichert werden. Für die Energiewende sind Speicheroptionen von entscheidender Relevanz, denn Sonnen-, Windenergie, Wellen- oder Gezeitenenergie sind sogenannte dargebotsabhängige Energieformen. (16)

Auf dem Sektor der Erzeugung von Wasserstoff, aber auch der Effizienzsteigerung der Fotovoltaik durch Erhöhung des Wirkungsgrades der Fotovoltaikzellen wird intensiv geforscht. Zahlreiche Projekte sind im Laufen und liefern vielversprechende Zwischenergebnisse.

Das Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e.V. (INP) in Greifswald arbeitet gemeinsam mit dem Institut für Vernetzte Energiesysteme e.V. des Deutschen Zentrums für Luft und Raumfahrt (DLR) in Oldenburg im Rahmen des Projektes 3DnanoMe 2.0 daran, die Technologie von Brennstoffzellen zu optimieren. Innerhalb von drei Jahren soll ein Verfahren, das für eine erhöhte Effizienz elektrokatalytischer Schichten auf Gasdiffusionselektroden sorgt, skaliert und validiert werden, mit dem Ziel, die Technologie in die Praxis zu übertragen. In einem Vorprojekt haben Forscher am INP ein mittlerweile patentiertes plasmabasiertes Verfahren entwickelt, mit dem sich elektrokatalytische Schichten mit hohen Aktivitäten und hoher Stabilität herstellen lassen. Diese katalytischen Schichten erhöhen durch eine Senkung der Aktivierungsbarriere die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen und können, eingesetzt in Gasdiffusionselektroden oder Membran-Elektroden-Anordnungen, als gängige Produkte für elektrochemische Systeme wie Brennstoffzellen und Elektrolyseure verwendet werden. (17)

Forscher vom Karlsruher Institut für Technologie haben mit Taiwanesischen Kollegen der National Dong Hwa Universität zeigen können (Studie), wie mit Hilfe von energiereichem Infrarotlicht, das nahezu 50 Prozent des Sonnenlichts darstellt, energiereicher Wasserstoff direkt ohne großen technischen Aufwand und Stromverbrauch hergestellt werden kann. Den Wissenschaftlern vom Karlsruher Institut für Technologie ist es gelungen, die Synergien zwischen Elektrolyse und Methanisierung erstmals konsequent auszuschöpfen. Das im HELMETH-Projekt erzeugte Erdgassubstitut enthielt letztlich stets Wasserstoffkonzentrationen kleiner 2 Volumenprozent und wäre somit in das gesamte deutsche Erdgasnetz ohne Einschränkungen einspeisefähig. (16)

Für die Erzeugung von mehr und günstigem Wasserstoff ist auch die Weiterentwicklung der Solarstromerzeugung von Bedeutung. Hier scheint einem der deutschen Fraunhofer Forschungsinstitute ein entscheidender Schritt gelungen zu sein. Es wurde über die Entwicklung einer direkt auf Silizium gewachsenen III-V/Si-Tandem-Solarzelle mit einem Wirkungsgrad von 25,9 Prozent berichtet. (18)

Aber auch bei der Erzeugung von Wasserstoff mit ganz neuen Methoden ist die Wissenschaft tätig. So soll eine Möglichkeit gefunden worden sein, mittels einer 3-schichtigen Folie Wasserstoff aus Salzwasser und sogar verschmutztem Wasser zu gewinnen. (19) Eines der Hindernisse für die wirtschaftliche Erzeugung von Wasserstoff in den Elektrolysegeräten (Elektrolyseuren) ist die Verwendung von teuren und teilweise giftigen Edelmetallen für die Elektroden. Forscher aus Linz arbeiten an der Entwicklung einer Methode zum Erzeugen von Wasserstoff, bei der als Katalysator keine Edelmetalle eingesetzt werden. Die Rolle des Metalls übernimmt ein Polymer auf Basis von Dopamin, eine Substanz, die als Botenstoff im Nervensystem fungiert, das nicht nur ungiftig sondern auch preiswert ist. (20) Aber auch in den USA wird an der Entwicklung von billigeren Möglichkeiten zur Erzeugung von Wasserstoff geforscht. Forscher der Washington State University haben einen Weg gefunden, Wasserstoff effizienter aus Wasser zu erzeugen: aus preisgünstigem Nickel und Eisen entwickelten die Forscher eine sehr einfache Methode, um innerhalb von fünf Minuten große Mengen eines hochwertigen Katalysators zu erzeugen. Dieser kann anschließend für die Hydrolyse verwendet werden, um aus Wasser Wasserstoff abzuspalten. (21)

Forscher an der Polytechnischen Hochschule in Lausanne sind einer gänzlich neuen Methode zur Wasserstoffgewinnung auf der Spur. Sie meinen, Wasserstoff lässt sich weitaus umwelt- und ressourcenschonender gewinnen, wenn man zur Wasserspaltung ausschließlich Solarenergie nutzt. Die Forscher um Michael Grätzel - [der Erfinder der Farbstoff-Solarzelle](#) - haben dazu einen neuen Weg aufgetan. Als Stromquelle nutzen sie zwei in Reihe geschaltete Solarzellen, die aus dem Mineral Perowskit (damit arbeitet auch das Fraunhofer Institut – siehe 18) bestehen. (22)

Die bislang größte solarchemische Anlage zur Produktion von Wasserstoff hat das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) gemeinsam mit internationalen Projektpartnern präsentiert. Im Projekt Hydrosol Plant haben Wissenschaftler und Industrieunternehmen gemeinsam das Verfahren der direkten Wasserstoffherstellung durch Sonnenstrahlung weiterentwickelt. (23) Eine Übersicht über die Techniken der solaren Wasserstoffherzeugung bietet Prof. Rainer Tamme. (24)

Dieser Streifzug durch die Welt des Wasserstoffs als Energiespeicher und Energieträger sowie die Forschung und Entwicklung in diesem Sektor sollte zeigen, dass es sich um einen sehr dynamischen Sektor handelt. Wenn auch manche Zielsetzungen sehr optimistisch sein mögen, ist unverkennbar, dass Unternehmen mitunter langfristiger denken als die Politik. Denn eine Reihe von einschlägigen Unternehmen hat erkannt, dass eine anhaltende Erderwärmung und deren Konsequenzen auch ihre Geschäftsinteressen beeinträchtigen werden und es daher langfristig besser ist, rechtzeitig an der Dekarbonisierung mitzuwirken und Angebote für die erneuerbare Energieversorgung- und Anwendung zu entwickeln. Diese Entwicklung kann durch entsprechende Maßnahmen der Politik beschleunigt werden. Nicht nur durch Förderung der Forschung und Entwicklung, sondern durch Lenkungsmaßnahmen zu Lasten der fossilen Brennstoffe, wodurch diese selbst und ihre Verwendung teurer werden und die Erzeugung und die Anwendung alternativer Energieformen billiger wird.

Für die Anwendung von Wasserstoff gibt es ein so breites Feld, dass die Bereitstellung ausreichender Mengen grünen Wasserstoffs das Hauptproblem sein wird. (25) Bei der Verwendung der Brennstoffzelle ist eine heftige Diskussion im Gange, ob das sinnvoll und wirtschaftlich ist. (26) Aber auch hier ist eine enorme Dynamik zu beobachten. Es scheint so zu sein, dass für leichte Fahrzeuge, vom PKW abwärts sich eher der batterieelektrische Antrieb durchsetzen wird, für schwere Fahrzeuge, also Busse, LKW's, Bahnen ohne Oberleitung und Schiffe, die Brennstoffzelle Vorteile hat. Auch die direkte Verwendung von Wasserstoff in Verbrennungsmotoren gewinnt an Bedeutung. (27) Auch in stationären Anwendungen wird die Brennstoffzelle ihren Platz finden. Dass der Brennstoffzelle im Fahrzeugantrieb eine Zukunft zugetraut wird zeigt sich auch darin, dass eine Rennserie mit Brennstoffzellen betriebenen Fahrzeugen in Vorbereitung ist, die 2023 starten soll. (28)

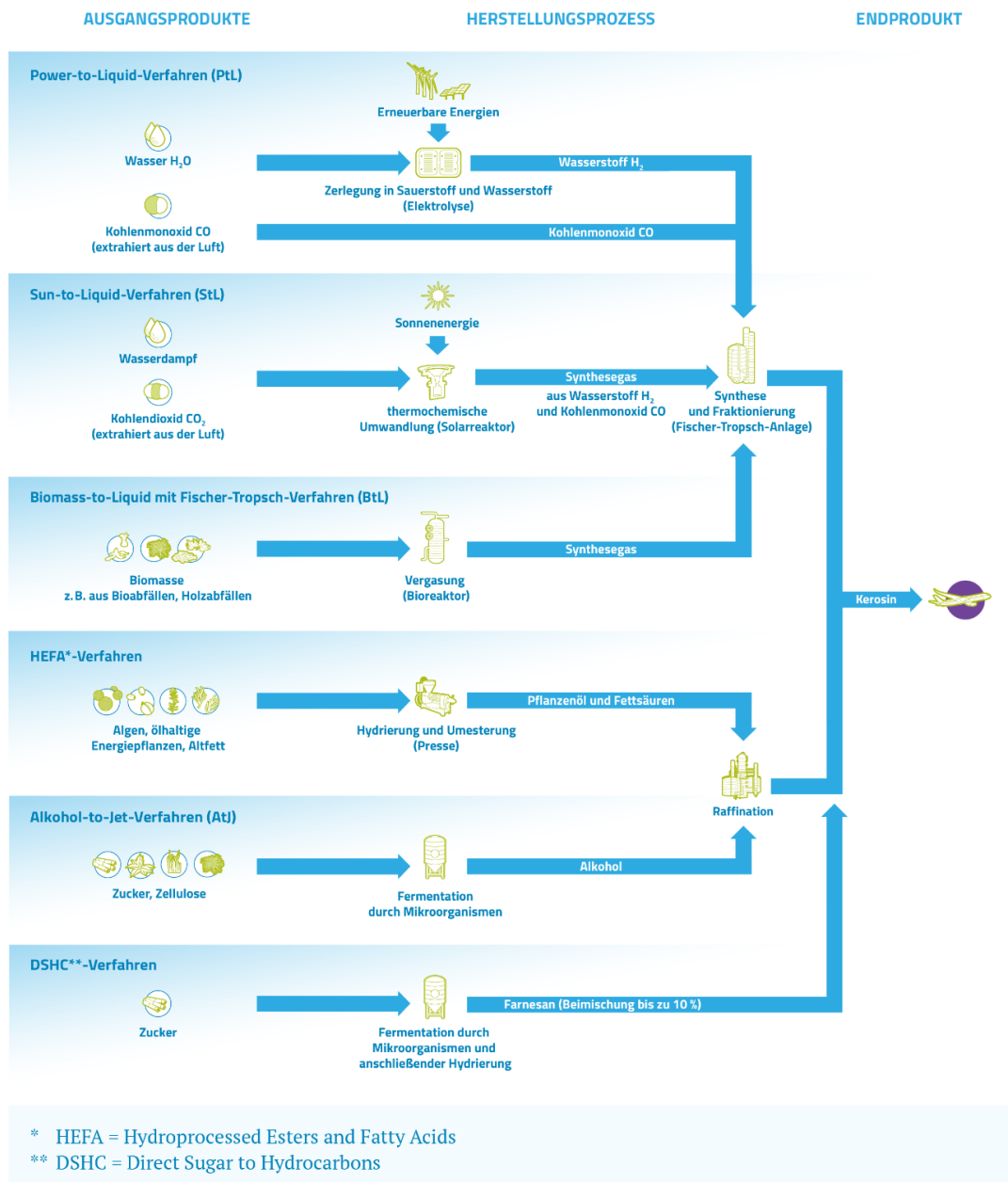
Wasserstoff in der Flugwirtschaft



In der Fliegerei wird dem Wasserstoff eine nur begrenzte direkte Einsatzmöglichkeit zugebilligt. (29) Für große Passagiermaschinen sind die Batterien für einen batterieelektrischen Antrieb zu schwer. Das ist, auch unterstützt durch die im Gange befindliche Entwicklung leistungsfähigerer Batterien, allenfalls für Kleinflugzeuge denkbar. Wasserstoff und Brennstoffzelle wird eher für mittlere Flugzeuge für möglich gehalten. Aber auch hier sind Forschungen im Gange (30, 31, 32)

Synthetisches Kerosin

Um auch in der Fliegerei mit Großflugzeugen die Dekarbonisierung voranzutreiben, wird der Einsatz von synthetischem Kerosin notwendig sein. Das ist ein flüssiger Treibstoff, der durch die Kombination von grünem Wasserstoff und CO₂ (aus der Luft oder Industrieabgasen) hergestellt wird. Bei dessen Verbrennung wird zwar das enthaltene CO₂ wieder freigesetzt, jedoch ist das keine zusätzliche Emission, sondern ein Kreislauf, weil dieses CO₂ bei der Erzeugung dieses synthetischen Kerosins der Luft entnommen wurde. Die dafür einsetzbaren Methoden sind schon lange bekannt. Das folgende Schaubild zeigt diese Methoden. (33)



Doch kommt es auch hier, wie bei allen Methoden der Alternativenergien, darauf an, die verwendeten oder eingesetzten Energien so effizient wie möglich, d.h. mit einem möglichst hohen Wirkungsgrad und in dessen Folge mit einer möglichst hohen Wirtschaftlichkeit, zu nutzen. (34)

Es überrascht daher nicht, dass auch hier intensiv Forschung und Entwicklung betrieben wird. An der ETH Zürich wurde ein System entwickelt, das unter Nutzung von Sonnenenergie, die Gewinnung von Wasserstoff, die Abscheidung von CO₂ aus der Luft und die Kombination zu einem synthetischen Treibstoff in einem Gerät durchführt. (35) Einen anderen Weg, Wasserstoff zu erzeugen, nämlich mittels künstlicher Fotosynthese, erforscht ein Forscherteam aus den USA und der Bundesrepublik Deutschland. (36)

Das Institut für Verbrennungstechnik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) hat die Verbrennungseigenschaften von synthetischem Kerosin untersucht und festgestellt, dass synthetischer Kraftstoff nicht nur klimafreundlich ist und die gesetzlich vorgeschriebenen Verbrennungseigenschaften erfüllt, sondern zudem noch 30- bis 100-mal weniger Rußvorläufer als herkömmliches Kerosin freisetzt. Damit können synthetische Kraftstoffe nicht nur erheblich zur CO₂-, sondern auch zur Schadstoffminimierung im Luftverkehr beitragen. (37, 38) Das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) hat ein Verfahren entwickelt, das den dafür notwendigen Rohstoff CO₂ effizienter und günstiger als bisher direkt aus der Luft gewinnt. (39)

Die Natur kennt eine Methode mittels Sonnenlicht und CO₂ aus der Luft Kohlenstoff herzustellen. Das machen die Pflanzen mit der Fotosynthese mittels des grünen Pflanzenfarbstoffs Chlorophyll. Diese natürliche Methode hat allerdings einen sehr geringen Wirkungsgrad. Nur etwa 1 % des einfallenden Sonnenlichts wird genutzt. Die Forschung versucht nun mit Methoden der Bionik, der Umsetzung von Abläufen in der Natur mit Mitteln der Technik, eine künstliche Photosynthese mit höherem Wirkungsgrad zu entwickeln. Einer dieser Versuche läuft an der Universität Wien. (40) Ein großer Schritt auf diesem Weg scheint in Marburg gelungen zu sein. (41)

Die Bedeutung von synthetischem Kerosin wird immer breiter erkannt und anerkannt. Nicht nur einschlägige NGO's, wie T&E in Brüssel, weisen darauf hin und zeigt auf, wie die Einführung beschleunigt werden könnte. (42) Auch Luftfahrtunternehmen werden in diese Richtung aktiv. So hat etwa die Lufthansagruppe mit der ETH Zürich ein Abkommen geschlossen um das dort entwickelte System Synhelion (siehe 34) voranzutreiben. (43) Auch die British Airways sind auf diesem Weg. Alex Cruz, CEO von British Airways, hat erklärt, dass die Entwicklung einer Green Jet Fuel-Raffinerie an der South Humber Bank weiterhin Priorität hat. Diese führende Persönlichkeit in der britischen Luftfahrt hat das Engagement für eine grünere Zukunft für die Branche unterstrichen und die Forderung nach einer Beschleunigung der Luftfahrtinvestitionen unterstützt. (44) Auch das deutsche Bundesministerium für Verkehr und digitale Entwicklung weist in einer Studie auf die Bedeutung dieser Entwicklung hin. (45) Das deutsche Bundesministerium für Bildung und Forschung weist ebenso auf die Bedeutung synthetischer Treibstoffe für die Energiewende hin. (46) Auch der ADAC sieht in den synthetischen Kraftstoffen einen kommenden und wirtschaftlich konkurrenzfähigen Energieträger. (47)

Zusammenfassung

Die Erderwärmung und ihre Folgen sind eine unbestreitbare und zunehmend unbestrittene wissenschaftliche Tatsache. Ebenso, dass zur Eindämmung der Erderwärmung die Emission von Treibhausgasen drastisch eingeschränkt werden muss. CO₂ ist ein bedeutender Teil dieser Treibhausgase. Zur Begrenzung und Minimierung der CO₂ Emissionen ist es unerlässlich, die Verbrennung fossiler Energieträger in Industrie und Verkehr massiv einzuschränken. Das Pariser Klimaabkommen schreibt eine Roadmap dieser Emissionsbegrenzung fest. Immer mehr Regierungen

und zuletzt wieder die EU-Kommission wollen ihre Maßnahmen zur Eindämmung der CO₂ Emissionen verschärfen und beschleunigen. Dazu muss die Energiewende von den fossilen Energieträgern hin zu den erneuerbaren beschleunigt werden. In diesem Prozess kommt dem Wasserstoff eine zunehmende Bedeutung zu. Der voranstehende Streifzug durch zahlreiche Quellen zu diesem Thema, erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Nicht alle Quellen konnten erfasst werden, denn ständig stehen neue zu Verfügung. Er zeigt aber eindeutig die Tendenz. Wasserstoff ist auf dem Weg zu einem bedeutenden und unverzichtbaren Energieträger. (48)

Mögen manche Ziele der Politik und der Forschung und Entwicklung auch ehrgeizig sein und bis zu ihrer Verwirklichung auch noch einige Zeit in Anspruch nehmen. Wenn Forschung und Entwicklung intensiv betrieben werden und die nötigen Finanzmittel dafür zur Verfügung stehen, werden die Ziele auch erreicht. Ein Blick in die Technikgeschichte stellt das eindrucksvoll unter Beweis.

Nachsatz:

Die Materialsammlung für diese Arbeit wurde am 31. August 20 abgeschlossen. Sie ist daher hinsichtlich der verfügbaren und verwendeten Quellen nicht mehr ganz aktuell. Denn wöchentlich sind zu diesem Thema neue Quellen vorhanden. Die in dieser Arbeit aufgezeigte Tendenz, dass Wasserstoff im Zuge der Klima- und Energiewende am Beginn einer Entwicklung zu einem wichtigen Energiespeicher und –trägerstoff steht, wird durch die neuen überwiegend Quellen bestätigt.

Anhang

Quellenverzeichnis

- (0) <https://science.orf.at/stories/3201445/>
- (1) https://www.dwv-info.de/wp-content/uploads/2015/06/Wasserstoff_Lehmann.pdf
- (2) <https://de.statista.com/infografik/22576/anteil-von-wind--und-solarenergie-an-der-stromerzeugung/>
- (3) <https://www.dihk.de/resource/blob/24872/fd2c89df9484cf912199041a9587a3d6/dihk-faktenpapier-wasserstoff-data.pdf>
- (4) <https://web.de/magazine/wissen/wissenschaft-technik/wasserstoff-strategie-bundesregierung-fahren-autos-zukunft-experten-zweifeln-34956780>
- (5) <https://www.energie.de/et/news-detailansicht/nsctrl/detail/News/europas-groesstes-gruenes-wasserstoffprojekt-north2-startet-in-groningen-2020929/>
- (6) <https://web.de/magazine/wissen/wissenschaft-technik/wasserstoff-strategie-bundesregierung-fahren-autos-zukunft-experten-zweifeln-34956780>
- (7) <https://www.elektroauto-news.net/2020/wie-japan-wasserstoff-zum-massenprodukt-pushen-will>
- (8) <https://hydrogencouncil.com/en/newmemberannouncement2020-2/>
- (9) <https://www.klimareporter.de/international/australien-wird-zur-supermacht-der-erneuerbaren>

- (10) <https://www.dlr.de/tt/Portaldata/41/Resources/dokumente/institut/system/publications/Wasserstoff-Essen.pdf>
- (11) https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_de#:~:text=Der%20Rahmen%20f%C3%BCr%20die%20Klima,erneuerbaren%20Quellen%20auf%20mindestens%2032%20%25
- (12) <https://www.group.rwe/presse/rwe-supply-and-trading/2020-06-18-german-Ing-terminal-und-rwe-pruefen-moeglichkeiten-fuer-wasserstoff-in-brunsbuettel>
- <https://www.group.rwe/presse/rwe-generation/2020-07-08-entscheidender-schritt-zu-europaeischer-wasserstoffwirtschaft>
- (13) <https://www.dw.com/de/klimaschutz-deutsche-solarindustrie-neustart-soar-valley-meyer-burger-photovoltaik-ost-boom/a-54397426>
- (14) https://www.dgm.de/fileadmin/DGM/Upload-Datein/DBG_Broschuere_Energiespeicher.pdf
- (15) <https://www.boerse-express.com/news/articles/wasserstoff-viel-potenzial-in-der-zukunft-juergen-brueckner-226737>
- (16) <https://www.eskp.de/energiewende-umwelt/die-hoffnungstraeger-wasserstoff-und-methan-935978/>
- (17) <https://www.pro-physik.de/nachrichten/wasserstoffgewinnung-leicht-gemacht>
- (18) <https://www.pv-magazine.de/2020/08/11/fraunhofer-ise-entwickelt-iii-v-si-tandem-solarzelle-mit-259-prozent-wirkungsgrad/>
- (19) <https://futurezone.at/science/duenne-membran-gewinnt-wasserstoff-aus-dreckigem-wasser/400979132>
- (20) <https://www.nachrichten.at/wirtschaft/linzer-forscher-arbeiten-an-metallfreier-wasserstoff-erzeugung;art15,3284907>
- (21) <https://www.elektronikpraxis.vogel.de/neuartiges-material-sorgt-fuer-kostenguenstige-wasserstoff-gewinnung-a-683194/>
- (22) <https://www.faz.net/aktuell/wissen/physik-mehr/saubere-wasserstoffgewinnung-energiewende-im-wasserglas-13192930.html>
- (23) <https://www.elektronikpraxis.vogel.de/amp/wasserstoff-aus-sonnenlicht-a-671090/>
- (24) https://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2002/th2002_06_01.pdf
- (25) <https://www.br.de/wissen/wasserstoff-energie-kraftstoffe-wasserstoffauto-100.html>
- (26) https://efahrer.chip.de/news/Harald-Lesch-irrt-sich-Warum-die-Brennstoffzelle-nicht-die-Zukunft-ist_10815
- (27) <https://www.deraktionaer.de/artikel/aktien/wasserstoff-100-prozent-mehr-e-commerce-befluegelt-amazon-partner-plug-power-20205695.html>

<https://www.automobil-industrie.vogel.de/der-wasserstoffverbrennungsmotor-ist-der-brennstoffzelle-deutlich-ueberlegen-a-959092/>

- (28) <https://ecomento.de/2020/08/21/adac-stellt-hyrase-league-wasserstoff-rennserie-vor/>
- (29) <https://www.aero.de/news-34193/MTU-sieht-Zukunft-in-der-Brennstoffzelle.html>
- (30) <https://www.aero.de/news-36594/Dornier-228-soll-mit-Wasserstoff-fliegen.html>
- (31) <https://www.aero.de/news-33961/Start-up-beginnt-Entwicklung-von-Wright-1.html>
- (32) <https://www.aero.de/news-29420/Brennstoffzellen-als-Ersatz-fuer-die-Hilfsgasturbine.html>
- (33) <https://www.klimaschutz-portal.aero/klimaneutral-fliegen/alternative-kraftstoffe/kerosin-herstellen/>
- (34) <https://www.elektroniknet.de/markt-technik/automotive/kohlendioxidneutrale-kraftstoffe-aus-luft-und-strom-168420.html>
- (35) <https://www.elektronikpraxis.vogel.de/amp/synthetischer-treibstoff-aus-sonnenlicht-und-luft-a-838291/>
- (36) <https://www.mdr.de/wissen/umwelt/kuenstliche-fotosynthese-100.html>
- (37) <https://www.vdi-nachrichten.com/technik/synthetisches-kerosin/>
- (38) <https://www.solarify.eu/2020/05/06/291-synthetisches-kerosin-100mal-weniger-russ/>
- (39) <https://www.vdi-nachrichten.com/technik/synthetisches-kerosin/>
- (40) <https://medienportal.univie.ac.at/uniview/forschung/detailansicht/artikel/preise-und-auszeichnungen-im-dezember-2018-2/>
- (41) <https://biooekonomie.de/nachrichten/kuenstliche-photosynthese-zellen-gebaut>
- (42) <https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/T%26E%20ReFuelEU%20position%20paper%20%281%29.pdf>
- <https://www.transportenvironment.org/news/europe-commits-hydrogen-%E2%80%98hard-decarbonise%E2%80%99-sectors>
- (43) <https://www.austriaviation.net/detail/flugtreibstoff-aus-sonnenlicht-und-CO2/>
- (44) <https://www.business-live.co.uk/manufacturing/ba-chief-underlines-importance-green-18633910>
- (45) <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/MKS/biokerosin-eekerosin-luftfahrt.html>
- (46) <https://www.bmbf.de/de/synthetische-kraftstoffe-5040.html>
- (47) <https://www.adac.de/verkehr/tanken-kraftstoff-antrieb/alternative-antriebe/synthetische-kraftstoffe/>
- (48) <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000104979/54977724>

