Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz

www.H2BZ-Hessen.de

HESSEN

Wasserstoff-Tankstellen

Ein Leitfaden für Anwender und Entscheider

www.energieland.hessen.de

Bei uns hat ENERGIE ZUKUNFT

Mit dieser Broschüre möchten wir Ihnen allgemein verständliche und praxisorientierte Informationen zum Thema Wasserstoff-Infrastruktur an die Hand geben.

Neben einer allgemeinen Einführung in das Themenfeld Wasserstoff- und Brennstoffzellen-(H2BZ[1])Technologie, beleuchtet die Broschüre die Mobilität der Zukunft, in der Wasserstoff und Brennstoffzellen als feste Bestandteile einer zukünftigen Elektromobilität gesehen werden. Vertiefende Informationen über den Energieträger Wasserstoff, die Planung und den Aufbau von Wasserstoff-Tankstellen sowie wirtschaftliche Aspekte und Fördermöglichkeiten bilden den Kern der Broschüre. Einen Überblick über die H2BZ-Aktivitäten in Hessen, Informationen zu relevanten Akteuren und weiterführenden Publikationen sowie technische Daten und die häufigsten Fragen im Zusammenhang mit der H2BZ-Technologie runden die Broschüre ab.

1 Aus Gründen der Vereinfachung haben sich die Autoren für die Abkürzung „H2BZ" für „Wasserstoff und Brennstoffzelle" entschieden. Im Gegensatz dazu wird jedoch in H_2 die 2 tiefgestellt geschrieben, wenn es für Wasserstoff steht.

INHALT

GRUSSWORT 2

1 WASSERSTOFF UND BRENNSTOFFZELLEN 5
SCHLÜSSELTECHNOLOGIE FÜR DIE ZUKUNFT

1.1 Die globale Energiedebatte 5
1.2 Wasserstoff und Brennstoffzellen 7

2 PERSPEKTIVEN FÜR DIE MOBILEN H2BZ-ANWENDUNGEN 10

3 INFRASTRUKTUR 1: 14
VON DER H_2-ERZEUGUNG BIS ZUR BEREITSTELLUNG AN DER TANKSTELLE

3.1 Erzeugung 14
3.2 Speicherung 16
3.3 Distribution 18
3.4 Sicherheit 19

4 INFRASTRUKTUR 2: WASSERSTOFF-TANKSTELLEN 20

4.1 Stationäre Tankstellen 21
4.2 Mobile H_2-Tankstellen 23
4.3 Spezielle Tankstellen 25
4.4 Normen und Vorschriften 26
4.5 Planung und Auslegung einer H_2-Tankstelle 27

5 WIRTSCHAFTLICHKEIT DER H2BZ-TECHNOLOGIE 29

5.1 H_2-Kostenstrukturen 29
5.2 Unterstützungsmöglichkeiten beim Aufbau von H_2-Tankstellen 30

6 WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN 33

6.1 Kontaktadressen und Ansprechpartner in Hessen 33
6.2 Kontaktadressen und Ansprechpartner bundesweit 34
6.3 Ergänzende Publikationen 34

7 AN HESSEN FÜHRT AUCH IN SACHEN H2BZ-TECHNOLOGIE KEIN WEG VORBEI 35

8 ANHANG 36

8.1 Die 10 häufigsten Fragen 36
8.2 Datenblatt und Umrechnungstabellen 38

IMPRESSUM 40

Lucia Puttrich
Hessische Ministerin für Umwelt, Energie,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz

Sehr geehrte H2BZ-Interessierte,

Sie halten eine weitere hessische Broschüre über die Wasserstoff- und Brennstoffzellen (H2BZ)-Technologie in der Hand. Die von uns als Leitfaden konzipierte Broschüre beschäftigt sich mit dem zentralen Themenfeld Wasserstoff-Infrastruktur.

Innovationen aus Hessen helfen bei der Erreichung der Klimaziele

Für das Land Hessen gewinnt die H2BZ-Technologie zunehmend an Bedeutung, denn unsere Energiewelt steht vor zahlreichen Veränderungen. Die Gründe dafür liegen in der steigenden Nachfrage nach Energie bei gleichzeitig begrenzten fossilen Energiequellen sowie in der internationalen Klimapolitik, die eine deutliche Reduzierung klimaschädlicher Schadstoffe, insbesondere CO_2, vorsieht. Im Rahmen des Hessischen Energiegipfels im Jahr 2011 wurden die Weichen für die zukünftige Energieversorgung des Landes gestellt. Die Hessische Landesregierung hat zusammen mit Vertretern von Wirtschafts- und Umweltverbänden, Gewerkschaften und der Industrie Maßnahmen beraten und definiert, damit die Energiewende in Hessen gelingen kann. Wichtigstes Ziel dabei ist es, bis zum Jahr 2050 den Endenergieverbrauch (Strom und Wärme) zu 100 Prozent aus erneuerbaren Energien zu decken, Energie einzusparen und die Energieeffizienz zu erhöhen sowie die Energieinfrastruktur auszubauen.

Die Unterstützung der Markteinführung der H2BZ-Technologie ist aber nicht nur aus energie- und umweltpolitischer Sicht wichtig, sondern wird auch die hessische Wirtschaft nachhaltig stärken. Wenn es uns gelingt, die in Hessen bereits vorhandenen (Kern-) Kompetenzen in diesem Technologie- und Innovationsfeld weiter auszubauen, dann schaffen wir zukunftsfähige Arbeitsplätze und stärken Hessens Position als deutschen und europäischen Innovationsstandort.

Ausbau erneuerbarer Energien und Energieversorgungsstrukturen

Fossile Energien werden weniger und damit kostbarer. Ihr Einsatz wird sich verstärkt auf Anwendungsfelder konzentrieren, die auch in Zukunft von fossilen Energieressourcen abhängig sind. Gleichzeitig wird der Ausbau der erneuerbaren Energien voranschreiten, denn sie stehen auf der Erde in nahezu unendlichen Mengen zur Verfügung. Die erneuerbaren Energien bieten eine vielversprechende Möglichkeit, den steigenden Energiebedarf nachhaltig zu decken, ohne die Umwelt weiter zu belasten. Damit dies gelingen kann, müssen die bestehenden Energieversorgungsstrukturen ausgebaut werden, denn die erneuerbaren Energien liefern den Strom nicht unbedingt dann, wenn er benötigt wird, sondern wenn es Wetter (Wind) und Tageszeit (Sonne) ermöglichen. Aus diesem Grund müssen neue Stromspeicher geschaffen werden, damit sowohl die privaten als auch die industriellen Verbraucher jederzeit ihren gewünschten Energiebedarf decken können.

Wasserstoff – Energieträger der Zukunft

Wasserstoff, der aus erneuerbaren Energiequellen erzeugt und anders als Strom auch langfristig gespeichert werden kann, bietet die gewünschten Voraussetzungen, zum Schlüsselfaktor für die Energieversorgung der Zukunft zu werden. Seit Jahrzehnten wird er in großen Mengen hergestellt und findet für die Herstellung unterschiedlicher Produkte wie beispielsweise in der Chemie-, Halbleiter- und Lebensmittelindustrie Verwendung. Zukünftig kann er darüber hinaus als Kraftstoff im Verkehr sowie als Brennstoff für die Kraft-Wärme-Erzeugung in Häusern und Gebäuden eingesetzt werden. Insbesondere der Verkehrssektor steht vor der großen Herausforderung, klimafreundlicher zu werden. In Deutschland ist der Verkehr für fast 20 Prozent des CO_2-Gesamtausstoßes verantwortlich, gut die Hälfte davon entfällt dabei auf den Individualverkehr.

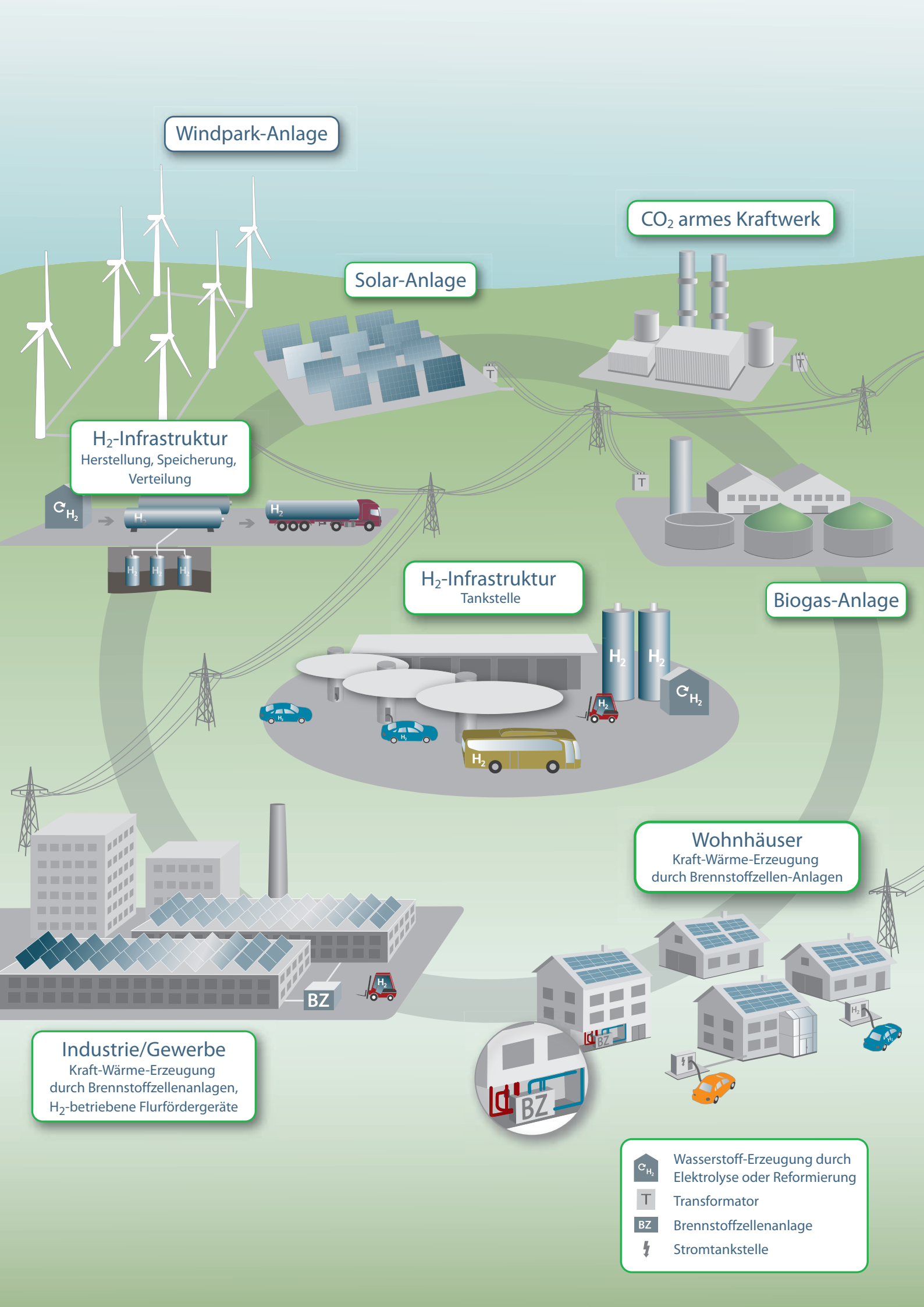
Mit der Einführung der Elektromobilität, zu der sowohl batterie-elektrische als auch brennstoffzellen-elektrische Fahrzeuge zählen, kann der Verkehrssektor seine Abhängigkeit von erdölbasierten Kraftstoffen deutlich reduzieren. Voraussetzung ist, dass der Strom und der Wasserstoff für den Betrieb der Fahrzeuge aus regenerativen Energiequellen hergestellt werden. Im Verkehrssektor wird mit Wasserstoff ein neuer Treibstoff eingeführt, der bei Verwendung mit Brennstoffzellen-Technologie lokal keinerlei Schadstoffe produziert.

Wasserstoff-Infrastruktur – Unabdingbare Voraussetzung für BZ-Fahrzeuge

Mit dem Anstieg der Elektrofahrzeugzahlen im Verkehr wird auch der Ausbau der entsprechenden Tankstellen-Infrastruktur einhergehen. Das Henne-Ei-Problem bezüglich Fahrzeuge und Infrastruktur kann nur durch ein gemeinsames Engagement der beteiligten Partner gelöst werden, die dabei von der Politik unterstützt werden. Neben den etablierten Akteuren eröffnen sich für Planer und Entscheider in Wirtschaft und Kommunen neue, attraktive Möglichkeiten, das Thema für sich aufzugreifen sowie sich frühzeitig für den Aufbau einer Wasserstoff-Infrastruktur zu interessieren und auch zu engagieren. Wir möchten Ihnen mit der vorliegenden Broschüre aufzeigen, wie sich Ihr Interesse mit dem anderer Akteure bündeln und daraus vielleicht schon in naher Zukunft ein Infrastruktur-Projekt ganz in Ihrer Nähe realisieren lässt. Wir haben bei der Broschüre insbesondere darauf geachtet, aus der Anwendung heraus aufzuzeigen, welche Überlegungen angestellt und was konkret in die Wege geleitet werden muss, um eine Wasserstoff-Tankstelle installieren zu können. Mit der Veröffentlichung der vorliegenden Publikation steht ein neuer Informationsbaustein zur weiteren, intensiven Auseinandersetzung mit der H2BZ-Technologie zur Verfügung.

Ich freue mich, wenn beim Lesen der Broschüre fruchtbare Ideen entstehen und Sie sich mit uns weiter in das Thema Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Technologie einbringen.

Ihre


Windpark-Anlage
Solar-Anlage
CO_2 armes Kraftwerk
H_2-Infrastruktur
Herstellung, Speicherung, Verteilung
H_2-Infrastruktur
Tankstelle
Biogas-Anlage
Wohnhäuser
Kraft-Wärme-Erzeugung durch Brennstoffzellen-Anlagen
Industrie/Gewerbe
Kraft-Wärme-Erzeugung durch Brennstoffzellenanlagen, H_2-betriebene Flurfördergeräte
BZ
Wasserstoff-Erzeugung durch Elektrolyse oder Reformierung
T
Transformator
BZ
Brennstoffzellenanlage
Stromtankstelle

1 WASSERSTOFF UND BRENNSTOFFZELLEN

SCHLÜSSELTECHNOLOGIE FÜR DIE ZUKUNFT

1.1 DIE GLOBALE ENERGIEDEBATTE

Der weltweit steigende Energiebedarf bei gleichzeitiger Verknappung der fossilen Energien sowie die Folgen des Klimawandels haben in den vergangenen Jahren zu einem kontinuierlichen Umdenken im Umgang mit Energie geführt. Die großen Industrienationen sind immer mehr darum bemüht, fossile (primäre) Energieträger wie Öl, Kohle und Gas effizienter zu nutzen und den Anteil der (sekundären) Energieträger Strom und Wasserstoff durch die Verwendung erneuerbarer (primärer) Energieträger wie Wind, Wasser, Sonnenenergie, Geothermie und Biomasse auszubauen. Insgesamt haben die heute vorhandenen Energietechnologien zur Nutzung der erneuerbaren Energien das Potenzial, den jährlichen Weltenergiebedarf fast sechsfach zu decken[2].

Diese Entwicklung, der auch in Hessen Rechnung getragen wird, verfolgt drei große Ziele: Zum einen soll der weltweite CO_2-Ausstoß, der als eine der Hauptursachen für den Klimawandel angesehen wird, nachhaltig verringert werden. Zum anderen streben viele Staaten eine größere Unabhängigkeit von Energieimporten wie Öl und Gas an. Schließlich sucht man nach Lösungen und Alternativen, um den langfristig dramatisch steigenden Preisen für sich verknappende fossile Energieträger entgegenzuwirken und auch in Zukunft Wirtschaftswachstum und Wohlstand zu sichern.

Der Einsatz von Technologien zur Effizienzsteigerung und erneuerbarer Energien nimmt dabei einen hohen Stellenwert, auch innerhalb der Nachhaltigkeitsstrategie[3] der hessischen Landesregierung, ein.

Brennstoffzellen als Energiewandler für die Strom- und Wärmeerzeugung sowie Wasserstoff als sauberer Energieträger für den Einsatz in Massenmärkten bieten ideale Voraussetzungen, die Energiefragen der Zukunft nachhaltig zu beeinflussen.

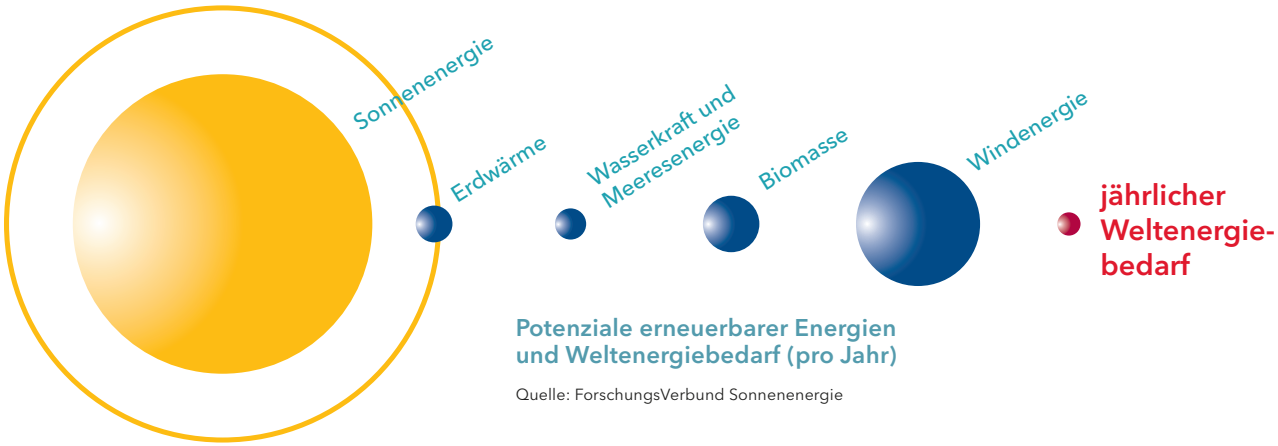
Es herrscht weitgehend Einigkeit darüber, dass die Einführung einer auf Wasserstoff- und Brennstoffzellen-basierten Energiezukunft vor allem dann gelingen kann, wenn sie von einer breiten Mehrheit gewollt und akzeptiert wird. Wirtschaft, Forschung und Politik sind global vernetzt und engagieren sich gemeinsam, den Weg für die breite Markteinführung der Technologie vorzubereiten. Wichtig ist insbesondere, die zukünftigen Nutzer und die Öffentlichkeit über Chancen der Technologie zu informieren, damit sie die neuen Produkte akzeptieren und die erforderlichen Veränderungen mittragen.

Erneuerbare Energien in Deutschland / Hessen

Die erneuerbaren Energien sollen zukünftig einen großen Beitrag zur Energieversorgung in Deutschland leisten. Der Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch (ohne Verkehr) soll in Hessen bis 2050 auf möglichst 100 Prozent erhöht werden. Deutschland ist führend bei der Nutzung und Entwicklung erneuerbarer Energien. Eine entscheidende staatliche Maßnahme dafür war die Einführung des Erneuerbare-Energie-Gesetzes (EEG) und des CO_2-Zertifikatehandels.

2 siehe Website www.fvee.de des Forschungsverbunds Erneuerbare Energien

3 siehe Website www.hessen-nachhaltig.de



Potenziale erneuerbarer Energien und Weltenergiebedarf (pro Jahr)

Quelle: ForschungsVerbund Sonnenenergie

© visdia - Fotolia.com

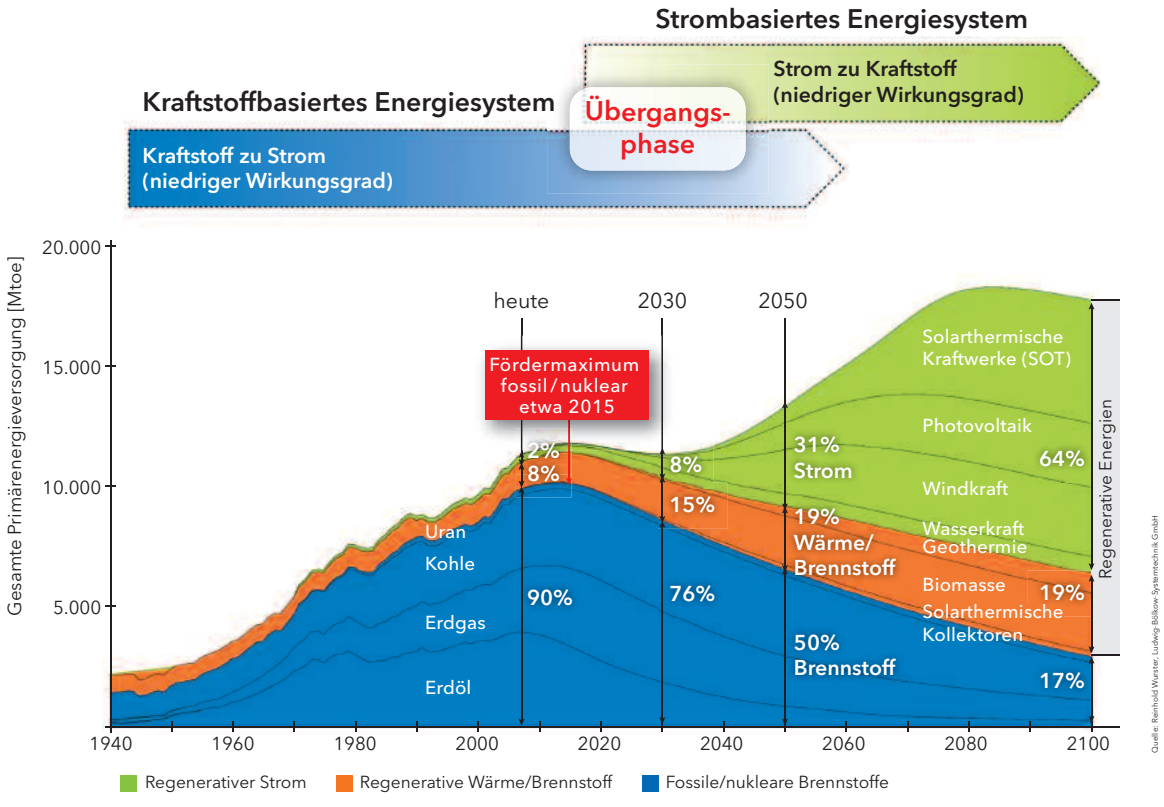
© vege - Fotolia.com

© Agentur für Erneuerbare Energien

© Agentur für Erneuerbare Energien

Begriffserläuterungen

- **Fossile Energie** wird aus in der Erdkruste lagernden Energieträgern gewonnen, die wie Braun- und Steinkohle, Torf, Erdgas und Erdöl über Millionen von Jahren aus Abbauprodukten von abgestorbenen Pflanzen und Tieren entstanden sind. Diese fossilen Energieträger sind Teil des Kohlenstoffkreislaufs und ermöglichen es, die in vergangenen Zeiten gespeicherte (Sonnen-) Energie heute in hochkonzentrierter, materialisierter Form zu verwerten.
- **Regenerative / erneuerbare Energien** sind Energien aus Quellen, die sich kurzfristig von selbst erneuern oder deren Nutzung nicht zur Erschöpfung der Quelle beiträgt. Es sind nachhaltig zur Verfügung stehende Energieressourcen, zu denen insbesondere Wasserkraft, Wind- und Sonnenenergie, Erdwärme (Geothermie) und die durch Gezeiten erzeugte Energie zählen. Die aus nachwachsenden Rohstoffen (Holz, Abfall) gewonnene Biomasse zählt ebenfalls zu den erneuerbaren Energiequellen.
- **Kernenergie** wird in der Regel weder als fossile noch erneuerbare Energie bezeichnet, sondern steht für sich.
- **Primärenergie** ist die aus noch nicht weiterbearbeiteten Energiequellen stammende Energie. Primärenergiequellen können fossil (Steinkohle, Braunkohle, Erdöl, Erdgas) oder erneuerbar (Sonne, Wasser, Wind, Geothermie, Biomasse) sein. Aus der Primärenergie wird durch Aufbereitung **Sekundärenergie** (man nennt sie auch Nutz- oder Endenergie).
- **Nutzenergie**: Die Form der Energie, die der Anwender letztendlich verwendet, wird als Nutzenergie bezeichnet (Sekundärenergie kann auch Nutzenergie sein). Zwei Beispiele:
  1. Rohöl (Primärenergie) wird zu Heizöl (Sekundärenergie) wird zu Wärme (Nutzenergie).
  2. Solarenergie (Primärenergie) wird zu Strom (Sekundärenergie) wird zu Wasserstoff (Nutzenergie).



Quelle: Reinhold Wurster, Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH

1.2 WASSERSTOFF UND BRENNSTOFFZELLEN

Wasserstoff- und Brennstoffzellensysteme sind Schlüsseltechnologien für die Energieversorgung der Zukunft, mit vielfältigen Anwendungen und Märkten. Unternehmen aus Deutschland gehören schon heute zu den weltweit führenden Unternehmen bei der Entwicklung und Vermarktung dieser umweltfreundlichen und effizienten Technologien.

Mit Hilfe der H2BZ-Technologie kann Energie grundsätzlich an jedem beliebigen Ort sicher und effizient zur Verfügung gestellt werden. Sie kann darüber hinaus einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz leisten, sofern sie auf Basis erneuerbarer Energien genutzt und möglichst bald eine breite Markteinführung im Bereich der Strom- und Wärmeerzeugung oder als Antrieb in Fahrzeugen erfolgt. Voraussetzung für die Markteinführung ist, dass aus der H2BZ-Technologie wettbewerbsfähige Techniken und Verfahren etabliert werden.

In Hessen arbeiten Hochschulen und Forschungseinrichtungen sowie zahlreiche Unternehmen an der industriellen Forschung und Entwicklung der H2BZ-Technologie. Eine Übersicht über die engagierten Akteure und ihre jeweiligen Aktivitäten gibt der aktuelle Kompetenzatlas Wasserstoff und Brennstoffzellen Hessen[4]. Download des Kompetenzatlas unter www.h2bz-hessen.de

BRENNSTOFFZELLENSYSTEME: ANWENDUNGSGEBIETE, PRODUKTE UND TYPEN

ANWENDUNG	STATIONÄR		MOBIL	PORTABEL		SPEZIELLE ANWENDUNGEN	
Produkt	Strom- und Heizgeräte für Ein- und Mehrfamilienhäuser	Heizkraftwerke für Industrieanlagen, Kliniken und andere Großimmobilien	Antrieb für Pkw, Busse und leichte NFZ	Batterieladegeräte, Stromversorgung für Konsumelektronik, im Freizeitbereich	APU (Auxiliary Power Unit)-Bordstrom	Notstromaggregate und USV	Antrieb für Zweiräder, Flurförderzeuge, U-Boote, Sonderfahrzeuge
Funktion der BZ	Strom und Wärme	Strom/ Wärme/ Kühlung	Strom	Strom	Strom	Strom	Strom
BZ-Typ[5]	LT-/HT-PEMFC, PACFC, MCFC, SOFC	LT-/HT-PEMFC, PACFC, MCFC	LT-/HT-PEMFC	LT-/HT-PEMFC, DMFC	LT-/HT-PEMFC, DMFC	LT-/HT-PEMFC, DMFC	LT-/HT-PEMFC, DMFC, AFC
Kraft-Brennstoff	Erd-, Biogas, H_2	Erd-, Biogas, H_2	H_2	H_2 Methanol[6]	H_2 Methanol	H_2 Methanol	H_2 Methanol

4 Eine Einführung in die H2BZ-Technologie bietet die hessische Broschüre Wasserstoff und Brennstoffzellen. Weiterführende Publikationen zum Thema sind im Anhang aufgelistet.

5 Man unterscheidet heute sieben Brennstoffzellen-Typen: Alkalische BZ (AFC), Nieder- und Hochtemperatur-Polymer-Elektrolyt-BZ (LT-PEMFC / HT-PEMFC), Direktmethanol-BZ (DMFC), Phosphorsaure BZ (PAFC), Schmelzkarbonat-BZ (MCFC) und Oxidkeramische BZ (SOFC).

6 Aufgrund der spezifischen Eigenschaften von Methanol kann es als Energieträger in Brennstoffzellenanwendungen nur eingeschränkt genutzt werden.

Brennstoffzellen als Energiewandler[7]

Insbesondere in der Strom- und Wärmeerzeugung für Gebäude sowie im Antriebssystem von Wasserstoff-Elektrofahrzeugen bieten Brennstoffzellen ein enormes Verbesserungspotenzial hinsichtlich Energieverbrauch und Emissionen (Luftschadstoffe und Lärm) gegenüber herkömmlichen Technologien. Als Energiewandler eröffnen sie einen vielversprechenden Weg, den Wirkungsgrad von Stromerzeugungssystemen zu erhöhen. Im Gegensatz zu konventionellen Energiewandlern wie beispielsweise Verbrennungsmotoren oder Turbinen, die die chemische Energie des Kraftstoffs zuerst in thermische und dann in mechanische Energie umwandeln, erzeugen Brennstoffzellen aus der chemische Energie des Kraftstoffs (Wasserstoff) direkt Strom. In der mobilen Anwendung ist der Wirkungsgrad eines Brennstoffzellen-Elektro-Antriebs mit knapp 50 Prozent heute schon doppelt so hoch wie der eines modernen Dieselmotors.

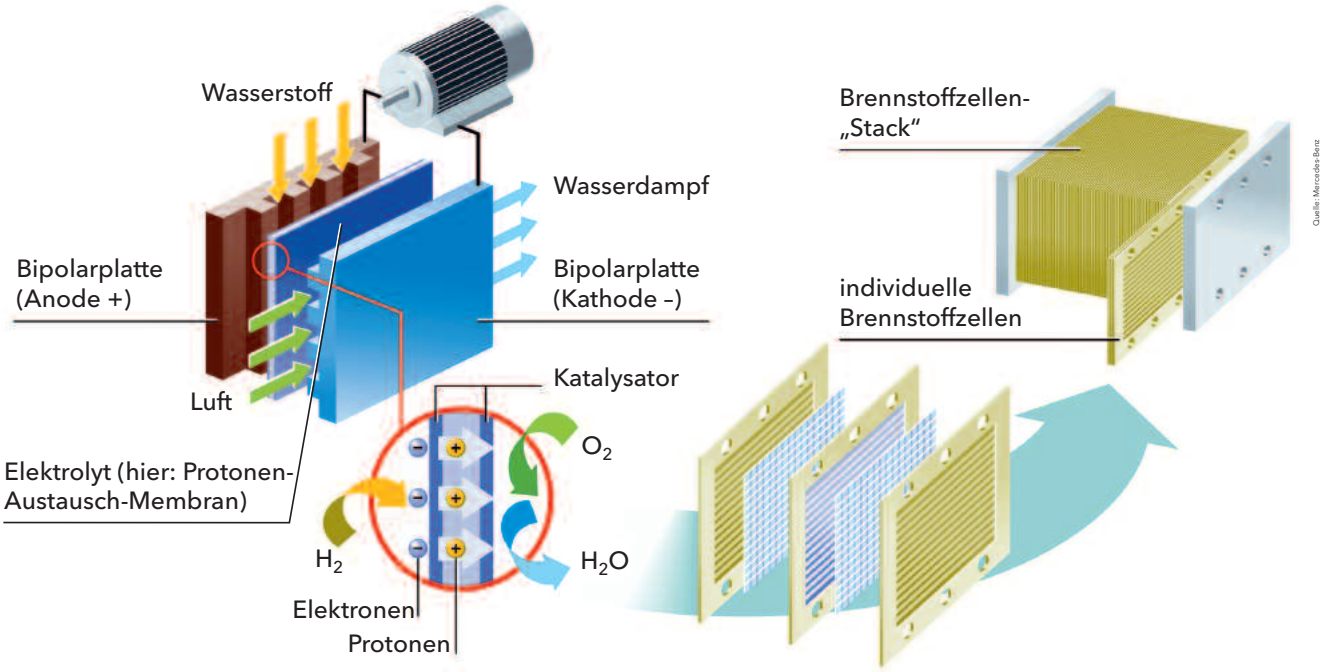
In der Brennstoffzelle wird ein Kraftstoff (meist Wasserstoff) und Sauerstoff (aus der Luft) mit Hilfe eines Katalysators über eine Membran kontrolliert zusammengeführt. Dabei entstehen Strom, Wasser und Wärme. Brennstoffzellen, die mit reinem Wasserstoff betrieben werden, verursachen lokal keinerlei Emissionen. Selbst beim Einsatz von Erdgas oder Methanol fallen wesentlich niedrigere CO_2-Emissionen pro Einheit Nutzenergie an als bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen.

7 Ausführliche Informationen über Wasserstoff und Brennstoffzellen finden Sie unter www.H2BZ-Hessen.de und auf der Website des Deutschen Wasserstoff- und Brennstoffzellenverbandes DWV unter www.dwv-info.de

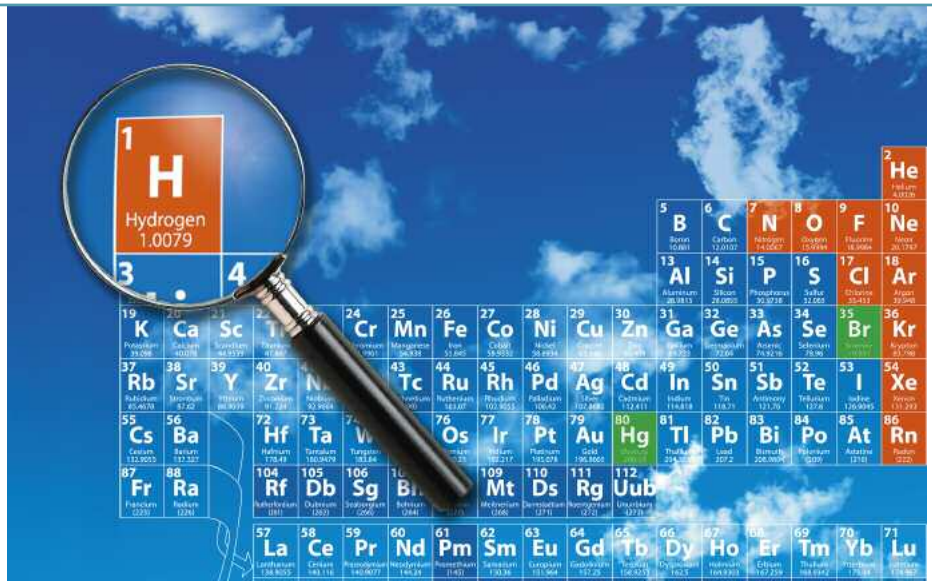
Wasserstoff als Energieträger

Wasserstoff (H_2) ist – wie Strom auch – ein Energieträger und keine Energiequelle. Auf der Erde liegt er nie in Reinform, sondern grundsätzlich in chemischen Verbindungen wie Wasser, Kohlenwasserstoffen und anderen organischen Verbindungen vor. Aus diesen chemischen Verbindungen kann er durch Energiezufuhr herausgelöst werden und steht dann als Kraft-, Treib- und Brennstoff zur Verfügung.

Im Gegensatz zu konventionellen Kraft- und Treibstoffen weist Wasserstoff im Hinblick auf die Primärenergiequellen, mit denen er erzeugt wird, die höchste Flexibilität auf. Er kann, wie Strom auch, aus fossilen oder erneuerbaren Energien hergestellt werden. Fossile Energien sind an geografische Vorkommen gebunden, während die Erzeugung von Wasserstoff



Funktionsprinzip einer PEM-Brennstoffzelle



Quelle: dreamstime

Wasserstoff H_2

Wasserstoff trägt im Periodensystem der chemischen Elemente die Nummer 1 und wird mit H (lat. Hydrogenium, engl. Hydrogen) abgekürzt. Bei Umgebungsbedingungen ist Wasserstoff ein sehr leichtes, ungiftiges Gas. Seine Atome haben den kleinsten Durchmesser, er besitzt die geringste Dichte und ist das bei weitem häufigste Element des Universums: 90 Prozent aller Atome sind Wasserstoff, das entspricht 75 Prozent der gesamten Masse.

aus Biomasse oder erneuerbaren Energien theoretisch überall dort erfolgen kann, wo der Wasserstoff auch benötigt wird. Dies führt zu einer größeren wirtschaftlichen Unabhängigkeit von Produzenten und Verbrauchern.

Im Gegensatz zu Strom hat Wasserstoff aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften darüber hinaus das Potenzial, nicht nur Energieträger, sondern auch Energiespeicher für Strom aus erneuerbaren Energien zu werden. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund wichtig, dass Wind und Sonne nur dann zur Energiegewinnung genutzt werden können, wenn sie vorhanden sind und nicht notwendigerweise dann, wenn die Energie tatsächlich benötigt wird. Erneuerbare Energie muss also speicherfähig werden. Die Rolle des Wasserstoffs ist somit eng verbunden mit der Nutzung und dem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien. So kann mittels Elektrolyse aus überschüssigem Strom Wasserstoff erzeugt und gespeichert werden und bei Bedarf wieder verstromt und zurück ins Netz gespeist werden. Vor allem die direkte Nutzung des so erzeugten H_2 für die Anwendung in Brennstoffzellen-Fahrzeugen ist denkbar.

2 PERSPEKTIVEN FÜR DIE MOBILEN H2BZ-ANWENDUNGEN

Um die immer schärferen Umwelt- und Emissionsvorschriften zu erfüllen, stellt die Automobilindustrie seit geraumer Zeit die Weichen für die Elektrifizierung der Antriebe. Neben den bereits eingeführten Hybrid-Fahrzeugen werden in den kommenden Jahren erste serienreife Elektromodelle für die verschiedenen Marktsegmente, insbesondere bei PKW, Bussen und leichten Nutzfahrzeugen, auf den Markt gebracht. Zu den reinen Elektrofahrzeugen zählen sowohl Batterie-elektrische als auch Brennstoffzellen-Fahrzeuge. Während man den Einsatz von Batterie-elektrischen Autos aufgrund ihrer Merkmale heute vor allem im innerstädtischen Bereich sieht, haben Elektroautos mit Brennstoffzellentechnologie das Potenzial, langfristig die Verbrennungsmotoren ohne Abstriche bei Leistung, Reichweite und Komfort zu ersetzen.

ÜBERSICHT MOBILE BRENNSTOFFZELLEN-ANWENDUNGEN

BRENNSTOFFZELLEN KOMMEN IN UNTERSCHIEDLICHEN MOBILEN ANWENDUNGEN ZUM EINSATZ UN MIT WASSERSTOFF ODER METHANOL ALS KRAFTSTOFF BETRIEBEN. WASSERSTOFF KANN DABEI IN FL ODER GASFÖRMIGER FORM MIT UNTERSCHIEDLICHEN DRÜCKEN IM FAHRZEUG GESPEICHERT WERDE

Individualverkehr

PKW, Zweiräder

Kraftstoff: Wasserstoff gasförmig
350 oder 700 bar, flüssig

Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV)

Busse

Kraftstoff: Wasserstoff gasförmig
350 bar

Innerstädt. Güterverkehr / Verteile

Leichte Nutzfahrzeuge, Transporter

Kraftstoff: Wasserstoff gasförmig
350 bar

Sonderverkehre Kommune / Stadt

Entsorgungsfahrzeuge

Kraftstoff: Wasserstoff

Freizeitverkehr

Wohnmobile, Boote

Kraftstoff: Wasserstoff
Methanol

Luft- und Raumfahrt

Raketen, Passagierflugzeuge, Segel

Kraftstoff: Wasserstoff
flüssig und gasförmig

In Deutschland und auf europäischer Ebene werden Automobilindustrie und Energieversorger im Rahmen zahlreicher öffentlich-privater Partnerschaften bei der Einführung der Elektromobilität unterstützt. Demonstrationsprogramme wie die Clean Energy Partnership, die Industrieinitiative H_2 Mobility oder der von der Bundesregierung verabschiedete Nationale Entwicklungsplan Elektromobilität (NEP) zeigen auf vielfältige Art und Weise, wie die Elektromobilität mit Batterie-elektrischen Antrieben und Brennstoffzellen-Systemen zukünftig im Alltag verankert werden kann.

Hessen ist Partner der Clean Energy Partnership (CEP)

Quelle: Wichert

Ministerin Lucia Puttrich bei der Präsentation der CEP-Fahrzeuge in Wiesbaden

Hessen, vertreten durch das Hessische Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUELV), ist im Mai 2011 der dritten Phase (bis 2016) der Clean Energy Partnership beigetreten. Ähnlich wie in Berlin und Hamburg soll damit in Hessen die Einführung der H2BZ-Technologie im Straßenverkehr weiter vorangebracht werden. Die bereits installierte, öffentliche Wasserstoff-Tankstelle des Industrieparks Infraserv Höchst in Frankfurt wird dabei Ausgangspunkt für den weiteren Ausbau der Infrastruktur in Hessen werden. Als Fahrzeuge kommen die Brennstoffzellen-Autos von GM/Opel (HydrogGen4), Honda (FCX Clarity) und Daimler (Mercedes-Benz B-Klasse F-Cell) zum Einsatz. Weitere Fahrzeuge und Applikationen werden folgen.

Quelle: Total Deutschland

2001 wurde die CEP in Berlin initiiert. Gründungspartner waren die großen deutschen Automobilhersteller, führende Technologie-, Mineralöl- und Energiekonzerne, die mit dem Verkehrsministerium vereinbart haben, Wasserstoff-betriebene Fahrzeuge auf die Straße zu bringen und die dafür notwendige Infrastruktur aufzubauen. Ziel ist es, die technische Alltagstauglichkeit von Fahrzeugen (PKW und Busse) und die kostengünstige Erzeugung und Bereitstellung des Wasserstoffs zu demonstrieren sowie H_2-Tankstellen aufzubauen. Ursprünglich für Berlin konzipiert, wurde in der zweiten Phase Hamburg in die Partnerschaft einbezogen. Beide Städte werden durch einen H_2-Tankstellen-Korridor miteinander verbunden. Neben Hessen sind die Länder Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg neue Partner in der CEP.

Weitere Infos unter:
www.cleanenergypartnership.de

Clean Energy Partnership CEP

Ein Projekt im Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (nip)

ND WERDEN
LÜSSIGER
EN.

rdienste

Sonderverkehre Logistik

Flurförderzeuge

Kraftstoff: Wasserstoff gasförmig, 350 bar
Methanol

flieger

Maritime Anwendung

U-Boote, Kreuzfahrtschiffe, Fähren

Kraftstoff: Wasserstoff
Methanol

Bildquellen (von links nach rechts): obere Reihe CEP, HyCologne, Daimler, Fronius International; untere Reihe, Berliner Stadtreinigung BSR, Zemships, DLR, ThyssenKrupp

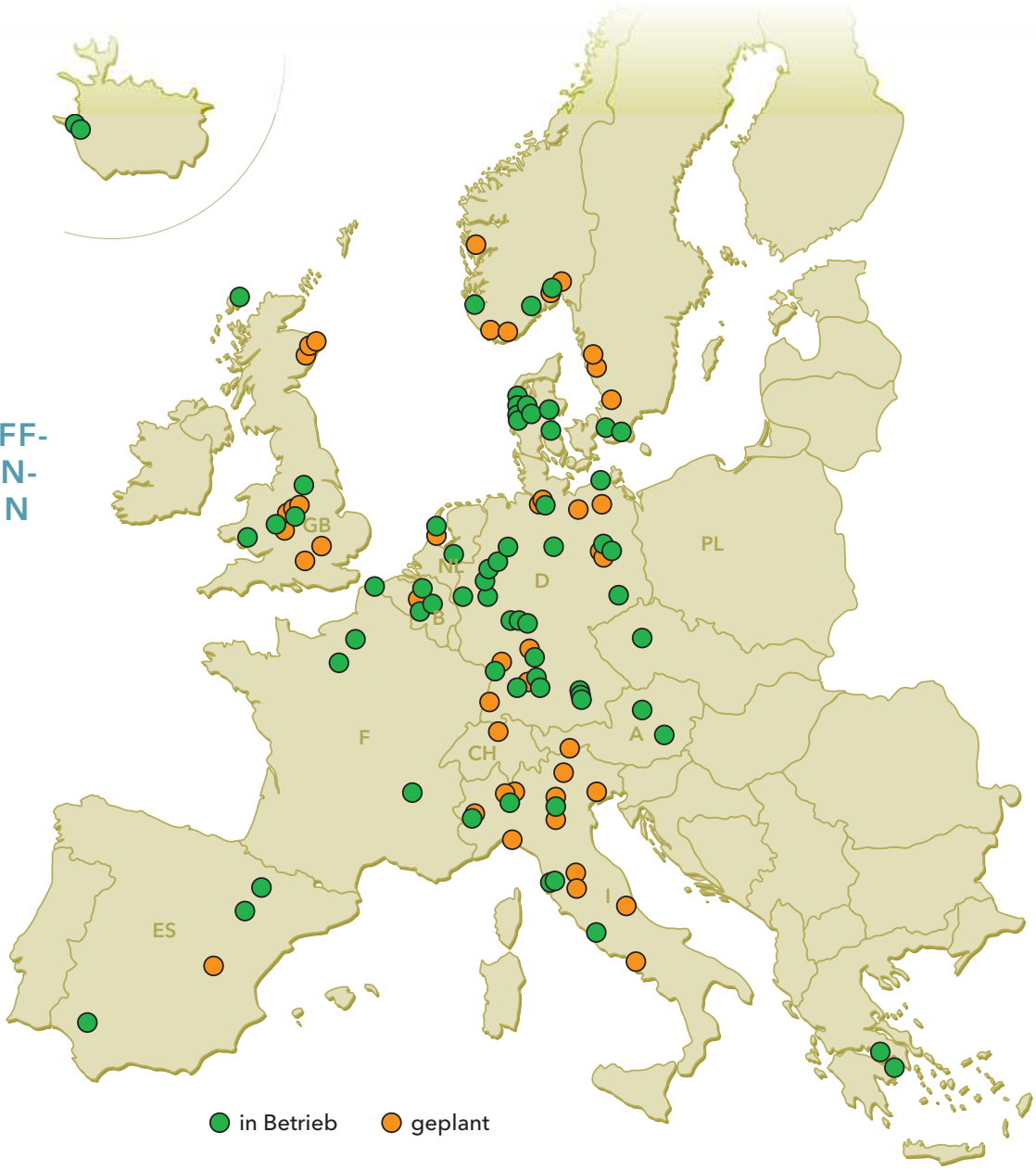
Wie Strom auch bietet der Energieträger Wasserstoff im Bereich der Mobilität eine saubere und erneuerbare Alternative zu den fossilen Treibstoffen, solange er aus erneuerbaren Energien erzeugt wird.

Genau wie bei den konventionellen Fahrzeugen wird der Wasserstoff in Brennstoffzellen-Fahrzeugen im Tank mitgeführt, der, wenn er leer ist, in nur drei Minuten wieder befüllt werden kann oder – je nach Anwendung – getauscht werden muss. Bei der Einführung von Wasserstoff als Kraftstoff kommt dem Aufbau einer H_2-Infrastruktur, die eine sichere, einfache, schnelle und leicht zugängliche Betankung ermöglicht, eine entscheidende Rolle zu.

In diesem Zusammenhang wird meistens vom „Henne-Ei-Problem" gesprochen, denn Fahrzeuge benötigen Tankstellen und Tankstellen Fahrzeuge – nur was kommt zuerst? Beides muss parallel aufgebaut werden, damit die Kunden die neuen Möglichkeiten annehmen und sich die notwendigen Investitionen möglichst bald auszahlen. Aus diesem Grund kooperieren Automobilhersteller, Mineralölfirmen, Gashersteller sowie Energieversorger und entwickeln gemeinsam tragfähige Infrastrukturlösungen für die unterschiedlichen Nutzergruppen. Diese werden heute bereits in verschiedenen, öffentlich geförderten Demonstrationsprojekten umgesetzt und getestet.

WASSERSTOFF-TANKSTELLEN-STATIONEN IN EUROPA

Quelle: www.h2stations.org



Quelle: Shell/CEP

Das Betanken eines Fahrzeugs mit Wasserstoff ist schnell, komfortabel und sicher.

Die Umsetzung einer flächendeckenden H_2-Infrastruktur – das bedeutet für Deutschland rund 1000 Tankstellen[8] und eine Investition von rund 1,5 bis 2 Milliarden Euro[9] – geht heute von einem Szenario aus, das in Großstädten beginnt. Dort werden zuerst wenige Wasserstoff-Tankstellen aufgebaut, die die innerstädtische Versorgung kleiner Flotten sicherstellen. In einem nächsten Schritt werden entlang so genannter Korridore – auf den Hauptverbindungsachsen zwischen Großstädten – weitere Tankstellen installiert. Mit steigenden Fahrzeugzahlen wird sich dann das Wasserstoffnetz flächendeckend ausbreiten, so dass das Betanken langfristig überall möglich sein wird.

Initiative H_2 Mobility

2009 haben führende Industrieunternehmen (Daimler, EnBW, Linde, OMV, Shell, Total, Vattenfall) mit Unterstützung der Bundesregierung (Vertreten durch die NOW GmbH) die Initiative „H2 Mobility" gegründet. Ziel ist es, den Auf- und Ausbau einer flächendeckenden Wasserstoffinfrastruktur in Deutschland gemeinsam voranzutreiben. Ab 2011 soll das derzeitige H_2-Tankstellennetz deutlich ausgebaut werden, um die Kommerzialisierung von Elektrofahrzeugen mit Brennstoffzellen zu ermöglichen. Die Automobilhersteller haben in diesem Zusammenhang ab 2015 die Markteinführung mehrerer hunderttausend Fahrzeuge angekündigt. Die Initiative ist offen für weitere interessierte Teilnehmer.

8 Zum Vergleich: Es gibt laut ADAC über 14.000 konventionelle Tankstellen in Deutschland.

9 Zum Vergleich: Der Aufbau einer flächendeckenden Stromladeinfrastruktur wird ebenfalls mit rund 1,5 bis 2 Milliarden Euro beziffert.

Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität (NEP)

Deutschland hat 2009 den Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität verabschiedet und damit die Weichen für eine zukunftsfähige Mobilität gestellt. Im NEP wurde das Ziel erklärt, bis 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen zu bringen und das Land zum Leitmarkt für Elektromobilität zu entwickelt. Neben dem bereits erfolgreich gestarteten Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) – siehe Kapitel 6.2.2 – werden mit dem NEP Entwicklungen im Bereich der Energiespeichertechnologien, der Batterie-elektrischen Antriebe sowie der Aufbau einer Stromladeinfrastruktur verfolgt. Batterie- und die Brennstoffzellentechnologie sind aus Sicht der Bundesregierung sich ergänzende Technologien, die beide in gleichem Maße weiterentwickelt werden sollen.

Die einzelnen Bundesländer sind ebenfalls dabei oder haben bereits das nationale Programm durch eigene Förderprojekte und -initiativen ergänzt, die die Einführung der H2BZ-Technologie in den jeweiligen Bundesländern verstärken.

Weitere Informationen unter **www.elektromobilitaet2008.de**

Die Bundesregierung

3 INFRASTRUKTUR 1

VON DER H_2-ERZEUGUNG BIS ZUR BEREITSTELLUNG AN DER TANKSTELLE

Wasserstoff wird seit über 100 Jahren in der chemischen und Grundstoffindustrie eingesetzt. Insbesondere die Düngemittel- und Methanolherstellung benötigen große Mengen Wasserstoff. H_2 wird darüber hinaus in der Stahl- und Glasindustrie sowie in der Halbleiter-, Lebensmittel- und chemischen Industrie genutzt. In der chemischen Industrie fällt Wasserstoff auch als Nebenprodukt bei der Chlorherstellung an, wie beispielweise im Industriepark Höchst bei Frankfurt. Dieser Nebenprodukt-Wasserstoff steht heute – nach entsprechender Aufbereitung – für die Verwendung in Brennstoffzellenanwendungen zur Verfügung.

Für die Zukunft rückt die Produktion von Wasserstoff aus erneuerbaren Energiequellen in den Mittelpunkt. Das ermöglicht neue Herstellungsverfahren und -prozesse. Für den flächendeckenden Aufbau einer Wasserstoff-Versorgung im Verkehrssektor müssen alle Glieder der H_2-Infrastrukturkette – von der Produktion über Speicherung und Transport bis hin zur Bereitstellung an der Tankstelle – betrachtet und auf die geltenden Anforderungen hin optimiert werden.

10 Informationen von LBST und Fraunhofer IWES zum 9. Brennstoffzellen-Forum Hessen

11 Zahlen aus der Studie HyWays 2007

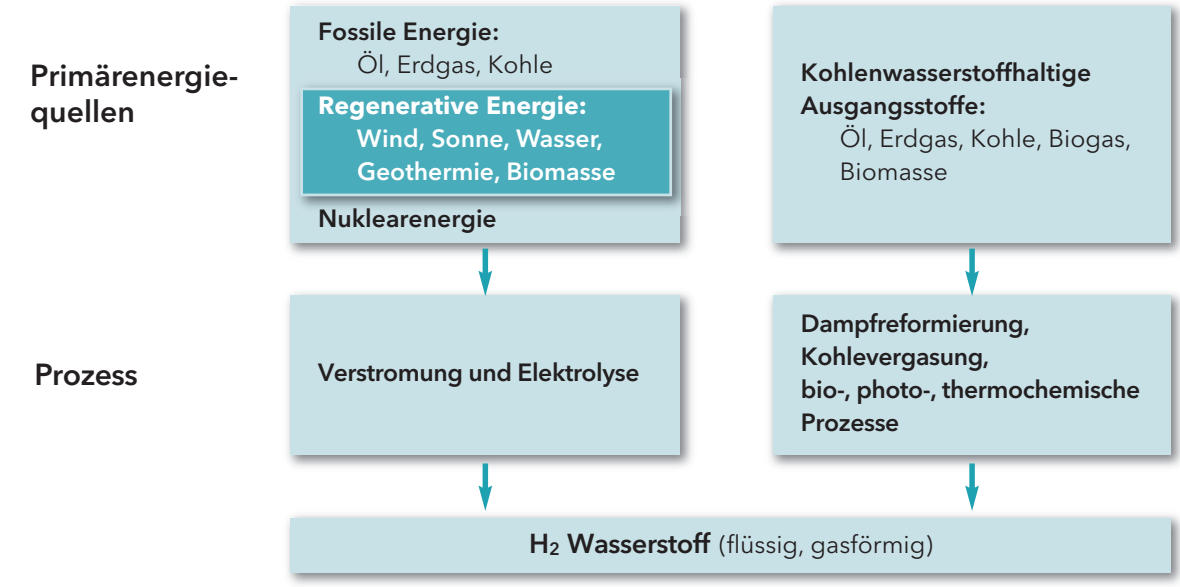
3.1 ERZEUGUNG

Der Energieträger Wasserstoff kann mittels unterschiedlicher Primärenergiequellen und verschiedener Umwandlungsprozesse erzeugt werden.

Wasserstoffproduktion

Die gesamte weltweite Wasserstoffproduktion beträgt seit Mitte der 90er Jahre rund 500 Milliarden[10] Nm^3 (Norm-Kubikmeter). In Deutschland beläuft sich die Produktion von Nebenprodukt-Wasserstoff aus der chemischen Industrie auf knapp 1 Milliarde Nm^3 jährlich. Diese Menge reicht aus, um allein in Deutschland über 250.000 Brennstoffzellenfahrzeuge bei einer jährlichen Laufleistung von 12.500 Kilometer[11] zu versorgen.

DIE WICHTIGSTEN WEGE DER WASSERSTOFFERZEUGUNG



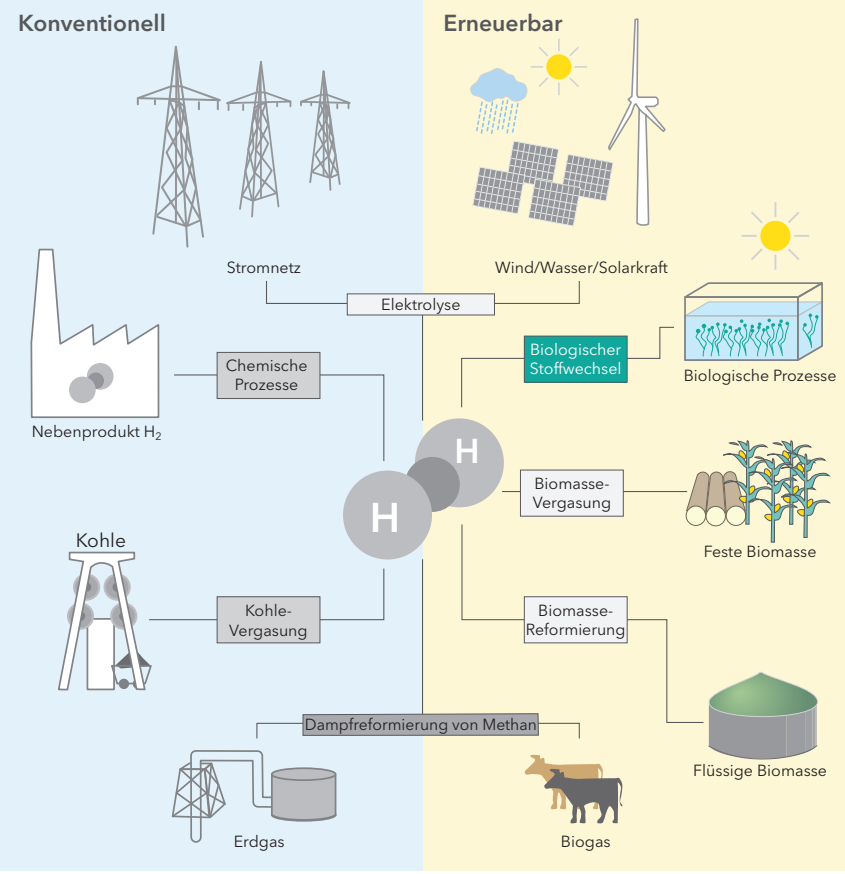
Während bisher die großtechnische Wasserstoff-Erzeugung aus fossilen Energieträgern (vorwiegend mittels Dampfreformierung aus Erdgas) dominiert, rückt in Zukunft die Herstellung auf Basis erneuerbarer Energien immer mehr in den Mittelpunkt. Die Produktion von H_2 mittels Elektrolyse von Wasser aus regenerativ erzeugtem Strom steht dabei im Vordergrund. Technische Voraussetzung für die Elektrolyse sind so genannte Elektrolyseure, die heute schon in großen Anlagen eingesetzt werden. Die Herausforderung für die Zukunft liegt unter anderem in der Entwicklung kleiner, flexibler und kostengünstiger Anlagen, die direkt vor Ort an der Wasserstoff-Tankstelle installiert und kurzfristig Wasserstoff erzeugen können. Elektrolyseure werden somit wesentliche Komponenten für die zukünftige Stromspeicherung von überschüssigem regenerativen Strom in Form von Wasserstoff bilden.

Darüber hinaus werden alternative Herstellungsverfahren für Wasserstoff untersucht. Dazu gehören Hochtemperaturverfahren wie beispielsweise die Herstellung von Synthesegasen aus Biomasse, was heute bereits in Pilotanlagen erprobt wird. Auch die Wasserstoffgewinnung durch Bakterien oder Algen ist möglich. Ob diese Verfahren das Potenzial haben, zukünftig tatsächlich industriell eingesetzt zu werden, wird sich erst in den nächsten Jahren zeigen, da sich die meisten noch im Forschungsstadium befinden.

Bei der Bewertung sinnvoller wirtschaftlicher und ökologischer Erzeugungspfade von Wasserstoff betrachtet man mittlerweile die gesamte Energiekette von der Erzeugung bis zur Verwendung des Wasserstoffs (man spricht in diesem Zusammenhang von Well-to-Wheel). Obwohl die Erzeugung von Wasserstoff mehr Energie benötigt als beispielsweise die Erzeugung von Strom oder konventioneller Kraft- und Brennstoffe wie Benzin und Diesel aus fossilen Primärenergien, kann die Gesamtenergiebilanz von Wasserstoff durch Brennstoffzellenanwendungen ausgeglichen und teilweise sogar verbessert werden.

Wasserstoffqualität

Je nachdem, aus welchem Ausgangsstoff und welchem Prozess der Wasserstoff erzeugt wird, weist er unterschiedliche Reinheitsstufen auf. Um Wasserstoff in Brennstoffzellen-Anwendungen nutzen zu können, wird er in einer sehr hohen Qualität hergestellt, da Verunreinigungen Auswirkungen auf Katalysatoren und Membranen haben. Ähnlich wie bei Kraftstoffen, bei denen heute Schwefel- und Partikelgehalte für die Anwendungen in modernen Motoren klar festgelegt sind, arbeitet man hinsichtlich der Wasserstoffqualität an einheitlichen Standards, die sowohl den technischen Anforderungen der Brennstoffzellenhersteller als auch denen der Wasserstoffproduzenten gerecht werden.



Quelle: Linde

Quelle: Linde

Wasserstofftank an der Linde-Tankstelle in Unterschleißheim

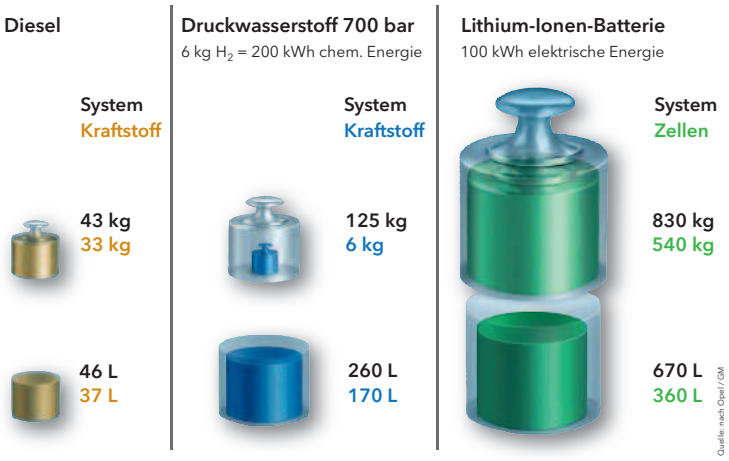
3.2 SPEICHERUNG

Wasserstoff ist bei Umgebungsbedingungen ein Gas, das aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften eine hohe gravimetrische Energiedichte (W/kg), aber eine geringe volumetrische Energiedichte (W/l) aufweist (siehe nachstehende Tabellen/Abbildungen). Für die Speicherung ist man deshalb bestrebt, die volumetrische Energiedichte zu erhöhen, indem man gasförmigen Wasserstoff entweder komprimiert oder verflüssigt.

Dies kann auf unterschiedliche Art und Weise erreicht werden. Das Augenmerk liegt insbesondere auf der gasförmigen Speicherung in Drucktanks mit unterschiedlichen Druckniveaus sowie in der tiefkalten, flüssigen Speicherung in vakuumisolierten Behältern. Diese Speicher lassen sich nicht nur für den H_2-Transport, sondern auch als Tanks in Fahrzeugen einsetzen.

Energiespeicherung im Fahrzeug

Gewicht und Volumen von Energiespeichern für 500 km Reichweite



Quelle: nach Opel / GM

Boil-off-Effekt

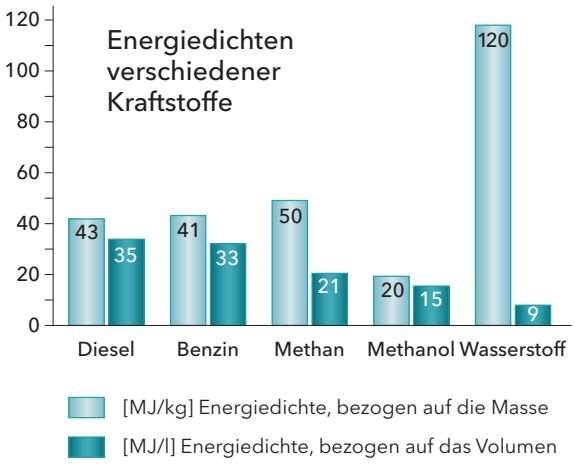
Der Erhalt der tiefen Speichertemperatur über einen längeren Zeitraum ist schwierig. Wenn an Tankstellen H_2 flüssig bereitgehalten wird, ist man bemüht, den Boil-off-H_2 aufzufangen und als Gas zum Tanken zur Verfügung zu stellen. Boil-off-H_2 kann auch in vor Ort installierten stationären Brennstoffzellen für die Stromerzeugung an der Tank- und Servicestation genutzt werden. Durch die stetige Nutzung von H_2-Tankanlagen und eine kontinuierliche Entnahme (Anzahl Betankungsvorgänge) kann der Boil-off-Effekt zukünftig vernachlässigt werden.

Energiedichten von H_2 und anderen Kraftstoffen im Vergleich

Heizwert	H_2 Flüssig	H_2 Gasförmig	Benzin
Energiedichte Volumen (kWh/m³)	2.360 kWh/m³	1 bar: 3 kWh/m³ 200 bar: 530 kWh/m³ 350 bar: 799 kWh/m³ 700 bar: 1275 kWh/m³	8.760 kWh/m³
Energiedichte Masse (kWh/kg)	33,3 kWh/kg	33,3 kWh/kg	12,0 kWh/kg

Der **Energieinhalt** von 1Nm³ Wasserstoff entspricht 0,34 l Benzin,
1 l flüssiger Wasserstoff entspricht 0,27 l Benzin,
1kg Wasserstoff entspricht 2,75 kg Benzin

Heizwert: 119,97 MJ/kg = 33,33 kWh/kg = 10,78 MJ/Nm³ = 3,0 kWh/Nm³
Brennwert: 141,80 MJ/kg = 39,41 kWh/kg = 12,75 MJ/Nm³ = 3,5 kWh/Nm³



Quelle: Honda

Quelle: GM/Opel

GEGENÜBERSTELLUNG DER WASSERSTOFF-SPEICHER

Gasförmiger H_2

Merkmale

Gasförmiger H_2 kann verdichtet und langfristig in Drucktanks gespeichert werden. Tanks mit einem Druck von bis zu 700 bar sind heute etabliert und kommerziell verfügbar. Die Druckspeicherung ist für mobile Anwendungen in PKW (bis 700 bar), Bussen (350 bar) und anderen Fahrzeugen wie beispielsweise Gabelstapler (200-350 bar) eine wichtige Voraussetzung, um die gewünschten Reichweiten im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen zu ermöglichen.

Vorteile

- Der hohe Energieaufwand für die Komprimierung kann durch den hohen Wirkungsgrad der Brennstoffzellen ausgeglichen werden.

Nachteile

- Je höher der Speicherdruck wird, umso mehr Energie muss entsprechend für die Verdichtung und Betankung aufgewendet werden.

Hauptsächliche Anwendungsbereiche

- PKW
- Leichte Nutzfahrzeuge / Transporter
- Gabelstapler
- Sonderfahrzeuge

Flüssiger H_2

Merkmale

Kühlt man Wasserstoff auf minus 253°C ab, wird er flüssig. Damit lässt er sich in so genannten Kryotanks (vakuum-isolierten Behältern) speichern. Der Wasserstoff erwärmt sich im Laufe der Zeit und dehnt sich aus. Um den dabei entstehenden Druck in den Tanks auszugleichen, sind Ventile installiert, die den H_2 entweichen lassen. Man spricht an dieser Stelle von Abdampfverlusten oder dem Boil-off-Effekt (siehe Infokasten) von flüssigem H_2. In modernen Anlagen wird dieses Gas über spezielle Verdichter dem System wieder zugeführt, um so die Verluste zu minimieren.

Vorteile

- Flüssiger H_2 weist eine hohe Energiedichte auf – in Fahrzeuganwendungen ermöglicht das ähnliche Reichweiten wie mit Benzin.
- Für den Transport können deutlich größere Mengen H_2 transportiert und an der Tankstelle zwischengelagert werden, bei gleichzeitig verringertem Flächenbedarf an der Tankstelle.

Nachteile

- Es ist ein hoher Energiebedarf für die Verflüssigung des H_2 nötig. Er beträgt etwa ein Drittel der im H_2 enthaltenen Energie.
- Boil-off-Effekt

Hauptsächliche Anwendungsbereiche

- Distribution (H_2-Transport)
- Größere Leistungsbereiche (Flugzeuge, LKW, Lokomotiven)

Weitere H_2-Speicher

Merkmale

Eine weitere Form der Speicherung von H_2 sind Feststoffe wie metallische und nicht-metallische Hydride. Dabei wird H_2 in metallische und andere Verbindungen eingelagert und durch Wärmezufuhr gelöst.

Vorteile

- Die Forschung beschäftigt sich intensiv mit Speichern und Stoffen, die auf innovativen Nanotechnologien und -materialien basieren.

Nachteile

- Im Verhältnis zum aufnehmenden H_2-Gehalt sind diese Speicher sehr schwer.
- Daher eignen sich Metallhydridspeicher heute anders als Druck- oder Flüssigspeicher nur für eine kleine Anzahl von Anwendungen.
- Die Betankung dieser Speicher stellt zudem eine Herausforderung dar.

Hauptsächliche Anwendungsbereiche

- Wechselkartuschen

Wasserstoff engl. Hydrogen (H_2)
Gasförmiger Wasserstoff engl. Compressed gaseous hydrogen (CGH_2)
Flüssiger Wasserstoff engl. Liquid hydrogen (LH_2)

Quelle: Linde

Wasserstoff wird per LKW an der Tankstelle angeliefert.

3.3 DISTRIBUTION

Wasserstoff wird heute vorwiegend in zentralen Anlagen hergestellt und mit etablierten Verkehrsmitteln wie LKW oder durch Pipelines an den Ort gebracht, wo er benötigt wird. In den zentralen Produktionsanlagen kann Wasserstoff heute schon wirtschaftlich hergestellt werden. Die Kosten für den Transport variieren, da sie abhängig vom Transportweg zum Abnehmer sind. Je höher die Kosten für die Anlieferung sind, umso interessanter wird die dezentrale Erzeugung von H_2. Dazu werden die erforderlichen Wasserstoffmengen am Ort des Verbrauchs, also direkt an der Tankstelle, erzeugt. Die dafür am weitesten entwickelten Verfahren sind Dampfreformer, die den Wasserstoff aus Erd- oder Biogas erzeugen, oder Elektrolyseure, die mit Hilfe von Strom den Wasserstoff aus Wasser direkt an der Tankstelle produzieren.

Hochdruckpipeline Höchst

Im Industriepark Höchst bei Frankfurt stehen heute jährlich 30 Millionen (zukünftig bis zu 45 Millionen) Kubikmeter H_2 als Nebenprodukt aus der Chlorproduktion zur Verfügung. Im Rahmen des Zero-Regio-Projekts wurde eine etwa 1,7 Kilometer lange Hochdruck-Pipeline (1.000 bar) verlegt, die den Wasserstoff vom Industriepark zur Tankstelle leitet, wo er bei Bedarf vorgekühlt und an verschiedenen H_2-Zapfsäulen abgegeben wird.

H_2-Pipeline Rhein-Ruhr

1938 wurde im Ruhrgebiet ein weit verzweigtes rund 230 Kilometer langes Pipeline-Netz für Stadtgas (das früher einen hohen Wasserstoffanteil enthielt) gebaut, das heute im Rahmen des Projektes NRW Hydrogen HyWay für die Verteilung von Wasserstoff genutzt wird. Der H_2 entsteht als Nebenprodukt aus lokalen Industrieprozessen. Durch die Anbindung von H_2-Tankstellen an diese Pipeline könnten die Kosten für den Wasserstoff durch den Wegfall des Transports gesenkt werden.

MÖGLICHKEITEN DER WASSERSTOFFANLIEFERUNG

Methode		Fakten	Vorteile	Nachteile
Gasförmiger H_2 per LKW (CGH_2)		– Transport bei einem Druck von 200 bar und höher – Kapazität bis 10.000 Nm^3	Wirtschaftlicher Transport bei kurzen und mittleren Entfernungen	– Im Vergleich niedrige Kapazität (hohe Lieferhäufigkeit) – im Vergleich großer Platzbedarf (erforderliche Abstellfläche)
Flüssiger H_2 per LKW (LH_2)		– Transport bei -253°C – Kapazität bis 40.000 Nm^3	Wirtschaftlicher Transport bei mittleren und großen Entfernungen	– Im Vergleich hoher Energiebedarf (für die H_2-Verflüssigung)
Pipeline für gasförmigen H_2		– Transport bei 20-100 bar – Kapazität bis 100.000 Nm^3/h	Hohe Wirtschaftlichkeit bei hohen und konstanten Lieferraten, hohe Kapazitäten	– Im Vergleich hohe Investitionen – Genehmigungsaufwand hoch
Vor-Ort H_2-Erzeugung	Methan-Dampfreformierung	– Erzeugung direkt am Ort des Verbrauchs – Typische Kapazität: Dampfreformierung bis 300 Nm^3/h Elektrolyseur 5-100 Nm^3/h (modular)	– Keine H_2-Transportkosten – flexible Kapazitäten	– Im Vergleich niedriger Ausstoß (bzw. kein Ausstoß bei der Elektrolyse) – im Vergleich großer Platzbedarf und hoher Genehmigungsaufwand
	Wasser-Elektrolyse			

Quelle: nach Linde

3.4 SICHERHEIT

Die heute geforderten Sicherheitsstandards im Umgang mit High-Tech-Produkten gewährleisten grundsätzlich eine sichere Nutzung. Das gilt im besonderen Maße für die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, die das Potenzial hat, eine Schlüsselrolle in der Energieversorgung und in der Mobilität der Zukunft zu spielen[12].

Wasserstoff ist, wie andere Kraft- und Brennstoffe auch, ein Energieträger mit spezifischen Eigenschaften, die in der Anwendung berücksichtigt werden müssen.

In der Industrie wird seit mehr als hundert Jahren mit Wasserstoff gearbeitet, und die damit einhergehenden Sicherheitsanforderungen und -vorschriften sind Bestandteil des Alltags vieler Menschen, die beruflich mit Wasserstoff zu tun haben. Diese Gewohnheiten im Umgang mit Wasserstoff müssen nun auch für jeden Autofahrer und Tankstellennutzer zur Selbstverständlichkeit werden.

H_2 ist beispielsweise leichter als Luft und entweicht deshalb immer nach oben. Wenn Wasserstoff im Innenbereich eingesetzt wird, ist deshalb stets für eine gute Be- und Entlüftung zu sorgen. Da Wasserstoff wie andere Treibstoffe auch brennbar ist, werden in allen H_2-Anwendungen Sensoren eingesetzt, die die Konzentration des Wasserstoffs in der Umgebung oder im Fahrzeug überwachen.

Sollte es zu einem Leck in einem H_2-Tank kommen, greifen standardisierte Sicherheitsverfahren, die im schlimmsten Fall im Rahmen eines Notfall-Managements zur Abschaltung des Systems führen.

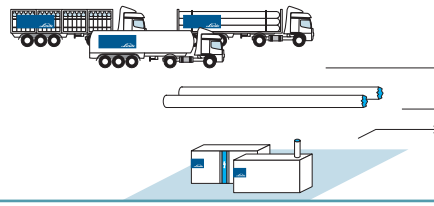
Zahlreiche Verkehrsunfallsimulationen und reale Tests mit Fahrzeugen haben gezeigt, dass die Brandgefahr geringer ist als bei konventionellen Kraftstoffen, da das brennende H_2-Gas nach oben entweicht. Flüssige Kraftstoffe laufen aus und verteilen sich unter dem Fahrzeug. Die dabei entstehenden Dämpfe verbrennen zum Teil explosionsartig und unkontrolliert. Sie können dadurch das gesamte Fahrzeug in Brand stecken.

Das Wasserstoffmolekül ist sehr klein und neigt dazu, Materialien zu durchdringen. Dieser Effekt ist in der Fahrzeuganwendung heute allerdings zu vernachlässigen, da die verwendeten Materialien für Tank und Leitungen technisch dicht sind. Um Versprödungen bei der Verwendung von Wasserstoff zu vermeiden, werden ausschließlich geeignete Werkstoffe oder entsprechende Beschichtungen eingesetzt. Damit eröffnet sich für Wasserstoff-Komponentenhersteller die Möglichkeit, im Bereich der automobilen Anwendungen neue Marktsegmente und Geschäftsfelder zu erschließen.

12 Weiterführende Informationen liefert das vom Deutschen Wasserstoff- und Brennstoffzellenverband (DWV) herausgegebene „Wasserstoff-Sicherheits-Kompendium".

4 INFRASTRUKTUR 2

WASSERSTOFF-TANKSTELLEN



Im Bereich der mobilen Anwendungen rechnet man mit einer breiten Markteinführung der H2BZ-Technologie ab 2015. Bis dahin muss die H_2-Versorgung so ausgebaut werden, dass die ersten Nutzer ihre Fahrzeuge im Alltag problemlos einsetzen können. Für Deutschland müssten rund 1.000 Wasserstoff-Tankstellen für eine flächendeckende Versorgung installiert werden (zum Vergleich: es gibt laut ADAC bundesweit über 14.000 konventionelle Tankstellen). In den vergangenen Jahren wurden bundesweit mehrere Dutzend Wasserstoff-Tankstellen aufgebaut, die teilweise öffentlich zugänglich sind. Der größte Teil der H_2-Tankstellen wurde allerdings bisher bei Unternehmen und Forschungsinstituten für den Eigenbedarf sowie im Rahmen von Pilot- und Demonstrationsprojekten im Bereich des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) und des Individualverkehrs installiert. Alle für die Öffentlichkeit zugänglichen Tankstellen gewährleisten heute schon eine Betankung auf Basis weltweit einheitlicher Standards. Zusätzliche Wasserstoff-Tankstellen sind in Deutschland und weltweit in Planung[13].

Neben einem öffentlich zugänglichen Wasserstoff-Tankstellennetz für den Individualverkehr, werden mehr und mehr H_2-Tankstellen für die privatwirtschaftliche bzw. innerbetriebliche Nutzung installiert werden. Dies gilt insbesondere für Verkehrsbetriebe sowie für kommunale und private Flottenbetreiber, die auf Brennstoffzellen-elektrische Fahrzeuge umstellen und auch heute schon über eine eigene Treibstoffversorgung verfügen. Dazu kommt der Aufbau eines Wasserstoff-Versorgungnetzes im Bereich der Logistik für Flurförderzeuge und im Bereich der Freizeitanwendungen wie Wohnmobile und Boote oder für die netzunabhängige Stromversorgung von Telekommunikationsanlagen (Sendemasten) oder entlegenen Gebäuden.

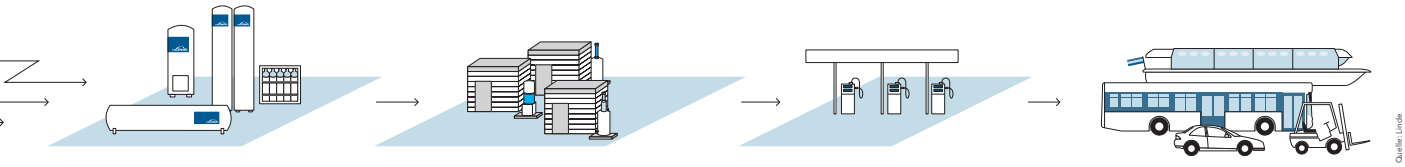
13 Eine aktuelle Übersicht über die H_2-Tankstellen findet man unter www.h2stations.org. Die Webseite ist eine gemeinsame Initiative der Ludwig-Bölkow-Systemtechnik (LBST) und dem TÜV Süd.

H_2-Tankstellen in Hessen

In Hessen sind vier stationäre Wasserstoff-Tankstellen in Betrieb. Im Rahmen des Förderprojekts ZeroRegio wurde eine öffentliche Tankstelle im Industriepark Höchst bei Frankfurt (siehe nachfolgende Praxisbeispiele) aufgebaut. Drei weitere werden von Unternehmen ausschließlich für Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten genutzt. In Hessen werden weitere öffentliche Tankstellen sukzessive installiert.

WO WERDEN DIE BRENNSTOFFZELLEN-FAHRZEUGE GETANKT?

Fahrzeug	Speicher für H_2	Betankung durch
PKW, Zweiräder, Nahverkehrsbusse, leichte NFZ / Transporter, Sonderfahrzeuge Kommunalversorgung, Flughafenvorfeld, Logistik	gasförmig, flüssig	Fest installierte, öffentliche und / oder betriebliche Tankstelle, mobile Tankstelle
Wohnmobile, Boote (sowohl Yachten als auch Kreuzfahrtschiffe)	gasförmig, Methanol	Wechselkartuschen, mobile Tankstellen
Sonderfahrzeuge: Raketen, Flugzeuge, Lokomotiven, U-Boote	gasförmig, flüssig	Eigene H_2-Versorgung durch den Betreiber



Quelle: Linde

Schlüsselelemente einer Wasserstoff-Tankstelle: Erzeugung/Anlieferung – Zwischenlagerung – Konditionierung – Abgabe an der Zapfsäule – Fahrzeug

4.1 STATIONÄRE TANKSTELLEN

Im Bereich des Individual-, des Flotten- und des öffentlichen Personennahverkehrs werden stationäre bzw. fest installierte Wasserstofftankstellen zukünftig die Regel sein. Diese stationären Wasserstoff-Tankstellen werden dabei häufig in bereits vorhandene, öffentliche Tank- und Servicestationen entlang der Verkehrswege integriert. Es handelt sich um einfach zu handhabende, komfortable und sichere Installationen, die ein schnelles und zuverlässiges Betanken des Fahrzeugs ermöglichen. H_2-Zapfsäulen sind genauso zugänglich wie herkömmliche Zapfsäulen und werden bedient, wie man es vom Tanken mit den konventionellen Kraftstoffen gewohnt ist.

Aufbau

Je nach Nutzungsanforderung umfasst eine stationäre Wasserstoff-Tankstelle bis zu vier Bereiche:

- Wasserstoffabgabe
- Wasserstoffkonditionierung
- Wasserstofflagerung
- Wasserstofferzeugung

Die Schnittstelle zum Endnutzer und damit zum Tank der verschiedenen Fahrzeugtypen (Pkw, Busse, Flurförderzeuge) bildet die Zapfsäule mit der Zapfpistole. Der Zapfsäule vorgelagert ist der Bereich, an dem der Wasserstoff für die Abgabe an der Zapfsäule aufbereitet wird, da unterschiedliche technische Anforderungen für die Abgabe von flüssigem oder gasförmigem (wahlweise 200, 350 oder 700 bar) Wasserstoff bestehen.

So wird beispielsweise für eine schnelle Betankung (< 5 Minuten) Wasserstoff nach der SAE-Norm J2601 auf –40°C heruntergekühlt (Cold Filling), um eine Überhitzung des Fahrzeugtanks zu verhindern. Darüber hinaus muss ausreichend Wasserstoff bis zum Verbrauch an der Tankstelle zwischengelagert werden. Dieser Bereich bildet gegebenenfalls die Schnittstelle zum Wasserstofflieferanten, wenn nicht vor Ort an der Tankstelle selbst Wasserstoff erzeugt wird. In letzterem Fall kommen außerdem noch die Installationen für die H_2-Produktion hinzu.

Die Anforderungen an die gesamte Leistungsfähigkeit der Wasserstoff-Tankanlage sind entscheidend für die Investitionskosten sowie den Platzbedarf, die für Bau und Betrieb notwendig sind.

Quelle: Linde

Linde Wasserstoff-Tankstelle in Unterschleißheim

Quelle: Infraserv Hoechst

Praxisbeispiel Industriepark Höchst

Im Industriepark Hoechst bei Frankfurt fallen heute jährlich 30 Millionen (zukünftig bis zu 45 Millionen) Kubikmeter Wasserstoff in einer Chemieanlage als Nebenprodukt an. Im Rahmen des europäischen Förderprojekts ZeroRegio wurde dort eine Wasserstoff-Tankstelle aufgebaut. Sie ist Teil einer konventionellen Agip Tank- und Servicestation. Mittels einer eigens installierten Hochdruck-Pipeline wird der Wasserstoff zur Tankstelle befördert, wo er an zwei Zapfsäulen getankt werden kann.

Kennzeichen:

- Pipeline mit einem Nenndruck von 1000 bar
- Abgabe an zwei Zapfsäulen von gasförmigem H_2 mit 350 oder 700 bar
- Betankung von Brennstoffzellen-PKW und Bussen möglich

www.zeroregio.com ➔ Veröffentlichungen ➔ Zero Regio Abschlussbericht

Quelle: www.dilight.com

Praxisbeispiel CHIC (öffentlicher Nahverkehr)

Für das europäische CHIC-Busprojekt werden in den fünf europäischen Städten Aargau/Schweiz, Bozen/Italien, London/Großbritannien, Mailand/Italien und Oslo/Norwegen wie bei den Vorgängerprojekten CUTE/ECTOS und HyFLEET:CUTE Wasserstoff-Tankstellen für die Betankung von 26 neuen Brennstoffzellen-Bussen installiert. Diese Wasserstoff-Anlagen werden von den Nahverkehrsunternehmen genutzt und sind deshalb vorwiegend auf den Betriebshöfen installiert. Um Synergien zu erzeugen, werden die Bustankstellen teilweise so ausgelegt, dass eine Nutzung durch PKW möglich ist.

Kennzeichen:

- Zwei H_2-Tankstellen für jeden Standort (eine bestehende, eine neue)
- Abgabe von gasförmigem H_2 für Busse mit 350 bar Speicherdruck
- Abgabekapazität von mindestens 200 kg H_2 täglich

www.chic-project.eu

4.2 MOBILE H_2-TANKSTELLEN

Neben den stationären Wasserstoff-Tankstellen spielen mobile Tankstellen insbesondere für die Markteinführung der H2BZ-Technologie eine wichtige Rolle. Sie können flexibel überall dort eingesetzt werden, wo Pilotprojekte initiiert und Fahrzeugtests durchgeführt werden und es noch keine oder keine ausreichende Anzahl an fest installierten Tankstellen in einer akzeptablen Entfernung gibt. Auch für den Fall, dass nur wenige Fahrzeuge betankt werden müssen und entsprechend geringe Mengen Wasserstoff benötigt werden, kann eine mobile H_2-Tankstelle eine zuverlässige und kostengünstige Alternative sein. Mobile H_2-Tankstellen bieten darüber hinaus die Möglichkeit, dass nicht mehr das zu betankende Fahrzeug zur Tankstelle gefahren werden muss, sondern dass die auf einem Anhänger installierte Tankstelle zum Fahrzeug kommt. Das ist beispielsweise auf großen Betriebsgeländen wie Flughäfen sinnvoll, weil keine Zeit mehr für Fahrten zur Tankstelle aufgewendet werden muss.

Der Einsatz von mobilen Tankstellen ist meist zeitlich befristet und stellt in der gesamten Auslegung bis auf einige Sonderfälle eher eine Übergangslösung dar.

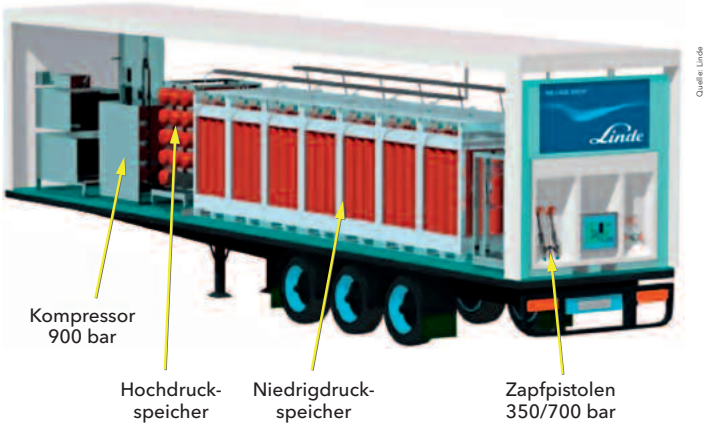
Dennoch muss auch beim Einsatz mobiler Tankanlagen geklärt werden, was genau die Anlage leisten muss, also insbesondere welche Fahrzeuge wie oft mit welchen Mengen an Wasserstoff befüllt werden sollen.

Praxisbeispiel Linde traiLH$_2$™

Bereits 2006 hat Linde im Rahmen eines Förderprojekts den Prototypen einer mobilen Tankanlage aufgebaut. Aufgrund steigender Brennstoffzellen-Fahrzeugzahlen und dem wachsenden H_2-Bedarf wurde dieser Prototyp weiterentwickelt. Die neue mobile Betankungseinheit von Linde – traiLH$_2$™ – bietet eine kombinierte Versorgungsmöglichkeit mit gasförmigem H_2 bei 350 und 700 bar und ermöglicht zügige Betankungsvorgänge. Bei der Entwicklung dieses hochmodernen Fahrzeugs konnte man bereits auf Erfahrungen mit mobilen Druck- und Flüssigbetankungs-Einheiten zurückgreifen.

Kennzeichen:

- LKW-Auflieger mit den Abmessungen (L x B x H) 14 x 2,6 x 4 m, Gesamtgewicht 35 t
- 18 Flaschenbündel mit H_2 zu 300 und 450 bar
- integrierter Kompressor für die Betankung für 700 bar
- Zapfanlage mit 350 und 700 bar-Anschlüssen
- Installationszeit bis zur Abgabe: 1 Stunde



Quelle: Linde

Quelle: Linde

Aufbau

Mobile Wasserstoff-Tankstellen sind sehr kompakt und häufig modular aufgebaut. Dadurch sparen sie Platz und können je nach Anwendungsgebiet dennoch kurzfristig erweitert werden. Die mobile Anlage bietet auf kleinstem Raum sowohl Platz für mehrere Kilogramm Wasserstoff in einem entsprechenden Behälter, einen Kompressor für die Verdichtung des Kraftstoffs als auch eine oder mehrere Abfüllstränge für die Abgabe von gasförmigem Wasserstoff mit wahlweise 200, 350 oder 700 bar. Um die Abgabemengen zu erhöhen oder um den Wasserstoff-Speicher der mobilen Anlage zu befüllen, kann die mobile Tankstelle an einen größeren Wasserstoff-Speicher wie beispielsweise Flaschenbündel gekoppelt werden.

Praxisbeispiel GHR Hochdruck-Reduziertechnik

GHR Hochdruck-Reduziertechnik GmbH im hessischen Ober-Mörlen hat zusammen mit der Hochschule RheinMain eine mobile H_2-Tankstelle entwickelt, die in erster Linie für Flurförderzeuge, Boote oder Vorfeldfahrzeuge auf Flughäfen zum Einsatz kommt. Die mobile H_2-Tankstelle ist auf einem PKW-Anhänger montiert und kann zum Betanken der brennstoffzellen-betriebenen Anlagen oder Fahrzeuge wie Autos, Boote und Gabelstapler bewegt und genutzt werden. Für den Betrieb der Tankstelle ist weder eine externe H_2-Zufuhr noch ein Stromanschluss notwendig.

Quelle: GHR Hochdruck Reduziertechnik

Die Tanks der mobilen Tankstelle können an stationären H_2-Anlagen wiederbefüllt oder – bei größeren Abgabemengen – mit einem Wasserstoff-Flaschenbündel verbunden werden. Darüber hinaus kann die mobile Tankanlage durch den integrierten Brennstoffzellen-Stack auch als APU (Auxiliary Power Unit, zusätzliche/unabhängige Stromversorgung) genutzt werden.

Kennzeichen:

- Anhänger mit den Abmessungen (L x B x H): 3,10 x 1,50 x 1,90 m
- kompakter und modularer Aufbau
- geringer Platzbedarf
- 20 kg H_2-Speicher
- zwei unabhängige Abfüllstränge für 350 und 700 bar
- zusätzliche Bereitstellung von Strom durch Integration einer Brennstoffzelle möglich

4.3 SPEZIELLE TANKSTELLEN

Im Rahmen einer dezentralen und unabhängigen Energieversorgung untersucht man heute auch spezielle Konzepte der Wasserstoffversorgung. Immer mehr Häuser werden zukünftig in der Lage sein, ausreichend Energie für Strom und Wärme selbst herzustellen, zumal der Energieverbrauch durch effizientere Geräte und eine bessere Isolierung sinken wird. Im besten Fall können die Häuser sogar je nach Jahreszeit und Wetter mehr Strom erzeugen als sie verbrauchen.

Dieser überschüssige Strom kann entweder in das zentrale Stromnetz eingespeist werden, oder ein im Haus installierter Elektrolyseur produziert aus diesem überschüssigen Strom Wasserstoff, der zum Tanken eines Brennstoffzellenautos genutzt werden kann. Man spricht dann von „Home Fueling". Insbesondere in den USA wird diese Option von verschiedenen Herstellern verfolgt.

Praxisbeispiel Honda

Seit 2001 entwickelt Honda verschiedene Tankstellensysteme für Brennstoffzellenautos, die der Fahrzeugbesitzer beispielsweise in der heimischen Garage aufstellen kann. Die Wasserstofftankstelle der neuesten Generation zerlegt Wasser mittels Hochdruck-Elektrolyse in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff und gewinnt somit den Treibstoff für die Brennstoffzelle. Einen Hochdruckspeicher braucht die Tankanlage nicht mehr, denn der Wasserstoff wird direkt ins Auto geleitet. Betrieben wird die Elektrolyse mit Solarzellen. Hondas Konzept sieht vor, dass der Fahrer sein Auto über Nacht an die Tankanlage anschließt. Da die Solarzellen jedoch nachts nicht arbeiten, soll der Besitzer tagsüber den CO_2-freien Solarstrom in das Stromnetz einspeisen. Die Wasserstofftankstelle wird dann mit günstigem Nachtstrom betrieben.

Kennzeichen:

- Wasserstoff aus Hochdruck-Elektrolyse mit Solarenergie
- Keine Zwischenspeicherung des Wasserstoffs, sondern direkte Befüllung des Fahrzeugs mit 350 bar
- geringe Kapazität (0,5 Kilogramm in 8 Stunden), die aber ausreichend ist für den täglichen Fahrbedarf (Maßstab ist ein Pendler, der im Jahr rund 16.000 km fährt)

Quelle beide Fotos: Honda

4.4 NORMEN UND VORSCHRIFTEN

Die H2BZ-Technologie befindet sich noch in der Marktvorbereitung. Deshalb wird seit einigen Jahren weltweit im Rahmen verschiedener Projekte und Gremien an einheitlichen Normen und Genehmigungsverfahren für die verschiedenen Anwendungsfelder gearbeitet. Eine Harmonisierung der Normen, Verfahrensregeln und Vorschriften auf internationaler Ebene ist wünschenswert, da die meisten Automobilunternehmen, Mineralöl- und Gasfirmen international oder multinational operieren. Weltweit einheitliche Regeln und Genehmigungsverfahren würden die Markteinführung beschleunigen und dem Verbraucher standardisierte Produkte bieten, die sicherer, günstiger und einfacher in der Handhabung wären.

An vielen Stellen wurden H2BZ-Normen bereits definiert und von den internationalen Normungsorganisationen verabschiedet (siehe unten). So wurde im Rahmen des europäischen HyApproval Projekts bereits 2008 ein Handbuch verabschiedet (Handbook for hydrogen refueling station approval[14]), das für die Zulassung von Wasserstofftankstellen und die Betankung von Fahrzeugen für Behörden und Betreiber einheitliche Regelungen vorschlägt. Das Handbuch soll als Ratgeber für die sichere Umsetzung einer Wasserstoffinfrastruktur dienen, bis entsprechende Normen nach ISO verabschiedet, breit angewendet und von Regelwerken als rechtsverbindlich benannt werden.

Als Nutzer der H2BZ-Technologie gilt es, die für die H_2-Infrastruktur relevanten Normen herauszufinden und sich einen grundsätzlichen Überblick zu verschaffen. Die Details der Regelwerke kennen die Zertifizierungsorganisationen und Prüfgesellschaften wie beispielsweise TÜV, Dekra, Germanischer Lloyd, Büro Vertias, GTÜ und andere. Sie sollten bei Planung und Aufbau einer Wasserstoff-Tankstelle eingebunden werden, zumal einige von ihnen in den deutschen, europäischen und internationalen Normungsgremien mitarbeiten oder mit diesen in direktem Kontakt stehen. Damit wird gewährleistet, dass schon in der Planungsphase die kritischen Themen benannt und in der Umsetzung entsprechend berücksichtigt werden können. Die Zertifizierung erfolgt – soweit vorhanden – unter Berücksichtigung geltender nationaler und internationaler Normen und auf Basis der heute geltenden gesetzlichen Bestimmungen und Vorschriften.

Generell gilt, dass der Nutzer eines BZ-Fahrzeugs sowie der Betreiber einer H_2-Tankstelle ein fertig entwickeltes Produkt einsetzt. Das heißt, er muss sich nicht um die korrekte Herstellung der Komponenten und Anlagen und die damit verbundenen Normen und Vorschriften kümmern. Das bleibt die Aufgabe und in der Verantwortung des jeweiligen Herstellers. Für den Nutzer ist es ausschlaggebend, dass er über Betrieb und Umgang sowie über den Unterhalt der Wasserstoff-Tankstelle Bescheid weiß.

14 Siehe Website http://www.hyapproval.org/Publications/The_Handbook/HyApproval_Final_Handbook.pdf

Begriffserläuterung

Im Englischen spricht man von Codes & Standards, im Deutschen von Normen. Dabei handelt es sich um Vorgaben und Verfahren, die eine industrie- und branchenweite Vereinheitlichung gewährleisten können. Normen sind keine Gesetze, sondern durch Experten und Gremien definierte Rahmenbedingungen, aus denen allerdings verbindliche Vorschriften werden können.

Bei der Definition von Normen im Bereich der H2BZ-Technologie orientiert man sich an folgenden Standards:

- ISO (International Organisation for Standardization)
- IEC (International Electrotechnical Commission)
- CEN (Europäisches Komitee für Normung / Comité Européene des Normalisation)
- SAE (Society of Automotive Engineers, USA)

ÜBERSICHT NORMEN, VERORDNUNGEN, RICHTLINIEN[15]

Übergreifend:

- Herstellerangaben (Vorgaben und Handbücher)
- BetrSichV, Betriebssicherheitsverordnung
- GaVo, Garagen Verordnung (länderspezifisch)
- BGI 518, Gaswarneinrichtungen für den Explosionsschutz – Einsatz und Betrieb
- BGR 104, Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit – Explosionsschutz-Regeln
- BGV A 8, Berufsgenossenschaftliche Vorschrift „Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung am Arbeitsplatz"
- ISO 15916, Basic considerations for the safety of hydrogen systems

Richtlinien und Normen für Tankstellen:

- Herstellerangaben (Vorgaben und Handbücher)
- VdTÜV Merkblatt 514: Anforderungen an Wasserstofftankstellen
- ISO/TS 20100 Gaseous hydrogen – Fuelling stations
- SAE 2600 – Compressed Hydrogen Vehicle Fueling Connection Devices
- SAE J2601 – Compressed Hydrogen Vehicle Fueling Communication Devices
- Entwurf TRG 406 – Druckgase – Anlagen zum Füllen von festverbundenen Fahrzeugtanks zum Antrieb mit verdichtetem Druckgas (Tankstellen für verdichtete Gase – Druckgastankstellen)
- ISO/PAS 15594, Airport hydrogen fuelling facility operations

15 Siehe auch www.hyweb.de. Unter der Rubrik Service for Regulations werden alle relevanten Vorschriften aufgelistet.

4.5 PLANUNG UND AUSLEGUNG EINER H_2-TANKSTELLE

Die geeignete Methode, Wasserstoff für eine Anwendung bereitzustellen, hängt von unterschiedlichen Faktoren ab. Wer eine Wasserstofftankstelle betreiben möchte, muss sich darüber klar werden, welche Arten von Fahrzeugen betankt werden sollen. Die Art der Fahrzeuge und ihre Nutzung geben Aufschluss darüber, in welcher Form (gasförmig/flüssig), in welchen Mengen und – abhängig von der Brennstoffzellentechnologie – in welcher Qualität der Wasserstoff benötigt wird.

Diese und viele weitere Aspekte müssen berücksichtigt werden, damit die Tankstelle entsprechend dimensioniert, ausgelegt und im Ergebnis ein sicherer und zuverlässiger Betrieb gewährleistet werden kann. Auch die Höhe der zur Verfügung stehenden Investitionsmittel, der Standort der Tankstelle und mögliche Partnerschaften sind wichtige Entscheidungskriterien beim Aufbau der Infrastruktur.

CHECKLISTE

SIE PLANEN EINE H_2-TANKSTELLE – EINE CHECKLISTE

Um eine H_2-Tankstelle installieren und betreiben zu können, sollten Sie sich bereits im Vorfeld mit nachstehenden Fragen und Anforderungen auseinandersetzen. Die damit gewonnenen Informationen haben entscheidenden Einfluss auf die Planung, die Auslegung, die Kosten, die Umsetzung sowie auf den Betrieb der Tankstelle.

Informationen für die Projektierung:

- ☐ **Welche Arten von Fahrzeugen sollen an der Tankstelle betankt werden?** Autos, Busse, Lieferfahrzeuge (Transporter), Gabelstapler, Sonderfahrzeuge? Verschiedene Fahrzeuge tanken unterschiedliche Mengen H_2 und können ihn sowohl flüssig oder gasförmig in unterschiedlichen Druckstufen nutzen.
- ☐ **Welche Mengen Wasserstoff müssen erzeugt bzw. bereitgestellt werden, d. h. wie viele Fahrzeuge werden wie oft betankt?** Pro Tag, pro Woche? Schätzen Sie möglichst genau ein, wie viele Fahrzeuge wie oft und in welchen Zeitabständen hintereinander betankt werden sollen.
- ☐ **Wann muss der Wasserstoff bereitgestellt werden?** Gibt es feste Betriebszeiten für die Tankstelle? Muss der Wasserstoff nur zu bestimmten Tageszeiten zur Verfügung stehen, z. B. morgens oder abends, bevor die Fahrzeuge in Betrieb gehen oder gleichmäßig verteilt über den Tag?
- ☐ **Wie muss der Wasserstoff an der Zapfsäule bereitgestellt werden?** Flüssig oder gasförmig, bei welchem Druck: 200, 350 oder 700 bar?
- ☐ **Welche Kunden nutzen den H_2 an der geplanten Tankstelle?** Wird es eine öffentlich zugängliche Tankstelle sein, an der alle tanken können, oder haben nur ausgesuchte Nutzer mit Genehmigung Zugriff?
- ☐ **Wo steht die Tankstelle?** Wird die Tankstelle auf der „grünen Wiese", in einem Industriegebiet oder in der Stadt, z. B. einem Wohngebiet, stehen? Davon abhängig sind bauliche Anforderungen und Genehmigungen.
- ☐ **Flächenbedarf vor Ort verfügbar?** Welche Einheiten (Erzeugung, Speicherung, Abgabe) umfasst die Tankstelle und wie groß ist der Platzbedarf dafür?
- ☐ **Projektzeitraum des Tankstellenbetriebs?** Wird die Tankstelle für eine befristete oder unbefristete Nutzung ausgelegt?
- ☐ **Flächenbedarf vor Ort?** Welche Einheiten (Erzeugung, Speicherung, Abgabe) umfasst die Tankstelle und wie groß ist der Platzbedarf dafür?
- ☐ **Wer sind die Projektpartner und wie sind die Aufgaben untereinander verteilt?**
- ☐ **Projektzeitraum des Tankstellenbetriebs?** Wird die Tankstelle nur für ein befristetes Pilotprojekt benötigt, oder ist eine dauerhafte, zukünftig gar erweiterbare Installation gewünscht?
- ☐ **Welche Anträge und Genehmigungen für Bau und Betrieb werden benötigt?**
- ☐ **Welche Informationsstellen und Ansprechpartner gibt es?**
- ☐ **Wie kann die Tankstelle finanziert werden?** Gibt es Fördermöglichkeiten?

Informationen für den Betrieb:

- ☐ **Wer ist der Betreiber der Anlage?** Privat, Dienstleister oder Kommune?
- ☐ **Welcher Informations- und Schulungsbedarf ist für den Betreiber erforderlich?** Wer übernimmt die Schulung?
- ☐ **Wer ist Ansprechpartner, wenn Probleme im Betrieb auftauchen?**
- ☐ **Wer ist für die Wartung der Anlage nach Inbetriebnahme zuständig?**

Unterstützung bei der Planung und Realisierung einer H_2-Tankstelle finden Sie bei der H2BZ-Initiative Hessen[16].

16 Ansprechpartner siehe Kapitel 5.2.1 und im Anhang

5 WIRTSCHAFTLICHKEIT DER H2BZ-TECHNOLOGIE

Vor dem Hintergrund der aktuellen Klimadiskussion und dem weltweit steigenden Energiebedarf ist davon auszugehen, dass die Energiepreise weiter steigen werden. Diese Entwicklung wird auch dadurch begünstigt, dass fossile Energievorräte schrumpfen und ihre Förderung immer aufwändiger und teurer wird. Gleichzeitig muss erheblich in den Ausbau neuer Kraftwerke und in die Stromnetz-Infrastruktur investiert werden. Auf Wasserstoff als Energieträger und auf Brennstoffzellen als hocheffiziente Energiewandler liegen in Verbindung mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien dementsprechend große Hoffnungen und Erwartungen.

Technisch ist die H2BZ-Technologie heute durchaus marktreif, aber sie kann noch nicht zu wettbewerbsfähigen Preisen angeboten werden. Die derzeitige Marktvorbereitungsphase ist deshalb von den Anstrengungen gekennzeichnet, die Kostenziele für die verschiedenen H2BZ-Anwendungen zu erreichen. Ein weiterer Auf- und Ausbau der Infrastruktur sowie steigende Brennstoffzellen-Fahrzeugzahlen sind erforderlich, um schnellstmöglich Skaleneffekte zu erzielen und wirtschaftliche Fertigungsprozesse zu etablieren.

Für Unternehmen, die sich als Technologiepioniere sehen, und Städte, die eine nachhaltige Kommunalpolitik betreiben, ist das Engagement in H2BZ-Projekten eine Investitionen in die Zukunft, von der sie bereits heute auf vielfältige Art und Weise profitieren können. So stärken sie beispielsweise ihren Ruf als verantwortungsbewusste und zukunftsorientierte Akteure, die gleichzeitig die Weichen für profitables Wirtschaftswachstum stellen. Kommunen können sich darüber hinaus als Vorreiter im Bereich des Umweltschutzes durch eine nachhaltige Energieversorgung positionieren und damit die Ansiedelung von neuen Bürgern und Unternehmen fördern. Durch ein frühzeitiges Engagement entgeht man der Gefahr, von Vorsorgungs- und Verkehrsachsen abgehängt zu werden, wenn sich bereits neue Strukturen entwickelt haben.

5.1 H_2-KOSTENSTRUKTUREN

Zu den Kosten für eine H_2-Tankstelle zählen sowohl die Investitions- als auch die Betriebskosten. Die solide Bewertung dieser Kosten ist ein entscheidender Aspekt bei der Planung einer Wasserstoff-Tankstelle, denn die Kosten für Investitionen und für den gesamten Betrieb sind je nach Anlage sehr unterschiedlich.

Aktuell spielt der Verkaufspreis von H_2 an den wenigen öffentlichen Tankstellen im Vergleich zu ölbasierten Treibstoffen noch eine untergeordnete Rolle, da in den Pilot- und Demonstrationsprojekten die technische Machbarkeit und Alltagstauglichkeit im Vordergrund stehen. Ziel ist es, Wasserstoff als Kraftstoff zukünftig zu einem vergleichbaren Preis wie konventionelle Kraftstoffe anzubieten. Die dafür notwendigen Voraussetzungen werden durch das weitere gemeinsame Engagement von Unternehmen, Forschungseinrichtungen und der öffentlichen Hand im Rahmen von Projektpartnerschaften geschaffen. Industrie und Politik haben darüber hinaus ein großes strategisches Interesse, wettbewerbsfähige Preisstrukturen für den Energieträger Wasserstoff zu schaffen und zu gewährleisten.

Nach der aktuellen Studie[17] europäischer Unternehmen, Regierungs- und Nicht-Regierungsorganisationen werden die Kosten für Wasserstoff im Individualverkehr im Zeitraum 2010 bis 2015 noch relativ hoch sein, da die vorhandenen Tankstellen mangels Fahrzeugen nicht ausgelastet sind und nur sehr kleine Anlagen gebaut werden, um die Investitionskosten gering zu halten. Man befindet sich in diesem Zeitraum noch in der Marktvorbereitungsphase mit sehr geringen Skaleneffekten. Um die Betreiber von herkömmlichen Benzin- und Dieseltankstellen zu motivieren, Wasserstoff bereitzustellen, sollte laut dieser Studie der Wasserstoff beispielsweise nicht besteuert werden und Fördermittel für den Infrastrukturaufbau zur Verfügung gestellt werden.

17 Vgl. Ein Portfolio von Antriebssystemen für Europa: Eine faktenbasierte Analyse – Die Rolle von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen, Plug-in Hybridfahrzeugen und Brennstoffzellenfahrzeugen, November 2010

PRODUKTIONSKOSTEN VON H_2 NACH VERFAHREN[18]

Verfahren / Prozess		H_2-Erzeugungskosten	Kostenanteile Brennstoffkosten (Erdgas, Strom)
Erdgasreformierung	Große Anlagen 10.000–100.000 Nm^3/h Kleine Anlagen 50–100 Nm^3/h	1,20–5,50 €/kg H_2	bis zu 80 %
Elektrolyse		3,00–7,00 €/kg H_2, abhängig von Technologie (alkalisch, PEM), Betriebsweise (kontinuierlichvs. dynamisch), Energiequelle (Kraftwerk oder fluktuierende regenerative Quellen)	75–85 %, bei Annahme 0 ct/kWh (Ausfallenergie nutzen) kann der Wert auch deutlich unter 3,00 €/kg fallen.
Biomassereformierung		1,56–1,89 €/kg H_2	40 % (Biomasse)
Photobiologische H_2-Erzeugung		129,76–0,56 €/kg H_2 (Mittelwert 3,24)	Investitionskosten bis zu 92 %

Verschiedene Faktoren haben Einfluss auf die Produktionskosten. Dazu gehören insbesondere die Preise für Erdgas und Strom, die Berücksichtigung von Einspeisevergütungen und CO_2-Zertifikaten, die technische Reife der Herstellungsverfahren und andere.

18 Daten aus der Broschüre Wasserstoff – Schlüssel zu weltweit nachhaltiger Energiewirtschaft, herausgegeben von EnergieRegion.NRW und eigene Recherche.

Bis 2020 könnte unbesteuerter Wasserstoff dann wettbewerbsfähig zu (besteuertem) Benzin werden. Ab 2020 werden die Wasserstoff-Preise deutlich sinken, weil wesentlich mehr Brennstoffzellen-Fahrzeuge eingesetzt und große Tankstellen mit mehreren Zapfsäulen und einer hohen Auslastung aufgebaut werden. Die Ausgaben für den Aufbau eines flächendeckenden H_2-Tankstellennetzes für ein Land wie Deutschland werden in der Studie mit rund drei Milliarden Euro beziffert.

5.2 UNTERSTÜTZUNGSMÖGLICHKEITEN BEIM AUFBAU VON H_2-TANKSTELLEN

Um die Kommerzialisierung der H2BZ-Technologie voranzutreiben, wurden auf nationaler und europäischer Ebene große Förderprogramme und -initiativen auf den Weg gebracht. In vielen Bundesländern, auch in Hessen, stellt die öffentliche Hand Beihilfen in Form von Fördermitteln und Beratungsleistungen zur Verfügung, um die heimische Wirtschaft und die Forschungseinrichtungen bei der Entwicklung der Zukunftstechnologie zu unterstützen.

5.2.1 IN HESSEN

H2BZ-Initiative Hessen e.V.

Überzeugt von den Potenzialen der Technologie und aus Gründen des Klimaschutzes haben sich im Jahr 2002 hessische Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Hochschulen in der Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Initiative Hessen e.V. (H2BZ-Initiative Hessen) zusammengeschlossen.

Die Aufgabe der Initiative ist es, den Entwicklungsbedarf für H2BZ-Technologien zu identifizieren und zu benennen, mit dem Ziel, daraus partnerschaftliche Entwicklungs- und Pilotprojekte ins Leben zu rufen. Die maßgeblichen Herausforderungen liegen in der wirtschaftlichen Realisierung und Durchsetzung der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie bis zu ihrer breiten Anwendung. Das Standort- und Technologiemarketing im Bereich H2BZ verfolgt die Vernetzung von Akteuren aus Wirtschaft und Wissenschaft und die Begleitung auf dem Weg in den Markt. Darüber hinaus werden wichtige Informationen über Möglichkeiten der Projektförderung und Kontakte zu entsprechenden Förderstellen bereitgestellt. Auch um Projektskizzen anzufertigen und Förderanträge zu begleiten, steht die H2BZ-Initiative zur Verfügung. Weitere Ziele sind die Wissensverbreitung in Lehre und Ausbildung sowie die Darstellung der Technologien in der Öffentlichkeit.

Mit ihren Aktivitäten leistet die Initiative einen wichtigen Beitrag zur Stärkung des Wirtschafts- und Wissenschaftsstandorts Hessen und wird dabei in enger Zusammenarbeit von der landeseigenen Wirtschaftsförderungsgesellschaft HA Hessen Agentur GmbH unterstützt.

Weitere Informationen, Kontakt und Ansprechpartner:

H2BZ Initiative Hessen

Geschäftsstelle H2BZ-Initiative Hessen e.V.
HA Hessen Agentur GmbH
Konradinerallee 9
65189 Wiesbaden
www.H2BZ-Hessen.de

Ansprechpartnerin:
Alina Stahlschmidt
T 0611 95017-8959
alina.stahlschmidt@hessen-agentur.de

Beratung und Unterstützung bei der Initiierung von Projekten

Seit 2010 unterstützt das Hessische Ministerium für Umwelt und Energie die Aktivitäten zur Anbahnung von Projekten im Bereich Wasserstoff und Brennstoffzelle über die landeseigene Wirtschaftsförderungsgesellschaft HA Hessen Agentur GmbH. Im Auftrag der Hessen Agentur berät das Consultingunternehmen flow-advice Firmen und Organisationen aus den Bereichen Politik, Wirtschaft und Wissenschaft – vornehmlich auf dem Gebiet und im Umfeld erneuerbarer Energien. Somit steht hessischen Unternehmen ein Partner zur Seite, der unabhängig hilft, Projektoptionen zu analysieren, Zusammenhänge und mögliche Folgen zu bewerten und geplante Aktivitäten konsequent an den Projektzielen auszurichten. Langjährige Branchenkenntnis und die intensive Vernetzung mit Industrie, Forschung und Politik ermöglichen es, Projektkonsortien zielgerichtet zusammenzuführen und Konzepte für zukunftsweisende Entwicklungs- und Demonstrationsprojekte zu erarbeiten.

Weitere Informationen, Kontakt und Ansprechpartner:

flow-advice
coached innovations

flow-advice e.K.
Büro Wiesbaden
c/o HA Hessen Agentur GmbH
Konradinerallee 9
65189 Wiesbaden

Ansprechpartnerin:
Anna-Kristin Kippels
T 0611 450208-77
F 0611 450208-99
anna-kristin.kippels@flow-advice.de

www.flow-advice.de

5.2.2 IM BUND

NOW GmbH Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie

NIP Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie

Im Februar 2008 wurde in Deutschland die NOW GmbH (Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie) gegründet. Ihr Auftrag ist die Steuerung und Koordinierung des NIP (Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie).

Das NIP steht im Kern einer strategischen Allianz aus Bundesregierung (BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung, BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit), Industrie und Wissenschaft, die gemeinsam 1,4 Milliarden Euro bereitstellen – je zur Hälfte von Bund und Industrie –, um die führende Position Deutschlands bei der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie auszubauen und die genannten Technologien auf den Markt vorzubereiten.

Das NIP läuft bis 2016 und fördert neben Forschungs- und Entwicklungsarbeiten insbesondere umfangreiche Demonstrationsprojekte in den Bereichen:

- Verkehr und Wasserstoffinfrastruktur (54 % der NIP-Mittel)
- Stationäre Energieversorgung (36 % der NIP-Mittel)
- Spezielle Märkte, zum Beispiel Notstromversorgung, Lagertechnikfahrzeuge, etc. (10 % der NIP-Mittel)

Weitere Informationen zu NIP und NOW, die auch für die Umsetzung des Programms „Modellregionen Elektromobilität" verantwortlich ist, sind verfügbar unter **www.now-gmbh.de**.

Mehr Informationen, Kontakt und Ansprechpartner:

NOW
Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie

Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
Fasanenstraße 5
10623 Berlin
T 030 3116116-00
F 030 3116116-99
www.now-gmbh.de

Infrastruktur:
Thorsten Herbert
T 030 3116116-18
thorsten.herbert@now-gmbh.de

5.2.3 IN DER EU

Fuel Cell & Hydrogen Joint Undertaking: FCH-JU

Die Europäische Union und die europäische Industrie haben vereinbart, Wasserstoff und Brennstoffzellen zu den strategischen Energietechnologien der Zukunft zu machen. Ende 2008 wurde unter Beteiligung der EU-Kommission, der europäischen Industrie und der europäischen Forschungsgemeinschaft die gemeinsame Technologieinitiative FCH-JU für den Bereich Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie ins Leben gerufen. Die als öffentlich-private Partnerschaft angelegte Initiative läuft 10 Jahre (bis 2017) und stellt für die Entwicklung der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie innerhalb des 7. Forschungsrahmenprogramms insgesamt eine Milliarde Euro zur Verfügung. Das Gesamtbudget wird mehrheitlich von Kommission und Industrie getragen (jeweils 470 Mio. Euro) und zu einem geringeren Teil (60 Mio. Euro) von der Forschungsgemeinschaft. Ziel ist es, Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien zwischen 2010 und 2020 – je nach Anwendungsgebiet – zum Großserieneinsatz zu bringen. Hierfür werden Projekte in den Bereichen Forschung, Entwicklung und Demonstrationsvorhaben gefördert, mit den Schwerpunkten auf:

- Brennstoffzellenfahrzeugen und Wasserstoffinfrastruktur
- Nachhaltiger Wasserstoffproduktion und -versorgung
- Brennstoffzellen für Strom- und Wärmeerzeugung
- Anwendungen für spezielle Märkte (auch frühe Märkte)

Weitere Informationen sind verfügbar unter **www.fchindustry-jti.eu**

New Energy World IG
fuel cells & hydrogen for sustainability

6 WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN

6.1 KONTAKTADRESSEN UND ANSPRECHPARTNER IN HESSEN

Geschäftsstelle H2BZ-Initiative Hessen e.V.
HA Hessen Agentur GmbH
Wasserstoff- und
Brennstoffzellentechnologie,
Elektromobilität
Konradinerallee 9
65189 Wiesbaden
www.H2BZ-Hessen.de
www.hessen-agentur.de

Ansprechpartnerin:
Alina Stahlschmidt
T 0611 95017-8959
F 0611 95017-58959
alina.stahlschmidt@hessen-agentur.de

flow-advice e.K.

Büro Wiesbaden
c/o HA Hessen Agentur GmbH
Konradinerallee 9
65189 Wiesbaden

Ansprechpartnerin:
Anna-Kristin Kippels
T 0611 450208-77
F 0611 450208-99
anna-kristin.kippels@flow-advice.de

Büro München
Josef-Retzer-Straße 20a
81241 München

www.flow-advice.de

UNTERNEHMEN[19]:

Automobilhersteller:

Adam Opel AG
Bahnhofsplatz, 65423 Rüsselsheim am Main
www.opel.de

Honda R&D Europe (Deutschland) GmbH
Carl-Legien-Straße 30, 63073 Offenbach
www.world.honda.com

Komponentenhersteller / Zulieferer:

GHR Hochdruck-Reduziertechnik GmbH
Siemensstraße 2-4, 61239 Ober-Mörlen
www.ghr-vatec.de

Wasserstofflieferant / Betankungstechnologie:

Linde AG
Geschäftsbereich Linde Gas
Kostheimer Landstraße 25
55246 Mainz-Kostheim
www.linde-gas.de

Air Liquide Forschungs- und Entwicklung GmbH
Gwinnerstraße 27-33
60388 Frankfurt am Main
www.airliquide.de

Tankstellenbetreiber / Wasserstofferzeuger:

Infraserv GmbH & Co. Höchst KG
Industriepark Höchst
65926 Frankfurt am Main
www.infraserv.com
www.zeroregio.com

Hochschulen / Forschungseinrichtungen:

Fraunhofer IWES
Königstor 59, 34119 Kassel
www.iwes.fraunhofer.de

Hochschule RheinMain
Am Brückweg 26, 65428 Rüsselsheim
www.wasserstofflabor.de

19 Ansprechpartner und weitere Unternehmen finden Sie im Kompetenzatlas Wasserstoff und Brennstoffzellen Hessen, den Sie unter www.H2BZ-Hessen.de herunterladen können.

6.2 KONTAKTADRESSEN UND ANSPRECHPARTNER BUNDESWEIT

DWV
Deutscher Wasserstoff und
Brennstoffzellen-Verband e.V.
Tietzenweg 85/87, 12203 Berlin
www.dwv-info.de

LBST
Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH
Daimlerstraße 15
85521 München-Ottobrunn
www.lbst.de; www.hyweb.de

Linde AG
Linde Gas Headquarters
Seitnerstraße 70
82049 Pullach
www.linde.com/hydrogen

TÜV SÜD Industrie Service GmbH
Westendstraße 199
80686 München
www.tuev-sued.de
www.hyweb.de

6.3 ERGÄNZENDE PUBLIKATIONEN

Publikation: **Kompetenzatlas Wasserstoff und Brennstoffzellen Hessen**
Herausgegeben von: Hessen Agentur im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMULEV), in Kooperation mit der H2BZ-Initiative Hessen

Broschüre: **Wasserstoff und Brennstoffzellen**
Herausgegeben von: Hessen Agentur im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMULEV), in Kooperation mit der H2BZ-Initiative Hessen

Broschüre: **Flurförderzeuge mit Brennstoffzellen-Technologie**
Herausgegeben von: Hessen Agentur im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMULEV), in Kooperation mit der H2BZ-Initiative Hessen

Broschüre: **Wasserstoff – Schlüssel zur weltweit nachhaltigen Energiewirtschaft**
Herausgegeben von: EnergieRegion.NRW

Broschüre: **Wasserstoff – Der neue Energieträger**
Herausgegeben von: Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellenverband (DWV)

Broschüre: **Woher kommt die Energie für die Wasserstofferzeugung?**
Herausgegeben von: Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellenverband (DWV)

Broschüre: **Wasserstoff und Brennstoffzellen – Starke Partner erneuerbarer Energiesysteme**
Herausgegeben von: Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellenverband (DWV)

Broschüre: **DWV Wasserstoff-Sicherheits-Kompendium**; Herausgegeben von: Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellenverband (DWV)

Broschüre: **Wasserstoff und Brennstoffzellen-technologie**; Herausgegeben von: Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE

Broschüre: **Eine Vision wird Wirklichkeit**
Herausgegeben von: Linde AG

Publikation: **Ein Portfolio von Antriebssystemen für Europa:** Eine faktenbasierte Analyse – Die Rolle von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen, Plug-in Hybridfahrzeugen und Brennstoffzellen-fahrzeugen, November 2010
Herausgegeben von: McKinsey & Company

Studie: **Sichere Wasserstoffinfrastruktur**
Herausgegeben von: Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW)

Studie: **Stand und Entwicklungspotenzial der Wasserelektrolyse zur Herstellung von Wasserstoff aus regenerativen Energien**
Herausgegeben von: Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW)

7 AN HESSEN FÜHRT AUCH IN SACHEN H2BZ-TECHNOLOGIE KEIN WEG VORBEI

Hessen ist Deutschlands führender Finanz- und Bankenstandort. Die Europäische Zentralbank und die Deutsche Bundesbank haben ihren Sitz in Frankfurt ebenso wie wichtige Industrieverbände der Branchen Chemie, Elektrotechnik sowie des Maschinen- und Anlagenbaus. Die Logistik zählt zu den Zukunftsbranchen des Landes. Im geografischen und verkehrstechnischen Herzen Europas haben zahlreiche ausländische Unternehmen ihre Niederlassung, der Frankfurter Flughafen ist eine der wichtigsten internationalen Drehschreiben im Flugverkehr.

Dem Thema Energie und Energieversorgung kommt in der hessischen Landesregierung eine wichtige Rolle zu. Hessen ist bestrebt, den landesweiten Energiebedarf zu senken und die Energieeffizienz zu erhöhen sowie den Anteil der erneuerbaren Energien bis zum Jahre 2050 auf 100 Prozent auszubauen. Unter den Hightech-Regionen in Europa gehört Hessen zur Spitze. Die hessische Landesregierung fördert den Technologietransfer zwischen Hochschulen und Wirtschaft und konzentriert sich innerhalb der Technologieförderung auf Zukunftstechnologiefelder wie beispielsweise die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (H2BZ).

Das Land bietet aufgrund seiner Industriestruktur hervorragende Voraussetzungen für die Entwicklung und Vermarktung der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie. Gemessen am Umsatz sind die fünf wichtigsten Industriebranchen in Hessen Chemie/Pharma, Kfz-Industrie, Elektrotechnik, Maschinen- und Anlagenbau sowie Metallerzeugung und -verarbeitung.

Diese fünf Branchen sind die entscheidenden Treiber für die Entwicklung und Herstellung von Brennstoffzellen-Produkten und -Dienstleistungen. Hessen ist sowohl Fertigungsregion für diese Industrien als auch Forschungs- und Entwicklungsstandort.

Das Land Hessen unterstützt seit vielen Jahren die Entwicklungen und Aktivitäten im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie. Im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz ist die landeseigene Wirtschaftsförderungsgesellschaft HA Hessen Agentur GmbH Projektträger dieser Fördermaßnahmen. Darüber hinaus haben sich Vertreter aus der hessischen Industrie, der Wissenschaft und Gesellschaft in der H2BZ-Initiative zusammengeschlossen, um die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie in Hessen voranzubringen und den Wirtschafts- und Wissenschaftsstandort Hessen zu stärken.

8 ANHANG

8.1 DIE 10 HÄUFIGSTEN FRAGEN

1 IST WASSERSTOFF SICHER?

Ja. Wasserstoff ist ein Energieträger und deshalb sind im Umgang – wie bei jedem anderen Kraft-, Brenn- und Treibstoff auch – bestimmte Regeln zu beachten. Da H_2 leichter als Luft ist, steigt er immer nach oben. Wird Wasserstoff im Innenbereich genutzt, ist für eine gute Be- und Entlüftung zu sorgen. Darüber hinaus werden in allen H_2-Anwendungen Sensoren eingesetzt, die die Konzentration des Wasserstoffs überwachen. Alle Produkte, die Wasserstoff nutzen, sind nach den geltenden Normen geprüft und zertifiziert (siehe Kapitel 3.4).

2 SIND DIE WASSERSTOFFVORRÄTE BEGRENZT?

Nein. Der große Vorteil von Wasserstoff ist, dass er in chemischen Verbindungen wie Wasser, Kohlenwasserstoffen und anderen organischen Verbindungen überall vorkommt. Aus diesen chemischen Verbindungen kann er mittels einer Vielzahl von Primärenergien gewonnen werden. Ziel ist es, Wasserstoff zukünftig ausschließlich mit Hilfe erneuerbarer Energien herzustellen.

3 WAS HAT H_2 MIT ERNEUERBARER ENERGIE ZU TUN?

Erneuerbare Energien fallen fluktuierend an. Daher ist es wichtig, die überschüssige Energie an sonnenreichen und windigen Tagen zu speichern. Wasserstoff wird dabei aufgrund seiner großen gravimetrischen Energiedichte als wichtiger Energiespeicher gesehen. Auch, um die konventionellen Kraft- und Brennstoffe, die auf fossilen Energiequellen basieren, nachhaltig zu ersetzen. Für die Herstellung von H_2 bedarf es, wie bei Strom auch, einer Energiequelle (Primärenergie). Diese Primärenergie für die Erzeugung des H_2 soll zukünftig von den erneuerbaren Energien wie Wind, Sonne, Wasser oder Biomasse kommen, da die fossilen Primärenergien Öl, Gas und Kohle klimaschädliches CO_2 produzieren, nur begrenzt vorhanden sind und immer teurer werden (siehe Kapitel 1.1).

4 WIE UMWELT- UND KLIMAFREUNDLICH IST DIE HERSTELLUNG VON WASSERSTOFF?

Da H_2 keine Energiequelle sondern ein Energieträger ist, muss er mit Hilfe von fossilen oder erneuerbaren Energieträgern erzeugt werden. Weil die fossilen Energien begrenzt sind und ihre Nutzung CO_2 erzeugt, sollten sie nur für eine kurze Übergangszeit bei der Markteinführung für die Herstellung von H_2 genutzt werden. Damit die Wasserstofferzeugung von der Herstellung bis zur Verwendung so klimafreundlich wie möglich erfolgen kann, ist der Einsatz von erneuerbaren Energien unabdingbar.

5 WIE UNTERSCHEIDET SICH DAS TANKEN VON H_2 VOM TANKEN KONVENTIONELLER KRAFTSTOFFE?

Für den Autofahrer wird sich die H_2-Tankstelle kaum von einer Tankstelle unterscheiden, wie er sie heute kennt. In den meisten Fällen wird die Wasserstoff-Zapfsäule neben den Zapfsäulen für Diesel, Benzin oder Erdgas in konventionelle Tank- und Servicestationen integriert sein. Auch der Tankvorgang selbst ist für den Nutzer sowohl in Ausführung als auch hinsichtlich der Betankungszeit dem Tanken mit Erdgas sehr ähnlich (siehe Kapitel 4.1).

6 IN WELCHER FORM KANN WASSERSTOFF AN DER TANKSTELLE GETANKT WERDEN?

Unabhängig von der Art der Betankung (Speicherung im Fahrzeug) kann die Lagerung und Abgabe des Wasserstoffs an der Tankstelle flüssig oder gasförmig erfolgen. Beim Tanken von gasförmigem Wasserstoff stehen darüber hinaus unterschiedliche Möglichkeiten für das Druckniveau zur Verfügung. Sie reichen von 200 über 350 bis zu 700 bar (siehe Kapitel 4.1).

7 AB WANN IST WASSERSTOFF AN NORMALEN TANKSTELLEN VERFÜGBAR?

Wasserstoff ist an einigen Tankstellen in Deutschland bereits heute verfügbar. Mit steigender Anzahl an Brennstoffzellen-Fahrzeugen auf der Straße wird in den nächsten Jahren auch das Tankstellennetz ausgebaut. Fahrzeughersteller und Energieversorger haben sich zum Ziel gesetzt, ein ausreichend großes Versorgungsnetz anbieten zu können, sobald Brennstoffzellen-Fahrzeuge als Serienprodukt für den Endverbraucher zur Verfügung stehen.

8 WAS KOSTET EINE TANKFÜLLUNG WASSERSTOFF?

Heute kostet ein Kilogramm Wasserstoff an der Tankstelle etwa 9 Euro (mit 1 kg H_2 kann man rund 100 Kilometer weit fahren). Ziel ist es jedoch, den Preis für H_2 vergleichbar mit heutigen Kraftstoffkosten zu machen. Möglicherweise wird der absolute Preis für 1 kg H_2 höher sein als für einen Liter Benzin, dafür sind Brennstoffzellen-Fahrzeuge, die Wasserstoff als Kraftstoff nutzen, deutliche effizienter als Autos mit Verbrennungsmotor.

9 WARUM WIRD WASSERSTOFF MEISTENS IN VERBINDUNG MIT DER BRENNSTOFFZELLE GENANNT?

Die Zukunft der Energie ist von zwei Leitmotiven geprägt. Erstens soll die Energie immer effizienter genutzt werden und zweitens umweltfreundlich und in den erforderlichen Mengen erzeugt werden können. Brennstoffzellen als hocheffiziente Energiewandler können Wasserstoff in verschiedenen Anwendungen nutzen ohne Emissionen zu erzeugen. Sie sind damit auch der Verbrennung von H_2 in Verbrennungsmotoren überlegen. Auch die Erzeugung von H_2 bleibt emissionsfrei, wenn dafür erneuerbare Energien genutzt werden (siehe Kapitel 1.2).

10 WELCHE BEDEUTUNG HAT WASSERSTOFF FÜR DIE ENERGIE-ZUKUNFT?

Wasserstoff hat das Potenzial, neben Strom der wichtigste Energieträger der Zukunft zu werden. Er kann grundsätzlich aus allen Primärenergien hergestellt werden und anders als Strom auch langfristig gespeichert werden. Das ist eine wichtige Eigenschaft, die für die Einführung der erneuerbaren Energien zum Tragen kommt, da Wind und Sonne nicht konstant und bei Bedarf zur Verfügung stehen, sondern von der Wetterlage und Tageszeit abhängig sind. Aus Strom wird H_2 produziert, der gelagert und bei Bedarf entweder wieder als Strom unter Nutzung der entstehenden Abwärme ins Netz eingespeist oder als Kraftstoff im Verkehr genutzt werden kann (siehe Kapitel 1).

8.2 DATENBLATT UND UMRECHNUNGSTABELLEN

EINE ÜBERSICHT DER WICHTIGSTEN DATEN UND FAKTEN ÜBER WASSERSTOFF UND ANDERER KRAFTSTOFFE SOWIE UMRECHNUNGSTABELLEN ENERGIE UND LEISTUNG

						Wasserstoff			Diesel		Steinkohle	Methan (Erdgas)		Rohöl	
		J	kWh	cal	BTU	kg	Nm^3	l LH_2	kg	l	kg	kg	Nm^3	kg	Barrel
	J	1	2,778(-7)	0,2388	9,478(-4)	8,335(-9)	9,274(-8)	1,177(-7)	2,328(-8)	2,799(-8)	3,412(-8)	1,802(-8)	2,511(-8)	2,388(-8)	1,751(-10)
	kWh	3,6(6)	1	8,598(5)	3412	3,001(-2)	0,3339	0,4239	8,380(-2)	0,1008	0,1228	6,487(-2)	9,041(-2)	8,598(-2)	6,304(-4)
	cal	4,187	1,163(-6)	1	3,968(-3)	3,490(-8)	3,883(-7)	4,930(-7)	9,746(-8)	1,172(-7)	1,429(-7)	7,544(-8)	1,051(-7)	1(-7)	7,331(-10)
	BTU	1055	2,931(-4)	252	1	8,795(-6)	9,785(-5)	1,242(-4)	2,456(-5)	2,953(-5)	3,600(-5)	1,901(-5)	2,650(-5)	2,520(-5)	1,848(-7)
Wasserstoff	kg	1,200(8)	33,33	2,865(7)	1,137(5)	1	11,13	14,13	2,793	3,358	4,094	2,162	3,013	2,865	2,101(-2)
	Nm^3	1,078(7)	2,995	2,575(6)	1,022(4)	8,988(-2)	1	1,27	0,251	0,3018	0,3679	0,1943	0,2708	0,2575	1,888(-3)
	l LH_2	8,493(6)	2,359	2,028(6)	8049	7,079(-2)	0,7876	1	0,1977	0,2377	0,2898	0,153	0,2133	0,2028	1,487(-3)
Diesel	kg	4,296(7)	11,93	1,026(7)	4,072(4)	0,3581	3,984	5,058	1	1,202	1,466	0,7741	1,079	1,026	7,523(-3)
	l	3,573(7)	9,925	8,534(6)	3,386(4)	0,2978	3,314	4,207	0,8317	1	1,219	0,6438	0,8973	0,8534	6,257(-3)
Steinkohle	kg	2,931(7)	8,141	7(6)	2,778(4)	0,2443	2,718	3,451	0,6822	0,8203	1	0,5281	0,736	0,7	5,132(-3)
Methan (Erdgas)	kg	5,550(7)	15,42	1,326(7)	5,260(4)	0,4626	5,147	6,535	1,292	1,553	1,894	1	1,394	1,326	9,718(-3)
	Nm^3	3,982(7)	11,06	9,511(6)	3,774(4)	0,3319	3,693	4,689	0,9269	1,114	1,359	0,7175	1	0,9511	6,973(-3)
Rohöl	kg	4,187(7)	11,63	1(7)	3,968(4)	0,349	3,883	4,93	0,9746	1,172	1,429	0,7544	1,051	1	7,331(-3)
	Barrel	5,711(9)	1,586(3)	1,364(9)	5,413(6)	47,6	529,6	672,4	132,9	159,8	194,9	102,9	143,4	136,4	1

Energietabelle für die Umrechnung verschiedener Energieeinheiten und -äquivalente
Anmerkung: x(y) bedeutet $x \cdot 10^y$
Quelle: Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband e.V. (DWV), Berlin

	Pa	bar	atm	Torr	at	m WS	psi
				(mm Hg)	(kp/cm^2)		(lb/in^2)
Pa	1	1(-5)	9,86923(-6)	7,50062(-3)	1,01972(-5)	1,01972(-4)	1,45038(-4)
bar	1(5)	1	0,986923	750,062	1,01972	10,1972	14,5038
atm	1,01325(5)	1,01325	1	760	1,03323	10,3323	14,6959
Torr	133,322	1,33322(-3)	1,31579(-3)	1	1,35951(-3)	1,35951(-2)	1,93368(-2)
at	98066,5	0,980665	0,967841	735,559	1	10	14,2233
m WS	9806,65	9,81E-02	9,68E-02	73,5559	0,1	1	1,42233
psi	6894,76	6,89476(-2)	6,80460(-2)	51,7149	7,03070(-2)	0,70307	1

Drucktabelle für die Umrechnung verschiedener Druckeinheiten
Anmerkung: x(y) bedeutet $x \cdot 10^y$
Quelle: Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband e.V. (DWV), Berlin

		Helium	Wasserstoff	Stickstoff	Methan	Propan	Methanol	n-Heptan	Wasser	n-Dekan
		4He	H_2	N_2	CH_4	C_3H_8	CH_3OH	C_7H_{16}	H_2O	$C_{10}H_{22}$
Molmasse	g/mol	4,003	**2,016**	28,013	16,043	44,097	32,042	100,204	18,015	142,285
Heizwert	kJ/g	0	**120**	0	50	46,4	19,7	44,7	0	44,6
	Tripelpunkt Wasserstoff-Werte gelten für p-H_2									
Temperatur	K	-	**13,8**	63,1	90,7	85,5	175,5	182,6	273,2	243,5
Druck	mbar	-	**70,4**	125,3	117,2	0	0	0	6,1	0
Flüssigkeitsdichte	g/l	-	**77**	867,8	451,2	732,9	894,4	771,6	999,8	765,6
Gasdichte	g/l	-	**0,125**	0,675	0,251	0	0	0	0,005	0
	Siedepunkt (p = 1 atm) Wasserstoff-Werte gelten für p-H_2									
Temperatur	K	4,2	**20,3**	77,3	111,6	231,1	337,9	371,6	373,2	447,3
Flüssigkeitsdichte	g/l	125	**70,8**	808,6	422,5	580,7	749,6	614,6	958,1	603
Gasdichte	g/l	16,89	**1,338**	4,59	1,82	2,42	1,2	3,47	0,6	4,13
Viskosität Flüssigkeit	µPas	2,72	**11,9**	13,98	19,3	?	?	?	?	?
Verdampfungswärme	J/g	20,6	**445,5**	198,6	510,4	427,8	1100	317,7	2265,9	278,4
Verdampfungswärme	kJ/l	2,6	**31,5**	160,6	215,7	248,4	824,6	195,3	2171	167,9
Heizwert Flüssigkeit	MJ/l	0	**8,5**	0	21,1	26,9	14,8	27,5	0	26,9
Heizwert Gas	kJ/l	0	**160,5**	0	90,9	112,1	23,6	155,1	0	184,2
	Kritischer Punkt									
Temperatur	K	5,2	**33**	126,2	190,6	369,8	512,6	540,2	647,3	617,7
Druck	bar	2,3	**12,9**	34	46	42,4	81	27,4	220,6	21,1
Dichte	g/l	69,6	**31,4**	314	162,2	218,7	271,5	234,1	322	237,1
	Normalzustand (0 °C, 1 atm) kursive Werte gelten beim Dampfdruck									
Flüssigkeitsdichte	g/l	-	**-**	-	-	528,3	812,9	702,3	-	744,7
Gasdichte	g/l	0,178	**0,09**	1,25	0,718	2,011	*1,44*	*4,48*	*0,005*	*6,35*
Dampfdruck	mbar	-	**-**	-	-	4763	39,5	15,3	6,1	26
Gasviskosität	µPa s	19,7	**8,9**	17,7	10,9	8,3	-	-	-	-
Vol.-verh. Gas Norm./Flkt. Siedep.		700	**788**	647	589	289	-	-	-	-
Heizwert Flüssigkeit	MJ/l	-	**-**	-	-	24,5	16	31,4	-	33,2
Heizwert Gas	kJ/l	0	**10,8**	0	35,9	93,2	*28,4*	*200,3*	0	*283,2*
	Gemisch mit Luft									
Untere Explosionsgrenze	Vol-%	-	**4**	-	4,4	1,7	6	1,1	-	0,7
Untere Detonationsgrenze	Vol-%	-	**18,3**	-	6,3	2,2	?	?	?	?
stöchiometrisches Gemisch	Vol-%	-	**29,6**	-	9,5	4	12,3	1,9	-	1,3
Obere Detonationsgrenze	Vol-%	-	**59**	-	13,5	9,2	?	?	?	?
Obere Explosionsgrenze	Vol-%	-	**77**	-	17	10,9	50	6,7	-	5,4
Mindestzündenergie	mJ	-	**0,017**	-	0,29	0,24	0,14	0,24	-	?
Selbstentzündungstemperatur	K	-	**833**	-	868	743	728	488	-	478

Vergleichstabelle für physikalische und chemische Eigenschaften von Wasserstoff und anderen Stoffen (Gasen, Energieträgern). Bemerkung: Heptan und Dekan sind als Stoffe ausgewählt worden, die dem Benzin bzw. Heizöl in ihren Eigenschaften ähnlich sind.
Quelle: Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband e.V. (DWV), Berlin

IMPRESSUM

Band 1
der Schriftenreihe Wasserstoff und Brennstoffzellen

Wasserstoff-Tankstellen
Ein Leitfaden für Anwender und Entscheider

Autoren

Alexandra Huss
AKOMBE Markt- und Technologiekommunikation, Köln
www.akombe.de

Marcel Corneille
EMCEL GmbH, Köln
www.emcel.com

Redaktion

Daniela Jardot, Alina Stahlschmidt, Alexander Bracht
(HA Hessen Agentur GmbH)

Die Mitglieder des Vorstandes der
H2BZ-Initiative Hessen, insbesondere:
Anna-Kristin Kippels (flow-advice)
Stefan Grube (Linde AG)

Herausgeber

HA Hessen Agentur GmbH
Konradinerallee 9
65189 Wiesbaden
Telefon 0611 95017-8959
Telefax 0611 95017-58959
www.Hessen-Agentur.de
www.H2BZ-Hessen.de

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und die Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in der Veröffentlichung geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit der Meinung des Herausgebers übereinstimmen.

© Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUELV)
Mainzer Straße 80
65189 Wiesbaden
www.hmuelv.hessen.de

Vervielfältigung und Nachdruck – auch auszugsweise – nur nach vorheriger schriftlicher Genehmigung.

Titelfotos: Linde AG, Stefan Wildhirt (2)

Gestaltung: WerbeAtelier Theißen, Lohfelden

Lektorat: redaktionsbüro frantz, Göttingen

Druck: Druckerei ausDRUCK, Kassel

Dezember 2012, 3. leicht veränderte Auflage

HESSEN

Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

Mainzer Straße 80
65189 Wiesbaden

www.hmuelv.hessen.de

HESSEN **HessenAgentur**
HA Hessen Agentur GmbH

www.Hessen-Agentur.de

H2BZ Initiative Hessen

www.H2BZ-Hessen.de