



Flurförderzeuge mit Brennstoffzellen



An **Hessen** führt kein Weg vorbei.

Mit dieser Broschüre möchten wir Ihnen allgemein verständliche und praxisorientierte Informationen zum Thema Flurförderzeuge mit Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (H2BZ¹) an die Hand geben.

Neben einer allgemeinen Einführung in das Themenfeld Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie beleuchtet die Broschüre die Perspektiven im Anwendungsbereich der Flurförderzeuge. Leistungsmerkmale, Marktbedingungen, Sicherheitsaspekte sowie Wirtschaftlichkeit und Wettbewerbsfähigkeit der Technologie im Vergleich zu den etablierten Antrieben bilden den Kern der Broschüre. Ein Überblick über die H2BZ-Aktivitäten in Hessen, Informationen zu relevanten Kontaktdaten 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 H₂ 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 DEN EINSATZ DER H2BZ-TECHNOLOGIE	10
IM BEREICH DER LOGISTIK	
2.1 Flurförderzeuge mit H2BZ-Technologie	11
2.2 Unterschiedliche Marktbedingungen	15
2.3 Infrastruktur	20
2.4 Sicherheit	21
2.5 Normen und Vorschriften	22
3 WIRTSCHAFTLICHKEIT	24
3.1 Total Cost of Ownership (TCO)	24
3.2 Förderung	26
4 IMPULSE FÜR H2BZ-PROJEKTE	30
4.1 Strategisch denken und operativ planen	30
4.2 Über den Tellerrand blicken und Interessen bündeln	31
5 WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN	32
5.1 Kontaktadressen und Ansprechpartner in Hessen	32
5.2 Ergänzende Publikationen	34
6 AN HESSEN FÜHRT AUCH IN SACHEN H2BZ-TECHNOLOGIE KEIN WEG VORBEI	35
7 ANHANG	36
7.1 Die 10 häufigsten Fragen	36
7.2 Datenblatt und Umrechnungstabellen	38
IMPRESSUM	40



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

Sehr geehrte H2BZ-Interessierte,

die Zukunft können wir nicht voraussehen, aber zahlreiche Entwicklungen geben uns heute Aufschluss darüber, welche Themen in den nächsten Jahren eine wichtige Rolle spielen werden. Die Herausforderungen bei Klimawandel, Energieversorgung und Mobilität sind globale Treiber für eine nachhaltige Wirtschaft und Politik. Wasserstoff als Energieträger und Brennstoffzellen als hoch-effiziente Energiewandler werden in diesem Zusammenhang als Schlüsseltechnologien genannt.

Die nun vorliegende Broschüre, die sich mit der speziellen Anwendung der H2BZ-Technologie in Flurförderzeugen wie Gabelstaplern, Lagertechnikgeräten und Schleppern beschäftigt, liefert einen weiteren Informationsbaustein für alle, die sich mit den Möglichkeiten der Technologie befassen und auseinandersetzen wollen.

Zukunftsbranchen Logistik und Mobilität

Logistik und Mobilität spielen für Hessen eine wichtige Rolle. Die zentrale Lage sowohl in Deutschland als auch in Europa macht das Bundesland zu einer großen Drehscheibe. Das Wachstumspotenzial des Dienstleistungssektors Logistik und Mobilität führt zu neuen Investitionen und schafft zukunftsfähige Arbeitsplätze in unserem Land. Gepaart mit den Chancen, die die H2BZ-Technologie für die Logistik bietet, haben wir bereits Ende 2010 gemeinsam mit der Hessen Agentur sowie der hessischen H2BZ-Initiative einen Workshop über Flurförderzeuge mit Brennstoffzellen in Darmstadt ausgerichtet. Darüber hinaus unterstreichen die Beschlüsse des hessischen Energiegipfels im November 2011 unsere bisherigen Aktivitäten in Sachen Entwicklung und Kommerzialisierung hoch-effizienter Energieumwandlungstechnologien sowie zukunftsfähiger Energieträger wie Wasserstoff auf Basis erneuerbarer Energie und bestärken uns, unser bisheriges Engagement fortzuführen.

Herausforderung Green Logistics

Allerdings gilt es auch, Logistik und Mobilität im Interesse der Lebensqualität der Menschen in unseren urbanen Lebensräumen nachhaltig weiterzuentwickeln. Wie der gesamte Verkehrssektor sieht sich die Logistik mit den Herausforderungen steigender Energie- und Kraftstoffpreise und der erforderlichen Reduzierung von CO₂-Emissionen, Schadstoffen und Lärm konfrontiert. Unter der Überschrift Green Logistics oder Grüne Logistik hat sich die Branche des Themas Nachhaltigkeit angenommen und einen entscheidenden Wettbewerbsfaktor geschaffen.

Neben der Verlagerung der Güter und Waren auf umweltfreundliche Verkehrsträger wie Schiene und Wasserstraße sowie Touren- und Laderaumoptimierung, Transportkooperationen oder innovative Fahrzeugtechnik gilt es insbesondere, die vielfältigen Potenziale in den Bereichen Lager, Materialfluss und Organisation zu nutzen.

Flurförderzeuge mit H2BZ-Technologie

In Hessen sitzen Unternehmen und Forschungseinrichtungen, die europaweit zu den führenden Akteuren im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Technologie gehören. Nach vielen Jahren Forschungs- und Entwicklungsarbeit und ersten Pilotprojekten, die die Machbarkeit im Alltag erfolgreich aufgezeigt haben, müssen jetzt die Weichen für eine zügige Markteinführung von H2BZ-Produkten gestellt werden. Die Anwendung der H2BZ-Technologie in Flurförderzeugen bietet wesentliche Voraussetzungen für eine frühe Markteinführung. Diese frühen Märkte ebnen den Weg für die flächendeckende Einführung der Technologie in den Massenkäufen wie Brennstoffzellen-Systeme für Fahrzeuge oder stationäre Brennstoffzellen-Anlagen für die Energieversorgung von Gebäuden.

Es würde mich sehr freuen, wenn Ihnen unsere neue H2BZ-Broschüre weitere Ansätze für vielfältige Ideen liefert. Denn die Ideen von heute bilden die Basis für unseren Erfolg von morgen.

Ihre



Windpark-Anlage

Solar-Anlage

CO₂-armes Kraftwerk

H₂-Infrastruktur
Herstellung, Speicherung,
Verteilung

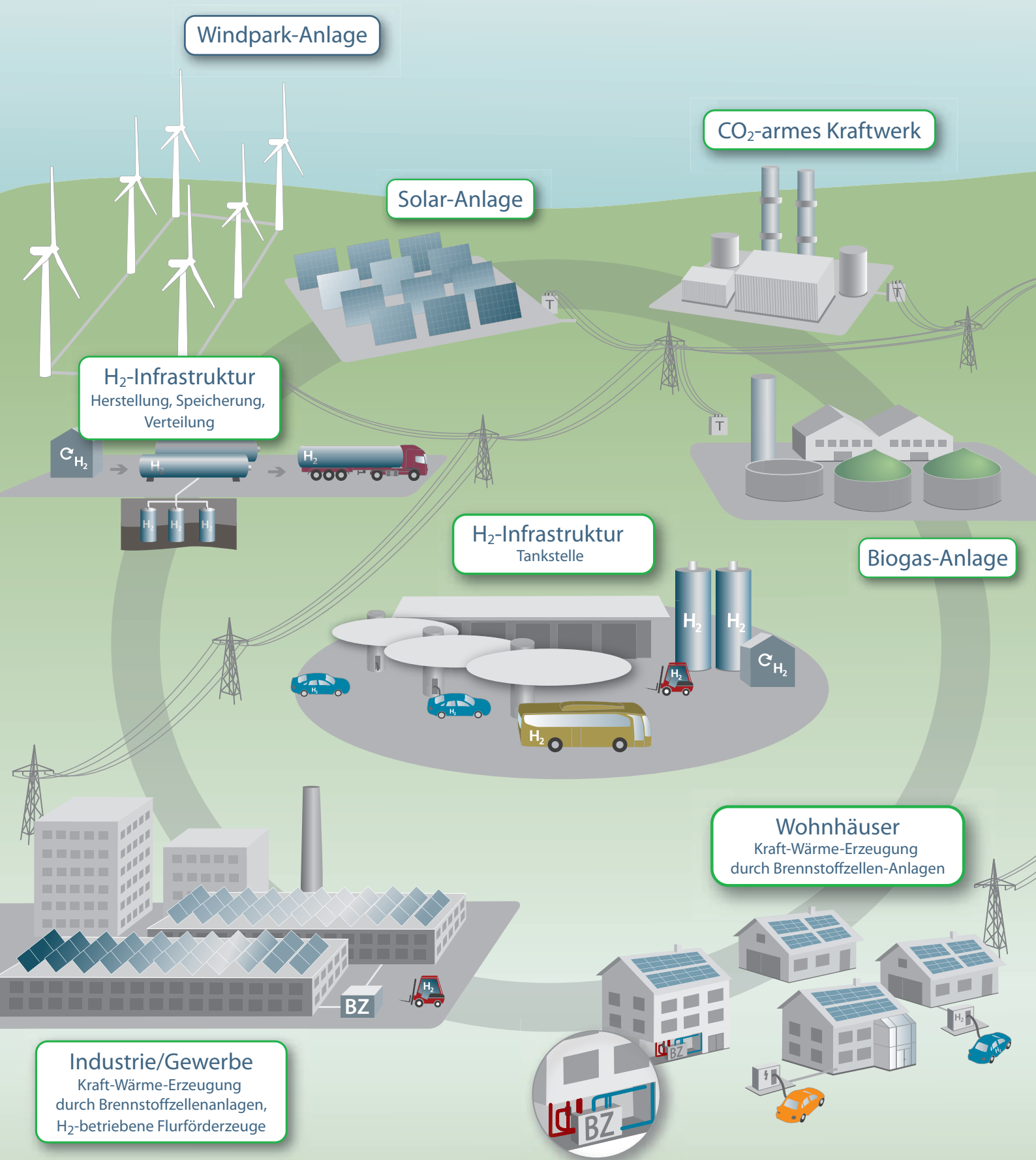
Biogas-Anlage

H₂-Infrastruktur
Tankstelle

Wohnhäuser
Kraft-Wärme-Erzeugung
durch Brennstoffzellen-Anlagen

Industrie/Gewerbe
Kraft-Wärme-Erzeugung
durch Brennstoffzellenanlagen,
H₂-betriebene Flurförderzeuge

-  Wasserstoff-Erzeugung durch
Elektrolyse oder Reformierung
-  Transformator
-  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 decken².

Diese Entwicklung, der auch in Hessen Rechnung getragen wird, verfolgt drei große Ziele: Zum einen soll der weltweite CO₂-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 Nachhaltigkeitsstrategie³ 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.

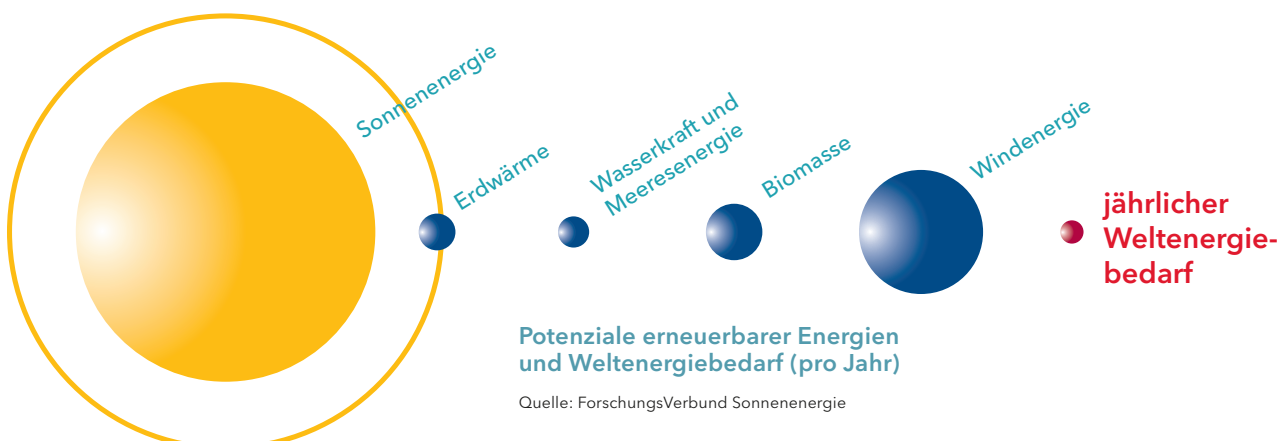
Es herrscht weitgehend Einigkeit darüber, dass die Einführung einer auf Wasserstoff und Brennstoffzellen basierenden Energiezukunft vor allem dann gelingen kann, wenn sie von einer breiten Mehrheit gewollt und akzeptiert wird. Wirtschaft, Forschung und Politik sind global vernetzt und engagieren sich 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 100 Prozent erhöht werden. Deutschland ist führend bei der Nutzung und Entwicklung erneuerbarer Energien. Eine entscheidende staatliche Maßnahme dafür war die Einführung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) und des CO₂-Zertifikatehandels.

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

³ siehe Website www.hessen-nachhaltig.de





© visidia - Fotolia.com



© vege - Fotolia.com



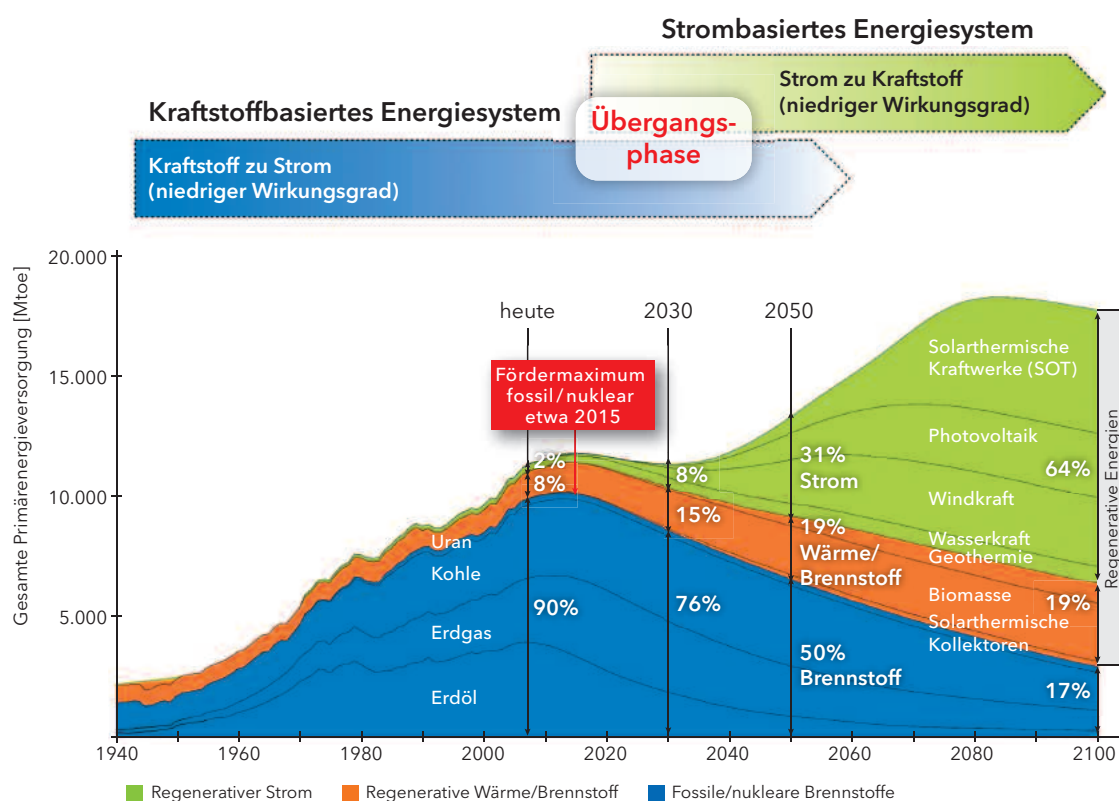
© Agentur für Erneuerbare Energien



© 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).





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 Hessen⁴. Download des Kompetenzatlas unter www.H2BZ-Hessen.de

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.

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

Brennstoffzellen als Energiewandler⁷

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 chemischen 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

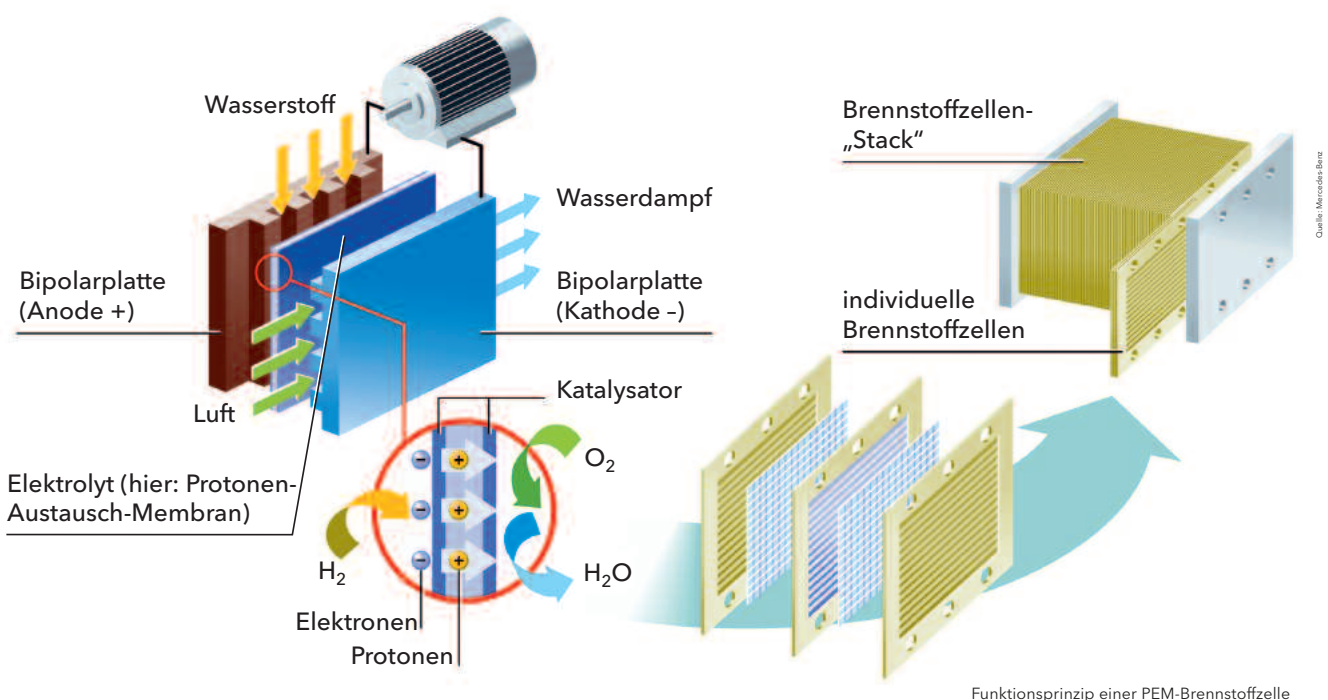
Wärme. Brennstoffzellen, die mit reinem Wasserstoff betrieben werden, verursachen lokal keinerlei Emissionen. Selbst beim Einsatz von Erdgas oder Methanol fallen wesentlich niedrigere CO₂-Emissionen pro Einheit Nutzenergie an als bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen.

Wasserstoff als Energieträger

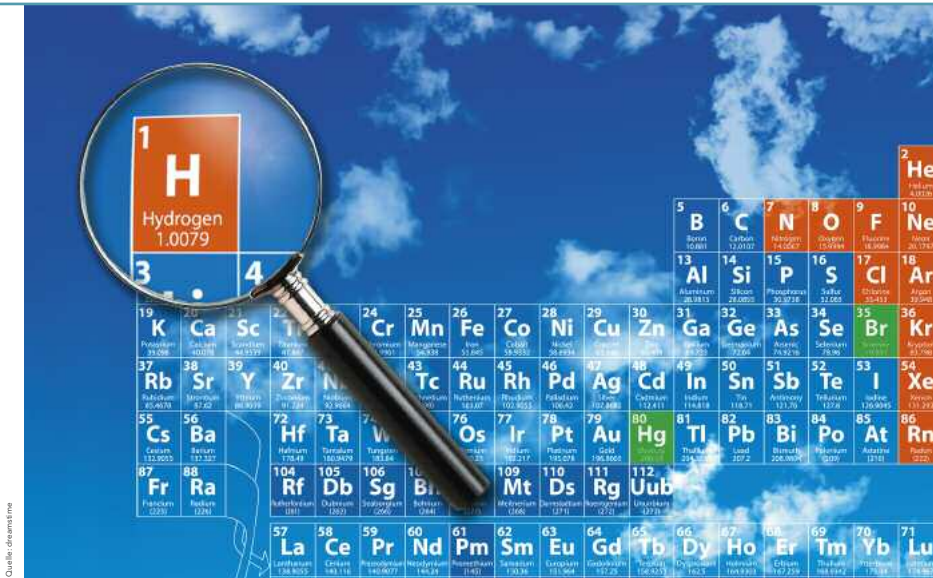
Wasserstoff (H₂) ist – wie Strom auch – ein Energieträger und keine Energiequelle. Auf der Erde liegt er nie in Reinform, sondern grundsätzlich in chemischen Verbindungen wie Wasser, Kohlenwasserstoffen und anderen organischen Verbindungen vor. Aus diesen chemischen Verbindungen kann er durch Energiezufuhr 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

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.



Funktionsprinzip einer PEM-Brennstoffzelle



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. Auch die direkte Nutzung des so erzeugten H_2 für die Anwendung in Brennstoffzellen ist denkbar.



Aufgrund der Globalisierung und der fortschreitenden Arbeitsteilung ist der Bedarf an Logistikdienstleistungen in den vergangenen Jahrzehnten weltweit kontinuierlich gestiegen. Trotz positiver wirtschaftlicher Aussichten steht die Logistikbranche vor großen Herausforderungen. Dazu gehören insbesondere steigende Energie- und Kraftstoffpreise sowie die Verschärfung der Umweltauflagen hinsichtlich CO₂-Emissionen, Schadstoffen und Lärm. Unter der Überschrift Green Logistics oder Grüne Logistik hat sich die Branche des Themas Nachhaltigkeit angenommen und damit einen zusätzlichen Wettbewerbsfaktor geschaffen, der immer wichtiger wird.

H2BZ-Anwendungen in der Logistik, insbesondere im Warenumsatz mit Flurförderzeugen, können diesen Wettbewerbsvorteil verstärken und der Branche eine saubere, effiziente und langfristig eine kostengünstige Alternative zu konventionellen Antriebstechnologien und fossilen Treibstoffen liefern.

Pionierarbeit in diesem Bereich haben in Deutschland der Wasserstoff-Produzent Linde zusammen mit dem Brennstoffzellen-Systemintegrator Proton Motor Fuel Cell sowie dem Flurförderzeug-Hersteller Still geleistet. Im Rahmen des Gemeinschaftsprojekts H2argemuc (Arbeitsgemeinschaft Münchner Flughafen) wurde Ende 2003 bereits ein Elektro-Stapler mit Brennstoffzellen-System am Münchner Flughafen vorgestellt.

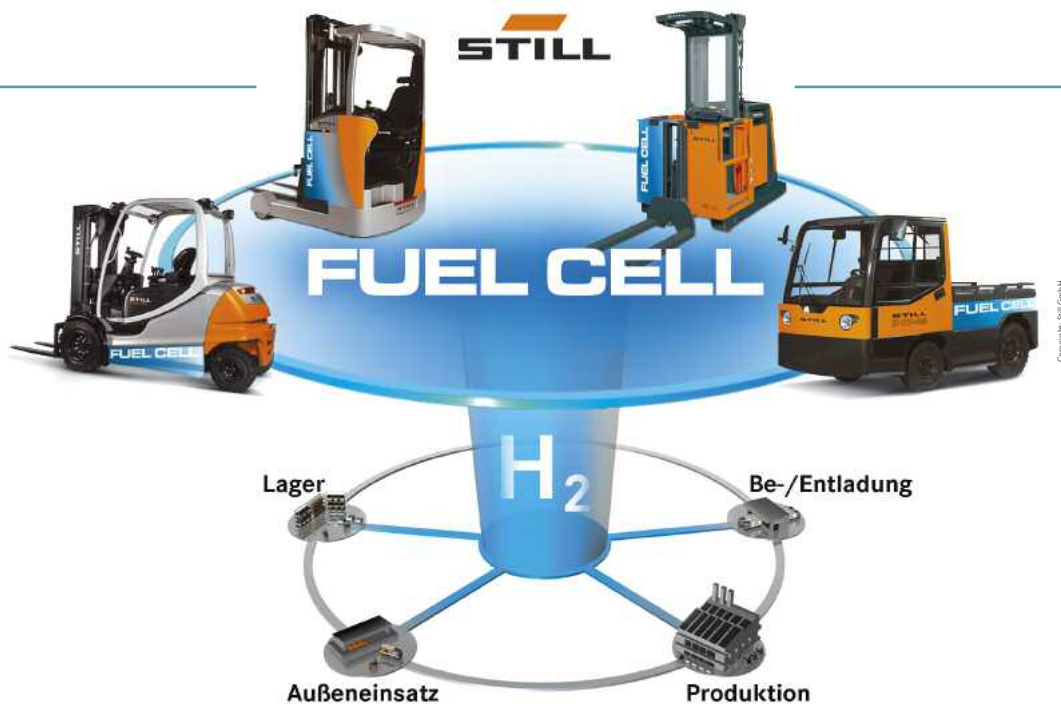
Der Einsatz der H2BZ-Technologie in Flurförderzeugen wird heute den speziellen Märkten der H2BZ-Technologie zugeordnet. Diese Märkte, zu denen auch die unterbrechungsfreie Strom- (USV) und Notstrom-Versorgung gehören, bilden neben den Märkten für mobile und stationäre Anwendungen ein wichtiges Segment bei der Kommerzialisierung von H2BZ-Produkten.

Green Logistics / Grüne Logistik

Unter Green Logistics werden alle Maßnahmen zusammengefasst, die sowohl den Energieverbrauch als auch die CO₂-Emissionen im Bereich des Gütertransports und Warenumsatzes reduzieren. Dazu gehören insbesondere Maßnahmen zur CO₂-Reduzierung im Transportbereich durch die Verlagerung auf umweltfreundliche Verkehrsträger wie Schiene und Wasserstraße, Touren- und Laderaumoptimierung, Transportkooperationen und innovative Fahrzeugtechnik. Es bieten sich für Logistikunternehmen aber auch vielfältige Optimierungspotenziale in den Bereichen Lager, Materialfluss und Organisation.

Spezielle Märkte H2BZ

Die im Zusammenhang mit der H2BZ-Technologie definierten speziellen Märkte haben den Vorteil, dass dort vor der breiten Einführung in Massenmärkten wie im Verkehr oder der Gebäudeenergieversorgung bereits Produkte zum Einsatz kommen können. Anders als diese Massenmärkte sind sie durch eine überschaubare Anzahl von Marktteilnehmern und Stückzahlen gekennzeichnet. Industrie und Politik gehen heute davon aus, dass eine erfolgreiche Kommerzialisierung in den speziellen Märkten positive Auswirkungen auf die Einführung von entsprechenden H2BZ-Produkten in Massenmärkte hat und ihre dortige Einführung beschleunigen kann.



2.1 FLURFÖRDERZEUGE MIT H2BZ-TECHNOLOGIE

Bevor eine Ware heute beim Endverbraucher landet, wird sie vielfach transportiert, umgesetzt und zwischengelagert. Dazu bedarf es unterschiedlicher Flurförderzeuge, die Güter an bestimmte Stellen anliefern, be- und entladen, einlagern oder kommissionieren. Flurförderfahrzeuge eignen sich ideal als Einsatzfeld für die H2BZ-Technologie, da Brennstoffzellen-Antriebe CO₂-Emissionen erheblich reduzieren (beim Einsatz von Methanol als Treibstoff) oder gänzlich vermeiden (beim Einsatz von Wasserstoff als Treibstoff), gleichzeitig aber können sie die hohen Anforderungen an Leistung, Betriebsdauer und Kosten erfüllen. Und das in vielen Fällen sogar besser als die heute etablierten Flurförderzeuge, da Betriebsabläufe optimiert und die Produktivität erhöht werden können.

Definition

Flurförderzeuge sind innerbetriebliche Fördermittel auf Rädern (gleislos) und frei lenkbar. Flurförderzeuge dienen zur Beförderung, zum Ziehen und Schieben von Lasten. Wenn sie mit Hubeinrichtungen ausgerüstet sind, können sie Lasten selbst aufnehmen und absetzen, heben, stapeln oder in Regale ein- und auslagern.

Europäischer Dachverband für Fördertechnik und Intralogistik (FEM)

Der europäische Dachverband für Fördertechnik und Intralogistik FEM (Fédération Européenne de la Manutention) wurde 1953 in Paris gegründet und repräsentiert heute 13 Mitgliedsländer der EU, die Schweiz und die Türkei. Deutschland ist über den VDMA im Fachverband Fördertechnik und Logistiksysteme vertreten. www.fem-eur.com und www.vdma.org

Klassifizierung Flurförderzeuge

Flurförderzeuge werden je nach Leistung, Antrieb und Bedienungsart in acht Fahrzeuggruppen unterteilt. Diese sind in der ISO 5053⁸ festgeschrieben. Im Alltag arbeitet die Branche allerdings nach der international anerkannten Klassifizierung der Industrial Truck Association (ITA) und des europäischen Dachverbands für Fördertechnik und Intralogistik (FEM).

Für den Einsatz der H2BZ-Technologie kommen grundsätzlich alle Klassen in Frage. Heute wird die Technologie vorwiegend in Gabelstaplern, Kommissioniergeräten und Schleppern integriert und bei Kunden eingesetzt.

Neben den mit Verbrennungsmotor angetriebenen Flurförderzeugen sind in Europa seit vielen Jahren erfolgreich Elektro-Stapler mit Batterie im Einsatz. Mit der Einführung der H2BZ-Technologie in Flurförderzeugen eröffnet sich die Möglichkeit, die Einschränkungen, die mit verbrennungsmotorischen, batteriebetriebenen oder hybriden (Kombination aus Verbrennungs- und Elektromotor) Geräten verbunden sind, deutlich zu verringern oder gar zu beseitigen.

⁸ Die deutsche Fassung kann in der VDI-Richtlinie 3586 nachgelesen werden.

Flurförderzeug-Klassifizierung nach FEM/ITA

Klasse 1 - Elektro-Gegengewichtsstapler

Klasse 2 - Fahrersitz-/standgeräte der Lagertechnik

(Schubstapler, Vertikalkommissionierer, Schmalganggeräte, Nieder- und Hochhubwagen)

Klasse 3 - Geh-Nieder- und -Hochhubwagen sowie

Horizontal(niederhub)kommissionierer und Geh-Schlepper

Klasse 4 - Verbrennungsmotor-Stapler mit Bandagereifen, alle Antriebsarten

Klasse 5 - Verbrennungsmotor-Stapler mit Luft- oder CSE-Reifen, alle Antriebsarten

Klasse 6 - Fahrersitz-Schlepper

Klasse 7 - Geländestapler

Klasse 8 - Manuell und semikraftbetriebene Hubwagen

Klasse 7 und 8 haben in Deutschland und Europa so gut wie keine Bedeutung.

BRENNSTOFFZELLEN-FLURFÖRDERZEUGE IM VERGLEICH ZU HERKÖMMLICHEN ANTRIEBEN

	Elektrisch: Brennstoffzelle	Elektrisch: Batterie	Verbrennungsmotor: Diesel / LPG
Einsatzfelder	Drinne, draußen, Kühlräume bis zu -20°C	Drinne, draußen, bedingt in Kühlräumen	Nur draußen
Kraftstoff	Wasserstoff, Methanol (MeOH)	Strom	Diesel / LPG
Emissionen	Bei H ₂ : lokal keine, nur Wasserdampf; bei MeOH: Wasserdampf + sehr geringe Mengen CO ₂ ; sehr leise im Betrieb	Lokal keine, sehr leise im Betrieb	Pro Liter Diesel 2,63 kg CO ₂ , Einsatzlärm
Tankzeit/Ladezeit	Wenige Minuten	Bis zu 8 h oder Batteriewechsel	Wenige Minuten

Merkmale von Brennstoffzellen-Flurförderzeugen

Geräte, die mit Diesel oder LPG (Treibgas) betrieben werden, können aufgrund ihrer Schadstoff-Emissionen nur draußen gefahren werden. Heutige Elektrostapler (mit Batterie), die auch im Inneren von Gebäuden eingesetzt werden dürfen, haben wiederum das Manko, dass die Batterien über mehrere Stunden an der Steckdose aufgeladen werden müssen. Das bedeutet, dass die Fahrzeuge während der Ladezeit nicht einsatzfähig sind oder entsprechende Ersatz-Batterien für den Tausch vorgehalten werden müssen. Dazu ist wiederum eine zusätzliche Fläche erforderlich.

Elektrostapler mit Brennstoffzellen-System werden dagegen in wenigen Minuten mit Wasserstoff oder Methanol betankt, so wie man es von Diesel- oder LPG-Staplern kennt. Gleichzeitig sind Brennstoffzellen-Flurförderzeuge im Handling den Batterie-Fahrzeugen sehr ähnlich. Sie lassen sich einfach und komfortabel bedienen, sind leise im Betrieb und verursachen bei H_2 als Treibstoff lokal keinerlei Emissionen, so dass sie ebenfalls in Gebäuden eingesetzt werden können. Die derzeit zum Einsatz kommenden Brennstoffzellen-Flurförderzeuge sind meist Schlepper oder geringfügig modifizierte Elektro-Stapler. Bei diesen Fahrzeugen wird die Batterie entfernt und stattdessen ein Brennstoffzellen-System inklusive Wasserstoff- oder Methanol-Tank eingebaut.

Mit zunehmender Verfügbarkeit des Wasserstoffs und weiteren Kostenreduzierungen beim Brennstoffzellen-System steigen die Chancen, dass Brennstoffzellen-Flurförderfahrzeuge wesentliche Marktanteile aus den beiden klassischen Antriebskonzepten Verbrennungsmotor und E-Antrieb mit Batterie für Flurförderzeuge erobern. Langfristig wird davon ausgegangen, dass der Brennstoffzellen-Elektro-Antrieb den Verbrennungsmotor weitestgehend ersetzen kann.

Methanol (MeOH) als Kraftstoff⁹

Methanol ist ein Alkohol und kann wie Benzin und Diesel als flüssiger Kraftstoff genutzt werden. Aufgrund seiner physikalischen und chemischen Eigenschaften (Kohlenwasserstoff) lässt er sich auch als Treibstoff in Direkt-Methanol-Brennstoffzellen nutzen. Methanol ist allerdings giftig, daher ist sein Einsatz als Treibstoff in Flurförderzeugen im Bereich der Lebensmittel- und Pharmaindustrie nur bedingt möglich.

⁹ Technische Informationen sowie Daten zur Sicherheit und Auswirkungen von Methanol auf die Gesundheit unter http://www.methanex.com/products/documents/TISH_german.pdf

Klasse-3-Fahrzeug mit Brennstoffzellen-System

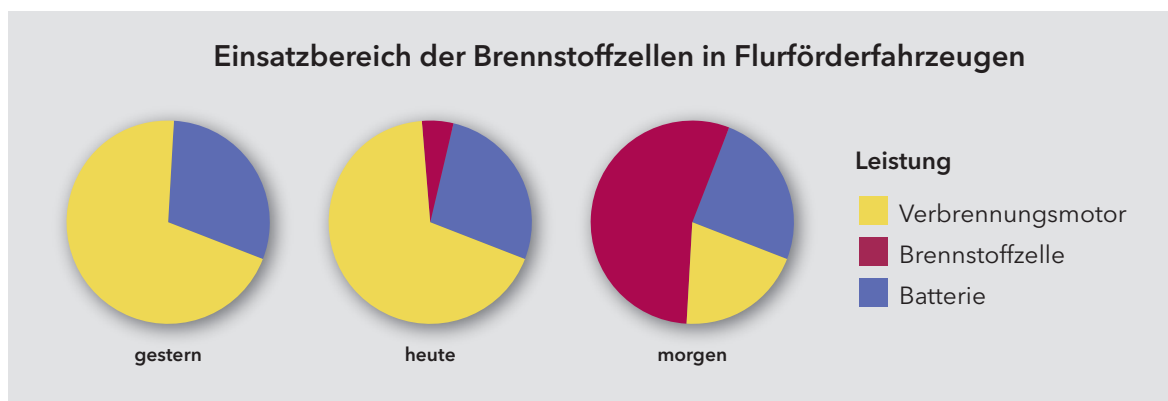


Leistung, Betriebs- und Lebensdauer

Unter Leistungsgesichtspunkten beim Heben und Transportieren sind Brennstoffzellen-Flurförderzeuge mit den konventionellen Geräten vergleichbar. In elektrischen Gegengewichts-Staplern wird das geringere Gewicht des Brennstoffzellen-Systems gegen-

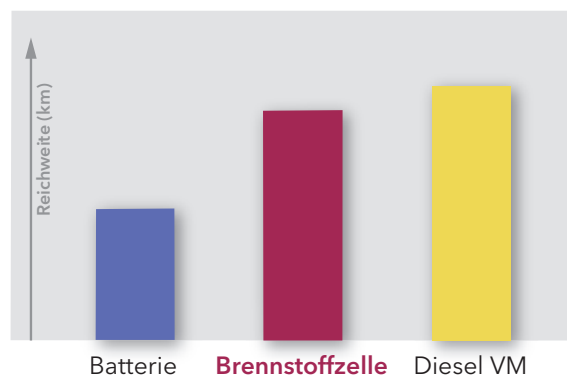
über Bleibatterien heute durch Zusatzgewichte im Fahrzeug ausgeglichen. Bei Schleppern und anderen Flurförderzeugen verringert das niedrigere Gewicht des Brennstoffzellen-Systems dagegen den Treibstoffverbrauch.

ENTWICKLUNG DER MARKTANTEILE GEGENÜBER ANTRIEBSLEISTUNG



Annahme: Mit sinkenden Kosten werden Brennstoffzellen-Fahrzeuge weitere Marktanteile von Fahrzeugen mit Batterie-elektrischem Antrieb und Verbrennungsmotor gewinnen.

REICHWEITE PRO TANKFÜLLUNG



Vergleich der verschiedenen Antriebstechnologien beim heutigen Stand der Entwicklungen

Um weitere Systemvorteile wie beispielsweise einen größeren Tank und damit verbunden eine höhere Reichweite gegenüber Batterie-Flurförderzeugen ausspielen zu können, dürften zukünftig spezielle Brennstoffzellen-Flurförderzeuge entwickelt werden. Die Entwickler gehen davon aus, dass sich die Lebensdauer von Brennstoffzellen-Systemen weiter verbessern wird und somit in Bereiche von konventionellen Antrieben vorstoßen. Gegenüber Batterien zeichnet sich bereits heute eine deutliche Verbesserung der Lebensdauer ab.

2.2 UNTERSCHIEDLICHE MARKTBEDINGUNGEN

Deutschland/Europa

In Deutschland und Europa werden Flurförderzeuge mit H2BZ-Technologie heute vor allem im Rahmen von Pilot- und Förderprojekten eingesetzt. Wie im automobilen Bereich ist der Nachweis der Machbarkeit und Alltagstauglichkeit längst erbracht. Dies gilt auch für das Aufzeigen der Vorteile für Betreiber und Umwelt. Allerdings hemmen die aktuell noch höheren Anschaffungskosten und die im Vergleich zu Diesel- und Treibgasgeräten noch geringere Lebensdauer derzeit den flächendeckenden Einsatz der H2BZ-Technologie in Flurförderzeugen.

Ein weiterer Grund für die Skepsis ist, dass die etablierten (Batterie-) Elektro-Stapler hierzulande ein sehr hohes technisches Niveau haben und die Nutzer sehr zurückhaltend auf den Einsatz neuer Antriebstechnologien reagieren. Der Einsatz des Brennstoffzellen-Elektro-Antriebs in Flurförderzeugen muss also weitere Vorteile bringen. Die entscheidende Verbesserung bei Brennstoffzellen-Staplern gegenüber Batterie-Fahrzeugen ist, dass sie in nur wenigen Minuten betankt werden und damit rund um die Uhr im Einsatz sein können. Mit dieser Technologie müssen nicht mehr Wechsel-Batterien in separaten Lagern mit einer entsprechenden Ladeinfrastruktur oder auch Ersatz-Stapler bereitgehalten werden. Darüber hinaus zeichnet sich ab, dass der Wartungsaufwand bei Brennstoffzellen-Geräten geringer ist. Beides führt zu deutlichen Kostensenkungen. Dazu kommen die Vorteile im Hinblick auf die Emissionen und den Wirkungsgrad.

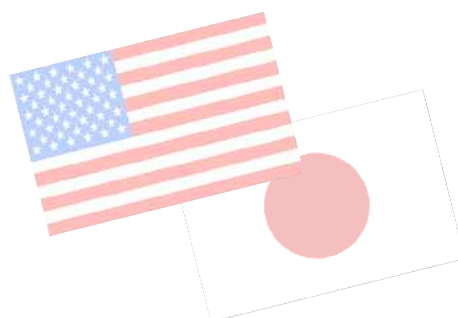
USA/Japan

Anders sieht die Situation in den USA (und Japan) aus, wo bisher weniger und deutlich ineffizientere Elektro-Geräte im Einsatz sind. Hier kann die H2BZ-Technologie ihre vielfältigen Vorteile gegenüber konventionellen Fahrzeugen in noch größerem Umfang ausspielen. Ein Batteriewechsel schlägt dort im Betrieb beispielsweise mit fast einer halben Stunde zu Buche, was bei einem weit verbreiteten 3-Schicht-Betrieb zu erheblichen Stillstandszeiten führt. Beim Einsatz in Kühllhäusern reagieren Bleibatterien wesentlich empfindlicher als Brennstoffzellen-Systeme, die heute problemlos bei Minustemperaturen betrieben werden können. Darüber hinaus ist die Reichweite mit einer Batterieladung¹⁰ sowie die Lebensdauer der Bleibatterien geringer im Vergleich zu Brennstoffzellen-Systemen.

Art und Umfang der Vorteile von Brennstoffzellen-Flurförderzeugen werden in den USA derzeit im Rahmen eines staatlichen Förderprogramms¹¹ untersucht. Davon profitieren sowohl die Hersteller als auch die Anwender (steuerliche Vergünstigungen). Erste Ergebnisse zeigen, dass Brennstoffzellen-Stapler bei vergleichbaren Stückzahlen sowohl im Hinblick auf Einsatzdauer als auch bezogen auf die gesamten Kosten heute schon gegenüber Elektro-Staplern mit Bleibatterien wettbewerbsfähig sein könnten. Inzwischen sind in den USA rund 1000 Brennstoffzellen-Stapler im Einsatz, mit steigender Tendenz.

¹⁰ Dass die Leistung batteriebetriebener Fahrzeuge gegen Ende der Batterieladung nachlässt, ist zu vernachlässigen, da Verbesserungen im Batteriemanagement und bei der Fahrzeugsteuerung ein Absinken der Leistung verhindern. Dies geht allerdings zu Lasten der Betriebsdauer pro Ladung.

¹¹ Das Department of Energy (DoE) vergibt im Rahmen des ARRA (American Recovery and Reinvestment Act Fuel Cell Awards) Fördergelder für H2BZ-Projekte.



2.2.1 PRAXISBEISPIELE

Gepäckschlepper mit BZ-Antrieb am Flughafen Hamburg



Copyright: Michael Penner

Seit 2008 sind auf dem Flughafen Hamburg zwei Brennstoffzellen-betriebene Gepäckschlepper von Still im Einsatz. Ziel ist es aufzuzeigen, dass durch den Einsatz der H2BZ-Technologie den steigenden Umweltanforderungen eines Flughafens an die Verringerung von Abgasen und Lärm Rechnung getragen werden kann. Ein Flughafen ist darüber hinaus mit seinem in sich geschlossenen Verkehrssystem und seiner eigenen Infrastruktur ein ideales Testgelände für Brennstoffzellen-Fahrzeuge, die Wasserstoff tanken.

Fahrzeugdaten

- Fahrzeugtyp: Still Schlepper R07-25
- Brennstoffzelle/-system: Hydrogenics
- Leistung: 10 kW Dauerbetrieb / 30 kW Spitze
- Tanksystem: 3,2 kg Wasserstoff, 350 bar

Brennstoffzellen-Stapler bei der HHLA AG Hamburg



Copyright: Still GmbH

Von 2008 bis 2010 setzte die Hamburger Hafen und Logistik AG (HHLA) einen Brennstoffzellen-Stapler von Still im Hamburger Hafen ein, der an einer von Linde installierten H₂-Kompressortankstelle betankt wurde. Die Stadt Hamburg hat das Projekt finanziell gefördert.

Fahrzeugdaten

- Fahrzeugtyp: Still Stapler R 60-25
- Brennstoffzelle/-system: Hydrogenics
- Leistung: 12 kW Dauerbetrieb / 30 kW Spitze
- Tanksystem: 1,6 kg Wasserstoff, 350 bar

Gemeinschaftsprojekt „BBH-MH“ (Brennstoffzellen-Batterie-Hybrid für Material Handling) der Firmen BASF Coatings, Hoppecke, Linde und Still

Seit Ende 2009 wird ein Vertikalkommissionierer (Klasse-2-Fahrzeug) mit Brennstoffzelle im Stammwerk der Hoppecke Batterien GmbH in Brilon betrieben. Im Januar 2010 folgte der Einsatz eines Still-Schubmaststaplers (Klasse-2-Fahrzeug) sowie eines Still-Elektrostaplers (Klasse-1-Fahrzeug) mit Brennstoffzellen-System im Lager der BASF Coatings AG in Münster. An beiden Einsatzorten wurde von Linde eine Kompressortankstelle installiert, an denen die Fahrzeuge in wenigen Minuten betankt werden können. Alle drei Flurförderzeuge wurden im Rahmen eines vom Land Nordrhein-Westfalen geförderten Projekts entwickelt und getestet.



Copyright: Still GmbH

Fahrzeugdaten

- Fahrzeugtyp: Still Schubmaststapler FM-X 20 und R 60-25
- Brennstoffzelle/-system: Nuvera und Hydrogenics; Hoppecke als Integrator
- Leistung: 5 kW Dauerbetrieb / 20 kW Spitze und 12 kW/40 kW
- Tanksystem: je 1,2 kg Wasserstoff, 350 bar

Brennstoffzellen-Stapler im Einsatz bei Linde Gas Division in Unterschleißheim

Seit Mai 2010 werden zwei Brennstoffzellen-Stapler von Linde Material Handling im Wasserstoffkompetenzzentrum „Linde Hydrogen Center“ in Unterschleißheim getestet und vorgeführt. Die Wasserstoff-Tankstelle und damit die Verfügbarkeit von Wasserstoff legen den Einsatz weiterer Brennstoffzellen-Fahrzeuge nahe. Ein BZ-Stapler ist im Bereich der Gasflaschenbefüllung tätig, der andere wird für den Transport von Gasflaschen zwischen der Produktionshalle vor Ort und dem LKW-Verladeplatz eingesetzt.



Copyright: Linde Material Handling GmbH

Fahrzeugdaten

- Fahrzeugtyp:
Linde Elektro-Gegengewichts-Stapler E30 FC
- Brennstoffzelle/-system: Hydrogenics
- Leistung: 10 kW
- Tanksystem: 1,6 kg Wasserstoff, 350 bar
- Sonstiges: Super-Caps für Leistungsspitzen

Fronius Schlepper



Copyright: Fronius

Das österreichische Unternehmen Fronius International und der Flurförderzeughersteller Linde Material Handling präsentierten auf der Messe CeMAT im Mai 2011 einen Brennstoffzellen-Schlepper (Klasse 3). Das neue Design der Brennstoffzelle erlaubte den Einbau in einen Standard-Batterietrog, dessen Abmessungen sich ohne konstruktive Veränderungen auch in Niederhubwagen und Kommissionierfahrzeugen wiederfinden. Dies erlaubt die Ausweitung des Einsatzfeldes, wodurch die Wirtschaftlichkeit durch Skaleneffekte schneller verbessert wird.

Fahrzeugdaten

- Fahrzeugtyp: Linde Schlepper P30 C
- Brennstoffzelle/-system: Fronius Energy Cell
- Tanksystem: 350 bar
- Sonstiges: 3 Tonnen Zugkraft

DanTruck Brennstoffzellen-Stapler mit H2Drive®



Copyright: DanTruck

Zusammen mit dem Flurförderzeug-Hersteller DanTruck hat der Brennstoffzellen-Systemintegrator H2Logic 2011 einen Brennstoffzellen-betriebenen Stapler präsentiert, der wettbewerbsfähig mit Diesel und LPG-Geräten ist. Das Fahrzeug wird in vier Modellvarianten angeboten.

Fahrzeugdaten

- Fahrzeugtyp: DanTruck 3000 Power Hydrogen
- Brennstoffzelle/-system: H2Drive® von H2Logic
- Leistung: 10 kW Dauerbetrieb / 35kW Spitze
- Tanksystem: 1,5 kg Wasserstoff, 350 bar
- Sonstiges: Tragfähigkeit von 2,0 bis 3,5 t

DMFC-Stapler des Forschungszentrums Jülich

Von 2007 bis 2010 wurde im Rahmen eines Förderprojekts unter Leitung des FZJ ein kompaktes Direkt-Methanol-Brennstoffzellen (DMFC)-System für den Einsatz in Flurförderzeugen bis zu einer Leistung von 2 kW entwickelt. Das System wurde in Zusammenarbeit mit den Firmen Jungheinrich AG (Staplerhersteller), Ritter Elektronik GmbH (Steuerung und Leistungselektronik), ebm-papst Landshut GmbH (Lüfter) und der AKG Gruppe (Wärmetauscher) in einen Stapler integriert, in Betrieb genommen und im Alltag eingesetzt.



Copyright: Forschungszentrum Jülich

Fahrzeugdaten

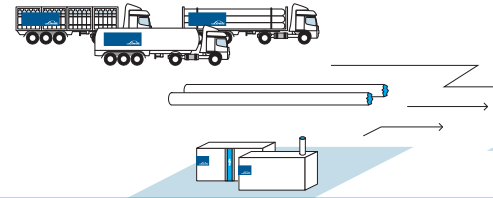
- Fahrzeugtyp: Jungheinrich Elektro-Niederhubkommissionierer ECE-220 XL
- Brennstoffzelle/-system: Forschungszentrum Jülich
- Leistung: 7 kW Spitzenleistung (Hybridsystem: Batterie und BZ)
- Tanksystem: 20 l Methanol für 30 Stunden Betriebszeit
- Sonstiges: Lebensdauer >3.000 h (25 % Leistungsverlust nach 3000 h);
Batterie: Lithium-Ionen (45 Ah, 7s)

Für die USA gibt es weitere Praxisbeispiele, auf die hier jedoch nicht näher eingegangen wird. Weiterführende Informationen finden sie über die Brennstoffzellen-Hersteller wie Ballard Power Systems,

Nuvera Fuel Cells oder PlugPower sowie über die Anwender der Brennstoffzellen-Flurförderzeuge in den USA wie BMW, Bridgestone, Coca-Cola, Nissan, Sysco, UNFI (United Natural Foods) oder Walmart.

Ausblick

Die genannten Praxisbeispiele haben die Machbarkeit der H2BZ-Technologie in Flurförderzeugen anschaulich demonstriert und den zukünftigen Markt vorbereitet. Jetzt gilt es, die Praxiserfahrungen in größeren Projekten nachhaltig zu stützen, um eine zügige Markteinführung voranzubringen. Brennstoffzellen-Hersteller und Unternehmen, die gesamte Brennstoffzellen-Systeme in Flurförderzeuge integrieren, können dabei die treibende Kraft sein. In Europa bietet das dänische Unternehmen H2Logic heute schon komplette Antriebslösungen mit Brennstoffzellen für Flurförderzeuge an, die in Zusammenarbeit mit unterschiedlichen Flurförderzeug-Herstellern eingesetzt werden können.



2.3 INFRASTRUKTUR



Detaillierte Informationen zu diesem Thema finden Sie in der vom Hessischen Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMULEV) herausgegebenen Broschüre „Wasserstoff-Tankstellen“. Sie informiert ausführlich über den Einsatz von Wasserstoff als Kraftstoff und liefert Hintergrundinformationen über die Erzeugung, Speicherung, Distribution und Abgabe von Wasserstoff an der Tankstelle.

Wie Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor werden Flurförderzeuge mit Brennstoffzellen an einer Tankstelle betankt. Als Treibstoff kommen Wasserstoff oder



Quelle: Infraser/Hoechst

Methanol in Frage. Wenn Brennstoffzellen-Fahrzeuge eingesetzt werden, muss sich der Betreiber überlegen, ob eine entsprechende Tankstelle auf dem Betriebsgelände oder in unmittelbarer Nähe aufgebaut werden soll oder ob man sich durch die Anschaffung kleiner, mobiler Tankanlagen ausreichend mit Kraftstoff versorgen

kann. In den meisten Fällen hängt die Entscheidung davon ab, wie viele Fahrzeuge wie häufig betankt und welche Strecken auf dem Betriebsgelände überbrückt werden müssen.

Stationäre Tankstelle

Die meisten Betriebe, die Flurförderzeug-Flotten einsetzen, verfügen bereits über eine eigene Tankstelle auf dem Betriebsgelände. Bei der Nutzung von Fahrzeugen mit Brennstoffzellen besteht die Möglichkeit, eine Wasserstoff-Tankanlage in die bestehende Tankstelle zu integrieren oder an einer anderen Stelle neu aufzubauen. Anders als bei Diesel oder Treibgas setzt der Aufbau einer stationären H₂-Tankstelle gleichzeitig die Überlegung voraus,

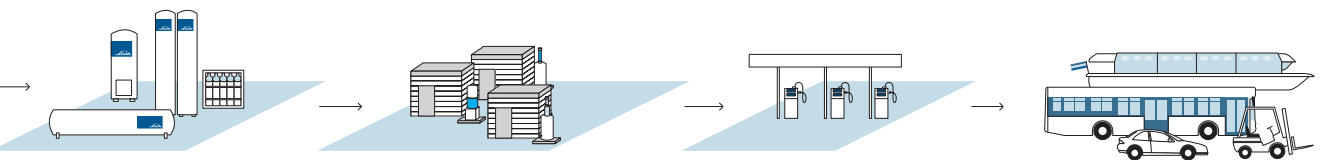
dass der Wasserstoff nicht nur angeliefert, sondern gegebenenfalls direkt vor Ort erzeugt werden kann. Dies ist insbesondere dann sinnvoll, wenn die Flurförderzeuge mit Brennstoffzellen-Systemen langfristig genutzt und darüber hinaus zukünftig weitere Brennstoffzellen-Fahrzeuge wie Autos, Transporter oder Busse im Unternehmen zum Einsatz kommen sollen.

Mobile Tankstellen

Neben den stationären Wasserstoff-Tankstellen spielen mobile Tankstellen insbesondere für die Markteinführung sowie für die speziellen Märkte der H₂BZ-Technologie eine wichtige Rolle. Sie können flexibel überall dort eingesetzt werden, wo Pilotprojekte initiiert und Fahrzeugtests durchgeführt werden und es noch keine fest installierten Tankstellen gibt. Auch wenn nur wenige Fahrzeugen betankt und entsprechend geringe Mengen Wasserstoff benötigt werden, kann eine mobile H₂-Tankstelle, wie sie zum Beispiel von GHR Hochdruck-Reduziertechnik GmbH im hessischen Ober-Mörlen entwickelt wurde, eine zuverlässige und kostengünstige Alternative sein. Mobile H₂-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 kann beispielsweise auf großen Betriebsgeländen sinnvoll sein.



Quelle: GHR Hochdruck-Reduziertechnik



Quelle: Linde

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

2.4 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 Brenn- und Treibstoffe 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 im Bereich Transport und Warenumsatz in der Logistik zur Selbstverständlichkeit werden. Flurförderzeuge, die Wasserstoff als Kraftstoff nutzen, erfüllen alle geltenden Sicherheitsanforderungen. Die Fahrzeug- und Komponentenhersteller konstruieren die Fahrzeuge so, dass kein Wasserstoff unkontrolliert freigesetzt werden kann. Da H_2 -Flurförderzeuge keine giftigen Abgase oder CO_2 -emittieren, können sie, wie Batteriefahrzeuge auch, in Betriebshallen und in geschlossenen Lagerbereichen eingesetzt werden.

H_2 ist 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 bei H_2 -Fahrzeugen geringer ist als bei solchen, die konventionelle Kraftstoffe nutzen, 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 (DWW) herausgegebene „Wasserstoff-Sicherheits-Kompendium“.



© Motor - Fotolia.com

2.5 NORMEN UND VORSCHRIFTEN

Flurförderzeuge, die im Alltagsbetrieb eingesetzt werden, müssen vom Hersteller mit dem europäischen CE-Zeichen gekennzeichnet werden. Diese Kennzeichnung gewährleistet dem Nutzer, dass das Flurförderzeug mit den geltenden Vorschriften und Verordnungen im Hinblick auf Betrieb und Sicherheit europaweit übereinstimmt. In Deutschland unterliegen Flurförderzeuge der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG (siehe Begriffserläuterung rechts).

Flurförderzeuge mit H2BZ

Generell gilt, dass der Nutzer eines Flurförderzeugs mit Brennstoffzellen-System sowie der Betreiber einer H₂-Tankstelle ein fertig entwickeltes Produkt einsetzt. Das heißt, Nutzer und Betreiber müssen sich nicht um die ordnungsgemäße 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 der Fahrzeuge sowie über den Unterhalt der Wasserstoff-Tankstelle Bescheid weiß.

Gerade weil man sich mit der H2BZ-Technologie noch in der Marktvorbereitung befindet, wird 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 Fahrzeughersteller, Mineralöl- und Gasefirmen 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 sind.

An vielen Stellen wurden H2BZ-Normen bereits definiert und von den internationalen Normungsorganisationen verabschiedet (siehe unten). So wurde im Rahmen des europäischen Projekts HyApproval bereits 2008 ein Handbuch verabschiedet (Handbook for hydrogen refuelling station approval¹³), 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.

Für Nutzer der H2BZ-Technologie kann es sinnvoll sein, sich einen grundsätzlichen Überblick über die für die Fahrzeuge und die H₂-Infrastruktur relevanten Normen zu verschaffen. Die Details der Regelwerke sind den Zertifizierungsorganisationen und Prüfungsgesellschaften wie beispielsweise TÜV, DEKRA, Germanischer Lloyd, Büro Veritas, GTÜ und anderen bekannt. Sie sollten bei Planung eines H2BZ-Projekts 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.

¹³ Siehe Website http://www.hyapproval.org/Publications/The_Handbook/HyApproval_Final_Handbook.pdf

ÜBERSICHT NORMEN, VERORDNUNG, RICHTLINIEN

Übergreifend

- Herstellerangaben (Vorgaben und Handbücher)
- BetrSichV, Betriebssicherheitsverordnung
- GaVo, Garagenverordnung (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 Fahrzeuge

- Herstellerangaben (Vorgaben und Handbücher)
- GaVo, Garagenverordnung (länderspezifisch)
- 79/2009 (EG) Typgenehmigung von wasserstoffbetriebenen Kraftfahrzeugen und zur Änderung der Richtlinie 2007/46/EG
- 406/2010 (EG) Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 79/2009 über die Typgenehmigung von wasserstoffbetriebenen Kraftfahrzeugen
- SAE 2600 – Compressed Hydrogen Vehicle Fueling Connection Devices
- SAE J2601 – Compressed Hydrogen Vehicle Fueling Communication Devices
- ISO 23273-1 Fuel Cell Road Vehicle – Safety Specification, Part 1: Vehicle functional safety
- ISO 23273-2 Fuel Cell Road Vehicle – Safety specifications, Part 2: Protection against hydrogen hazards for vehicles fuelled with compressed hydrogen
- ISO 23273-3 Fuel cell road vehicles – Safety specifications, Part 3: Protection of persons against electric shock
- DIN EN 1175-1 – Sicherheit von Flurförderzeugen – Elektrische Anforderungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen für Flurförderzeuge mit batterieelektrischem Antrieb

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

BEGRIFFSERLÄUTERUNG

CE-Kennzeichnung¹⁴



CE ist die Abkürzung für den französischen Begriff der Europäischen Gemeinschaft (Communauté Européenne). Das CE-Kennzeichen wird vom Hersteller oder einem von ihm Bevollmächtigten in der EU angebracht und erlaubt dem Hersteller, sein Produkt innerhalb der EU anzubieten.

Voraussetzung dafür ist eine so genannte Konformitätserklärung, die auf einer technischen Dokumentation für das Produkt basiert und Verweise auf die jeweilig zugrunde liegenden Gesetzestexte enthält. Mit der Konformitätserklärung bestätigt der Hersteller, dass ein von ihm in Verkehr gebrachtes Produkt den grundlegenden Gesundheits- und Sicherheitsanforderungen aller relevanten europäischen Richtlinien entspricht.

In der Bundesrepublik Deutschland wird die Einhaltung der CE-Richtlinien durch die Gewerbeaufsichtsbehörden kontrolliert. Daneben achten aber auch die Berufsgenossenschaften auf die Anwendung der CE-Richtlinien.

Die CE-Kennzeichnung ist kein Gütesiegel (Qualitätszeichen).

Maschinenrichtlinie 2006/42/EG und EMV-Richtlinie 2004/108/EG



Mit Hilfe der Maschinenrichtlinie wird ein einheitliches Schutzniveau zur Unfallverhütung für kommerzielle Maschinen innerhalb des europäischen Wirtschaftsraumes (EWR) sowie der Schweiz und der Türkei geregelt. Darin ist auch festgelegt, was als Maschine aufgefasst werden muss.

Bei Elektroprodukten greift darüber hinaus die EMV-Richtlinie (elektromagnetische Verträglichkeit).

¹⁴ Vgl. Infoblatt der NRW.Europa:

[http://www.nrw.europa.de/fileadmin/dokumente/info-
blaetter/Infoblatt_CE-Kennzeichnung.pdf](http://www.nrw.europa.de/fileadmin/dokumente/info-
blaetter/Infoblatt_CE-Kennzeichnung.pdf) und Website
der Europäischen Kommission [http://ec.europa.eu/
enterprise/policies/european-standards/documents/
harmonised-standards-legislation/list-references/](http://ec.europa.eu/
enterprise/policies/european-standards/documents/
harmonised-standards-legislation/list-references/)

3 WIRTSCHAFTLICHKEIT

3.1 TOTAL COST OF OWNERSHIP (TCO)

Definition

Unter Total Cost of Ownership oder Lebenszykluskosten werden alle Kosten zusammengefasst, die mit Anschaffung, Betrieb und Wartung von Firmeninventar verbunden sind. Damit können direkte und indirekte Kosten bereits im Vorfeld einer Investitionsentscheidung identifiziert werden.

Wie in den meisten Dienstleistungsbereichen wird in der Logistikbranche der Wettbewerb sehr stark über den Preis geregelt. Dabei spielt es keine Rolle, ob Logistikdienstleistungen im Unternehmen als Cost Center geführt oder als Fremddienstleistungen eingekauft werden.

Die Branche ist deshalb bestrebt, die gesamten Kosten (TCO), die mit der Dienstleistung verbunden sind, möglichst niedrig zu halten. Auf den Einsatz der Flurförderzeuge bezogen gilt es, sowohl die Anschaffungs- als auch die Betriebs- und Wartungskosten zu senken. Mit diesen Anforderungen sehen sich auch die Hersteller der H2BZ-Technologie konfrontiert. Sie stehen deshalb vor der Herausforderung, Brennstoffzellen-Geräte zu akzeptablen Preisen anbieten und zusätzliche Kostenvorteile im Betrieb erzielen zu müssen.

Europäisches Demonstrationsprojekt HyLIFT

Auf europäischer Ebene wurde 2011 das Projekt HyLIFT gestartet. Im Rahmen eines Großversuchs sollen europaweit Wasserstoff-betriebene Brennstoffzellen-Stapler bei verschiedenen Kunden im Alltag eingesetzt und die Markteinführung für 2013 angestrebt werden. Die Betrachtung der Total Cost of Ownership (TCO) im Vergleich zu herkömmlichen Fahrzeugen spielt dabei eine herausragende Rolle.

www.hylift-demo.eu



Anschaffungskosten

Flurförderzeuge mit H2BZ-Technologie sind heute noch keine kommerziellen Produkte und können nur zu Sonderkonditionen beschafft und im Rahmen von Kooperationsprojekten eingesetzt werden. Sie sind im Vergleich zu den konventionellen Geräten noch relativ teuer, was in erster Linie an den derzeit noch geringen Fahrzeug-Stückzahlen liegt. Ergebnisse aus den Demonstrationsprojekten zeigen allerdings, dass sich der Einsatz der H2BZ-Technologie mittelfristig positiv auf die Betriebs- und Wartungskosten auswirkt, wodurch die aktuell noch höheren Anschaffungspreise kompensiert werden können.

Steigende Stückzahlen werden nach heutigem Kenntnisstand zu deutlichen Kostensenkungen führen. So können Serienfertigungsprozesse etabliert und damit positive Skaleneffekte ermöglicht werden. Darüber hinaus führen die Verbesserungen und Optimierungen des Brennstoffzellen-Systems und seiner Komponenten zu weiteren Kostensenkungen in der Herstellung. Im Brennstoffzellen-Elektro-Antrieb ist die Brennstoffzelle selbst die teuerste Komponente. Hersteller von Brennstoffzellen-Stacks und Brennstoffzellen-Systemen haben angekündigt, dass die Preise mittelfristig die Zone der Wirtschaftlichkeit erreichen werden. Preisreduktionen um bis zu 50 Prozent sind möglich, vorausgesetzt, dass entsprechende Stückzahlen erreicht werden.

Betriebs- und Wartungskosten

Was die Betriebs- und Wartungskosten von Brennstoffzellen-Flurförderzeugen angeht, hat man insbesondere aus den Förderprojekten in den USA gelernt, dass Brennstoffzellen-Fahrzeuge (unter bestimmten Rahmenbedingungen) deutliche Verbesserungen im Betriebsablauf gegenüber Batterieelektrischen Flurförderzeugen erbringen können. Dies ergibt sich vor allem aus der Tatsache, dass Brennstoffzellen-Fahrzeuge eine bessere Verfügbarkeit als konventionelle Elektrostapler haben und nach heutigem Kenntnisstand weniger wartungsintensiv sein werden.

ÜBERBLICK ALLER RELEVANTEN KOSTEN FÜR DIE TCO-BETRACHTUNG

	Brennstoffzelle	Batterie	Diesel / LPG
Anschaffungskosten: Fahrzeug	Bei nur einem Fahrzeug im Vergleich am teuersten, da es sich noch nicht um ein Serienprodukt handelt, 10 Stück ergeben schon deutlich geringere Preise, bei 30 bis 100 Stück kann die Grenze zur Wirtschaftlichkeit heute schon erreicht werden.	Serienprodukt – siehe Preislisten der Hersteller	Serienprodukt – siehe Preislisten der Hersteller
Anschaffungskosten: Infrastruktur	Abhängig vom H ₂ -Bedarf mobile oder stationäre Lösung möglich; bei Methanol auch Abfüllung aus größeren Tanks möglich	Normale Steckdose mit langen Ladezeiten, Installation einer Hochleistungs-Ladeinfrastruktur möglich, Batteriewechselstation mit Lagerhaltung erforderlich	Von Abfüllung aus Tanks bis eigene Tankstelle
Kraftstoff- / Energiekosten	Es gibt noch keine Marktpreise für Wasserstoff (oder Methanol), aber es ist der Nachweis erbracht, dass wettbewerbsfähige Preise möglich sind.	Abhängig vom Strompreis	Abhängig vom Diesel- / LPG-Preis – wie bei allen fossilen Energiequellen eher steigend
Betriebsdauer	3-Schichtbetrieb 7 Tage zukünftig möglich (in Deutschland typischerweise 2-Schichtbetrieb)	Mehrschichtbetrieb ist nur mit einer ausreichenden Anzahl an Wechselbatterien möglich.	3-Schichtbetrieb 7 Tage möglich (in Deutschland typischerweise 2-Schichtbetrieb)
Lebensdauer	Zukünftig bis zu 10.000 Stunden	Rund 5.000 Stunden bzw. 1.500 Ladezyklen	Rund 10.000 Stunden
Standzeiten durch Umrüstung o.ä.	Keine	Ja, durch Batteriewechsel und -ladung	Wenn Waren von draußen nach drinnen transportiert werden, muss aufgrund der CO ₂ -Emissionen ggfs. auf ein anderes Transportmittel umgeladen werden.
Umweltverträglichkeit	Null Emissionen beim Betrieb mit H ₂ , sehr geringe CO ₂ -Emissionen beim Betrieb mit Methanol	Null Emissionen	Insbesondere CO ₂ , bei Diesel auch Rußpartikel

3.2 FÖRDERUNG

Das führt zu einer höheren Arbeitseffizienz, weniger Personaleinsatz und niedrigeren Betriebskosten. Weitere Vorteile werden dadurch erbracht, dass Brennstoffzellen-Geräte innerhalb weniger Minuten betankt werden können und deshalb rund um die Uhr einsatzfähig sind. Die H2BZ-Technologie in Flurförderzeugen kann bei Total Cost of Ownership zu einer Verbesserung gegenüber konventionellen Fahrzeugen führen, vor allem dann, wenn größere Stückzahlen (<10) an Brennstoffzellen-Fahrzeugen eingesetzt werden.

Neben der Kostenoptimierung lassen sich Wettbewerbsvorteile in der Logistikbranche inzwischen zunehmend durch Maßnahmen der „Green Logistics“ erzielen. Die reine Kostenbetrachtung wird damit um neue, zukunftsorientierte Aspekte erweitert. Der Einsatz der H2BZ-Technologie trägt dazu bei, den CO₂-Fußabdruck des Unternehmens zu reduzieren. Im besten Fall führt das dazu, neue Kundengruppen zu erschließen und bestehende langfristig zu binden. Ein frühzeitiges Engagement für die H2BZ-Technologie lohnt sich auch deshalb, weil man frühzeitig Erfahrungen mit der neuen Technologie sammeln und die Betriebsabläufe rechtzeitig auf die neuen Anforderungen umstellen kann.

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 Fördermittel bereit, um die heimische Wirtschaft bei der Entwicklung von Zukunftstechnologien zu unterstützen. Förderung kann aber auch Wissenstransfer bedeuten. Von daher ist es wichtig, im Rahmen der Netzwerkarbeit interessierte und engagierte Partner zusammenzubringen und zu beraten.

Viele Förderprogramme im Bereich der H2BZ-Technologie unterstützen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten, da die wissenschaftliche Begleitung ein hohes Maß an Wissen generiert, das später von allen genutzt werden kann. Über weitere Förderprogramme, die die Markteinführung der H2BZ-Technologie beschleunigen, wird auch in Deutschland diskutiert. Das Beispiel USA, wo es sowohl staatliche Fördermittel als auch Steuervergünstigungen für den Kauf von Brennstoffzellen-Flurförderzeugen gibt, zeigt, dass solche Unterstützungsmaßnahmen funktionieren können.

Förderung im Verbund – Public Privat Partnerships (PPP)

Als PPP bezeichnet man Kooperationen, die zwischen privatwirtschaftlichen Unternehmen und der öffentlichen Hand geschlossen werden, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen. Dazu bringen beide Seiten ihre Vorstellungen, ihr Wissen, ihre Kompetenzen und finanzielle Mittel in die Partnerschaft ein.

Public Private Partnerships spielen im Bereich der H2BZ-Technologie eine zunehmend wichtige Rolle, da die Akteure erkannt haben, dass die Einführung von Wasserstoff und Brennstoffzellen nur durch gemeinsames, zielorientiertes Handeln gelingen kann.

Weitere PPP: Scandinavian Hydrogen Highway Partnership, www.scandinavianhydrogen.org
Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking, www.fch-ju.eu
California FC Partnership, www.cafcp.org



3.2.1 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 arbeitet eng mit dem Bereich Wasserstoff, Brennstoffzellen und Elektromobilität der Hessen Agentur zusammen.

Weitere Informationen, Kontakt und Ansprechpartner:

Geschäftsstelle H2BZ-Initiative Hessen e.V.

HA Hessen Agentur GmbH
Abraham-Lincoln-Straße 38-42
(ab Herbst 2012: Konradinallee 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

Die Aktivitäten der H2BZ-Initiative im Bereich der Projektanbahnungen werden seit 2010 vom Beratungsunternehmen flow-advice unterstützt. Dies erfolgt im Auftrag des hessischen Umwelt- und Energieministeriums über die Hessen Agentur. flow-advice berät Unternehmen 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
Büro Wiesbaden

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

www.flow-advice.de

flow-advice
coached innovations



Quelle: CEP



Quelle: Berliner Stadtreinigung BSR

3.2.2 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:



**Nationale Organisation Wasserstoff-
und Brennstoffzellentechnologie**

Fasanenstraße 5

10623 Berlin

T 030 3116116-00

F 030 3116116-99

www.now-gmbh.de

Spezielle Märkte:

Wolfgang Axthammer

T 030 3116116-20

wolfgang.axthammer@now-gmbh.de



3.2.3 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 finanziert. 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.



Bildquellen (von links nach rechts): MyCologne, Daimler, Zemships, Fronius, DLR

4.1 STRATEGISCH DENKEN UND OPERATIV PLANEN

Auch wenn niemand die Zukunft vorhersehen kann, zeigen die gegenwärtigen Preisentwicklungen der Energieträger Strom und Öl sowie anderer Rohstoffe tendenziell nach oben. Gleichzeitig hat die H2BZ-Branche für die nächsten Jahre sinkende Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Kosten angekündigt, die der Technologie zum Durchbruch in verschiedenen Anwendungsgebieten verhelfen wird. Vor diesem Hintergrund gilt es, die Weichen für aktuelle und zukünftige Investitionsentscheidungen zu stellen.

Selbst wenn Stapler, Lagertechnikgeräte und Schlepper mit Brennstoffzellen noch nicht endgültig wettbewerbsfähig sind, lohnt es sich, die Flurförderzeuge, die heute im Einsatz sind, einmal genauer zu betrachten. Alle nachstehenden Aspekte könnten Anlass dafür sein, zu prüfen, ob innovative und zukunftsorientierte Flurförderzeuge mit H2BZ-Technologie nicht doch schneller als erwartet im Alltag eines Unternehmens eingesetzt werden können.

- **Was kosten die „alten“ Flurförderzeuge (Batterie oder Diesel) wirklich, wenn man nicht nur Anschaffungskosten, sondern die TCO betrachtet?**
- **Wurden schon einmal die realen Stillstandzeiten oder Ladezeiten der sich derzeit im Einsatz befindenden Fahrzeuge gemessen?**
- **Vielleicht ist ein Technologiewechsel sinnvoll, wenn Leasingverträge auslaufen oder größere Reparaturen und Instandhaltungen an der bestehenden Technik anstehen?**
- **Müssen neue Lademöglichkeiten für bestehende Batterien eingerichtet werden bzw. Ersatzbatterien angeschafft werden?**
- **Wird eine neue Lagerhalle geplant, die technisch so auslegt werden kann, dass dort Flurförderzeuge mit Brennstoffzellen eingesetzt und eine Infrastruktur mit Wasserstoff oder Methanol aufgebaut werden kann?**

Die Beantwortung der Fragen hilft, das Potenzial eines Einsatzes von Brennstoffzellen-Flurförderzeugen einzuschätzen. In einem nächsten Schritt sollten dann die Rahmenbedingungen definiert werden.

Dazu ist es sinnvoll, eine präzise Projektbeschreibung mit einem realistischen Zeitplan zu erstellen, aus der klar hervorgeht, welche Ansprüche und Ziele mit dem Projekt verbunden sind. Da es heute nur wenige standardisierte Verfahren für die Einführung der H2BZ-Technologie gibt, sollte man ausreichend Zeit und Ressourcen bis zum reibungslosen Betrieb der Flurförderzeuge und der vollen Funktion der dazugehörigen Tankstelle einplanen.

Flurförderzeuge mit innovativem Brennstoffzellen-System in einem Betrieb einzusetzen, ist eine zukunftsorientierte Entscheidung und hat an verschiedenen Stellen Auswirkungen auf Organisation und betriebliche Abläufe. Der Einsatz der neuen Technik führt zu Veränderungen, über die man sich bereits im Vorfeld im Klaren sein sollte und die in der Projektierung berücksichtigt werden müssen. Dies gilt intern insbesondere für die Kommunikation und die Einbindung der betroffenen Mitarbeiter in den verschiedenen Arbeitsbereichen und Abteilungen. Nicht zuletzt gilt es, die Mitarbeiter, die die neue Technik nutzen, rechtzeitig zu informieren und im Umgang zu schulen.

Von Vorteil ist es auch, wenn frühzeitig – am besten in der Planungsphase – erfahrene Fachleute eingebunden werden. Sie können dafür sorgen, dass Probleme und Verzögerungen früh erkannt und möglichst reibungslos behoben werden. Dies gilt auch für Zertifizierungs- und Abnahmestellen, die bereits Erfahrungen mit der Nutzung der H2BZ-Technologie haben und so wichtigen Input für das Sicherheitskonzept geben können.

4.2 ÜBER DEN TELLERRAND BLICKEN UND INTERESSEN BÜNDELN

Wenn Flurförderzeuge mit Brennstoffzellen im Unternehmen zum Einsatz kommen sollen, dann kann eine Zusammenarbeit mit gleichgesinnten Mitstreitern aus anderen Bereichen eine Realisierung durchaus vorantreiben. Gemeinsam lassen sich die Rahmenbedingungen, die für einen erfolgreichen, marktorientierten Einsatz der H2BZ-Technologie wünschenswert sind, besser und nachhaltiger gestalten und umsetzen. Außerdem verteilen sich dadurch Arbeit und Kosten auf mehrere Schultern.

Die meisten Unternehmen und Vertreter der öffentlichen Hand sind lokal und regional exzellent vernetzt. Sie wissen, welche Aktivitäten auf lokaler Ebene im Bereich Umweltschutz und Nachhaltigkeit laufen und an welchen Innovationen gearbeitet wird. So kommen die nachstehenden vielfältigen Aktivitäten in einer Kommune zusammen, die gebündelt zu einem Innovationsschub führen und neue Arbeitsplätze schaffen können.

Welche Partner und Kooperationen sind möglich?

- Es gibt verschiedene Produktions- und Logistikbetriebe, bei denen der Warenumsatz mit diversen Flurförderzeugen erfolgt.
- Das eine oder andere kleine oder mittelständische Unternehmen in der Nachbarschaft hat ein Solardach installiert und speist überschüssigen, regenerativ erzeugten Strom ins Netz ein.
- Die Landwirte im Umland betreiben Biogasanlagen und speisen ebenfalls den Strom ins Netz ein.
- Beim lokalen Chemieunternehmen entsteht in den Herstellungsprozessen verschiedener Chemikalien Wasserstoff als Abfallprodukt.
- Der regionale Nahverkehrsbetreiber möchte aufgrund sich verschärfender Umweltauflagen seine Busflotte auf umweltfreundliche und effiziente Antriebe umstellen.
- Die ansässige Hochschule engagiert sich bereits in einem H2BZ-Förderprojekt und begleitet es wissenschaftlich. Es gibt dort ausgewiesene Experten, außerdem wird dort ein Elektrolyseur für die dezentrale Wasserstoffherzeugung betrieben.
- Ein örtlicher Autovermieter möchte sein Angebot mit neuen Mobilitäts- und Car-Sharing-Konzepten ergänzen und zukunftsorientierte Fahrzeuge anbieten.
- Der Bürgermeister möchte seine Stadt mit einem ökologischen und zukunftsorientierten Image für die Ansiedelung von neuen Unternehmen und Bürgern attraktiver machen.

Hydrogen Fuel Cells and Electromobility in European Regions (HyER)



Auf europäischer Ebene haben sich bisher 32 Städte und Regionen zusammengeschlossen, um die Einführung der

Elektromobilität mit batterie- und brennstoffzellen-elektrischen Fahrzeugen zu unterstützen. Solche Allianzen bringen Vorteile für alle Beteiligten: Durch einen gemeinsamen Bedarf werden schnell Stückzahlen erreicht, die es den Herstellern ermöglichen, Skaleneffekte zu nutzen und die Fahrzeuge zu attraktiven Preisen zu vermarkten. Darüber hinaus tauscht man sich auf verschiedenen Ebenen über die Erfahrungen mit der neuen Technologie aus und erhält so aussagekräftige und umfassende Ergebnisse aus dem Alltagsbetrieb bei unterschiedlichen Bedingungen (topografisch, klimatisch etc.). www.hyer.eu

Zahlreiche hessische Unternehmen und Organisationen stehen Ihnen für Informationen gerne zur Verfügung. Ihre Kontaktdaten finden Sie im Kompetenzatlas Wasserstoff und Brennstoffzellen Hessen, der auch online unter www.H2BZ-Hessen.de abgerufen

werden kann. Darüber hinaus gibt es unter nachstehenden Kontaktadressen weitere Auskünfte rund um das Themengebiet Flurförderzeuge mit H2BZ-Technologie.

5.1 KONTAKTADRESSEN UND ANSPRECHPARTNER¹⁵

¹⁵ Weitere hessische Unternehmen finden Sie im Kompetenzatlas Wasserstoff und Brennstoffzellen Hessen, den Sie sich unter www.h2bz-hessen.de herunterladen können.



Initiative
Hessen

Geschäftsstelle H2BZ-Initiative Hessen e.V. HA Hessen Agentur GmbH

Wasserstoff- und
Brennstoffzellentechnologie, Elektromobilität
Abraham-Lincoln-Straße 38-42
(ab Herbst 2012: 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

Büro 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

ANWENDER UND FACHLEUTE FÜR H2BZ-FLURFÖRDERZEUGE

Flughafen Hamburg GmbH

Stabsstelle Umweltschutz
22331 Hamburg

www.ham.airport.de

Ansprechpartner: Wolfgang Schümann
T 040 50753000, F 040 50751878
wschuemann@ham.airport.de

H2-Logistics

Csilla-von-Boeselager-Straße 11
33104 Paderborn

www.h2-logistics.de

Ansprechpartner: Dr. Christian Ewering
T 0170 8506710, F 0121 2512734912
ce@h2-logistics.de

H2 Logic A/S

Industriparken 34B, DK-7400 Herning

www.h2logic.com

Ansprechpartner: Steven Westenholz

T +45 96265563

swe@h2logic.com

Heliocentris Energiesysteme GmbH

Rudower Chaussee 29, 12489 Berlin

www.heliocentris.com

Ansprechpartner: Florian Koppe

T 030 340601-882, F 030 63926329

f.koppe@heliocentris.com

BRENNSTOFFZELLENHERSTELLER

Ballard Power Systems

Goldenbergstraße 1, 50354 Hürth

www.ballard.com

Ansprechpartner: Geoffrey Budd

T 02233 406401, F 02233 406111

geoff.budd@ballard.com

Hydrogenics GmbH

Am Wiesenbusch 2, Halle 5, 45966 Gladbeck

www.hydrogenics.com

Ansprechpartner: Martin Tröger

T 02043 944141, F 02043 944146

mtroeger@hydrogenics.com

FORSCHUNGSEINRICHTUNGEN

Forschungszentrum Jülich GmbH

Institut für Energieforschung (IEF)

52425 Jülich

www.fz-juelich.de/iek-3

Ansprechpartner: Dr. Martin Müller

T 02461 61-1859, F 02461 61-6695

mar.mueller@fz-juelich.de

FLURFÖRDERZEUGHERSTELLER

Linde Material Handling GmbH

Carl-von-Linde-Platz, 63743 Aschaffenburg

www.linde-mh.de

Ansprechpartner: Hannes Schöbel

T 06021 991384, F 06021 991570

hannes.schoebel@linde-mh.de

STILL GmbH

Berzeliusstraße 10, 22113 Hamburg

www.still.de

Ansprechpartner: Michael Arndt

T 040 73392125

michael.arndt@still.de

WASSERSTOFFLIEFERANT/BETANKUNGSTECHNOLOGIE

Linde AG

Geschäftsbereich Linde Gas

Kostheimer Landstraße 25

55246 Mainz-Kostheim

www.linde-gas.de

Ansprechpartner: Florian Knab

T 06134 208-43, F 06134 208-29

florian.knab@de.linde-gas.com

5.2 ERGÄNZENDE PUBLIKATIONEN

Publikation: **Kompetenzatlas Wasserstoff und Brennstoffzellen Hessen**

Herausgegeben von: Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMULEV)

Broschüre: **Wasserstoff und Brennstoffzellen**

Herausgegeben von: Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMULEV)

Broschüre: **Wasserstoff-Tankstellen**

Herausgegeben von: Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMULEV)

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 Wasserstoffherzeugung?**

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-Kompodium**

Herausgegeben von: Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellenverband (DWV)

Broschüre: **Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie**

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 Brennstoffzellenfahrzeugen.

Herausgegeben von: McKinsey & Company

6 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 Drehscheiben 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.



7.1 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 2.4).

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 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 und zweitens umweltfreundlich und in den erforderlichen Mengen erzeugt werden. Brennstoffzellen als hocheffiziente Energiewandler können Wasserstoff in verschiedenen Anwendungen nutzen, ohne überhaupt Emissionen zu produzieren. Auch die Erzeugung von H_2 bleibt emissionsfrei, wenn dafür erneuerbare Energien eingesetzt werden.

4 WELCHE BEDEUTUNG HAT WASSERSTOFF FÜR DIE ENERGIEZUKUNFT?

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 nicht immer bei Bedarf zur Verfügung stehen. Statt Strom wird Wasserstoff produziert, der gelagert oder zum Ort der Verwendung transportiert werden kann. Bei Bedarf kann er rückverstromt und wieder ins Netz eingespeist werden (siehe Kapitel 1.2).

5 WELCHE ROLLE SPIELT DIE H2BZ-TECHNOLOGIE FÜR DIE LOGISTIK?

Wie der gesamte Verkehrssektor steht auch die Logistik vor der Herausforderung, CO_2 -Emissionen zu reduzieren und den Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuge aus Umwelt- und Kostengründen zu optimieren. Im Bereich des Warenumschlags hat die H2BZ-Technologie das Potenzial, diese Anforderungen zu erfüllen, insbesondere dann, wenn Flurförderzeuge mit Brennstoffzellen betrieben werden und der Wasserstoff aus erneuerbaren Energien hergestellt wird (siehe Kapitel 2). Generell scheint die Logistik-Branche ein geeigneter Einführungsmarkt für die Brennstoffzellentechnologie zu sein.

6 WIE ZUVERLÄSSIG SIND BRENNSTOFFZELLEN-FLURFÖRDERZEUGE?

Brennstoffzellen sind heute technisch wettbewerbsfähig mit konventionellen Technologien. Insbesondere hinsichtlich Lebensdauer und Zuverlässigkeit liegen sie gleichauf mit Flurförderzeugen mit Batterie oder Verbrennungsmotor. Brennstoffzellen-Fahrzeuge haben den Vorteil, dass sie die Vorzüge von Batterie (sauber und leise) und Verbrennungsmotor (hohe Leistung und Einsatzdauer) kombinieren, ohne deren Nachteile (Verbrennungsmotor: Emissionen, Batterie: lange Ladezeiten, nachlassende Leistung gegen Ende der Batteriekapazität) aufzuweisen (siehe Kapitel 2).

7 IST DER EINSATZ VON BRENNSTOFFZELLEN-FLURFÖRDERZEUGEN RENTABEL?

Die Erfahrungen aus den Pilot- und Demonstrationsprojekten zeigen, dass sich die höheren Preise für Brennstoffzellen-Flurförderzeuge in wenigen Jahren aufgrund geringerer Betriebskosten amortisieren. Darüber hinaus geht man davon aus, dass sich die Kosten für die Brennstoffzellen aufgrund weiterer Entwicklungen und steigender Stückzahlen in Zukunft deutlich reduzieren werden (siehe Kapitel 3).

8 WO KANN MAN BRENNSTOFFZELLEN-FLURFÖRDERZEUGE KAUFEN? WELCHE HERSTELLER GIBT ES?

Alle großen Hersteller von Flurförderzeugen haben in den vergangenen Jahren Prototypen und Demonstrationsfahrzeuge mit Brennstoffzellen aufgebaut und im Rahmen von Pilot- und Kundenprojekten im Alltag getestet. Noch hat kein Hersteller in Deutschland Brennstoffzellen-betriebene Flurförderzeuge als Standardprodukt in seinem Sortiment, mit steigender Nachfrage wird sich dies aber ändern.

9 HAT DER WASSERDAMPF AUS DEM BETRIEB DER FLURFÖRDERFAHRZEUGE AUSWIRKUNGEN, WENN DIE FAHRZEUGE IN DER HALLE BENUTZT WERDEN?

Flurförderfahrzeuge mit Brennstoffzellen-Elektro-Antrieb emittieren als Abgas nur Wasserdampf, der bei stehendem Fahrzeug oft als Wasser ausfällt und auf dem Boden entsprechende Spuren hinterlassen kann. Bei der Nutzung von konventionellen Verbrennungsmotoren ist Wasserdampf ebenfalls Teil des Abgases. Da der Wasserdampf dort aber heißer ist als bei Brennstoffzellen-Elektro-Antrieben, kondensiert er nicht. Selbst beim gleichzeitigen Einsatz mehrerer Flurförderzeuge mit H2BZ-Antrieb in einer geschlossenen Halle wird sich kein sichtbarer Wasserdampf bilden oder die Luftfeuchtigkeit merklich ansteigen. Auch aus Kühlhallen mit niedrigem Taupunkt sind keine Probleme bekannt.

10 WANN KOMMT METHANOL (MeOH) ALS TREIBSTOFF FÜR FLURFÖRDERZEUGE IN FRAGE?

Methanol ist chemisch ein Alkohol und unter Normalbedingungen flüssig. Er wird seit Jahrzehnten als Energieträger genutzt. Die Verwendung und das Handling als Kraftstoff sind damit den konventionellen Treibstoffen sehr ähnlich. Flurförderzeuge, die Methanol nutzen, setzen zwar sehr geringe Mengen an CO₂ frei, sie dürfen aber dennoch für den Innenbereich genutzt werden. Aufgrund seiner toxischen Eigenschaften kann Methanol allerdings in der Lebensmittel- und Pharmaindustrie nur bedingt eingesetzt werden.

7.2 DATENBLATT UND UMRECHNUNGSTABELLEN

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

					Wasserstoff			Diesel			Steinkohle		Methan (Erdgas)		Rohöl	
	J	kWh	cal	BTU	kg	Nm³	l LH₂	kg	l	kg	kg	Nm³	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)	
	Nm³	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 LH₂	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)	
	Nm³	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·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·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 ₃ H ₈	CH ₃ OH	C ₇ H ₁₆	H ₂ O	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 2
der Schriftenreihe Wasserstoff und Brennstoffzellen

Flurförderzeuge mit Brennstoffzellen

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)
Prof. Dr. Birgit Scheppat (Hochschule Rhein-Main)
Norbert Pfeiffer

Herausgeber

HA Hessen Agentur GmbH
Abraham-Lincoln-Straße 38-42
(ab Herbst 2012: Konradinallee 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 Heraus-
gebers 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: Still GmbH, Fotolia.com

Gestaltung: WerbeAtelier Theißen, Lohfelden

Lektorat: redaktionsbüro frantz, Göttingen

Druck: Druckerei ausDRUCK, Kassel

Mai 2012, 2. leicht veränderte Auflage



HESSEN

HessenAgentur

HA Hessen Agentur GmbH

H₂BZ

Initiative
Hessen

www.Hessen-Agentur.de
www.H2BZ-Hessen.de