

WASSERSTOFF
BEWEGT.

KOMMEN
SIE MIT!



Mit Wasserstoff kommen wir weiter

Saubere Luft ohne giftige Abgase, Unabhängigkeit von den immer knapper werdenden fossilen Ressourcen, leisere Städte und Straßen – das ist die Vision für die Mobilität von morgen. Im Rahmen der Clean Energy Partnership (CEP) ist dies bereits heute Wirklichkeit. Weltweit führende Industrieunternehmen arbeiten in der CEP über die Branchengrenzen hinaus zusammen, um ein gemeinsames Ziel zu erreichen: dass wir bald leise, emissionsarm und ohne Einschränkungen bei der Reichweite mobil sind – mit Wasserstoff!



DAIMLER



HONDA
The Power of Dreams



SIEMENS



TOYOTA



VOLKSWAGEN
AKTIENGESELLSCHAFT



www.cleanenergypartnership.de



WASSERSTOFF KOMMEN
BEWEGT. SIE MIT!



INHALTSVERZEICHNIS

Mobilität im Zeitalter des Klimaschutzes	3
Ein Leuchtturmprojekt	4
Eine starke Partnerschaft: die Clean Energy Partnership	6
Aufgabenfelder	7
1. Produktion – Energieträger Wasserstoff	8
Wasserstoffproduktion – viele Wege führen zum H ₂	10
Reformierungsverfahren	10
Wasserelektrolyse	10
Speichern von Wasserstoff	11
2. Infrastruktur – ein Tankstellennetz für Deutschland	14
Schnelle und unkomplizierte Betankung	16
Ausbau des Tankstellennetzes	16
Interview: Grundgerüst für den Start der Kommerzialisierung	17
3. Mobilität – mit Wasserstoff kommen wir weiter	20
Mit der Brennstoffzelle unterwegs	22
Interview: Ein Wasserstoffauto im Praxistest	23
H ₂ im öffentlichen Personennahverkehr	24
Interview: Mit dem Brennstoffzellenhybridbus in der Werkstatt	25
Wasserstoffbetriebe und batterieelektrische Fahrzeuge ergänzen sich	26
Wachstumsmarkt für Deutschland	26
Strategische Kooperationen für die Markteinführung der Brennstoffzelle	27
Kontakt	29



MOBILITÄT IM ZEITALTER DES KLIMASCHUTZES

Klimaschutz geht uns alle etwas an. Zu den dringenden Aufgaben gehört die Reduktion der Treibhausgase, um die Erderwärmung zu stoppen. Die Europäische Union hat zusammen mit China, Japan, Kanada, Russland und den USA das Ziel vereinbart, die CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2050 um 80 Prozent im Vergleich zu 1990 zu reduzieren. Als einer der Hauptemittenten gilt der wachsende Straßenverkehr, der Schätzungen zufolge hierfür zu 95 Prozent auf alternative Antriebe umgestellt werden muss. In der Clean Energy Partnership (CEP) arbeiten führende Industrieunternehmen gemeinsam daran, dieses Ziel zu erreichen – mit Wasserstoff als alternativem Kraftstoff. Beim Betrieb von Brennstoffzellenfahrzeugen entstehen keine CO₂-Emissionen, sondern lediglich Wasserdampf.

Doch Wasserstoff ist mehr als „nur“ ein Kraftstoff. Er könnte im Rahmen der Energiewende eine Schlüsselrolle einnehmen. Das Energiekonzept der Bundesregierung sieht ein klares Ziel für den Ausbau erneuerbarer Energien vor – von 20 Prozent im Jahr 2011 auf 80 Prozent im Jahr 2050. Voraussetzung hierfür ist ein leistungsfähiges Stromnetz, das Leistungsschwankungen erneuerbarer Energiequellen auffangen kann. Wird in bestimmten Intervallen mehr Strom erzeugt, als zu diesem Zeitpunkt benötigt wird, muss die Energie zwischengespeichert werden, um nicht verloren zu gehen. Speicherkapazitäten sind hierfür in Deutschland jedoch nur unzureichend vorhanden.

Hier könnte Wasserstoff eine Lösung bieten. Denn in Form von Wasserstoff können große Mengen Energie zwischengespeichert werden. Nicht nur über Stunden und Tage, sondern über Wochen und Monate hinweg ohne nennenswerte Verluste. Das bedeutet nicht weniger, als dass Wasserstoff in der Lage ist, einen Teil der Energiewende zu tragen. Denn die größte Herausforderung unserer Energiewirtschaft ist es derzeit, Angebot und Nachfrage von Energie zeitlich zu entkoppeln. Im Bedarfsfall verwandelt man den so erzeugten Wasserstoff wieder in Strom, z.B. in einem Kraftwerk. Am effizientesten geschieht dies in der Brennstoffzelle direkt in einem Auto, Bus, Schiff oder Flugzeug. Regenerativ erzeugt unterstützt Wasserstoff so eine CO₂-arme Energieversorgung und eine saubere Mobilität – unabhängig von fossilen Ressourcen.

Die Partnerunternehmen der CEP arbeiten gemeinsam daran, dass die Wasserstoffgesellschaft Realität wird. In mehreren Regionen Deutschlands gibt es Wasserstofffahrzeuge und -tankstellen, die sich im Demonstrationsbetrieb befinden. Die Erkenntnisse daraus fließen in die Weiterentwicklung der technischen Standards ein und dienen dazu, die Prozesse, Anlagen und Fahrzeuge kundenfreundlicher und kostengünstiger zu gestalten. Näheres zur CEP und zu ihren Aufgabenfeldern erfahren Sie auf den folgenden Seiten.



Nationales Innovationsprogramm
Wasserstoff- und
Brennstoffzellentechnologie

EIN LEUCHTTURMPROJEKT

Die CEP ist das größte Demonstrationsprojekt für Wasserstoffmobilität in Europa und ein Leuchtturmprojekt des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP). Die Leuchtturmprojekte schlagen eine Brücke zwischen Forschung und Entwicklung und den späteren Märkten. Das NIP, eine Allianz von Bund, Industrie und Wissenschaft, treibt die Marktvorbereitung der Technologien voran und wird von der bundeseigenen NOW GmbH (Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie) koordiniert. Mit dem Innovationsprogramm stellt die Bundesregierung gezielt 700 Mio. Euro für die Demonstration von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie in den Bereichen Verkehr, stationäre Versorgung und spezielle Märkte zur Verfügung. Diese Summe wird durch den Beitrag der Industrie verdoppelt, so dass in Deutschland bis 2016 rund 1,4 Mrd. Euro in die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie investiert werden.





EINE STARKE PARTNERSCHAFT: DIE CLEAN ENERGY PARTNERSHIP

Um eine emissions- und geräuscharme Mobilität zu verwirklichen, hat sich im Dezember 2002 unter der Federführung des Bundesverkehrsministeriums die Clean Energy Partnership (CEP) als gemeinsame Initiative von Politik und Industrie gegründet. Ziel ist es, Wasserstoff als alltagstauglichen Kraftstoff zu erproben. Technologie-, Mineralöl- und Energiekonzerne sowie die Mehrzahl der größten Automobilhersteller und führende Betriebe des öffentlichen Nahverkehrs beteiligen sich an dem wegweisenden Zukunftsprojekt. Als assoziierte Partner unterstützen die Bundesländer Baden-Württemberg, Hessen

und Nordrhein-Westfalen das Vorhaben der CEP, den Weg in die Wasserstoffgesellschaft bis zum Projektende 2016 zu ebnen.

Als wichtiges Demonstrationsprojekt setzt die CEP darüber hinaus auf internationale Allianzen: Bei den Kooperationen mit der California Fuel Cell Partnership (CaFCP) und dem skandinavischen Projektverbund Scandinavian Hydrogen Highway Partnership (SHHP) stehen Standardisierungsprozesse und Forschungsergebnisse im Vordergrund.

AUFGABENFELDER

1. Produktion

Saubere und nachhaltige Erzeugung von Wasserstoff

2. Infrastruktur

Schnelle und sichere Betankung, Ausbau des Tankstellennetzes

3. Mobilität

Kontinuierlicher Betrieb leistungsfähiger Wasserstofffahrzeuge



ENERGIETRÄGER WASSERSTOFF

Wäre es nicht ein gutes Gefühl, unabhängig von den immer knapper und teurer werdenden fossilen Ressourcen zu sein? Und sich auf eine klima- und umweltfreundliche Versorgung mit Wärme und Strom verlassen zu können? Wasserstoff als Energiespeicher kann hierzu einen bedeutenden Beitrag leisten.

Wasserstoff (H_2) ist das häufigste Element des Universums und quasi unendlich verfügbar – allerdings fast nur in chemisch gebundener Form. Um Wasserstoff zu produzieren, ist daher zunächst Energie notwendig.

Ein Anliegen der CEP ist es, Wasserstoff so nachhaltig wie möglich zu erzeugen, um bereits vor dem Einsatz im Fahrzeug CO_2 einzusparen. Schon heute stammt mindestens die Hälfte des Wasserstoffs an CEP-Tankstellen aus regenerativer Erzeugung.

1. PRODUKTION



Wasserstoffproduktion – viele Wege führen zum H₂

Wasserstoff findet seit mehr als hundert Jahren Anwendung in Industrieprozessen. Er kann auf vielfältige Weise erzeugt werden. Die Produktionsverfahren unterscheiden sich unter anderem hinsichtlich des CO₂-Einsparpotenzials und der aktuellen Produktionskosten.

Seit Beginn der finalen Projektphase 2011 konzentriert sich die CEP verstärkt auf die CO₂-neutrale Wasserstoffproduktion per Wasserelektrolyse mit Energie aus regenerativen Quellen. Aber auch mit Wasserstoff aus Erdgas kann Kohlendioxid eingespart werden: Bei der Verwendung in Brennstoffzellenfahrzeugen werden im Vergleich zu modernen Dieselfahrzeugen bis zu 30 Prozent weniger CO₂-Emissionen verursacht (bei einem Vergleichswert von 120 g CO₂/km bei einem Dieselfahrzeug).

Reformierungsverfahren

Die Dampfreformierung aus Erdgas ist bewährt und wird in großen Anlagen betrieben. Der hier erzeugte Wasserstoff ist heute daher noch kostengünstiger als der deutlich CO₂-ärmer erzeugte Wasserstoff, der hauptsächlich in kleineren Pilotanlagen mittels Wasserelektrolyse oder aus Biomasse hergestellt wird. Doch mit der steigenden Anzahl dieser Anlagen und der Einbindung des Energieträgers Wasserstoff in die Energiewende sind Skaleneffekte zu erwarten, die sich positiv auf die Preisgestaltung von „grünem“ Wasserstoff auswirken werden.

Ein Teil des heute produzierten Wasserstoffs entsteht als Neben- oder Kuppelprodukt in Prozessen der Chemieindustrie und wird auch von dieser in anderen Prozessen wieder verbraucht, vor allem in der Petrochemie. Im industriellen Maßstab wird Wasserstoff heute hauptsächlich durch Reformierung aus Erdgas erzeugt. Unter Zuführung von Wasserdampf und Wärme entsteht dabei ein wasserstoffhaltiges Synthesegas.

Wasserelektrolyse

Die Wasserelektrolyse macht eine emissionsfreie Erzeugung von Wasserstoff möglich, wenn der zur Elektrolyse benötigte Strom aus regenerativen Quellen stammt. Bei der Elektrolyse wird Wasser (H₂O) mit einer Flüssigkeit versetzt, die den Ionentransport verbessert. Unter Einsatz von Strom wird Wasser in die Bestandteile Wasserstoff (H₂) und Sauerstoff (O) zerlegt. Dabei wandert der Wasserstoff zum negativ geladenen und der Sauerstoff zum positiv geladenen Pol. Die eingesetzte elektrische Energie wird in chemische umgewandelt und in Wasserstoff gespeichert. Umgekehrt funktioniert die Brennstoffzelle. Sie wandelt die in Wasserstoff gespeicherte chemische Energie wieder in elektrische Energie um – emissionsfrei.

Die Elektrolyse kann direkt an der Tankstelle oder zentral in größeren Anlagen mit anschließendem Transport zur Tankstelle erfolgen. Im Rahmen der CEP werden beide Möglichkeiten erprobt. Bei dezentraler Erzeugung arbeiten die H₂-Stationen

Speichern von Wasserstoff

quasi „autark“ und erzeugen ihren Wasserstoff vor Ort, wobei Kosten für den Transport entfallen. Die Herstellung von großen Mengen Wasserstoff in zentralen Anlagen kann bei kurzen Transportwegen jedoch die wirtschaftlichere Lösung sein.

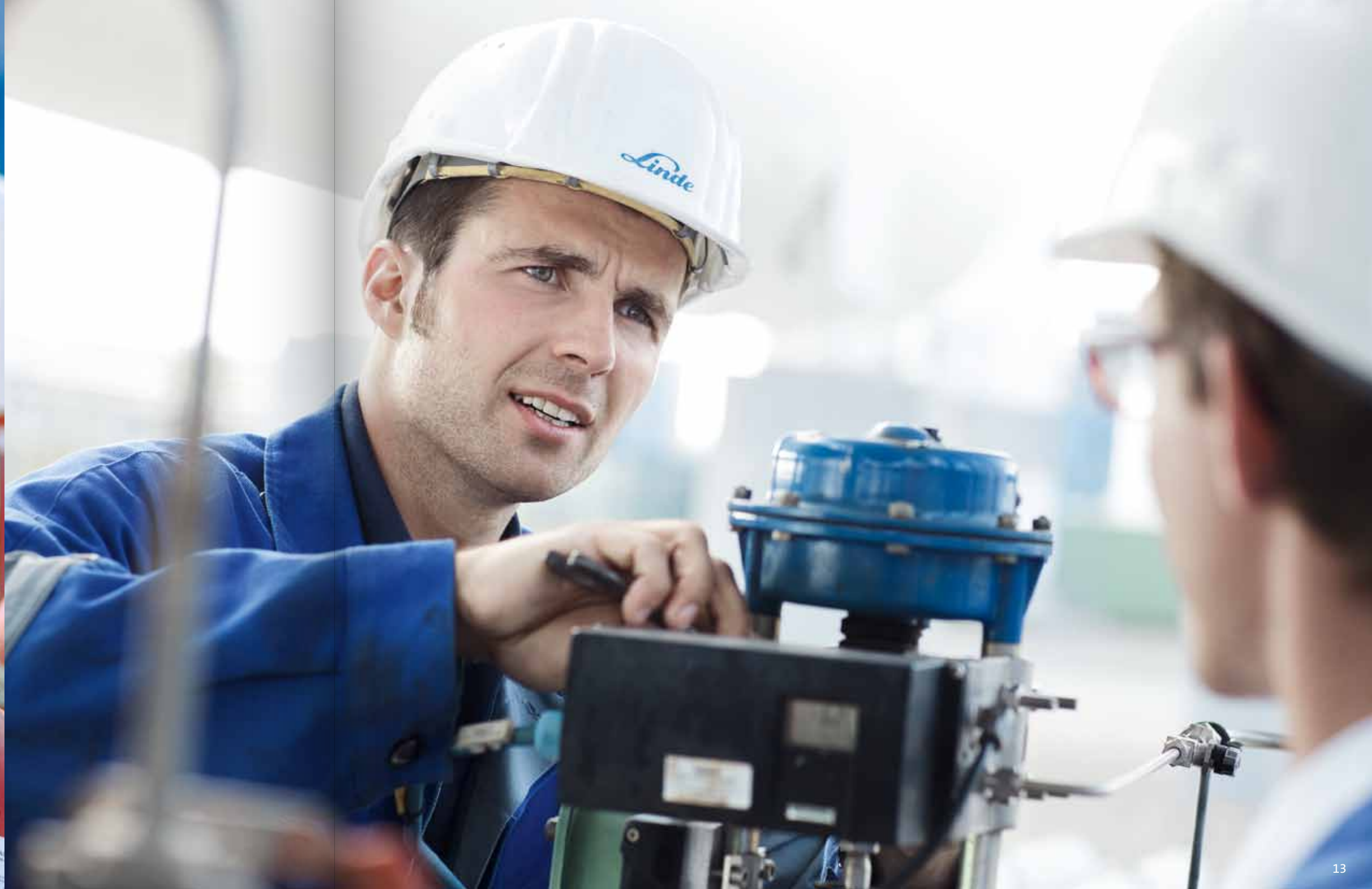
Die Wasserelektrolyse mit regenerativem Strom ist aber nicht nur für die Erzeugung von Wasserstoff als Kraftstoff relevant. Sie stellt zudem eine Speichermöglichkeit für den Überschussstrom dar, den wir heute durch die Umstellung der Energiewirtschaft auf erneuerbare Quellen in Deutschland haben. In Form von Wasserstoff können große Energiemengen gespeichert und bei Bedarf in elektrische Energie umgewandelt werden.

Wasserstoff ist das leichteste uns bekannte Element – 14-mal leichter als Luft. Seine geringe Dichte stellt besondere Herausforderungen an die Speicherung in Fahrzeugen und an Tankstellen sowie an den Transport. Für die Speicherung in Fahrzeugen konzentriert sich die CEP auf die gasförmige Speicherung bei 350 bar in Bussen und bei 700 bar in Pkw. Seit Mitte 2015 wird zusätzlich die Kryodruck-Speichertechnologie erprobt. Bei der Betankung wird Wasserstoff gasförmig bei tieftemperierter Temperatur und einem Druck von bis zu 350 bar im Pkw gespeichert. Diese Technologie ist im Vorentwicklungsstadium und daher erst längerfristig einsetzbar.

Bei der Lagerung an den Tankstellen und beim Transport kommen sowohl die gasförmige Speicherung unter hohem Druck als auch die Speicherung von tieftemperiertem, flüssigem Wasserstoff bei einer Temperatur von –253 °C zum Einsatz. Die jeweils passende Option wird nach logistischen, wirtschaftlichen und energetischen Gesichtspunkten ausgewählt.

Weit verbreitet ist die Meinung, dass Wasserstoff durch Materialien hindurchdiffundiert und nicht im Tank bleibt. In der Tat sind die Wasserstoffmoleküle sehr klein. Seit mehr als hundert Jahren wird Wasserstoff jedoch in Stahlflaschen ohne Probleme bei einem Druck von 200 bar und mehr transportiert und gelagert. Auch bei den modernen Fahrzeugtanks ist die Diffusion in der Praxis vernachlässigbar. Die Tanksysteme wurden in Tests schwersten Belastungen ausgesetzt und vom TÜV zugelassen. Wasserstofffahrzeuge können daher ohne Bedenken in Tunnels und Tiefgaragen einfahren.





2. INFRASTRUKTUR

EIN TANKSTELLENNETZ FÜR DEUTSCHLAND

Brennstoffzellenfahrzeuge nutzen gasförmigen Wasserstoff als Treibstoff. Dieser wird in der Brennstoffzelle in Strom umgewandelt, der wiederum einen Elektromotor antreibt. Der Tankprozess ist vergleichbar mit dem Tanken von konventionellen Kraftstoffen und dauert etwa drei Minuten. Je nach Größe des Treibstofftanks schaffen die Fahrzeuge bereits heute mit einem Tankinhalt Reichweiten zwischen 300 und 700 km.



Schnelle und unkomplizierte Betankung

In der CEP werden von den Industriepartnern gemeinsame technische Standards festgelegt – über die Branchengrenzen hinweg. So gibt es einen weltweiten Standard für die Befüllkupplung wie auch für den gesamten Betankungsprozess. Es gibt also nicht hunderte Versionen von „Steckern“, wie das in der Batteriewelt derzeit der Fall ist, sondern einen einzigen Tankstutzen, der auf alle Fahrzeuge passt. Die Flottenfahrzeuge der CEP können an jeder beliebigen Tankstelle des Projekts schnell und sicher innerhalb von drei Minuten mit gasförmigem Wasserstoff aufgetankt werden. Der Tankprozess ist mit dem herkömmlichen Tanken vergleichbar.

Ausbau des Tankstellennetzes

Im Juni 2012 wurde ein wichtiger Grundstein für die zukünftige Wasserstoffversorgung gelegt: Das Bundesverkehrsministerium und die Industriepartner Air Liquide, Air Products, Daimler, Linde und Total Deutschland beschlossen in einer Absichtserklärung den gemeinsamen Ausbau des Tankstellennetzes. Bis zum Ende der Laufzeit des NIP – bis 2016 – wird es in der Bundesrepublik 50 Wasserstofftankstellen geben. Damit wird Deutschland weltweit das erste Land sein, das über ein Grundversorgungsnetz verfügt. Möglich macht das die Arbeit der CEP, die die technischen Voraussetzungen geschaffen hat, auf denen man nun aufbaut. Im September 2013 haben sich die Partner der H₂ Mobility Initiative – Air Liquide, Daimler, Linde, OMV, Shell und Total – auf einen konkreten Handlungsplan verständigt. Er sieht vor, dass das Netz von Wasserstofftankstellen in Deutschland bis 2023 auf 400 Stationen ausgebaut wird.



INTERVIEW

Grundgerüst für den Start der Kommerzialisierung

In der CEP tauschen sich die Partnerunternehmen in verschiedenen Arbeitsgruppen zu den Themen Mobilität, Produktion und Infrastruktur aus. Der Ausbau des Tankstellennetzes ist dabei ein Fokusthema. Andrés Fernández Durán, Leiter der AG Produktion und verantwortlich für die Wasserstoffenergieaktivitäten bei Air Liquide in Deutschland, und Lars Zimmermann, Leiter der AG Infrastruktur und Projektleiter für Wasserstoffanwendungen bei Shell Deutschland, berichten über den aktuellen Stand des Infrastrukturausbaus.



Lars Zimmermann, Leiter der AG Infrastruktur und Projektleiter für Wasserstoffanwendungen bei Shell Deutschland



Andrés Fernández Durán, Leiter der AG Produktion und verantwortlich für die Wasserstoffenergieaktivitäten bei Air Liquide in Deutschland

Die Bundesregierung und Industriepartner hatten 2012 angekündigt, 50 H₂-Stationen bis Ende 2015 zu bauen. Was ist der aktuelle Plan der CEP zum Infrastrukturausbau in Deutschland?

L.Z.: Die CEP setzt die Pläne zum Bau der ersten 50 H₂-Stationen in Deutschland derzeit um. Der Fortschritt ist zwar etwas langsamer als geplant, allerdings kommen die in der CEP gemachten Erfahrungen nun auch der H₂ Mobility

und weiteren am Ausbau der Infrastruktur beteiligten Institutionen zugute. Der weitere Ausbau wird dadurch deutlich reibungsloser vonstattengehen.

A.F.: Wir gehen davon aus, dass wir Ende 2015 ungefähr 20–25 Stationen in Deutschland haben werden. Bis zum Ende der CEP 2016 werden die 50 Tankstellen komplett sein. Dann haben wir das Grundgerüst, um eine Kommerzialisierung mit der H₂ Mobility zu starten.

Wie sieht die Zusammenarbeit zwischen der CEP und der H₂ Mobility Deutschland GmbH & Co. KG aus?

A.F.: Die CEP geht 2016 zu Ende und die H₂ Mobility ist 2015 gestartet. Es wird einen reibungslosen Übergang geben. Der Netzausbau wird bereits koordiniert, die ersten sieben Tankstellen baut die H₂ Mobility gemeinsam mit der CEP. Die Art des Projekts ist anders, es gibt nicht mehr viele

Einzelpartner wie bei der CEP, sondern ein Unternehmen mit den sechs Gesellschaftern Air Liquide, Daimler, Linde, OMV, Shell und Total.

L.Z.: Viele Projektleiter, die im Rahmen der CEP bereits für den Bau von Tankstellen zuständig waren, führen diese Arbeit im Rahmen der H₂ Mobility fort, so dass das Wissen auf jeden Fall weitergetragen wird.

Was sind derzeit die größten Herausforderungen beim Aufbau neuer H₂-Tankstellen?

L.Z.: An H₂-Tankstellen werden dieselben Anforderungen bezüglich Sicherheit, Umweltverträglichkeit usw. gestellt wie an konventionelle Tankstellen. Es dauert zum Teil aber deutlich länger, die nötigen Unterlagen bereitzustellen, die Prozesse sind noch nicht so eingespielt. Dies gilt für H₂-Zapfsäulen an konventionellen Tankstellen und für ganz neue Standorte gleichermaßen. Wir müssen unsere Wege in den Städten und Behörden manchmal erst finden. Dennoch: Wir sind in Deutschland mit der Errichtung von Wasserstofftankstellen weltweit führend.

A.F.: Air Liquide sucht in erster Linie Standorte, die keine konventionellen Tankstellenstandorte sind. Wir wollen Parteien mit einbinden, die nicht unbedingt eine Tankstelle betreiben, wie z.B. Flughäfen oder Autohäuser. Die Standortsuche ist dabei sehr zeitaufwendig.

Nach welchen Kriterien werden die Standorte von H₂-Tankstellen ausgewählt?

A.F.: Wir suchen zuerst die Region aus, damit die Tankstellen dort stehen, wo wir sie wirklich brauchen. Im ersten Schritt

sind dies die Großstädte, hier sehen die Automobilhersteller das größte Potenzial für den Absatz von H₂-Fahrzeugen. Im zweiten Schritt werden Verbindungen zwischen den Regionen geschaffen.

L.Z.: Dem Kunden soll mit wenigen Tankstellen eine möglichst flächendeckende Infrastruktur zur Verfügung gestellt werden. In eng bebauten Gebieten wie Hamburg, Berlin oder München sind aufgrund der engen Platzverhältnisse aber oftmals Kompromisse notwendig. In den vergangenen Jahren wurden immer mehr Kraftstoffe an den Tankstellen hinzugefügt: Erst LPG, dann kam CNG hinzu und heute zum Teil noch Stromladesäulen. Es gibt vom Platz her immer weniger Spielraum für neue Kraftstoffe an konventionellen Tankstellen.

Elektroautos sind nur so umweltfreundlich wie der Kraftstoff, mit dem sie fahren – wie sauber ist der Wasserstoff an CEP-Tankstellen?

L.Z.: An den CEP-Tankstellen stellen wir zu 50 Prozent Wasserstoff aus regenerativer Erzeugung zur Verfügung, der hauptsächlich per Wasserelektrolyse aus regenerativem Strom gewonnen wird.

A.F.: Mit Wasserstoff aus regenerativen Energien hat man eine mehr oder we-

niger komplett CO₂-freie Produktionskette. Neben der Wasserelektrolyse gibt es einen weiteren Produktionspfad für grünen Wasserstoff. Die Dampfreformierung aus Biomasse. Hierbei verwendet man anstelle von Erdgas Biomethan als Rohstoff. Ab Ende 2015 wird Air Liquide eine solche Anlage zur Wasserstoffproduktion betreiben. Die vom TÜV zertifizierte CO₂-Einsparung gegenüber der konventionellen Erdgasreformierung wird mindestens 30–50 Prozent, perspektivisch bis zu 70 Prozent betragen. Linde verfügt über eine ähnliche Anlage an ihrem Standort in Leuna.

Es gibt zentrale Produktionsstätten von Wasserstoff und auch Tankstellen, die vor Ort Wasserstoff erzeugen. Was sind die Vor- und Nachteile?

L.Z.: Der Transport von Wasserstoff ist im Vergleich zu dem von Benzin und Diesel relativ aufwendig. Die Menge pro Transport ist viel geringer, womit die Kosten deutlich höher sind. Bei langen Lieferwegen lohnt es sich unter Umständen, den Wasserstoff vor Ort herzustellen.

A.F.: Zukünftig wollen wir mehr Wasserstoff regenerativ mit grünem Strom an der Tankstelle oder in kleineren, dezentralen Anlagen produzieren. Dies ist noch deutlich teurer als z.B. die großindustrielle Reformierung



Elektrolyseur der Wasserstofftankstelle Hamburg, Schnackenburgallee

aus Erdgas. Das muss sich ändern. Wenn die Rahmenbedingungen stimmen, werden wir auch in großem Maßstab Wasserstoff aus erneuerbaren Energiequellen zu wettbewerbsfähigen Preisen produzieren können. Bei den Anlagengrößen bewegen wir uns mit großindustriellen Partnern wie Siemens in eine gute Richtung.

In der CEP wurden H₂-Stationen als sehr unterschiedliche Versuchsanlagen gebaut, um Erfahrungswerte zu sammeln. Hat man sich inzwischen auf ein „Serienmodell“ geeinigt?

L.Z.: Wir sind an dem Punkt angekommen, wo die großen Hersteller in die Serienproduktion einsteigen. Es können künftig 30, 40 oder auch 50 identische Anlagen gebaut werden, so dass mit Kostenvorteilen und einer höheren Zuverlässigkeit der Anlagen zu rechnen ist.

A.F.: Alle bisherigen Erfahrungen aus weltweiten Demonstrationsprojekten fließen in den Bau der nächsten 30 CEP-Stationen ein. Die Anlagen von Linde und Air Liquide werden identisch aufgebaut sein. Nicht nur die Kosten für das technische Equipment, auch die Gesamtbetriebskosten werden durch gleiche Ersatzteile und Reparatüreinsätze sinken.

Die Kosten für die Tankstellentechnik liegen bei ca. 1 Million Euro pro Anlage. Wird das auf absehbare Zeit auf diesem Niveau bleiben?

A.F.: Wir denken, dass dies nicht der Fall sein wird. Derzeit gibt es noch einen Mangel an Lieferanten, die wirklich Alternativen bieten. Oft sind wir an einen, wenn wir Glück haben, an zwei Lieferanten gebunden. Mit der größeren Anlagenzahl wird sich dies hoffentlich ändern, so dass auch die Kosten deutlich sinken. Bei den Fahrzeugen ist die Situation ähnlich.

L.Z.: Zurzeit werden die Anlagen aus Teilen gebaut, die bereits am Markt verfügbar sind. Im nächsten Schritt werden wir speziell für die Anlagen gefertigte Bauteile verwenden, um die Kosten weiter zu senken. Im Bereich Wasserstofftankstellen wird zudem international massiv geforscht. Wir gehen davon aus, dass weitere technische Innovationen ebenfalls zu Preisreduktionen führen werden.

Die CEP endet 2016. Was passiert nach Projektende mit den Tankstellen?

A.F.: Der Großteil der Anlagen wird weiterbetrieben – entweder durch die H₂ Mobility oder die bisherigen Betreiber. Ausnahmen werden einige

ältere Versuchsanlagen bilden.

L.Z.: Die H₂ Mobility wird die Tankstellentechnik vor allem hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Kundenfreundlichkeit überprüfen. Möglicherweise werden dann einige CEP-Tankstellen durch neue Stationen in der Umgebung abgelöst.

Ist der Aufbau einer Ladeinfrastruktur für Batteriefahrzeuge ähnlich komplex und kostenintensiv wie der für Wasserstoffautos?

L.Z.: Auch für eine Ladeinfrastruktur, gerade für Schnellladesäulen, sind hohe Investitionen notwendig. Zusätzlich gibt es die Herausforderung des Platzbedarfs, da die Verweildauer an der Ladesäule sehr lang ist. In Gebieten, wo Platzmangel besteht, ist es daher schwierig, Ladesäulen zur Verfügung zu stellen.

A.F.: Komplexität und Kosten sprechen eher für die Wasserstoffinfrastruktur: Eine H₂-Zapfsäule kostet sicherlich deutlich mehr als eine Schnellladesäule. Aber eine Wasserstoffzapfsäule kann viele Autos am Tag innerhalb weniger Minuten betanken, eine Stromladesäule nur wenige Fahrzeuge. Für die gleiche Fahrzeuganzahl betrachtet, ist die H₂-Infrastruktur daher etwas günstiger. Ich glaube aber, dass wir beide Technologien brauchen.

MIT WASSERSTOFF KOMMMEN WIR WEITER

Im Fokus der Clean Energy Partnership (CEP) steht die saubere Mobilität der Zukunft – geräusch- und emissionsarm und ohne Einschränkungen bei der Reichweite. Wenn der Tank leer ist, geht die Fahrt nach einem dreiminütigen Tankstopp weiter. Aus dem Auspuff kommt dabei nur etwas Wasserdampf. Das Brennstoffzellenauto ist ein echter Allrounder – im Alltag genauso unkompliziert wie heutige Benziner und Dieselfahrzeuge. Die Wasserstofftechnologie eignet sich insbesondere auch für größere Fahrzeuge, die längere Strecken fahren.



3. MOBILITÄT

Mit der Brennstoffzelle unterwegs

In wasserstoffbetriebenen Autos und Bussen kommt eine neue Antriebstechnologie zum Einsatz. Das Herz dieser Fahrzeuge ist die Brennstoffzelle. In ihr reagieren Wasserstoff und Sauerstoff in einem chemischen Prozess, der Energie erzeugt. Dabei wird die Energie, die im Wasserstoff gespeichert ist, als Strom freigegeben. Somit ist ein Brennstoffzellenfahrzeug auch ein Elektrofahrzeug. Die Brennstoffzelle selbst besteht aus vielen Einzelzellen, die, in Reihe zu einem Block geschaltet, genügend Leistung für den Antrieb des Elektromotors generieren. Dies geschieht völlig

ohne schädliche Emissionen – nur Wärme und Wasserdampf werden geringfügig freigesetzt. Die CEP konzentriert sich auf die weitere Optimierung der Brennstoffzellensysteme. Viele Hürden wurden hier bereits genommen. Die Dauerhaltbarkeit unter hoher Last, die Kaltstartfähigkeit bei Außentemperaturen von bis zu –30 °C sowie die Sicherheitsmaßnahmen im Falle eines Unfalls sind optimiert worden. Zudem wurden die Systeme kompakter und leistungsfähiger. Bereits heute sind Reichweiten von bis zu 700 km mit einem Brennstoffzellenfahrzeug möglich. Jetzt gilt es,

eine signifikante Senkung der Produktionskosten zu erreichen, um den Markteintritt zu realisieren.

Die Brennstoffzelle ist ein sehr effizienter Antrieb mit einem Systemwirkungsgrad von bis zu 65 Prozent. Zum Vergleich: Beim Benzinmotor liegt dieser bei 25–35 Prozent. Dadurch ist der Gesamtwirkungsgrad von der Produktion des Treibstoffs bis zum Tank (Well-to-Wheel) bei einem Brennstoffzellenfahrzeug, trotz des Energieaufwandes für die Produktion des Wasserstoffs, bereits heute höher als bei einem herkömmlichen Pkw.



INTERVIEW

Ein Wasserstoffauto im Praxistest



Rene Koltz arbeitet bei der Piepenbrock Unternehmensgruppe, die rund 27.000 Mitarbeiter in Deutschland und Österreich beschäftigt

Ortstermin in Berlin-Reinickendorf: Hier treffen wir Rene Koltz, Kundenbetreuer der Berliner Niederlassung von Piepenbrock. Die Piepenbrock Unternehmensgruppe ist ein inhabergeführtes Familienunternehmen, das ein breit gefächertes Dienstleistungsspektrum in den Bereichen Facility Management, Gebäudereinigung, Sicherheit und Instandhaltung anbietet. Rene Koltz fährt eine B-Klasse F-Cell von Mercedes-Benz und berichtete uns von seinen Erfahrungen.

Worin unterscheidet sich das Wasserstoffauto von anderen Fahrzeugen?

Beim Anfahren greift der Elektromotor sofort und die Beschleunigung ist direkt da. Man hört keine Motorengeräusche, nur die Reifen, wenn man schneller wird. Ich bin absolut zufrieden.

Wie schlägt sich der neue Antrieb im Alltag?

Ich fahre im Monat zwischen 1.500 und 2.000 km damit. Bislang habe ich 25.000 km zurückgelegt. Ich bin viel in der Stadt unterwegs, nutze das Fahrzeug so praxisnah wie möglich. Am Anfang bin ich immer erst tanken gefahren, wenn der Tank fast leer war. Das sorgte schon einmal für Frustration, wenn gerade in dem Moment die Wasserstofftankstelle, die ich anfuhr, in Wartung war. Das war eine Lernphase für mich. Heute plane ich den Tankstopp rechtzeitig in meine Touren ein, also bereits, wenn der Tank erst halb leer ist. Außerdem gibt es inzwischen mehrere Tankstellen in Berlin, so dass ich auch ausweichen kann. Nicht zuletzt existiert mittlerweile ein Verfügbarkeitssystem der CEP, das anzeigt, ob die Wasserstofftankstelle funktioniert, die man anfahren will.

Was sagen denn die Kunden oder Ihre Kollegen, wenn Sie mit dem Wasserstoffauto auftauchen?

Es wird schon wahrgenommen, dass es sich um ein besonderes Auto handelt. Am Anfang wollte jeder einmal mitfahren, auch Bedenken wurden geäußert und man fragte mich nach der Sicherheit. Inzwischen hat sich das Interesse im Kollegenkreis normalisiert. Insbesondere die Kunden finden das Thema sehr spannend. Meistens wollen sie wissen, wo es diese Autos zu kaufen gibt, wann die Serie kommt und was es kosten wird.

Würden Sie das Auto auch privat fahren?

Ja, aber nur als Zweitwagen. Denn im Moment ist die Reichweite aufgrund der fehlenden Tankstelleninfrastruktur relativ überschaubar. Ich würde mir mehr Wasserstofftankstellen wünschen. In jedem Stadtviertel müsste eine sein, dann wären Brennstoffzellenfahrzeuge absolut gleichwertig mit konventionellen. Persönlich glaube ich, dass sich Wasserstoff durchsetzen wird. Bei einem rein batterieelektrischen Auto müsste ich sechs Stunden warten, bis die Batterie wieder geladen ist. Mit Wasserstoff im Tank kann man besser planen.

H₂ im öffentlichen Personennahverkehr

Im Rahmen der CEP bereiten Wasserstoffbusse den Busverkehr der Zukunft in Großstädten vor: In Hamburg ist seit 2011 die zweite Generation von Brennstoffzellenhybridbussen im Einsatz. Sie ermöglichen ein nahezu geräuschloses Fahren ohne Schadstoffemission und eignen sich daher besonders für den Einsatz in Innenstädten oder Wohngebieten. Sowohl Anwohner als auch Fahrgäste schätzen den leisen Betrieb der Fahrzeuge. Gleiches gilt für die Batteriebusse mit Brennstoffzelle als Range-Extender, die seit Dezember 2014 Teil der Hamburger Busflotte sind.

Die Klimaschutzziele des Hamburger Senats sind ehrgeizig: Im Vergleich zu 1990 soll der CO₂-Aus-

stoß der Hansestadt bis 2020 um gut 40 Prozent gesenkt werden. Um diesen Plan einzuhalten, sollen ab 2020 keine mit Dieselmotor betriebenen Fahrzeuge mehr eingekauft werden, sondern ausschließlich Linienbusse, die lokal emissionsfrei sind. Auf der Innovationslinie 109 lässt sich diese Entwicklung seit Dezember 2014 beobachten, da dort seitdem ausschließlich Fahrzeuge mit innovativen Antriebstechnologien eingesetzt werden. Damit besteht erstmals die Möglichkeit, verschiedene Technologien unter vergleichbaren Rahmenbedingungen zu testen.

Auch Nordrhein-Westfalen erprobt den Betrieb von Wasserstoffbussen. Seit 2011 werden im Kölner

Stadtverkehr Gelenkbusse mit Brennstoffzellenantrieb eingesetzt.

In Baden-Württemberg startete 2013 der Linienbetrieb mit der zweiten Generation von Brennstoffzellenhybridbussen. Zwischen den Standorten des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) sind seit Juni 2013 zwei Busse im Shuttlebetrieb im Einsatz. Seit Ende 2013 sind auch in Stuttgart wieder Brennstoffzellenbusse unterwegs. Damit wird ein erfolgreicher Flottenversuch fortgeführt: Zwischen 2003 und 2005 war hier bereits die Vorgängergeneration im Einsatz mit dem Ziel, die Alltagstauglichkeit der Busse in einer hügeligen Topografie zu testen.



INTERVIEW

Mit dem Brennstoffzellenhybridbus in der Werkstatt

Die FFG Fahrzeugwerkstätten Falkenried betreut die Busflotte der Hochbahn und ihrer Tochterunternehmen. So auch die neueste Generation der Brennstoffzellenhybridbusse des Typs Citaro FuelCell-Hybrid sowie der Batteriebusse mit Brennstoffzelle als Range-Extender. Wir haben Nico Ewert, Kraftfahrzeugmechatroniker mit der Fachrichtung Kommunikationstechnik im vierten Lehrjahr bei der FFG, besucht.



Auszubildender Nico Ewert in der Hybridwerkstatt der FFG

Kannst du uns deine Tätigkeit kurz erläutern?

Ich diagnostiziere Fehler im Fahrzeugsystem und behebe sie. Außerdem bin ich für die Durchführung der Wartung zuständig. Die Fachrichtung Kommunikationstechnik ist aus der Richtung Elektrik entstanden und ist noch relativ neu. Heute sind die Systeme im Fahrzeug viel stärker vernetzt als früher.

Besteht ein großer Unterschied zwischen Elektrofahrzeugen und solchen mit Verbrennungsmotor?

Im Bereich Elektromobilität sind die Fahrzeugsysteme noch viel komplexer. Es gibt kein Schaltgetriebe mehr, der Elektromotor überträgt die Kraft direkt auf die Antriebsachse. Es gibt weniger mechanische Vorgänge im Fahrzeug, dafür stecken hier einfach mehr Technik und Elektronik drin – sehr spannend!

Die Brennstoffzellenbusse sind im Rahmen der CEP im Erprobungsbetrieb. Macht sich das in der Wartung bemerkbar?

Für die Brennstoffzellen- und Dieselhybridbusse der Hochbahn gibt es spezielle Wartungen. Alle 2.000 km kommen die Busse zu einem Kurzcheck für zwei bis drei Stunden zur FFG.

Bei der Jahreswartung werden neben der konventionellen Technik auch die speziellen Hochvoltkomponenten und das Brennstoffzellensystem überprüft. Der Wartungsaufwand beträgt ca. zwei Tage, bei einem Bus mit konventionellem Dieselmotor ist die Wartung an einem Tag zu schaffen. Mit den Messungen und Reparaturberichten leisten wir einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Fahrzeuge und stehen im direkten Kontakt mit den Fahrzeugherstellern.

Es gibt ja auch Pkw mit Brennstoffzellenantrieb – gibt es da große technische Unterschiede?

Das System ist sehr ähnlich aufgebaut. Um die Kosten so gering wie möglich zu halten, kommt im Brennstoffzellenbus sogar das gleiche Brennstoffzellensystem wie im Mercedes-Benz B-Klasse F-Cell zum Einsatz. Mit dem Unterschied, dass im Bus zwei dieser Systeme eingebaut sind – für eine höhere Leistung.

Siehst du in der Kenntnis der neuen Antriebstechnologie einen beruflichen Vorteil?

Ja, denn es gibt noch nicht viele Leute, die in dem Bereich tätig sind. Nach meinen Abschlussprüfungen werde ich weiter als Geselle bei der FFG tätig sein und mich weiter auf dieses Gebiet spezialisieren. Ich habe hier die besten Voraussetzungen: Mir ist kein anderer Busbetrieb in Deutschland bekannt, der eine so große Flotte mit alternativen Antriebstechniken im Einsatz hat wie die Hochbahn und Themen wie Umwelt und Nachhaltigkeit bei der Ausbildung junger Menschen so großschreibt.

Wasserstoffbetriebene und batterieelektrische Fahrzeuge ergänzen sich

Welche Technologie setzt sich am Ende durch – rein batterieelektrische Fahrzeuge oder der Brennstoffzellenantrieb? Die Frage stellt sich gar nicht. Es wird die richtigen Einsatzbereiche für beide Technologien geben. Schwere Fahrzeuge wie Busse, Lkw und große Autos, die hohe Reichweiten benötigen, werden nicht mit Batterien ausgestattet werden. Hier ist der Einsatz der Brennstoffzelle ohne Alternative, weil Batterien zu schwer und die Ladezeiten lang wären. Kleine batteriebetriebene Fahrzeuge hingegen, die über einen eigenen Stellplatz verfügen, sind unschlagbar effizient auf kürzeren Strecken. Beide Technologien brauchen noch etwas Zeit, um den Ausbau ihrer jeweiligen Infrastruktur voranzubringen. Für beide Technologien sind Kaufanreize nötig, damit sie sich erfolgreich am Markt etablieren.

In den heimischen Verkehrssektor fließt etwa ein Drittel unseres Energiebedarfs. Die durch die Politik gesetzten Klimaschutzziele können wir nur erreichen, wenn die Fahrzeugantriebe elektrisch werden.

Wachstumsmarkt für Deutschland

Die deutschen Automobilhersteller gehören weltweit zur Spitzengruppe. Jeder siebte Arbeitsplatz in Deutschland hängt direkt oder indirekt mit dieser Branche zusammen. Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs und Wasserstoff als alternativer Kraftstoff sind eine Chance für den Wirtschaftsstandort Deutschland, seine internationale Spitzenposition auf dem Gebiet zukunftsweisender Kraftstoff- und Antriebskonzepte auszubauen. Wenn alle Akteure an einem Strang ziehen, können nach Schätzungen der NPE (Nationale Plattform Elektromobilität) bis 2020 rund 30.000 zusätzliche Arbeitsplätze durch die Elektromobilität in Deutschland geschaffen werden. So spielt z.B. die chemische Industrie in der Wertschöpfungskette eine wichtige Rolle, ihre Innovationen sind für die Batterie- und Brennstoffzellentechnik entscheidend. Aber auch in anderen Branchen entstehen dank der neuen Antriebstechnologie neue Berufe und Serviceangebote.

Wie schnell und in welcher Größenordnung sich die Elektromobilität im Markt etablieren kann, wird von den Rahmenbedingungen abhängen. Neben der Entwicklung der Rohstoffpreise und der Unterstützung der Politik ist letztendlich die Akzeptanz der Verbraucher entscheidend.



KOOPERATIONEN

STRATEGISCHE KOOPERATIONEN FÜR DIE MARKTEINFÜHRUNG DER BRENNSTOFFZELLE

Die CEP als Demonstrationsprojekt befindet sich in der finalen Projektphase, die 2016 in der Marktvorbereitung enden soll. 2013 verkündeten die weltweit größten Automobilhersteller eine Reihe von internationalen Kooperationen über die Arbeit der CEP hinaus.

Im Januar 2013 unterzeichneten **BMW** und **Toyota** einen Vertrag über eine vertiefte Zusammenarbeit. Ein wesentlicher Punkt hierbei ist die Brennstoffzellentechnologie, die aus Sicht beider Unternehmen eine wichtige Voraussetzung dafür ist, null Emissionen zu erreichen. Zusammen werden die Unternehmen ein grundlegendes Brennstoffzellen-Fahrzeugsystem entwickeln, das auch die Bereiche Wasserstofftank, Motor und Batterie umfasst. Die Entwicklung soll 2020 abgeschlossen sein.

Auch **Daimler**, **Ford** und **Nissan** haben 2013 ein Abkommen zur gemeinsamen Entwicklung eines Brennstoffzellensystems getroffen. Die Technologie hat heute einen Stand erreicht, der die Entwicklung der jeweiligen unternehmenseigenen Fahrzeugapplikationen zulässt. Damit ist der Weg für die Einführung von wettbewerbsfähigen Brennstoffzellenfahrzeugen ab 2017 geebnet. Zusammen zeichnen sich **Daimler**, **Ford** und **Nissan** durch mehr als 60 Jahre Erfahrung in der Entwicklung im Bereich der Brennstoffzellentechnologie aus.

Gemeinsame Wege bei der Entwicklung neuer Brennstoffzellentechnologie gehen seit Juli 2013 auch **General Motors** und **Honda**. Bis 2020 sollen aus der Kooperation zukünftige Brennstoffzellensysteme und Technologien zur Wasserstoffspeicherung hervorgehen. Profitieren will man vor allem von den Erfahrungen beider Partner, von Skaleneffekten sowie von gemeinsamen Beschaffungsstrategien. Eine Partnerschaft auf Augenhöhe: Laut dem US-amerikanischen Clean Energy Patent Growth Index haben **GM** und **Honda** von 2002 bis 2012 mehr als 1.200 Brennstoffzellenpatente einge-



reicht und liegen damit auf Rang eins und zwei. Die Kooperationen haben eine wichtige Signalwirkung für Zulieferer, Politik und Industrie, besonders in Hinblick auf den Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur. Sie verdeutlichen die Entschlossenheit der Industrie, die Markteinführung der Brennstoffzellentechnologie mit signifikanten Stückzahlen zu marktfähigen Preisen vorzubereiten.



Kontakt

Clean Energy Partnership
c/o be: public relations gmbh

Tel.: +49 (0)40 238 05 87 90

Fax: +49 (0)40 238 05 87 96

E-Mail: cep@bepr.de

www.cleanenergypartnership.de

www.facebook.com/cleanenergypartnership

www.youtube.com/cleanenergypartner



Id-Nr. 1327279
www.bvdm-online.de



Papier aus verantwortungsvollen Quellen
FSC® C004867



MIT WASSERSTOFF KOMMEN WIR WEITER.

