

Herausgeber:

b.v.s
Sachverständige

Bundesverband öffentlich
bestellter und vereidigter
sowie qualifizierter
Sachverständiger e. V.

Der Sachverständige

Fachzeitschrift für Sachverständige, Kammern,
Gerichte und Behörden

SCHWERPUNKTTHEMA

Kraftfahrzeugwesen

Aus dem Inhalt

EDITORIAL

Ronald Lorenz
Automobilität im Wandel 169

AKTUELL

Bernd Täffner
Veranstaltung zum Landesgrundstücksmarktbericht
Rheinland-Pfalz 2021 171

AUFSÄTZE

Ronald Lorenz
Sachverständige im Straßenverkehrswesen 173

Jürgen Wolf
Wasserstoff als Antriebstechnologie in Stadtlinienbussen 177

Udo Golka
Schwarz, rund, sicher - sicher? - Aus der Praxis eines
Sachverständigen für Reifenschäden 182

Jens Orzol/Tino Blankenheim
Entwicklungsbericht: Tool für Hagelschäden am Kfz 190

Frank Reichert
Die GTÜ - ein Full-Service-Dienstleister 194

RECHTSPRECHUNG

OLG München
Kein Mitverschulden durch unterlassene Kontrolle des festen
Sitzes der Radschrauben nach Reifenwechsel 200

OLG Hamm
Einholung von Restwertangeboten im 70-km-Umkreis für
Unfallfahrzeug 200

OLG Nürnberg
Richterliche Schätzung der Schadenshöhe statt Gutachten-
einholung 200



C.H. BECK

7-8/2021

Juli/August 2021
48. Jahrgang



L050202107

des Fachgebiets Schaden und Bewertung ausgewiesen. Dies scheint auch richtig zu sein, da die Kraftfahrzeugelektronik zumindest nicht aus dem Fachgebiet Schaden und Bewertung herauszutrennen ist. Insbesondere bei der Bearbeitung von technischen Kraftfahrzeugschäden ist dies der Fall. Auch im Bereich der Unfallanalyse ist die Fahrzeugelektronik nicht wegzudenken. Sowohl die Daten von Sensoren als auch die gespeicherten Daten sind auszuwerten, im Schadensbereich ist selbstverständlich die Arbeit und Funktionsweise von Sensoren und Aktuatoren zu überprüfen. Auch die Feststellung, ob die elektrische Anlage des Fahrzeugs die Akkumulatoren richtig laden kann, ist hin und wieder Inhalt eines Beweisbeschlusses. Hier ist dann sicher auch zu klären, ob es sich um herkömm-

liche Blei-Säure-Akkumulatoren, Gel-Akkumulatoren oder Lithium-Ionen-Akkumulatoren handelt.

III. Fazit

All diese Einschätzungen beinhalten das große Fachgebiet Verkehrswesen. Die kurze Aufzählung zeigt, dass die erforderliche Vorbildung, um in dieses Tätigkeitsfeld einzusteigen, der Ingenieur oder Master aus dem Bereich Fahrzeugtechnik ist. Ein Abschluss im Allgemeinen Maschinenbau kann bei zusätzlicher fahrzeugtechnischer Ausbildung auch als Voraussetzung möglich sein. Spätestens bei der Bearbeitung von technischen Schäden ist ein hohes Maß an praktischem und theoretischem Wissen gleichermaßen erforderlich. ■

Wasserstoff als Antriebstechnologie in Stadtlinienbussen

Diplom-Ingenieur (FH) Jürgen Wolf*

Es gab Zeiten – und die liegen noch gar nicht so weit zurück –, in denen Rauch am Horizont einer Region ein Wohlstandssymbol war: Der Rauch bedeutete das Vorhandensein von dampfbetriebenen Fabriken, die in den Regionen Arbeit und Wohlstand bescherten. Inzwischen ist das Kohlendioxid zum Sorgenkind der Öko-Energie-Problematik geworden.

I. Allgemeine geschichtliche Informationen

Die Brennstoffzelle wurde scheinbar zweimal erfunden. Die internationale Literatur führt den Engländer *William Robert Grove* (1811–1896) auf, während die Schweizer *Christian Friedrich Schönbein* (1799–1868) als den Erfinder der Brennstoffzelle sehen.

1838 entdeckte der Schweizer *Christian Friedrich Schönbein* das Prinzip der Brennstoffzelle. 1839 präsentierte der Engländer *William Robert Grove* während eines Vortrags in London eine funktionsfähige Brennstoffzelle. 1842 stellte *Grove* eine aus 50 Zellen bestehende Brennstoffzelle vor, die er als gasbetriebene Batterie bezeichnet, die wir heute meist „Stack“ bzw. manchmal „Stapel“ nennen. 1890 unternahmen *Ludwig Mond* und *Charles Langer* den Versuch, eine leistungsstarke Brennstoffzelle zu entwickeln. Sie waren die ersten, die den Begriff „fuel cell“ das heißt Brennstoffzelle, prägten.

Ende der 50iger Jahre wurde die erste Brennstoffzelle in einem zivilen Fahrzeug, einem Traktor (15 kW Stack)

eingesetzt. Anfang der 60iger Jahre forschte die Raumfahrtindustrie an der Brennstoffzelle weiter.

1979 begann die *BMW-AG* mit dem Deutschen Luft- und Raumfahrtzentrum die Entwicklung von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen. Bei diesen Versuchsprojekten wurden noch Otto-Motoren verwendet, die mit Wasserstoff betrieben wurden. 1994 begann *DaimlerChrysler* mit der Entwicklung eines Brennstoffzellenfahrzeugs im Rahmen der NECAR-Reihe (New Electric Car) und einem wasserstoffbetriebenen Bus „Nebus“ (New Electric Bus) auf Basis eines MB 100. 1998 gründet *Opel* das GAPC Zentrum (Global Alternativ Propulsion Center) und präsentierte das wasserbetriebene Fahrzeug Hydro-Gen 1. *Opel* wollte bis 2004 das erste Versuchsmodell ausliefern zu Preisen eines vergleichbaren Diesels mit Automatikgetriebe. Auch *Toyota* entwickelte in den 90iger Jahren an einem wasserstoffbetriebenen Fahrzeug. Im Juni 1999 verkündete *William Clay Ford jr.*, Präsident der Ford Company, in Aachen: „Wir halten die Brennstoffzellentechnik für sehr viel ver-

* Der Autor ist bundesweit als von der IHK Darmstadt Rhein Main Neckar öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Kraftfahrzeugschäden und -bewertung in Bensheim tätig. Er ist Sicherheitsingenieur, Prüflingenieur einer amtlich anerkannten Kfz-Überwachungsorganisation. Er befasst sich seit über 25 Jahren mit alternativen Antriebssystemen in der Kfz-Technik, weiterhin ist er Fachabteilungsleiter im Fachbereich Kraftfahrzeugtechnik und Verkehr beim BVS-Hessen. – Der Beitrag basiert auf seinem Vortrag anlässlich der 81. Fachtagung des Münchener Arbeitskreises für Straßenfahrzeuge am 15.5.2021.

sprechend und wir werden dieses Versprechen bei der nächsten Generation von Familienautos einlösen. Wir planen im Jahre 2004 eine Version des Brennstoffzellenautos in der Produktion zu haben.“ Am 9.3.2001 gab Ford bekannt, in drei Jahren den ersten Ford Focus FCV (Fuel Cell Vehicle) vom Band rollen zu lassen. Damit könnten künftige Kunden die neue Technologie bei Probefahrten testen. Eine Serienproduktion sei vor 2010 nicht geplant.

II. Geschichtliche Informationen zu Wasserstoff-Bussen

Zu Versuchszwecken wurden 1996 in Erlangen, Chicago und Oslo MAN-Wasserstoffbusse eingesetzt. Im Jahre 2000 wurde das Projekt Bayern-Bus II der Firma Proton Motor-GmbH auf Basis eines Neoplan N 8012 mit selbsttragender Karosserie aus kohlefaserverstärktem Kunststoff erprobt. Im Jahre 2001 erfolgte der Probebetrieb eines MAN-Brennstoffzellen-Stadtbusses in München. In nachfolgenden Städten werden Versuchsbusse mit Wasserstoffantrieb eingesetzt: 2011 Hamburg, 2011 Brugg (Schweiz), 2012 Mailand (Italien), 2013 Karlsruhe, 2013 Bozen (Italien), 2013 Stuttgart, seit 2017 Frankfurt a.M. auf dem Industriepark Höchst, 2020 Wiesbaden und Mainz. Es kann derzeit nicht ausgeschlossen werden, dass in weiteren Städten Wasserstoffbusse zu Versuchszwecken eingesetzt werden oder wurden.



Abb. 1: Wartungsarbeiten am Wasserstoffbus finden überwiegend im Dachbereich statt.

III. Grundlagen der Technik

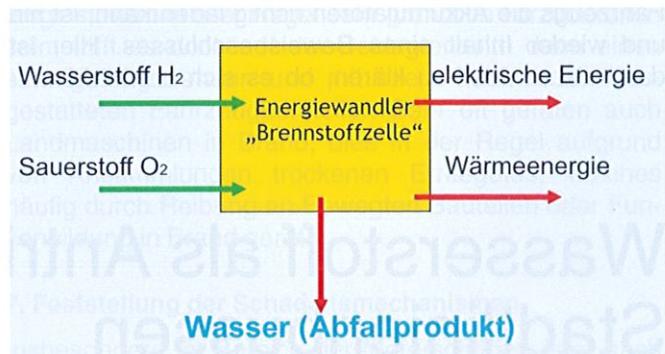
Die Brennstoffzelle ist ein elektrochemischer Energiewandler, der aus chemisch gespeicherter Energie, elektrische Energie und Wärmeenergie produziert. Brennstoffzellen sind Energiewandler wie zum Beispiel Dampfmaschinen, Verbrennungsmotoren, Elektrogeneratoren oder Elektromotoren.

Bei der Verbrennung von Wasserstoff handelt es sich um eine Oxidation, bei der Energie freigesetzt wird. Bei der Brennstoffzellentechnologie handelt es sich um eine „kalte“ Verbrennung, bei der aus einer energiereichen

chemischen Verbindung (H₂), eine energiearme Verbindung, das heißt Wasser (H₂O) entsteht. Gleichzeitig wird Energie freigesetzt.

IV. Funktionsprinzip der Brennstoffzelle

Die Brennstoffzelle ist ein galvanisches Element, es dient als Energiewandler. Die im Wasserstoff gespeicherte Energie wird in elektrische Energie und Wärmeenergie umgewandelt. Dabei entsteht als Abfallprodukt Wasser.



Grafik: Funktionsprinzip der Brennstoffzelle

Als Brennstoff kann statt Wasserstoff auch jeder andere wasserstoffhaltige Energieträger wie Methanol, Benzin, Erdgas u.a. verwendet werden. Die Brennstoffe müssen aber vorher einem Reformierungsprozess unterzogen werden, damit der in ihnen enthaltene Wasserstoff abgetrennt wird.

V. Übersicht der Hybridbauteile

Ein heutiger Omnibus mit Brennstofftechnologie besteht in der Regel aus folgenden Hybrid-Komponenten:

Der Luftversorgung, der Wasserstoffversorgung, der Wasserstofftankanlage (= Wasserstoffspeichersystem), einer Hochvoltbatterie, einer Klimaanlage, dem Brennstoffzellensystem, dem Kühlsystem, Nebenaggregaten, DC/DC Wandler, Radnabenachse, Steuerelektronik und Sicherheitseinrichtungen.

1. Aufbau der Luftversorgung

Die Luftversorgung besteht aus einem Luftfilter mit Luftmassenmesser, der sich im Bereich des Lufteinlasses befindet. Danach befindet sich das Luftabsperrentil und der Luftverdichter. Im Luftbefeuchter wird die Luft mit Wasser befeuchtet, damit die elektrochemischen Reaktionen zwischen Luft und Wasserstoff im Brennstoffzellenstapel erfolgen kann. Nach dem Brennstoffzellenstapel befindet sich ein weiteres Luftabsperrentil, bevor der Auslassluft im Luftbefeuchter ein Teil des Wassers entzogen wird. Danach tritt die Abluft aus dem System aus.



Abb. 2: Ablufteinrichtung für „verbrauchte“ Luft

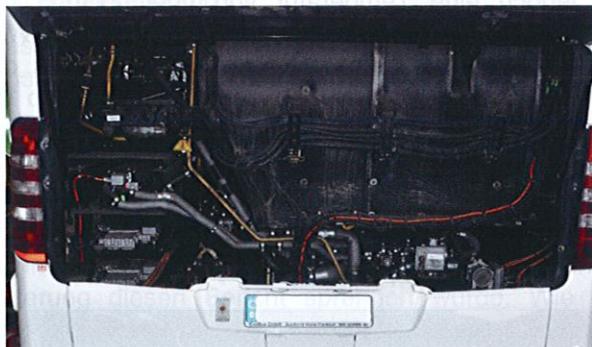


Abb. 3: Hier befindet sich üblicherweise der Dieselmotor.

2. Aufbau der Wasserstoffversorgung

Der Wasserstoff kommt mit geregelten 10 bar vom Wasserstoffspeichersystem und passiert ein Wasserstoffzuluflussventil und weiter über ein Druckventil. Im Druckventil wird der Wasserstoffdruck auf 1,15–1,45 bar reduziert und zur Wasserstoffstrahlpumpe geleitet. In der Wasserstoffstrahlpumpe wird frischer Wasserstoff der Abluft, die aus dem Wasserstoff-Rezirkulationsgebläse kommt, zugemischt und in den Brennstoffzellenstapel geleitet. Im Brennstoffzellenstapel laufen die elektrochemischen Reaktionen ab. Die verbrauchte Luft gelangt über den Wasserabscheider zum Teil in das Wasserstoff-Rezirkulationsgebläse und der restliche Anteil über ein Spülventil zur Abgasanlage.

3. Wasserstofftankanlage

Die Wasserstofftankanlage besteht aus nahtlosen Aluminiumbehältern mit hochfester Ummantelung aus Kohlestofffasern und Epoxidharz. Da Wasserstoff bei Stahl zur Versprödung führt, können keine handelsüblichen Stahldruckgasflaschen verwendet werden. Es gibt derzeit zwei verschiedene Drucksysteme, das 350 bar und das 700 bar System. Somit müssen an Wasserstofftankstellen entweder zwei Betankungssysteme vorgehalten werden, oder es muss eine Normung auf ein

Drucksystem erfolgen, wenn jedes wasserstoffbetriebene Fahrzeugmodell an jeder Wasserstofftankstelle betankt werden soll.



Abb. 4: Wasserstofftankanlage auf dem Dach vorne

Ein Aluminiumbehälter des 350 bar Drucksystems kann mit 205 Liter Wasserstoff befüllt werden, meist sind sieben Behälter auf dem Dach verbaut, so dass daraus 500.000 Liter unkomprimierter Wasserstoff entstehen können. Die Betankung mit Wasserstoff dauert in der Regel zwischen 6 und 30 Minuten, dies ist von der Förderleistung der Tankstelle abhängig.

4. Hochvoltssystem

Das Hochvoltssystem arbeitet mit bis zu 700 Volt Gleichspannung und 200 Ampere Strom. Die Antriebsgeneratoren arbeiten mit 400 Volt Gleichspannung. Für die Bordelektrik wird die Spannung auf 12 Volt reduziert.

Stellt die Bordelektronik einen Isolationsfehler fest, dann wird automatisch das Hochvoltssystem abgeschaltet und dem Fahrer die Information „Isolationsfehler“ mitgeteilt. An diesem Hochvoltssystem dürfen nur Kfz-Mechatroniker mit zusätzlicher Hochvoltausbildung tätig werden.

5. Hochvoltbatterie

Die Hochvoltbatterie ist bei diesen Fahrzeugmodellen auf dem Fahrzeugdach verbaut. Bei Beschädigung der Hochvoltbatterie muss diese für mindestens fünf Tage in einem Spezialbehälter aufbewahrt werden, um Brand- oder Explosionsgefahren zu vermeiden. Die Hochvoltbatterie hat eine integrierte Isolationsüberwachung und schaltet bei Isolationsfehlern automatisch ab. Die Hochvoltbatterie ist wassergekühlt und hat ein separates Kühlaggregat. Eine Hochvoltbatterie im Omnibus wiegt ca. 330 kg. Die Kapazität liegt bei 26,9 kWh, was für eine maximale Leistung von 250 kW ausreicht. Der Omnibus kann bei ausreichender Ladung der Hochvoltbatterie auch ausschließlich von der Hochvoltbatterie betrieben werden, die Brennstoffzellen sind dann ausgeschaltet.

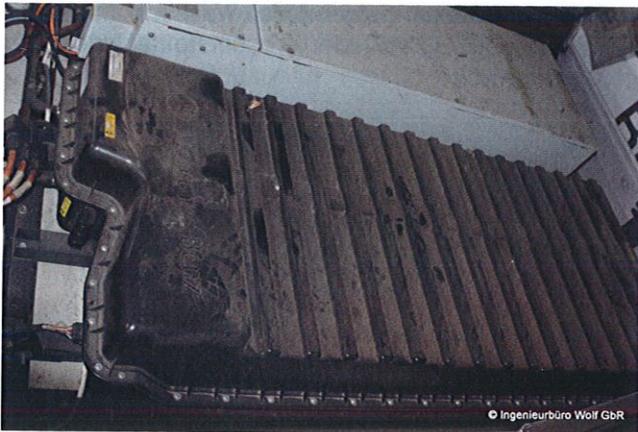


Abb. 5: Hochvoltbatterie (schwarz), daneben die Kühlanlage für die Batterie auf dem Dach

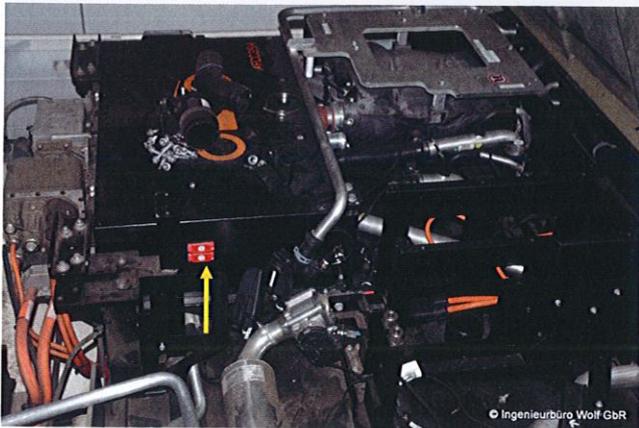


Abb. 6: Brennstoffzelle

6. Radnabenachse

Die Hinterachse hat links und rechts je einen Radnabenmotor. Somit kann das bei herkömmlichen Fahrzeugen erforderliche Differential für den Ausgleich der Geschwindigkeiten der beiden Räder bei Kurvenfahrt entfallen, da die Drehzahl jedes einzelnen Motors elektronisch gesteuert werden kann.

7. Sicherheitseinrichtungen

Die derzeitigen Prototypen, die im Feldeinsatz erprobt werden, haben besondere Sicherheitseinrichtungen. So gibt es zum Beispiel einen Trennschalter, mit dem das Fahrzeug vor dem Tankvorgang stromlos gemacht wird. Weiterhin gibt es eine spezielle Erdungseinrichtung, die an der Zapfsäule montiert ist und mit dem Wasserstoffbus verbunden wird, damit statische Aufladung und somit eine Brand- oder Explosionsgefahr verhindert wird. Eine weitere Sicherheitseinrichtung ist ein Notausschalter im direkten Zugriffsbereich des Fahrers.

Auch die Energieversorgung während des Betriebs des Omnibusses wird überwacht. Tritt ein Isolationsfehler im Hochvoltsystem ein, dann wird das Hochvoltsystem automatisch abgeschaltet und der Fahrer er-

hält eine entsprechende Information im Display. Die Wasserstoffversorgung wird ebenfalls überwacht und bei einer Undichtigkeit abgeschaltet. Im vorderen oberen Bereich des Omnibusses sind Näherungsschalter vorhanden, die bei einer drohenden Kollision eine Notausschaltung der Wasserstoffanlage auslösen. Weiterhin ist die Tankanlage mit einer Schmelzsicherung ausgestattet, die bei Temperaturen über 106°C den Wasserstoff kontrolliert über eine Leitung über dem Busdach entweichen lässt. Dadurch wird ein zu hoher Druck vermieden. Diese Leitung befindet sich an der rechten vorderen Seite des Busdaches. Die Leitung ist mit einer gelben Verschlusskappe versehen. Bei einem Gasaustritt werden die Kappen von der Ventileitung gedrückt. Wenn der austretende Wasserstoff an der Ventileitung zündet, besteht das große Problem, dass nur eine sehr schwache bläuliche Flamme entsteht, die man in der Regel am Tage nicht sieht. Diese hat jedoch eine Temperatur von über 2130°C und somit sollte im Schadensfall immer mit einer Wärmebildkamera oder einem Holzstiel, den man in den Bereich der Ventileitung hält, geprüft werden, ob der austretende Wasserstoff entzündet ist. Mit diesen Prüfmethoden kann festgestellt werden, ob an der Ventileitung der austretende Wasserstoff brennt und Personenschäden vermieden, indem niemand zu nahe an diese Leitung gelangt.

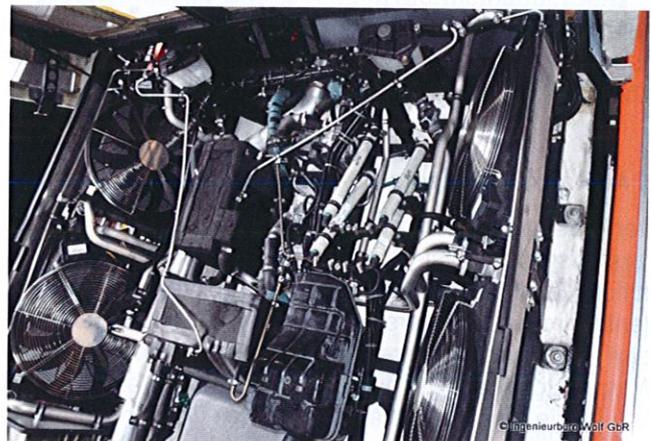


Abb. 7: Kühlanlage

VI. Technische Informationen

Die Reichweite mit der aufgeführten Wasserstoffmenge reicht für einen Linienbus zwischen 300 und 400 km je nach Beladung, Streckenverlauf und Fahrverhalten des Fahrers. Der durchschnittliche Verbrauch bei der von uns betreuten Busflotte liegt bei ca. 6 kg bis 10 kg Wasserstoff pro 100 km/Wegstrecke. Ein Kilogramm Wasserstoff entspricht vom Energiegehalt ungefähr 3 Liter Diesel und kostete am 30.12.2020 in Frankfurt a. M. 7,961 Euro/kg.

Wasserstoff ist geruchlos, es werden auch keine Geruchsstoffe beigemischt. Die Mindestzündenergie von

Wasserstoff liegt bei 0,02 mJ, während zum Vergleich Erdgas bei 0,28 mJ liegt, somit benötigt Erdgas eine vierzehnmal höhere Zündenergie als Wasserstoff. Die untere Explosionsgrenze liegt bei Wasserstoff im Bereich von 4 % während Erdgas nicht weit weg mit 5 % liegt. Die obere Explosionsgrenze liegt bei Wasserstoff bei 77 % während Erdgas bei 15 % liegt. Somit liegt beim Austritt von Wasserstoff sehr lange ein explosionsfähiges Gemisch vor, das unbedingt verhindert werden muss. Wasserstoff ist 14 mal leichter als Luft. Somit steigt Wasserstoff sehr schnell nach oben. Dies bedeutet jedoch, dass insbesondere in Garagen und Werkstätten Wasserstoffsensoren im Deckenbereich angebracht werden müssen. Bei Garagen ist zu beachten, dass die Garagenverordnung Landessache ist und somit in jedem Bundesland andere Vorschriften gelten können und langfristig angepasst werden müssen, damit Wasserstoff sich in Deutschland langfristig als Kraftstoff etablieren kann.

Wasserstoff ist das erste Element im Periodensystem, es ist ungiftig und unschädlich für die Umwelt.

VII. Ausblick

Wie dargestellt, handelt es sich hier nur um eine grobe Darstellung der Wasserstofftechnik in der Fahrzeugtechnik. Es sind noch viele Bauteile verbaut, deren Erläuterung diesen Bericht sprengen würde. Wie aufgezeigt, wird an dieser Technologie bereits seit vielen Jahrzehnten leider immer wieder mit Unterbrechungen geforscht und weiterentwickelt. Das derzeitige Problem für einen großen Durchbruch der Technologie dürfte in der fehlenden bzw. nicht ausreichenden Infrastruktur und der heute noch sehr teuren Herstellung von Wasserstoff liegen. In unserem Fall liegt der Einsatzbereich der Wasserstofffahrzeuge in der Nähe von Chemieunternehmen, bei denen Wasserstoff als Nebenprodukt anfällt und somit problemlos und ausreichend verfügbar ist.

Beim Umstieg auf alternative Energien werden zukünftig jedoch viele unterschiedlich qualifizierte Sachverständige und Spezialisten zusammenarbeiten müssen, um die vorhandenen und entstehenden Probleme zu lösen. So muss die erforderliche Menge Wasserstoff durch Elektrolyse hergestellt werden, wobei sehr große Strommengen benötigt werden. Bereits hier werden große Entwicklungen notwendig werden, denn man kann nicht einfach auf jedes Gebäude Photovoltaikanlagen zur Stromerzeugung bauen. Die Architekten, Bauingenieure und Bausachverständigen werden hier den Brandschutz, die Architektur der Gebäude, wie zum Beispiel Dachneigung, Ausrichtung der Gebäude bzw. Bebauung zu berücksichtigen haben. Dazu werden zukünftige weitere Dienstleistungen vor der Bestückung von Dächern mit Photovoltaikanlagen wie zum Beispiel Begut-

achtungen der Ist- und Folgesituation sein. Auch bei der Stromerzeugung durch Windkraftanlagen können Probleme für Mensch und Tier entstehen, so dass diese gestört oder gar geschädigt werden. Somit muss auch der Bau von Windanlagen vor Baubeginn entsprechend untersucht und bewertet werden. Da die Rotoren heute noch aus glasfaserverstärkten Kunststoffen hergestellt werden, können diese nach deren Nutzungsende derzeit nur deponiert und nicht recycelt werden. Die notwendigen Deponieflächen für diesen Kunststoffmüll sind auch begrenzt.



Abb. 8: Neue Probleme bei der Herstellung von alternativem Strom, der für die Herstellung von Wasserstoff benötigt wird.

Zusätzlich sind die unterschiedlichen landesspezifischen Bestimmungen in den Garagenordnungen zu ändern und auf den Kraftstoff Wasserstoff anzupassen. Auch die Brandschutzvorgaben für Omnibusabstellhallen müssen auf die alternativen Antriebe angepasst und umgestellt werden.

Im Linienbusverkehr, der überwiegend in der Stadt und auf Landesstraßen verkehrt, werden keine größeren Gefahren durch den alternativen Kraftstoff Wasserstoff zu erwarten sein. Wird jedoch diese alternative Technologie im Lkw-Bereich eingesetzt, dann muss es zu umfangreichen und massiven Veränderungen auf deutschen Straßen für den Lkw-Verkehr kommen, damit die heute täglich zu lesenden Auffahrunfälle durch Lkw erheblich reduziert bzw. vollständig vermieden werden. Bei einem typischen massiven Lkw-Auffahrunfall, wie er heute täglich passiert, werden die aufgeführten und aktuellen Sicherheitseinrichtungen beim Wasserstoffbetrieb nicht ausreichend schützen können und dadurch unvorstellbare Schäden und Unfallfolgen entstehen; man denke nur an das Unglück des Zeppelins „Graf Hindenburg“ in den dreißiger Jahren. Aus diesen Gründen wird es in Zukunft voraussichtlich erforderlich werden, dass mehrere Sachverständige verschiedener Fachgebiete interdisziplinär zusammenarbeiten und Gutachten auch gemeinsam erstellen werden. ■