



DWV Wasserstoff- Sicherheits-Kompodium

erstellt im Auftrag des DWV

Reinhold Wurster

Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, Ottobrunn

Dr. Ulrich Schmidtchen

Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband e.V.

Treffpunkt Brennstoffzelle und Batterie, BBA-BW, Stuttgart, 26.06.2012

Wie Wasserstoffsicherheit die Menschen bewegt (1)



ludwig bolkow
systemtechnik



Deutscher Wasserstoff- und
Brennstoffzellen-Verband

- Allgemeines Misstrauen gegen Unbekanntes und nicht Wahrnehmbares
 - Wasserstoff war ein wichtiger Bestandteil im Stadtgas des 19. und 20. Jahrhunderts – wobei das CO als gefährlich angesehen wurde, nicht der H₂
 - Dann wurde in Europa *Stadtgas* durch *Erdgas* ersetzt
 - In den Boomjahren des Wohnungsneubaus der 1960er bis 1990er Jahre wurden in deutschen Küchen meist keine Gaskochstellen mehr installiert, sondern elektrische Herdplatten
 - Sowohl **Gas** als auch **Elektrizität können** mit menschlichen Sinnen **nicht wahrgenommen werden**, aber wir nutzen Elektrizität täglich, Gas hingegen nicht (mehr).
 - Die meisten Leute kennen Gas nur noch vom Hörensagen – aus den Medien, wenn es z.B. bei der Gasnutzung einen Unfall gegeben hat – die **praktische Erfahrung als Maßstab der persönlichen Bewertung ist verloren gegangen**

Wie Wasserstoffsicherheit die Menschen bewegt (2)



ludwig bolkow
systemtechnik



Deutscher Wasserstoff- und
Brennstoffzellen-Verband

- Explosionsvermögen von Wasserstoff
 - Wasserstoff wird von vielen mit **Explosionsneigung** in Verbindung gebracht (vielleicht resultiert diese Wahrnehmung aus dem Knallgasexperiment in der Schule oder von Fehlwahrnehmungen von Unfällen, die mit H_2 in sekundärem Zusammenhang standen)
 - **Um Wasserstoff in Brand zu setzen** oder zur Explosion zu bringen, **benötigt man Sauerstoff**; mindestens 4%-vol H_2 in Luft und Zündenergie (z.B. ein Funke oder $560^\circ C$ Selbstentzündungs-temperatur)
 - **H_2 ist nicht selbstentzündlich** – seine einzige sicherheitsrelevante Eigenschaft ist, dass er brennbar ist (er kann erstickend wirken, wenn er Sauerstoff verdrängt, ist aber nicht giftig)
 - **In einem gefüllten Wasserstoffdrucktank ist niemals Sauerstoff** gegenwärtig – dies ist der wesentliche Unterschied zu Benzin-, Diesel- oder Kerosintanks

Wie Wasserstoffsicherheit die Menschen bewegt (3)



ludwig bolkow
systemtechnik



Deutscher Wasserstoff- und
Brennstoffzellen-Verband

- Diffusion von Wasserstoff
 - **Wasserstoff war schon 70 Jahre unter 20 MPa Druck in Stahlflaschen eingeschlossen**, ohne dass diese leer waren. In Metallbehältern ist die Diffusionsgeschwindigkeit so niedrig, dass sie keine praktische Bedeutung hat (bis zu 100 Jahren).
 - Bei Vollverbundbehältern unter 70 MPa Druck ist die Diffusionsrate sehr viel höher als bei Stahlbehältern oder bei Verbundbehältern mit Metallliner – dennoch sind die diffundierenden H₂-Mengen nicht ausreichend, um ein Sicherheitsrisiko darzustellen oder z.B. in einer Normgarage zu einer Explosion zu führen [max. Permeationsrate ist 6,0 NmL/h/L-Tankinnenvolumen nach HySafe D74 (InsHyde) und EC406/2010]



Quelle: BAM

Wie Wasserstoffsicherheit die Menschen bewegt (4)



ludwig bolkow
systemtechnik



Deutscher Wasserstoff- und
Brennstoffzellen-Verband

- Versprödungsneigung in Metallen
 - Die Versprödung von Metallen durch ionisierten Wasserstoff ist ein seit **mehr als 100 Jahren bekanntes Phänomen**
 - Vor allem an Stellen hoher Materialspannung kann Versprödung zu beschleunigtem Risswachstum und schließlich zu Materialversagen führen. Dies kann verschiedene Ursachen haben: Art des Kristallgitters, Oberflächengüte des Metalls und Belastung (Druck, Spannung, Temperatur, Lastwechsel)
 - **Geeignete Materialwahl und die geeignete Wahl der Betriebsbedingungen** kann diese Effekte vermeiden

Wie Wasserstoffsicherheit die Menschen bewegt (5)



ludwig bolkow
systemtechnik

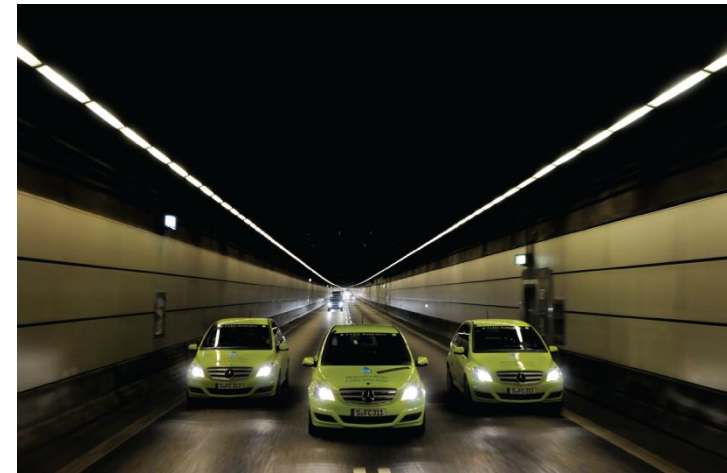


Deutscher Wasserstoff- und
Brennstoffzellen-Verband

- Sichere Nutzung von Wasserstofffahrzeugen in Garagen
 - Fahrzeugtanks für Druckwasserstoff sind als inhärent dicht ausgelegt → **Fahrzeuge können im regulären Betrieb in Garagen und durch Tunnel fahren**
 - **In Deutschland verbietet keine Ländergaragenverordnung die Einfahrt von H₂-Fahrzeugen in Garagen** (in einigen Fällen nur für Gase schwere als Luft wie Autogas)
 - Im **Brandfall entlassen Druckminderungsventile den Wasserstoff** in Richtung Boden (unter das Fahrzeug), wo er vom umgebenden Feuer umgehend verbrannt werden kann



Quelle:
Daimler AG
2011



Wie Wasserstoffsicherheit die Menschen bewegt (6)



ludwig bolkow
systemtechnik



Deutscher Wasserstoff- und
Brennstoffzellen-Verband

- Sicherheit von Druckwasserstofffahrzeugtanks
 - Aufgrund ihrer Steifigkeit haben fasergewickelte Verbundmaterialtanks hohe Sicherheitsreserven
 - In 70 MPa H₂-Hochdrucktanks integrierte Druckreduktionsventile geben H₂ bei nur 0,3 MPa in die Versorgungsleitung ab
 - Dieses Konzept hat sich bei den bisherigen Verkehrsunfällen bewährt



Quelle: USA Today 2010

Wie Wasserstoffsicherheit die Menschen bewegt (7)



ludwig bolkow
systemtechnik



Deutscher Wasserstoff- und
Brennstoffzellen-Verband

- Verhalten von H₂-Fahrzeugen im täglichen Gebrauch und in Unfallsituationen
 - CNG-Fahrzeugtanks haben ein **ausgezeichnetes Sicherheitsverhalten**, das aufgrund der steifen Auslegung Benzintanks deutlich überlegen ist
 - **CNG-Fahrzeuge** (global > 10 Mio Einheiten) haben sich statistisch als **mindestens so sicher wie konventionelle Fahrzeuge** erwiesen
 - In den letzten 30 Jahren haben **verschiedenste H₂-Fahrzeuge** kumulativ weit über 10 Mio km zurückgelegt, **ohne dass Fahrzeugtanks Schäden erlitten** (dies ist statistisch noch nicht relevant)
 - Hersteller von H₂-Fahrzeugen versuchen alle **realistischen Unfallszenarien und deren Auswirkungen zu antizipieren** und bereits bei der Auslegung so weit wie möglich in Betracht zu ziehen

Sicherheitsspezifische Vorteile von Wasserstoff



ludwig bolkow
systemtechnik



Deutscher Wasserstoff- und
Brennstoffzellen-Verband

- **Hoher Diffusionskoeffizient** führt zu schneller Durchmischung mit Luft und damit zu schneller Verdünnung zu unkritischen Mischungsraten und kurzer Lebensdauer der Mischung
- Im Brandfall **brennt H₂ schnell ab** – viel schneller als flüssige Kohlenwasserstoffe
- H₂ enthält keinen Kohlenstoff und wärme-transportierende **Infrarotstrahlung ist wesentlich niedriger** als bei kohlenwasserstoffhaltigen Kraftstoffen

Sicherheitsspezifische Vorteile von Wasserstoff (2)

- Typische Luftwechselraten in Garagen sind normalerweise ausreichend, sogar mit kleinen H₂-Freisetzungen fertig zu werden
- Aufgrund der geringeren Energiedichte und der effizienteren Antriebsstränge ist der Energieinhalt in den Tanks viel geringer als bei konventionellen Fahrzeugen (ca. 1/3), was in Kombination mit dem schnelleren Abbrennen und der geringeren Infrarotstrahlung eine deutlich geringere Wärmebelastung der Umgebung bewirkt



ludwig bolkow
systemtechnik



Deutscher Wasserstoff- und
Brennstoffzellen-Verband

Geeignete Maßnahmen bei Verkehrsunfällen



ludwig bolkow
systemtechnik



Deutscher Wasserstoff- und
Brennstoffzellen-Verband

- Rettungsmannschaften müssen beim Einsatz vor Ort bereits wegen der Hybrid- und Batterieautos sowie wegen der CNG-Fahrzeuge lernen, wie man mit **Hochvoltssystemen** (bis zu 500 V) und mit **Hochdruckgasspeichertanks** (CNG mit 20 MPa) umgeht
- Das erhöhte Druckniveau von elektrischen H₂-Brennstoffzellenfahrzeugen verändert diese Anforderungen nicht prinzipiell
- Europäische Verordnungen (EU-Nr. 79/2009 + 406/2010) schreiben eine **Kennzeichnung von H₂-Fahrzeugen** in Form, Größe und Anbringungsort vor
- **Rettungskarten** sind für alle H₂-Fahrzeuge verfügbar und sollten an Bord mitgeführt werden (Feuerwehren sollten heute über Datenkommunikation Zugang zu diesen Datenblättern haben)
- Ab 2014 EU-weit E-Call-System in Neufahrzeugen

Geeignete Maßnahmen bei H₂-Freisetzung in Gebäuden



ludwig bolkow
systemtechnik



- Heutzutage ereignen sich die meisten **Gasexplosionen in Wohngebäuden** aufgrund **unsachgemäßer Handhabung technisch Einrichtung für Gas**, welche früher oder später zu Undichtigkeiten, zur Bildung von Luft-/Gas-Mischungen, Zündung durch eine Zündquelle und schließlich zu einer Explosion führen
- Wasserstoff wird heute weitgehend in Labors oder Industrie genutzt, wo geeignete Auslegung und trainiertes Personal zur Minimierung von Undichtigkeiten führen. **Sensortechnik überwacht kommerzielle Gasanlagen** zusätzlich.
- Um eine **sichere Nutzung von Wasserstoff in Wohngebäuden** sicherzustellen, sind ähnliche **Sicherheitsmaßnahmen erforderlich**, insbesondere in Anbetracht, dass nicht trainierte Personen sondern Laien die Nutzer sind

Existierende Regelwerke für den täglichen sicheren Umgang mit Wasserstoff



ludwig bolkow
systemtechnik



Deutscher Wasserstoff- und
Brennstoffzellen-Verband

- **Europäische Druckgeräterichtlinien** für stationären und transportablen Einsatz von H₂-Geräten (PED: 97/23/EU und TPED: 2010/35/EU)
- **ADR - Vorschrift** über den **Gefahrguttransport auf europäischen Straßen** (national umgesetzt durch GGVSEB – Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt)
- **ATEX – Richtlinien** Nr. 94/9/EG (Produkte) und 1999/92/EG (Betrieb) für Geräte und Schutzsysteme, die in explosionsgefährdeten Bereichen Verwendung finden sollen
- Verordnung - EU-Nr. 79/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates i.V.m. Verordnung EU-Nr. 406/2010 der Kommission zur **Typgenehmigung von wasserstoffbetriebenen Kraftfahrzeugen** in der EU27

Schlussfolgerungen (1)



ludwig bolkow
systemtechnik



- Wasserstoff kann sicher unter hohem Druck, in Metallhydriden, als tiefkalte Flüssigkeit und in unterirdischen Salzkavernen gespeichert werden.
- Diffusion, Gasdurchgang und Versprödungseffekte von Wasserstoff in metallischen Materialien **sind seit Jahrzehnten bekannt** und können durch **geeignete Auslegung und Materialwahl** beherrscht werden.
- Auch für Verbundmaterialien wächst die praktische Erfahrung und erlaubt einen **sicheren Einsatz** dieser Materialien.
- Aufgrund **strenger Zulassungsverfahren** kann der sichere Einsatz von Wasserstofffahrzeugen in Garagen und Tunnel als gegeben angesehen werden. Für den normalen Einsatz dieser Fahrzeuge sind bestehende Ventilationssysteme ausreichend.

Schlussfolgerungen (2)

- Unfälle mit Wasserstofffahrzeugen (PKWs, Busse) **sind nicht gefährlicher als solche mit konventionellen Fahrzeugen** (Benzin, Autogas, Erdgas).
- Unfälle beim H₂-Transport sind **nicht gefährlicher** als solche mit anderen Gefahrstoffen, in mancher Hinsicht eher weniger
- **Mehr als 200 H₂-Tankstellen** sind weltweit mit exzellentem Sicherheitsverhalten im Einsatz
- Voranschreitende wissenschaftliche Forschung und technische Entwicklung sowie internationale **Harmonisierung** von Regelwerken und Normen **verbessern die Sicherheit** indem sie den Einsatz von H₂ und BZ an die täglichen Erfordernisse anpassen, vereinfachen und harmonisieren
- Schlussendlich entscheidet die Gesellschaft, ob sie die Risiken einer Technologie als tragbar akzeptiert



ludwig bolkow
systemtechnik



Deutscher Wasserstoff- und
Brennstoffzellen-Verband



Download des Sicherheitskompendiums unter:
<http://www.dwv-info.de/publikationen/2011/sicher.pdf>

Reinhold Wurster
Senior Consultant

Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH
Daimlerstr. 15
85521 München/Ottobrunn

Tel.: +49/89/608110-31
e-Mail: reinhold.wurster@lbst.de
Web: <http://www.lbst.de>

Dr. Ulrich Schmidtchen
Vorstandsmitglied

Deutscher Wasserstoff- und
Brennstoffzellen-Verband e.V. (DWV)
Tietzenweg 85/87
12203 Berlin

Tel.: +49/30/398 209 946-0
e-Mail: h2@dwv-info.de
Web: <http://www.h2de.de>