



Handout zum Vortrag von Dr.-Ing. Axel Stepken, Vorstandsmitglied TÜV Süddeutschland Holding AG, München:

## Wasserstoff – so sicher wie Benzin

Einführung im Straßenverkehr birgt kein zusätzliches Risiko

- Wasserstoff-Technik hat sich im Alltag bewährt
- Vorteilhafte Eigenschaften von Wasserstoff
- 30 Jahre Erfahrung mit Gas im Auto
- Keine besondere Gefahr in Tunnels und Garagen
- Wasserstoff muss nicht nur sicher, sondern auch bequem sein

*Seit Jahrzehnten fahren Millionen von Autos sicher mit Gas als Treibstoff. Seit Jahrzehnten wird Wasserstoff sicher über unsere Straßen transportiert. Und seit vielen Jahren stellen zahlreiche Pilotprojekte die Alltagstauglichkeit von Wasserstoff-Fahrzeugen und zugehörigen Tankanlagen unter Beweis. Wenn Wasserstoff also in Zukunft Benzin als Treibstoff ablösen soll, können die Konstrukteure und Hersteller auf breite Erfahrungen bauen – auch was die Sicherheit betrifft. Moderne Sicherheitstechnik und klare Vorschriften werden Wasserstoff mindestens so sicher wie Benzin machen. Damit die Verbraucher den neuen Kraftstoff akzeptieren, muss jedoch noch einiges geschehen: Wasserstoff muss nicht nur sicher, sondern auch zuverlässig, wirtschaftlich und bequem zu verwenden sein – und international flächendeckend verfügbar.*

### Gute Ergebnisse aus vielen Projekten

In den vergangenen Jahren haben die Automobilhersteller unterschiedliche Fahrzeugkonzepte mit Wasserstoffantrieb vorgestellt. Der TÜV Süddeutschland hat die meisten dieser Projekte schon während der Entwicklungsphase begleitet und bewertet: Firmen wie BMW, DaimlerChrys-



ler, MAN, Opel, VW und IVECO gehörten dabei zu unseren Auftraggebern. Wir verdanken dieser Zusammenarbeit weit reichende Erfahrungen mit aktuellen Entwicklungen der Wasserstofftechnik im Verkehrsbereich – und das nicht nur mit den Fahrzeugen, sondern dank verschiedener Wasserstoff-Pilotprojekte auch mit der Infrastruktur, das heißt Tankstellen, Prüfständen, Wartungshallen, Garagen und so weiter. Hinzu kommt unsere jahrzehntelange Erfahrung mit der industriellen Wasserstoff-Technik und verschiedenen – auch alternativen – Antriebskonzepten im Verkehr.

Deshalb kann der TÜV Süddeutschland seine Kunden heute umfassend zu neuen Tank- und Speichersystemen für Wasserstoff beraten – nicht nur in Bezug auf die Sicherheit, sondern auch, wenn es um die Verbesserung der Zuverlässigkeit geht. Zudem bieten wir Sicherheitsanalysen, Worst-Case-Untersuchungen, z.B. für diverse Unfallszenarien, sowie Prüfungen und Abnahmen der Systeme und ihrer Einzelteile an.

### **Vorteile für Wasserstoff in Physik und Chemie**

Für die Sicherheit jedes Kraftstoffs spielen Physik und Chemie eine entscheidende Rolle: Wie schnell verflüchtigt sich der Kraftstoff? Wie leicht ist er zu entzünden? Unter welchen Bedingungen ist eine Explosion möglich? Welche Schadstoffe entstehen bei der Verbrennung? Belastet er Wasser und Böden? Und ist er für den Menschen giftig? In all diesen Punkten muss sich Wasserstoff dem Vergleich mit den heute gängigen Kraftstoffen stellen – und das ist in erster Linie Benzin.

Der wichtigste Unterschied zwischen Wasserstoff und Benzin besteht darin, dass Wasserstoff ein Gas und Benzin eine Flüssigkeit ist. Wasserstoff ist das leichteste Element auf der Erde – für die Sicherheit ist das ein großer Vorteil. Denn so verflüchtigt sich der Kraftstoff an der Luft sehr schnell und kann nur sehr kurz entzündet werden. Benzin dagegen verdampft langsamer und hat auch dann noch eine größere Dichte als Luft. Benzindampf bleibt daher oft lange Zeit am Boden und damit dort, wo er sich am ehesten entzünden kann.

Ein weiterer zentraler Punkt ist die Frage, unter welchen Bedingungen ein Kraftstoff-Luft-Gemisch explodiert – etwa wenn nach einem Unfall oder aufgrund eines Lecks Kraftstoff austritt. Hier ist grundsätzlich von Nachteil, dass Wasserstoff in einem sehr großen Konzentrations-



bereich von vier bis 75 Prozent gezündet werden kann. Wirklich bedeutend ist dabei allerdings nur die untere Grenze, also jene vier Prozent Wasserstoff in der Luft, ab denen sich das Gemisch entzünden kann. Allerdings brennt Wasserstoff mit hoher Wahrscheinlichkeit ab, bevor überhaupt ein explosives Gemisch entsteht – denn dafür sind mindestens 18 Prozent Wasserstoff in der Luft nötig. Bei Benzin dagegen liegt diese Detonationsgrenze bei nur 1,1 Volumenprozent; Benzindämpfe explodieren daher leichter als Wasserstoff.

Damit es überhaupt zur Explosion oder zum Brand kommt, muss in beiden Fällen ein entstandenes Kraftstoff-Luft-Gemisch erst einmal entzündet werden. Im Fall von Wasserstoff ist dafür eine geringere Energie nötig als bei Benzin – allerdings reicht schon die Energie eines elektrischen Funkens aus, um selbst Benzindämpfe zu entzünden. Das macht das Betanken von Benzinfahrzeugen grundsätzlich riskant. Auf der anderen Seite hat Wasserstoff eine höhere Zündtemperatur als Benzin, welches sich dadurch wesentlich leichter als Wasserstoff an heißen Oberflächen entzünden kann, etwa am Autokatalysator oder dem Auspuffkrümmer.

Hat sich ein Kraftstoff-Luft-Gemisch entzündet, beeinflussen weitere Faktoren den Ablauf. So hat Wasserstoff im Gegensatz zu Benzin eine sehr hohe Verbrennungsgeschwindigkeit. Eine Wasserstoff-Flamme brennt also sehr schnell und – aufgrund der geringen Dichte – steil nach oben ab. Darüber hinaus hat Wasserstoff eine geringere Wärmestrahlung als Benzin. Neben einer frei verbrennenden Wasserstoff-Flamme wird es aus diesem Grund weniger heiß als neben einer Benzinflamme – mit dem Vorteil, dass benachbarte Gegenstände wie Autositze oder andere Fahrzeuge nicht so leicht Feuer fangen. Auch für Personen in der Nähe ist somit die Gefahr geringer, Verbrennungen zu erleiden. Weil eine Wasserstoff-Flamme jedoch zugleich kaum sichtbar ist, kann man unabsichtlich hinein geraten.

### **Sicherheitsversuche für die Praxis**

Demonstrieren und überprüfen kann man diese Eigenschaften mit Hilfe von Sicherheitsversuchen, etwa durch die Unterfeuerung von gefüllten Tanks. Im Straßenverkehr zugelassene Treibstofftanks müssen auch Temperaturen von mehreren hundert Grad Celsius, wie sie zum Beispiel bei einem Fahrzeugbrand entstehen können, überstehen, ohne zu explodieren. Das gilt für herkömmliche Benzintanks ebenso wie für einen Flüssigwasserstofftank. Bei einem Leck im Tank zeigen sich jedoch die unterschiedlichen Eigenschaften der gespeicherten Treibstoffe: Während



das entweichende Benzin sich in einem breiten, heiß strahlenden Feuerball entzündet, brennt der Wasserstoff mit einer kaum sichtbaren, leicht rötlichen Flamme steil nach oben ab, ohne dabei viel Wärme abzustrahlen.

Auch wenn dieser Fall – ein leerer Tank gerät in Brand – in der Praxis äußerst selten vorkommt ist, zeigt der Versuch, dass Wasserstoff als Treibstoff keineswegs gefährlicher ist als Benzin: Im Gegenteil, in vielen Punkten ist Wasserstoff dem Benzin sicherheitstechnisch überlegen. Das gilt vor allem im Freien. Für die Verwendung in geschlossenen Räumen stellt Wasserstoff andere Ansprüche als Benzin, aber diese sind nicht schwierig zu erfüllen: Wichtig ist hier vor allem eine ausreichende Belüftung.

Daneben gibt es eine Reihe weiterer, für die Sicherheit wichtiger Eigenschaften von Treibstoffen. So ist Wasserstoff im Gegensatz zu Benzin ungiftig – ein Liter Mineralöl kann eine Million Liter Trinkwasser ungenießbar machen. Für Gewässer und Böden ist der Transport von Erdöl, etwa in Pipelines, Tankschiffen und Tankwagen, ein erhebliches Risiko. Wasserstoff birgt diese Umweltgefahr nicht.

Andere gebräuchliche Kraftstoffe liegen mit ihren Eigenschaften meist zwischen Wasserstoff und Benzin. Gase wie Erdgas und Autogas (also Propan) ähneln dabei eher dem Wasserstoff, flüssige Kraftstoffe wie Diesel und Methanol eher dem Benzin.

### **Jahrzehntelange Erfahrungen mit gasbetriebenen Fahrzeugen**

Bei allem Wissen um die physikalischen Eigenschaften des Wasserstoffs: Praktische Erfahrungen beim Einsatz als Kraftstoff lassen sich dadurch nicht ersetzen. Neben den zahlreichen Wasserstoff-Pilotprojekten der vergangenen Jahre sind daher vor allem die Erfahrungen aus dem Massenbetrieb von gasbetriebenen Fahrzeugen wichtig. In Europa, insbesondere in Italien (600.000 Fahrzeuge) und den Niederlanden (400.000 Fahrzeuge), haben Flüssiggasfahrzeuge (LPG) in den 70er und 80er Jahren beachtenswerte Anteile am Fahrzeugbestand erreicht. Meist handelte sich dabei um umgerüstete Fahrzeuge mit bivalentem Antrieb, die sowohl Gas als auch Benzin als Treibstoff nutzen konnten. Die Technologie für den Einsatz von Gasen in Fahrzeugen ist also vorhanden, und mit der Sicherheit von Gasfahrzeugen und der entsprechenden



Infrastruktur liegen seit fast 30 Jahren Erfahrungen vor. Diese Erfahrungen bilden heute das Fundament für den routinierten und sicheren Einsatz von Wasserstoff als Treibstoff.

Die Sicherheit von Gasfahrzeugen ist in der Vergangenheit mehrfach untersucht worden. So ergab eine Auswertung von Unfällen bei LPG-Fahrzeugen, die in den 1980er Jahren für die Niederlande durchgeführt worden ist, dass dabei in erster Linie Ausrüstungsteile wie Rohrleitungen und Füllschläuche beschädigt waren. Das deckt sich weitgehend mit den bekannten Schwachstellen benzinbetriebener Fahrzeuge. Schwere Unfallfolgen aufgrund des Gasantriebs waren den Untersuchungen zur Folge offenbar nicht aufgetreten. Die Erfahrungen zeigen also: Flüssiggasgetriebene Fahrzeuge stellen kein erhöhtes Risiko dar, solange die geltenden Vorschriften eingehalten werden – und das sollte ebenso für Wasserstoff gelten.

Diese Einschätzung wird dadurch untermauert, dass auch international bisher keine schwerwiegenden Schäden bekannt geworden sind. Weltweit betrug der Bestand an Erdgasfahrzeugen (CNG bzw. NGV) im Jahr 2000 etwa 1,1 Mio. Fahrzeuge, wobei auf Argentinien ca. 460.000, auf Italien 350.000, auf die USA 90.000 und auf Deutschland etwa 10.000 Fahrzeuge entfielen. Wasserstoff-Busse und eine Kleinserie von Wasserstoff-PKWs sind zudem seit Anfang der 1990er Jahre ohne bekannte Sicherheitsprobleme im Probeinsatz.

Bei der Interpretation der Ergebnisse muss man allerdings bedenken, dass der Anteil von Gasfahrzeugen am Gesamtfahrzeugbestand bisher relativ klein ist. Bevor Wasserstoff-Fahrzeuge im großen Maßstab eingeführt werden, sollte man deshalb auf jeden Fall eine systematische Unfallforschung durchführen – schon um etwaige Verbesserungsmöglichkeiten aufzuzeigen. Denn es geht nicht nur um die Sicherheit: Um von den Verbrauchern akzeptiert zu werden, müssen die Fahrzeuge genauso zuverlässig sein und ähnlich einfach und zu vergleichbaren Preisen gewartet und repariert werden können wie die heutigen Benzinfahrzeuge. Auch müssen sie eine mindestens ebenso lange Lebensdauer und Reichweite aufweisen.

### **Sicher speichern in Fahrzeugen**

Es bleibt daher noch genug zu tun, auch bei der Sicherheit. Im Fahrzeug ist vor allem eine sichere Speicherung des Wasserstoffs notwendig. Gasförmige Treibstoffe haben dabei im Vergleich zu Diesel oder Benzin eine sehr geringe Energiedichte: 3.000 Liter gasförmiger Wasserstoff ent-



halten die gleiche Energiemenge wie ein Liter Benzin. Damit man mit Wasserstoff im Tank trotzdem vergleichbare Reichweiten wie mit Benzin- und Dieselfahrzeugen erreicht, muss das Gas daher in speziellen Behältern gespeichert werden – entweder extrem tiefgekühlt in flüssiger Form (bei  $-253^{\circ}\text{C}$ ) oder unter hohem Druck (inzwischen bis zu 700 bar, also dem 70fachen Atmosphärendruck). Propangas (LPG) dagegen ist beispielweise schon bei 20 bar flüssig. Die Speicherung von Wasserstoff stellt daher erhöhte Anforderungen an die Technik.

Kritisch sind bei allen Wasserstoff-Systemen besonders diejenigen Teile, die vom Gas durch- oder umströmt werden, wie zum Beispiel Behälter, Rohrleitungen, Füllanschluss und Ventile. Auch fehlerhafte Elektrik, Mess-, Steuer- und Regeltechnik sowie elektronische Sicherheitseinrichtungen können Störungen hervorrufen. Diese Komponenten müssen mechanischen Beschädigungen ebenso standhalten wie Brand, aber auch Bedienungsfehlern wie Überfüllen oder falsche Montage. Hinzu kommt, dass Sicherheitseinrichtungen und Komponenten ausfallen oder fehlfunktionieren können.

Wasserstoff-Speicherbehälter sind daher schon heute einer nahezu lückenlosen Abfolge von Qualitätssicherungsmaßnahmen unterworfen. Das gilt für die Konstruktion, also die Werkstoffauswahl, die Festigkeit etc., ebenso wie für die Herstellung und die Prüfung durch einen Sachverständigen. Auch Rohrleitungen und Bauteile wie Tankbefestigungen, Verdampfer, Armaturen, Fördereinrichtungen und elektrische Geräte werden geprüft.

### **Sicherheit der Infrastruktur**

Ebenso wie für die Systeme im Fahrzeug gibt es auch für die Infrastruktur strenge Sicherheitsvorschriften. Hier baut man auf weit reichende Erfahrungen: Erdgas, Flüssiggas (Autogas) und Wasserstoff werden schon seit Jahrzehnten zur Energieerzeugung und als Rohstoffe in der Industrie genutzt. Im Hinblick auf Sicherheit und Umweltschutz gibt es daher viele nationale und internationale Gesetze, Vorschriften und Regelwerke, die bei Erzeugung, Lagerung, Transport und Nutzung derartiger Gase zu beachten sind. In Deutschland sind das insbesondere das Bundesimmissionsschutz-, das Gefahrgut- und das Gerätesicherheitsgesetz.

In Deutschland gibt es ca. 200 Tankstellen für Autogas und verdichtetes Erdgas, in den USA sogar schon 1.200 CNG-Tankstellen, die als Referenzen auch für den flächendeckenden Einsatz



von Wasserstoff dienen können. Pilotprojekte wie die weltweit erste öffentliche Wasserstoff-Tankstelle – sie ging schon 1999 am Flughafen München in Betrieb – haben zudem bewiesen, dass Wasserstoff-Tankstellen bei entsprechenden sicherheitstechnischen Vorkehrungen wie herkömmliche Tankstellen im Alltag genutzt werden können.

### Technik für die Sicherheit

Allgemein müssen die bestehenden Sicherheitskonzepte überall dort angepasst werden, wo Wasserstoff als Energieträger eine Rolle spielt: Für den Einsatz im Verkehr, also auf Straßen und Brücken, in Tunnels und Garagen, in Werkstätten, bei der Feuerwehr und den Notdiensten und so weiter. Was gilt es zu beachten, was zu vermeiden, was ist möglich, nötig, wichtig? Derart angepasste Konzepte sind darüber hinaus nicht nur für mobile Anwendungen wichtig, wie sie in diesem Vortrag im Vordergrund stehen, sondern in gleicher Weise auch für stationäre Systeme und Brennstoffzellen mit ihren verschiedenen Einsatzbereichen, Typen und Betriebstemperaturen von 80°C bis 1000°C.

Grundlage für die Sicherheitskonzepte sind die technischen Regeln und Standards, wie sie schon heute gelten. Sie bilden den Rahmen für das Design und die Überprüfung neuer Komponenten und Systeme. Mindestanforderungen ergeben sich zum einen aus dem Gerätesicherheitsgesetz und den damit verbundenen Verordnungen und technischen Regeln. Zum anderen gelten weitere Normen und Vorschriften. Angesichts der weltweit zunehmenden Bedeutung von Wasserstoff und Brennstoffzellen müssen diese Standards und Richtlinien künftig international abgestimmt werden.

In der Praxis bilden drei Punkte das Grundgerüst für den sicheren Umgang mit Wasserstoff:

- Erstens müssen mögliche Gefahrenquellen für die betreffende Anwendung identifiziert werden. Diese können sich aus der Anlage selbst ergeben, also aus Störungen, Schäden und Mängeln einzelner Teile. Genauso wichtig ist jedoch die Analyse der unmittelbaren und mittelbaren Umgebung der Anlage: Etwa andere Geräte und bauliche Risiken, aber auch alle Personen, die mit den Systemen arbeiten.



- Zweitens müssen zuverlässige technische Möglichkeiten zur Verfügung stehen, um Fehler und Störungen in Komponenten und Systemen zu erkennen – etwa ein Leck, einen Druckabfall, Hitze, Kälte oder Stromausfall.
- Drittens müssen die möglichen Auswirkungen eines Gasaustritts analysiert werden – und das unter allen Bedingungen, unter denen die Anwendung arbeiten soll. Für Fahrzeuge bedeutet das zum Beispiel im Freien, auf Brücken, in Tunneln, Garagen und Werkstätten, während der Fahrt und im Ruhezustand.

Wichtig ist es vor allem, mögliche Fehler, Störungen und Schäden bereits bei der Entwicklung neuer Wasserstoff-Anwendungen zu analysieren – und nicht erst, wenn diese in der Praxis auftreten. Mithilfe moderner Mess- und Analyseverfahren kann man auf diese Weise Gefahren von vornherein abwehren oder begrenzen, indem man Konstruktionen, Werkstoffe und Sicherheitssysteme entsprechend anpasst.

Eine weitere Anforderung an die Technik ist, dass sie Bedienungsfehler weitgehend ausschließt. Ein Wasserstoff-Auto muss ebenso einfach, sicher und fehlerfrei zu bedienen sein wie ein Benzinfahrzeug. Dasselbe gilt auch für die Reparatur: Die Technik muss so ausgereift sein, dass in Werkstätten möglichst keine verhängnisvollen Fehler passieren können.

### **Kernpunkt Gefahrenvermeidung**

Eine effektive Gefahrenvermeidung ist die zentrale Grundlage für die Sicherheit von Wasserstoff als Energieträger. Wichtig ist es vor allem, gefährliche Ansammlungen des Gases zu vermeiden; darüber hinaus müssen mögliche Auswirkungen eines Gasaustritts, etwa infolge eines Unfalls, bedacht werden.

Sollen zum Beispiel Wasserstoffsysteme oder Brennstoffzellenanlagen in Gebäuden oder in Containern aufgestellt werden, müssen vor allem die Systeme dicht und der betreffende Raum ausreichend belüftet sein. Nur so lässt sich vermeiden, dass sich Gas in größeren Mengen ansammelt. Weitere Anforderungen hängen dann von den jeweiligen baulichen Gegebenheiten und den Betriebsabläufen ab: Gegebenenfalls können spezielle Brandschutzeinrichtungen nötig sein oder man muss elektrische Geräte vor Explosionen schützen und die Gaskonzentration messen.





Mögliche Auswirkungen eines Gasaustritts lassen sich heute sehr zuverlässig mit Rechenmodellen beurteilen. Sie simulieren vor allem die Ausbreitung und Verbrennung eines Gases. Die Größe eines etwaigen Lecks und damit die Menge freigesetzten Gases ist dabei ebenso von Bedeutung wie die Art der Freisetzung, Form und Eigenschaften des Raumes und so weiter. Modellrechnungen sollten daher immer auf die jeweilige Situation bezogen durchgeführt werden – so wie es heute schon zum Teil beim Neubau von Garagen, Tunnels etc. für benzinbetriebene Fahrzeuge geschieht.

### **Sicherheitsfaktor Mensch**

Technische Vorkehrungen und Sicherheitssysteme können Gefahren vermeiden und Problemsituationen meistern helfen. Einen erheblichen Anteil an der sicheren Verwendung von Wasserstoff als Energieträger hat jedoch der Mensch: Diejenigen, die mit ihm umgehen, müssen entsprechend geschult sein. Das gilt auch für jeden, der mit einem wasserstoffbetriebenen Auto fahren soll.

Bedacht werden muss dabei jedes mögliche menschliche Fehlverhalten: Bedienungsfehler an Fahrzeugen und Tankstellen; Montagefehler und unsachgemäße Arbeiten an den Systemen; Nichteinhaltung von Wartungs- und Reparaturvorschriften und so weiter. Wenn – wie bei der automatischen Betankung durch Tankroboter – Maschinen die Arbeit von Menschen übernehmen, können diese eine weitere technische Fehlerquelle sein.

Um die Sicherheit und die Qualität von Wasserstoffanwendungen daher über deren ganzen Betriebszeitraum zu gewährleisten, sind spezielle Sicherheitskonzepte für die Anwender wichtig. Praktische Anweisungen und Schulungen können beispielweise helfen, den Austritt von Gas etwa bei der Wartung und Reparatur von Fahrzeugen zu vermeiden oder zumindest zu begrenzen. Konkrete Betriebsanweisungen müssen selbst im Notfall klar und verständlich sein. Zudem müssen die Autofahrer mit den neuen Systemen vertraut gemacht werden, um Bedienungsfehler zu vermeiden und Vertrauen in die neue Technik zu schaffen.



### **Fazit: Wasserstoff ist mit Sicherheit einsetzbar**

Wasserstoff erfüllt alle Bedingungen, um als Treibstoff verwendet werden zu können. Viele seiner physikalischen Eigenschaften sind sogar vorteilhafter für die Sicherheit als jene des Benzins. In zahlreichen Pilotprojekten hat sich die heute vorhandene Wasserstoff-Technik bereits im Alltagsbetrieb bewährt.

Allerdings erfordern gasförmige Treibstoffe besondere Sicherheitsvorkehrungen. Das gilt für Wasserstoff genauso wie für Erdgas und Flüssiggas, für die bereits jahrzehntelange Erfahrungen mit dem Einsatz in Fahrzeugen vorliegen. Zentrales Element im Fahrzeug ist dabei die Speicherung. Die speziellen Behälter und die zugehörige Technik müssen leicht und sicher zu handhaben sowie zu warten und reparieren sein.

Zudem müssen Brücken, Tunnels und Garagen mit wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen risikolos zu befahren sein. Wichtig ist hier vor allem eine ausreichende Belüftung. Modellrechnungen erlauben es heute zudem, die Auswirkungen von austretendem Wasserstoffgas zu berechnen und entsprechend vorzusorgen.

Und schließlich spielt für die Sicherheit nicht nur die Technik eine Rolle: Diese Technik muss auch ebenso einfach und sicher zu bedienen sein wie die Elemente der heutigen Benzinsysteme. Dafür werden spezielle Schulungen und Betriebsanweisungen für die Anwender nötig sein.

### **Ausblick: Vertraut machen**

Die Sicherheitstechnik für die mobilen Anwendungen der Wasserstofftechnik ist heute vorhanden. Erfahrungen aus Pilotprojekten und der jahrzehntelangen industriellen Verwendung zeigen: Wasserstoff ist als Fahrzeugtreibstoff sicher einsetzbar. Der seit Jahren stagnierende Einsatz von Flüssiggasfahrzeugen zeigt jedoch, dass für den Durchbruch eines alternativen Kraftstoffs dieser flächendeckend verfügbar sein muss – das erfordert ein dichtes Tankstellennetz nicht nur national, sondern auch international. Schon aus diesem Grund besteht daher ein deutlicher Harmonisierungsbedarf bezüglich internationaler Standards und Sicherheitsanforderungen.



Das gilt auch im Hinblick auf eine künftige Serienfertigung von Komponenten: Hier müssen schon heute Sicherheitsstandards gesetzt werden. Die Speichersysteme müssen während der ganzen Lebensdauer des Fahrzeugs dicht sein. Flüssigwasserstoff-Tanks und Tankkupplungen müssen standardisiert sein. Auch müssen Sicherheit und Zuverlässigkeit der neuen Systeme und Komponenten durch eine gezielte Unfallforschung noch weiter verbessert werden.

Doch nicht nur die Technik muss auf die neuen Anforderungen vorbereitet sein: Mindestens ebenso wichtig sind die Menschen, die mit der neuen Technologie umgehen sollen – sei es beruflich oder sei es als Autofahrer. Wichtig ist es daher, rechtzeitig die betreffenden Handwerker zu schulen und die Ausbildungsgänge an Schulen und Hochschulen auf die neuen Technologien auszurichten. Für die Autofahrer dagegen gilt: Wenn man erst eine mehrtägige Schulung benötigt, um ein Wasserstoffauto sicher zu bedienen, wird es niemand kaufen. Für sie muss die Technik daher ebenso einfach und sicher zu bedienen sein.



## Pressefotos



Seit Jahrzehnten wird Wasserstoff sicher produziert, gespeichert, transportiert und verwendet. Mit dieser Erfahrung berät der TÜV Süddeutschland die Industrie schon während der Entwicklungsphase neuer Wasserstoff-Technologien in Sicherheitsfragen. Seit Januar 2003 steht uns dafür auch der moderne Prüfstand für Motoren und Antriebsstränge von Fahrzeugen in Garching zur Verfügung.

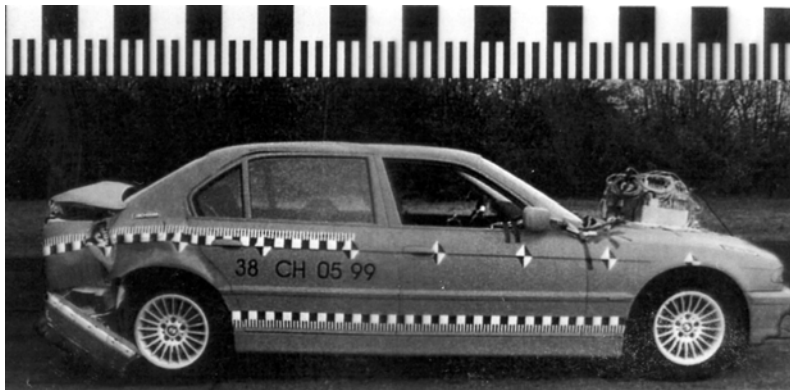
Wasserstofftag-03\_Stepken\_Foto-Pruefstand / Foto: TÜV Süddeutschland

	<b>Benzin</b>	<b>Wasserstoff</b>	<b>Schlussfolgerung</b>
Dichte im Verhältnis zu Luft	3,2 – 4	<b>0,09</b>	Wasserstoff verflüchtigt sich schnell, Benzin bleibt am Boden
Zündbereich	0,6 – 8 %	<b>4 – 75 %</b>	Wasserstoff kann in einem großen Bereich gezündet werden
Detonationsgrenze	1,1 %	<b>18 %</b>	Wasserstoff verbrennt, bevor er explodiert
Zündenergie	0,24 mJ	<b>0,02 mJ</b>	Ein Funke reicht aus, um Wasserstoff oder Benzin zu zünden
Zündtemperatur	220 - 280 °C	<b>585 °C</b>	Benzin kann sich an heißen Oberflächen entzünden
Flamme	breit, strahlt heiß	<b>steil, wenig Wärme- strahlung</b>	Verbrennungsgefahr neben Wasserstoff- Flamme gering
Gesundheitsgefährdung	giftig	<b>ungiftig</b>	Wasserstoff stellt keine Gefahr für Böden und Gewässer dar

Für die Sicherheit jedes Kraftstoffs spielen seine physikalischen und chemischen Eigenschaften eine entscheidende Rolle. Im direkten Vergleich mit Benzin zeigt sich, dass Wasserstoff keinesfalls gefährlicher ist: Er verflüchtigt sich sehr schnell, verbrennt anstatt zu explodieren, entzündet sich nicht so leicht an heißen Oberflächen und ist im Gegensatz zu Benzin ungiftig für Mensch und Umwelt.

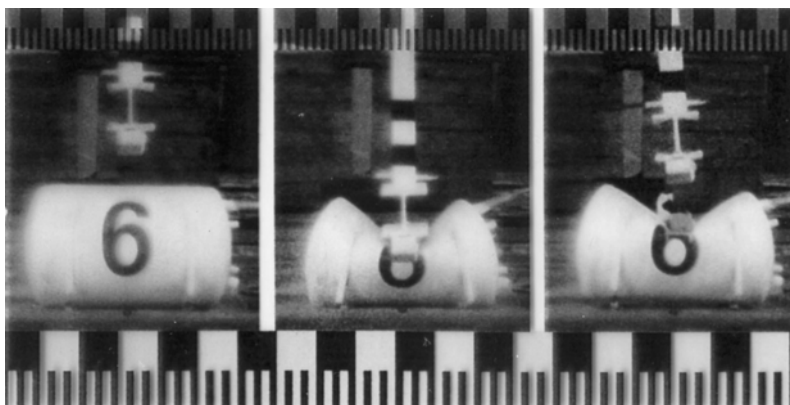
Wasserstofftag-03\_Stepken\_Tabelle-Eigenschaften / Quelle: TÜV Süddeutschland

Alle Grafiken, Bilder und Texte stehen hochauflösend  
im Internet zum Download bereit:  
<http://www.wasserstofftag.de/hydrogen/html/go/rwar-5qfs5z.de.o>



Moderne Wasserstoff-Speicher, wie sie in Fahrzeugen verwendet werden, haben in zahlreichen Crashtests und anderen Versuchen ihre Sicherheit bewiesen. Ihre Handhabung deckt sich weitgehend mit den gängigen Systemen in heutigen LPG- oder Erdgasfahrzeugen: Überfüllen, mechanische Beschädigungen, Brand, menschliches Fehlverhalten und interne Systemfehler sind die häufigsten Gefahrenquellen.

Wasserstofftag-03\_Stepken\_Foto-Crash test-BMW / Foto: TÜV Süddeutschland



Wasserstofftag-03\_Stepken\_Foto-Crash test-Speicher / Foto: TÜV Süddeutschland

Alle Grafiken, Bilder und Texte stehen hochauflösend im Internet zum Download bereit:  
<http://www.wasserstofftag.de/hydrogen/html/go/rwar-5qfs5z.de.o>