



# Wasserstoffmobilität – Da tut sich was!



von Heiny Volkart, VOLKARTpress / Zündung.ch

**Wasserstofffahrzeuge sind kein neues Thema. Die Forschung beschäftigt sich schon länger damit. Heute engagieren sich jedoch zunehmend Unternehmen der Wirtschaft, also auf privatwirtschaftlicher Basis. Dabei zeigt sich: richtig angepackt, ist einiges Umsetzungspotential vorhanden.**

Das Studienforum Schweiz für mobile Antriebstechnik (SSM) besteht seit dem Jahre 1929, bis 2019 unter der Bezeichnung Schweizerische Studiengesellschaft für Motorbetriebsstoffe (SSM). Seine Mitglieder stammen hauptsächlich aus Kreisen der Automobilverbände, der Mineralölbranche, der Motoren- und Fahrzeugwerke, des Auto- und Transportgewerbes, der Verkehrsbetriebe, des Heeres, der Post, der Eidg. Technischen Hochschule ETH-Zürich und der Eidg. Materialprüfungsanstalt EMPA Dübendorf.

Seit den 1980er Jahren steht im Zentrum des Interesses des SSM insbesondere die Optimierung der Motorentechnik im Hinblick auf die Schadstoffemissionen und des Treibstoffverbrauchs.

Das SSM will heute und in der nächsten Zukunft einen Beitrag zur Lösung der grossen Herausforderung beim anstehenden Wandel der Antriebstechnologien für Strassenfahrzeuge leisten. Konkret bezweckt das SSM die Wissensvermittlung über Erforschung, Entwicklung und Anwendung der Antriebstechnologien für Strassen- und Off-road-Fahrzeuge. Dabei stehen Analyse und Beurteilung von Fahrzeugantriebskonzepten und deren Energieversorgung unter Berücksichtigung der Bedürfnisse von und der Auswirkungen auf Mensch und Umwelt im Vordergrund.

Die diesjährige September-Vortragstagung des SSM – wie immer im Campus Sursee - trug den Titel **Wasserstoffmobilität – Hype oder Realität**

Sie zeigte auf, wie sich die Wasserstoffmobilität im Kontext der erneuerbaren Stromproduktion darstellt und wie sie sich ökonomisch einschätzen lässt. Ein Projekt mit dem Einsatz von 1'000 Brennstoffzellen-LKWs wurde vorgestellt und die Spezialitäten der Betankung erläutert. Nach den Vorträgen des Vormittags standen die drei Referenten für ein Panel zur Verfügung. Zum Abschluss der Tagung interviewte Christian Bach (Empa / SSM) einen bekannten Klimaforscher.

Für die diesjährige Fachtagung des SSM konnten wiederum sehr namhafte Referenten gefunden werden. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer (mit rund 150 Personen war der Saal praktisch ausverkauft!) erhielten einen vertieften Einblick in den aktuellen Stand der Wasserstoffmobilität.

Meinrad Signer (msco GmbH Arbon), Präsident des SSM, begrüßte die Rekordanzahl Teilnehmer und erläuterte kurz die Namenänderung des SSM. Die News auf der Website sind im Ausbau. Künftig ist der SSM Anlaufstelle für alle technischen Fragen zur Mobilität.

Als erster Referent sprach Urs Elber, Managing Director Research Focus Area Energy bei der Empa in Dübendorf zum Thema

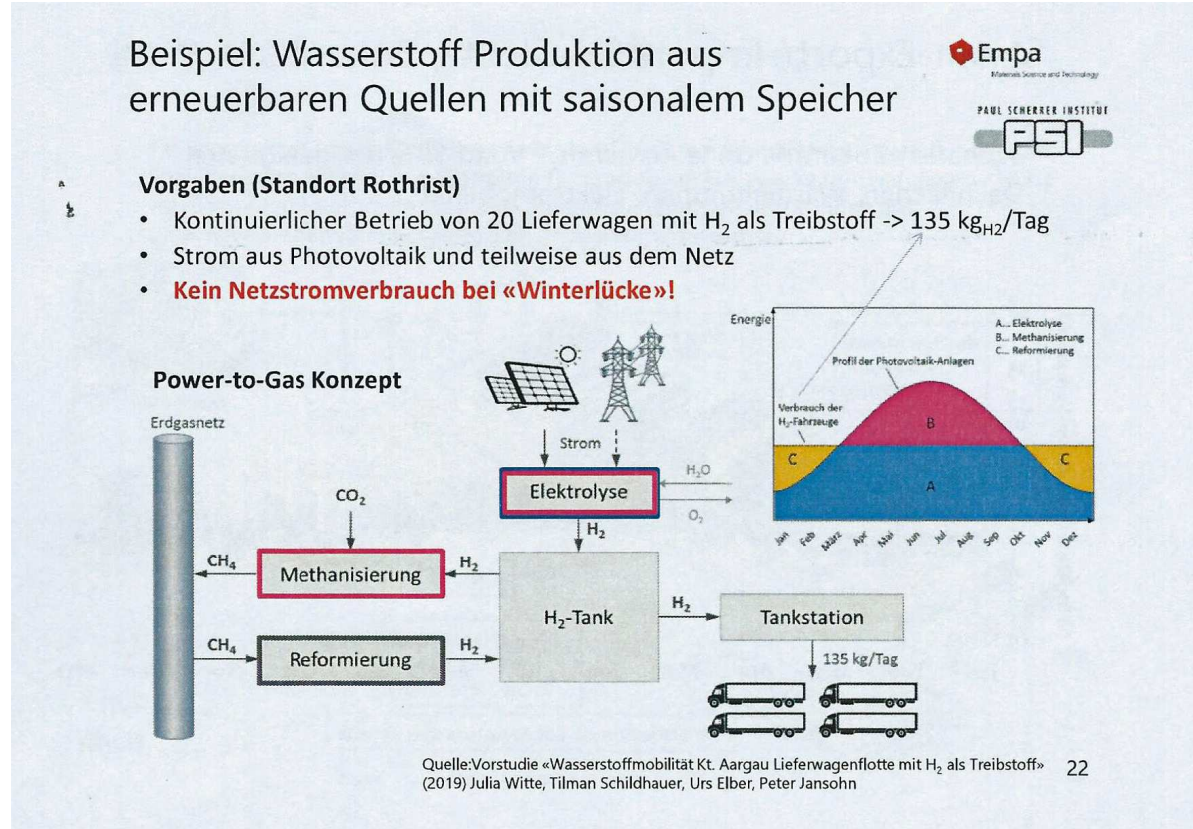
**«Energiesystem und die Elektrifizierung der Mobilität».**

Die Elektrifizierung der Mobilität, dazu zählt auch die Herstellung von Wasserstoff und synthetischen Treibstoffen, führt zu einem höheren Stromverbrauch. Elber analysierte die Auswirkungen im Zusammenhang mit dem gesamten zukünftigen Energiesystem. Dabei ist auch der Einfluss auf den gesamten CO<sub>2</sub>-Ausstoss von Bedeutung.

Nach Erklärungen, womit sich die Empa auf dem Themengebiet befasst (es ist unheimlich vielseitig) und Erklärungen, wozu es im Bereich Mobilität überall elektrische Energie braucht, kam dann die Erklärung, wo uns wann wieviel Strom fehlen wird. Heute schon haben wir im Sommer völlig genug Strom (wie die umliegenden Länder auch), im Winter aber viel zu wenig (wie die umliegenden Länder wohl bald auch). Es muss angenommen werden, dass bei winterlichem Strommangel die Länder, von

denen wir bisher Strom importieren konnten, zuerst für ihre eigenen Leute schauen werden, resp. ihre Ziele gemäß Paris21 zuerst selber erreichen wollen. Woher nehmen wir dann den fehlenden Strom? An der Empa berechnet man x Modelle und erstellt Profile aller Art, mit und ohne KKW, mit Photovoltaik auf 50% der geeigneten Dachflächen, ohne dies, mit jenem, ... Die CO<sub>2</sub>-Belastung der (elektrobasierten) Mobilität hängt von der «grauen» Energie und der CO<sub>2</sub>-Intensität des verwendeten Stromes ab.

Dann ging es im Referat von Urs Elber auch um die Wasserstoff-Produktion aus erneuerbaren Quellen mit saisonalem Speicher, das Power-to-Gas – Konzept. Wenn Strom/Gas erneuerbar ist, ist auch der Wasserstoff (H<sub>2</sub>) CO<sub>2</sub>-arm. Den Zuhörern wurde erklärt,



wie das in naher Zukunft funktionieren kann. Forschung ist aber nach wie vor nötig und findet auch sehr breit statt.

#### Fazit:

- Die eigenen Ressourcen für eine gesamte Elektrifizierung von Wärme und Mobilität werden nicht reichen, auch mit sehr viel Solarenergie nicht.
- Die zukünftigen Importmöglichkeiten von erneuerbarer Energie aus dem Ausland werden mit entscheidend sein (Strom, LNG, etc.).
- Synthetische Treibstoffe und Wasserstoff machen nur dann Sinn, wenn sie aus erneuerbaren Energien hergestellt werden.
- Synth. Treibstoffe können auch saisonal gespeichert werden und deshalb nicht sonst verwendbare Energie im Sommer nutzen.
- Zusätzliche unflexible Lasten im Stromnetz zugunsten der Mobilität können zu hohen CO<sub>2</sub>-Werten führen.
- Die Gesamteffizienz des Systems ist wichtiger als die Effizienz einer speziellen Technologie.
- Der CO<sub>2</sub>-Gehalt des zur Versorgung nötigen Gesamtsystems ist entscheidend, nicht nur der CO<sub>2</sub>-Ausstoss am Ort des Verbrauchs.
- Nachhaltigkeit besteht nicht nur aus CO<sub>2</sub>; Luftreinhaltung ist ebenso wichtig (vor allem in den Städten).

Im zweiten Referat des Tages sprach Professor Dr. Bernd Schips, erem. ordentlicher Professor für Nationalökonomie und Leiter der KOF Konjunkturforschungsstelle der ETH Zürich über  
**«Ökonomische Überlegungen zur H<sub>2</sub>-Mobilität».**

Für den Strassenverkehr der Zukunft - d.h. für Strassenfahrzeuge, die im Betrieb keine oder nur geringe Emissionen von THG (Treibhausgase) mehr verursachen, werden verschiedene Antriebskonzepte mit unterschiedlichen Vor- und Nachteilen propagiert und z.T. auch schon in einem grösseren Ausmass eingesetzt.

Gesucht sind Antriebskonzepte, mit denen die spezifischen Mobilitätsbedürfnisse mit möglichst geringen CO<sub>2</sub>-Emissionen und möglichst kostengünstig - sowohl für die Betreiber der Fahrzeuge als auch aus gesamtwirtschaftlicher Sicht - befriedigt werden können.

Vorgeschlagene Lösungsmöglichkeiten sind

- Batterieelektrisch angetriebene Fahrzeuge
- Fahrzeuge, die den für den Antrieb benötigten Strom in mit H<sub>2</sub> betriebenen Brennstoffzellen erzeugen
- Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren, die mit synthetischen Treibstoffen CO<sub>2</sub>-neutral betrieben werden

Eine vollständig CO<sub>2</sub>-freie Mobilität ist und bleibt jedoch mit einiger Sicherheit noch für viele Jahrzehnte eine Wunschvorstellung. Die Produktion der Fahrzeuge (einschliesslich aller Vorleistungen) verursacht unvermeidlich mehr oder weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen (Rohstoffgewinnung und -aufbereitung, Bau und Unterhalt der Produktionsanlagen, Produktion der Fahrzeuge, auch wenn dabei künftig weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen anfallen dürften, usw.).

Auch der Bau und Unterhalt von Anlagen zur CO<sub>2</sub>-freien Stromerzeugung und zur Umwandlung von CO<sub>2</sub>-frei erzeugtem Strom in für den Antrieb von Strassenfahrzeugen geeignete Energieträger (Batterien, H<sub>2</sub>, gasförmige oder flüssige synthetische Treibstoffe) führt zu CO<sub>2</sub>-Emissionen

### **Wasserstoff (H<sub>2</sub>)**

H<sub>2</sub> bildet mit O<sub>2</sub> ab einem bestimmten H<sub>2</sub>-Anteil ein zündfähiges und explosives Gemisch. H<sub>2</sub> ist 14-mal leichter als Luft und verflüchtigt sich schnell (wichtig im Brandfall). H<sub>2</sub> kann nach einer Verflüssigung bei tiefen Temperaturen (-250 Grad Celsius) in thermisch isolierten Tanks (unter Inkaufnahme von Verlusten zum Druckausgleich) gespeichert werden. H<sub>2</sub> kann aber auch in Drucktanks (mit 350-700 bar) gespeichert werden.

Verluste entstehen nur beim Komprimieren, die hohen Drücke erfordern jedoch ein aufwändiges Tank- und Transportsystem.

Eine noch in der Entwicklung bzw. Erprobung befindliche Lösung für die Speicherung von H<sub>2</sub> könnten „Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHC)“ sein. H<sub>2</sub> wird dabei über einen Katalysator chemisch an eine Trägerflüssigkeit gebunden, die bei normalem Druck und normaler Temperatur gelagert und transportiert werden kann. Die zu transportierende Masse nimmt dabei jedoch erheblich zu. Und in grossem Masse funktioniert das auch (noch) nicht.

Ein grosser Vorteil des H<sub>2</sub> ist seine Eignung als transportabler Speicher für grosse Energiemengen. Insbesondere ermöglicht H<sub>2</sub> die Speicherung von mit neuen erneuerbaren Energieträgern (neE) erzeugtem Strom, der häufig nicht bedarfsgerecht produziert werden kann. Diese Speicherform ist flexibler und kostengünstiger als eine Speicherung mit stationären Batterien.

H<sub>2</sub> ermöglicht z.B. durch eine Substitution des Brennstoffs und Reduktionsmittels «Koks» in der Stahlproduktion eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Auch eine Weiterverarbeitung zu verschiedenen Kohlenwasserstoffen (wie Methan, Methanol, Ethan oder Propan) ist möglich, aus denen sich CO<sub>2</sub>-neutrale synthetische Treib- und Brennstoffe oder Grundstoffe für die chemische Industrie herstellen lassen.

Eine direkte Verwendung von H<sub>2</sub> als Treibstoff für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren ist technisch machbar. Der Wirkungsgrad eines mit H<sub>2</sub> betriebenen Verbrennungs- Motors ist jedoch geringer als der einer mit H<sub>2</sub> betriebenen Brennstoffzelle. Da H<sub>2</sub> keinen Kohlenstoff enthält, entstehen in einem damit betriebenen Verbrennungsmotor nur Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>, aber praktische keine Emissionen von CO<sub>2</sub>, CO und HC (geringe Spuren dieser Schadstoffe in den Abgasen gehen auf die zur Motorschmierung benötigten kohlenstoffhaltigen Öle zurück).

H<sub>2</sub> ist oft ein Nebenprodukt der chemischen Industrie (\*), kann jedoch auch direkt aus Erdgas (CH<sub>4</sub>) hergestellt werden. Mit Strom - und vorzugsweise mit von Wasserkraft- und Kernkraftwerken sowie von Photovoltaik- und Windkraftanlagen CO<sub>2</sub>-frei erzeugtem Strom - kann H<sub>2</sub> durch eine Elektrolyse aus

Wasser ( $H_2O$ ) gewonnen werden. Der Strombedarf für die Elektrolyseure ist jedoch hoch, die bei einer Elektrolyse entstehende Abwärme kann aber u.U. in ein lokales Wärmenetz eingespeist werden.  
(\* Mit der Menge könnten damit allein in D 750'000  $H_2$ -Fahrzeuge betrieben werden.

Eine Brennstoffzelle wandelt einen chemischen Energieträger (Brennstoff) in elektrische Energie um. Im Unterschied zu einer Batterie ist der chemische Energieträger aber nicht fest eingebaut, sondern wird im Betrieb kontinuierlich von aussen zugeführt.

Als Brennstoffe kommen neben  $H_2$  auch gasförmige und flüssige Kohlenwasserstoffe (wie z.B. Methan( $CH_4$ ) oder Methanol ( $CH_4OH$ ) in Betracht. Aber nur eine mit  $H_2$  betriebene Brennstoffzelle verursacht keine  $CO_2$ -Emissionen.

Der Wirkungsgrad einer mit  $H_2$  betriebenen Brennstoffzelle liegt bei gut 80 Prozent, die eines Fahrzeugs mit einer  $H_2$ -Brennstoffzelle bei etwa 50 Prozent und unter Einbeziehung der  $H_2$ -Herstellung bei knapp 30 Prozent (Well- to-Wheel).

Batterieelektrische Fahrzeuge kommen auf einen Wirkungsgrad von 90 Prozent, bei einer Schnellladung sinkt der Wirkungsgrad u.U. aber auf etwa 75 Prozent. Unter Einbeziehung der Stromerzeugung ist bei einer Well- to-Wheel-Betrachtung ein batterieelektrisches Fahrzeug nur wenig besser als ein Fahrzeug mit einer  $H_2$ -Brennstoff- Zelle (aus einem zunehmenden Anteil von Photovoltaik- und Windkraftanlagen an der Stromerzeugung resultiert zudem auch ein grosser Speicherbedarf).

$H_2$  lässt sich binnen weniger Minuten für grosse Reichweiten nachtanken, ohne lange Ladezeiten in Kauf nehmen oder grosse und schwere Batterien mitführen zu müssen. Eine Brennstoffzelle liefert nur gleichförmig Strom, zur Überwindung von Lastspitzen wird daher eine Batterie benötigt.

Der Bau von  $H_2$ -Tankstellen ist noch teuer (ca. 1 Mio. CHF); durch die zu erwartenden Skaleneffekte werden aber die Kosten für die Erstellung von  $H_2$ -Tankstellen künftig deutlich sinken.

Gegenwärtig sprechen eine noch unzureichende Infrastruktur für die Versorgung mit  $H_2$  und auch die - im Vergleich mit Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren - hohen Anschaffungspreise für Fahrzeuge mit  $H_2$ -Brennstoffzellen gegen eine rasche Verbreitung dieses Antriebskonzepts. Mit dem Aufbau von regionalen Netzen mit  $H_2$ -Tankstellen zur Betankung von regional eingesetzten Lkw und Bussen mit  $H_2$ -Brennstoffzellen könnte jedoch das Versorgungsproblem dann auch für PKW schrittweise gelöst werden.

Bei steigenden Stückzahlen dürften Fahrzeuge mit  $H_2$ -Brennstoffzellen zu mit batterieelektrischen Fahrzeugen vergleichbaren Kosten hergestellt werden. Ein gewichtiger Kostenfaktor ist das zur Inganghaltung der Reaktion von  $H_2$  mit  $O_2$  als Katalysator benötigte Platin. (Die benötigte Menge an Platin liegt bei ca. 8-10 Gramm. Diese Menge ist auch für den Katalysator eines Fahrzeugs mit Benzinmotor erforderlich (ungefähr 98 Prozent des Platins in den Katalysatoren der Fahrzeuge mit Benzinmotoren wird jedoch bereits heute durch Recycling zurückgewonnen). Auch die Herstellkosten der in den  $H_2$ -Brennstoffzellen gestapelten Schichten aus Elektroden und dazwischen liegenden Membranen („Stacks“) werden aufgrund rationeller Fertigungsmethoden und technischer Fortschritte künftig sicher deutlich sinken. (Kostensenkungen aufgrund technischer Fortschritte und Skalenerträgen wird es nicht nur bei Batterien geben (Energiedichte, Gewicht und Ladedauer).)

## Exkurs

In der Brennstoffzelle trifft  $H_2$  aus dem Tank auf  $O_2$  aus der Umgebung. An einer Membran werden dann 2  $H_2$ -Moleküle aufgespalten, wobei 4 Elektronen entstehen. Die negativ geladenen Teilchen sorgen dann dafür, dass sich auch ein  $O_2$ -Molekül trennt, das mit dem aufgespaltenen  $H_2$  zu  $H_2O$  reagiert. Die Elektronen können die Membran nicht passieren und müssen auf dem Weg zum  $O_2$  einen Umweg einschlagen. Dadurch fliesst ein Strom, mit dem sich ein Elektromotor betreiben lässt.

Ein bereits auf dem Markt erhältlicher Pkw mit einer  $H_2$ - Brennstoffzelle verbraucht z.B. auf 100 km ca. 0.8 kg  $H_2$ . Die Kosten für konventionell hergestellten  $H_2$  liegen z.Zt. bei ca. 9.50 Euro (bzw. ca. 11 CHF) pro kg. Die Kosten für durch Elektrolyse gewonnenen  $H_2$  hängen davon ab, ob und inwieweit der zur Herstellung von  $H_2$  eingesetzte  $CO_2$ -frei erzeugte Strom mit Abgaben und Netzentgelten belastet wird.

## Vergleich mit anderen Antriebskonzepten

Vorteile der  $H_2$ -Brennstoffzellenfahrzeuge sind - im Vergleich mit batterieelektrischen Fahrzeugen - das geringere Fahrzeuggewicht und die grössere Reichweite sowie insbesondere die für Schwerlastfahrzeuge relevante deutlich höhere Nutzlast. Der Tankvorgang beansprucht zudem wesentlich weniger

Zeit als die Aufladung einer Batterie, auch wenn die Reichweiten der batterieelektrischen Fahrzeuge künftig steigen und die Beladungszeiten kürzer werden sollten.

Batterieelektrische Fahrzeuge (mit gleicher Reichweite) haben - über den Lebenszyklus - keine Vorteile in Bezug auf die CO<sub>2</sub>- Emissionen gegenüber H<sub>2</sub>-Brennstoffzellenfahrzeugen (selbst wenn in beiden Fällen für die Produktion und den Antrieb sowie für die Herstellung von H<sub>2</sub> nur CO<sub>2</sub>-freier Strom eingesetzt wird. Nur die für den Agglomerationsverkehr prädestinierten batterieelektrischen Fahrzeuge mit geringer Batteriekapazität (kleiner 50 kWh) haben - auch beim gegenwärtigen europäischen Strom-Mix - leichte Vorteile in Bezug auf die CO<sub>2</sub>- Emissionen. Nicht nur der Aufbau einer Infrastruktur für eine ausreichende Versorgung mit H<sub>2</sub> verursacht hohe Kosten, sondern auch die Errichtung einer privaten und einer öffentlich zugänglichen Ladeinfrastruktur (inklusive Speicher) für batterieelektrische Fahrzeuge.

Hinzu kommen - neben den Komforteinbussen batterieelektrischer Fahrzeuge bei Reichweite und Ladedauer - ev. auch netzbedingte und rechtliche Hindernisse beim Bau der Ladeeinrichtungen. Für lange Strecken und den Transport schwerer Lasten sind batterieelektrische Fahrzeuge sicher keine optimale Lösung.

Mit synthetischen und CO<sub>2</sub>-frei erzeugten Treibstoffen können diese Transportaufgaben aber gelöst werden. Auch für andere Einsatzbereiche von Verbrennungsmotoren - insbesondere für Teilbereiche der Schiff- und Luftfahrt für die es - zumindest derzeit noch - keine praktikablen batterieelektrische Mobilitätslösungen gibt, bieten solche Treibstoffe zukunftsfähige Einsatzmöglichkeiten.

CO<sub>2</sub>-frei erzeugter H<sub>2</sub> kann in einem weiteren Schritt mit CO<sub>2</sub> zu gasförmigen oder flüssigen Kohlenwasserstoffen kombiniert werden (das benötigte CO<sub>2</sub> kann der Atmosphäre oder hoch konzentrierten CO<sub>2</sub>-Emissionen entnommen werden). Die so produzierten Brenn- und Treibstoffe können kostengünstig gelagert und transportiert werden. Auch die vorhandene Transport- und Verteilungsinfrastruktur kann weiter genutzt werden.

Mit diesen synthetischen Treibstoffen können Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren CO<sub>2</sub>-neutral betrieben werden. Die für die Herstellung dieser Treibstoffe notwendigen Umwandlungsschritte beeinträchtigen jedoch den Gesamtwirkungsgrad der damit angetriebenen Fahrzeuge. Nur etwa 13 Prozent der eingesetzten Energie bleiben am Ende noch für den Antrieb der Fahrzeuge. Zudem sind diese Treibstoffe noch etwas teurer als Treibstoffe aus Mineralölen.

Bei einer steigenden Produktion dieser Treibstoffe werden mit Sicherheit auch die Herstellungskosten sinken (falls der benötigte Strom von Abgaben und Netzentgelten entlastet wird). Mit Blick auf die globalen Fahrzeugmärkte, wo es mit Sicherheit auch in den nächsten Jahrzehnten, insbesondere wegen der oft fehlenden Infrastruktur für batterieelektrische Fahrzeuge, noch eine hohe Nachfrage nach Fahrzeugen mit konventionellen Verbrennungsmotoren geben wird, lohnt sich jedoch die Entwicklung und Produktion synthetischer Treibstoffe.

Das in einigen Ländern angestrebte Ziel eines CO<sub>2</sub>-armen Strassenverkehrs kann also auch mit von synthetischen Treibstoffen angetriebenen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren erreicht werden. Dadurch würde vor allem der Umbau der Produktionsanlagen in der Auto- und Zulieferindustrie erleichtert, sowie die technische Wettbewerbsfähigkeit und Präsenz der etablierten Hersteller auf den Weltmärkten erhalten bleiben.

In den kommenden Jahrzehnten werden mit Sicherheit noch Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren benötigt und nachgefragt werden.

Der Entscheid für ein CO<sub>2</sub>-armes Antriebskonzept sollte daher aufgrund der unterschiedlichen Mobilitätsanforderungen und -bedürfnisse bestimmt werden und nicht von einer kurzfristig orientierten Politik erzwungen werden.

Wenn in einem Wirtschaftsraum versucht wird, im Vergleich mit anderen Weltregionen wesentlich strengere Emissionsvorschriften durchzusetzen, um einem bestimmten Antriebskonzept zum Markterfolg zu verhelfen, kann eine solche Politik die Wettbewerbsfähigkeit der Fahrzeughersteller und Zulieferer beeinträchtigen. (Kosten für den Umbau von Produktionsanlagen, Veränderungen in den Liefer- und Wertschöpfungsketten, usw.), ohne dass dies mit dem Verkauf CO<sub>2</sub>-ärmerer Fahrzeuge auf anderen Märkten kompensiert werden kann.

Auf Subventionen, steuerliche Vorteile und/oder Privilegien für ein bestimmtes Antriebskonzept ist unbedingt zu verzichten.

Die Belastung von Strassenfahrzeugen mit Steuern und Abgaben ist - angesichts des bei Marktanteils gewinnen CO<sub>2</sub>- armer Fahrzeuge und der dadurch schwindenden Einnahmen aus Mineralölsteuern

usw. - allerdings früher oder später zu modifizieren, um die bisher damit finanzierten Aufgaben weiterhin bewältigen zu können (z.B. durch eine an Fahrleistung und Gewicht anknüpfende Besteuerung).

Bernd Schips streute auch da und dort Randbemerkungen ein, z.B. dass der elektrische Betrieb der halben Pkw-Flotte Deutschlands gleich viel Strom benötigte wie ganz Deutschland verbraucht. Oder dass ein elektrisch betriebener 40-Tonner-Lastwagen eine 10 Tonnen schwere Batterie mit-schleppen müsste, was zu Lasten der möglichen Zuladung ginge.

Aber die Zuhörer wussten nun, dass es möglich ist, aber nicht einfach und dass man dies und jenes und auch das und und und bedenken muss.

Nach so viel Theorie ging's nun in die Praxis – mindestens teilweise.

Rolf Huber, Gründer und VR-Präsident der H2-Energy AG in Zürich-Glattpark, referierte zum Thema

## **Warum ist die Schweiz weltweit das erste Land mit einer Flotte von über 1'000 H2-Lkws?**

Es geht dabei um die Einführung von 1'000 Hyundai Brennstoffzellen-Lastwagen in der Schweiz und deren Versorgung durch 100% erneuerbaren Wasserstoff.

Warum *wird* die Schweiz das erste Land ... wäre vielleicht der ehrlichere Titel gewesen, denn die ersten dieser 1'000 Lastwagen kommen erst gegen Ende 2019 in Verkehr, 50 sind es dann bis Ende 2020.

Der Anstoss kommt von Coop, die seit Jahren den Einsatz von Wasserstoff studieren und fördern und in Hunzenschwil auch eine der beiden ersten Tankstellen betreiben. Coop möchte die CO2-Neutralität erreichen. Marktpotential und Soziales Interesse sind Stichwörter.

Bei H2 ist man der Ansicht,

- dass die Einführung dieser H2-Lkws Investitionen auslösen für die nationale H2-Infrastruktur.
- Die H2-Lkws ermöglichen einen wirtschaftlichen Betrieb der H2-Tankstellen.
- Die Wasserstoff-Infrastruktur löst Nachfrage nach Wasserstoff-Personenwagen aus.
- Wasserstoff-Pw gewinnen Marktanteile und sparen zusätzlich CO2 ein.

Huber berichtet über die emissionsfreie Kreislaufwirtschaft für die Mobilität und den Schwerverkehr:

- Laufwasserkraftwerke liefern erneuerbare Energie (Ressourcen),
- PEM Elektrolyseure wandeln Wasser und Strom in Wasserstoff und Sauerstoff (H2-Produktion)
- Wasserstofftransport (Logistik)
- An den Wasserstofftankstellen wird Wasserstoff angeboten (Tankstellen-Infrastruktur)
- Transporteure können durch H2 ihre Lkw-Flotte dekarbonisieren (Bereitstellung H2-Lkws).

Das Gesamtsystem ist seit 2016 operativ!

Hyundai ist der Wunschpartner. Weitere Automobilkonzerne mit etablierter H2-Kompetenz sind Toyota und Honda. Weitere 51 Marken im Besitz von 11 Automobilfirmen haben da aber (noch) keine Kompetenzen.

Jetzt wurde bekanntgegeben, dass Hyundai in der Schweiz ab jetzt bis 2025 nicht nur tausend, sondern 1'600 schwere Nutzfahrzeuge liefern wird. Sie werden mit 100% «grünem» Wasserstoff betrieben.

Zu Beginn sind es 34-Tonner (4x2 Brennstoffzellen-Anhängerzug), ab 2021 dann auch 40-Tonner (ebenfalls 4x2 FC-Anhängerzüge). 44-Tonner-Sattelschlepper (4x2/6x4) sind in Abklärung. Erste H2-Lkw laufen Ende 2019, 50 werden es Ende 2020 sein. Der vollständige Roll-out beginnt 2021.

2020 werden erste H2-Lastwagen auch in zwei weiteren Ländern laufen. Die minimale Absatzmenge sind 250 Lastwagen.

Die wichtigsten Akteure, die die Voraussetzungen schaffen für die Lkw-Betreiber sind Hyundai und H2 Energy. Wichtige Beteiligte sind aber auch die Tankstellenbetreiber Avia, Agrola, Coop/CMA, Migrol, Shell, Socar und Tamoil. Auf der «Stromseite» dann Alpiq, H2 Energy und Linde.

Als Hauptgründe, warum die Schweiz für eine Lancierung am attraktivsten ist, nennt Rolf Huber das Unternehmertum, Natur und Landschaft, die Incentivierung, die Politik, die Kultur und den Forschungsstandort.

Denn wir haben hier eine Top-Forschung mit exzellenter Unterstützung (Beispiel EMPA). Gemäss Huber streben Unternehmer in der Schweiz nicht nur nach den tiefsten Kosten.



Dass die Politik sich eher passiv verhält, sei sehr hilfreich; Huber nennt die Stichworte Bescheidene Subventionspolitik, keine Wirtschaftspolitik (da keine eigene Automobilindustrie), Sonderregeln, da nicht in der EU, (meist) unbürokratisch, technologieagnostisch und offen.

Übrigens: Die Wissenschaft ist viel weiter als die Wirtschaft.

Und zu Natur und Landschaft: Wenn es hier in der Schweiz geht, geht es überall!

Zum Schluss kommt auch die LSVA noch zur Sprache: Huber sagt, die LSVA sei eine Art Emissionsgebühr, welche auf die Alpeninitiative zurückgehe.

Befreiung von der LSVA eröffne Möglichkeiten, emissionsfreie Lastwagen schon heute kommerziell einzusetzen.

### Das anschliessende Podiumsgespräch

mit den drei Referenten führt Fabian Bilger von Averenergy Suisse.



Von links:  
Rolf Huber, Prof. Bernd Schips, Urs Elber,  
Moderator Fabian Bilger

Daraus nur eine Bemerkung zur Stromherstellung: Die beste Form der Stromherstellung sei in Laufkraftwerken, da gehe nichts ins Netz, also keine Netzgebühren und dergleichen, Wasserstoffherstellung vor Ort und dann mit Lastwagen direkt zur H<sub>2</sub>-Tankstelle.

Der Transport des Wasserstoffs auf der Strasse koste etwa 5 Rp./km. 10 Km Distanz würden den Wasserstoff um 50 Rp. pro Kg verteuern (wobei wir wissen, dass ein Pw für 100 Km ca. 0.8 Kg benötigt).

Am Nachmittag erfuhren die Zuhörer dann etwas über die H<sub>2</sub>-Tankstellen. Die Wasserstoffindustrie steht vor der Herausforderung, bestimmte (in der europäischen Gesetzgebung festgelegte) Messanforderungen zu erfüllen. Der Fachvortrag von Patrick Stadelmann, wissenschaftlicher Mitarbeiter im Labor für Fahrzeugantriebsysteme der Empa Dübendorf, beschäftigte sich mit dem aktuellen Design der Wasserstofftankstelle und zeigte, was die messtechnischen Anforderungen sind. Ziel ist es, sicherzustellen, dass diese Vorgaben die weltweite Einführung von Wasserstofffahrzeugen auf dem Automobilmarkt nicht verhindern.

Das Referat mit dem Titel  
**«Metrology for Hydrogen Vehicles»**

war zwar auf Deutsch gehalten, aber mit englischen Ausdrücken gespickt. Die Diskussionen der Empa-Mitarbeiter in Dübendorf werden wohl vorwiegend auf Englisch geführt.

Bis vor kurzem gab es noch gar keine anerkannte Test- oder Eichmethode für Wasserstofftankstellen. Abweichungen bei Bezügen waren also üblich und blieben unerkannt. Seit Oktober 2018 gibt es nun neue Messmethoden, die wesentlich komplizierter und umfangreicher sind als das Eichen einer Benzintankstelle. Sie dauern u.U. mehrere Tage. Da spielt zum Beispiel der Druck beim Eichen eine Rolle, der von 20 bis 700 bar reichen kann, ob ganz gefüllt wird oder nur teilweise,...  
Sagen wir: Es ist umfangreich und kompliziert.

The slide features a photograph of a white hydrogen fuel cell vehicle being refueled at a station. Red circles highlight specific components: the vehicle's inlet, the nozzle, the dispenser's control panel, and the dispenser's body. Text boxes provide technical details: 'Hydrogen supplied can vary up to 875 bar in pressure and between -40°C to ambient temperature during refuelling', 'Unknown mass of hydrogen is lost during venting', and 'Flow meters in the refuelling station must be accurate to 1% (OIML R 139-1)'. A note states 'Refuelling stations cannot cost their customers with required accuracies'. The Empa logo is in the top right corner.

Dann folgte der Blick ins Ausland:

**«Wasserstoffmobilität in Deutschland – Status Quo und Ausblick».**

Benjamin Jödecke, Business Development Manager bei der H<sub>2</sub> MOBILITY Deutschland GmbH & Co. KG in Berlin erläuterte die Strategie der Bundesregierung zum Aufbau von H<sub>2</sub>-Tankstellen und regulatorische Rahmen, die Rolle der H<sub>2</sub> Mobility Deutschland, Status Quo und Ausblick des Ausbaus der Infrastruktur, Betrieb der H<sub>2</sub>-Tankstellen. Jödecke referierte auch zu den Herausforderungen und Implikationen für die Zukunft, das Fahren mit Wasserstoff und die Nutzung von Brennstoffzellenfahrzeugen aus Kundensicht.

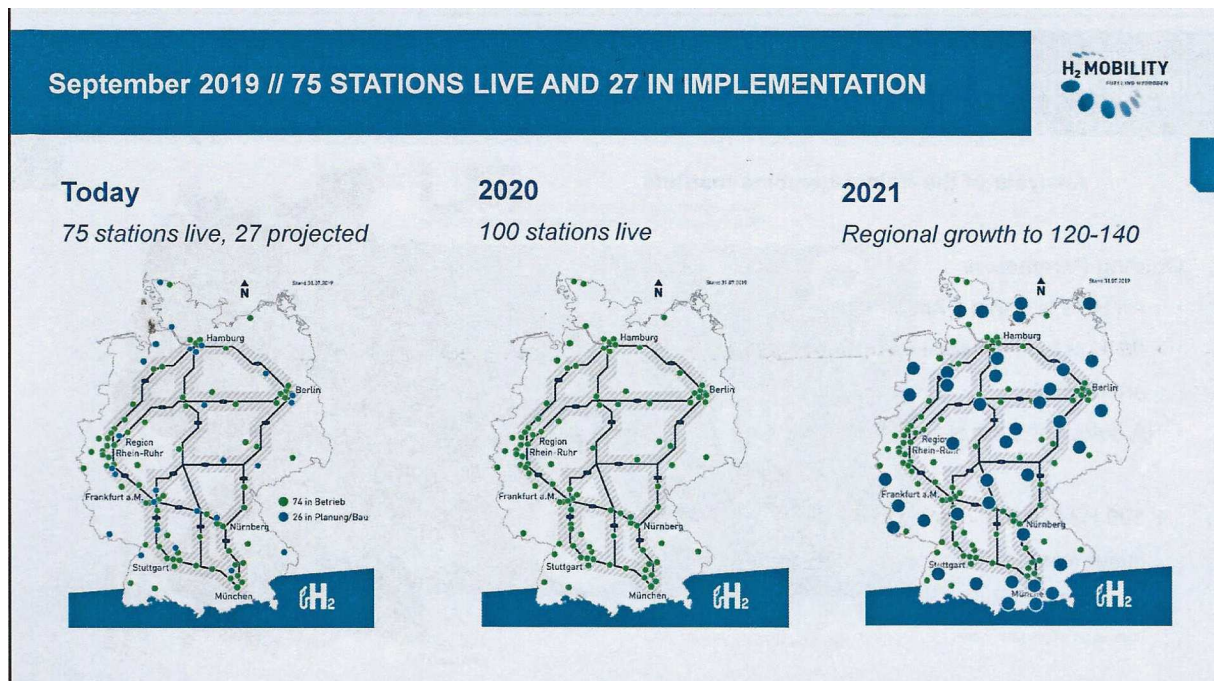
H<sub>2</sub> Mobility ist ein Joint Venture von sechs Industrieführern, nämlich Air Liquide, Daimler, Linde, OMV, Shell und Total. Unterstützung leisten BMW, Honda, Hyundai, Toyota, Volkswagen und NOW (Nationale Organisation für Wasserstofftechnologie), sowie die deutsche Regierung.

Die Roadmap sieht vor, 100 Wasserstofftankstellen zu bauen bis Anfang 2020. Dieses Ziel werde man wohl früher erreichen. Aktuell und heute aktiv sind bereits 76 H<sub>2</sub>-Tankstellen. Diese 100 Tankstellen werden gebaut ungeachtet der Autoverkäufe, resp. der Nachfrage. Der für 2025 geplante Ausbau auf



400 Tankstellen ist dann aber abhängig von den Fahrzeugverkäufen und der Nachfrage. Bis 2030 könnten es dann um die 1'000 Tankstellen werden.

Der Fokus liegt zuerst auf den «metropolitan regions» wie Berlin, Nürnberg, München, Stuttgart, Frankfurt, Rhein-Ruhr, Hamburg und die verbindenden Autobahnen. 2021 werden es 120 bis 140 Stationen sein, davon eine Anzahl auch ganz im Süden Deutschlands.



Jödecke meint, man sei gerüstet und vorbereitet für künftiges Wachstum, nämlich von heute um die 400 H2-Autos auf bis zu 40'000 gegen Ende 2019. 100 Wasserstofftankstellen ermöglichen 6.27 Millionen Privatkunden den Zugang zu einem FC-Fahrzeug für ihre Mobilitätsbedürfnisse.

Man erfährt auch, wie und wo welcher Antrieb sinnvoll ist oder sein wird: BEV, also Batteriefahrzeuge, z.B. bis ca. 100 Km/Tag und einer Zuladung von 10 Tonnen. Auf der andern Seite Bio- und H2-basierte synthetische Treibstoffe für Flugzeuge und Schiffe, 10'000 Tonnen und 1'000 Km/Tag. Und für alles dazwischen ist das FCEV (Brennstoffzellenfahrzeug) die richtige Wahl.

An diesen Ausführungen war gut zu erkennen, dass die Schweiz keine Insel ist. Am Beispiel Deutschland sieht man, dass dort ebenfalls mit Hochdruck die Wasserstoffmobilität vorangetrieben wird.

Das nachfolgende Interview, das Christian Bach von der Empa mit Prof. Dr. Reto Knutti führte, Professor für Klimaphysik am Institut für Atmosphäre und Klima an der ETH-Z, passte insofern in die Vortragsreihe, weil den ganzen Tag ja von CO2 und dessen Vermeidung die Rede war. Es ging im Interview um den Klimawandel, Kyoto- und Pariser Klimaabkommen wurde erklärt. Obwohl IPCC-Mitglied Knutti «das Heu sicher nicht auf derselben Bühne» hat wie eine grosse Zahl der Zuhörer, erklärte er die Fakten erfreulich sachlich und unideologisch.

Erfreuliche Erkenntnis der Vortragstagung: Es geht vorwärts mit der Wasserstoffmobilität. Sofern der Strom alternativ, grün, umweltfreundlich, wie immer man das bezeichnen will, hergestellt wird, wurde von allen Referenten betont, ist Wasserstoff eine sehr gute Alternative zu Dieseln/Benzinern und eine bessere Lösung als BEVs, wenn es um grössere Reichweiten und Zuladungen geht.

Heiny Volkart, VOLKARTpress  
September 2019