

... über Forschung, Entwicklung und Anwendung der Antriebstechnologien  
... über Analyse und Beurteilung von Motoren- und Antriebskonzepten  
... über die Aspekte der Energie  
... über Auswirkungen auf Mensch und Umwelt

---

Vortragstagung SSM / SAE, 17. September 2019

## „Wasserstoffmobilität – Hype oder Realität?“

Ueli Wolfensberger

Sicher von beidem etwas. Einerseits wird teilweise in den Medien euphorisch über die schier grenzenlosen Möglichkeiten der Wasserstoffmobilität geschrieben, andererseits werden tatsächlich sehr realistische Projekte vorange-  
trieben. Sechs ausgewiesene Fachleute beleuchteten in ihren Referaten und einem Panelgespräch das Thema.

Nach heutigem Stand zeichnen sich drei Lösungswege für die Mobilität ab: batterieelektrisch angetriebene Fahrzeuge (BEV), Wasserstoff-Fahrzeuge (Brennstoffzellen-Fahrzeuge, FCV) und Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor und synthetischem Treibstoff. Alle Antriebe brauchen direkt oder indirekt Strom. Berücksichtigt man dazu noch den Strombedarf für den Ersatz für fossile Raumwärme und den Wegfall des Kernkraftstroms, zeigt sich, dass die eigenen Ressourcen auch mit sehr viel Solarenergie nicht reichen werden. Stromimport, vor allem im Winter, wird unsicher sein, weil die umliegenden Länder gleichermassen knapp an Strom sein werden. Ein Lösungsansatz kann die saisonale Energiespeicherung in Form von Wasserstoff bzw. synthetischem Treibstoff sein, die im Sommer aus sonst nicht verwendbarer erneuerbarer Energie produziert werden (PtG). Für lange Strecken und den Transport schwerer Lasten sind BEV nicht geeignet,

deshalb bietet sich für LKW's der Antrieb mit Strom aus Brennstoffzellen an, die mit aus erneuerbarer Energie erzeugtem Wasserstoff betrieben werden.

Zwar ist der Wirkungsgrad eines BEV bei einer Well-to-Wheel-Betrachtung deutlich besser als bei einem H<sub>2</sub>-Brennstoffzellenfahrzeug, dagegen hat das Wasserstoff-Auto Vorteile bzgl. Batteriegrösse, Betankung, Speicherung und Reichweite. Die Betankung, bei der der Treibstoff im Tank auf hohen Druck (350 - 700 bar) gebracht wird, erfolgt schnell und sicher. Wasserstoff-Tankstellen müssen – wie alle Tankstellen – gesetzliche Messanforderungen erfüllen.

Aufgrund der extremen Druck- und Temperaturbedingungen mussten neue Mess- und Eichmethoden für die Volumenmessung entwickelt werden, die umfangreich und kompliziert sind. Unter anderem auch deshalb sind Wasserstoff-tankstellen noch sehr teuer und die Infrastruktur entsprechend wenig verbreitet. Dennoch herrscht Zuversicht für einen Erfolg der Wasserstoff-Mobilität. In einem Projekt werden in der Schweiz 2020 erstmal 50 und bis 2025 etwa weitere 1500 schwere Hyundai H<sub>2</sub>-LKWs in Betrieb gehen. Der Wasserstoff wird unmittelbar neben dem Laufwasserkraftwerk CO<sub>2</sub>-frei

erzeugt. Das Projekt verspricht, die Wasserstoff-Infrastruktur und damit die Nachfrage in Gang zu bringen. Auch in Deutschland wird in dieser Richtung gearbeitet, natürlich in grösserem Rahmen und mit ehrgeizigem Fahrplan.

Weitere Informationen:

- <https://www.ssm-studies.ch/vortragstagungen/vortragstagung-ssm-2019>

- Medienbericht siehe [https://www.ssm-studies.ch/fileadmin/pdf/SSM/Medienberichte/Heiny\\_Volkart\\_-\\_Wasserstoffmobilitaet\\_-\\_Da\\_tut\\_sich\\_was.pdf](https://www.ssm-studies.ch/fileadmin/pdf/SSM/Medienberichte/Heiny_Volkart_-_Wasserstoffmobilitaet_-_Da_tut_sich_was.pdf)

Im abschliessenden Interview mit Prof. Dr. Reto Knutti, Professor für Klimaphysik, wurden die Anstrengungen für die CO<sub>2</sub>-freie Mobilität in den grossen Rahmen des Klimawandels und der Klimaabkommen gestellt.

SSM Forum Technik vom 28. Oktober 2019 an der Empa

## „Synthetische Treibstoffe“

*Ueli Wolfensberger und Christian Bach, Empa*

„Wir haben kein Energieproblem ... sondern ein CO<sub>2</sub>-Problem“. So eine Quintessenz am Schluss des äusserst interessanten, rund zweistündigen Forums des SSM. Drei kurze Referate bildeten die Grundlage zur Diskussion. Das Projekt einer 1 MW-Pilotanlage zur Erzeugung von PtL-Treibstoff (Power-to-Liquid) in Laufenburg wurde durch den Energiedienst vorgestellt. Eine Elektrolyseanlage in 40 Fuss-Containergrösse produziert Wasserstoff mittels erneuerbarem Strom aus dem Laufwasserkraftwerk; mit CO<sub>2</sub> wird daraus in einem weiteren Container ein Synthesegas (H<sub>2</sub>/CO) erzeugt, das dann in einem von Ineratec entwickelten, neuartigen Fischer-Tropsch-Verfahren verflüssigt wird. <https://ineratec.ch/>

Das zweite Projekt kommt von der Interessengemeinschaft Nordur Power Grid Association, in dem es um eine Zusammenarbeit der Schweiz mit Island und dem Import von verflüssigtem, erneuerbarem Gas geht. Island besitzt ein grosses natürliches Potential zur Erzeugung von erneuerbarem Strom, u.a. mit Geothermie-Kraftwerken. Mit solchem Strom erzeugte Gase werden verflüssigt, in die Schweiz transportiert und ins Gasnetz gespeist. <https://www.nordur.org/pages/d/home.php>.

Die Demonstratoranlage "move" der Empa schliesslich zeigt ganz praktisch, wie Infrastruktur und Anwendung einer nachhaltigen Treibstoffversorgung mit erneuerbarem Strom, mit Wasserstoff oder synthetischem Methan (PtG) aussehen könnte. Das dritte Referat stellte ein vor Kurzem gestartetes Projekt an der Empa vor, das auf einer an der Empa entwickelten, sorptionsverstärkten Methanisierung basiert, bei der das Reaktionswasser kontinuierlich abgeschieden wird. Dabei wird das chemische Gleichgewicht der Reaktion auf nahezu 100%

Methan verschoben, was die ansonsten erforderliche Abtrennung von überschüssigem Wasserstoff mit Ruckeinspeisung erübrigt. Gleichzeitig wird eine atmosphärische CO<sub>2</sub>-Versorgung von Climeworks realisiert. Die Abwärme der Methanisierung wird für die Desorption des CO<sub>2</sub> in der Climeworksanlage verwendet, was den Wirkungsgrad erhöht <https://www.empa.ch/web/move>.

Weshalb es synthetische Treibstoffe braucht: die 70 % kürzesten Tagesfahrstrecken mit einem hohen Innerortsanteil machen lediglich 30 % der gesamten Laufleistung der Personenwagen aus. Der grosse Teil, also 70 % der Kilometerleistung und damit des CO<sub>2</sub>-Ausstosses, stammen von den 30 % längsten Tagesfahrstrecken. Mit Elektrofahrzeugen, die sich für Kurzstrecken ideal eignen, lässt sich die Langstreckenfahrten und die damit verbundene CO<sub>2</sub>-Belastung nur unterdurchschnittlich verbessern. Für Langdistanzen und auch für hohe Nutzlasten eignen sich (Hybrid) Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren besser. Diese dürfen aber in Zukunft nicht mehr mit fossilen Treibstoffen betrieben werden, weshalb die Entwicklung erneuerbarer synthetischer Treibstoffe notwendig ist.

Die anschliessende Diskussion zeigte: Synthetische Energieträger braucht es nicht nur für die Langstrecken-Personenwagen, sondern auch für die Langstrecken-Lastwagen, für den Flug- und Schiffsverkehr und für die Winterstromversorgung unseres Landes. Die Einhaltung der Klimaziele über Technologieregulierungen ist in vielen Fällen nicht überzeugend. Zu gross ist die Gefahr, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen einfach nach ausserhalb der Systemgrenze Schweiz verschoben werden. Das regulatorische Ziel sollte beinhalten, bis 2050 keine fossile Energie

mehr in die Schweiz zu importieren; welche Technologien dann eingesetzt werden, sollte der Markt auf wettbewerbliche Art bestimmen.

## Antriebsbatterien für e-Fahrzeuge (Teil 2)

*Markus Peter, AGVS*

Nachdem im letzten Newsletter (Nummer 18, August 2019) ein Blick auf den grundlegenden Aufbau und typische Zelleigenschaften geworfen wurde, so sollen in diesem Beitrag die in einer Antriebsbatterie verbauten Sicherheitselemente betrachtet werden, die bei einem Unfall, aber auch bei Werkstattarbeiten essenziell sind.

Grundsätzlich gilt es bei den Anforderungen an die Sicherheit zwischen Batterien bis 60 Volt und solchen mit darüber liegenden Spannungen zu unterscheiden. So müssen ab 60 Volt sowohl die Minus- als auch die Plusleitungen des Hochvolt-Systems als separate Leitungen geführt werden, während bei tieferem Spannungsniveau das negative Spannungspotential in der Regel über die leitfähige Karosserie geführt wird.

Betrachtet man eine typische Antriebsbatterie eines reinen Elektroautos mit einer Spannung von 400 Volt, so sieht man, dass die fingerdicken orangefarbenen Kabel von den Hochvolt-Komponenten paarweise als Plus- und Minusleitung zur Batterie geführt werden. Bei genauere Betrachtung der Hochvolt-Anschlussstellen fällt auf, dass neben den massiven Hochvolt-Kontakten meistens noch zwei weitere feine Kontakte vorhanden sind. Diese bilden zusammen mit einem Steuergerät eine ringförmige Leitung durch alle Hochvolt-Komponenten und dienen dazu, dass ein Unterbruch, z.B. aufgrund eines abgetrennten Kabels, sofort erkannt wird. So werden die über je ein Relais mit der Antriebsbatterie verbundenen Hochvoltleitungen spannungsfrei geschaltet. Damit besteht ausserhalb der Antriebsbatterie keine gefährliche Spannung mehr.

Für zusätzliche Sicherheit bei Reparaturarbeiten sorgt der Wartungstrennstecker. Dieser befindet sich bei manchen Fahrzeugen direkt in der Serienschaltung zwischen zwei Zellpaketen. Wird er entfernt, kann selbst bei einer versehentlichen Reaktivierung der Relais an den äusseren Anschlussstellen der Batterie keine

Spannung vorhanden sein. Bei anderen Fahrzeugen sitzt der Wartungstrennstecker zum Beispiel im Kofferraum oder Motorraum. In diesem Fall wird die Batterie nicht mechanisch zwischen zwei Zellpaketen getrennt, sondern die steuerstromseitige Ansteuerung der Hochvolt-Relais manuell unterbrochen.

Konventionelle Schmelzsicherungen kommen bei Kurzschluss zwischen Hochvolt-Plus und Hochvolt-Minus zum Einsatz. Bei internen Defekten an zwei verschiedenen Hochvolt-Komponenten können zwischen den unterschiedlichen Spannungspotentialen gefährliche Kurzschlussströme über die Metall-Gehäuse der Hochvolt-Komponenten und ein Lebewesen, das die zwei Komponenten berührt, fliesen, welche für Menschen tödlich sein könnten. Um dies zu vermeiden, sind Potentialausgleichskabel zwischen den Metall-Gehäusen angebracht. Diese Kabel sorgen dafür, dass die Schmelzsicherung auslöst.

Bei einzelnen Herstellern werden zudem pyrotechnische Trennelemente verbaut, die bei einem Unfallereignis aktiviert werden. Dabei wird die Hochvoltleitung durch eine kleine darin integrierte Sprengkapsel unterbrochen.

Während der Fahrt oder auch beim Ladevorgang überwacht ein Steuergerät schliesslich die Isolation der Hochvolt-Leitungen und -Komponenten gegenüber der Fahrzeugkarosserie. In Werkstätten erfolgt die Überprüfung der elektrischen Isolation mit Hilfe spezieller Messgeräte.

Letztlich darf nicht unerwähnt bleiben, dass ein ausgeklügeltes Thermomanagement dafür sorgt, dass alle Zellen in der Antriebsbatterie möglichst die gleiche und ideale Temperatur aufweisen. Dazu wird meistens ein eigener, teilweise recht aufwendiger Kühlmittelkreislauf für die Batterie verwendet. Ein leistungsfähiges Kühlsystem ist insbesondere auch bei der Schnellladung mit hohen Ladeströmen wichtig.

## LNG als Treibstoff für schwere Nutzfahrzeuge

Markus Peter, AGVS

Während die Elektromobilität bei den Personwagen bereits an Fahrt aufgenommen hat, ist sie bei den schweren Nutzfahrzeugen im Langstreckeneinsatz ein seltener Gast. Für diesen Einsatzzweck wird der Verbrennungsmotor wohl noch lange die dominierende Antriebsform bleiben. Das heisst aber nicht, dass es für die Langstrecke keine ökonomischen und ökologischen Alternativen zum Diesel gibt. So rollen auch in der Schweiz bereits erste mit Brennstoffzelle und Elektromotor angetriebene Lastwagen über die Strassen. Eine weitere Alternative findet sich in der Verwendung von verflüssigtem Erdgas, kurz LNG (Liquified Natural Gas).

Chemisch entspricht LNG dem aus dem Gebäude- und Fahrzeugeinsatz bekannten CNG (Compressed Natural Gas) und besteht hauptsächlich aus Methan. Es unterscheidet sich aber in der Form der Speicherung. Während CNG unter hohem Druck von rund 200 bar bei Umgebungstemperatur gespeichert wird, so erfolgt die Speicherung von LNG in sehr gut isolierten Tanks bei Temperaturen von minus 140 Grad Celsius und einem Druck von rund 10 bar. Die Tieftemperaturspeicherung hat gegenüber der Hochdruckspeicherung den Vorteil, dass bei gleichem Tankvolumen mehr Treibstoffmenge gespeichert werden kann.

Herausfordernder als bei CNG ist dafür der Umgang mit dem trotz guter Isolation nicht gänzlich zu vermeidenden Temperaturanstieg des Tankinhaltes. Würde ein betankter LNG-LKW tagelang herumstehen, so führte der Temperaturanstieg zu einem erhöhten Druck im Tank und zum Öffnen der Abblasevorrichtung. Bei gasförmig austretendem Gas entsteht zusammen mit

der Umgebungsluft ein zündfähiges Gemisch (bei 5 bis 15 Volumen-%). Im Freien stellt dies nur eine sehr kurzfristige Gefährdung dar. Problematischer ist die Situation in geschlossenen Räumen, z.B. bei Werkstätten oder Lagerhallen.

Dementsprechend wichtig sind organisatorische Massnahmen, mit welchen verhindert wird, dass eine potentielle Abblase von LNG in geschlossenen Räumen stattfinden kann. Dazu gehört beispielsweise die Überprüfung der Druckwerte im LNG-Tank vor und während des Werkstattaufenthaltes oder eine kontrollierte Entleerung des Tanks, wenn das Fahrzeug für längere Zeit in der Werkstatt verbleiben muss, beispielsweise nach einem Unfall oder für die Konstruktion eines Aufbaus.

Für den Umgang mit LNG wichtig zu wissen ist, dass tiefkaltes und somit flüssiges LNG nicht brennbar ist. Dementsprechend wechselt die Gefährdung beim Übergang vom flüssigen in den gasförmigen Zustand von Erfrierungsgefahr hin zu Brandgefahr.

Je nach LKW-Hersteller werden unterschiedliche Verbrennungsverfahren für LNG eingesetzt. Während bei Volvo mit Beimischung von 5 bis 10% Diesel nach dem Selbstzündungsverfahren gearbeitet wird, so findet bei Scania und Iveco das Fremdzündungsprinzip Anwendung.

Mit verflüssigtem Erdgas kann gegenüber dem Dieselbetrieb bereits eine geringe CO<sub>2</sub>-Reduktion erzielt werden. Wird aber Biogas oder synthetisches Methan verwendet (verflüssigt oder gasförmig), kann auch ein Lastwagen praktisch CO<sub>2</sub>-neutral betrieben werden.

### In Kürze

„Stadler hat von San Bernardino County Transportation Authority (SBCTA) den Auftrag für die Lieferung eines mit Wasserstoff angetriebenen Zuges des Typs FLIRT inklusive einer Option auf vier weitere baugleiche Züge erhalten. Dieser soll im Süden Kaliforniens, in San Bernardino County, verkehren. Der erste FLIRT H<sub>2</sub> soll

ab dem Jahr 2024 im Fahrgastbetrieb eingesetzt werden.“

*(aus der Medienmitteilung von Stadler, 14. Nov. 2019. Die Firma Stadler wird uns freundlicherweise zu gegebener Zeit einen Kurzbericht zur Verfügung stellen).*

## Veranstaltungen und Termine

- 2./3. März 2020      KTBL-Fachtagung, John Deere Forum Mannheim  
Mit Energie in die Zukunft: Strom, Wärme und Kraftstoffe in der Landwirtschaft  
[https://www.ktbl.de/fileadmin/user\\_upload/Allgemeines/Download/Tagungen-\\_2020/Energie/Mit\\_Energie\\_in\\_die\\_Zukunft.pdf](https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Allgemeines/Download/Tagungen-_2020/Energie/Mit_Energie_in_die_Zukunft.pdf)
18. März 2020      11th VERT Forum, Empa Dübendorf  
Technologies and Policies towards Zero-Emission Combustion Engines
25. Mai 2020      SSM-Forum, Biel (offen für alle Mitglieder)  
Lithium-Ionenbatterien für die Mobilität – Funktionsweise, Potentiale und Umweltfragen  
Einladung per E-Mail an die SSM-Mitglieder folgt
22. Sept. 2020      SSM/SAE Switzerland Vortragstagung, Campus Sursee  
Die Welt hat kein Energieproblem. Wir haben ein CO<sub>2</sub>-Problem  
<https://www.ssm-studies.ch/vortragstagungen/vortragstagung-ssm-2020>