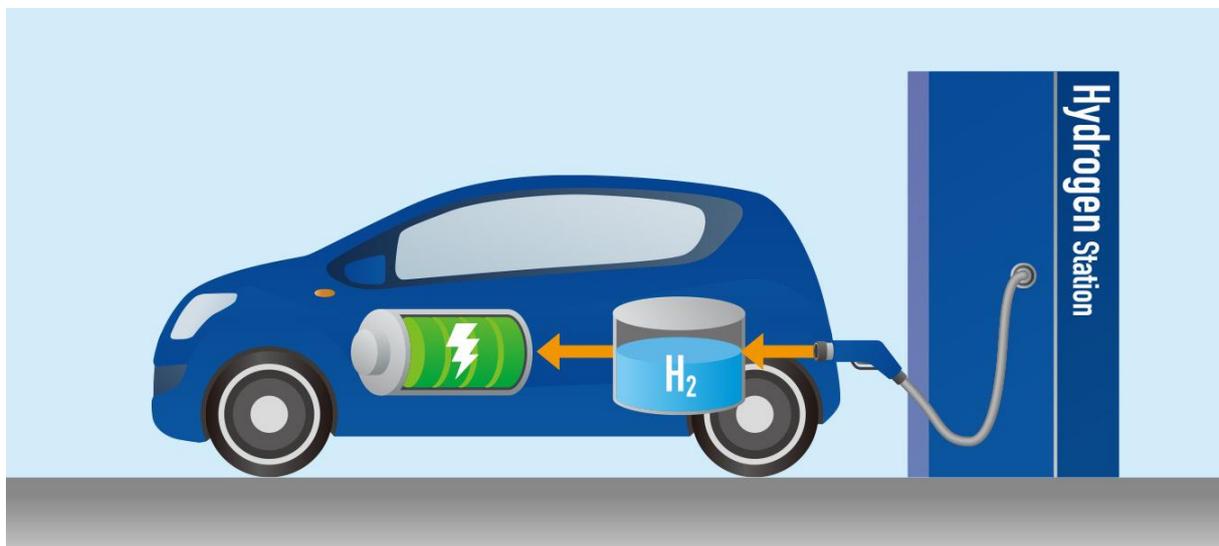


Dr. Daniel Wothe, Michael Huber, Jan Andreas (ANLEG)

## ENERGIESPEICHERUNG IM AUTOMOBIL: WASSERSTOFF VERSUS BATTERIE

Es geht auch leichter.



Elektrofahrzeuge gelten als umweltfreundliche Alternative zu konventionellen Verbrennern. Die klassische Energiespeicherung durch eine Batterie weist im alltäglichen Gebrauch jedoch Einschränkungen auf. Lange Ladezeiten, eine geringe Energiedichte sowie Reichweite sind auf Langstrecken und beim Transport, eine erhebliche Restriktion. Hinzu kommt das hohe Eigengewicht der Batterie. Um eine Elektrifizierung der Mobilität voranzutreiben gilt es deshalb alternative und effiziente Speichermedien in Betracht zu ziehen. Wasserstoff könnte, bedingt durch seine hohe Energiedichte, einer dieser Alternative darstellen.

## E-MOBILITÄT UND IHRE HERAUSFORDERUNGEN

Ein großer Vorteil von rein elektrischen Antrieben in Automobilen liegt in den vielfältigen Möglichkeiten die Fahrzeugarchitektur zu gestalten. Ohne die Vorgaben der konventionellen Antriebstechnik lassen sich vorteilhaftere Raumkonzepte und andere Designs umsetzen.

Die größte Herausforderung der Elektromobilität besteht allerdings weiterhin in der Energiespeicherung, der Ladeinfrastruktur und der Ladedauer. Moderne Batteriepacks liegen zwischen 40 und 80 kWh, dies entspricht 250 bis 600 kg an Speichermedien und in etwa einem Zehntel der Energiedichte von konventionellem Kraftstoff. Wenngleich in den letzten Jahren enorme Fortschritte in der Batterietechnologie erreicht werden konnten, so sind die derzeit bekannten Speichersysteme, im Hinblick auf die Thermodynamik, noch nicht in der Lage eine echte Alternative zum Verbrennungsmotor ohne Einschränkungen bei der Fahrweise, der Reichweite und dem Einsatzgebiet darzustellen. Denn außerhalb der urbanen Umgebung ist die Ladesäuleninfrastruktur derzeit kaum vorhanden.

Solange diese Voraussetzungen zu einer reinen Elektromobilität nicht erfüllt sind, liegt beim Autokauf die Nachfrage auf Seiten der Hybridfahrzeuge,<sup>1</sup> wenngleich die Wachstumsrate bei rein batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV) derzeit stärker steigt. Der Nachteil beim Hybridfahrzeug wie z. B. beim Plug-In-Hybridfahrzeug (PHEV) liegt in der Beibehaltung der konventionellen Antriebsstrangarchitektur und damit einem nicht gewichtsoptimalen Konzept. Für rein batterieelektrische Fahrzeuge (BEV), die sinnvoll für den außerstädtischen Bereich eingesetzt werden sollen, ist ein Range Extender eine notwendige Ergänzung. Hier gibt es unterschiedliche Systeme: Ein kleiner Verbrennungsmotor oder eine Turbine, die einen Generator antreiben oder die Brennstoffzelle – FCEV (Fuel Cell Electrical Vehicle). Letztere kann mit unterschiedlichen Kraftstoffen betrieben werden. Die CO<sub>2</sub> neutrale Variante stellt Wasserstoff dar. Wasserstoff ist das leichteste aller Gase und daher der optimale Energiespeicher zur Revolutionierung unserer Verkehrssysteme. In der Raumfahrt werden seit Jahrzehnten die Weltraumraketen mit Wasserstoff angetrieben. Die Herausforderung besteht dabei in der sicheren Speicherung. Hierfür gibt es bereits effektive technische Lösungen, wie den **COPV (Compound Overlapped Pressure Vessel)**.

---

<sup>1</sup> Laut KBA wurden von Januar bis November 2017 21.644 E-Fahrzeuge und 77.576 Hybridfahrzeuge neu zugelassen.

Der COPV besteht aus einem Kunststoffbehälter (Liner), der mit Karbonfasern umwickelt ist, die in Harz eingebettet sind. Hier können derzeit zylindrische Tanks mit einem Druck bis 700 bar und einer Füllmenge von 3 bis 10 kg, oder bei Bedarf auch größer, als technischer Stand angesehen werden. 5-6 kg entsprechen in etwa dem Energiegehalt einer durchschnittlichen PKW-Tankfüllung mit konventionellem Petro-Kraftstoff. Die manuelle Fertigung dieser Tanks läuft derzeit noch in Kleinserie. Hier wäre ein industrielles Scale-up Szenario sinnvoll, welches für einen wirtschaftlichen Ansatz im Volumenbereich gedacht ist. Das **TAHYA Projekt**, gesponsert von der europäischen Kommission, befasst sich derzeit mit der Entwicklung solcher Systeme. Die Herstellung der COPV erfolgt mit Hilfe einer Winding-Maschine in die der Liner (Kunststofftank) eingespannt wird. Dieser wird dann mit Harz getränkten **Carbonfasern** in über 30 Schichten umwickelt und anschließend im Ofen ausgehärtet. Der Kostentreiber sind die Carbonfasern, welche ca. 45 % der Kosten des COPV ausmachen. Im Gesamtsystem entfallen ca. 50 % der Kosten auf die Sicherheitsventiltechnik, die z. B. von der Firma Anleg in Kleinserie produziert wird.

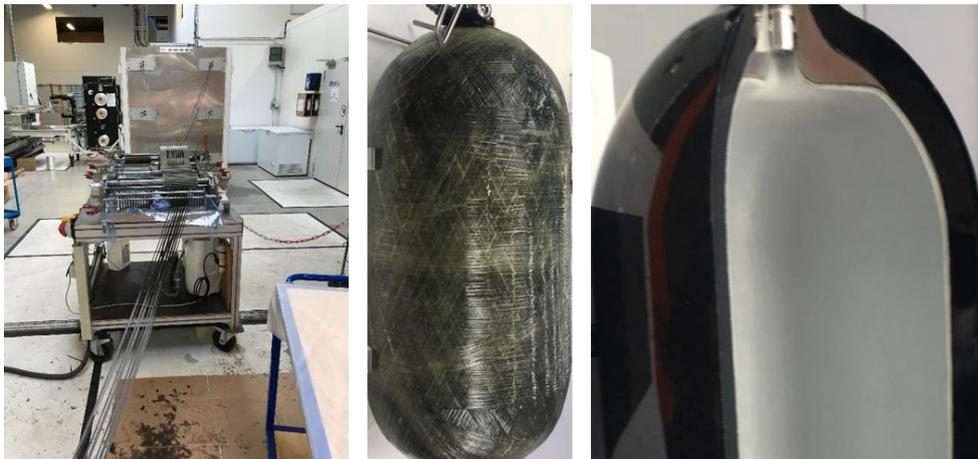


Abb. 1: Tränken der Karbonfasern mit Harz, COPV und Schnitt durch COPV. Quelle: Eigene Bilder.

## | > WEITERE VOR- UND NACHTEILE VON WASSERSTOFF

Neben der hohen Gewichtseinsparung liegt der Vorteil von Wasserstoff in der Vielzahl seiner Herstellungsverfahren. So kann durch Elektrolyse überall dort Wasserstoff erzeugt werden, wo auch elektrischer Strom produziert wird. Dabei kann eine Überproduktion sinnvoll, einfach und kostenschonend in Form von Wasserstoff gespeichert werden. Überschüssige Energie, die beispielsweise temporär bei Off-Shore Windkraftanlagen entsteht, könnte somit direkt aus dem Meerwasser Wasserstoff erzeugen. Hier könnte Wasserstoff als Energiespeicher fungieren und zum Beispiel über

längere Strecken in Rohrleitungen direkt zum Verbraucher „transportiert“ werden. Vorhandene Gaspipelines könnten überdies genutzt werden. Desweiteren sind Wasserstofftankstellen technisch und von der Infrastruktur zwar komplexer als konventionelle Petro-Tankstellen, aber weniger aufwändig flächendeckend zu realisieren, als eine Stromversorgungs-Infrastruktur in ländlichen Gebieten.

Der Nachteil liegt in der Rückgewinnung von elektrischer Energie aus Wasserstoff. Dies kann durch eine Verbrennungskraftmaschine mit Generator oder der Brennstoffzelle, welche sich im Einsatz des FCEV befindet, stattfinden. Hierbei ist der Wirkungsgrad der Brennstoffzelle zu beachten, welcher bei der Umwandlung von Wasserstoff in elektrische Energie Wärmeverluste beinhaltet. Desweiteren werden in der Brennstoffzelle nicht unerhebliche Mengen an Platin benötigt, welche allerdings durch Mikrostrukturierung signifikant reduziert werden konnte und so wettbewerbsfähige Kosten zu anderen Systemen möglich sind.

Die Vor- und Nachteile der Verwendung des Wasserstoffes als Range Extender oder in Verbindung mit einer Mid-Size Batterie werden sich noch herauskristallisieren. Im Fall des Range Extenders wird die Hauptenergie zum Betrieb des elektrischen Antriebsstranges aus der Batterie entnommen. Überdies dient sie als Speicher für zurückgewonnene Bremsenergie. Im Stillstand oder bei langsamer Fahrt kann die Brennstoffzelle die Batterie laden, so dass ein Szenario ohne E-Charger denkbar wäre.

|                            | Batterie    | Wasserstoff           |
|----------------------------|-------------|-----------------------|
| Reichweite pro Tankfüllung | 50 – 500 km | 500 – 750 km          |
| Dauer Tankvorgang          | >30 min     | 3-5 min               |
| Antriebskosten / 100 km    | ca. 4,44    | ca. 8,10 <sup>2</sup> |
| Gewicht                    | 250-600 kg  | 20-30 kg              |

<sup>2</sup> Die Kosten für Wasserstoff beziehen sich auf den derzeit noch über konventionelle Verfahren gewonnenem Wasserstoff aus fossilen Brennstoffen und würden sich im Zuge der Überkapazitäten durch die Energiewende dem Strompreis angleichen.

## FAZIT

*Ein sinnvolles Setup für PKWs mit Langstreckentauglichkeit könnten verschiedene modulare Kombinationen aus einem COPV mit Brennstoffzelle und einer Batterie sein. Der Aufbau von Energiemodulen bestehend aus einer Batterietechnologie für den städtischen Einsatz und der Kombination aus COPV mit Brennstoffzelle würde eine Architektur FCEV/BEV ermöglichen. Die Module ließen sich beispielsweise je nach Einsatzziel und im Betrieb variabel anpassen.*

THE GUIDING STAR FOR THE  
MANUFACTURING INDUSTRY



## AUTOR & IHR VERSIERTER KONTAKT BEI POLARIXPARTNER



### Dr. DANIEL WOTHE

POLARIXPARTNER GmbH  
Graf-Siegfried-Str. 32, 54439 Saarburg, Deutschland  
[www.polarixpartner.com](http://www.polarixpartner.com)

**Tel.:** +49 6581 8290-242

**Mobil:** +49 151 52743442

**E-Mail:** [Daniel.Wothe@polarixpartner.com](mailto:Daniel.Wothe@polarixpartner.com)

### EXPERTISE

- 10 Jahre Erfahrung als Berater in der chemischen und pharmazeutischen Industrie, sowie der Automobilindustrie und im Anlagen- und Maschinenbau
- Hohe Prozessexpertise im Bereich Supply Chain, Produktion, Instandhaltung, Qualitätsmanagement und -kontrolle, Produktentwicklung (PEP) und F&E
- Wert- und Kostenmanagement, Operational Excellence, KVP und Lean
- Organisationsentwicklung und Change-Management
- Schnittstellenübergreifende Planungs- und Steuerungsprozesse

## ÜBER POLARIXPARTNER

**MANAGEMENT. BERATUNG. MACHEN.** POLARIXPARTNER ist die Managementberatung für die fertige Industrie. Als langjährige Industrie-Insider sind wir gerne Ihr verlässlicher Leitstern auf dem Weg zum Erfolg – zielgebend wie früher der Polarstern für die Seefahrer. Unser Ansatz ist ganzheitlich und wir verfolgen eine umsetzungsorientierte Philosophie: Dabei tauchen wir analytisch und strategisch tief in Ihre Kernprozesse ein – werden aber auch direkt auf dem Shopfloor aktiv und sorgen für eine optimale Verbesserung entlang Ihrer gesamten Wertschöpfungskette.

**VORDENKEN. OPTIMIEREN. UMSETZEN.**