

---

## Historie und Histörchen (49): „Willkommen im Klub!“

Von Hanns-Peter von Thyssen-Bornemisza, cen

Als in den frühen 90-er Jahren des vergangenen Jahrhunderts Mercedes-Benz sein erstes Brennstoffzellen-Auto vorstellte, nutzte der damalige Pressechef des Batterieherstellers Varta eine seiner ersten E-Mails für einen Glückwunsch an die Stuttgarter: „Willkommen im Klub!“. Denn zu der Zeit hatte Varta sein erstes Brennstoffzellen-Fahrzeug im Forschungszentrum Kelkheim nach rund zehn Jahren schon wieder verschrottet, weil die deutsche Automobilindustrie kein Interesse mehr an abgasfreien Antrieben gezeigt hatte. Die USA hatten ihre Umweltschutzvorschriften geändert, und die Brennstoffzelle wurde von einem Tag zum anderen von einer Technik in Erprobung zu einer Illusion.

Gleichzeitig verschwand auch der Wasserstoff als alternativer Kraftstoff wieder aus dem Blick. Noch im November 1988 hatte BMW dem kalifornischen Gouverneur Arnold Schwarzenegger mit lauter Begleitmusik einen BMW Hydrogen 7 übergeben, einen 7er BMW, der Wasserstoff und Benzin aus zwei Tanks für seinen Verbrennungsmotor an Bord hatte. Doch der Ansatz, Wasserstoff im Verbrennungsmotor scheiterte – an fehlenden Tankstellen, den Stickoxid-Werten und dem mangelnden Engagement von Unternehmen und Kunden.

Flüssiger Wasserstoff wird bei Temperatur von minus -253 Grad Celsius flüssig und damit tankbar. Dazu muss Wasserstoff aus einem Tank soweit komprimiert werden, dass die Minustemperatur erreicht wird. Einmal im Tank entsteht das zweite Problem: Wasserstoff verflüchtigt sich gern aus dem Tank, weil die H<sub>2</sub>-Moleküle sehr klein sind und sich daher durch viele Materialien verkrümmeln kann. Auf dem Weg zum Motor muss er dann mit Wärme von außen wieder gasförmig am Einspritzsystem abgegeben werden. Gegenüber dem Wasserstoffverbrenner weist die Brennstoffzelle in Verbindung mit einem Elektromotor dennoch eine höhere Effizienz auf. Sie kann bis zu 60 Prozent betragen, was allerdings in der Hauptsache dem elektrischen Wirkungsgrad des Elektromotors zu danken ist.

Ein Nachteil der Wasserstoffwirtschaft ergibt sich aus dem Wasserstoff selbst, der kaum in natürlicher Form vorkommt, sondern produziert werden muss. Produzieren bedeutet aber Energieverbrauch, beispielsweise bei der Produktion von Wasserstoff aus Erdgas (CH<sub>4</sub>) oder Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) entsteht. Eine andere Idee wäre die tatsächliche Umkehrung der Elektrolyse (Energiegewinnung durch chemische Reaktionen beispielsweise durch die Spaltung von Wasser), erste Experimente hierzu finden derzeit in Norwegen statt. Die haben ja auch genug Strom aus Wasserkraft und führen damit den anderen vor Augen, unter welchen Bedingungen die Wasserstoffwirtschaft sinnvoll ist: Erzeugung mit umweltfreundlich erzeugter Energie.

Erste Vorversuche zur Brennstoffzelle gab es bereits im 19. Jahrhundert. „Erfunden“ wurde sie dann im Jahr 1839 von dem in Swansea, Wales, geborenen Juristen und Physiker Sir William Robert Grove (1811-1896). Er experimentierte zu dieser Zeit mit der Elektrolyse von Wasser zu Wasserstoff und Sauerstoff und stellte fest, dass sich dieser Prozess nicht nur in der Theorie, sondern auch praktisch umkehren ließ. Jahrzehntlang wurde die Brennstoffzelle im Stillen weiterentwickelt.

Anfangs hatte Deutschland in diesem Bereich die Nase vorn, getrieben von der US-Vorschrift, nach der 1998 fünf Prozent aller verkauften Autos in den USA komplett ohne Emissionen fahren sollten. Doch dann überzeugte die Lobby der US-Industrie die Politik, dass dieses Ziel mit der Batterie nicht zu erreichen war. Die Politik verzichtete, und die

---

deutsche Industrie ließ erst einmal alles neben dem Benzin- und Dieselmotor und der uralten Blei-Säure-Batterie wie eine heiße Kartoffel fahren. Opfer war die Batterietechnologie wie die Lithiumionen-Batterie, die heute aus Asien kommt und die Brennstoffzelle, die allerdings trotzdem im Verborgenen weiterlebte.

Nach vielen Prototypen und den Kleinserien zeigte Mercedes-Benz auf der Internationalen Automobil-Ausstellung 2011 zum 125. Geburtstag des Automobils, wie dessen Zukunft aussehen könnte. Unter dem Motto „Mercedes Next“ präsentierten die Stuttgarter auch das Forschungsfahrzeug F 125!. Beim F 125! setzte Mercedes-Benz seine Vision vom emissionsfreien Fahren mit Wasserstoff um und unterstrich dabei das Potential von H<sub>2</sub> als Energieträger der Zukunft. Der F 125! war ein Plug-in-Hybrid, das seine elektrische Energie aus einer Brennstoffzelle bezog, Der Antrieb bestand aus einer Brennstoffzelle und einer leistungsfähigen Lithium-Schwefel-Hochvoltbatterie. Als Wasserstoffspeicher diente ein neuartiger Wasserstofftank, der direkt in die Karosseriestruktur integriert war. Als Reichweite wurden 1000 km angegeben.

Schon um 1995 beschäftigten sich Autobauer intensiv mit Brennstoffzellen-Pkw. Daimler-Benz stellte mit dem Necar II (New Electric Car) ein Forschungsfahrzeug vor und rühmte es als das „mit Abstand umweltfreundlichstes Auto der Welt“. Wird gegenüber auch die Herstellung des Wasserstoffs als Vorkette bis zur Betankung (Well-to-Tank) in die Betrachtung einbezogen (Well-to-Wheel-Betrachtung), verschlechtert sich dessen Ökobilanz drastisch, wird es gar als „Eines der klimafeindlichsten Autos überhaupt“ bezeichnet.

Neuere Ökobilanzen zeigen nun, unter welchen Rahmenbedingungen Brennstoffzellenfahrzeuge ökologisch konkurrenzfähig werden im Vergleich zu batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen und konventionellen Benzinautos. Daimler wollte 2014 mit der Großserienfertigung von Wasserstofffahrzeugen beginnen. Um die Alltagstauglichkeit des Wasserstoffantriebes nachzuweisen, startete Daimler eine Weltumrundung mit mehreren Brennstoffzellenfahrzeugen der Mercedes-Benz B-Klasse. Bereits 200 Serienfahrzeuge dieses Typs wurden 2010 auf Leasingbasis an Kunden ausgeliefert. Doch Ende 2012 wurde die Serienproduktion um mehrere Jahre verschoben.

Dabei darf man Opel zu den Pionieren des Brennstoffzellenantriebs zählen. General Motors – genauer gesagt eine Opel-Abteilung für alternative Abtriebe in der Nähe von Rüsselsheim – hatte ein Konzept, das in den General Motors/Opel HydrGen3 einfluss, von dem es zwei Ausführungen gab, die sich in der Wasserstoffspeicherung unterschieden. Die erste Version hatte einen 68 Liter fassenden Tank für flüssigen Wasserstoff. Diese 4,8 kg Wasserstoff reichten für ca. 400 km. Die andere Version hatte Wasserstoffdrucktanks die bei 700 bar Druck etwa 2,8 kg Wasserstoff fassten, was für etwa 270 km Fahrstrecke reichte. Die Höchstgeschwindigkeit betrug 160 km/h bei einer Beschleunigung von 0 bis 100 km/h in 16 Sekunden.

Der Opel HydroGen4 (auch GM HydroGen4, HydroGen4 by Opel; in den USA Chevrolet Equinox Fuel Cell, in Großbritannien Vauxhall HydroGen4) ist ein Brennstoffzellenfahrzeug, das auf der Internationalen Automobilausstellung 2007 in Frankfurt am Main vorgestellt wurde.

Opel hatte im April 2011 angekündigt, ab 2015 erste Serienmodelle mit Brennstoffzellenantrieb in Serie zu fertigen. Parallel wollte das damals noch zu General Motors gehörende Unternehmen den Aufbau einer flächendeckenden Infrastruktur für Wasserstofftankstellen voranzutreiben. Auch daraus wurde nichts.

Mit dem Mercedes-Benz GLC F-Cell setzen die Stuttgarter auf der IAA 2017 in Frankfurt erneut ein Ausrufezeichen. Das Vorserienfahrzeug soll das weltweit erste Elektroauto sein, das eine Brennstoffzelle und eine Batterie für den Elektroantrieb miteinander

---

verbindet, den Mercedes-Benz GLC F-Cell. Insgesamt fasst das Antriebssystem 4,4 Kilogramm Wasserstoff, was allein für eine Reichweite von bis zu 437 Kilometern (NEFZ) ausreichen soll. Hinzukommt die zusätzliche Energie aus einer 13,8 kWh großen Lithiumionen-Batterie, die noch einmal 49 Kilometer oben drauflegt. Insgesamt ergibt sich somit eine Reichweite von rund 500 Kilometern. Während der Wasserstofftank des SUVs in drei bis fünf Minuten aufgefüllt werden kann, nimmt das Aufladen von Akkus deutlich mehr Zeit in Anspruch.

Einen entscheidenden Schritt haben die Entwickler auch bei der Bauweise der Brennstoffzelleneinheit gemacht, die in Zusammenarbeit mit Ford entstanden ist. Die Module benötigen weniger Platz und lassen sich im Motorraum des GLC unterbringen. Hinzukommt, dass die Systemleistung um 40 Prozent gestiegen und der Platinanteil um 90 Prozent gesunken sein soll.

Zum Detroit Autosalon 2016 hatte Audi seinen ersten Concept-Wagen mit Brennstoffzellen-Antrieb gezeigt, der eine Reichweite von 600 km haben sollte. Seine Höchstgeschwindigkeit war mit 200 km/h, die Beschleunigung 0 bis 100 in 7 Sekunden angegeben. Seine Tankzeit sollte nur 4 Minuten betragen.

Doch verfestigt sich zur Zeit der Eindruck, dass die Entwicklung von Brennstoffzellen-Fahrzeugen und die Vorbereitungen für einen Serienbau in Deutschland ins Stocken geraten sind. Der Grund mag in den aktuellen Umweltvorschriften liegen. Wenn die Hersteller bis 2025 eine Kohlendioxid-Emission von 95 Gramm pro Kilometer erreichen wollen, brauchen sie schnell elektrisch betriebene Fahrzeuge. Denn für die stellt Europa einen Bonus in Rechnung, der hilft, den höheren Verbrauch größerer Verbrennungsmotoren zu kompensieren. Kurzfristig steht aber nur die Batterie als Energiespeicher für die Elektromobilität zur Verfügung. Fürs Erreichen der Grenzwerte beim Flottenverbrauch brauchen gerade die deutschen Premiumhersteller die Elektro-Boni. Für die Entwicklung der Brennstoffzellen-Technologie und besonders der Tank-Infrastruktur bleiben weder Zeit noch Geld.

Sie nehmen dabei den Widerspruch in Kauf, dass sie auf der einen Seite hunderte von Millionen in Leichtbau investieren und gleichzeitig dem Elektroauto mindestens eine halbe Tonne Batterie mit ins Autoleben geben. So wird die Batterietechnologie zu einer Übergangstechnologie bis die Brennstoffzelle übernehmen kann. Diesen teuren Umweg verdanken unsere Gesellschaft dem hysterischen Umgang mit den Auto-Emissionen. Auch hier gibt es einen Widerspruch zu bedauern: Der ökologische Fußabdruck eines Elektroautos mit Batterien (cradle2grave) über die Produktion bis zur Verschrottung eines Elektroautos ist beim deutschen Kraftwerksmix mit rund 40 Prozent Strom aus Braunkohle deutlich negativer als der eines Autos mit Verbrennungsmotor. Um die Emissionssituation in Ballungsräumen zu verringern, schädigen wir so das Klima.

Doch die asiatischen Hersteller arbeiten mal wieder strategischer. Das zeigt sich in der Vergangenheit schon in der Präsentation von Concept-Cars, dass die asiatischen Hersteller – speziell Hyundai in Süd-Korea – und die japanischen Autofirmen erfinderischer, schneller und konsequenter auf dem Weg zum Serienbau der neuen Motorenart waren.

Die japanische Firma Genepax stellte zum 30. Juni 2008 einen Kleinwagen mit Kunststoffkarosserie vor, der mit vier bis fünf Litern Wasser 100 km weit fahren sollte. Natürlich verriet die japanische Firma Genepax keine Details darüber, wie das als „Treibstoff“ verwendete Wasser in ihrer Brennstoffzelle in Energie verwandelt würde. Sie sprach von „membrane electrode assembly“ (oder MEA), die „länger als jede andere Technologie“ Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff aufspalten könne. Und das angeblich ohne jede weitere Energie- oder Stoffzufuhr. Demnach handelte es sich um einen Katalysator, der das äußerst stabile Wasseratom ohne Energiezufuhr und ohne sich zu

---

verbrauchen aufspaltete. Was wiederum eine Sensation wäre, schließlich wäre das "Abgas" der Verbrennung zugleich der Treibstoff – ein endloser Energiezyklus also.

Die Zelle sollte mit einem Liter Wasser die Energie für 80 Kilometer Fahrstrecke bei 80 Stundenkilometern erzeugen. Die Zelle kostete rund 12 000 Euro in der Herstellung und sollte in einem industrialisierten Prozess auf 5000 Euro verbilligt werden können. Die Firma in Yokohama suchte den Kontakt zu einem großen Autokonzern, der das Wasserstoffauto in Serie bauen sollte. Genepax erforschte seit 25 Jahren neue Energien. Doch neue Botschaften zum Wasserantrieb bleiben seither aus.

In New York stellte die Nobelmarke von Hyundai 2017 ein neues Luxus-SUV vor: Das Genesis GV80 Fuel Cell Concept ist das erste SUV der Edel-Submarke des koreanischen Herstellers und soll den Brennstoffzellenantrieb endgültig salonfähig machen. Das Design des Wagens erinnert ein wenig an Bentley – nicht ohne Grund, denn die kraftvollen Linien der Karosserie stammen vom ehemaligen Bentley-Designer Luc Donckerwolke. Die eigentliche Revolution schlummert aber im Motorraum. Doch genau hier gibt sich der Hersteller besonders bedeckt

Honda war Mitbegründer von „HyFIVE“ (Hydrogen For Innovative Vehicles), dem größten Projekt zur Förderung von Brennstoffzellenelektrofahrzeugen in Europa. Gemeinsam mit anderen führenden Automobilherstellern, Wasserstoffanbietern und international tätigen Energieberatungen hob Honda in London die mit 38,4 Millionen Euro bezifferte Initiative im April 2014 aus der Taufe. Seit 2017 hat sich der internationale Wasserstoff-Allianz Hydrogen Council etabliert. Beim Weltwirtschaftstreffen 2018 in Davos meldete die Allianz elf neue Mitglieder. Dazu zählen neu 3M, Bosch, China Energy, Great Wall Motor, JXTG Nippon Oil & Energy Corporation und Weichai als Kernmitglieder sowie Hexagon Composites, Marubeni, McPhy, Nel Hydrogen und Royal Vopak auf unterstützender Ebene. Zu den Gründungsmitgliedern zählen Audi, BMW, Daimler, GM, Honda, Hyundai, Kawasaki und Toyota sowie Energie- und Technologieunternehmen wie Air Liquide, Alstom, Anglo American, Engie, Shell, Linde und Total. Nun beginnt die Wasserstoff-Technologie, Fahrt aufzunehmen.

Mit dabei bei der Entwicklung der Technologie ist seit rund zwei Jahrzehnten Honda. Bereits 2002 präsentierte das Unternehmen mit dem FCX den weltweit ersten voll zertifizierten Brennstoffzellen-Pkw, der in einem Leasingmodell Flottenkunden angeboten wurde. 2005 war Honda der erste Automobilhersteller, der Endverbrauchern ein mit Wasserstoff betriebenes Fahrzeug zur Verfügung stellte. 2007 präsentierte das Unternehmen dann mit dem FCX Clarity das weltweit erste in kleiner Serie gefertigte Brennstoffzellen-Elektrofahrzeug der Welt.

Im Honda FCX Clarity sorgte eine revolutionär kleine neue Brennstoffzelle im Mitteltunnel für den Strom, mit dem der 136 PS (100 kW) starke Elektromotor die viersitzige Limousine antrieb. 258 Newtonmeter (Nm) Drehmoment sorgten vom ersten Augenblick an für die Kraft. Kleiner Motor, kleine Brennstoffzelle, kleine Lithiumionen-Batterie und ein flacher Wasserstofftank (171ltr.) unter den Rücksitzen hatten den Designern die Möglichkeit gegeben, ein Auto mit optimalem Raum für die Passagiere zu konstruieren. Der 1625 kg schwere FCX Clarity sollte 160 km/h schnell sein. Außer Wasserdampf wurde kein Abgas produziert. Reichweite: 460 Kilometer.

2013 nahm Hyundai in Korea als erster Hersteller die Serienfertigung des Brennstoffzellen-SUV Hyundai ix35 FCEV in Serie auf. Seit 2015 befand sich der Wagen unter der Bezeichnung Hyundai ix35 fuel cell im offiziellen Vertriebsprogramm von Hyundai Deutschland. Seine Nachfolger ist der Hyundai Nexö. Die vierte Generation der von Hyundai entwickelten Brennstoffzelle soll eine Energieeffizienz von 60 Prozent aufweisen und ist damit rund neun Prozentpunkte effizienter als das bisher eingesetzte Aggregat im ix35. 580 Kilometer sollen damit möglich sein. Rechnet man mit dem hierzulande noch

---

gängigen NEFZ, sollen es sogar rund 800 Kilometer sein. Die Leistung des Antriebs ist mit auf 163 PS (120 kW) gesteigert worden. Bis minus 30 Grad soll das optimierte System problemlos funktionieren, sagt Hyundai.

Im November 2014 kündigte Toyota die Serienfertigung eines Brennstoffzellenautos an. Seit 2015 wird dieses Auto auch in Deutschland gezeigt. 2015 bringt Toyota den in Serie gefertigten Brennstoffzellen-Pkw unter dem Namen Mirai (jap.= Zukunft) auf den internationalen Markt. Im April 2015 zeigte Toyota das Modell Mirai. Das Besondere an dem Mirai ist sein Antrieb. Er besitzt als erster Toyota-Serienwagen einen Brennstoffzellen-Antrieb. Der Wasserstoff wird in zwei Tank mit jeweils 60 Litern gepresst. Das reicht für rund 550 km. Der Elektromotor leistet 155 PS (104 kW). Damit erreichte der Wagen eine Spitze von knapp 180 km/h.

Das visionäre Lexus LF-FC (Lexus Future – Flagship Car / Fuell Cell) Concept Car vermittelte 2016 einen Eindruck davon, wie das Design und die Technologie des künftigen Flaggschiffs der Marke ausfallen könnte. Mit dem LF-FC, der mit einer Hochleistungs-Brennstoffzelle, Allrad-Antrieb, einer Gestensteuerung sowie autonomen Fahrtechnologien ausgestattet war, unterstrich Lexus die Absicht, bis etwa 2020 auch ein Brennstoffzellen-Fahrzeug in das Modellprogramm aufzunehmen

Die französische Reifenfirma Michelin finanzierte unter ihrem Namen ein Coupé mit Brennstoffzellen. Der Wagen besaß eine Kunststoffkarosserie und wurde als Einzelstück und Studie zum Genfer Automobilsalon im März 2005 gezeigt.

2012 stellte Nissan den Terra mit Brennstoffzellen-Antrieb auf dem Pariser Autosalon als Studie vor. Der Terra wurde von drei Elektromotoren angetrieben, einen an der Vorderachse, sowie zwei Radnabenmotoren an der Hinterachse. Die Energieversorgung übernahm eine Brennstoffzelle. Nissan gab 500 km Reichweite an.

Das mit einem Wasserstoffantrieb ausgerüstete Pininfarina H2 Speed Concept sollte tatsächlich in einer Kleinserie von zehn Exemplaren gebaut werden. Kostenpunkt des ungewöhnlichen Supersportwagens: rund 2,5 Millionen US-Dollar. Anstelle einer Batterie setzten die Ingenieure auf ein mit Wasserstoff betriebenes Brennstoffzellenelement in Kombination mit einem Bremsenergie-Rückgewinnungssystem. Tempo 100 könnte das H2 Speed Concept so in lediglich 3,5 Sekunden erreichen. In der Spitze wären bis zu 300 km/h drin. Besonders interessant. Die Technik für das Supercar stammte dagegen vom europäischen Hersteller GreenGT.

Aus der europäischen Perspektive hat der Hyundai zur Zeit die Nase beim Angebot von Fahrzeugen mit Brennstoffzellen als Energiequelle für den Elektroantrieb vorn. So wird Hyundai ab 2019 mit dem Schweizer Wasserstoffunternehmen H2 Energy (H2E) über den Zeitraum von fünf Jahren eine Brennstoffzellen-Lkw-Flotte von 1000 Hyundai Fuel Cell Electric Trucks bereitstellen. Der koreanische Konzern zeigt beim Wasserstoff die meisten Ambitionen, zusammen mit den japanischen Herstellern. Die deutschen Hersteller, die immer mit Recht so auf ihren Vorsprung bei vielen automobilen Technologien verweisen, halten sich zurück. Sie sind gezwungen, erst einmal die Übergangstechnologie batterieelektrischen Antrieb abzuarbeiten. (ampnet/hptb)

---

## Bilder zum Artikel



Mercedes-Benz Nocar von 1994, MB 180 BZ.

Foto: Auto-Medienportal.Net/Wikipedia/Van Valder 137



Die zweimillionste Meile (3,22 Millionen Kilometer) der weltweiten Brennstoffzellen-Testflotte von GM wurde jetzt von einem Opel HydroGen4 zurückgelegt.

Foto: Auto-Medienportal.Net/Opel



Opel Hydrogen4.

Foto: Auto-Medienportal.Net/Opel



Opel Hydrogen4.

Foto: Auto-Medienportal.Net/Opel



Der Mercedes-Benz GLC F-Cell an der Wasserstofftankstelle.

Foto: Auto-Medienportal.Net/Daimler



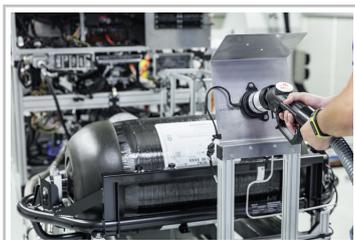
Erprobungsfahrzeug Mercedes-Benz GLC F-Cell.

Foto: Auto-Medienportal.Net/Daimler



Erprobungsfahrzeug Mercedes-Benz GLC F-Cell.

Foto: Auto-Medienportal.Net/Daimler



Wasserstofftank des Mercedes-Benz GLC F-Cell.

Foto: Auto-Medienportal.Net/Daimler



Der Honda FCX Clarity wird bei Bedarf zu einem 9 kW / 12 PS starken mobilen Stromgenerator.

Foto: Auto-Medienportal.Net/Honda



Wasserstofftankstelle mit Honda FCX Clarity eingeweiht.

Foto: Auto-Medienportal.Net/Honda



Honda FCX Clarity.

Foto: Auto-Medienportal.Net



Hyundai ix35 FCEV.

Foto: Auto-Medienportal.Net/Hyundai



Hyundai ix35 FCEV.

Foto: Auto-Medienportal.Net/Hyundai



Hyundai ix35 FCEV.

Foto: Auto-Medienportal.Net/Hyundai



Hyundai ix35 FCEV.

Foto: Auto-Medienportal.Net/Hyundai



Toyota Mirai.

Foto: Auto-Medienportal.Net/Toyota



Toyota Mirai an einer Wasserstoff-Tankstelle.

Foto: Auto-Medienportal.Net/Toyota



Toyota Mirai.

Foto: Auto-Medienportal.Net/Toyota



Lexus LF-FC Concept.

Foto: Auto-Medienportal.Net/Euromediahouse



Lexus LF-FC Concept.

Foto: Auto-Medienportal.Net/Euromediahouse

---



Lexus LF-FC Concept.

Foto: Auto-Medienportal.Net/Euromediahouse



Nissan Terra Concept.

Foto: Auto-Medienportal.Net/Nissan



Nissan Terra Concept.

Foto: Auto-Medienportal.Net/Nissan

---