

Wasserstoff und Brennstoffzellen kommen - auch in Produktion und Intralogistik?

Ludwig-Bölkow Systemtechnik GmbH, Ottobrunn/München
Dipl.-Ing. (FH) Jan Zerhusen, Dipl.-Ing. (FH) Hubert Landinger
März 2020

Wasserstoff, vielseitige Verwendung im Energiesystem von morgen

Die vielseitigen Verwendungsmöglichkeiten im künftigen Energie- und Wirtschaftssystem sind der Grund, weshalb Themen rund um Wasserstoff (H_2) und Brennstoffzelle (BZ) aktuell sehr viel Aufmerksamkeit erhalten. Dass sich Wasserstoff potenziell als Kraftstoff im Straßenverkehr, insbesondere im Pkw-Bereich, nutzen lässt, ist den meisten Akteuren seit Jahren bekannt. Jedoch erst in jüngster Vergangenheit setzt sich in Politik und Wirtschaft die Erkenntnis durch, dass Wasserstoff in der Zukunft eine viel bedeutendere und vielseitigere Rolle einnehmen kann und wird.

Die Nutzung als Kraftstoff ist vor allem auch in Mobilitätsanwendungen mit hohen Laufleistungen, flexibler Streckenführung und hohen Fahrzeug- und/oder Ladungsgewichten attraktiv. Dabei ist man hier nicht auf den Straßenverkehr beschränkt (z.B. Taxi, Lkw, Müllfahrzeuge), sondern kann den Kraftstoff teilweise schon heute konkurrenzfähig im Schienenverkehr (Regionalzüge, Rangierlokomotiven) und künftig auch in der Schifffahrt (vom Ausflugs- bis zum Kreuzfahrtschiff) und in der Luftfahrt einsetzen. Ebenso kann das erneuerbar erzeugte Gas zur Bereitstellung von Raum- und Prozesswärme oder als wichtiger Rohstoff in der Industrie Anwendung finden. Im Industriesektor stellt Wasserstoff teilweise sogar die einzige oder zumindest die vielversprechendste Option zur Dekarbonisierung (z.B. als Reduktionsmittel in der Stahlproduktion oder zur Düngemittelherstellung) dar.

Als Energieträger spielt Wasserstoff dank seiner guten Speicherbarkeit künftig eine wichtige Rolle zum saisonalen Ausgleich fluktuierender erneuerbarer Stromerzeugung und als strategische Energiereserve. Die kostengünstige Einlagerung in künstlichen oder natürlichen geologischen Formationen (z.B. in Salzkavernen in Norddeutschland) bildet hierfür eine wichtige Grundlage. Ebenso von zentraler Bedeutung ist die Möglichkeit des effizienten Transports großer Mengen über weite Strecken im bestehenden europäischen Gasnetz. In adaptierten Gasfernleitungen kann reiner Wasserstoff mit Leistungen weit jenseits der aktuell geplanten HGÜ-Stromtrassen übertragen werden. Die verschiedenen Ebenen des Gasverteilnetzes können nach Umrüstung ebenso genutzt werden, um Wasserstoff kosteneffizient und flächendeckend verschiedensten Anwendern bereitzustellen. Ob gasförmig in Rohrfernleitungen oder verflüssigt via Schiff, auch im internationalen Energiehandel wird Wasserstoff von hoher Relevanz sein.

Es ist daher verständlich, dass im Zuge der Energiewende und den Anstrengungen zur Klimagasreduktion Wasserstoff als zentraler „Enabler“ angesehen wird. Dass bereits heute entsprechende Technologien wie z.B. die Brennstoffzelle und die Elektrolyse weiterentwickelt, erprobt und in den Markt eingeführt werden, ist daher nur konsequent. Wasserstoff und Brennstoffzelle kommen, das ist hier nicht die Frage. Aber werden sie auch in Produktion und Intralogistik Einzug finden?

Brennstoffzellen in Flurförderzeugen – Rückblick und aktueller Stand

Seit gut 10 Jahren wird die Einführung und Kommerzialisierung von BZ-Flurförderzeugen vor allem in den USA, aber auch in Europa vorangetrieben. Mit der Einführung der BZ-Technologie sollten die technischen Nachteile der damaligen Batterietechnologie (z.B. Batteriewechsel, lange Ladezeiten, Leistungsabfall gegen Schichtende) in Flurförderzeugen überwunden werden.

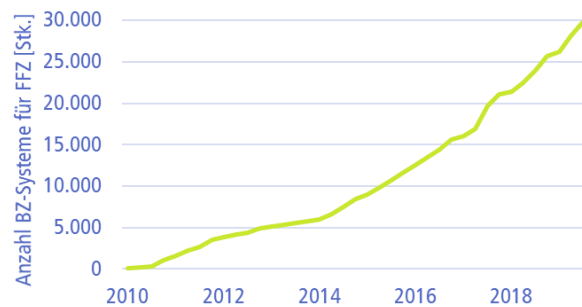
Da sich die BZ-Technologie zu dieser Zeit im allgemeinen, aber auch speziell im Bereich der Flurförderzeuge noch in einer vergleichsweise frühen Phase der Entwicklung befand, war dies zunächst mit einigen Schwierigkeiten verbunden. So gab es beispielsweise anfangs Qualitätsprobleme bei verschiedenen Technologieanbietern. Hinzu kam die Herausforderung, dass neben der geräteseitigen Technologie eine am Anwendungsstandort neue zusätzliche Energieinfrastruktur zur Betankung errichtet werden muss.

Durch Technologieentwicklung und Synergien mit anderen BZ-Anwendungen (z.B. im Pkw-Bereich) sowie durch geförderte Demonstrationsprojekte¹ konnten erhebliche Fortschritte sowohl bei der Zuverlässigkeit als auch bei den Kosten erreicht werden. Das Vertrauen in die Technologie ist bei Anbietern und Anwendern stetig gestiegen.

Weltweite BZ-FFZ Flotten (2019)



Kumulierte Auslieferungen von Plug Power²



Bis heute sind viele dieser anfänglichen Hindernisse überwunden worden. Als Folge sind stetig steigende Flottengrößen und BZ-Auslieferungszahlen vor allem in den USA, aber auch Europa zu beobachten. Weltweit wurden bis Ende 2019 bereits über 30.000 BZ-Systeme zum Einbau in Flurförderzeuge ausgeliefert. Vor allem in den USA sind die Rahmenbedingungen für den wirtschaftlichen Betrieb günstig. Nicht allein die dort existierenden Standorte mit großen Geräteflotten im Mehrschichtbetrieb machen den Einsatz attraktiv. Eine seit einigen Jahren bestehende Regelung³ ermöglicht es Unternehmen, die Investitionskosten in die Technologie teilweise als Steuergutschrift geltend zu machen. In Europa werden aktuell die meisten BZ-FFZ im Rahmen von Förderprojekten eingesetzt. In Asien, hier vor allem in Japan, wurde in den letzten Jahren mit der Erprobung erster kleinerer Flotten begonnen.

¹ z.B. die EU-Projekte HyLIFT-DEMO (2011 bis 2014), HyLIFT-EUROPE (2013 bis 2018)

² Das U.S.-Unternehmen Plug Power hat im Bereich BZ für FFZ einen Marktanteil von ~95%

³ Die bereits vor 2017 bestehende Regelung wurde im Jahr 2018 rückwirkend ab 2017 bis 2021 verlängert

Aktuelle Flottenbeispiele

Drei ausgewählte Beispiele für den Betrieb von BZ-FFZ Flotten sind in der folgenden Tabelle aufgeführt. Es handelt sich dabei um die größten Flotten der jeweiligen Region.

Land	Frankreich ⁴	USA ⁵	Japan ⁶
Standort	Vendin le Vieil	Spartanburg	Motomachi, Yokohama
Unternehmen	Carrefour	BMW	Toyota
Anwendung	Lebensmittellogistik	Pkw-Produktion	Pkw-Produktion
Anzahl Fahrzeuge	137	350	22
Flotte	Größte Flotte in Europa	Eine der größten Flotten der Welt	Größte Flotte in Japan
Inbetriebnahme	November 2017	Seit 2010 steigende Stückzahlen	Start 2017: 2 Erweitert 2018: 22 Geplant 2020: 180
Projekt / Förderung	HyLIFT-EUROPE (FCH JU)	Business Energy Investment Tax Credit (ITC)	Ministry of the Environment
Lieferanten			
Flurförderzeuge	STILL	Raymond, Crown	Toyota
Brennstoffzelle	Plug Power	Plug Power	Toyota
Betankungsanlage	Air Liquide	Linde	Taiyo Nippon Sanso Corporation

Heute werden BZ-FFZ fast ausschließlich im Bereich der Intralogistik und dort speziell in der Automobilproduktion (z.B. bei Daimler, BMW, Toyota) und in Logistikzentren großer Unternehmen (z.B. Amazon, Walmart, Carrefour) eingesetzt. Der Einsatz z.B. in Häfen (Reach-Stacker) oder Flughäfen (Gepäckschlepper) steht vergleichsweise noch am Anfang.

Vorteile von Flurförderzeugen mit Brennstoffzelle

Die Batterien, die in Flurförderzeugen zum Einsatz kommen, haben sich in den letzten Jahren auch mit der Einführung der Li-Ionen Technologie hinsichtlich Reichweite, (Schnell-)Ladefähigkeit, Wartungsintensität und Handling deutlich verbessert. Dennoch zeigen Wasserstoff-Brennstoffzellen einige Vorteile ggü. den verfügbaren Bleisäure- und/oder Li-Ionenbatterien. Welche Relevanz die einzelnen Vorteile in einem konkreten Einsatzfall entfalten, hängt dabei stark von den Einsatzbedingungen wie z.B. Flottengröße, Geräteauslastung, Schichtbetrieb, Energie- und Personalkosten, Prozessabläufen, Wegezeiten oder den räumlichen Gegebenheiten ab. Vor einer Entscheidung für Batterie- oder Brennstoffzellentechnologie ist daher eine fallspezifische Betrachtung unbedingt zu empfehlen.

Die beiden folgenden Tabellen geben einen ersten Überblick über die wichtigsten Vor- und Nachteile von Brennstoffzellen ggü. Batterien im Einsatz in FFZ. In der linken Spalte ist jeweils der Vorteil der

⁴ Video: <http://www.hylift-europe.eu/publications.html>

⁵ Video: <https://www.youtube.com/watch?v=UrPb7IFbQBk>

⁶ Video: <https://global.toyota/en/newsroom/corporate/21565079.html>

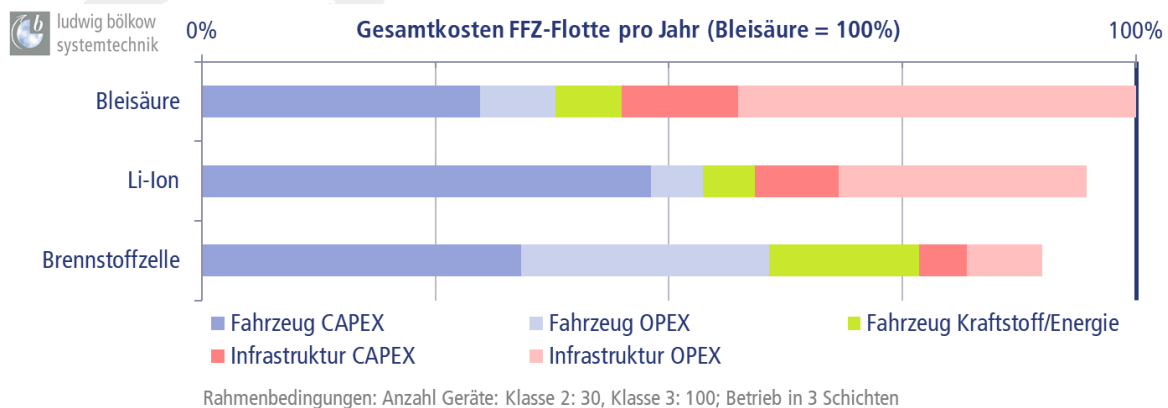
Brennstoffzelle formuliert. In der Spalte rechts daneben die jeweilige Einsatzbedingung bei welcher der Vorteil besondere Relevanz entfaltet.

Vorteile der Brennstoffzelle ggü. Batterien	Einsatzbedingungen, die den Einsatz einer Brennstoffzelle begünstigen
Gleichbleibende Leistung (unabhängig vom Ladezustand des Energiespeichers)	Hohe Geräteauslastung Schichtbetrieb (mindestens 2, besser 3 Schichten)
Schnelle Betankung (ca. 3 Minuten; kein Wechsel der Batterie erforderlich)	Hohe Personalkosten
Flexible Aufstellung der Zapfsäulen (mehrere Zapfsäulen an unterschiedlichen Standorten einfach möglich; Vermeidung / Reduzierung von Wegezeiten)	Weite Wege zwischen Kernprozess und möglichem Batterieladestandort bzw. Batteriewechselraum (lange Wegezeiten)
	Hohe Personalkosten
Geringer Strombedarf (für Betankungsanlage)	Hohe Stromkosten (Arbeits- und/oder Leistungspreise)
Geringer Platzbedarf für Zapfsäulen	Eingeschränkte Flächenverfügbarkeit (vor allem nahe dem Kernprozess)

Nachteile der Brennstoffzelle ggü. Batterien	Einsatzbedingungen, die den Einsatz einer Brennstoffzelle begünstigen
Hohe Kraftstoffkosten (Wasserstoff i.d.R. teurer als Strom)	Geräte mit geringem spezifischem Energiebedarf (viele kleine Geräte z.B. der Klasse 3 wie Schubmaststapler, Niederhubwagen, Kommissionierer)
Betankungsinfrastruktur erforderlich (H ₂ -Tankstelle bestehend aus H ₂ -Speicher, Verdichter, Rohrleitungssystem, Zapfsäule)	Große Flotten
Bisher geringe Technologieverbreitung (geschultes Personal für Instandhaltungsarbeiten erforderlich)	
Flächenbedarf H₂-Speicher und Verdichter (mit Anlieferungsmöglichkeit Wasserstoff i.d.R. via Lkw)	Freiflächen vorhanden (außen; flexibel platzierbar; Anbindung Zapfsäule über Rohrleitung)

Um zu entscheiden, ob ein wirtschaftlicher Einsatz von BZ-FFZ in einem konkreten Anwendungsfall möglich ist, sollten die Randbedingungen jeweils im Detail geprüft werden. Dennoch lassen sich, auf Basis der aktuellen Technologie- und Energiekosten, grobe „Mindestanforderungen“ an einen Anwendungsfall definieren.

Für den wirtschaftlichen Einsatz ist i.d.R. eine Flottengröße ab ca. 30 bis 50 Geräten im 2- oder 3-Schichtbetrieb bei gleichzeitig hoher Geräteauslastung an mindestens fünf Tagen pro Woche notwendig. Hohe Lohnkosten (€/h) des eingesetzten Personals begünstigen den wirtschaftlichen Betrieb. Eine hohe Anzahl an Klasse 3 FFZ stellt die Basis für den wirtschaftlichen Einsatz von BZ-FFZ-Flotten dar. Ist durch diese Klasse ein wirtschaftlicher Einsatz erreicht, können Geräte der Klassen 1 und/oder 2 ebenfalls kosteneffizient auf Brennstoffzellen umgestellt werden. Ein nicht ausreichend optimierter Prozess im Batterieeinsatz (z.B. beim Wechseln von Bleisäure-Batterien), mehrminütige Wegezeiten vom Prozess zu den Batterielade- bzw. -wechselpositionen sowie eine gute (günstige) Verfügbarkeit von Wasserstoff am Standort (z.B. aufgrund geringer Lieferentfernung) haben zusätzlich einen deutlich positiven Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit.



Künftige Synergien mit weiteren BZ- und Wasserstoffanwendungen

Die Rahmenbedingungen für den wirtschaftlichen Einsatz von BZ-FFZ können sich zukünftig durch sich ergebende Synergien mit weiteren BZ- und H₂-Anwendungen deutlich verbessern. Von besonderer Relevanz wird diesbezüglich z.B. die mittelfristig erwartete Einführung von BZ-Lkw sein. Durch eine (teilweise) gemeinsame Nutzung der erforderlichen Kraftstoffversorgungsinfrastruktur (H₂-Speicherung, Verdichtung) sowie einer gebündelten Kraftstoffbeschaffung können z.B. die spezifischen Kosten (€/kg_{H₂}) gesenkt und gleichzeitig die Anforderungen bezüglich einer wirtschaftlichen Mindestflottengröße reduziert werden. Eine allgemeine Verbreitung der BZ- und H₂-Technologie reduziert künftig zusätzlich die Kosten für die Brennstoffzellen und erhöht die Verfügbarkeit von entsprechend geschultem Personal z.B. zur Instandhaltung von Systemen und Anlagen. Wenn langfristig das bestehende Gasnetz auf CO₂-neutralen Wasserstoff umgestellt ist, entfällt der kostenintensive Transport des Gases via Lkw. Eine deutlich günstigere flächendeckende Versorgung mit Wasserstoff ist dann gegeben.

Über die Ludwig-Bolkow Systemtechnik GmbH (LBST)

Die Ludwig-Bolkow-Systemtechnik GmbH (LBST) ist ein Beratungsunternehmen für nachhaltige Energieversorgung, Wasserstoffwirtschaft und Mobilität. Mit unserer Expertise in Technologien, Märkten und Politik unterstützen wir internationale Kunden aus Industrie, Finanzsektor, Politik und Verbänden bei Fragen zu Strategien, Machbarkeit und Märkten. Acht DAX-Unternehmen vertrauen den zuverlässigen Einschätzungen der LBST zu neuen Entwicklungen in den Bereichen Energiewirtschaft und Mobilität.