

Das Solar-Wasserstoff-Projekt in Neunburg vorm Wald

SWB
Ein Unternehmen der
Bayernwerk-Gruppe



Schriftenreihe Solarer Wasserstoff Solar-Wasserstoff-Anlage Nr. 24

Manuskript von 06 / 1997

Erzeugung und verkehrstechnische Anwendung von Wasserstoff auf der Solar-Wasserstoff-Anlage in Neunburg vorm Wald

Hans Rainer

Zusammenfassung

**- Das Projekt der Solar-Wasserstoff -
Bayern GmbH in Neunburg vorm Wald**

**- Technik der Gesamtanlage unter
Berücksichtigung der Nebensysteme**

**- Energiewandlung, -aufbereitung und -
speicherung**

**- Verkehrstechnische Anwendungen
von Wasserstoff**

- alkalische Brennstoffzellen-Anlage
- Gabelstapler mit PEM-
Brennstoffzellen-Anlage
- Betankung mit Flüssig-Wasserstoff

- Erkenntnisse

Die Idee

Das Solar-Wasserstoff-Prinzip entspricht dem Ideal eines umweltfreundlichen Kreislaufs: In der Elektrolyse mittels Solarstrom aus Wasser gewonnen, entsteht bei Umwandlung von Wasserstoff in andere Energieformen als Verbrennungsprodukt wieder Wasser. Wasserstoff ist ein Energieträger mit sehr positiven Eigenschaften. Er ist speicherbar, transportierbar, umweltneutral, vielseitig anwendbar und praktisch unbegrenzt verfügbar. Neben seinen positiven Eigenschaften als Energiespeicher kann Wasserstoff auch zur lokalen Immissionsminderung beitragen, z.B. beim Einsatz in Fahrzeugen in Innenstädten.

Solarstrom für Solar-Wasserstoff ist noch nicht ausreichend verfügbar. Darüber hinaus ist er noch sehr teuer. Wasserstoff ist keine Energiequelle, sondern ein Energieträger, der unter Verwendung von Energie, z.B. Strom erst erzeugt werden muß. Die Umwandlungskette ist mit erheblichen Verlusten behaftet.

Vervollkommnung der Technik, Verminderung der Umwandlungsverluste, Senkung der Investitions- und Betriebskosten: Das sind die Ziele, die vor einer Markteinführung der Solar-Wasserstoff-Wirtschaft zu erreichen sind.

Ziele, die nicht nur im Laboratorium erreicht werden können. Praktische Erfahrungen unter Berücksichtigung der schwankenden Solarstrahlung sind nötig, um neue Anstöße zur Weiterentwicklung geben zu können.

In einem weltweit einzigartigen Demonstrationsprojekt wird deshalb die Solar-Wasserstoff-Technologie praxisnah untersucht. Einen Eindruck über die Größe und die Anordnung der Gesamtanlage ergibt der Lageplan (Abb. 1).

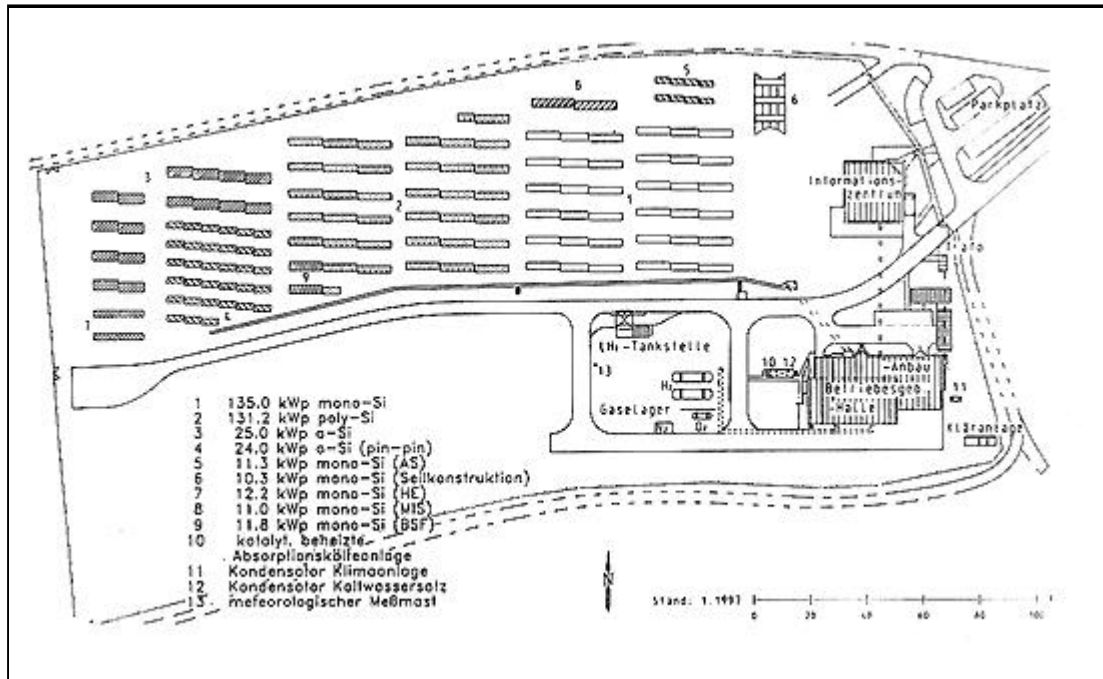


Abb. 1: Lageplan der Solar-Wasserstoff-Anlage in Neunburg vorm Wald

Das Projekt

Zur Realisierung des Projektes wurde die Solar-Wasserstoff-Bayern GmbH (SWB) im Jahre 1986 gegründet. Die heutigen Gesellschafter sind Bayernwerk (70 %), BMW, Linde und Siemens (je 10 %).

Das in dieser Größenordnung einmalige Demonstrationsprojekt in Neunburg vorm Wald in der Oberpfalz untersucht bei guten klimatischen Voraussetzungen die für ein Solar-Wasserstoff-System nötigen Schritte in ihrem Zusammenwirken unter mitteleuropäischen Bedingungen. Die Erfahrungen aus diesem Projekt sollen wichtige Hinweise zu möglichen Optimierungen und weitere Entwicklungsanstöße für Lieferanten geben.

Innerhalb eines langfristig angelegten Konzepts befindet sich das Projekt seit 1992 in einer zweiten Phase. Neue Komponenten ergänzen konsequent die bestehende Anlage mit Neu- bzw. weiterentwickelten Anlagenteilsystemen. Im erweiterten Versuchsbetrieb werden neben den neuen Systemen der Phase 2 auch die meisten der Phase 1 weiterbetrieben und untersucht.

Das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) und das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie (BStMWVT) beteiligen sich an den förderfähigen Kosten mit 35 % resp. 15 %. Das Gesamtbudget für die Projektlaufzeit von 1987 bis 1999 beträgt 145 Mio. DM.

Die Realisierung

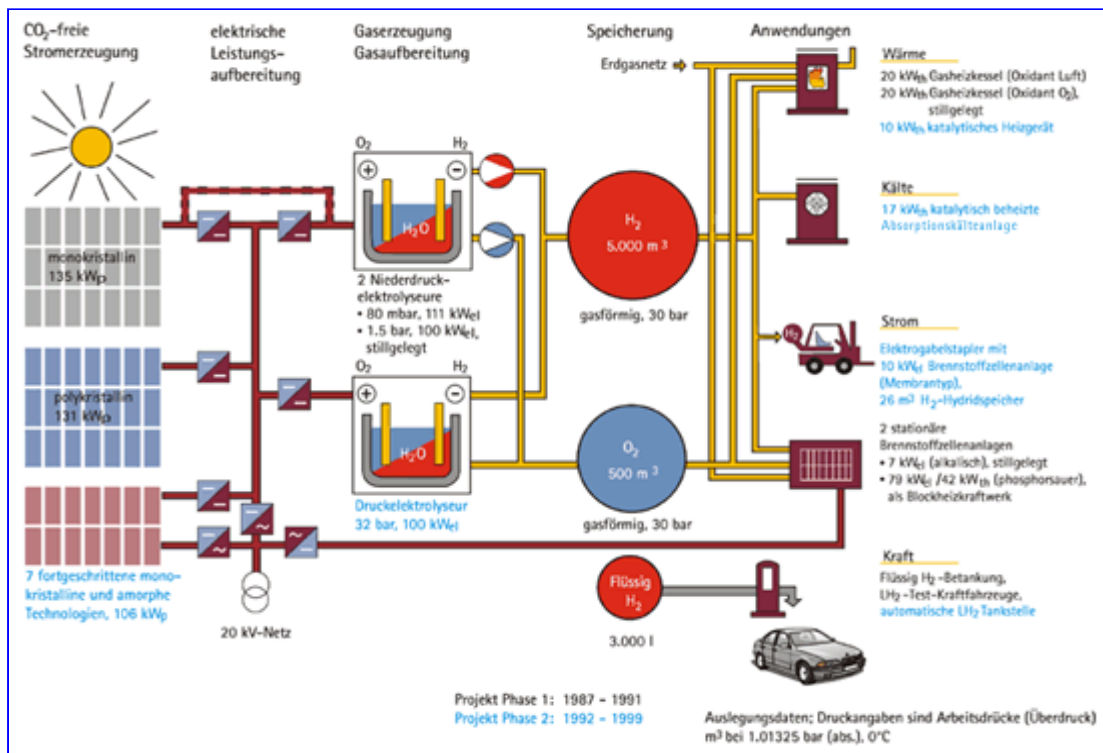


Abb. 2: Prinzipbild der Solar-Wasserstoff-Anlage in Neunburg vorm Wald

Die Anlage ist für den Versuchsbetrieb möglichst flexibel ausgelegt. Es kommen in erster Linie Prototypen und Neuentwicklungen zum Einsatz. Zum Betrieb der gezeigten Hauptsysteme sind umfangreiche Nebensysteme nötig, wie z.B. Leittechnik, Analysenstationen, Lüftungstechnik, Kühlwassersystem und Sicherheitseinrichtungen.

Die Wasserstoffherzeugung und -speicherung

Zur Wasserstoffherzeugung wurden zwei Niederdruckelektrolyseure unterschiedlicher Technologien sowie ein Druckelektrolyseur installiert:

- Der alkalische Elektrolyseur (Nennleistung 111 kW, Betriebsüberdruck 80 mbar) arbeitet mit Kalilauge als Elektrolyt und Polysulfondiaphragma. Er erzeugt maximal 25 m³/hi.n. Wasserstoff mit einer Reinheit von etwa 99,8 Vol.-% und einem Wirkungsgrad von ca. 80 %.
- Der SPE-Elektrolyseur (Nennleistung 100 kW, Betriebsüberdruck 1,5 bar) hat als Diaphragma eine Ionentauscher-Membran (Nafion). Er mußte Mitte 1995 wegen zu hoher Gasverunreinigungen stillgelegt werden.
- Der Druckelektrolyseur (Nennleistung 100 kW, Betriebsüberdruck 32 bar) arbeitet mit Kalilauge als Elektrolyt. Er erzeugt 21 m³/hi.n. Wasserstoff mit einer Reinheit von 99,8 Vol.-% und einem Wirkungsgrad von ca. 71 %.

Für die Speicherung des Wasserstoffs der Niederdruckelektrolyseure ist eine Verdichtung erforderlich. Der gesamte Wasserstoff wird vor der Speicherung noch durch katalytische Verbrennung von Sauerstoffanteilen befreit und getrocknet. Die Trocknung erfolgt in einer regenerierbaren Alu-Gel/Molsieb-Schüttung.

Neben der Druckgasspeicherung wird für die verkehrstechnische Anwendung auch flüssiger Wasserstoff (LH₂) bei ca. -250 °C gespeichert. Dazu wird LH₂ per Tankwagen in den 3000 Liter fassenden Standtank geliefert.

Eine dritte Technologie der Wasserstoffspeicherung - ein Metallhydridspeicher - wird Mitte 1997 zusammen mit einem Elektro-Gabelstapler geliefert und anschließend getestet werden.

Die verkehrstechnischen Anwendungen

Zur Untersuchung des dynamischen Betriebsverhaltens (im stationären Betrieb) wurde eine $6,5 \text{ kW}_{el}$ alkalische Brennstoffzellenanlage (AFC) mit einer elektrischen Belastungseinheit, einem sog. Hybridsystem gekoppelt (Abb. 3).

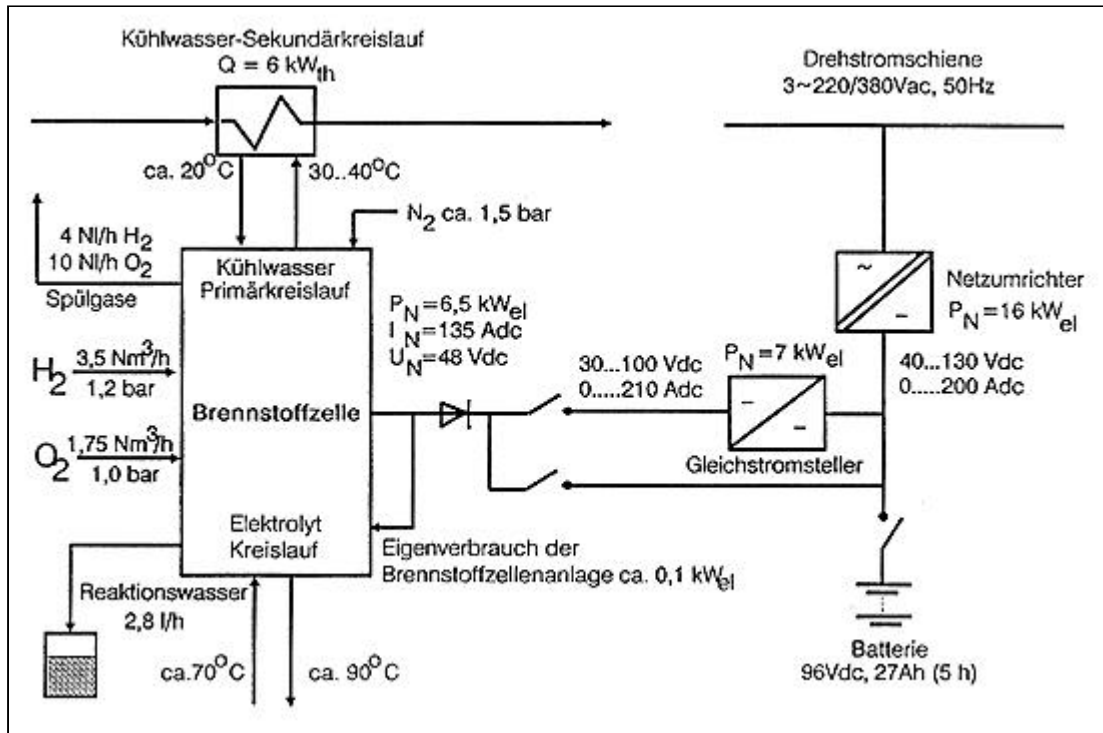


Abb. 3: Blockschaltbild der $6,5 \text{ kW}$ AFC mit Hybridsystem

Das Betriebsverhalten der AFC erwies sich als anfällig. Die Anlage wurde im Herbst 1994 stillgelegt, u.a., da wegen der Geschäftsfeldaufgabe des Lieferanten keine Ersatzteile mehr beschafft werden konnten. Im Betrieb hat die AFC die Zusagen hinsichtlich Wirkungsgrad und Lastwechselverhalten jedoch voll erfüllt:

- elektrischer Wirkungsgrad bezogen auf H_u : $> 60\%$
- beliebige Lastsprünge in $ca. 100 \text{ ms}$

Da als Oxidant reiner Sauerstoff benötigt wird, dürfte der Einsatz der AFC im Traktionsbetrieb auf Spezialfahrzeuge beschränkt bleiben.

Für Mitte 1997 ist die Lieferung einer Brennstoffzellen-Anlage mit Polymer-Elektrolyt-Membran vorgesehen (PEM-BZA), mit einer Leistung von 10 kW . Der Oxidant ist Luft. Dies erlaubt den Wasserstoffeinsatz im mobilen Bereich bei einem relativ hohen Wirkungsgrad von 36% , bezogen auf H_u (Abb. 4).

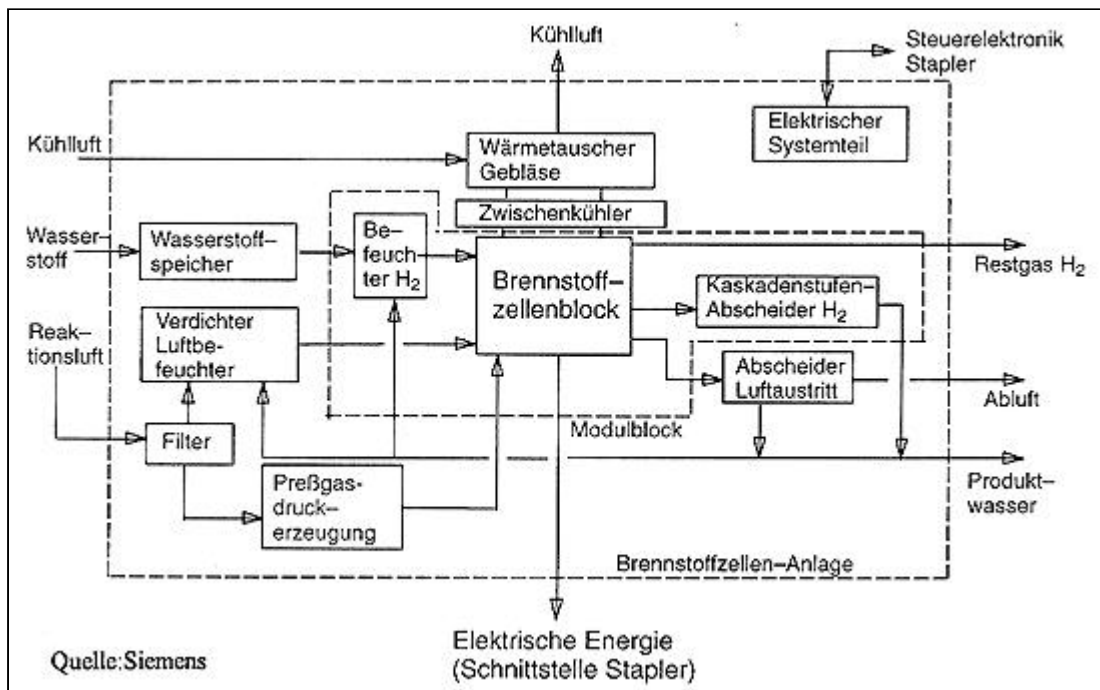


Abb. 4: Blockschaltbild PEM-BZA für H₂/Luft-Betrieb

Die PEM-BZA kann auch stationär getestet werden. Die Schnittstelle zum Stapler wird dazu mit der bereits in Abb. 3 dargestellten elektrischen Belastungseinrichtung (Hybridsystem) verbunden. Die BZA ist in einem Gestell von 102 cm x 92 cm x 80 cm untergebracht (Abb. 5). Ihr Gewicht beträgt ca. 870 kg, wovon 300 kg auf den Hydridspeicher entfallen. Alle Hilfsaggregate werden elektrisch eigenversorgt, zum Start erfolgt die Versorgung aus einer Batterie. Die Nutzkapazität des Hydridspeichers beträgt 26 m³, was für 8 Stunden Normalbetrieb ausreicht. Eine Beladung des Hydridspeichers ist innerhalb von 10 Minuten möglich, wenn die dabei auftretende Wärme extern abgeführt wird. Dies geschieht durch einen externen Kühlwasser-Kreislauf der an den beiden großen Betankungskupplungen angeschlossen wird (Abb. 5).

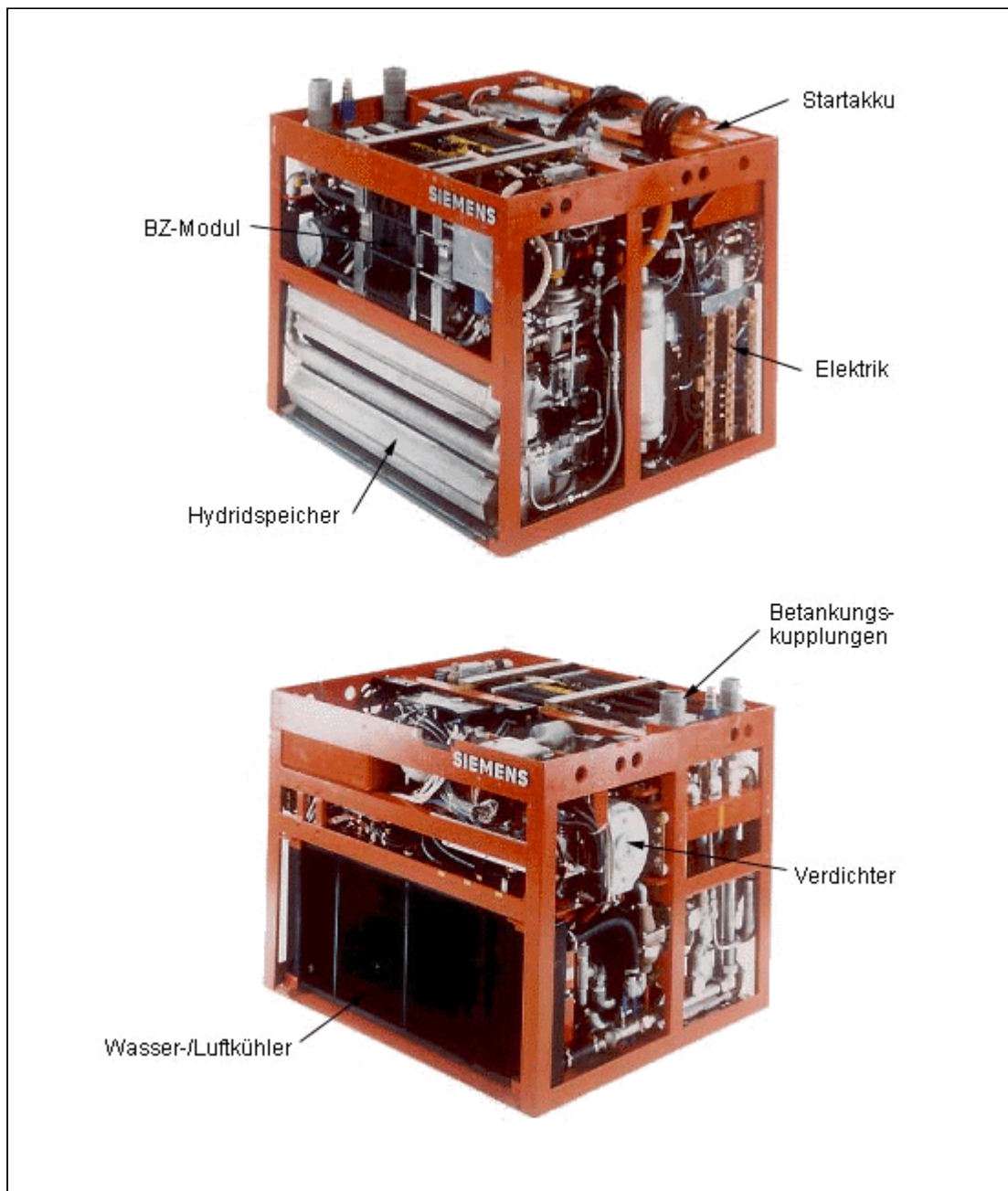


Abb. 5: 10 kW- PEM-Brennstoffzellen-Anlage für Luftbetrieb mit Hydridspeicher

Das Gestell mit der PEM-BZA wird im Elektro-Gabelstapler anstelle des Batteriesatzes platziert. Seit 1991 wird in Neunburg vorm Wald die Betankung von Pkw mit LH₂ optimiert. Dazu wurde eine LH₂-Tankstelle errichtet (Abb. 7).



Abb. 7: Tankstelle für Flüssig-Wasserstoff

Der Standtank faßt maximal 3000 Liter LH₂. Über den Druck im Standtank wird der LH₂ entsprechend seiner Dampfdruckkurve konditioniert. Die Umfüllung in den Fahrzeugtank kann sowohl durch Überdruck im Standtank, als auch mittels einer LH₂-Pumpe programmgesteuert erfolgen. Der Kupplungsvorgang zwischen LH₂-Tankstelle und -Fahrzeug wird manuell, die LH₂-Umfüllung programmgesteuert durchgeführt.

Bei den zur Optimierung der LH₂-Betankung durchgeführten Versuchen konnten sowohl die auftretenden Verluste an LH₂, als auch der Zeitaufwand stark reduziert werden (Abb. 8). Dies gelang insbesondere durch den Einsatz neuartiger Kupplungen zwischen der Tankstelle und den Fahrzeugen sowie fortgeschrittener Fahrzeugtanksysteme.

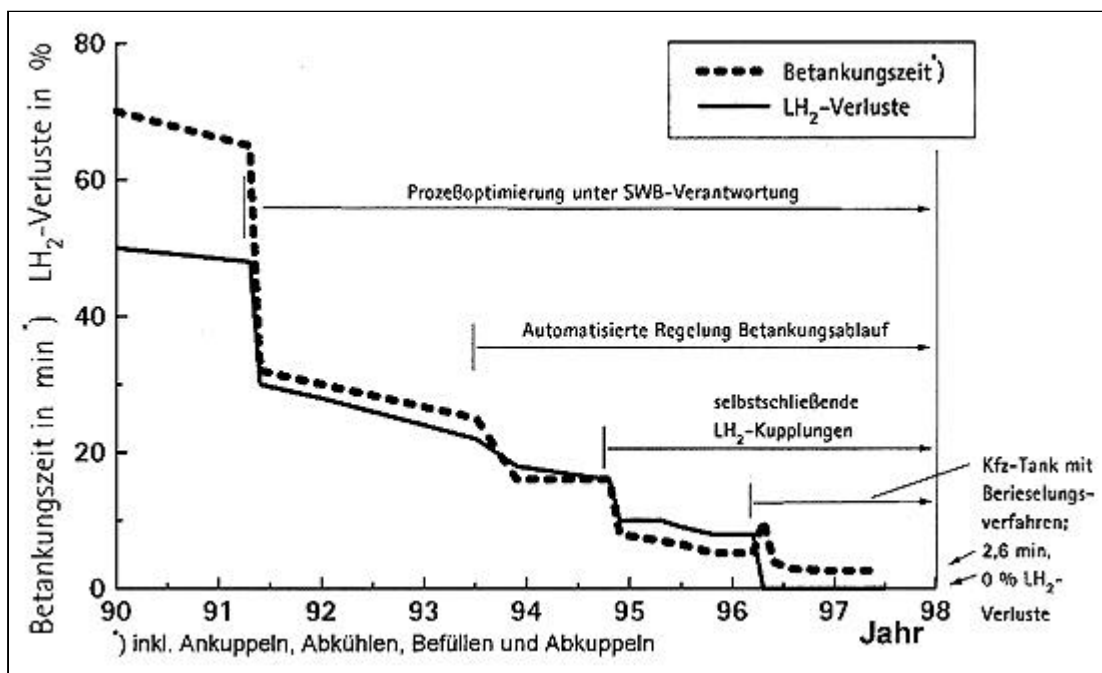


Abb. 8: Reduzierung der LH₂-Verluste und des Zeitaufwands bei der Betankung

Nach den gewonnenen Erfahrungen empfiehlt sich für eine praxistaugliche LH₂-Tankstelle, nur die jeweils umzufüllende LH₂-Menge in einem Zwischenbehälter zu konditionieren .

Die Erkenntnisse

Aus dem Betrieb der Solar-Wasserstoff-Anlage in Neunburg vorm Wald konnten neben wichtigen technischen Detailergebnissen auch folgende Schlüsse gezogen werden:

- Wasserstoffsysteme zur Energiewandlung liegen heute meist nur als Prototypen bzw. Neuentwicklungen vor. Eine wettbewerbsfähige Serienreife ist noch nicht gegeben.
- Für einen breiten Einsatz von Wasserstoff als Energieträger sind noch umfangreiche Entwicklungsarbeiten bei den Systemen und der Infrastruktur erforderlich.
- Aus Sicherheits- und Kostengründen sind Erzeugungs- und Speichieranlagen bevorzugt dezentralisiert zu errichten.
- Der Betrieb derzeitiger Anlagen erfordert umfangreiche Sicherheitstechnik und geschultes Personal.
- Die Öffentlichkeit nutzt intensiv die Möglichkeiten zur Information über die Chancen des Energieträgers Wasserstoff.

Literaturverzeichnis

- [1] SWB GmbH: Solar-Wasserstoff - Das Projekt in Neunburg vorm Wald, Oberpfalz
- [2] A. Szyszka: Regenerative Energieversorgung am Beispiel des SWB-Projekts Neunburg vorm Wald, unter besonderer Berücksichtigung von Brennstoffzellenanlagen; VDI Berichte, Nr.1174, 1995
- [3] F. J. Wetzel: Handling of Liquid Hydrogen at Filling Stations. Proceedings of the 11th World Hydrogen Energy Conference, Volume 2, 23-28 June 1996, Stuttgart, Germany
- [4] N. Römer, K.Hoelzner, H. Schüle: Erfahrungen mit einem SPE-Elektrolyseur und einem fortgeschrittenen alkalischen Elektrolyseur der 100 kW Klasse im SWB-Projekt; VDI Berichte Nr. 912, 1992
- [5] A.Szyszka, G.Schimpf, J.Tachtler: Bisherige Erfahrungen mit einer 6,5 kW_{el} alkalischen und einer 80 kW_{el} phosphorsauren Brennstoffzellenanlage im SWB - Projekt in Neunburg vorm Wald; VDI Berichte Nr. 912, 1992
- [6] H. Rainer: Sicherheitskonzept der Solar-Wasserstoff-Anlage in Neunburg vorm Wald im Hinblick auf den Umgang mit Wasserstoff; VDI Berichte Nr. 1201, 1995