



Sven Geitmann

**Wasserstoff als Kraftstoff
für Fahrzeugantriebe**

Geitmann, Sven: Wasserstoff als Kraftstoff für Fahrzeugantriebe: Ein Überblick aus dem Jahr 1998. Hamburg, Diplomica Verlag GmbH 2015

Buch-ISBN: 978-3-95934-634-4

PDF-eBook-ISBN: 978-3-95934-134-9

Druck/Herstellung: Diplomica® Verlag GmbH, Hamburg, 2015

Covermotiv: © pixabay.com

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden und die Diplomica Verlag GmbH, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Alle Rechte vorbehalten

© Diplomica Verlag GmbH

Hermannstal 119k, 22119 Hamburg

<http://www.diplomica-verlag.de>, Hamburg 2015

Printed in Germany

Die Betrachtungen in diesem Buch stammen allesamt aus den späten 1990er Jahren. Der Inhalt spiegelt also den technischen Entwicklungsstand dieser Zeit wider und ermöglicht somit einen Einblick, wie die damaligen Erwartungen und Hoffnungen in Bezug auf den weiteren Werdegang der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnik waren.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis.....	9
1 Aufgabenstellung.....	11
2 Kurzfassung.....	12
3 Geschichte	14
4 Aktueller Stand.....	17
4.1 Energieverbrauch.....	17
4.2 Schadstoffe.....	22
4.3 Die Entwicklung	24
4.4 Alternative - fossile Energien	25
5 Wasserstoff.....	29
5.1 Eigenschaften.....	29
5.2 Herstellung.....	31
6 Antriebe	33
6.1 Der Wasserstoffmotor.....	33
6.1.1 Motorentechnik	33
6.1.2 Gemischbildung	37
6.1.3 Beispielmotoren	41
6.1.4 Kosten.....	45
6.1.5 Emissionen	47
6.2 Brennstoffzelle.....	49
6.2.1 Funktionsweise.....	50
6.2.2 Angewandte Technik.....	56
6.2.3 PEM.....	58
6.2.4 Reformer.....	60
6.2.5 Kosten.....	61
7 Speicherung	64
7.1 Tanks.....	64
7.2 Betankung	71
8 Vergleich	75
8.1 Allgemein.....	75
8.2 Antriebe.....	76
8.3 Energiebilanz	81

8.4	Energieumwandlungsketten.....	86
8.5	Energiedichte	90
8.6	Emissionen.....	91
9	Ausblicke.....	93
9.1	Die weitere Entwicklung.....	93
9.2	Amerika.....	94
9.3	Wasserstoff-Haus.....	95
10	Ergebnisse	97
11	Literatur.....	102
	Abkürzungen.....	111

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie, 1993.....	18
Abb. 2	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (1993).....	19
Abb. 3	Bundesministerium für Wirtschaft, Energiepolitik, Bonn, März 1992.....	20
Abb. 4	Bundesministerium für Wirtschaft, Energiedaten 97/98, S.6.....	20
Abb. 5	Bundesministerium für Wirtschaft, Energiedaten 97/98, S.6.....	23
Abb. 6	BMW, Aktuelles Lexikon: Treibhauseffekt, 1993.....	23
Abb. 7	PROGNOS AG und Fraunhofer-Institut für Systemtechnik u. Innovationsforschung	24
Abb. 8	PROGNOS AG und Fraunhofer-Institut für Systemtechnik u. Innovationsforschung	25
Abb. 9	Projektbegleitung Kraftfahrzeuge und Straßenverkehr, Wasserstoffantriebe, Köln, Verlag TÜV Rheinland, 1989, S. 27.....	38
Abb. 10	Einspritzdüse für kryogene Gemische. Peschka, W., Wasserstoffantrieb für Kraftfahrzeuge, (1997), Stuttgart, S. 14.....	40
Abb. 11	Digester, S., Jorach, R., u.a., The intercooled hydrogen truck engine with early internal fuel injection, Daimler-Benz, 1996, Stuttgart.....	44
Abb. 12	Schema einer SOFC. Vesper, A., Heißes Ding im Forschungszentrum, Forschen, Nr. 1/98, (1998), S. 15.....	50
Abb. 13	Schema eines SOFC-Stacks. Quelle: Vesper, A., Heißes Ding im Forschungszentrum, Forschen, Nr. 1/98, (1998), S. 16.....	52
Abb. 14	Bossel, U., Delfanti, S., u.a., Brennstoffzelle – Bedeutung für die Schweiz, Brennstoffzellen-Förderkreis, Januar 1998, S. 3.....	54
Abb. 15	Der EV1 mit Brennstoffzelle von Opel. General Motors.....	57
Abb. 16	schematische Darstellung des Wasserstoff-Tank-Systems. Knorr, H., Rüdiger, H., The MAN Hydrogen Propulsion System for City Buses, MAN, Linde, 1996, Nürnberg.....	68
Abb. 17	Szyszka, A., Tachtler, J., Pkw-Betankung mit Flüssigwasserstoff, Bericht aus Technik und Wissenschaft 68/1992, S. 37, Linde, München.....	73
Abb. 18	Szyszka, A., Tachtler, J., Pkw-Betankung mit Flüssigwasserstoff, Bericht aus Technik und Wissenschaft 68/1992, S. 36, Linde, München.....	74
Abb. 19	Antriebe im Vergleich. Daimler-Benz Pressemeldung, Mai 1997, Antriebe im Vergleich.....	77

Abb. 20	Tankvolumina im Vergleich. Daimler-Benz Pressemeldung, Mai 1997, Antriebe im Vergleich.....	78
Abb. 21	Daimler-Benz Pressemeldung, Mai 1997, Antriebe im Vergleich	80
Abb. 22	typischer mittlerer Kraftfahrzeugverbrauch (Stadtzyklus - EPA). Carpetis, 1997	82
Abb. 23	höheres Verbrauchsverhältnis (stop-and-go - ECE-1). Carpetis, 1997.....	83
Abb. 24	hohes Verbrauchsverhältnis (Autobahn) [Carpetis, 1997].....	83
Abb. 25	Carpetis, 1997	85
Abb. 26	Carpetis, 1997	85
Abb. 27	Strobl, W., E. Heck, E., VDI Bericht Nr. 1201, S. 173-185, 1995, München	90
Abb. 28	92

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Fakten und Argumente, Deutsche Shell AG, Hamburg, Nov. 1997.....	21
Tab. 2	Energieverluste 1997. Forschungszentrum Jülich, Forschen, Nr. 1/98, April 1998...	22
Tab. 3	Übersicht über Effizienz- und Kostenverhältnisse zwischen solarem Strom (Erzeugung = 1,0) und solarem Wasserstoff für fortgeschrittene Technologien. Nitsch, J., Dienhart, H., u.a., VDI-Bericht (1997), 1321, „Fortschrittliche Energiewandlung und Anwendung“, VDI-Verlag, Stuttgart, S. 767-782	27
Tab. 4	Massen- und volumenbezogener Energieinhalt von Energieträgern. Carpetis, 1996.	30
Tab. 5	Preise für Wasserstoff. Schindler, 1996]	47
Tab. 6	Grenzwerte von 1994. ULEV-Limits (Ultra Low Emission Vehicles – Automobile mit minimalen Abgasemissionen): kalifornische Abgasgrenzwerte.....	47
Tab. 7	verschiedene Typen von Brennstoffzellen. Bongartz, W., Stand der Technologie von Brennstoffzellen zu Antrieb von Kraftfahrzeugen, Aachen, (1996), S. 5-25	60
Tab. 8	Geschätzte Kostenentwicklung in US-Dollar pro Kilowatt und geschätzte Entwicklung der Gesamtleistung in Megawatt. Hoppe, 1997	62
Tab. 9	Geschätzte Kosten pro Kilowatt der einzelnen Brennstoffzellen-Komponenten. Hoppe, 1997	63
Tab. 10	Gegenüberstellung von Kraftstoffen.....	75
Tab. 11	Vergleich verschiedener Autofabrikanten. Hoppe, A., Nesbitt Burns, High Tech Research, (1997), S. 10	76
Tab. 12	Pkw-Emissionsstandards nach dem Fahrzyklus der EU für Fahrzeuge über 3,5 t	86
Tab. 13	Energieverbrauch und Emissionen verschiedener Kraftstoffketten Quelle: Höhnlein, B., Biedermann, P., VDI Bericht Nr. 1307, S. 285-300, 1996, , Jülich.....	88
Tab. 14	Projektmittel in Mio. DM zur Förderung der Wasserstofftechnologie (ohne Brennstoffzelle). Bundesregierung, Zukunft der Wasserstoff-Technologie, Drucksache 13/11207, 24.6.1998.....	93

1 Aufgabenstellung

Im wesentlichen auf der Basis einer Literaturstudie ist der Stand der Technik herauszuarbeiten, wie Wasserstoff als Kraftstoff für Fahrzeugantriebe eingesetzt werden kann. Dabei werden vermutlich der Einsatz im Verbrennungsmotor, in der Gasturbine und schließlich in der Brennstoffzelle jeweils einen Schwerpunkt bilden. Die einzelnen Prinzipien sind zu analysieren und möglichst vergleichend zu bewerten.

Es sollte auch auf die Möglichkeiten zur Wasserstoffgewinnung und zur Wasserstoffspeicherung im Fahrzeug (Tankproblem) eingegangen werden. Bezüglich der Abgasqualität und der Wirkungsgrade (Kraftstoffverbrauch) sollte möglichst ein Vergleich mit den konventionellen Fahrzeugantrieben (Otto- und Dieselmotor) angestellt werden.

2 Kurzfassung

Im Rahmen der Diskussion um neue Energieformen, Energiesteuer und alternative Antriebskonzepte stellt sich die Frage, inwieweit neue Verfahren zur Energieerzeugung bereits vorhanden sind und, wenn ja, ob diese in Konkurrenz mit herkömmlichen Antriebsarten treten könnten.

Heute gängige Kraftstoffe auf Erdölbasis (Benzin bzw. Diesel) dezimieren die natürlichen Ressourcen und erzeugen darüber hinaus Schadstoffe, die nachteilig für Mensch und Natur sind. Energiespeicher für Fahrzeugantriebe werden jedoch bis auf weiteres notwendig sein, um den Personen- und Gütertransport zu Land, zu Wasser und in der Luft zu ermöglichen. Es wird zur Zeit an der weiteren Optimierung der herkömmlichen Antriebsarten gearbeitet. Bei der Verbesserung der angewandten Techniken und damit dem Heraufsetzen der Wirkungsgrade gibt es jedoch Grenzen. Nach Expertenmeinung könnte der Benzinverbrauch der Neuwagenflotten in den nächsten zehn Jahren um 30% reduziert werden. Der Schadstoffausstoß wird damit zwar verringert, aber nicht völlig eingestellt werden, und die natürlichen Ressourcen werden weiter reduziert. Es bleibt folglich die Notwendigkeit, nach anderen praktikablen Möglichkeiten und neuen Techniken in diesem Bereich zu suchen.

Auf den ersten Blick erscheint Wasserstoff (H_2) ein geeigneter Energiespeicher, der den Weg in eine schadstofffreie Zukunft weisen könnte. Wasser ist in ausreichendem Maße vorhanden, bei der Verbrennung wird relativ viel Energie frei, und es entstehen keine Schadstoffe.

Erste Versuche waren erfolgreich, und Wasserstoff scheint durchaus für den mobilen Fahrzeugantrieb geeignet zu sein. Auf den zweiten Blick gibt es jedoch auch Probleme. Wasserstoff ist mit Sauerstoff hochexplosiv, die Erzeugung von H_2 ist aufwendig, und die Speicherung sowie die Betankung sind problematisch. Dann, auf den dritten Blick, zeigt sich, daß die Schwierigkeiten zu bewältigen sind und in den letzten Jahren weitgreifende Fortschritte gemacht wurden.

Mittlerweile ist die Technik auf einem Entwicklungsstand, auf der es Prototypen von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen in der dritten oder vierten Generation gibt. Vielerorts laufen Projekte, in denen unterschiedliche Modelle ihre Tauglichkeit im Alltag unter Beweis stellen sollen. Die Anzahl der Veröffentlichungen und Studien zu diesem Thema nimmt stetig zu.

Vor zehn Jahren wurde damit angefangen, Wasserstoff als Energieträger ernstzunehmen. Einige der Ideen von damals sind gescheitert, andere sind in Ansätzen verwirklicht worden. Die Speicherung von H_2 in Metallhydriden oder die Bindung an Toluol gehören zu den nicht so aussichtsreichen Varianten. Chancenreicher ist die Nutzung von gasförmigem oder