

Werner Tillmetz · André Martin

Wasserstoff auf dem Weg zur Elektromobilität

Hautnah erlebt: Die Basisinnovation
Brennstoffzelle

SACHBUCH

 Springer

Wasserstoff auf dem Weg zur Elektromobilität

Werner Tillmetz · André Martin

Wasserstoff auf dem Weg zur Elektromobilität

Hautnah erlebt: Die Basisinnovation
Brennstoffzelle

Werner Tillmetz
Lindau, Deutschland

André Martin
Idstein, Deutschland

ISBN 978-3-658-34747-5 ISBN 978-3-658-34748-2 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-34748-2>

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

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert durch Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2021

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Einbandabbildung: © sp4764/stock.adobe.com

Planung: Dr. Daniel Fröhlich

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Vorwort der Autoren

Dem vorliegenden Buch liegen unsere Erfahrungen mit der Innovation von Wasserstoff und Brennstoffzellen für die Elektromobilität in den letzten 30 Jahren zugrunde. Es beschreibt visionäre Anfänge, euphorische Hochphasen und frustrierende Durststrecken der Entwicklung aus unserer persönlichen Erfahrung, die wir mit vielen anderen geteilt haben.

Wir wollten es jedoch nicht bei der Schilderung episodischer Vorgänge belassen, sondern den Versuch unternehmen, aus unseren Erfahrungen und Erkenntnissen gedanklichen Nutzen zu ziehen, weil wir glauben, dass vieles, was wir erlebt haben, viele Widerstände, die wir überwinden mussten und die, an denen wir gescheitert sind, typischen Mustern folgten, die durchaus exemplarisch für ähnliche Vorgänge in der Industrie stehen und die es deshalb wert sind, genauer betrachtet zu werden. Dabei haben wir versucht, einen Bogen zu spannen von der Technologie, über wirtschaftliche Rahmenbedingungen und Organisationsstrukturen bis hin zum politischen Umfeld, die alle in ihrer jeweils sehr speziellen Wirkung Einfluss auf Erfolg oder Scheitern von Innovationen nehmen.

Wir betrachten trotz langer gemeinsamer Tätigkeit und intensivem gedanklichen Austausch die gleichen Entwicklungen aus zwei sehr persönlichen Perspektiven und in zwei parallelen und sich überschneidenden Handlungssträngen. Sie sind durch unseren unterschiedlichen Ausbildungshintergrund als Elektrochemiker und Volkswirt wie auch von unseren persönlichen Prägungen und Erlebnissen bestimmt. Wir hoffen, dass sich die daraus entstehende unterschiedliche Sicht auf die Dinge idealerweise ergänzt und zu einem stimmigeren Gesamtbild fügt. Es handelt sich dabei um eine Arbeitsweise, die wir auch in unserer beruflichen Tätigkeit geschätzt haben, weil Perspektivwechsel häufig Erkenntniszuwachs bedeuten.

Die Sichtung und Aufarbeitung des Materials über einen so langen Zeitraum ist schwierig und die Auswahl und Bewertung des Geschilderten naturgemäß subjektiv. Das Buch ist aus der Perspektive persönlicher Betroffenheit geschrieben. Wir zeigen Emotionen, haben aber versucht, mit ihnen so produktiv wie möglich umzugehen und polemische Einlassungen zu vermeiden, obwohl uns mitunter danach gewesen wäre.

Auch können wir trotz großer Sorgfalt nicht ausschließen, dass sich da und dort aus der Erinnerung heraus Ungenauigkeiten in der Abfolge des Geschehens oder der Darstellung eingeschlichen haben, für die wir bereits jetzt um Verständnis und Nachsicht bitten und bei denen es sich keinesfalls um Absicht handelt. Uns ist bewusst, dass aus einer persönlichen Sicht heraus rückblickend manches auch anders betrachtet werden kann.

Bei unserem Buch handelt es sich nicht um ein streng akademisches Sachbuch. Wir berichten von unseren Erfahrungen, beziehen Stellung und lassen Wegbegleiter zu Wort kommen. Alles wovon wir berichten, ist durch Menschen und mit Menschen passiert. Zu guter Letzt bedanken wir uns bei den vielen Wegbegleitern und Freunden, die zum Gelingen des Buches beigetragen haben, und wünschen allen Lesern eine hoffentlich erhellende und interessante Lektüre.

Werner Tillmetz
André Martin

Prolog

Über die Hintergründe zur Entstehung des Buches und die wichtigsten Inhalte

Petra Boeger spricht mit den Autoren über ihr Buch

Wie kam es zu Eurem Buch und warum gerade jetzt?

Im Jahr 2019 wurde immer deutlicher, dass sich Wasserstoff und Brennstoffzellen zu globalen Megatrends entwickeln werden. Namhafte Weltkonzerne, aber auch viele Start-Up-Unternehmen stiegen in die Entwicklung für Busse, LKW und PKW ein oder begannen sie zu forcieren. Einige Technologievorreiter gaben Pläne für den Einstieg in die Serienproduktion von Brennstoffzellen-Antrieben und -Fahrzeugen bekannt. Dem Hydrogen Council, einem global agierenden Verband für Wasserstoff, schlossen sich viele neue Akteure aus der ganzen Welt an. Auch die Politik begann, sich intensiver mit dem Thema Wasserstoff auseinanderzusetzen. Umwelt- und Klimabewegungen wie „Fridays for Future“ erregten Aufmerksamkeit, das Thema kam auf die Agenda des G20-Treffens in Tokyo und es wurde schließlich zu einem entscheidenden Bestandteil der Marke „European Green Deal“ der neuen Europäischen Kommission.

Da war es naheliegend, dass wir, die die Entwicklungen zu Brennstoffzelle und Wasserstoff seit den 1990er Jahren intensiv mitgestaltet hatten, uns mit der Frage auseinandersetzten: „Warum erst jetzt?“, oder noch provozierender: „Hat Deutschland seine Chance verpasst?“. Denn bereits Anfang der 2000er Jahre waren PKW- und Stadtbus-Flotten erfolgreich im Alltag unterwegs, deren Technologie in Deutschland und Kanada entwickelt worden war. Bereits damals besaßen sie die wesentlichen Voraussetzungen, um den Beginn einer neuen emissionsfreien und klimafreundlichen Mobilität einzuläuten. Es dauerte jedoch fast 20 Jahre, bis aus diesem gelungenen Anfang eine dynamische Entwicklung wurde, wie sie jetzt zu beobachten ist. Daraus entstand die Idee, unsere umfangreichen Erfahrungen aus Forschung, Wirtschaft und Politik zu schildern und zu analysieren. Vor allem aber wollten wir der Frage nachgehen, warum die Entwicklung so und nicht anders verlief und welche Faktoren für den Erfolg oder Misserfolg einer Basisinnovation verantwortlich sind, die eine radikale Verdrängung etablierter Produkte im Markt bewirkt. Die Recherchen und die Analyse unserer

Erlebnisse führten zu vielen aufschlussreichen Erkenntnissen zu den Wirkmechanismen von Veränderungsprozessen in Wirtschaft, Politik und Gesellschaft.

Für wen ist dieses Buch gedacht?

Das Buch ist allgemeinverständlich geschrieben und soll Menschen ansprechen, die sich mit den Themen Innovation, Energie und Elektromobilität, Nachhaltigkeit, Brennstoffzelle und Wasserstoff auseinandersetzen. Das können interessierte Laien sein, aber auch Fachleute, die tiefer in die Hintergründe der letzten 30 Jahre eintauchen wollen. Es richtet sich auch und vor allem an die gesellschaftlichen Akteure, die gerne pauschal über die angeblichen Ziele und Vorgehensweisen der Industrie urteilen, ohne Einblick in die tatsächlichen Triebkräfte und Zwänge zu besitzen, durch die Entwicklungen angestoßen oder verhindert werden. Für Politiker und Manager, die sich in ihrer Tätigkeit mit dem Thema Innovation befassen, sollte das Buch ein Muss sein.

Wie ist das Buch aufgebaut?

Die Erlebnisse dieser 30 Jahre schildern wir in den ersten drei Kapiteln – vom Beginn der Forschungsaktivitäten Anfang der 1990er Jahre bis zum Start der Serienproduktion 2020. In jedem dieser vier Kapitel berichten wir und einige unserer Wegbegleiter zunächst über die spannendsten Ereignisse aus unserer persönlichen Sicht. Die gewonnenen Einblicke und Erkenntnisse des jeweiligen Abschnitts haben wir dann im Sinne des Innovationsgeschehens analysiert und am Ende der Kapitel kurz zusammengefasst. In einem abschließenden Kapitel werden die Erkenntnisse zu den Erfolgsfaktoren einer Basisinnovation am Fallbeispiel der Brennstoffzelle für die E-Mobilität strukturiert zusammengefasst. Der Epilog versetzt uns zu guter Letzt ein Stück weit in die Zukunft der emissionsfreien Mobilität.

Was sind die wichtigsten Erkenntnisse aus Euren Erlebnissen?

Ein hochmotiviertes Team, das eine starke Unterstützung durch das Management hat, kann in kurzer Zeit technologisch sehr viel erreichen und eine Vision zum Leben erwecken. Das haben Flottendemonstrationen alltagstauglicher Brennstoffzellenfahrzeuge in den 2000er Jahren eindrucksvoll bewiesen. Um jedoch eine bestehende Technologie zu verdrängen, die 100 Jahre Erfolgsgeschichte schrieb und mit der globale Konzerne enorme wirtschaftliche Erfolge erzielen, sind mehr als Visionen und talentierte Teams erforderlich. Eine Schlüsselrolle spielt dabei die Politik oder anders ausgedrückt: ein klarer und schlüssiger Regulierungsrahmen durch den Gesetzgeber. Eine solche Regulierung, leider nur lokal begrenzt, war 1990 die kalifornische „Zero-Emission“-Gesetzgebung zur Luftreinhaltung. Trotz vieler Aktivitäten und globaler Anstrengungen in der Klima- und Umwelt-Gesetzgebung, sind wir in Deutschland und der EU jedoch 30 Jahre später von einer schlüssigen Gesamtstrategie und entsprechend effektiven Maßnahmen immer noch weit entfernt.

Viele unserer Erkenntnisse zu Basisinnovationen sind Fachleuten schon lange bekannt. Einschlägige Publikationen gibt es in Mengen. Sie sind jedoch häufig aus

akademischer Sicht verfasst. Wir haben unsere Schlussfolgerungen direkt aus dem hautnah Erlebten geschöpft. Zum besseren Verständnis haben wir sie in die Bereiche Forschung und Entwicklung, Organisation und Strategie gegliedert. Sie reflektieren das Dilemma der unmittelbar Beteiligten, die sich an Zielkonflikten und strukturellen Hindernissen abarbeiten, obwohl es anders ginge.

Die etablierten, vor allem westlichen Konzerne, kennen natürlich die Schicksale von Firmen wie Kodak, deren 100-jährige Erfolgsgeschichte durch die Digitalfotografie jäh beendet wurde. Trotzdem glauben sie, dass sie selbst von einem ähnlichen Schicksal nie betroffen würden. Sie orientieren sich an kurzfristigen Erfolgskriterien und verlassen sich darauf, dass ihre Marktmacht ausreicht, um die Dinge unter Kontrolle zu behalten. Das ist eine riskante Sichtweise, wie etwa das Beispiel Tesla zeigt. Natürlich weiß man nicht, wie das Experiment ausgeht, aber allein die Tatsache, dass ein Startup innerhalb weniger Jahre zu einem ernsthaften Konkurrenten für die globale Autoindustrie werden kann, sagt alles.

Für innovative Forschung werden visionäre Leitfiguren gebraucht, die strategisch denken und handeln. Man braucht ein motiviertes Team und starke Partner, um eine Technologie schnell genug voranzutreiben. Ein organisatorisches Umfeld, das dies zulässt, ist eine weitere Voraussetzung. Die möglichst frühe Demonstration der Technologie ist entscheidend für ihre Akzeptanz und die erforderliche politische Unterstützung. In unserem Fall war die Vorgabe „macht Räder unter die Brennstoffzelle“ ganz entscheidend für den Anfangserfolg.

Aber kann eine „disruptive Innovation innerhalb einer etablierten Organisation stattfinden? Wird sie die Kannibalisierung des eigenen Geschäftes erlauben?

Zu guter Letzt spielt die Gesetzgebung im stark regulierten Mobilitätsmarkt die alles entscheidende Rolle. Nur durch eindeutige und anhaltend stabile „Spielregeln“ sind Änderungen in einer global agierenden, sehr mächtigen Fahrzeug- und Mineralöl-Wirtschaft überhaupt möglich. Dabei ist die Anerkennung zwingend, dass Wirtschaftsunternehmen den Marktgesetzen unterliegen. Nur unter Berücksichtigung dieser Binsenwahrheit ist es jedoch möglich, Regulierungen schlüssig und nachhaltig zu entwickeln und nicht in Fragmenten stecken zu bleiben, die dem politischen Anspruch nicht gerecht werden können.

Gab es solche Basisinnovationen in der Mobilität schon einmal?

Basisinnovationen in der Mobilität hat es schon mehrfach gegeben. Vor 250 Jahren war es die Dampfmaschine, die in Verbindung mit dem Energieträger Kohle erstmals Mobilität mit Eisenbahn und Schiff über weite Strecken ermöglichte. Vor etwa 100 Jahren war es der Verbrennungsmotor in Verbindung mit Benzin und Diesel aus Erdöl, der die Welt revolutionierte. Im Jahr 1888 fuhr Berta Benz mit der Benzin-Kutsche ihres Mannes zum ersten Mal eine größere Strecke und kaufte den dafür benötigten Kraftstoff in der Apotheke. Nur 20 Jahre später machte Henry Ford mit der Massenfertigung das Automobil für jedermann erschwinglich und schickte damit die Pferdekutscher in die Arbeitslosigkeit. Zwei Jahrzehnte später verbannte der Dieselmotor die Dampfmaschinen

als universelles „Arbeitspferd“ ins Museum. Innerhalb von wenigen Jahren hatte sich die Welt radikal verändert. Möglicherweise werden die Benzinkutschen von Batterie-Mobilen verdrängt und die Dieselmotoren von der Brennstoffzelle.

Was sollte Deutschland anders machen, um bei Basisinnovationen wieder vorne mit dabei zu sein?

Die deutsche Industrie ist geprägt von einer Innovationskultur, die auf kontinuierliche Verbesserung abzielt. Man bezeichnet sie als inkrementelle Innovationskultur. Die kontinuierliche Optimierung bestehender Produkte war bisher eine Erfolgsgeschichte und hat Deutschland große wirtschaftliche Erfolge und Wohlstand beschert. „Made in Germany“ wurde zu einer starken Marke, verbunden mit einem sehr ausgeprägten Selbstbewusstsein.

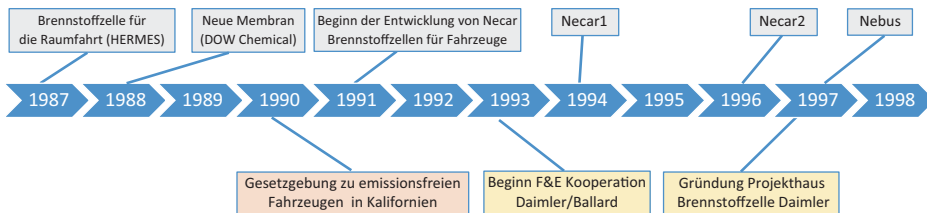
Diese Kultur hat aber gleichzeitig die Wahrnehmung für radikale Veränderungen in der Welt geschwächt. Mit den Mitteln inkrementeller Innovation ist es unmöglich, fundamental neue technologische Ansätze erfolgreich zu entwickeln und in den Markt zu bringen. Kaum eine der radikalen Innovationen der letzten Jahrzehnte kam mehr aus der deutschen Industrie, obwohl zahlreiche Ideen ihren Ursprung in Deutschland hatten. High-Tech Unternehmen aus Kalifornien und asiatische Konzerne beherrschen inzwischen die Technologien der Zukunft und setzen die Standards. Deutschland ist von einer Produktionskultur beherrscht, die wir perfekt leben und dafür bewundert werden. Aber grundsätzlich Neues entsteht daraus nicht, trotz exzellenter Ausbildung und Forschung.

Um bei technologischen Innovationen wieder an die Spitze zu kommen, Themen zu setzen und ihnen nicht hinterherzulaufen, sind langfristige, faktenbasierte und mutige Strategien in Politik und Industrie notwendig. Wir müssen wieder mehr experimentieren, denn nur daraus erwächst die nächste, bessere Idee. Die Orientierung an kurzfristigen Finanz- und Wahlergebnissen führt zwangsweise zu Misserfolg. Sie bedeutet Lähmung und längerfristig Abstieg. Gesellschaftlich müssen wir deshalb dazulernen: Scheitern ist Teil der Erkenntnis und oft Voraussetzung eines Erfolges, wenn man die Lehren daraus zieht. Wohlstand muss auch künftig verdient werden. Erst dann gibt es etwas zu verteilen.

Inhaltsverzeichnis

1 Vom Weltall auf die Straße	1
1.1 Von der Technologieentwicklung bei Dornier, Daimler und Ballard zu den ersten Fahrzeugen 1996	1
1.2 Erkenntnisse aus dieser Zeit, die von Forschung und Entwicklung geprägt war	24
Quellen	28
2 Von Technologie-Demonstratoren zu Fahrzeugflotten in Kundenhand	29
2.1 Produktentwicklung und Erprobung von 1997 bis 2005 – Vision und Kreativität	29
2.2 Tücken der Komplexität	56
2.3 Erkenntnisse aus dieser Zeit, die von organisatorischen Themen geprägt war	81
Quellen	83
3 Der lange Weg zur Markteinführung	85
3.1 Fahrzeugflotten weltweit – Asiatische Tiger im Vormarsch (von 2002 bis 2020)	85
3.2 Die Gründung der Nationalen Organisation Wasserstoff Brennstoffzelle – Ein Meilenstein in der Förderpolitik	102
3.3 Erkenntnisse aus einer Zeit, die von strategischen Themen geprägt war	122
Quellen	125

4 Der Innovationsschub lässt auf sich warten – das Strategiedilemma in Politik und Industrie	127
Quellen	139
Epilog	141
Stichwortverzeichnis	145



1.1 Von der Technologieentwicklung bei Dornier, Daimler und Ballard zu den ersten Fahrzeugen 1996

Die Geschichte erzählt von Werner Tillmetz

Wie alles begann

„Schau mal, die suchen einen Elektrochemiker“. Im Sommer 1986 blätterte ich durch die Stellenanzeigen der Süddeutschen und zeigte meiner Frau die Anzeige. Dornier in Immenstaad am Bodensee suchte einen Wissenschaftler zur Entwicklung von Brennstoffzellen für Raumfahrtprojekte. Zu dieser Zeit hatte ich keine Ahnung von Brennstoffzellen. Auch mit der Raumfahrt hatte ich noch nie etwas zu tun. Mein bisheriger Fokus lag auf Elektrolysetechnologie zur Erzeugung von Produkten wie Wasserstoff, Chlor oder Ozon mit Hilfe von Strom und Elektrochemie. Bei der Brennstoffzelle geht es um den umgekehrten Prozess, der elektrochemischen Erzeugung von Strom aus Brennstoffen wie Wasserstoff und Sauerstoff.

Wir waren beide in Lindau am Bodensee aufgewachsen, und nach vielen Jahren in der Großstadt München war das Heimweh groß. Zurück in die Heimat an den Bodensee, das war unser sehnlichster Wunsch! Also nichts wie raus mit der Bewerbung und der Dinge harren, die da kommen. Im Frühjahr 1987 war es dann so weit: wir waren zurück am See und ich durfte „dort arbeiten, wo andere Urlaub machen“. Mit diesen Worten hat die Dornier-Personalabteilung früher Werbung für neue Mitarbeiter gemacht.

Die Europäische Raumfahrtagentur ESA (European Space Agency) hatte 1987 die Entwicklung des Raumgleiters „Hermes“ gestartet. Hermes sollte das Pendant zum Space-Shuttle der NASA werden. Dornier war Hauptauftragnehmer der ESA für die Brennstoffzelle, die für die Stromversorgung des Raumgleiters sorgen sollte. Für bemannte, mehrtägige Missionen in den Weltraum ist die Stromversorgung mit Brennstoffzellen die Lösung. Die Brennstoffe (Energieträger) Wasserstoff und Sauerstoff werden in flüssiger Form mitgenommen. Die sehr hohe Energiedichte von Wasserstoff in Verbindung mit dem hohen Wirkungsgrad bei dessen Umwandlung in Strom durch eine Brennstoffzelle macht diese Technologie zur einzig gangbaren Lösung für diese Art von Raumfahrtmissionen. Batterien wären für die zu speichernden Energiemengen viel zu schwer. Auch Photovoltaik-Module in Kombination mit Speicherbatterien, wie sie typischerweise für Satelliten eingesetzt werden, können für solche Missionen wie Space-Shuttle oder Hermes nicht ausreichend Strom liefern, da die Photovoltaik-Module nur partiell zur Sonne ausgerichtet werden können.

Die Firma United Technologies Corporation (UTC) hatte die Brennstoffzelle für den Space-Shuttle, der von 1981 bis 2011 im Einsatz war, entwickelt. Dabei handelte es sich um eine Technologie, wie sie zuvor schon im Apollo-Programm eingesetzt worden war. Im Kinofilm Apollo 13, der von der abgebrochenen und sehr dramatischen Mond-Mission von 1970 handelt, spielt die Brennstoffzelle eine entscheidende Rolle: durch einen Meteoriteneinschlag wurde der Tank, der den Sauerstoff für die Brennstoffzelle speichert, zerstört. Infolgedessen waren Bordstromversorgung und damit auch die Lebenserhaltungssysteme ausgefallen. Gerade noch rechtzeitig gelang es den drei Astronauten damals durch eine technische Notlösung, den Weg zurück zur rettenden Erde zu finden.

Die damals eingesetzte, alkalische Brennstoffzelle hat einen besonders hohen Wirkungsgrad bei der Erzeugung von Strom aus Wasserstoff und Sauerstoff. Das bedeutet, der Bedarf an Kraftstoffen für die mehrtägige Mission ist niedrig und damit wird Gewicht eingespart. Das ist deshalb wichtig, weil das Startgewicht – neben der Zuverlässigkeit – das alles entscheidende Kriterium für Raumfahrtmissionen ist. Auch für andere Anwendungen, wie Fahrzeugantriebe, ist der hohe Wirkungsgrad der Stromerzeugung über Brennstoffzellen eines der entscheidenden Kriterien.

Neben den Raumfahrtprogrammen des letzten Jahrhunderts in den USA gab es noch eine weitere Spezialanwendung für die Brennstoffzelle: die Stromversorgung für U-Boote. Damit war es auch den Ländern, die keine mit Atomkraft betriebenen U-Boote haben durften, möglich, ihre U-Boote frei von messbaren Geräuschen und CO₂-Emissionen (wie es beim Einsatz von Dieselmotoren der Fall wäre),

außenluftunabhängig über lange Strecken im Tauchgang zu fahren. Zu dieser Zeit entwickelte Siemens im Auftrag der deutschen Marine Brennstoffzellen für diese Art der Anwendung. Die Entwicklungsaktivitäten der alkalischen Brennstoffzelle bei Siemens beruhten auf den Arbeiten von Prof. Justi und dessen Schüler, Prof. Winsel, an der TU Braunschweig in den 1950er Jahren.

Das Prinzip der Brennstoffzelle wurde schon 1838 entdeckt. Christian Friedrich Schönbein demonstrierte in seiner Baseler Zeit eine einfache Brennstoffzelle, indem er zwei Platindrähte in Salzsäure mit Wasserstoff und Sauerstoff umspülte und feststellte, dass zwischen den Drähten eine elektrische Spannung entstand. Ein Jahr später veröffentlichte er seine Erkenntnisse. Parallel dazu hatte auch Sir William Grove von der Royal Institution of South Wales seine ersten Experimente zur Brennstoffzelle durchgeführt.

„Das Wasser ist die Kohle der Zukunft. Die Energie von morgen ist Wasser, das durch elektrischen Strom zerlegt worden ist. Die so zerlegten Elemente des Wassers, Wasserstoff und Sauerstoff, werden auf unabsehbare Zeit hinaus die Energieversorgung der Erde sichern“. Dieser berühmte Satz von Jules Verne stammt aus dessen Roman von 1870 „Die geheimnisvolle Insel“ und deutete an, was 150 Jahre später beginnt Alltag zu werden.

Der Physikochemiker und spätere Nobelpreisträger Wilhelm Ostwald berichtete 1894, dass Brennstoffzellen im Gegensatz zu Verbrennungsmotoren nicht dem „wirksamen Wirkungsgrad“ von Wärmekraftmaschinen unterliegen. Die direkte, elektrochemische Erzeugung von Strom aus einem Brennstoff ist infolge grundlegender physikalischer Gesetze der sehr viel effizientere Weg der Energieumwandlung. Auch Ostwald hat also schon sehr früh auf den wesentlichen Vorteil der Brennstoffzelle aufmerksam gemacht. Für die Ablösung der zunächst im Überfluss vorhandenen, aber klimaschädlichen fossilen Kraftstoffe durch solche, die auf Erneuerbaren Energien basieren, ist auch ein effizienterer Umgang mit Energie mehr als hilfreich.

Diese kurze historische Betrachtung soll die wesentlichen Zusammenhänge für unsere Entwicklungen in der Raumfahrt und später für Fahrzeuge verständlich machen. Einige der damaligen Akteure, wie Siemens und United Technologies Corporation (UTC), sollten auch in den folgenden Jahren eine Rolle spielen.

Entwicklung der Brennstoffzelle bei Dornier

Ich, Werner Tillmetz, Mitautor dieses Buches und Verfasser dieses Kapitels – war 1987 in die neu gegründete Abteilung „Energie- und Umwelttechnologien“ in der Forschung der Dornier-System GmbH eingestellt worden. Wir unterstützten in Technologiefragen die Kollegen aus dem Dornier Raumfahrtbereich, welche die Verantwortung für das Projekt Hermes-Brennstoffzelle innehatten. Eine unserer Aufgaben war es, mit kompetenten Firmen und Instituten in Europa technologisch zusammenzuarbeiten. Gleichzeitig sollten wir die Technologien der für die NASA tätigen Organisationen analysieren und bewerten. Zu den europäischen Akteuren gehörten Siemens mit ihrer Brennstoffzelle für die U-Boote, das Varta-Forschungszentrum in Kerkheim mit Prof.

Winsel und der von ihm entwickelten Eloflux-Technik, die belgische Firma Elenco, die eine Brennstoffzelle für einen Bus entwickelt hatte und Prof. Kordesch von der TU Graz, der in den 1960er Jahren in seiner USA-Zeit ein erstes Fahrzeug mit Brennstoffzelle gebaut hatte. All diese Organisationen arbeiteten mit einem flüssigen Elektrolyten (Kalilauge), der die Zelle durchströmte. Wir hatten allerdings große Schwierigkeiten uns vorzustellen, dass die Verwendung von heißer Kalilauge als Elektrolyt, der im Kreislauf gepumpt wird, in der Schwerelosigkeit problemlos funktionieren könnte, ganz zu schweigen von den Sicherheitsaspekten im Falle einer Leckage.

Eine kleine Anekdote zum Umgang mit flüssiger Kalilauge macht unsere Bedenken anschaulich: wir durften damals für unsere Forschungsarbeiten ein Testlabor im sehr edlen und auf penible Sauberkeit bedachten Dornier-Raumfahrt-Zentrum belegen. In diesem Raumfahrt-Zentrum befindet sich (auch heute noch) ein riesiger Reinraum, in dem Satelliten aufgebaut werden und alle Mitarbeiter in Reinraumanzügen arbeiten. Von einem eleganten Besprechungsraum mit Ledersesseln und tiefblauen Teppichen konnten Besucher die Montage der Satelliten beobachten. In unserem Labor führten wir Lebensdauer-Untersuchungen an einer Brennstoffzelle der belgischen Firma Elenco durch. Mitten in der Nacht trat an der Brennstoffzelle eine Leckage auf und ein feiner Strahl heißer Kalilauge ergoss sich über den Boden. Als am nächsten Morgen die Reinigungsfrau das Labor auswischen wollte, wurde sie von der ätzenden Flüssigkeit auf dem Fußboden überrascht. Die eilig herbeigerufene Feuerwehr flutete dann das Labor inklusive der darunter liegenden Räume mit Löschwasser – und wir hatten plötzlich viele grimmig dreinschauende „Freunde“ im edlen Raumfahrtzentrum, das so gar nicht auf aggressive Chemikalien eingestellt war.

Die Amerikaner (UTC) hatten bei ihrer Brennstoffzelle dagegen den Elektrolyten (Kalilauge) in einem porösen Papier aus Keramikfasern aufgesaugt und dadurch fixiert. Damit war das Problem mit dem flüssigen und aggressiven Elektrolyten deutlich entschärft. Wir drängten unsere Partner, auch in diese Richtung zu denken und ihre Technologie entsprechend weiter zu entwickeln. Sie hielten aber an ihrer bestehenden Technologie fest. Als überzeugte und beharrliche Forscher begannen wir bei Dornier deshalb mit eigenen Arbeiten zu der von uns favorisierten Brennstoffzellen-Technologie auf der Basis eines in einer porösen Membran fixierten (immobilisierten) alkalischen Elektrolyten.

Damit kam ein für die weitere Geschichte ganz wesentliches Merkmal zum Tragen: die Dornier-Kultur. Sie zeichnete sich durch ein sehr offensives technologisches Vorgehen verbunden mit viel Mut zum Risiko aus. Das ging zurück auf Firmengründer Claude Dornier, der überzeugt war, dass Flugzeuge, die schwerer als Luft sind, mehr Potenzial haben als die leichten, aber sehr voluminösen Luftschiffe seines Arbeitgebers Graf Zeppelin. Die Geschichte sollte ihm Recht geben: die berühmte DoX, der erste Senkrechtstarter, Satelliten und vieles mehr zeigten die Ergebnisse dieser Dornier-Kultur, technologische Herausforderungen immer wieder aktiv und mit Mut zum Risiko anzunehmen. Andererseits tat sich Dornier immer schwer, ein Serienprodukt erfolgreich im Markt zu platzieren. Die erfolgreiche Herstellung eines Produktes in Großserie erfordert andere Qualifikationen und eine andere Unternehmenskultur.