Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 83 (1992)

Heft: 6

Artikel: Wasserstoffwirtschaft in Bewegung

Autor: Weber, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902809

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Wasserstoffwirtschaft in Bewegung

R. Weber

Nicht als neue Energiequelle, wohl aber als vielseitig und umweltfreundlich einsetzbarer Energieträger, findet Wasserstoff immer mehr Interesse im In- und Ausland. Der Beitrag gibt einen Überblick über die derzeit in Gang befindlichen Entwicklungsprojekte und geht auch speziell auf die Frage der Sicherheit des Umgangs mit Wasserstoff ein.

Ce n'est pas en tant que nouvelle source d'énergie, mais en tant qu'agent énergétique aux multiples possibilités et respectant l'environnement que l'hydrogène intéresse de plus en plus la Suisse et l'étranger. L'article donne un aperçu des projets en cours de développement et analyse tout particulièrement le problème de la sécurité lors de manipulations d'hydrogène.

Adresse des Autors
Dr. techn., dipl. Ing. *Rudolf Weber*,
5225 Oberbözberg.

Eine Wasserstoff-Energiewirtschaft wird nicht mehr als Utopie betrachtet

In weitesten Kreisen von Wirtschaft und Politik nicht ganz ernst genommen wurden noch vor wenigen Jahren die Verfechter einer Energiewirtschaft auf der Basis von Wasserstoff. Doch unter dem Eindruck einer drohenden Klimaveränderung als Folge der Nutzung fossiler Brennstoffe hat sich ein rascher Sinneswandel vollzogen: Wasserstoff wird auch in Regierungen und Vorstandsetagen immer ernsthafter als realistische Alternative zu Erdöl und Kohle betrachtet, deren Weiterentwicklung, Verbilligung und Markteinführung es zu fördern gilt.

Als Mitte der 80er Jahre Forscher wie Ludwig Bölkow, Prof. Carl-Jochen Winter und Joachim Nitsch sowie viele andere ungenannte Wissenschafter und Umweltschützer Wasserstoff als saubere Alternative zu den fossilen Brennstoffen zu predigen begannen, trafen sie nicht überall auf Zustimmung, insbesondere nicht in Energiewirtschaft und Politik. Vielfach, wenn auch keineswegs überall, wurden sie und ihre Ansichten als Utopien belächelt und abgetan. Immerhin fanden die Mahner Gehör bei den Medien. Doch von 1988 an nahm auch deren Interesse wieder ab bis fast zum Nullpunkt, wie eben in unserer informationsübersättigten Zeit kaum ein Thema, und sei es noch so brisant, über mehr als ein, zwei Jahre für aktuell gehalten wird.

Rascher Sinneswandel

Zum einen jedoch liessen sich die eingangs genannten, aber auch neu hinzugekommene Persönlichkeiten aus

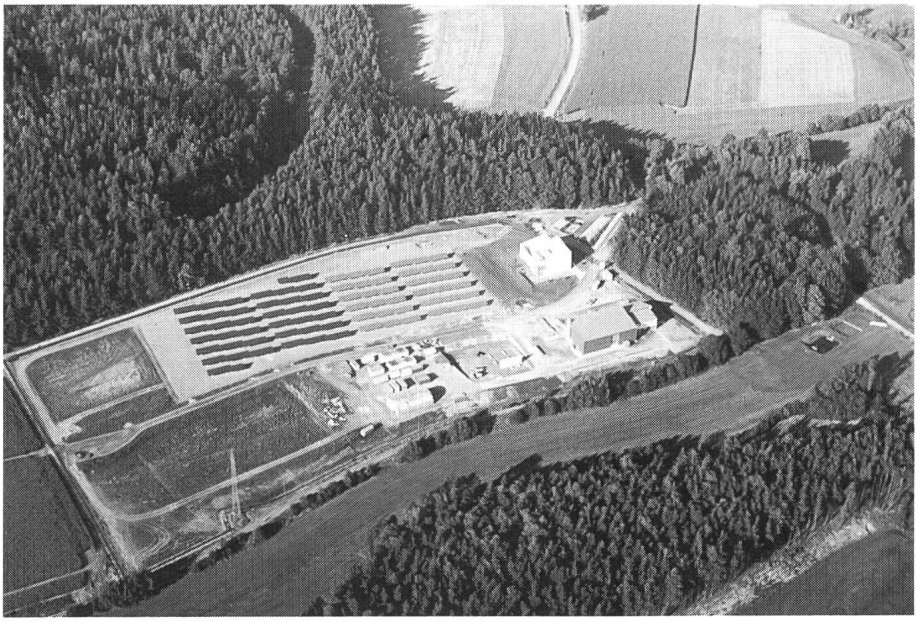

Bild 1 1990 ging in Neunburg vorm Wald im Nordosten Bayerns die bislang grösste Anlage für solaren Wasserstoff in Betrieb: Im Versuch werden alle wesentlichen Schritte der Gewinnung und Anwendung erprobt. Betreiber ist die Solar-Wasserstoff-Bayern GmbH (SWB), an der die Bayernwerk AG zu 60% und BMW, Linde, MBB sowie Siemens zu je 10% beteiligt sind
Foto Archiv Weber

Wie sicher ist Wasserstoff?

Wer Wasserstoff mit Gefahr gleichsetzt, stellt in der Regel – und zumindest unterschwellig – eine Verbindung mit dem Zeppelin-Unglück im amerikanischen Lakehurst her. Dort ging im Mai 1937 das wasserstoffgefüllte deutsche Luftschiff «Hindenburg» in einer Stichflamme auf. Der Tod von 34 Passagieren wird vielfach dem Brand angelastet. Das Unglück ist jedoch einer näheren Betrachtung wert, weil es wesentliche Eigenschaften des Wasserstoffs beleuchtet, die für die Sicherheit eine Rolle spielen.

Weshalb sich die Wasserstoff-Füllung entzündete, als sich das Luftschiff dem Ankermast näherte, hat nie geklärt werden können. Jedenfalls gab es eine Wasserstoff-Detonation mit einer riesigen, nach oben steigenden Stichflamme. Die meisten jener 34 unglücklichen Passagiere kamen jedoch nicht in der Flamme um, sondern vielmehr, weil sie aus der Gondel fielen oder in Panik von ihr absprangen. Fast alle Passagiere, die mit dem sinkenden Luftschiff den Boden erreichten, blieben am Leben. Das Unglück erfuhr derartigen Widerhall, dass die Luftfahrt mit Luftschiffen weltweit eingestellt und Wasserstoff auch nicht mehr als Treibstoff in Erwägung gezogen wurde, obschon Wasserstoff-Luftschiffe in den vorausgegangenen 36 Jahren Tausende von Flügen, davon Hunderte über den Atlantik, ohne grössere Zwischenfälle bestanden hatten.

Was lehrt nun das Unglück von Lakehurst in bezug auf die Sicherheit der Wasserstofftechnik?

Weiter Zündbereich

Da ist zunächst der Umstand, dass sich der Wasserstoff entzündete. Gase brennen nur innerhalb gewisser Mischungsgrenzen mit Luft, mit deren Sauerstoff sie dann reagieren. Beim Wasserstoff beträgt die untere Grenze 4- und die obere 75-Vol.-%. Dieser weite Zündbereich ist einerseits ein Vorteil für die kontrollierte Verbrennung mit Wasserstoffbrennern, weil er die Möglichkeit gibt, dank hohem Luftüberschuss das Entstehen von Stickoxiden (dem einzig möglichen Schadstoff der Wasserstoff-Verbrennung) weitgehend zu unterdrükken. Andererseits bedeutet er, dass schon geringe Anteile von Wasserstoff in der Luft, wie sie schon infolge kleiner Lecks in einer Rohrleitung auftreten können, das Potential zu einer unkontrollierten Verbrennung schaffen.

Freilich stehen andere, heute vielverwendete Brenngase noch schlechter oder kaum besser da: Die untere Zündgrenze von Propan liegt tiefer, jene von Ethan, also Erdgas, bei 5,3%. Auch hinsichtlich Zündenergie befindet sich der Wasserstoff trotz eines viel niedrigeren Wertes durchaus in Gesellschaft anderer Brenngase.

Geringe Wärmestrahlung

Dann gibt es da die himmelhohe Stichflamme. Sie brannte nur oberhalb des Luftschiffes, denn Wasserstoff ist das leichteste aller Gase. Er steigt daher – im Gegensatz etwa zu Propan oder Butan, die schwerer sind als Luft – in der Luft rasch nach oben und nimmt, sollte er in Brand geraten sein, auch die Flammen mit. Versuche haben gezeigt, dass aus diesem Grunde auch seine Brandzeit viel kürzer ist als die anderer Gase – die Umgebung ist den Flammen und ihrer Wärmestrahlung viel weniger lang ausgesetzt.

Wenn also Wasserstoff aus einem Leck entweicht (was er des kleinen Moleküls wegen allerdings eher tut als andere Gase), so entsteht im Freien kaum Gefahr. In geschlossenen Räumen hingegen muss man Vorsorge – zum Beispiel mit einer Deckenentlüftung in Wohnhäusern und Garagen – treffen, dass solcher Wasserstoff abziehen kann. Und schliesslich sind da die überlebenden Passagiere, die trotz der unmittelbaren Nähe zur Stichflamme keine Verbrennungen davontrugen. Das hat seine Ursache in dem Umstand, dass Wasserstoff mit farbloser Flamme verbrennt. Die Farbe bestimmt die Stärke der Wärmestrahlung, die von Flammen ausgeht. Rote Flammen, wie die von kohlenstoffhaltigen Brennstoffen, strahlen sehr intensiv. Zwar ist die Flammentemperatur von Wasserstoff mit rund 2300 °C sogar etwas höher, aber die Wärmestrahlung viel geringer. Ganz allgemein geht bei Bränden die eigentliche Gefahr eben nicht von der Flammentemperatur aus, sondern von der Flammenfarbe bzw. Wärmestrahlung.

Detonationsgefahr

In bezug auf leichte Entflammbarkeit, Brandzeit und Gefährdung durch Flammen ist Wasserstoff also durchaus vergleichbar mit anderen Brenngasen, wenn nicht sogar sicherer. Dem steht allerdings entgegen, dass Wasserstoff-Luft-Gemische viel eher detonieren als solche anderer Gase – eine Folge der viel höheren Geschwindigkeit, mit der sich Wasserstoff-Flammen ausbreiten. Die Fachleute sprechen nicht von Explosion, sondern vom Umschlagen einer Deflagration, eines raschen Abbrennens, in eine Detonation (was aber im Grunde dasselbe bedeutet). Wie jüngste Versuche gezeigt haben, wird ein solches Umschlagen vor allem durch Turbulenzen ausgelöst. Wenn zum Beispiel eine Druckwelle von einer Flamme ausgeht und von einer Wand zurückgeworfen wird, erhöht sie den Druck im Flammenbereich. Dann kann die Flammengeschwindigkeit, die bei normaler Verbrennung etwa 10 m/s beträgt, plötzlich auf mehr als 2000 m/s anwachsen. Das äussert sich als Verdichtungsstoss, der wiederum die Selbstentzündung des gesamten Wasserstoff-Luft-Gemisches bewirkt – es detoniert.

Freilich besteht nicht bei jeder Wasserstoff-Konzentration Gefahr, und wenn, dann nur in geschlossenen Räumen. Detonieren kann ein Wasserstoff-Luft-Gemisch erst, wenn es wenigstens 18-Vol.-% Wasserstoff enthält (man spricht dann von «Knallgas», welcher Begriff strenggenommen nur für ein 2:1-Verhältnis von Wasserstoff- zu Sauerstoffatomen – entsprechend rund 29-Vol.-% – gilt). So viel, versichern die Fachleute, könne sich in den seltensten Fällen ansammeln. Zudem stellen sie die Detonationsgefahr ins Verhältnis mit dem Hinweis, dass mit Erdgas diese untere Detonationsgrenze schon bei 6,3% erreicht wird. Dessenungeachtet verfolgen sie mit theoretischen und experimentellen Arbeiten ein zweifaches Ziel: erstens verhindern, dass sich explosible Gemische ansammeln, und zweitens die Folgen so gering wie möglich zu halten, falls es doch zu einer Detonation gekommen sein sollte.

Sicherheitsmassnahmen

Auf diesem Forschungszweig der Wasserstofftechnik sind in den letzten Jahren grosse Fortschritte erzielt worden, vor allem im Verständnis der Vorgänge, die zu einer Detonation führen können. Darauf beruht ein ganzer Katalog von Sicherheitsmassnahmen. Zu den primären, das heisst auf Verhinderung einer Gefahr gerichteten Massnahmen gehören zum Beispiel die wasserstoffgerechte Konstruktion von Anlagen und Geräten, das Verschweissen von Rohrleitungen (um Lecks möglichst auszuschliessen), die Wahl der richtigen Werkstoffe (viele Metalle verspröden in einer Wasserstoffatmosphäre) sowie das Anbringen von Abgasleitungen, die ins Freie führen. Sekundärmassnahmen zur Vermeidung von Zündquellen umfassen das Vermeiden von elektrischen und mechanischen Funken (zum Beispiel durch Erdung von Wasserstoff-Transportfahrzeugen) sowie das Verbot von Rauchen und offenem Feuer. Tertiäre, das heisst etwaige Unfallfolgen mildernde Massnahmen sind Vorrichtungen zur Schnellabschaltung von Leitungen oder die explosionsfeste Bemessung von Behältern. Der Verband der europäischen Gasindustrie bemüht sich um einheitliche Sicherheitsregeln, und die EG haben in einem mehrjährigen Forschungsprogramm die Grundlagen für ein Sicherheitshandbuch geschaffen.

Ziel: So sicher wie Erdgas

Es liegen jedoch nicht nur Erfahrungen aus Versuchen, sondern auch aus der Praxis vor. So verarbeitet die chemische Industrie weltweit über 400 Mrd. m^3 Wasserstoffgas im Jahr. Gewinnung, Speicherung, Transport und Nutzung (darunter auch die Verbrennung zur Wärmegewinnung) dieser bedeutenden Menge sind Routine und bisher ohne grössere Zwischenfälle verlaufen. Ähnliches gilt für den –253 °C kalten Flüssig-Wasserstoff, der vor allem in den USA bereits in grösserem Umfang eingesetzt wird. Dort wurden auch Versuche angestellt, bei denen man grössere Mengen Flüssig-Wasserstoff ausgoss und entzündete – er verbrannte 20–50mal so rasch wie vergleichbare Mengen fossiler Brennstoffe. Daraus kann man den Schluss ziehen, dass in Unfällen mit auslaufendem Treibstoff Autos und Flugzeuge, die mit Flüssig-Wasserstoff betrieben werden, sicherer wären als Benzin- oder Dieselfahrzeuge. Ein umfassender Nachweis dafür bleibt allerdings noch zu erbringen. Ausser Zweifel steht dagegen, dass eine Detonation oder ein Brand – ebensowenig wie der Umgang – keinerlei Langzeitschäden nach sich ziehen kann, weil Wasserstoff nicht giftig (oder radioaktiv) ist.

Gewiss lassen alle diese Erfahrungen, Versuche und Überlegungen noch einige Fragen zur Sicherheit in einer umfassenden Wasserstoffwirtschaft offen. Die Gemeinde der Wasserstofftechniker und -befürworter ist sich jedoch der Bedeutung dieser Fragen bewusst: «In einer Wasserstoffwirtschaft muss Wasserstoff als universeller Energieträger auch von Laien so sicher und einfach genützt werden können wie heute Heizöl, Benzin oder Erdgas», betont man bei der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR) in Stuttgart, wo Sicherheitsforschung als wesentlicher Teil der Entwicklung von Wasserstofftechniken betrachtet wird. Man ist überzeugt, «dieses Ziel beim heutigen Stand der Technik auf der Grundlage jahrzehntelanger industrieller Erfahrung zu erreichen».

Forschung, Industrie, Politik und auch Elektrizitätswirtschaft in ihren Bemühungen nicht beirren. Und zum andern häuften sich 1989 und 1990 die Anzeichen für eine weltweite Klimaveränderung als Folge des verstärkten Treibhauseffekts, der seine Hauptursache in der Anreicherung von Kohlendioxid – dem Verbrennungsprodukt von Erdöl, Erdgas und Kohle – in der Atmosphäre hat. Diese unheilschwangere Entwicklung überzeugt nun auch frühere Skeptiker von der Notwendigkeit, den Ausstoss von Kohlendioxid aus Schloten und Auspuffrohren drastisch und bald zu vermindern. Viele Alternativen zu den «fossilen» Brennstoffen bieten sich aber heute nicht an: genau besehen und auf längere Sicht eigentlich nur die Sonne als Energiequelle und – neben Strom – Wasserstoff als Energieträger.

Vor diesen Tatsachen kann niemand mehr die Augen verschliessen und den Wasserstoff ignorieren. Vielmehr hat seit diesen «Wendejahren» die Stimmung in Wirtschaft und Politik oft sogar ins Gegenteil umgeschlagen: Man sieht im Energie-Wasserstoff nun nicht nur eine Chance für die Umwelt, sondern auch einen Wirtschaftsmotor, der auf Jahrzehnte hinaus neue Arbeitsplätze schaffen könnte. Auch was anfangs als unüberwindliches Hindernis angesehen oder gar vorgeschoben wurde, nämlich die heutigen hohen Kosten von solar gewonnenem Wasserstoff, wird nun an den meisten Orten durch eine ganz andere, aber wohl die richtige Brille gesehen: Jede neue Energiequelle oder -technik ist am Anfang «unwirtschaftlich», doch darf man deshalb nicht den Kopf in den Sand stecken und warten, bis das Neue «von selbst» wirtschaftlich wird.

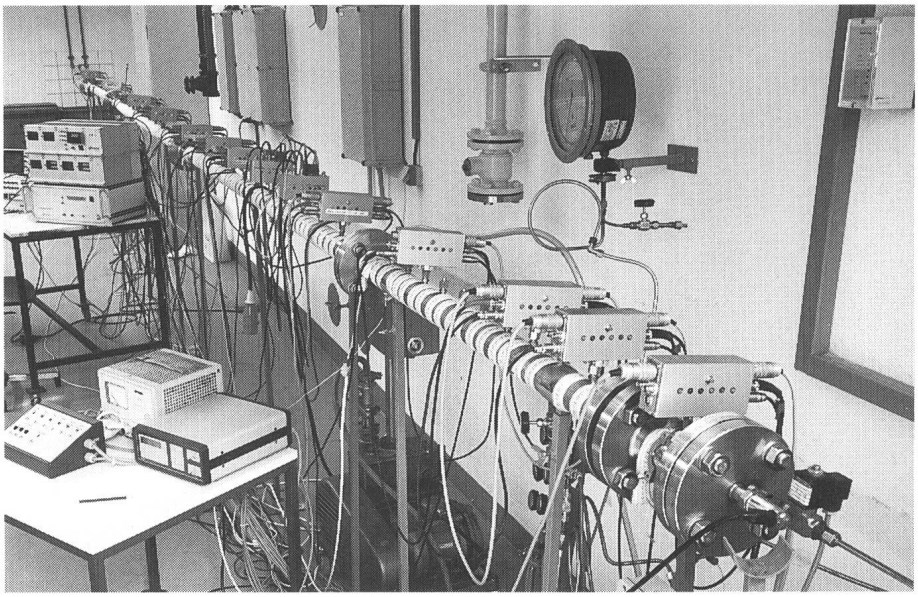

Bild 2 Die Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR), die sich in Stuttgart mit der Entwicklung von Wasserstofftechniken befasst, behandelt dabei die Sicherheitsforschung mit Vorrang. Mit dieser Messapparatur wird der Ablauf von Verbrennungsvorgängen mit Wasserstoff untersucht, insbesondere das Umschlagen einer Deflagration in eine Detonation Foto DFVLR

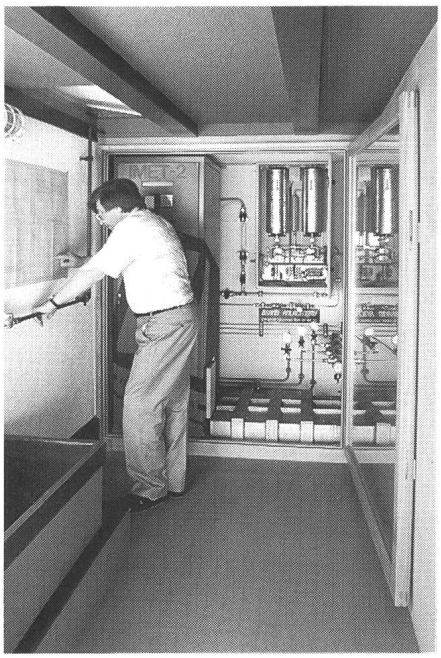

Bild 3 Der Schweizer Architekt Markus Friedli erzeugt seit Frühjahr 1990 mit Strom aus Solarzellen auf dem Hausdach Wasserstoff: Links – von Friedli teils verdeckt – die Elektrolyse-Einheit zur Wasserstoff-Gewinnung, rechts Ventile und Leitungen zur Verteilung des Wasserstoffs auf Kochherd und Waschmaschine. Alle Leitungsteile sind sorgfältigst verschraubt oder verschweisst, um Lecks zu vermeiden Foto Friedli

Bild 4 Frau Friedli vor dem wasserstoffbeheizten Kochherd. Sensoren verschiedener Empfindlichkeit melden allfällige Leckagen: Die erste Stufe spricht schon bei einem Prozent Wasserstoff in der Luft, also weit unter der «Knallgas-Konzentration» von 18%, an. Ihr Signal löst über Blinklichter und Glocke Alarm aus und verriegelt automatisch die Wasserstoff-Hauptleitung Foto Friedli

Steigende Aktivität

Als Ergebnis dieses Sinneswandels mehren sich in den Industrieländern die Studien, Versuchsanlagen und Projekte mit Zielrichtung Wasserstoff-Energiewirtschaft. Es ist nicht mehr vor allem oder allein die staatliche Forschung, die sich des Themas annimmt, auch die Industrie wird aktiv, und die Politik geht langsam, aber anscheinend sicher von schönen Worten zu fördernden Taten über. Dabei hat Deutschland international wohl eine führende Rolle übernommen. Auch die Schweiz mischt mit, wogegen Österreich noch «Zurückhaltung übt». Im folgenden eine Auswahl von Beispielen der neuen Wasserstoff-Aktivitäten, die sich laufend ergänzen liesse:

1989 nimmt die französische Elektrizitätswirtschaft in Waziers bei Paris eine Elektrolyse-Anlage in Betrieb, die mit 20 MW Leistungsaufnahme und 3600 m^3 Wasserstoffproduktion pro Stunde die vorläufig grösste der Welt mit fortschrittlichen Elektrolyseverfahren ist.

Ebenfalls 1989 liefert das 340-kW-Solarzellenkraftwerk Kobern-Gondorf an der Mosel den ersten Strom, erbaut

von RWE, dem grössten Elektrizitäts-Versorgungsunternehmen Deutschlands. Man will hier und an weiteren Anlagen dieser Grösse Erfahrungen in der Erzeugung von Solarstrom zum Beispiel für die Wasserstoffgewinnung sammeln.

Ein Konsortium von deutschen Elektrizitäts-Versorgungsunternehmen und Forschungsinstituten nimmt 1989 die Planung an die Hand, Wasserstoff/Sauerstoff-Dampferzeuger ab 1992 in Dampfkraftwerken als Momentanreserve einzusetzen.

Im bayerischen Neunburg vorm Wald geht 1990 die bis dato weltgrösste Anlage in Betrieb, in der alle Schritte der solaren Wasserstofferzeugung und -anwendung erprobt werden. Initiant ist die Bayernwerke AG, der grösste Stromversorger Bayerns.

1990 beschliesst das schweizerische Elektrizitäts-Versorgungsunternehmen Atel den Bau einer Elektrolyse-Anlage mit 2,4 MW Leistungsaufnahme, um Erfahrung mit dem zukunftsträchtigen Energieträger Wasserstoff zu erwerben.

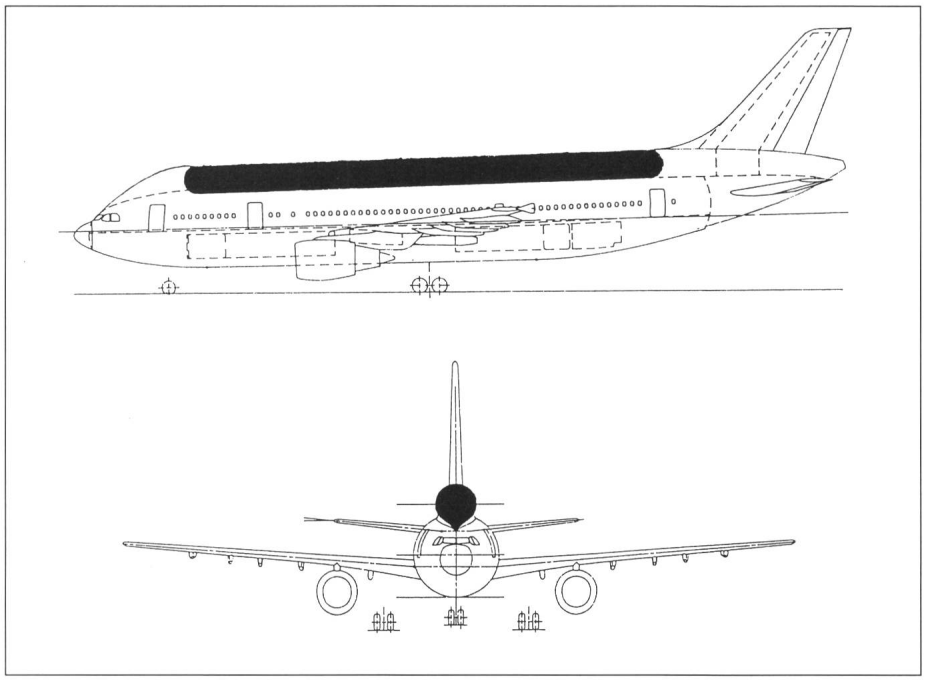

Bild 5 Seit im April 1988 in der UdSSR das erste voll mit Wasserstoff angetriebene Flugzeug der Welt, eine umgebaute Tupolew 154 mit 164 Sitzplätzen, startete, entwickeln auch westliche Hersteller rege Aktivität. Die deutsche Airbus GmbH zum Beispiel will bis 1997 einen Airbus 300 auf Flüssigwasserstoff mit Tanks im Frachtraum unter der Passagierkabine umbauen. Bei späteren, speziell für Wasserstoffantrieb konstruierten Maschinen, könnten die Tanks auch über der Kabine liegen, wodurch der Rumpf insgesamt höher würde Grafik Airbus GmbH

Wasserstoff nun offiziell «zukunftsträchtig»

Im Juli 1990 gründet das Landesgewerbeamt von Baden-Württemberg einen Arbeitskreis «Markterschliessung Solare Energien und Wasserstofftechnik», der noch im selben Jahr auf rund 60 Industriefirmen und Forschungsinstitute aus dem Bundesland anwächst. Ein Nahziel ist der Einsatz von Elektrolyseuren als Regeleinheiten im deutschen und europäischen Verbundnetz: Kurzzeitige Strom-Überproduktion wird nicht durch kostspieliges Herunterfahren von Kraftwerken beseitigt, sondern dient der Gewinnung von Wasserstoff – der seinerseits Nahverkehrsmitteln zu emissionsarmem Betrieb verhilft. Allein in Deutschland könnten damit alljährlich mehr als eine Milliarde Liter Benzin ersetzt werden. Nahziel Nummer zwei des Arbeitskreises ist die Anwendung des Wasserstoff/Sauerstoff-Dampferzeugers zur Dampfproduktion in der Industrie.

Ende 1990 legt eine Expertengruppe ihre Studie «Bedingungen und Folgen von Aufbaustrategien für eine solare Wasserstoff-Wirtschaft» ihrem Auftraggeber vor, der Enquete-Kommission «Technikfolgen-Abschätzung und -Bewertung» des deutschen Bundestags. Zusammengefasst, kommen die Energiefachleute zu Schlüssen, welche doch geeignet sind, die früheren offiziellen – und die Möglichkeiten von Sonnenenergie und Energie-Wasserstoff gering einschätzenden – Stellungnahmen zu korrigieren. Nunmehr heisst es, erneuerbare Energie – also Sonnenenergie, Erdwärme, Wind- und Wasserkraft – könnten im Jahre 2005 mehr als 10, im Jahre 2025 über 25 und im Jahre 2050 mehr als 50% des Energiebedarfs in Deutschland abdecken. Voraussetzung zur Erreichung dieser Werte sei einzig der politische Wille, den Anteil von Erdöl, Erdgas, Kohle oder Kernenergie drastisch zu vermindern oder gar auf null zurückzufahren. Freilich werde Energie damit teurer, doch träfe das auch für andere denkbare Energieversorgungssysteme zu, welche die selben Bedingungen von Umweltverträglichkeit und vielseitiger Verwendbarkeit erfüllen.

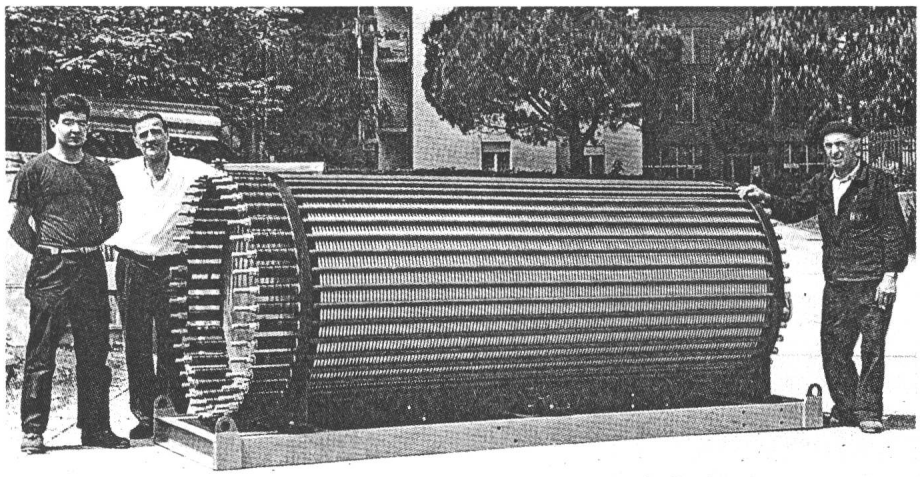

Bild 6 Die Firma Metkon im schweizerischen Tessin hat einen Elektrolyseur zur Gewinnung von Wasserstoff aus Wasser konstruiert, der speziell für die mit dem Sonnenlicht-Einfall wechselnde Leistungsabgabe von Solarzellen ausgelegt ist. Im Bild ein 3 Tonnen schweres Aggregat für 75 m³ Wasserstoffgas je Stunde, als es im Herbst 1990 zur Solar-Wasserstoff-Versuchsanlage Hysolar, einem deutsch-arabischen Gemeinschaftsprojekt, nach Saudi-Arabien verschifft wurde Foto Archiv Weber

Das Bayrische Wasserstoff-Experiment: Deutscher Grossversuch zu solarer Wasserstoffgewinnung und -anwendung

«Mit unserem Wasserstoffkraftwerk in der Oberpfalz wollen wir die solare Wasserstofftechnik als umweltverträgliche Energie-Option vorantreiben», begründet die Bayernwerk AG als Initiant ihr 64-Millionen-DM-Experiment in Neunburg vorm Wald in der Oberpfalz. Seit 1990 wird dort mit Strom aus Solarzellen Wasserstoff aus Wasser gewonnen und als Energieträger für unterschiedliche Anwendungen erprobt. Ab 1992 stehen in einer zweiten, rund 80 Mio. DM kostenden Phase die Erweiterung der Solarzellenanlage und die Erprobung neuer Techniken auf dem Programm.
Es war der Industrielle Ludwig Bölkow, ein Wahl-Bayer, der die Idee der solaren Wasserstoffgewinnung Mitte der 80er Jahre in die Öffentlichkeit trug. Und 1986 entschloss sich – nach 1985 begonnenen Vorarbeiten – die Bayernwerk AG in München, das grösste Energieversorgungsunternehmen des Freistaats, eine Versuchsanlage zu bauen. Man gründete die Solar-Wasserstoff-Bayern-GmbH (SWB), an der sich später auch die Industrieunternehmen BMW, Linde, MBB und Siemens mit je zehn Prozent beteiligten.

1988 Spatenstich – 1990 Inbetriebnahme

Noch im Herbst 1986 war der Standort für die Anlage gefunden, ein leicht nach Süden geneigter Hang bei dem Städtchen Neunburg vorm Wald in der Oberpfalz, am Rande des Bayerischen Waldes. Hier herrscht mit durchschnittlich 1700 Stunden im Jahr viel Sonnenschein für mitteleuropäische Verhältnisse, auch gibt es wenig Nebel und kaum Hagelgewitter. Wichtig ist auch die geringe Entfernung von 20 km zum Kohlekraftwerk Schwandorf des Bayernwerks, weil sie es erlaubt, dessen Personal, Werkstätten und Laboreinrichtungen für Betrieb und Unterhalt des «Wasserstoffkraftwerks» heranzuziehen. Das Gelände umfasst 50 000 m², die Möglichkeit zu späteren Erweiterungen ist gegeben.
Im Mai 1988 erfolgte der Spatenstich, und 1990 konnten die Hauptteile der Anlage – solare Stromerzeugung, Wasserstoffgewinnung, Gaslager und verschiedene Wasserstoffanwendungen – nacheinander in Betrieb genommen werden. Zum erstenmal auf der Welt sind hier alle Schritte der solaren Wasserstoffgewinnung und -anwendung an einem Ort vereint. Investition und Kosten für die Ende 1991 beendete erste Betriebsphase summierten sich auf 64 Mio. Mark, wovon die Bundesregierung und der Freistaat Bayern je 15 Millionen trugen.

Breites Technik-Spektrum

Optisch wird das Gelände von den 76 «blauen» Tafeln beherrscht, die nach Süden blicken und insgesamt 3000 m² Solarzellen – teils monokristalline, teils polykristalline – tragen (was eine der grössten derartigen Anlagen in Deutschland bedeutet). Um 50 Grad zur Lotrechten geneigt, leisten die Zellen bei voller Sommersonne rund 280 Kilowatt und liefern pro Jahr zirka 300 000 Kilowattstunden in Form von Gleichstrom. Der Grossteil davon geht direkt zur Elektrolyse, was dort jedoch überschüssig ist, wird in Drehstrom umgewandelt und ins öffentliche 20-kV-Stromnetz eingespeist.
Kern der Anlage ist die Elektrolysestation. Zwei Elekrolyseure «fortschrittlicher Technologie» mit zusammen 211 kW Leistungsaufnahme spalten mit dem Gleichstrom aus den Solarzellen Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff. Jährlich werden rund 47 000 m³ Wasserstoff gewonnen, die im Energieinhalt etwa 16 000 Litern Heizöl entsprechen oder dem Energie-Jahresbedarf von sechs Durchschnitts-Haushalten. Zur Speicherung wird der Wasserstoff in zwei Druckbehälter gepumpt, die zusammen 5000 m³ fassen. Ein Fünftel der produzierten Menge an Sauerstoff speichert man ebenfalls, um ihn – neben Luft – bei den verschiedenen Verbrennungstechniken als Oxidationsmittel zu verwenden.
Diese Verbrennungs- und Anwendungstechniken umfassen ein breites Spektrum. Brennstoffzellen erzeugen elektrischen Strom. Zwei Heizkessel liefern 40 kW Wärmeleistung, wobei Wasserstoff mit Erdgas gemischt wird, um die «Streckung» von Erdgas mit Wasserstoff in einer künftig denkbaren Wasserstoffwirtschaft zu proben. Und schliesslich gibt es noch eine Tankstelle für –253°C kalten Flüssig-Wasserstoff, um Erfahrungen mit Betanken und Betrieb von Wasserstoff-Autos zu sammeln.

Fernziel Kostensenkung

Die SWB hat errechnet, dass die Kilowattstunde Solarstrom aus dem Solarzellenfeld auf etwa zwei DM zu stehen kommt. In sonnigeren Gegenden lässt sich der Kilowattstunden-Preis jedoch auf die Hälfte und weniger senken. Und bei einer Mark je Kilowattstunde würde ein Kubikmeter Wasserstoff fünf Mark kosten, vergleichbar einem Heizölpreis von 15 Mark je Liter, weil ja ein Liter Heizöl so viel Energie enthält wie drei Kubikmeter Wasserstoff.
Ist das 30fache des Heizölpreises im Jahre 1990 nicht allzuweit von einem Niveau entfernt, das zumindest in fernerer Zukunft preisliche Konkurrenzfähigkeit verspricht, wenn bei denkbarer Grossserienherstellung von Zellen und Zubehör die Kosten wesentlich gesenkt werden könnten? Klaus Forster, früherer Geschäftsführer der SWB meint, eben weil die Kostensituation so ungünstig sei, müsse man heute damit beginnen, Energiekonzepte und Komponenten zu erproben und zu optimieren, um eben die Kosten senken zu können. «Dabei ist der solare Wasserstoff ein Pfad, der Erfolg versprechen könnte. Viele Probleme tauchen hier schon im Ansatz auf, nicht nur die Kosten. Auch die Technik ist vielfach nicht verfügbar. Die Industrie nimmt sich dieser Themen noch kaum an, weil kein Markt dafür vorhanden ist. Wir konnten für das Neunburger Projekt gerade zwei fortschrittliche Elekrolyseure bestellen, einer davon wurde dafür zum erstenmal gebaut, der andere ist vorher schon einmal gefertigt, aber nicht im Rhythmus des solaren Angebots betrieben worden – seine Weiterentwicklung wurde jedoch eingestellt. Bei den Brennstoffzellen konnten wir eine Zelle aus Japan einsetzen sowie eine von Siemens, das derzeit einzige auf dem europäischen Markt verfügbare Komplettaggregat. Die katalytische Heizung gibt es überhaupt noch nicht, wir haben hierzu eine Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut in Freiburg vereinbart.»
«Schon dieser knappe Überblick macht deutlich», fährt Forster fort, «warum es so wichtig ist, frühzeitig anzufangen: Weil die Komponenten vielfach erst entwickelt werden müssen oder noch am Anfang der Entwicklung stehen und entsprechend teuer sind. Es ist eines unserer Hauptziele, Anstösse und Anreize zu geben, um die Entwicklung voranzutreiben, damit die Technik in einigen Jahrzehnten wirklich verfügbar ist.» Das andere Hauptziel, das Forster anspricht, ist das Sammeln von Erfahrungen für Planung, Bau und Betrieb solcher Anlagen, falls sie später einmal im industriellen Massstab nötig werden sollten.

Ausbau ab 1992

Dafür, dass es sich in Neunburg nicht um eine Alibiübung handelt oder eine Public Relations-Schau, spricht neben dem Engagement der Betreiber in der ersten Phase auch der Ende 1990 gefasste Beschluss der SWB-Gesellschafter, eine zweite, 1992 beginnende und fünf Jahre währende Betriebsphase mit rund 80 Millionen Mark zu finanzieren, öffentliche Förderbeiträge vorausgesetzt: Das Solarzellenfeld wird auf die doppelte Grösse erweitert, wobei auch Dünnschichtzellen aus amorphem Silizium zum Einsatz kommen; neue Techniken werden erprobt, beispielsweise Druck-Elektrolyseure, die Wasserstoff unter so hohem Druck liefern, dass man die energieaufwendige Verdichtung zum Einspeisen in die Lagertanks sparen kann.
Übrigens steht seit 1989 auf dem Neunburger Gelände auch ein der Öffentlichkeit zugängliches Informationszentrum. Es hat sich von Anfang an regen Besuchs erfreut. Geöffnet ist es ganzjährig von Dienstag bis einschliesslich Freitag zwischen 10 und 12 sowie 13 und 16 Uhr, und von April bis einschliesslich Oktober auch sonn- und feiertags von 14 bis 17 Uhr. Darüberhinaus können Besuchergruppen unter der Telefonnummer (0 96 72) 18 82 Termine vereinbaren.

Massnahmen zur Förderung alternativer Energien

Aus technischer Sicht, so die Expertengruppe, sei eine Energiewirtschaft sowohl auf der Basis von Sonnenenergie wie von Wasserstoff machbar. Allerdings benötige ihr Aufbau Zeit. Und wenn man den Kohlendioxid-Ausstoss rasch verringern wolle, seien drei weitere Massnahmen unumgänglich: Erstens die Anhebung der gegenwärtigen Energiepreise, um die Folgekosten der Verbrennung von Erdöl, Erdgas und Kohle gebührend zu berücksichtigen bzw. zu «internalisieren». Zweitens gezielte und verstärkte Förderung der Markteinführung von Sonnenenergie wie Wasserstoff, und im Gegenzug Abbau der Subventionen fossiler Energieträger. Drittens Beseitigung von

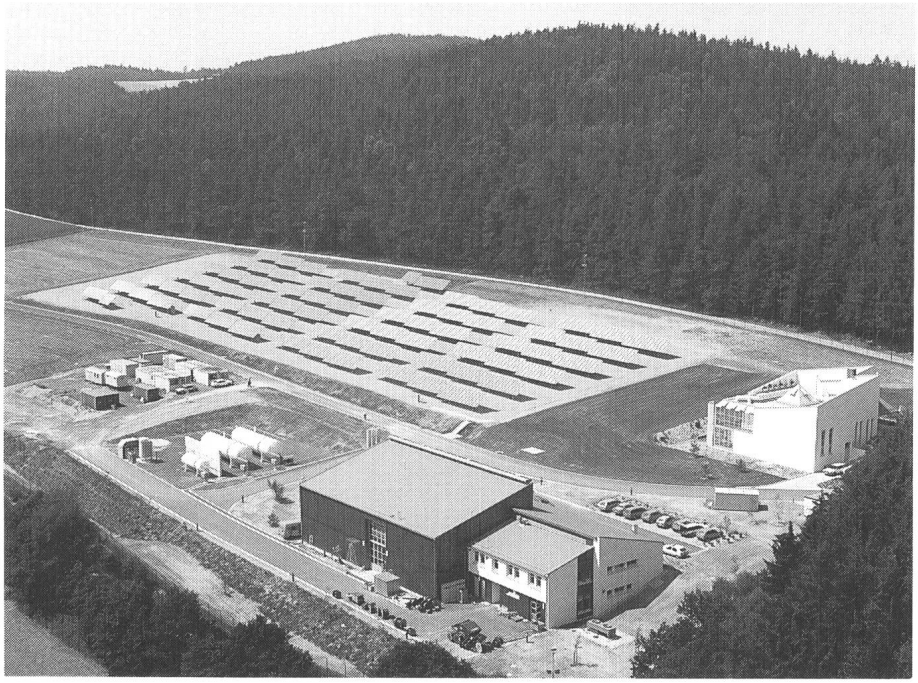

Bild 7 Die Bauten in Neunburg der Phase 1: Links oben die nach Süden orientierten 76 Solarzellen-Tafeln, davor in Weiss die beiden grossen Wasserstoff-Druckbehälter und der – kleinere – Sauerstofftank, rechts vorne das Betriebsgebäude für Elektrolyseure und Anwendungstechniken, rechts oben das Informationszentrum und Büros Foto Siemens AG

Hemmnissen in Politik und Energiewirtschaft, welche die Markteinführung erneuerbarer Energie behindern.

Abschliessend zollen die Gutachter Regierung und Öffentlichkeit noch ein Lob, an das sie eine Empfehlung anschliessen. Bisher habe sich Deutschland im internationalen Vergleich bei Erforschung und Entwicklung solarer Energietechniken sehr stark engagiert. Desgleichen sei hier das Problembewusstsein in bezug auf die drohenden Gefahren für das Klima hoch entwikkelt. Diese beiden Umstände sollten nun aber dazu genützt werden, in Westwie in Osteuropa und auch in den Entwicklungsländern eine politische Vorreiterrolle für Markteinführung und Ausbau einer solaren Energieversorgung zu übernehmen.

Demonstrationsanlagen fördern

Das Lob der Experten ist insofern wohl nicht unverdient, als Deutschland hinsichtlich der Forschungsförderung auf dem Solargebiet international sehr gut dasteht. Prof. Carl-Jochen Winter, Mitglied des Vorstandes der Deutschen Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Stuttgart und Wasserstoff-Befürworter der ersten Stunde, meint jedoch, dass man mit guten Ergebnissen von Forschung und Entwicklung erst 10–15% der Einführungsphase einer neuen Technologie bewältigt habe. Daran müsse die Demonstration anschliessen, weil sie drei Ergebnisse liefere, welche Forschung und Entwicklung nicht erbringen können, nämlich Langzeiterfahrung aus der Praxis, Wartungs- und Betriebskosten und schliesslich auch die wirklichen Investitionskosten: «Bevor eine Anlage nicht mit allen Kalkulationen und den Rechnungen gekauft wurde, weiss über die Kosten niemand so richtig Bescheid».

Eine Reihe von Solar- und Wasserstoff-Technologien sei nun in Forschung und Entwicklung so weit gediehen, dass sie in die Demonstrationsphase kommen müsse, beispielsweise Solar-Wärmekraftwerke, mit Solarzellen direkt gekoppelte grosse Elektrolyseure sowie Brennstoffzellen. Auf den Einwand, das alles koste sehr viel Geld, etwa eine Milliarde Mark im Jahr, antwortet Prof. Winter: «Bei der Kernenergie hat der Staat grosse Demonstrationsanlagen mit viel grösseren Beträgen unterstützt, das muss er jetzt eben auch für Solarkraftwerke und Wasserstoffanlagen tun!» Neunburg vorm Wald oder das deutsch-arabische Gemeinschaftsprojekt Hysolar seien gewiss Schritte in die richtige Richtung, aber noch viel zu kleine und zu wenige.

Internationale Koordination nötig

Winter lenkt die Aufmerksamkeit noch auf einen Umstand, der im Hinblick auf die Kostenentwicklung höchst

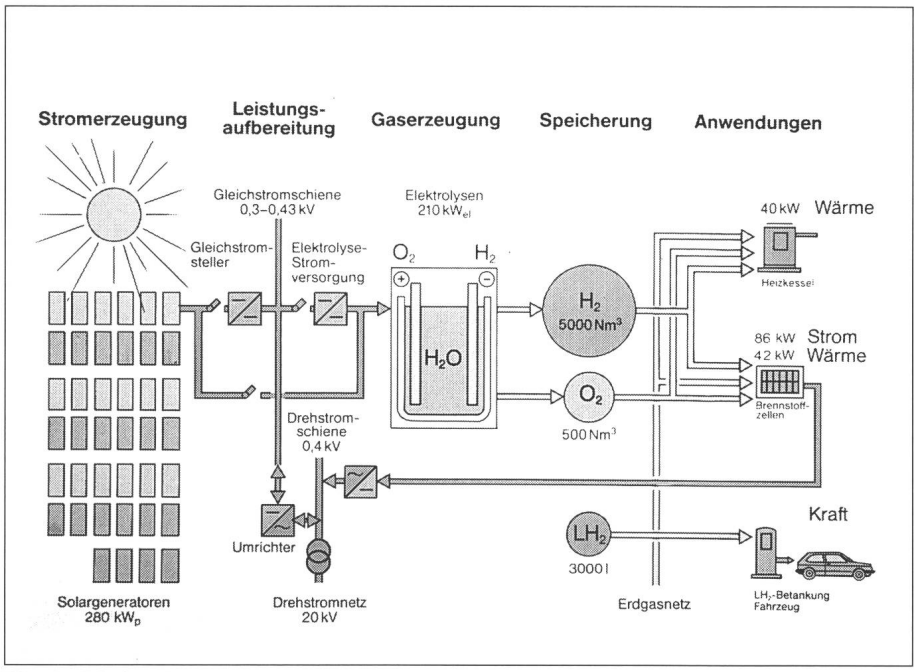

Bild 8 Die Schritte von Wasserstoffgewinnung und -anwendung, die in Neunburg erprobt werden: Die Solarzellen liefern Gleichstrom für die Wasser-Elektrolyse (der Stromüberschuss wird als Drehstrom ins Netz gespeist); Wasserstoff und ein Teil des Sauerstoffs werden gespeichert und dann in Heizkesseln und Brennstoffzellen in Wärme- und Elektroenergie umgesetzt. Flüssigwasserstoff zum Versuchsbetrieb von Wasserstoffautos kommt von auswärts Grafik SWB

nachdenkenswert erscheint. Allein die deutsche Automobilindustrie stellt jährlich vier Millionen Autos her, im Sinne der Energietechnik eigentlich dezentrale Energiewandler. Sie leisten durchschnittlich etwa 50 Kilowatt, und der Preis je Kilowatt – Fahrzeugpreis geteilt durch die Leistung – liegt zwischen 200 und 400 Mark (im übrigen summiert sich die Gesamtleistung aller Autos einer Jahresproduktion auf 200 000 Megawatt – das Doppelte aller deutschen Kraftwerke!). Winter zieht daraus den Schluss, es müsse möglich sein, in Grossserie auch dezentrale Solar- oder Wasserstoff-Energiewandler zu ähnlichen Kilowattpreisen herzustellen, zum Beispiel Wärmepumpen, Sonnenkollektoren oder Windkraftanlagen – und «damit liesse sich viel abdecken».

«Die Umstellung des Energiesystems auf saubere Energiequellen und Wasserstoff ist jedoch nicht Aufgabe eines Landes allein. Auch nicht eines Kontinents, sondern aller Teile der Welt. Denn Energiebedarf, Umweltbeeinträchtigung durch die Nutzung fossiler Energieträger, aber auch Sonnenenergie und solarer Wasserstoff sind immer und überall.» «Daher», so folgert Winter weiter, «sei ein internationaler Aktionsplan, eine ‹Sonnenenergie- und Wasserstoff-Diplomatie› vonnöten mit dem Ziel, die energetischen und ökologischen Tatbestände zu erkennen und daraus politisch-konsequente Verabredungen abzuleiten.»

Das Fazit: Umweltschutz ist gut, doch umweltgerechte Energie-Wirtschaft ist besser. Sonnenenergie, solarer Wasserstoff und rationelle Energieverwendung sind Wegmarken zu einer umweltgerechten Energiewirtschaft. Um diese Wegmarken zu erreichen, bleibt noch allerhand zu tun. Doch immerhin ist in den letzten Jahren schon etwas in Bewegung gekommen ...

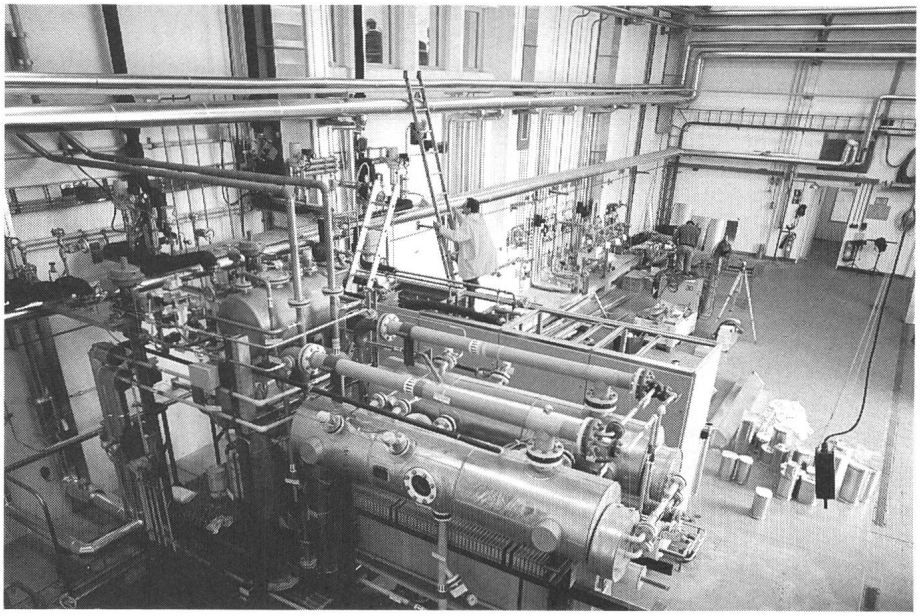

Bild 9 Einer der beiden Elektrolyseure in Neunburg nach fortschrittlicher Technologie beim Aufbau im Betriebsgebäude. Er arbeitet drucklos und mit einem Feststoff-Elektrolyt. Bei 111 kW Leistungsaufnahme liefert er stündlich rund 22 m³ Wasserstoffgas Foto SWB

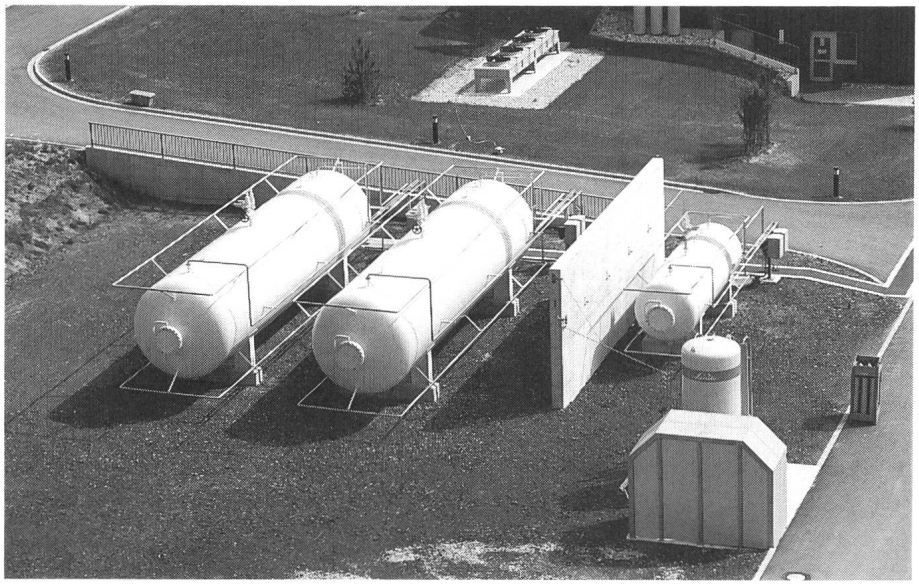

Bild 10 Das Gaslager in Neunburg: Links die beiden Tanks, in denen je 2500 (bei Atmosphärendruck gemessene) m³ Wasserstoffgas unter 30 bar Druck auf 80 m³ zusammengepresst werden. Rechts der kleine Tank für 500 m³ komprimierten Sauerstoff Foto SWB