

# Wasserstoff – ein sauberer Energieträger

Michael Bracha, Höllriegelskreuth

Mit den zunehmenden Umweltbelastungen durch fossile Brennstoffe gelangt der Einsatz des sauberen Energieträgers Wasserstoff verstärkt in die öffentliche Diskussion. Auch im industriegeschichtlichen Zeitrahmen gewinnt Wasserstoff gegenüber Kohlenstoff zunehmend an Bedeutung. Waren zu Beginn der Industrialisierung Holz und Kohle die dominierenden Energielieferanten, so zeichnet sich heute in vielen Bereichen des Energiesektors eine Verlagerung vom Erdöl zum Erdgas ab. Alle fossilen Energieträger bestehen aber im wesentlichen aus Kohlenstoff und Wasserstoff, wobei der gewichtsbezogene Wasserstoffgehalt beim Erdgas ( $\text{CH}_4$ ) mit 25% etwa 4,5 mal so groß ist wie bei der Steinkohle.

## H<sub>2</sub>-Gewinnung und Reinigung

Wasserstoff kann prinzipiell durch elektrolytische Spaltung aus Wasser oder durch chemische Umwandlungsprozesse aus fossilen Energieträgern gewonnen werden. Derzeit dominieren die auf den fossilen Energieträgern — wie z.B. Erdgas — basierenden Produktionsverfahren mit einem weltweiten Anteil von ca. 95% an der H<sub>2</sub>-Gesamtproduktion.

So stammt etwa 77% des weltweit erzeugten Wasserstoffs aus petrochemischen Grundstoffen, 18% aus Kohle, 4% aus Elektrolyse und 1% aus anderen Quellen. Daneben gibt es eine Reihe weiterer Produktionsverfahren, die heute aus Kostengründen und wegen der sehr geringen Ausbeute noch keine industrielle Bedeutung haben. Da diese Verfahren jedoch ökologische Vorteile aufweisen, werden sie an einer Vielzahl von Forschungsinstituten untersucht. Große Hoffnungen werden dabei auf die photobiologischen Verfahren gesetzt, bei denen Mikroorganismen unter dem Einfluß von Sonnenlicht Wasserstoff produzieren.

Eines der gegenwärtig wirtschaftlichsten Verfahren zur Wasserstoffherzeugung ist der sog. Steam-Reforming-Prozeß (Dampfreformierung). Der Steamreformer liefert durch katalytische Spaltung von Erdgas, Naphtha oder Raffineriegas in Gegenwart von Wasserdampf ein Gemisch aus

Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Kohlendioxid. Der katalytischen Spaltung ist eine Konvertierungsstufe nachgeschaltet, die Kohlenmonoxid in Kohlendioxid umsetzt und dabei zusätzlich H<sub>2</sub> aus dem Wasserdampf gewinnt. In einer nachgeschalteten Reinigungsstufe werden die Verunreinigungen vom Wasserstoff abgetrennt und dieser mit einer Endreinheit von typischerweise 5,0 (entspricht einem Anteil von 10 ppm an Restverunreinigungen) bereitgestellt.

Ein weiterer, großtechnisch ausgereifter Prozeß zur H<sub>2</sub>-Erzeugung ist die partielle Oxidation (POX), die im Gegensatz zum Steam-Reforming den Einsatz von Sauerstoff erfordert. POX-Verfahren (Shell, Texaco) werden vorzugsweise im Raffineriebereich zur Entsorgung der schweren Rückstände eingesetzt, wobei der Wasserstoff meist für den eigenen Bedarf erzeugt wird.

Eine interessante Variante der Wasserstoffherzeugung stellt auch die Kombination

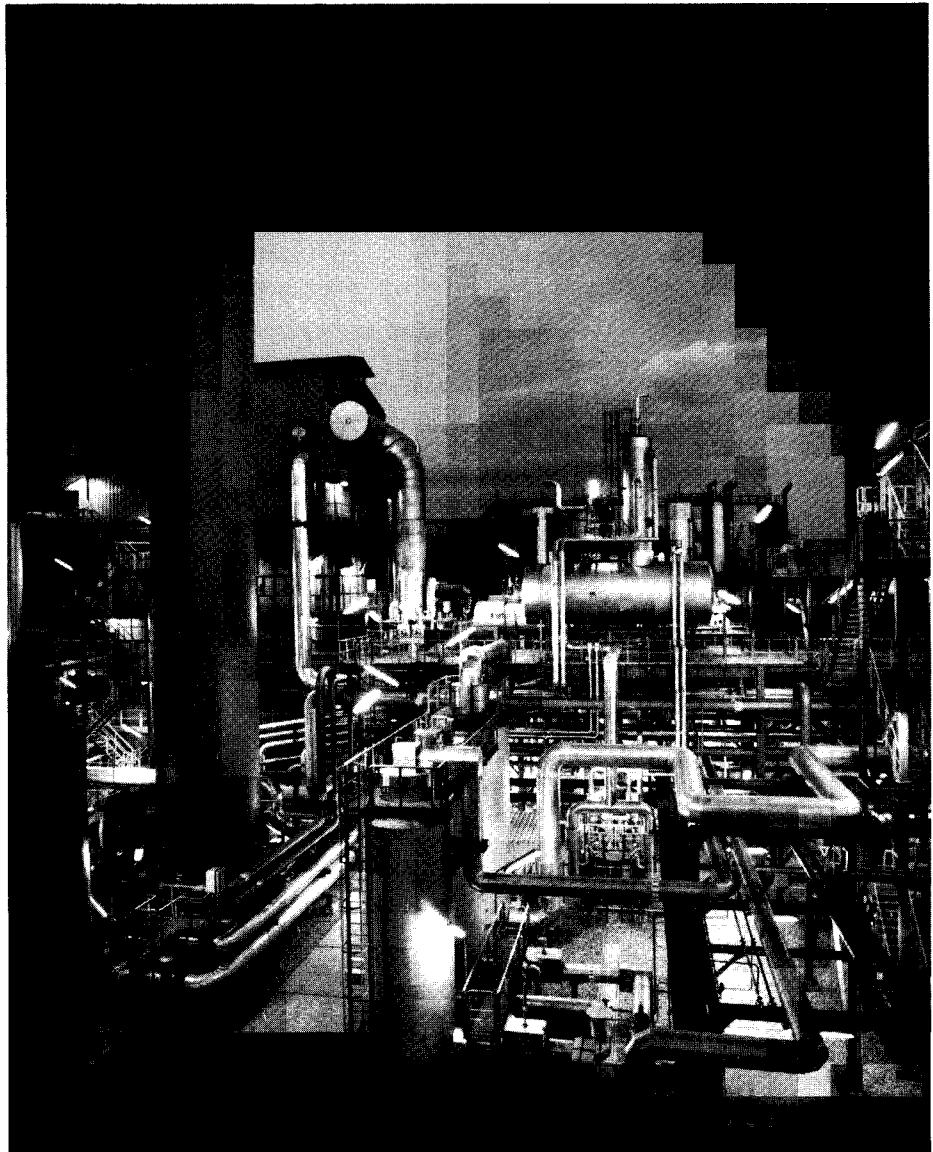


Bild 1 — Linde-Steamreforming-Anlage in Leuna

der Solartechnik mit der konventionellen Dampfreformierung dar. Bei der solaren Dampfreformierung wird der Wasserstoff zwar nach wie vor aus fossilen Energieträgern gewonnen, die für den Prozeß erforderliche Wärme wird jedoch solarthermisch bereitgestellt. Dadurch wird die fossile Energie zur Unterfeuerung des Prozesses eingespart und somit eine höhere Ausbeute bezüglich der fossilen Einsatzstoffe erzielt. An der solaren Dampfreformierung wird in Spanien, Deutschland und Israel geforscht.

Bei der langfristig angestrebten Option einer „solaren“ Wasserstoffwirtschaft wird mittels Sonnenenergie elektrischer Strom erzeugt, der in Elektrolyseanlagen zur Wasserstoffherzeugung verwendet wird. Damit ergibt sich die Möglichkeit, die Sonnenenergie „speicherfähig“ zu machen und somit Energieerzeugung und Verbrauch zeitlich zu entkoppeln. Zu diesem Zweck wurde von den Firmen Daimler Benz Aerospace, Linde und HEW die „Gesellschaft für Hochleistungselektrolyseure“ (GHW) gegründet, die seit 1992 eine 100-kW-Anlage betreibt. Das Novum dieses Elektrolyseurs besteht darin, daß hier erstmals ein kontinuierlicher und stabiler Betrieb auch bei starken Schwankungen der verfügbaren elektrischen Energie möglich ist. Damit können einerseits regenerative Energieträger (z.B. Windenergie) besser zur Wasserstoffherzeugung eingesetzt werden, andererseits ist eine wirtschaftliche Wasserstoffproduktion aus konventionellen Kraftwerken möglich, indem Lasttäler ausgeglichen und die vorhandenen Kraftwerkskapazitäten besser genutzt werden.

Große Unterschiede gibt es bei den verfügbaren Anlagengrößen der verschiedenen Erzeugungsverfahren. Während bei POX und Dampfreformierungsprozessen einsträngige Kapazitäten von bis zu 140.000 Nm<sup>3</sup>/h H<sub>2</sub>-Produkt realisierbar sind, können Elektrolyseure nur bis etwa 500 Nm<sup>3</sup>/h gebaut werden.

Allen Wasserstoff-Erzeugungsverfahren müssen Reinigungsanlagen nachgeschaltet werden, wenn der Kunde ein Produkt hoher Reinheit fordert. Die Wahl des Verfahrens zur Gasreinigung richtet sich nach der Art und Quantität der im Wasserstoff enthaltenen Verunreinigungen. Eine der größten von Linde errichteten Wasserstoff-Reinigungsanlagen hat eine Kapazität von mehr als 110.000 m<sup>3</sup> pro Stunde und arbeitet nach dem Druckwechsel-Reinigungsverfahren (PSA). Sie wurde von Linde als einsträngige Anlage für einen

koreanischen Kunden errichtet und erzielt eine Wasserstoff-Endreinheit von 10 ppm. PSA Anlagen haben sich bei großtechnischen Anwendungen durchgesetzt, bei Anlagen kleinerer Kapazität kommen auch Kryo- oder Membranverfahren zum Einsatz.

## Verflüssigung

Eine besondere Stellung kommt im Rahmen einer Wasserstoffwirtschaft dem flüssigen Wasserstoff (LH<sub>2</sub>) zu. Flüssiger Wasserstoff hat, verglichen mit gasförmigem Wasserstoff (GH<sub>2</sub>), eine wesentlich höhere Dichte und ist somit für Speicherung und Transport besser geeignet. Dadurch können die Anzahl der Transportfahrten reduziert und die Kundeninstallationen zur Speicherung entsprechend verkleinert werden. Flüssiger Wasserstoff wird mit einer sehr hohen Produktreinheit von besser 70 produziert, die „Verunreinigungen“ liegen in der Regel unter der

Nachweisgrenze der Standardanalysegeräte [1]. Diese immer gewährleisteteste hohe Produktreinheit verglichen mit GH<sub>2</sub>-Lieferungen kann als Vorteil direkt an den Kunden weitergegeben werden.

1898 wurde Wasserstoff erstmals vom britischen Chemiker und Physiker James Dewar verflüssigt. Technische Bedeutung erlangte der flüssige Wasserstoff in den 60er Jahren im Raumfahrtbereich mit dem Beginn des „Apollo“-Projekts. Seit diesem Zeitpunkt werden Verflüssigungsanlagen im industriellen Maßstab gebaut. Die Technologie der Wasserstoffverflüssigung kann daher heute als ausgereift angesehen werden, wenngleich man natürlich bestrebt ist, die Anlagen unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ständig zu optimieren.

In Ingolstadt betreibt Linde den einzigen industriellen Wasserstoffverflüssiger Deutschlands. Mit einer Tageskapazität von 4,4 Tonnen werden von dieser Anlage alle Kunden in Deutschland und im

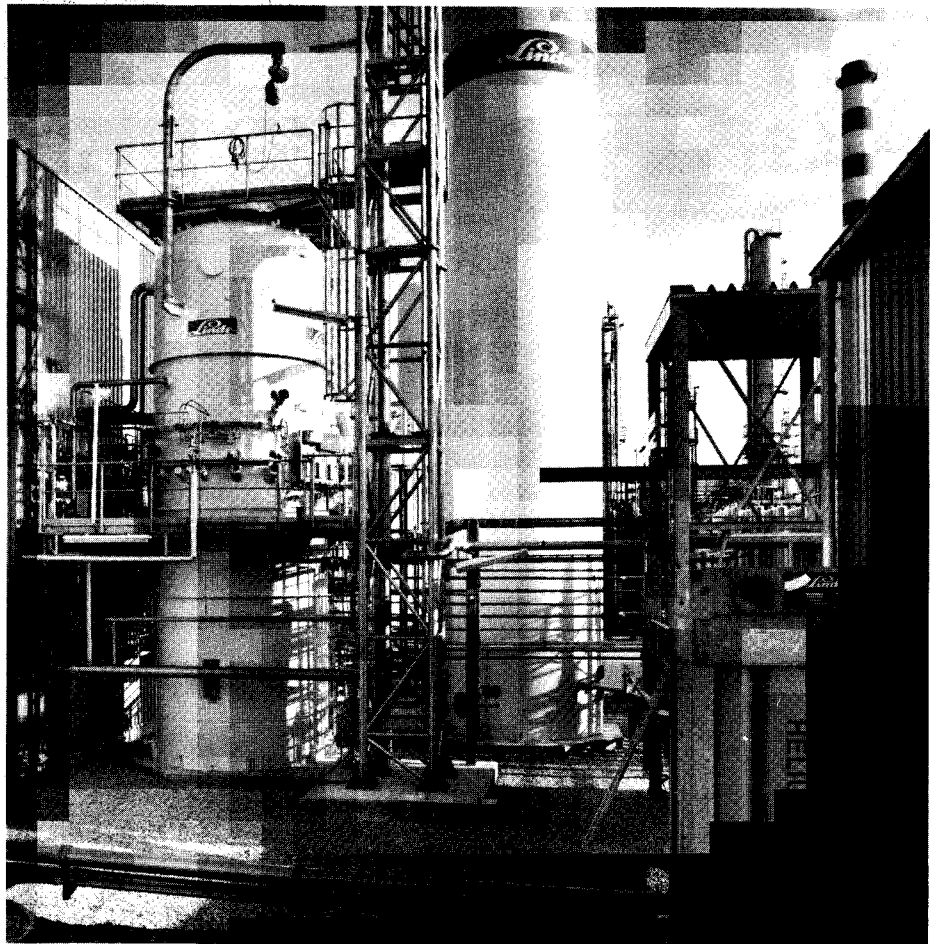
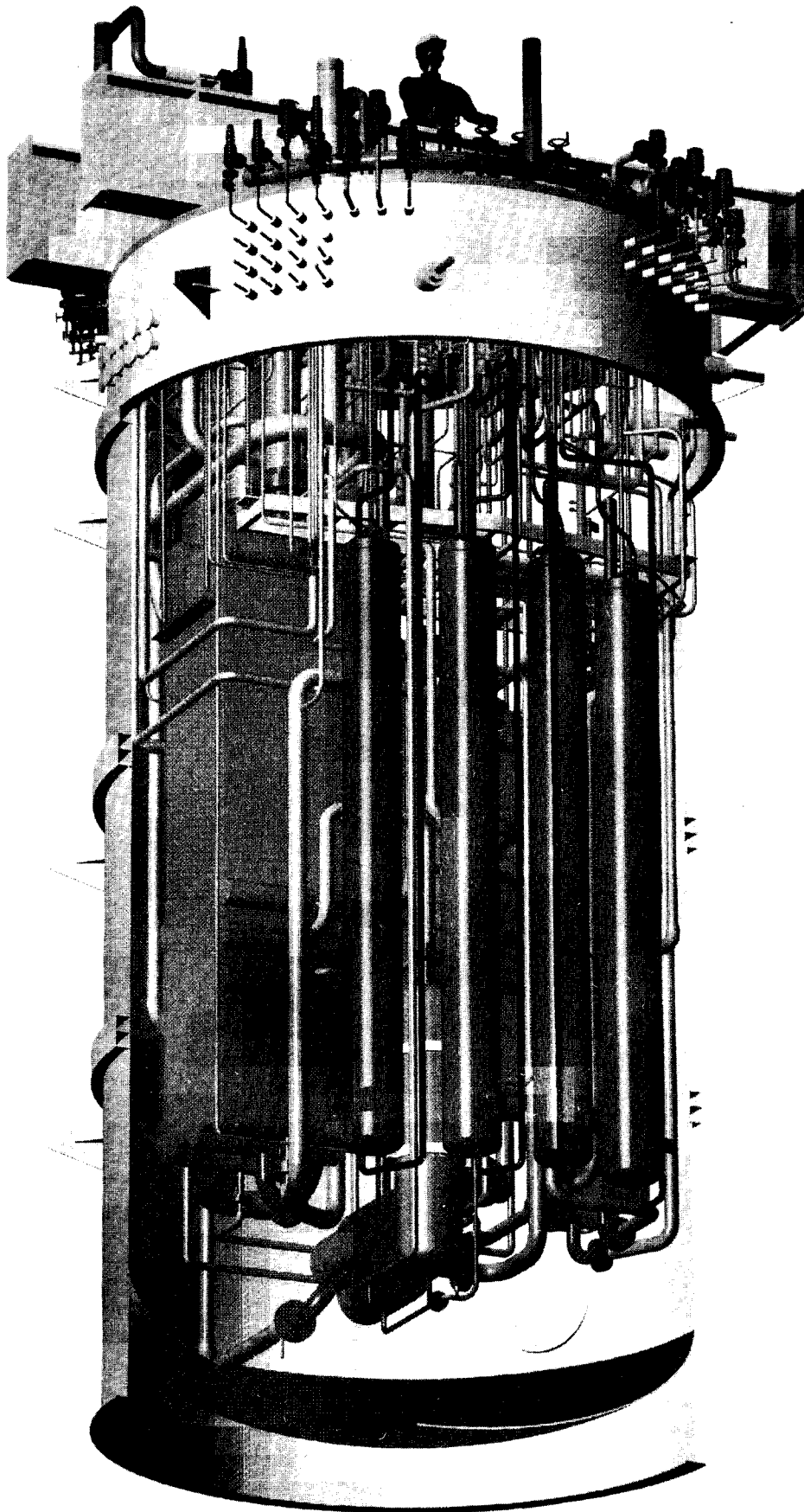


Bild 2 — Linde-Wasserstoff-Verflüssigungsanlage in Ingolstadt



benachbarten Ausland mit Flüssigwasserstoff versorgt. Auch international wird die Wasserstoffverflüssigung heute als etablierte und sichere Technologie angesehen. So hat allein Linde in den letzten Jahren Wasserstoffverflüssiger verschiedener Kapazitäten in Kanada, Indien, Japan und China errichtet. Innerhalb des Linde Konzerns werden die Anlagen von der in der Schweiz ansässigen „Linde Kryotechnik AG“ geliefert, die durch eigene Fertigung der Expansionsturbinen zudem über eine wichtige Schlüsselkomponente des Verfahrens verfügt.

In großtechnischem Maßstab wird die Verflüssigung des Wasserstoffs in drei Schritten realisiert. Zunächst wird der Wasserstoff mit flüssigem Stickstoff auf etwa  $-190^{\circ}\text{C}$  vorgekühlt. Die Kälte für die weitere Abkühlung liefern Wasserstoff-Expansionsturbinen. Diese Wasserstoff-Expansionsturbinen werden in einem geschlossenen Kreislauf betrieben. Durch Expansion in den Turbinen kühlt sich der Kreislaufwasserstoff ab und überträgt die Kälte in Wärmetauschern an den zu verflüssigenden Produkt-Wasserstoff. In der letzten Stufe fällt der Wasserstoff dann durch Entspannung in einem Drosselventil (Joule-Thomson-Ventil) bei etwa  $-253^{\circ}\text{C}$  und 1.2 bar flüssig an. Alle Prozeßkomponenten, deren Arbeitstemperatur unter Umgebungstemperatur liegt, werden in einer sogen. „Cold-Box“ untergebracht. Diese „Cold-Box“ wird aus Isolationsgründen evakuiert, so daß der Wärmeeintrag von der Umgebung auf den Prozeßstrom auf ein wirtschaftlich vertretbares Minimum reduziert wird [2].

Eine Steigerung der Speicherdichte um ca. 15 % gegenüber flüssigem Wasserstoff ist durch den Einsatz von Wasserstoff-Matsch (slush hydrogen) möglich, der ein Gemisch aus flüssigem und festen Wasserstoff darstellt und insbesondere als Treibstoff für die Luft- und Raumfahrtindustrie in Frage kommt.

Bild 3 — Linde-Wasserstoff-Verflüssiger (CAD-Ansicht)

Bild 4 — Größter Druckgasflaschen-Trailer der Welt in Composite-Leichtbautechnik

## Distribution und Speicherung

Wasserstoff wird in der Regel mittels Gas- oder Flüssig-Trailer vom Ort der Erzeugung zum Verbraucher transportiert. Zur Kostenoptimierung ist man jedoch bei Kunden, die einen relativ hohen Wasserstoffbedarf haben, in den letzten Jahren dazu übergegangen, direkt beim Kunden kleine Wasserstoff-Erzeugungsanlagen zur sogenannten „on-site“-Versorgung zu installieren. Falls in einem größeren Industriegebiet sogar mehrere Wasserstoffverbraucher vorhanden sind, kann über einen Rohrleitungsverbund Wasserstoff preisgünstig aus einer großen Produktionsanlage zur Verfügung gestellt werden.

Ein Wasserstoff-Verteilungsnetz im mitteldeutschen Chemiedreieck Leuna, Bitterfeld, Rodleben mit einer Gesamtlänge von derzeit mehr als 150 km wurde 1995 von Linde in Betrieb genommen. Das Leitungsnetz, das ständig erweitert wird, bezieht den Wasserstoff aus einer Steam-Reforming-Anlage in Leuna und einer Druckwechsel-Reinigungsanlage basierend auf Methanolsynthesegas und versorgt eine Vielzahl von Verbrauchern im Raum Leipzig – Halle – Bitterfeld sowie ab 1997 über eine Kapazitätserweiterung die neue MIDER-Raffinerie. Zur betrieblichen Steuerung und Leckageüberwachung des Leitungssystems wird für die einzelnen Meß- und Überwachungsstationen entlang der Wasserstoffleitung eine Datenfernübertragung per Funk eingesetzt. Im 6 min Takt werden die Meßdaten aller Stationen zeitgleich über das Datenfunksystem „MODACOM“ an einen Zentralrechner in Dortmund übermittelt und von dort über das DATEX P Netz der Telekom an die zentrale Leitstelle des Linde Steam-Reformers in Leuna weitergegeben.

Zur Versorgung von Kunden-Speichertanks mit gasförmigen Wasserstoff verfügt Linde über zwei  $\text{GH}_2$ -Trailer-Typen. Der Standard-Trailer mit konventionellen Stahlflaschen hat eine theoretische Transportkapazität von 300 kg  $\text{H}_2$ , der neuentwickelte und derzeit weltweit größte Trailer mit aramidfaserumwickelten Flaschen

Bild 5 — Flüssig-Wasserstoff-Container bei der Betankung am Standort Ingolstadt



kann 500 kg  $\text{H}_2$  transportieren. Die effektiven Transportkapazitäten sind niedriger, da durch Druckausgleich beim Bedrücken der Kundentanks die Trailer nicht vollständig entleert werden können und somit ein Teil des Wasserstoffs wieder ins Füllwerk zurücktransportiert werden muß.

Bei der Versorgung von Kunden mit flüssigem Wasserstoff stehen Linde  $\text{LH}_2$ -Trailer- und Container mit einem geometrischen Fassungsvermögen von 15.000, 41.000 und 53.000 Liter zur Verfügung. Die entsprechenden massebezogenen Kapazitäten liegen zwischen 700 und 3.500 kg.

Das derzeit vorhandene Spektrum an Flüssig-Wasserstoff-Tanks umfaßt Kapazitäten von 120 Liter (PKW-Tank) bis zu 3400 m<sup>3</sup> (NASA Speichertank, Kennedy Space Center). Entsprechend variieren die Verdampfungsraten, d.h. der Anteil des gespeicherten flüssigen Wasserstoffs, der durch den unvermeidbaren Wärmeeintrag von der Umgebung auf die Flüssigkeit verdampft. Die Bandbreite der spezifischen Verdampfungsraten reicht von etwa 0,03 (Großtank), bis 1,5–2 (PKW) Prozent pro Tag bezogen auf die Flüssigkeitsmenge des vollen Tanks.



## Industrielle Anwendungen

Auf der Verbrauchsseite wird Wasserstoff überwiegend als chemischer Rohstoff, als indirekter Energieträger und in Zukunft vermehrt als direkter Energieträger eingesetzt. Unter direktem Energieträger versteht man die Verwendung des Wasserstoffs als Heizgas bzw. Kraftstoff, unter indirektem Energieträger seinen Beitrag zur Kraftstoffveredelung in der Mineralölindustrie. Die Verwendung in der Chemie für die Ammoniak- und Methanol-Synthese hat mit weltweit etwa 50 % den größten Wasserstoffbedarf. Der Rest teilt sich zu etwa gleichen Teilen auf die Mineralölindustrie und direkte energetische Nutzung als Brenngas auf.

Alle anderen Verbraucher spielen heute mengenmäßig noch eine untergeordnete Rolle. Als wichtigste industrielle Anwender sind Metallurgie, Glasindustrie, Elektronik, Lebensmittelbranche und Forschung zu nennen. Mit einem starken Zuwachs des Wasserstoffbedarfs ist in den nächsten Jahren im Raffineriebereich zu rechnen, wo Wasserstoff in erster Linie zur Entschwefelung der Erdölprodukte sowie zur Hydrierung von Rückständen benötigt wird. Der weltweite Gesamtverbrauch an Wasserstoff wird derzeit auf etwa 500 Milliarden  $m^3$  pro Jahr geschätzt [3].

Die großen Wasserstoffverbraucher wie die chemische Industrie oder die Raffinerien produzieren den von ihnen benötigten Wasserstoff meist selbst. Teilweise fällt der Wasserstoff auch als Nebenprodukt diverser Prozessschritte in den eigenen Anlagen an. Daher wird nur ein vergleichsweise kleiner Teil des weltweiten Wasserstoff-Gesamtverbrauchs über die Gase-Industrie als Handelswasserstoff vermarktet. In Deutschland wurden 1995 etwa 690 Mio  $m^3$  Wasserstoff von der Gase-Industrie verkauft, wobei der Anteil des flüssigen Wasserstoffs weniger als 1 Prozent betrug. In den USA liegt der Marktanteil des flüssigen Wasserstoffs deutlich höher, da dort die Transportkosten aufgrund der größeren Entfernungen die Kosten für die Verflüssigung in vielen Fällen kompensieren.

## Zukünftige Anwendungen und Entwicklungen

Ein sprunghafter Anstieg des Wasserstoffbedarfs könnte sich ergeben, wenn Wasserstoff verstärkt als Kraftstoff im Transportsektor zum Einsatz kommt. So wurde am 12. April 1996 mit dem weltweit ersten Linienbetrieb eines wasserstoffbetriebenen Stadtbusses in Erlangen begonnen. Der Bus wurde gemeinsam von den Firmen MAN und Linde entwickelt. In einer weiteren Erprobungsphase wird dieser Bus anschließend ab 1997 in München im Linienbetrieb eingesetzt werden. Die zum Busbetrieb erforderliche Flüssigwasserstoff-Tankstelle wurde von Linde als mobile Einheit gebaut und kann somit an jedem Einsatzort des Busses projektbegleitend aufgestellt werden.

Die Verwendung von Wasserstoff zum Antrieb von Flugzeugen würde die Wasserstoffwirtschaft zu neuen Dimensionen führen, wenn man bedenkt, daß ein einziger wasserstoffbetriebener Airbus alle heute in Europa vorhandenen Verflüssigungsanlagen auslasten würde [4]. Zwar benötigt die Flüssigwasserstoff-Speicherung verglichen mit dem gleichen Energieinhalt an Kerosin etwa das 4fache Speichervolumen, dafür wiegt das Energieäquivalent Wasserstoff aber nur ein Drittel. Durch diese, in der Luftfahrt wichtige Gewichtseinsparung, die eine Erhöhung der Nutzlast ermöglicht, wird der Nachteil einer etwas anderen Rumpfgestaltung zur

Unterbringung der größeren Tanks leicht kompensiert. Planungen zum Einsatz eines modifizierten Do 328 Demonstrators zur Expo 2000 sind bereits im vollen Gang.

Zukunftsweisend im Bereich der Wasserstoffverbraucher ist auch die Inbetriebnahme einer wasserstoffbetriebenen 200 kW Brennstoffzelle 1996 durch die „Hamburgische Electricitätswerke AG“ (HEW), die von Linde mit Wasserstoff aus einem  $LH_2$ -Standtank versorgt wird. Die Fortschritte, die in den letzten Jahren auf dem Gebiet der Brennstoffzellen gemacht wurden, sind beeindruckend und lassen sich am besten anhand des Brennstoffzellen-Versuchsfahrzeugs von Daimler-Benz demonstrieren. Während im ersten Versuchsträger (Necar 1, 1994) die Technik noch soviel Platz beanspruchte, daß nur Fahrer und Beifahrer transportiert werden konnten, so steht bereits 2 Jahre später beim Necar 2 praktisch die gesamte Nutzfläche wie bei der vergleichbaren Benzin-Version für den Transport von Passagieren und Gepäck zur Verfügung. Die Brennstoffzellen-Technik wird unter einer Abdeckung im Kofferraum untergebracht, das Masse/Leistungs-Verhältnis konnte von Necar 1 zu Necar 2 von 21 kg/kW auf 6 kg/kW gesenkt werden [5].

Um den Einstieg in eine umfassende Wasserstoff-Wirtschaft vorzubereiten, wurden eine Reihe von nationalen und internationalen Projekten initiiert. Zielsetzung dieser Projekte ist es, die gesamte

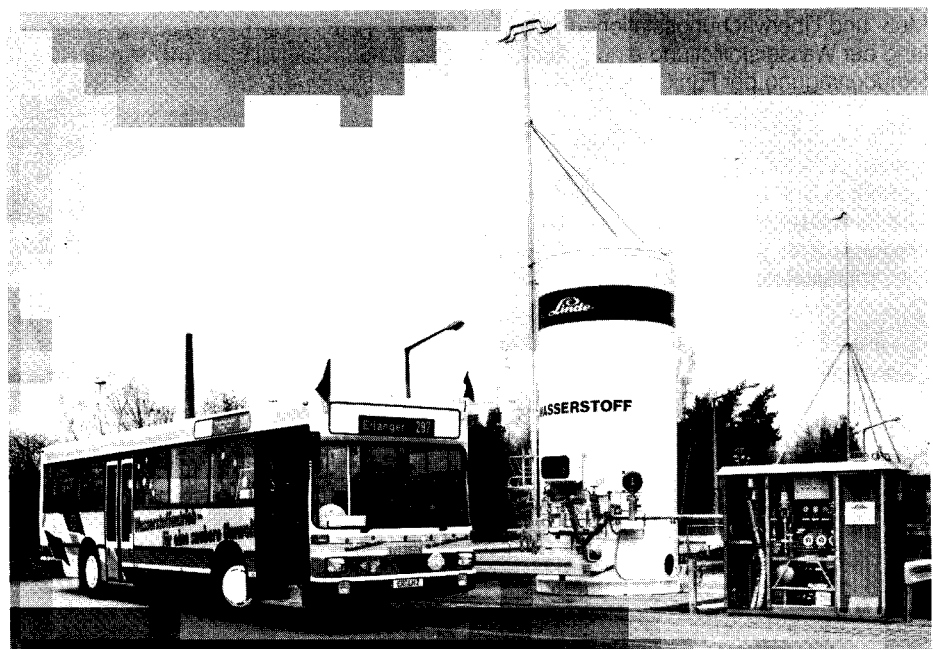


Bild 6 — Weltweit erster Wasserstoff-Bus im regulären Linieneinsatz (Erlangen)

Kette beginnend bei der Wasserstoff-Erzeugung über den Transport bis zu den verschiedenen Endverbrauchern zu optimieren und noch nicht vorhandene Systemkomponenten zu entwickeln. Die bekanntesten Projekte sind das europäisch/kanadische Wasserstoff-Pilotprojekt EQHHPP (Euro Quebec Hydrogen Pilot Project) und das japanische WNET (World Energy Network). Letzteres hat ein Gesamtvolumen von ca. 5 Mrd DM und ist für eine Laufzeit bis zum Jahr 2020 konzipiert.

Abgesehen von den hier beschriebenen großtechnischen Anwendungen fordert Wasserstoff als Grundbaustein des Universums und als leichtestes aller Elemente die Neugier der Wissenschaftler stets aufs neue heraus. Im September 1995 gelang Prof. Oelert an der europäischen Großforschungseinrichtung „CERN“ in Genf erstmals die synthetische Herstellung von

Anti-Materie in Form von Anti-Wasserstoff [6]. Neun Atome Anti-Wasserstoff wurden durch Kollision von Antiprotonen mit Xenon Atomen über einen Zeitraum von 3 Wochen nachgewiesen. Jedes dieser Anti-Wasserstoffatome legte während seiner Lebensdauer von etwa 40 milliardstel Sekunden in der Versuchseinrichtung bei nahezu Lichtgeschwindigkeit eine Strecke von 10 Meter zurück, um beim anschließenden Aufprall auf Materie erneut zu Energie zu zerstrahlen.

#### Literatur

- [1] J. Miyazaki et al.: „Ultra High Purity Hydrogen Gas Supply System With Liquid Hydrogen“, Int. Journal of Hydrogen Energy Vol 21, No.5, 1996
- [2] M. Bracha, G.; Lorenz, A.; Patzelt and M. Wanner: „Large Scale Hydrogen Liquefaction in Germany“, Int. Journal of Hydrogen Energy Vol 19, No. 1 pp 53–59, 1994
- [3] G. Sandstede: „Möglichkeiten zur Wasserstoff-Erzeugung mit verminderter Kohlendioxid-Emission für zukünftige Energiesysteme“, Chem.-Ing.-Techn. 63, 1991
- [4] Robert O. Price: „Liquid Hydrogen — An Alternative Aviation Fuel ?“, Int. Journal of Hydrogen Energy, Vol 16, No 8, 1991, Reprinted from Aerospace Engineering Magazine
- [5] „Auto mit Brennstoffzelle emittiert keine Schadstoffe“, VDI Nachrichten Nr. 21, 24. Mai 1996
- [6] „First atoms of antimatter produced at CERN“, Presse Mitteilung CERN (European Laboratory for Particle Physics, Genf) 1995

## Vom CAD zur digitalen Pauserei –

### Ein digitales Zeichnungsarchiv beschleunigt die Abläufe

Bernd Repplinger, Aschaffenburg

*Elektronische Archive lösen analoge Zeichnungsbestände ab. Herkömmliche Zeichnungsverteilverfahren werden durch digitale Systeme ersetzt. Ein Projekt zur Einführung eines digitalen Zeichnungsarchivs bei der Linde AG, Werksgruppe Flurförderzeuge und Hydraulik in Aschaffenburg zeigt, daß sich eine digitale Pauserei kurzfristig und wirtschaftlich einführen läßt. Das System wurde in die bestehende CAD Installation integriert, um Freigabe und Archivierungsverfahren effektiv abzubilden.*

*Die Linde-Werksgruppe Flurförderzeuge und Hydraulik hat ihren Hauptsitz in Aschaffenburg. Mit den verschiedenen Entwicklungs- und Produktionsstandorten in Deutschland, Frankreich, Großbritannien und China verfügt das Unternehmen über einen globalen -überwiegend europäischen- Fertigungsverbund, der alle Standortvorteile in Bezug auf Know-*

*how, Arbeitskräfte, Verfügbarkeit von Komponenten und Zugang zu den Märkten optimal vereint.*

*In der Konstruktion und Entwicklung des Stammhauses in Aschaffenburg gibt es ca. 120 CAD Arbeitsplätze, die weit überwiegend mit der 2D-CAD-Software Microstation von Bentley und zum restlichen Teil mit der 3D-CAD-Software EMS von Intergraph ausgestattet sind. Diese Software ist auf einem Hardware-Mix, bestehend aus ca. 50 % Intel-basierenden NT-Systemen sowie 50 %-RISC-basierenden UNIX-Systemen implementiert. Der sich abzeichnende Wandel von monolithischen CAD-Systemen hin zu modularen wird insbesondere im Hinblick auf die Auswahl eines neuen 3D-Systems mit großem Interesse beobachtet.*

*Die Zeichnungsbereitstellung, -verteilung und -archivierung erfolgte über eine zentrale Pauserei, die auf den CAD-*

*Bestand und die Zeichnungen, die analog als Transparent oder Mikrofilm vorliegen, zurückgreifen konnte. Technologiebedingt gab es durch unterschiedliche Kopier- und Endverarbeitungsverfahren und -geräte für verschiedene Reproduktionsformate komplexe und sehr arbeitsintensive Vorgänge zur Abwicklung von Zeichnungsanforderungen.*

### Projektziel: Kostensenkung, Effizienzsteigerung und schnelle Informationsbeschaffung

Das Projekt zur Neuorganisation der Pauserei hatte folgende Ziele: Kostensenkung im Bereich von Personal, Maschinen und Verbrauchsmaterialien und Effizienzsteigerung durch einfache