

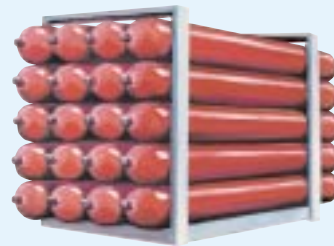
Hydrogen Filling
Station Consortium

EUHYFIS

Arbeitsgemeinschaft
Wasserstoff-Tankstelle

EUHYFIS

**Eine Wasserstoff-Tankstelle auf Basis
erneuerbarer Energiequellen**



„Grüner“ Straßenverkehr mit Wasserstoff

Der Verkehrssektor ist für rund ein Drittel des gesamten Energieverbrauchs in der Europäischen Union verantwortlich. Straßenverkehr trägt dazu den größten Anteil bei. Mit stetig steigenden Fahrleistungen wächst auch der Gesamtverbrauch, obwohl der spezifische Energiebedarf pro zurückgelegtem Kilometer in den vergangenen Jahren gesunken ist.

Die Verbrennung von Benzin und Diesel führt zur Freisetzung des Klimagases Kohlendioxid (CO₂) und von Schadstoffen wie Stickoxiden, Schwefeldioxid usw. Studien zu den externen Kosten von fossilem Energieverbrauch schätzen die Aufwendungen im Gesundheitswesen, die durch Verkehrsabgase verursacht werden, auf rund 0,6 EURO pro Liter Treibstoff.

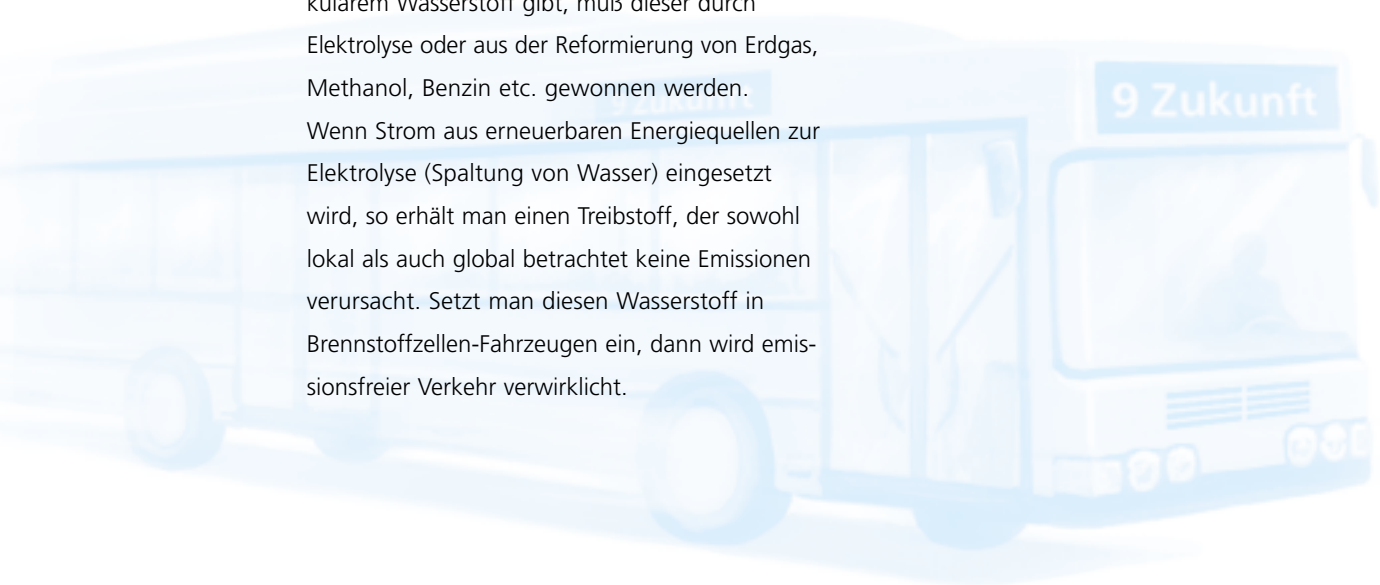
Wasserstoff dagegen ist ein umweltfreundlicher Energieträger, denn seine Nutzung in Brennstoffzellen führt nur zum Ausstoß von Wasserdampf. Ergänzend zu dieser lokalen Sichtweise, die auf den Auspuff des Fahrzeuges gerichtet ist, muß jedoch auch die Herkunft des Treibstoffes berücksichtigt werden.

Da es keine natürlichen Quellen von molekularem Wasserstoff gibt, muß dieser durch Elektrolyse oder aus der Reformierung von Erdgas, Methanol, Benzin etc. gewonnen werden.

Wenn Strom aus erneuerbaren Energiequellen zur Elektrolyse (Spaltung von Wasser) eingesetzt wird, so erhält man einen Treibstoff, der sowohl lokal als auch global betrachtet keine Emissionen verursacht. Setzt man diesen Wasserstoff in Brennstoffzellen-Fahrzeugen ein, dann wird emissionsfreier Verkehr verwirklicht.

Alle großen Automobilhersteller arbeiten an Wasserstoff-Fahrzeugen, wobei Brennstoffzellen die wichtigste Option für den Antrieb sind. Die Prototypentwicklung ist weit fortgeschritten, erste Feldtests sind in Vorbereitung. Der Markteintritt wird für 2004 bis 2006 erwartet. Die kalifornische Gesetzgebung zum Null-Emissions-Verkehr ist eine wichtige Triebkraft für diese Aktivitäten.

In den kommenden Monaten wird ein wichtiges Demonstrationsprojekt („CUTE“) für Brennstoffzellen-Busse im öffentlichen Nahverkehr beginnen. Das EUHYFIS-Konsortium ist an der Erprobung der Infrastruktur zur Betankung im Alltagsbetrieb beteiligt.



Das EUHYFIS-Konzept

EUHYFIS ist die Abkürzung für **EU**ropean **HY**drogen **F**illing **S**tation. Dieses Projekt zielt darauf, eine Betankungs-Infrastruktur für Wasserstoff-Fahrzeuge bereitzustellen. Der Treibstoff wird dezentral in der Tankstelle erzeugt, vorzugsweise auf der Basis von Strom aus erneuerbaren Energiequellen. Sofern regenerative Quellen genutzt werden, kann der Wasserstoff als „grüner“ Energieträger angesehen werden, weil seine Emissionsbilanz derjenigen konventioneller Brennstoffe bei weitem überlegen ist.

EUHYFIS bietet eine Tankstelle für gasförmigen Druckwasserstoff, die

- ▶ aufgrund ihres modularen Konzeptes leicht dem individuellen Bedarf der Kunden angepaßt werden kann
- ▶ relativ niedrige Investitionen erfordert
- ▶ so konstruiert ist, daß Schwankungen der elektrischen Eingangsleistung, wie sie von erneuerbaren Energiequellen herrühren, ohne Nachteile toleriert werden
- ▶ energetisch sehr effiziente Komponenten nutzt
- ▶ deutliche Umweltvorteile bietet.

Das System umfaßt die gesamte Produktionskette, wie unten gezeigt, und kann als fertig installierte Einheit geliefert werden.



Drei Unternehmen mit sich ergänzenden Geschäftsfeldern treiben das EUHYFIS-Projekt voran: Bauer Kompressoren aus München, Casale Chemicals mit Sitz in Lugano und PLANET – Planungsgruppe Energie und Technik, Oldenburg (Oldb.).

Die Europäische Union hat die EUHYFIS-Entwicklungsphase im Rahmen ihres 4. Forschungs-Rahmenprogrammes in den Jahren 1999/2000 unterstützt. Ab 2002 wird ein Prototyp für Demonstrationszwecke zur Verfügung stehen, gefolgt von einer kleinen Vor-Serie.

Technische Daten, soweit bereits festgelegt, sind:

- ▶ ein Enddruck des Kompressors von bis zu 500 bar
- ▶ die Produktion von 55 - 60 m³_N Wasserstoff pro Stunde, ausreichend für 3 große Nahverkehrsbusse
- ▶ 300 kW elektrische Nennleistung

Bis eine dichtes Netz von Wasserstoff-Tankstellen entstanden ist, besteht der Markt vor allem in Flotten-Anwendungen, bei denen die Fahrzeuge regelmäßig zu ihren Depots zurückkehren. Zunächst richtet sich EUHYFIS deshalb insbesondere an die Betreiber öffentlicher Busnetze und Taxi-Flotten sowie an Kurier- und Paket-Dienste.

Das EUHYFIS-Konzept läßt sich auch für andere Quellen von Wasserstoff wie biogene Energieträger und Synthesegas nutzbar machen.

EUHYFIS 2002

In diesem Einleger zur EUHYFIS-Broschüre aktualisieren wir die Projektinformationen.

Namhafte Fahrzeughersteller wie DaimlerChrysler wollen die Reichweite von Brennstoffzellenbussen durch eine Steigerung des Tankdrucks erhöhen. Statt bisher 200 bar werden zukünftig 350 bar der neue Standard sein. Das erfordert Kompressoren, die Wasserstoff im Speicher der Tankstelle auf bis zu 550 bar verdichten.

Die Entwicklungsarbeiten für einen kostengünstigen und leistungsoptimierten Kolbenkompressor, der diesen Anforderungen gerecht wird, haben bei Bauer Kompressoren begonnen und werden voraussichtlich Anfang 2003 abgeschlossen. Die vorläufigen Kenndaten des neuen Kompressors sind:

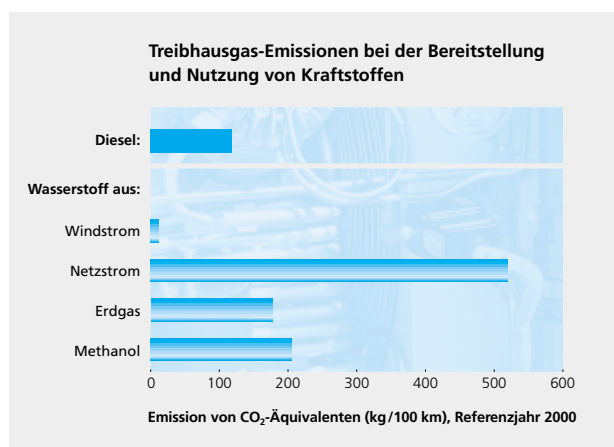
➤ Ansaugdruck	2 – 4 bar
➤ Lieferdruck	500 – 550 bar
➤ Liefermenge	20 - 40 m ³ _N /h
➤ Leistungsaufnahme	8 - 12 kW

In 2001 wurde bei PLANET eine detaillierte Studie zur Bereitstellung von Wasserstoff als Kraftstoff für Busse des öffentlichen Nahverkehrs fertiggestellt. Die Untersuchung ist als Ökobilanz gemäß der Normenreihe DIN EN ISO 14040 – 14043 angelegt. Sieben Szenarien wurden betrachtet, bei denen unterschiedliche Primärenergiequellen zum Einsatz kommen, darunter Kohle, Erdgas, Windenergie und Wasserkraft, sowie verschiedene Wege der Aufbereitung bzw. Umwandlung (Verstromung, Synthese von Methanol, Verflüssigung von Wasserstoff...).

Gegenüber vorangehenden Arbeiten konnte die Datenbasis deutlich erweitert werden, so daß Schritt für Schritt der Weg von der Primärenergie bis zum Fahrzeug prüfbar wurde.

Zentrale Frage war, welche der Szenarien besser abschneiden als Diesel, der heutige Standard-Treibstoff für Busse. Zu den wesentlichen Kriterien gehörte dabei der Verbrauch an nicht-erneuerbaren Ressourcen und, eng daran gekoppelt, die Emission von Gasen mit Treibhauspotential. Berücksichtigt wurde auch der "ökologische Rucksack", also der Aufwand an Energie und Material, um die jeweilige Infrastruktur wie chemische Fabriken, Windkraftanlagen, Pipelines zum Transport etc. zu errichten.

Die Abbildung unten zeigt, daß Wasserstoff aus Windstrom einen deutlichen ökologischen Vorteil gegenüber Diesel bietet. Dies gilt in ähnlichem Umfang auch für andere erneuerbare Energiequellen, die hier nicht dargestellt sind. Nur sie rechtfertigen damit die erheblichen Investitionen, die für den Umbau der Kraftstoff-Infrastruktur zur Nutzung von Wasserstoff nötig werden.



**EUHYFIS c/o PLANET,
Planungsgruppe Energie und Technik
Postfach 40 03, D-26030 Oldenburg, Deutschland**

Tel. ++49 - (0)441 - 8 50 51

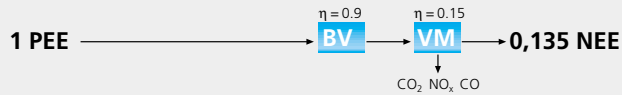
Fax ++49 - (0)441 - 8 80 57

E-mail: info@euhyfis.com

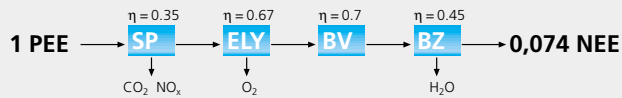
Internet: www.euhyfis.com

Energetische Effizienz und Umweltvorteile

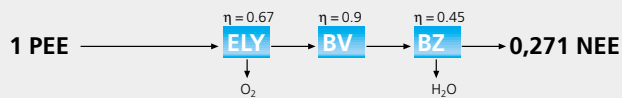
1. Diesel-Verbrennungsmotor



2. Brennstoffzelle, Netzstrom



3. Brennstoffzelle, Windstrom



PEE	Primärenergie-Einheit	NEE	Nutzenergie-Einheit
SP	Stromproduktion	ELY	Elektrolyse
BV	Brennstoff-Verarbeitung	BZ	Brennstoffzelle
VM	Verbrennungsmotor		

Die energetische Effizienz von Wandlungsketten zur Brennstoff-Bereitstellung und ihre Umweltauswirkungen – gemessen in Emissionen – sind entscheidende ökologische Parameter. Der Schaden für die Umwelt ist generell dann am geringsten, wenn der Einsatz nicht-erneuerbarer Quellen minimiert wird. Auf der Basis dieser Überlegungen müssen alle Schritte der Brennstoff-Behandlung von seiner primären Herkunft (zum Beispiel einer Ölquelle) bis zum Fahrzeug berücksichtigt werden.

Die Abbildung oben illustriert die Effizienz einer Auswahl von Bereitstellungswegen und von Fahrzeugantrieben. Sie vergleicht den Anteil der Nutzenergie am Ende einer Wandlungskette relativ zum benötigten Einsatz von Primärenergie („von der Quelle bis zum Rad“). Es wird deutlich, daß die Wasserstoff-Produktion auf der Basis von Netzstrom einem Dieselantrieb – dem heutigen Standardsystem im öffentlichen Personen- und im Frachtverkehr – klar unterlegen ist.

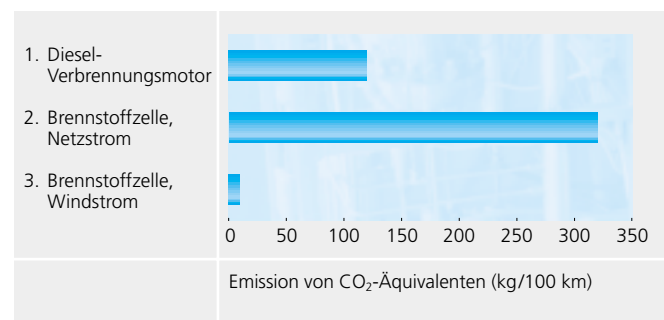
Die genannten Zahlen beziehen sich auf den deutschen Strom-Mix mit großen Anteilen aus Kohlekraftwerken; das Bild wäre anders für ein Land wie Norwegen, wo Wasserkraft eine wesentliche Stromquelle ist. Die genannten Wirkungsgrade

einzelner Prozesse sind typische Werte und beziehen sich nicht auf ein bestimmtes markt-gängiges System. Eine detailliertere Untersuchung wird zum Sommer 2001 erhältlich sein.

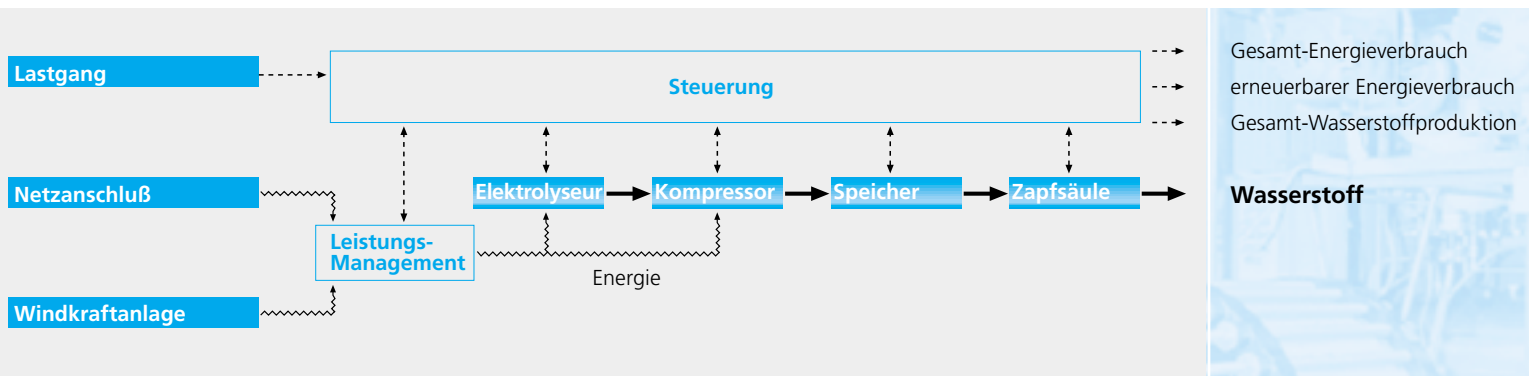
„Wasserstoff“ bezieht sich hier immer auf gasförmigen Druckwasserstoff, wie er von EUYHFIS-Anlagen hergestellt wird. Zum Vergleich: Die Verflüssigung von einem Kubikmeter Wasserstoff erfordert eine Elektrizitätsmenge, die 33 % des Energieinhaltes des verflüssigten Gases entspricht. Wird konventioneller Netzstrom verwendet, so ist der Primärenergie-Einsatz ungefähr gleich der im Wasserstoff gespeicherten Energie.

Die ökologischen Unterschiede werden noch deutlicher, wenn Emissionen anhand von CO₂-Äquivalenten verglichen werden, wie unten gezeigt. Zusätzlich zu den (lokalen) Emissionen des Fahrzeugs und indirekten, globalen Beiträgen aus dem Bereitstellungsweg ist dort auch der Anteil aus den Materialien zum Aufbau der Brennstoff-Wandlungskette (die sogenannte „graue Energie“) berücksichtigt.

Für die Berechnungen wurden der deutsche Strom-Mix, wie er für das Jahr 2010 erwartet wird, und Emissionen von Diesel-Fahrzeugen gemäß den Standards EURO 4 bzw. 5, die 2005/2008 in Kraft treten, angenommen.



Systemintegration und -modellierung

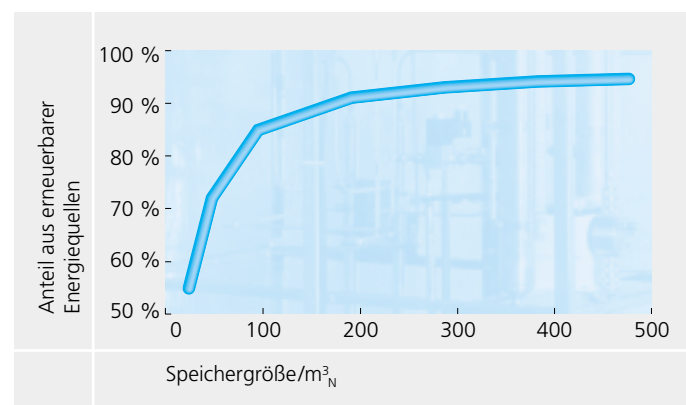


Mit Blick auf Umweltvorteile ist es wichtig, Wasserstoff aus erneuerbaren Energiequellen zu gewinnen. Die Leistungsabgabe der meisten regenerativen Energien schwankt zeitlich und damit auch die Treibstoff-Produktion. Ein Ausfall von Fahrzeugen ist aber nicht zu akzeptieren. Es wird daher notwendig, eine gewisse Menge von Netzstrom (aus überwiegend fossilen Quellen) einzusetzen. Je höher dieser Anteil, desto höher wird auch das Niveau der Emissionen liegen. Computersimulationen sind das Werkzeug, um Wasserstoff-Versorgungssysteme in dieser Hinsicht zu untersuchen.

Ein Mindestanteil an erneuerbarer Energie ist nötig, um – im Vergleich mit konventionellen Fahrzeugantrieben – überhaupt einen Umweltvorteil zu erreichen. Bezüglich der Emission von CO₂-Äquivalenten liegt dieser Mindestwert für einen Brennstoffzellenbus, der von EUHYFIS betankt wird, im Bereich von 65 %. Nur wenn der Anteil erneuerbarer Energie an der Wasserstoffproduktion also über zwei Dritteln des Gesamt-Energieverbrauchs liegt, ist der Bus auf der Basis von Brennstoffzellen seinem Diesel-Pendant in Bezug auf Emission überlegen.

Die Minimierung der Investitionskosten unter Optimierung der Umweltvorteile ist eine Kernaufgabe bei der computergestützten Auslegung und Simulation von Systemen zur Wasserstoffherzeugung. Untersuchungen dieser Art liefern ferner wichtige Informationen zu Steuerungsaufgaben und zu den Anforderungen an Sicherheitsfunktionen.

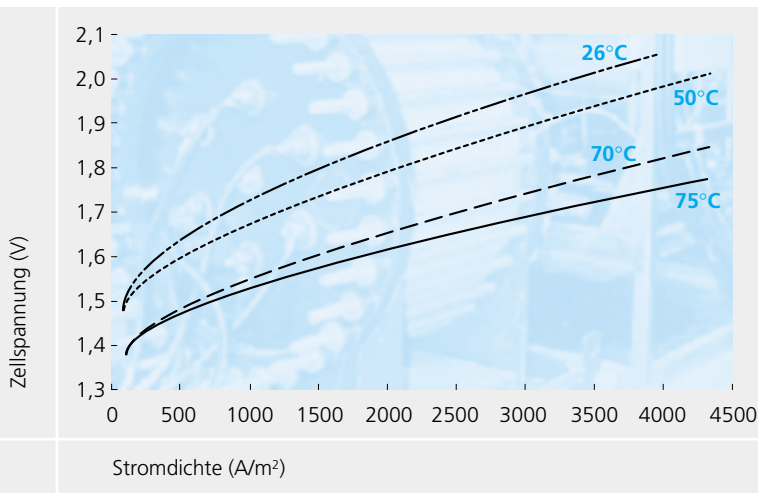
Die Abbildung unten zeigt ein typisches Beispiel für eine Optimierungsaufgabe. Bei schwankender Eingangsleistung (hier durch Windkraft bedingt) hängt der Anteil „grünen“ Wasserstoffs von der Auslegung des Tankanlagen-Speichers ab. Das Verhältnis von Nutzen und Speichergroße ist jedoch nicht-linear. Einflußfaktoren sind die Art der erneuerbaren Energiequelle, die örtlichen meteorologischen Bedingungen, der tägliche Lastgang usw.



EUHYFIS-Angebote:

- ▶ Auslegung von Wasserstoff-Systemen, Leistungsvorhersage, Leistungsüberprüfung an realisierten Systemen
- ▶ Entwurf und Simulation von Steuerungssystemen
- ▶ Bewertung des Umweltnutzens
- ▶ Einbindung von Anlagen zur Wasserstoffspeicherung in Energieversorgungssysteme

Technologie: Elektrolyseur



Beim Einsatz von erneuerbaren Energiequellen zur Wasser-Elektrolyse ist es entscheidend, die Zerstörung der Elektroden auf Grund von Schwankungen der Eingangsleistung zu verhindern. Sowohl die mechanische Stabilität als auch die Effizienz des Elektrolyse-Prozesses nehmen sonst rapide ab. Die Lebensdauer normaler Elektroden bei stark schwankender Belastung beträgt nur wenige Stunden. Aus diesem Grund werden Elektrolyseure üblicherweise konstant bei Nennlast gefahren.

Ferner korrodieren Standard-Elektroden, wenn die Elektrolyse abgeschaltet ist, falls keine Schutzspannung anliegt. Dies erfordert eine Eigenstromversorgung und bedeutet einen zusätzlichen Energieaufwand.

Im Rahmen von EUHYFIS wurden verbesserte Materialien entwickelt und geprüft. Elektroden dieses neuen Typs waren in einer 5 kW-Testanlage für mehr als 1.200 Stunden harten Bedingungen ausgesetzt. Selbst nach mehr als 3.000 Unterbrechungen der Stromzufuhr und einer großen Zahl starker Leistungsschwankungen, die von einem Simulator entsprechend einer Windkraftanlage generiert wurden, trat keine Deaktivierung der Elektroden auf. Auch war keine Schutzspannung zu ihrer Stabilisierung nötig.

Die neuen Elektroden zeichnen sich außerdem durch ein vorteilhaftes Verhältnis von Stromdichte und Zellspannung aus. Bei 75°C und 4000 A/m², zum Beispiel, beträgt die Spannung nur 1,75 V. Unter den gleichen Bedingungen liegt der Wert von Standard-Elektroden bei 2,1 V. Der Wirkungsgrad der Elektrolyse konnte also um 15 % verbessert werden.

Diese Vorteile bleiben auch bei geringeren Temperaturen erhalten, die während des Anfahrens oder im Teillastbetrieb herrschen. Selbst bei 26°C (und 4000 A/m²) liegt die Zellspannung noch unter 2,1V.

Die Energie, die benötigt wird, um 1m³_N Wasserstoff zu erzeugen, beträgt 4,2 kWh im Vollastbetrieb (4000 A/m², 75°C). Der Wirkungsgrad erreicht damit 84,5 % bzw. 71,3 % bezogen auf den oberen bzw. unteren Heizwert von Wasserstoff. Die Reinheit des Gases beträgt 99,8 % und kann, falls nötig, auf 99,999 % erhöht werden. Der Auslaßdruck des Wasserstoffs liegt zwischen 6 und 30 bar.

EUHYFIS-Leistungen:

- ▶ Elektrolyseure von 1 m³_N/h bis 100 m³_N/h
- ▶ Lieferung von Steuerungs- und Nebenaggregaten
- ▶ maßgeschneiderte Systeme zur Wasserstoff-Erzeugung

Technologie: Kompressor

Die Kompressoren, die für EUHYFIS-Tankstellen verwendet werden, basieren auf Modellen zur Verdichtung von Erdgas. Diese erzeugen bis zu 350 bar Auslaßdruck. Der Wasserstoff-Druck im Tank des Fahrzeugs beträgt 200 bar (bei 15°C), analog zu Erdgasfahrzeugen. Wesentliche Anforderungen sind die dauerhafte Verschleißfestigkeit in einer Wasserstoff-Atmosphäre und ein Minimum an Verunreinigungen im komprimierten Gas. Spezifische Grenzwerte für Fremdstoffen in Wasserstoff zur Nutzung in Brennstoffzellen existieren bisher nicht. Deshalb wurde zunächst der maximal zulässige Wert für Atemluft von 0,5 ppmV als Arbeitswert angenommen.

Einige große Automobilhersteller arbeiten daran, den Tankdruck im Fahrzeug auf 350 bar anzuheben, um die Reichweiten zu erhöhen. Dazu werden Kompressoren benötigt, die Wasserstoff auf bis zu 550 bar verdichten. Das EUHYFIS-Konsortium hat mit Vorbereitungen begonnen, um diesen neuen Standard zu erfüllen.

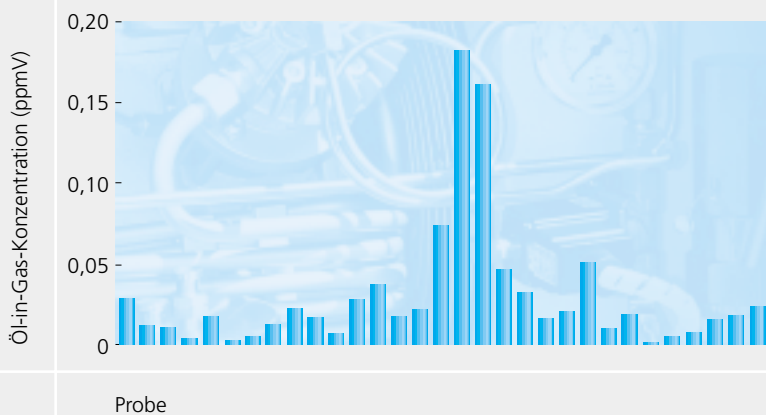
Auf Grund seiner Aktivitäten im Markt für Erdgas-Tankstellen hat Bauer Kompressoren langjährige Erfahrung, fertig montierte und dabei flexible Einheiten zu liefern, die mit einem oder mehreren Kompressoren, Speicherbank und Zapfsäule ausgestattet sind. Für EUHYFIS-Anlagen wird der Elektrolyseur hinzugefügt. Der Hochdruck-Speicher kann, je nach den benötigten Kapazitäten, im Gehäuse der Tankstelle oder daneben aufgestellt werden.

Spätere Erweiterungen lassen sich einfach realisieren. Durch das modulare Konzept können weitere Komponenten in die vorhandene Anlage integriert werden.

Die Meßdaten aus 3.000 Stunden Testbetrieb zeigen, daß diese Grenze nicht überschritten wird. Im Gegenteil, die Öl-in-Gas-Konzentration liegt im allgemeinen deutlich unter 0,1 ppmV. Selbst wenn die Sättigung der Filter nach etwa 1.000 Stunden eintritt, werden 0,2 ppmV nicht erreicht.

EUHYFIS-Leistungen:

- ▶ Zapfsäulen und Abrechnungseinheiten für Wasserstoff und andere gasförmige Treibstoffe
- ▶ Kompressoren und Speicherbänke
- ▶ optionaler Einsatz von Wasserstoff als Kuppelprodukt aus industriellen Prozessen



**Drei Unternehmen mit sich ergänzenden Geschäftsfeldern
treiben das EUHYFIS-Projekt voran:**

PLANET – kurz für „Planungsgruppe Energie und Technik GbR“ - ist ein Beratungs- und Ingenieurbüro, gegründet 1986. Es deckt das gesamte Feld der Energieversorgung ab, wobei dem Einsatz erneuerbarer Quellen besonderes Gewicht zukommt.

Das vollständige Spektrum an Ingenieurleistungen, von der Konzeptentwicklung bis zu Bauleitung und Erfolgskontrolle, wird ergänzt durch Wirtschaftlichkeitsanalysen und Machbarkeitsstudien. Die Mitarbeiter von PLANET akquirieren Fördergelder für Forschung, Entwicklung & Demonstrationsvorhaben und führen internationales Projektmanagement durch.

PLANET arbeitet europaweit mit industriellen und universitären Partnern zusammen. Im Projekt CUTE zur Demonstration von Brennstoffzellen-Bussen, initiiert von DaimlerChrysler, leitet das Büro ein Teilvorhaben.

BAUER KOMPRESSOREN GmbH befaßt sich mit der Herstellung von Hochdruck-Kompressoren für Luft und Gase und den dazugehörigen Hochdruckkomponenten wie Filtersystemen und Regenerationstrocknern. Seit 1946 hat sich Bauer Kompressoren zu einer bedeutenden, weltweit für moderne Mittel- und Hochdruckkompressoren bekannten Industriegruppe entwickelt.

Die Systeme zeichnen sich durch innovative technische Lösungen und überlegene Qualität aus. Das Produktprogramm, vom kompakten tragbaren Kompressor für den Tauchsport bis zur hochkomplexen industriellen Verdichtersystemlösung, kann auf individuelle Anforderungen zugeschnitten werden.

Bauer Kompressoren hat seit 1995 mehr als 130 Erdgas-Tankstellen geliefert und ist damit führender Anbieter in diesem Marktsegment in Deutschland.

CASALE CHEMICALS S.A. entstand 1993 als Tochter von Ammonia Casale S.A., gegründet 1921. Die Casale Gruppe umfaßt heute vier Unternehmen, welche in Forschung und Entwicklung sowie technologischer Innovation äußerst aktiv sind. Die Casale-Firmen arbeiten im Bereich der Verfahrenstechnik und des Anlagenbaus auf der Basis eigenständig entwickelter Technologien und zahlreicher Patente.

Casale Chemicals beschäftigt sich mit Prozessen und Anlagen zur Herstellung von Formaldehyd, Olefinen und Harzen aus Methanol und mit der Produktion von Wasserstoff mittels Elektrolyse, partieller Oxidation und aus der Reformierung von Erdgas.

Die Druck-Elektrolyse zur elektrochemischen Spaltung von Wasser nutzt VOLTIANA® Zellen, die weltweit patentiert sind. Zu ihren Anwendungen gehören Elektrolyseure unterschiedlichster Größe (Einheiten von 30 Norm-Litern bis zu 100 m³_N pro Stunde Wasserstoff) bei Drücken bis zu 30 bar. VOLTIANA® Zellen werden außerdem in elektrochemischen Reaktoren für eine breites Spektrum von Prozessen eingesetzt.

Richten Sie Ihre Anfragen bitte an:

EUHYFIS c/o PLANET, Postfach 40 03, D-26030 Oldenburg, Deutschland

Tel. ++49 - (0)441 - 8 50 51, Fax ++49 - (0)441 - 8 80 57

E-mail: info@euhyfis.com

Internet: www.euhyfis.com