

Der Geist aus der Flasche

Technik Wasserstoff-Antrieb als Alternative für die Zukunft.

Energiekrise ist zwar out – Waldsterben ist gerade in –, doch am Problem hat sich nichts geändert: Die Erdölvorräte werden nicht mehr ewig reichen. Obwohl sich aus den derzeit vermuteten Vorräten von 370 Milliarden Tonnen (als gesichert gelten rund 100 Milliarden) je nach Ölsorte und

Dabei spielt es, wenn überhaupt, eine völlig untergeordnete Rolle, ob der Tacho auf der Autobahn 180, 130 oder nur 80 km/h anzeigt. Sollte der Verbrauch, wie in der Vergangenheit manche unkten, jährlich um fünf Prozent steigen, würde es uns früher erwischen, kurz vor 2020.

neben bietet vor allem Wasserstoff reichlich Diskussionsstoff, schließlich ist der Vorrat an H_2 -Molekülen auf der Erde schier unerschöpflich.

Freilich kann Wasserstoff das grundsätzliche Energieproblem nicht lösen, weil das leichte Gas keine Primärenergie darstellt. Es gibt keine Wasser-

brennt, reagiert also mit dem Luftsauerstoff, wobei die einst hineingesteckte Energie zumindest zum Teil wieder frei wird. Die Wasserstofftechnik ist also prinzipiell durchaus einem Federwerk, Schwungrad oder Akkumulator für elektrischen Strom vergleichbar.

Wasserstoff läßt sich, genügend Primärenergie vorausgesetzt, in praktisch unbegrenzter Menge herstellen und umweltfreundlich verbrennen – als Abfall bleibt nur Wasser übrig, eben jenes, aus dem der Brennstoff gemacht wurde. Ein geschlossener Kreislauf also, dem im Interesse des Umweltschutzes erhebliche Bedeutung zukommt.



Auf reinen Wasserstoff-Betrieb ausgelegtes Antriebsaggregat; zur Kühlung wird Wasser eingespritzt

Raffinerie-Technologie eindrucksvolle 75 bis 150 Billionen Liter Benzin destillieren lassen, ist, konstanter Ölverbrauch vorausgesetzt, spätestens in 100 Jahren nicht nur der heiße Ofen für die Straße aus, sondern auch jener, der winters zuhause für wohlige Wärme sorgt.

Weil nicht nur unsere Enkel, sondern auch einige von uns selbst aber auch dann noch Autofahren wollen, muß eine Alternative her. Methanol und höhere Alkohole etwa ließen sich dank der tätigen Mithilfe von Mikroorganismen recht einfach aus Abfällen oder, unter zusätzlicher Nutzung der kostenlosen Sonnenenergie, aus Grünzeug fabrizieren. Da-

stoff-Quellen, die man nur anzupfen braucht. Wasserstoff taugt nur als Energieträger: An einer Stelle, an der Primärenergie etwa in Form von Wasserkraft, Wind, Kernkraft oder Sonnenenergie zur Verfügung steht, wird das Gas von dem auf der Erde so reichlich vorhandenen Wasser durch Energiezufuhr – beispielsweise durch Hochtemperatur-Elektrolyse – abgespalten und dann dorthin transportiert, wo Energie gebraucht wird.

Jetzt reicht ein Streichholz, und schon läuft der Prozeß rückwärts: Der Wasserstoff ver-

Erfreulich ist auch, daß in vergleichsweise wenig Wasserstoff ziemlich viel Energie steckt. Um einem gefüllten Kraftstofftank mit 65 Liter Benzin Paroli zu bieten, reichen schon 14 Kilogramm Wasserstoff. Das Problem liegt aber darin, daß diese 14 Kilogramm Wasserstoff unter Normalbedingungen, also bei 20 Grad und atmosphärischem Druck, rund 156 Kubikmeter Raum beanspruchen. Das entspricht einem Würfel von etwa 5,40 Meter Kantenlänge. Wie ein solcher Gasbehälter Volumen und Luftwiderstand des Autos beeinflussen würde, kann man sich leicht vorstellen. ▷

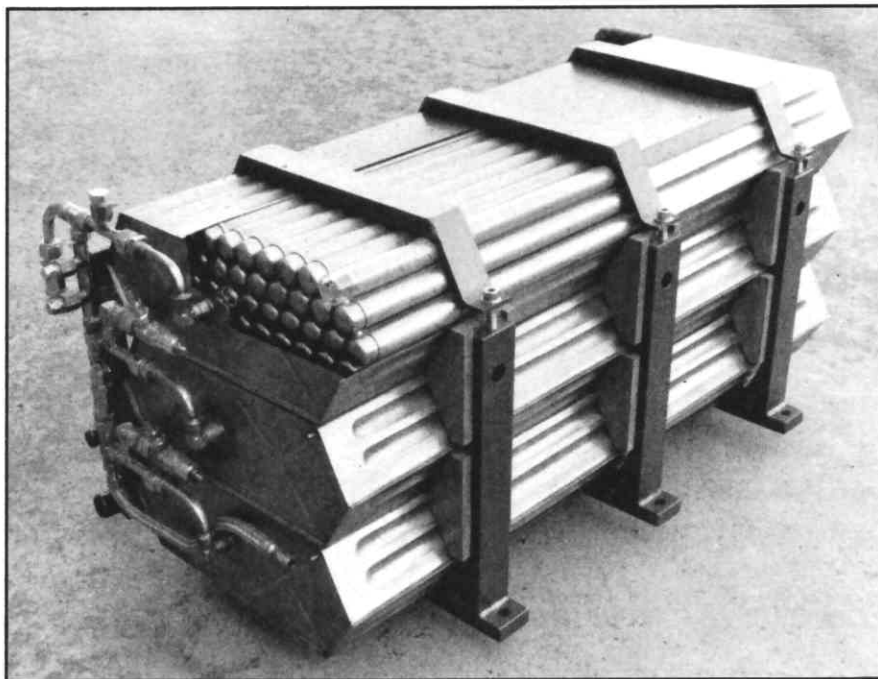
Wasserstoff-Antrieb

Um Gas in komprimierter Form platzsparend transportieren zu können, wurden druckfeste Stahlflaschen erfunden, wie sie auch Schweißer und Safeknacker zur Arbeit mitnehmen. Um die 14 Kilogramm Wasserstoff unterzubringen, sind von den üblichen DIN-Flaschen aber 20 Stück notwendig, die mit einem Leergewicht von über 1,2 Tonnen flotter Fortbewegung ebenfalls im Wege stehen. Dazu kommt das Sicherheitsrisiko bei Undichtigkeiten.

Gleichfalls ungeeignet für den Einsatz im Auto erscheinen die Kryotanks, in denen die Raumfahrer den Brennstoff zwar bei normalem Druck, aber dank kräftiger Unterkühlung in flüssiger Form mit sich führen. Die bei einer Temperatur von rund 217 Minusgraden erforderlichen aufwendigen Isolationen und die ziemliche Brisanz solcher Tanks im Falle eines Crashes sind die wesentlichsten Nachteile.

Zudem muß, genauso wie beim komprimierten Flaschengas, erst einmal eine erhebliche Energie aufgewendet werden, um den Wasserstoff überhaupt in die transportable Form zu bringen. Um beispielsweise Wasserstoff mit einem Energiegehalt von einer Kilowattstunde nach dem Linde-Verfahren zu verflüssigen, sind rund 0,6 Kilowattstunden fällig, was dem Gesamtwirkungsgrad einer solchen Technologie abträglich ist.

Als einzig sinnvolle Möglichkeit zur Mitnahme von Wasserstoff im Fahrzeug erscheint der Hydridspeicher. Ähnlich, wie sich die meisten Stoffe verbrennen lassen, also eine Verbin-



Eingeschränkte Ladekapazität im 280 TE infolge der beiden Hydridspeicher; Speicher Dreierpack von Mannesmann

dung mit Sauerstoff eingehen, sind einige Metalle bereit, sich unter bestimmten Druck- und Temperaturbedingungen mit Wasserstoff zusammenzutun. Dazu zählt beispielsweise das leichte Magnesium. Doch läuft der Prozeß erst bei hohen Temperaturen um die 350 Grad ab, was selbst im Hochsommer für den Kaltstart eine Hilfeinrichtung erforderlich machen würde.

Bei den sogenannten Tieftemperatur-Hydriden, am bekanntesten ist eine Titan-Eisen-Legierung, ist im Temperaturbereich von minus 20 Grad bis etwa 100 Grad ein befriedigender

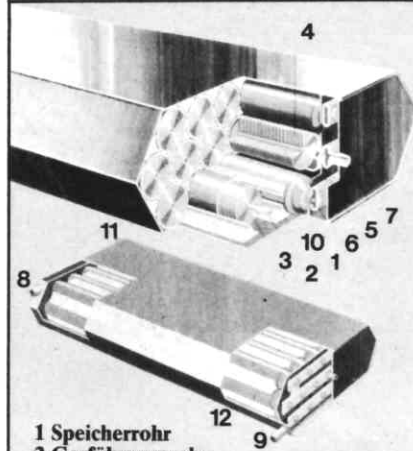
Gasaustausch gegeben. Dabei wird beim Befüllen des Speichers Wärme frei, die mit Kühlwasser aus dem Tank abgeführt werden muß. Umgekehrt gibt der Hydridspeicher den Wasserstoff erst wieder her, wenn ihm entsprechend eingeheizt wird. Das geschieht in der Praxis mit Wasser, das über einen Wärmetauscher im Auspufftrakt auf Temperatur gehalten wird. Hydridspeicher fallen je nach Bauweise heute zwar fast noch so schwer aus wie Druck-

flaschen, benötigen aber weniger als das halbe Volumen und bieten bei einer Kollision maximale Sicherheit. Zudem läßt sich immer noch ein Gewichtsvorteil gegenüber dem Elektroantrieb mit Bleiakkus ausmachen. Obwohl Elektromotoren im Wirkungsgrad erheblich über Verbrennungsmaschinen liegen, müssen sie für dieselbe Fahrleistung und Reichweite mindestens das vierfache Speichergewicht mitschleppen.

Mit dem Wasserstoff im Auto ergeben sich zwei Alternativen: Entweder nur mit Wasserstoff fahren, was die völlige Unabhängigkeit vom Erdöl bedeutet, oder Mischbetrieb zusammen mit Benzin, was einen besonders umweltfreundlichen Betrieb herkömmlicher Motoren erlaubt. Der Grund liegt in einer von Sicherheitsaposteln nicht übermäßig geschätzten Eigenschaft des Wasserstoffs, nämlich in seiner guten Entflammbarkeit.

Bei einer Zugabe von Wasserstoff zum angesaugten Benzin-Luft-Gemisch läßt sich ein extremer Ma-

KFZ-Hydridspeicher



- | | |
|----------------------------|---------------|
| 1 Speicherrohr | 10 Füllkörper |
| 2 Gasführungsrohr | 11 Entlüfter |
| 3 Lamelle | 12 Mantel |
| 4 Speichermasse | |
| 5 Sintermetall-Filter | |
| 6 Gassammler | |
| 7 H ₂ -Anschluß | |
| 8 Wassereinlaß | |
| 9 Wasserauslaß | |

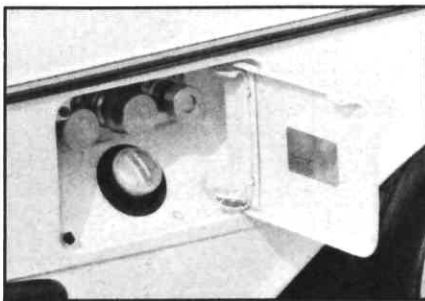
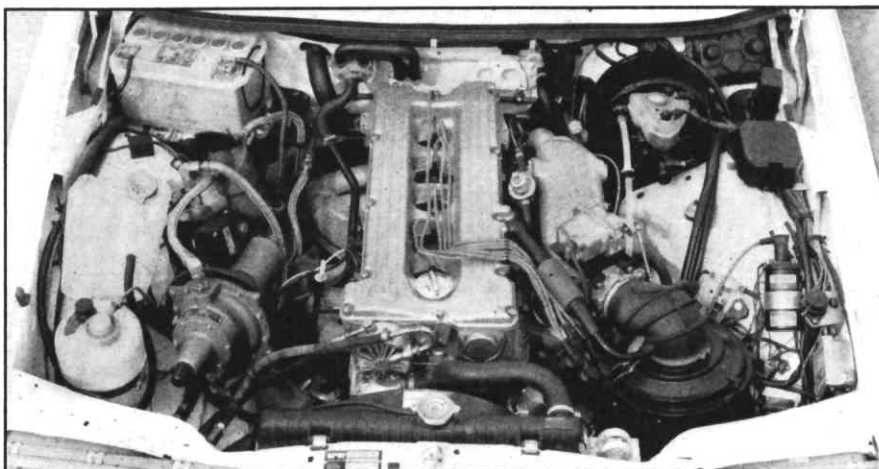
gerbetrieb (Luftzahl Lambda | bis zu sechs) realisieren. Das Maximum bei reinem Benzinbetrieb liegt bei 1,5.

Eine von Daimler-Benz – übrigens die einzige Auto-Firma hierzulande, die sich gegenwärtig mit Wasserstoffantrieb befaßt – im Sommer in Berlin der praktischen Erprobung ausgesetzte 280 TE-Flotte gibt sich beispielsweise im Leerlauf mit reinem Wasserstoff zufrieden, während im Teillastbereich Benzin zugemischt wird, im typischen Stadtverkehr zwischen 30 und 50 Prozent. Als Folge des damit möglichen Magerbetriebs sinken CO- und CH-Emissionen auf Werte, die unter denen von Katalysator-Autos liegen. Nur die Stickoxide machen Probleme. Sie fallen zwar nicht so reichlich an wie beim reinen Benzinbetrieb, lassen sich aber voraussichtlich auch nicht auf das Niveau von Motoren mit Katalysator drücken.

Wird mehr Gas gegeben, verschiebt sich das Verhältnis der beiden Treibstoffe zueinander immer mehr zugunsten des Benzins, bis bei Vollast reiner Benzinbetrieb vorliegt. Nur so läßt sich eine Leistungseinbuße vermeiden. Zwar hat Wasserstoff mehr als die 3,5fache Energiedichte von Benzin, (Energiegehalt pro Kilogramm Brennstoff), doch nimmt der vom Motor in Gasform eingeatmete Wasserstoff erheblich mehr Raum ein als das in Form kleiner Tröpfchen applizierte Benzin. Daß muß durch entsprechend weniger angesaugte Luft ausgeglichen werden, was, energietechnisch betrachtet, einen schlechteren Füllungsgrad bedeutet. Hieraus resultieren Einbußen bei

Leistung und Drehmoment von rund 30 Prozent.

Der Mischbetrieb sichert dem 280 TE nicht nur trotz seiner 1 950 Kilogramm Leergewicht eine Spitze von 185 km/h, sondern auch die Möglichkeit eines Benzin-Notbetriebs, wenn die Tanks einmal leer sind. Und das geht merklich schneller, als man das von herkömmlichen Autos kennt: Nach rund 150 Kilometer Stadtverkehr muß eine spezielle Wasserstoff-Zapfsäule angesteuert werden und je nach Fahrbedingungen auch der Benzinvorrat im ge-



Drangvolle Enge im TE-Motorraum und in der Vierventil-Tankmulde: Anschlüsse für Benzin, Wasserstoff, Wasserzu- und Rücklauf

schrumpften 35 Liter-Tank ergänzt werden.

Bei dem ebenfalls im praktischen Betrieb erprobten Transporter vom Typ 310 ist das sogar schon nach 120 Kilometern der Fall. Das liegt daran, daß dieses Auto für reinen Wasserstoff-Betrieb ausgelegt ist. Zwar wurden statt der zwei Hydridspeicher im 280 TE deren vier mit einem Gesamtgewicht von 560 Kilogramm installiert, doch entspricht die in ihnen gespeicherte Wasserstoffmenge gerade 22 Litern Benzin – etwa soviel, wie in einem

üppigen Reserve-Kanister Platz findet.

Außer der völligen Unabhängigkeit vom Erdöl und anderen flüssigen Brennstoffen kann reiner Wasserstoffbetrieb eine besonders hohe Umweltfreundlichkeit für sich verbuchen. Mangels Kohlenstoff im Treibmittel können – von Spuren infolge verbrannter Schmieröle abgesehen – keinerlei Kohlenwasserstoffe im Auspuffgas auftreten. Auch Kohlendioxid ist kein Thema mehr, wobei sich freilich die Experten noch darüber strei-

mit den Stickoxiden zu ätzen der Salpetersäure und deren Verwandten zu verbinden.

Aus diesem Grunde wird bei den Transportern durch Kühlmaßnahmen vor Ort schon die NO_x-Entstehung bekämpft: im Teillastbereich durch die erwähnte Abmagerung, was nichts anderes als eine willkommene Luftkühlung bedeutet, und durch zusätzliche Wassereinspritzung bei höherer Belastung des Motors.

Das in die Ansaugkanäle eingespritzte Wasser bremsst auch die Unart des explosiven Wasserstoff-Luft-Gemischs, schon loszugehen, wenn es in den heißen Brennraum einströmt. Solche Rückzündungen sind nicht nur der Wirtschaftlichkeit abträglich, sondern, ähnlich den klassischen Vergaserbränden, auch der Sicherheit.

Ob und wo in Zukunft Wasserstoff-Autos fahren werden, hängt von vielen Faktoren ab. In Wüstengebieten könnten beispielsweise großflächige, spiegelgespckte Wasser-

stoff-Farmen entstehen, in denen Sonnenenergie zur Elektrolyse eingesetzt wird. In Ländern mit geringer Bevölkerungsdichte, aber fruchtbarem Boden und viel Sonneneinstrahlung, erscheint der Alkoholbetrieb sinnvoller.

Ein Problem beim reinen Wasserstoffbetrieb stellt hingegen infolge der heftigen Verbrennung und der damit verbundenen hohen Brennraumtemperaturen der Faktor Stickoxid dar, denn unter den genannten Bedingungen reagieren die Luftbestandteile Sauerstoff und Stickstoff besonders gierig miteinander. Ein Katalysator im Auspuff könnte die Sache nicht entschärfen, weil im Abgas ja kein CO enthalten ist, mit dem sich das Stickoxid wieder zu Stickstoff reduzieren ließe. Und der Wasserdampf hat nichts anderes im Sinn, als sich

In der Bundesrepublik geht das freilich nicht: Um den vorhandenen Fahrzeugbestand zu betreiben, müßte die gesamte Republik in einem gigantischen Rübenacker umfunktioniert werden. Es bliebe gerade noch etwas Platz für Autobahnen, auf denen man den Sprit dann verfahren könnte. Mit dem Wasserstoff aus der Wüste sind wir da sicher besser bedient, schon weil der Geist aus der Flasche diesmal ein guter Geist ist. *Heinrich Sauer*