



Mit einem Wasserstoff-betriebenen Wankelmotor hatte Mazda beim RX-8 Hydrogen RE keinen Erfolg.

PD

Zweite Chance für Wasserstoff

Vor mehr als zehn Jahren versuchten BMW und Mazda, den Verbrennungsmotor nicht mehr mit Benzin oder Diesel zu befeuern. Nun kehrt das alternative Konzept zurück – mit durchaus guten Chancen. VON STEPHAN HAURI

Der V12-Motor im BMW Hydrogen 7 des Jahres 2006 verarbeitete in seinen Verbrennungsräumen tiefkalt gespeicherten Wasserstoff. Mit sechs Litern Hubraum erreichte er damit eine Maximalleistung von 260 PS und ein Höchst Drehmoment von 390 Nm. Die einzigen Abfallprodukte aus dieser Verbrennung waren Wasser in Dampfform und Stickoxide, die bei heisser Verbrennung aus dem in der Luft enthaltenen Stickstoff entstehen. Als bivalentes Triebwerk war der Motor aber auch in der Lage, direkt eingespritztes Benzin zu verarbeiten. Mit 8 Kilogramm Wasserstoff und 74 Litern Benzin erreichte der Wasserstoff-Siebener eine Autonomie von 200 plus 500 Kilometern. Seine Fahrleistungen waren jedoch bei einem Leistungsgewicht von 9,4 Kilogramm pro PS eher bescheiden. Da der Motor bei Vollast mit stöchiometrischem Gemisch ($\lambda = 1$) betrieben wurde, reichte der normale Dreiwegkatalysator für die Entgiftung der NOx-Emissionen. Die bei Teillast mit stark abgemagertem Gemisch entstehende Stickoxidmenge war angesichts der damals gültigen Emissionsgrenzwerte problemlos. Ende der nuller Jahre war der Druck der Abgasgesetzgebung noch nicht sehr gross, eine Wasserstoff-Infrastruktur war nicht vorhanden, und zudem stand die Finanzkrise bevor. Das alles bedeutete das Ende der Weiterentwicklung dieser Technik bei den Bayern.

Der kleine japanische Hersteller Mazda, bekannt für unkonventionelle technische Lösungen, widmete sich dem wasserstoffbetriebenen Verbrennungsmotor ebenfalls über längere Zeit. Mit dem Drehkolbenmotor wollte man die gegenüber dem Hubkolbenprinzip besseren thermodynamischen Verhältnisse ausnutzen. Aber auch der Wankelmotor vermochte den Sportwagen RX-8 Hydrogen RE nicht auf die Erfolgsstrasse zu führen. Heute hält man es höchstens

«Der Wirkungsgrad eines Wasserstoff-Verbrennungsmotors ist nahe bei dem eines Brennstoffzellenfahrzeugs, die Kosten sind aber einiges geringer.»

Patrik Soltic
Techniker bei der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa)

noch für möglich, dass das kleine Wankel-Aggregat, das demnächst als Range-Extender in Elektroautos der Marke zum Einsatz kommen wird, dereinst mit Wasserstoff alimentiert werden könnte.

Start bei Nutzfahrzeugen

Bis heute herrscht im Bereich des Personenwagenantriebs mit Wasserstoffverbrenner eine Flaute. Das könnte sich jedoch bald einmal ändern, dies glaubt man zumindest beim Entwicklungsunternehmen Keyou GmbH in Unterschleißheim bei München. Dort arbeitet eine Belegschaft von rund vierzig Mitarbeitern an der Renaissance des Wasserstoffmotors. Einige der Entwicklungsingenieure – unter ihnen CEO Thomas Korn – sind ehemalige BMW-Techniker,

die bei der Entwicklung des Hydrogen 7 massgeblich beteiligt waren.

Weiterentwickelte Brennverfahren mit Extrem-Magerbetrieb bis $\lambda = 5$ und, falls nötig, die zusätzliche Abgasentgiftung lassen einen serienmässigen Einsatz des Wasserstoffverbrenners heute wieder realistisch erscheinen. Mit den aktuellen Entwicklungen zeigt Keyou, wie durch eine neu abgestimmte Kombination von Turboaufladung, Wasserstoffeinblasung und Abgasrückführung ein Dieselmotor zu einem schadstofffreien Wasserstoffmotor gemacht werden kann. Zentral ist dabei besonders das Niveau von Wirkungsgrad und Leistungsdichte. Je nachdem, wie mager der Wasserstoffmotor betrieben werden soll, wartet er mit ungefähr gleicher oder sogar mit etwas höherer Leistungsdichte auf als das Dieselpendant. «Wir werden aus strategischen Gründen mit Wasserstoffmotoren im Nutzfahrzeugsektor einsteigen. Mittelfristig wollen wir aber auch im PKW-Markt Fuss fassen. Anfragen seitens dieser Hersteller gibt es schon heute», sagt Korn. «Unsere Technik ist skalierbar, also herstellerunabhängig und unabhängig von Motorgrösse und Fahrzeug.» Laut Korn kann das Konzept auf Kundenwunsch auch für den Bi-Fuel-Betrieb oder für Hybridlösungen ausgelegt werden. Ebenfalls in Entwicklung befindet sich ein spezieller Wasserstoffkatalysator, mit dem sich zukünftige, noch strengere Emissionsvorschriften erfüllen lassen.

Mehrere Fahrzeughersteller und Motorenbauer betrachten heute den Wasserstoffverbrenner als schnelle und kostengünstige Möglichkeit zur Reduktion der Schadstoffemissionen. In Zusammenarbeit mit der Keyou GmbH entwickeln sie Wasserstoff-Antriebsstränge der neuen Generation. Als ersten Partner konnte Keyou Deutz ins Boot holen. Gemeinsam mit dem Motorenbauer arbeiten die Süddeutschen an

einem 7,8-l-Sechszylinder-Reihenaggregat. Der Wasserstoffmotor soll mit einem Wirkungsgrad von bis zu 45 Prozent sehr effizient sein. Geplant ist, dass er Anfang 2021 zu Testzwecken auf die Strasse kommt. Mit einem Westschweizer Partner aus dem Offroad-Baumaschinen-Bereich



Thomas Korn
CEO der Keyou GmbH

reich sind ebenfalls Entwicklungsarbeiten an einem grossvolumigen Motor im Gange – und demnächst spruchreif. Ausserdem laufen Gespräche mit zwei chinesischen Herstellern.

Empa forscht an Gasmotoren

Antriebsstränge auf Wasserstoffbasis sind auch in der Schweiz ein aktuelles Thema. Die Empa in Dübendorf forscht seit einiger Zeit an Gasmotoren, die als Treibstoff eine Mischung aus Methan (CH_4 , Erdgas) und Wasserstoff verwenden. Der Empa-Techniker Patrik Soltic hält den Wasserstoffverbrenner für eine gute Alternative zum Diesel und zum Brennstoffzellenauto. «Der Wirkungsgrad eines Wasserstoff-Verbrennungsmotors ist nahe bei dem eines Brennstoffzellenfahrzeugs, die Kosten sind aber bedeutend geringer», hält er fest. Waren früher die hohen Verbrennungstemperaturen und die daraus folgenden hohen NOx-Emissionen kaum zu beherrschen, sei dies heute mit neuen Verbrennungsverfahren und moderner Denox-Abgas-

nachbehandlung kein Problem mehr, erklärt der Motorenspezialist.

Im Vergleich dazu mit der grossen Kelle richten die Partner Hyundai und H2 Energy an, allerdings auf der Elektroschiene. Sie wollen in den nächsten Jahren eine stattliche Anzahl Lastwagen mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Antrieb auf unsere Strassen bringen. Philipp Dietrich, der CEO des schweizerischen Energieunternehmens H2 Energy, betont auf Anfrage, dass sein Unternehmen den Wasserstoff im Transportsektor ausschliesslich für den Brennstoffzellen-Elektroantrieb einzusetzen gedenke: «Wir sehen seit mindestens zwei Jahren, dass sich einzelne Hersteller mit dem Wasserstoff-Verbrennungsmotor befassen. Da der Wirkungsgrad halt nicht am Carnot-Prozess vorbeikommt, stellt sich die Frage, welche Reichweite mit einem machbaren Tankvolumen erzielbar ist. Mit anderen Worten: Wir beschränken uns auf die Brennstoffzellenantriebe.»

Grundsätzlich beurteilen die Entwickler bei Keyou auch die Kostensituation als gut. Der Wasserstoffverbrenner lässt sich vergleichsweise kostengünstig produzieren, weil man auf bestehende Produktionseinrichtungen zurückgreifen kann und weil in manchen Fällen die teure Abgasnachbehandlung entfällt. Das Team aus Unterschleißheim rechnet damit, dass sich der in Serie produzierte Wasserstoffmotor langfristig sogar günstiger als der Dieselmotor herstellen lässt.

Keyou hat auch schon TCO-Berechnungen (Total Cost of Ownership, Gesamtkosten des Fahrzeugbetriebs) für Lastwagen durchgeführt und herausgefunden, dass Fahrzeuge mit Wasserstoffmotor über die gesamte Laufzeit kostengünstiger betrieben werden könnten als Dieselfahrzeuge, sofern sie als emissionsfreie Fahrzeuge von der Maut befreit würden. Und dies wird derzeit mit der Politik besprochen.