

**FEUER UND**

**FLAMMME**

Fast schon totgesagt ist der Verbrennungsmotor. Doch mit Wasserstoff als Sprit hätte er – speziell im schweren Fernverkehr – der Batterie sowie der Brennstoffzelle einiges voraus.

TEXT | Michael Kern FOTOS | Archiv Kern, Karl-Heinz Augustin, CEP, Daimler, Keyou

**D**ie Vorgabe ist gepfeffert: Um 15 Prozent soll der CO<sub>2</sub>-Ausstoß von schweren Lkw und Bussen gegenüber heute bis zum Jahr 2025 sinken. Bis 2030 sollen es sogar 30 Prozent sein.

So lautet der im April erklärte Wille der EU, die in dieser Hinsicht alles andere als ein Papiertiger ist. Denn wer da als Hersteller nicht mitkommt, dem winken saftige Strafen. Die Rede ist anfangs – je Lkw – von 4.250 Euro pro überzogenem Gramm, ab

dem Jahr 2030 dann von sogar 6.800 Euro pro überzogenem Gramm CO<sub>2</sub> und jeweils definiertem Tonnenkilometer.

Das Tückische an dieser Sache ist: Da können sich die Motorenbauer und Aerodynamiker



**DREI GENERATIONEN MERCEDES-LKW** im Lauf eines Vierteljahrhunderts: Der Verbrauch sank im Schnitt ungefähr um ein Prozent pro Jahr.



**THOMAS KORN**  
KEYOU-GRÜNDER

## AM H<sub>2</sub>-VERBRENNER FÜHRT IM SCHWEREN FERNVERKEHR GEGENWÄRTIG KEIN WEG VORBEI.

ker noch so ins Zeug legen, sie werden es beim konventionellen Diesel kaum schaffen, die geforderte Senkung des Verbrauchs zu erreichen. Die Historie zeigt: Machbar ist ungefähr ein Prozent pro Jahr. 15 Prozent nur in fünf bis sechs Jahren hinzubekommen und noch mal 15 Prozent in den fünf Jahren darauf: Davon wagen selbst die größten Optimisten nicht zu träumen.

Die EU lässt das kalt. Denn Sinn dieser Grenzwerte ist vielmehr auch, nicht nur den Diesel nach Kräften zu verschlanken, sondern zugleich den Weg zu ebnen für alternative Antriebe, die gar kein CO<sub>2</sub> oder nur ganz wenig Kohlenstoffdioxid von sich geben.

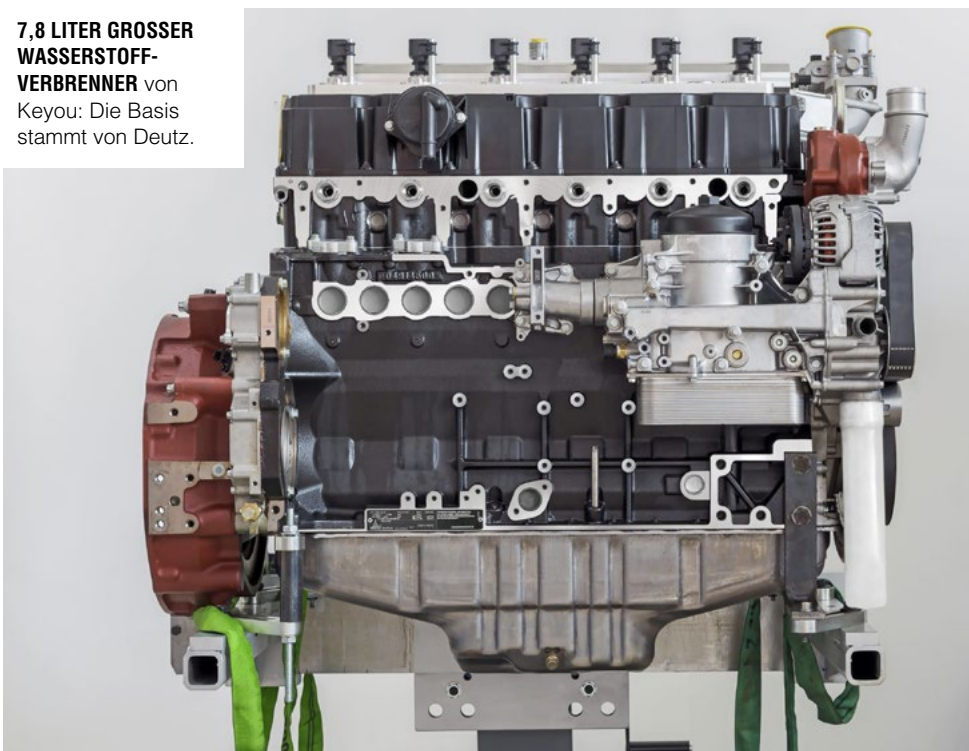
Solche Fahrzeuge gehen – bis zu einer limitierten Gesamtmenge – als Bonus mit einem maximalen Faktor von 2 in die Gesamtrechnung ein, die die EU den Herstellern nach einem ganz bestimmten und hochkomplizier-

ten Schlüssel für ihre gesamte Produktion aufmacht. Eine pikante Note verleiht der Sache nun der Umstand, dass der Schwarze Peter weder beim Fahrer noch beim Transportbetrieb, sondern beim Fahrzeughersteller liegt. Es ist nämlich seine Sache, die emissionsfreien Fahrzeuge so attraktiv anzubieten, dass sie auch Absatz finden.

Da schaut es allerdings mau aus sowohl beim batterieelektrischen Antrieb als auch bei der Brennstoffzelle. Sie kommen alle beide nicht so recht in die Puschen. Und ihre Eignung für den Fernverkehr, so stellt sich immer mehr heraus, ist erst recht zweifelhaft. Mit hohen Kosten, beschränkter Reichweite oder eben deftigen Abstrichen bei der Nutzlast haben beide so gut wie keine Perspektive auf der Langstrecke.

Doch akzeptiert die EU als Dritten im Bunde der emissionsfreien Antriebe noch eine

**7,8 LITER GROSSER WASSERSTOFF-VERBRENNER** von Keyou: Die Basis stammt von Deutz.



## Rechenexempel

Bei 210.000 Euro könnte nach Ansicht von Keyou der Preis für eine fernverkehrstaugliche Sattelzugmaschine liegen, sobald die Serienproduktion erst einmal angelaufen ist. Zum Vergleich: Die Einstandskosten für den Diesel-Lkw liegen bei 80.000 bis 100.000 Euro. Und trotzdem ist Keyou-Chef Thomas Korn davon überzeugt, dass die Gesamtkosten über eine Million Kilometer sogar trotz höherer Kraftstoffkosten schon für die erste Generation der H<sub>2</sub>-Motoren durchaus die gleichen sein werden wie bei einem Diesel.

Dank Befreiung von der Maut fallen über die gesamte Nutzungsdauer allein für die Straßenbenutzungsgebühr knapp 190.000 Euro weniger an. Auch bei Wartung und Reparatur könnte noch etwas zu holen sein. So ließen sich also jene 90.000 Euro gut verkraften, die der H<sub>2</sub>-Verbrenner auf eine Million Kilometer mehr an Spritkosten verschlingt als ein Diesel. Zugrunde liegt ein Preis von fünf Euro pro Kilogramm Wasserstoff, wie ihn die Anbieter bei Abnahme in größeren Mengen (circa zwei Tonnen pro Tag) heute schon aufrufen.

Wie auch immer sich die Preise für Wasserstoff sowie Diesel entwickeln werden: Bei den Betriebsgesamtkosten dürfte ein Lkw mit Wasserstoff-Verbrennungsmotor deutlich unter den Werten liegen, die für entsprechende Fernverkehrs-Lkw mit Batterie oder Brennstoffzelle anzunehmen wären.

Zu sehen ist von solchen Fahrzeugen aus realistischer Perspektive aber – und aus guten Gründen – sowieso nichts. In Sachen Fernverkehr dürfte der Zug für sie abgefahren sein.



**WIE DER CO<sub>2</sub>-AUSSTOSS** und somit der Verbrauch beim Diesel sich ab dem Jahr 2025 im Vergleich zu heute verhalten werden, darauf hat die EU ab sofort ein äußerst waches Auge.

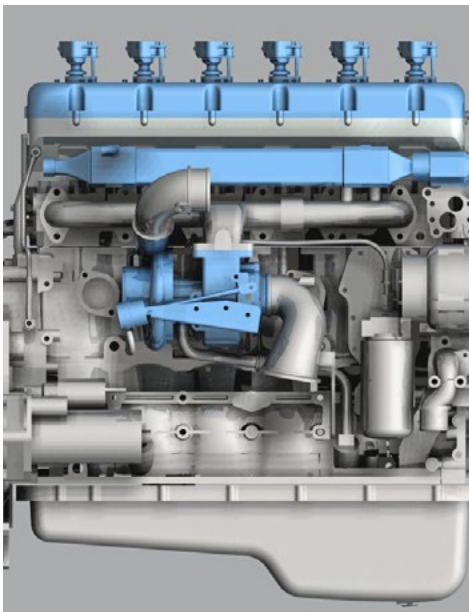


weitere Technik, die ebenfalls Wasserstoff als Kraftstoff nutzt: den H<sub>2</sub>-Verbrennungsmotor. Wie die Brennstoffzelle wandelt der Wasserstoffmotor das Gas in simples H<sub>2</sub>O um, geht dabei aber – nicht anders als ein Diesel oder Benziner – per klassischer Verbrennung zu Werke. Dieses zündkerzenbasierte Verfahren hat von vornherein den enormen Vorteil, dass das gesamte Besteck, auf dem solch ein Motor fußt, im Prinzip bereits vorhanden ist: vom Grundmotor bis zu all den Teilen drumherum, die bei der Zulieferindustrie das Sortiment bevölkern.

Am Wasserstoffverbrenner arbeiten derzeit wahrscheinlich alle großen Hersteller. Richtig aus der Deckung gewagt hat sich bis heute aber nur ein 35 Mann starkes Start-up namens Keyou, das einen ersten Prototyp auf Basis eines deutschen Diesels mit 7,8 Liter Hubraum bereits gezeigt hat. An weiteren

**SEHR MAGERE VERBRENNUNG** bedeutet wenig NO<sub>x</sub>, aber auch geringe Temperatur. Der Turbo muss deswegen ganz speziellen Voraussetzungen genügen.

**ZÜNDKERZEN BRINGEN DIE VERBRENNUNG** beim äußerst leicht entzündlichen Wasserstoff in Gang.



## Wo tanken, wie bunkern?

Hauptsächlich zwei Schwächen teilt der H<sub>2</sub>-Verbrenner-Lkw mit der Brennstoffzelle, die alle beide so schnell auch nicht aus der Welt zu schaffen sein werden. Da ist zum einen die Frage nach der Infrastruktur. Obwohl Wasserstoffzapfstellen relativ leicht in übliche Tankstellen integrierbar sind, gibt es derzeit erst knapp 80 Stationen in Deutschland. Deren Zahl wird auch bis 2023 erst vermutlich bei vielleicht 400 Stück liegen.

Allerdings setzt sich zunehmend die Erkenntnis durch, dass die Produktion von Wasserstoff der wahrscheinlich intelligenteste Weg ist, überschüssige Energie zu speichern. So kommt es, dass heute schon ungefähr die Hälfte des erhältlichen Wasserstoffs aus regenerativen Quellen stammt und die Produktion zunimmt. Überhaupt können sich Flottenbetreiber relativ leicht eine eigene Station auf den Hof stellen.

Kritischer ist aber die zweite Frage, wie denn der Lkw genügend Wasserstoff für längere Touren bunkern soll. Die heute erhältlichen Behälterlösungen erschöpfen sich in kleinen Einheiten von ungefähr je sieben Liter Fassungsvermögen für jeweils rund fünf Kilogramm Wasserstoff. Zu rechnen ist für den 40-Tonner aber mit einem Verbrauch von rund zehn Kilogramm pro 100 Kilometer.

Da wird es schon happig, vor allem bei Sattelzugmaschinen, genügend Platz zu schaffen. „600 bis 900 Kilometer Reichweite“, sagt Keyou-Chef Thomas Korn, „trauen wir uns mit der gegenwärtigen Technik zu.“ Bis zu 1.200 Kilometer stellt er in Aussicht, „wenn der Trailer als Hort für die Tanks mit einbezogen wird“ oder falls – wie bei LNG – verflüssigter Wasserstoff ins Spiel kommt.

Wären 3.000 Kilometer, wie mit einem dicken Dieselfass am Rahmen, jemals möglich? Da winkt Thomas Korn ab und sagt: „1.000 Kilometer sind überraffbar, aber 3.000 Kilometer sind dann endgültig Vergangenheit.“

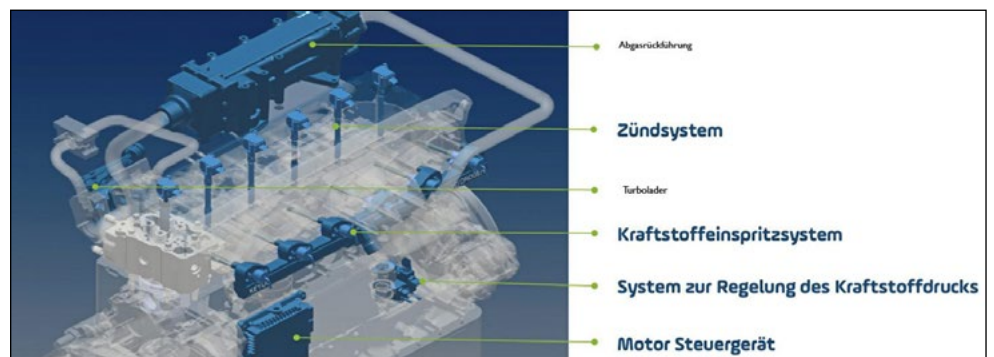


Maschinen – auch mit mehr Hubraum – arbeitet Keyou bereits, will Details aber noch nicht preisgeben.

Doch schon das Beispiel des Deutz-Aggregats zeigt, was sich inzwischen bei dieser Technik alles getan hat. Da gab es zum Beispiel vor anderthalb Jahrzehnten mal einen ersten H<sub>2</sub>-MAN-Busmotor: 12,8 Liter großer Sauger mit knapp über 200 PS. Heute aber: 7,8-Liter-Wasserstoffturbo mit einer Leistung von immerhin 245 PS. „Das ist die doppelte spezifische Leistung“, bringt Keyou-Chef

Thomas Korn den erreichten Fortschritt auf den Punkt, um sogleich als das noch größere Highlight anzufügen: „Und den Verbrauch haben wir halbiert.“

Wie geht denn das? „Anfangs hatten wir sozusagen einen kastrierten Motor“, blickt Korn zurück, „weil man versucht hatte, die gängigen Brennverfahren für Otto oder Diesel einfach aufzupropfen.“ Das inzwischen entwickelte Brennverfahren aber arbeitet nun mit artgerechtem, wesentlich höherem Luftüberschuss (Lambda 2 und mehr). Das hat meh-



**EIN WASSERSTOFF-VERBRENNER ERFORDERT** – vom Zündsystem über die Spritzzufuhr bis zu Turbo und Steuerung – spezielle Komponenten.



**DÜNN GESÄT SIND** öffentliche Wasserstofftankstellen. Als Alternative bietet sich die Installation einer eigenen Station auf dem Betriebshof an.

rere Vorteile. So braucht es zur Kontrolle der  $\text{NO}_x$ -Emissionen zum Beispiel keinen Dreizeckkat mehr, weil die Verbrennung nun so kühl vonstattengeht, dass „Stickoxide in nennenswertem Maße erst gar nicht mehr entstehen“, wie Thomas Korn sagt.

Die Schattenseite dieser kühlen Verbrennung ist allerdings, dass herkömmliche Turbos damit nicht so recht auf Touren kommen wollen. Also hat Keyou für aufgeladene  $\text{H}_2$ -Verbrenner eben auch einen artgerechten Turbo entwickelt. Insgesamt ist es ein ganzes Bündel an Komponenten, das aufgrund der speziellen Eigenschaften von Wasserstoff an die neue Technik anzupassen war. All das gibt im Verein mit einer neuen Software für

Brennverfahren und Motorkalibrierung nun ein Paket, das sich relativ schnell auf einen Diesel-Grundmotor aufsetzen lässt und diesen zu einem Zero-Emission-Wasserstoffverbrenner macht. Allerdings liegen sowohl maximale Leistung als auch maximales Drehmoment doch ungefähr um 30 Prozent unter den Werten, die der Diesel erreicht. „Noch arbeiten wir mit äußerer Gemischbildung“, benennt der Keyou-Chef den Grund für diese relativ geringe Leistungsausbeute.

Folge davon: Soll der  $\text{H}_2$ -Motor den heute bei schweren Lkw üblichen 13-Liter-Motoren ebenbürtig sein, müssen erst mal schon 14 bis 15 Liter Hubraum her. Kommt da etwa ein Revival der Big Blocks? Könnte schon sein.

Der Wasserstofftechnik ist es jedenfalls herzlich egal, ob 8 oder 16 Liter Hubraum unter ihr arbeiten. „Frei skalierbar“ nennen die Techniker solch eine Universalität, die natürlich sehr willkommen ist.

Aber geht es nicht auch etwas effizienter, auf dass es bei den heute üblichen Motorgrößen bleiben kann und der Big Block eben weiterhin für Leistungen von mehr als 600 PS gut ist? „Ja“, sagt Thomas Korn und verweist auf die im Hause bereits in der Pipeline befindliche Direkteinspritztechnik. „Die wird die Leistungslücke wieder schließen“, stellt er in Aussicht. Er fügt jedoch an: „Im Moment ist es aber so, dass die Zeit rennt und wir die erste Generation serienreif bekommen müssen.“

Das Jahr 2025 ist nicht so weit weg. Und auch wenn das Wasserstoffkonzept von Keyou relativ einfach auf einen Diesel-Grundmotor aufzusetzen ist, braucht es bis zur Serienreife doch eine Weile. Drei Jahre sind locker anzusetzen. Viel Zeit bleibt also nicht, bis sich anno 2025 das Fallbeil der  $\text{CO}_2$ -Grenzwerte samt drohenden Strafzahlungen bei Überschreitung erstmals senkt – und ab 2030 in voller Schärfe zuschlägt. 🚚



**EXTREME REICHWEITEN** wie mit großen Dieselfässern sind mit Wasserstoff nicht zu erreichen. Aber mehr als 1.000 Kilometer müssten mit verflüssigtem  $\text{H}_2$  und entsprechenden Tanks schon drin sein.



## Zu kurz gesprungen

Interessant, was die heutigen Regularien als „zero-emission heavy-duty vehicle“ definieren: Es zählt einzig, was hinterher an  $\text{CO}_2$  beim Fahrzeug rauskommt, und keineswegs auch das, was vorher in der Produktionskette an  $\text{CO}_2$  in den Antrieb oder Kraftstoff hineingesteckt wurde. Weniger als ein Gramm Kohlenstoffdioxid pro kWh lautet die Obergrenze, um als besonders grün im Sinne von „emissionsfrei“ zu gelten. Das erfüllt ein  $\text{H}_2$ -Verbrenner ebenso locker wie ein Batterie- oder Brennstoffzellenfahrzeug.

Doch Vorsicht. Was ist, wenn der Strom für die Batterie aus einem Braunkohlekraftwerk stammt? Dann ist es schnell vorbei mit der grünen Herrlichkeit. Und auch für die Produktion von Wasserstoff per Elektrolyse gilt, dass da ordentlich Energie hineinstecken ist. Für die Herstellung per Elektrolyse schwanken die Angaben – je nach Art der Anwendung und Reinheit des gewonnenen Gases – zwischen 45 und 60 kWh pro Kilogramm hergestellten Wasserstoffs.

So greift das derzeitige Regelwerk, ganz aufs sogenannte lokal Emissionsfreie fixiert, also viel zu kurz. Doch mahlen die Mühlen der Politik eben langsam, und es bleibt den Herstellern im Hinblick aufs Stichdatum 2025 gar nichts anderes übrig, als sich an diese Vorgaben zu halten.

Ändern könnte sich das aber schon ab 2022/2023. Für diese Zeit ist eine Revision der Regeln angekündigt, die eventuell weitblickender verfährt. Zu einem großen Thema dürften dann synthetische Kraftstoffe werden, die ebenfalls auf dem Wasserstoff basieren, der aber mit Kohlendioxid verbunden wird und als Syn-Fuel dann Eigenschaften wie Benzin oder Diesel hat. Nachteil dabei: Auch das ist sündhaft teuer. Und wie das Ganze in industriellem Maßstab zu produzieren wäre, das steht noch in den Sternen.

Von solchen Kraftstoffen könnte dann allerdings nicht nur die Lkw-Bestandsflotte profitieren, für die wieder die gewohnten Reichweiten in greifbare Nähe rücken würden. Sinnvoll ist das speziell für den gesamten Bereich der Schiff- und Luftfahrt, der hohe Reichweiten unter dem Motto „zero emission“ auf andere Weise gar nicht vernünftig realisieren kann.

**TESTREDAKTEUR MICHAEL KERN**

