



## Motoren, Material und Moleküle

*Saubere und sparsame Autoantriebe - nur eine Sache für Maschinenbauer und Fahrzeugtechniker? Nein, auch die chemische Forschung mischt kräftig mit.*

Ein Gemisch aus brennbarem Gas und Luft schießt in den Raum. Dort wird es entzündet - und dehnt sich schlagartig aus. Doch die entstehende Druckwelle zerstört den Raum nicht: Eine der Seitenwände ist beweglich und wird ein Stück weit fortgeschoben, wobei sich der Raum vergrößert. Danach kehrt die Wand in ihre Ausgangsposition zurück.

Kenner ahnen sofort: Die Rede ist von einem Motor. Der Raum heißt Zylinder, die bewegliche Seitenwand Kolben. Eine metallische Konstruktion, der Pleuel, setzt das Gleiten des Kolbens in die Drehung der Kurbelwelle um. Diese Rotation wird auf die Räder übertragen: Schon rollt das Auto. Und zwar nach einem Prinzip, das schon das Gefährt der Erfindergattin Berta Benz antrieb, als sie 1888 zur ersten Langstreckenfahrt der Automobilgeschichte - 100 Kilometer - aufbrach.

Seitdem wurde die Technik des Verbrennungsmotors immer weiter verfeinert. „Die Alternative zum heutigen Benzinmotor ist, auch wenn es langweilig klingt, ein besserer Benzinmotor“, sagte 2003 der damalige VW-Vorstandsvorsitzende Bernd Pischetsrieder. Sein Spruch wird, wie es scheint, trotz Alternativen wie Hybrid- und Brennstoffzellenantrieb noch einige Jahre seine Gültigkeit behalten.

In den Anfangstagen des Automobils ging es den Tüftlern noch darum, dass nicht - wie bei der Fahrt von Berta Benz - an jeder Steigung die Söhne schieben mussten. Heute erwartet die Gesellschaft weit mehr von der Fahrzeugbranche als nur ein ständiges Plus an Leistung und Zuverlässigkeit - mit Recht. So dürfen Autos in der gesamten EU seit 1992 nicht mehr unbegrenzt gesundheitsgefährdende und umweltbelastende Schadstoffe in die Luft pusten.

Dabei sind die Grenzwerte immer wieder verschärft worden: Benzingetriebene Pkw etwa stoßen nach der derzeit gültigen „Euro 4“-Richtlinie nur noch rund ein Fünftel so viel Stickoxide und Kohlenwasserstoffe aus wie nach „Euro 1“. Die zulässigen Feinstaub-Emissionen von Diesel-Pkw sanken parallel sogar auf ein Vierzigstel. Nach den Plänen der EU-Kommission sollen die Autohersteller den durchschnittlichen Kohlendioxid-Ausstoß ihrer Fahrzeugflotte bis 2012 auf 130 Gramm je gefahrenen Kilometer senken - heute liegt dieser Wert im europäischen Mittel bei rund 160 Gramm.

Zunächst ließen sich die Anforderungen noch erfüllen, indem man die Abgase herkömmlicher Motoren reinigte - mit Hilfe eines „Kats“. Ein solcher Abgas-Katalysator ist eine Chemiefabrik im Taschenformat: Seine stählerne Hülle enthält einen meist keramischen Körper mit wabenförmig angeordneten Kanälen. Sie sind mit einem sehr porösen Material belegt, wodurch sich die Oberfläche der Kanäle um rund das 7000-Fache vergrößert. So können die Abgase nicht hindurchströmen, ohne mit den eigentlich aktiven Katalysator-Komponenten - fein verteilte Edelmetalle wie Platin, Palladium oder Rhodium - in Kontakt zu treten. Beim klassischen Dreiwege-Kat werden dabei die Schadstoffe Kohlenmonoxid, Stickoxide und Kohlenwasserstoffe abgebaut.

„Anders als die meisten Katalysatoren in Chemieanlagen oder Kraftwerken müssen Auto-Kats sowohl Fahrzeugerschütterungen verkraften als auch rasch wechselnde äußere Bedingungen, beispielsweise bei der Strömungsgeschwindigkeit“, sagt Thomas Kreuzer, Forschungsleiter Autoabgas-Katalysatoren beim Unternehmen Umicore in Hanau-Wolfgang. Sein Team vom Geschäftsbereich „Automotive Catalysts“ - früher ein Teil des Chemiekonzerns Degussa - nutzt ein ganzes Bündel von Methoden, um die Katalysatoren weiter zu verbessern und sie auf die Abgasverhältnisse des jeweiligen Motors anzupassen: Computersimulationen, Elektronenmikroskopie, moderne physikalisch-chemische Analysen.

Der Ausstoß des Treibhausgases CO<sub>2</sub> lässt sich durch den Einsatz von Katalysatoren im Abgas allerdings nicht verringern. Das geht nur, wenn man den Motoren selbst beibringt, Sprit zu sparen. Viele Automobilhersteller setzen dazu derzeit auf Ottomotoren, bei denen das Benzin statt ins Saugrohr direkt in den Zylinder eingespritzt wird. Werden sie mit einem sauerstoffreichen - Fachjargon: „mageren“ - Gas-Luft-Gemisch betrieben, verbrennen sie das Benzin besonders effizient: Mager abgestimmte Benzin-Direkteinspritzer verbrauchen rund 15 Prozent weniger Kraftstoff als normale Ottomotoren gleicher Leistung.

Was zunächst wie ein Triumph hoher Ingenieurskunst wirkt, wäre freilich ohne chemisches Know-how nur eine halbe Sache geblieben. Denn wegen des Sauerstoffreichtums der Magermotor-Abgase können herkömmliche Dreiwege-Kats die Stickoxide nicht mehr wie gewohnt vernichten. „Es gelang uns 1998 als erstem europäischem Hersteller, dieses Problem zu lösen: mithilfe sogenannter NO<sub>x</sub>-Speicher-katalysatoren“, sagt Michael Neisel, Regionalleiter Autoabgas-Katalysatoren bei Umicore.

Im Speicherkatalysator wird Stickstoffdioxid im mageren Normalbetrieb zunächst chemisch gebunden. Ist die Aufnahmekapazität des Katalysators erschöpft, stellt die Motorelektronik kurzzeitig ein fettes - sauerstoffarmes - Gemisch ein, sodass das Stickstoffdioxid in harmlosen Stickstoff umgewandelt werden kann.

Am Motor selbst gibt es weitere Stellschrauben, um zu effizienteren Autos mit geringerem CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu kommen. Eine davon ist das Gewicht des Kolbens mitsamt Bolzen, Ringen und Pleuel: Je schwerer diese Teile sind, umso mehr Energie wird benötigt, um sie zu beschleunigen - Energie, die für den Antrieb des Autos verloren ist. Ebenfalls energiefressend ist die Reibung, die zwischen den Bauteilen eines Motors auftritt. Wie sich an diesen Stellschrauben sogar gemeinsam drehen lässt, zeigt eine beispielhafte Entwicklung der Stuttgarter Automobil-Zulieferfirma Mahle. Auf spezielle Weise werden die Bolzen, die Kolben und Pleuel miteinander verbinden, beschichtet.

Normalerweise gewährleistet die Ölschmierung in einer Messingbuchse am Pleuel, dass sich der Kolbenbolzen ausreichend reibungsarm drehen kann. Mit dem neuen Bolzen und seiner extrem verschleißfesten „Diamond-like Carbon (DLC)“-Beschichtung ist es dagegen möglich, auf die Messingbuchse zu verzichten. „Dadurch kann der ganze Kurbeltrieb verkleinert und Gewicht gespart werden“, sagt Stefan Spangenberg, bei Mahle Leiter der europäischen Produktentwicklung „Zylinderkomponenten“.

Bei ihrer Produktentwicklung konnten die Stuttgarter auf die Erkenntnisse von zahlreichen grundlagenorientierten Chemikern und Verfahrenstechnikern zurückgreifen, die sich seit dem Ende der Achtzigerjahre mit den Eigenschaften und der Herstellung von reibungsarmen und harten DLC-Schichten beschäftigt haben. Diese Schichten bestehen überwiegend aus Kohlenstoff-Atomen, die ungeordnet vorliegen, aber lokal Diamant-ähnliche Bindungen eingegangen sind.

Die Experten von Mahle nutzen außerdem eine spezielle Chromnitrid-Beschichtung für die Kolbenringe, die den Brennraum abdichten. Dadurch kommen die Ringe mit weniger Schmieröl aus. „So gelangt weniger Öl in den Brennraum, und die Abgasbilanz verbessert sich“, erläutert Spangenberg. Bei den Motoren gemäß Euro-5-Richtlinie, die derzeit in der Entwicklung sind, wird der Ölverbrauch auf rund 0,05 Gramm pro Kilowatt und Stunde gedrückt. Das ist nur noch ein Sechstel des Verbrauchs von Euro-3-Motoren.

Auch am Kraftstoff haben die Chemiker angesetzt, um den CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Autos zu drücken. Das Problem: Aus Öl, Kraftstoff und rückströmenden Abgasen entstehen im Motor bei hohen Verbrennungstemperaturen koksähnliche oder lackartige Kohlenwasserstoff-Verbindungen, die sich bevorzugt an empfindlichen Stellen des Einlass-Systems ablagern. Am Einlassventil herkömmlicher Ottomotoren etwa verringern diese Beläge den Ansaugquerschnitt und nehmen das Benzin wie ein Schwamm auf. Die möglichen Folgen: schlechteres Kaltstartvermögen, beeinträchtigt Fahrverhalten sowie höherer Spritverbrauch und Schadstoffausstoß.

Aber es gibt Abhilfe: Die chemische Industrie stellt Stoffe bereit, die dem Kraftstoff zugesetzt werden. Diese Additive (von addieren = hinzufügen) bilden einen Schutzfilm auf den metallischen Oberflächen des Motors und verhindern so, dass sich die üblen Beläge darauf niederschlagen. Zusätzlich sind sie in der Lage, bereits gebildete Ablagerungen auszuwaschen.

„Tests mit Autofloten haben gezeigt: Additive senken den durchschnittlichen Ausstoß an unverbrannten Kohlenwasserstoffen, Kohlenmonoxid und Stickoxiden um bis zu 19 Prozent und den an Kohlendioxid um durchschnittlich 2 Prozent“, sagt Marc Walter, Leiter „Strategisches Marketing und Produktentwicklung Kraftstoffadditive“ bei der BASF AG.

Doch die Branche entwickelt nicht nur Zusätze, sondern auch neue Sprit-Varianten. Sie hat ein Verfahren wiederentdeckt, das vor 82 Jahren in Deutschland erfunden wurde: die Fischer-Tropsch-Synthese, mit der sich aus Erdgas flüssige Kraftstoffe herstellen lassen. Sie sind nahezu farb- und geruchlos sowie absolut frei von Schwefel und Benzol. Anders als herkömmlicher Sprit, der aus natürlichem Rohöl unterschiedlicher Lagerstätten stammt, ist der synthetische Kraftstoff immer von gleicher Qualität. Chemiker können seinen Siedepunkt, seine Cetanzahl - ein Maß für die Zündwilligkeit - und weitere Eigenschaften exakt einstellen. Shell beispielsweise mischt solchen „Designerkraftstoff“ seinem V-Power Diesel zu.

Auf den ersten Blick bringt der Designerkraftstoff für die Kohlendioxid-Bilanz nichts, da Erdgas wie Erdöl ein fossiler Brennstoff ist. Und doch: Seine berechenbaren Eigenschaften ermöglichen Motortechnologien wie das „Combined Combustion System“, das die geringen Schadstoff-Emissionen eines Benziners mit dem sparsamen Verbrauch eines Diesels verbindet. Außerdem kann man mit dem Fischer-Tropsch-Verfahren auch das Erdgas nutzen, das im Verlauf der Erdölgewinnung bislang oft lediglich abgefackelt wird.

Vor allem aber ist der Weg vom „Synfuel“ zum „Sunfuel“ nicht weit: Statt Erdgas lässt sich auch Biomasse in hochwertige Designerkraftstoffe umwandeln. So bildet Shell eine Zweckgemeinschaft mit dem Freiburger Unternehmen Choren, das über eine patentierte Technologie verfügt, um zum Beispiel Restholz oder Stroh in Synthesegas umzuwandeln.

Das Unternehmen Choren im sächsischen Freiberg geht jetzt mit der weltweit ersten kommerziell betriebenen BTL-Anlage in industriellem Maßstab an den Start: Der dort produzierte Kraftstoff soll dann den Jahresbedarf von mindestens 15000 Pkw decken.

