

Gas geben gegen Kohlendioxid

Das Treibhausgas rückt ins Visier der Personenwagenhersteller

Dank Katalysator, Abgasrückführung und elektronischer Steuerung werden Autoabgase bald praktisch keine Schadstoffe mehr enthalten. Jetzt konzentrieren sich die Entwickler auf Motoren, die möglichst wenig Kohlendioxid ausstossen.

Guido Santner

Der Empa-Forscher Christian Bach träumt von der idealen Verbrennung: Statt Feuerfronten, die sich durch den Brennraum eines Automotors fressen, soll sich ein homogenes Gemisch von Luft und Treibstoff spontan zur richtigen Zeit entzünden. Denn auf der Vorderseite der Feuerfront heutiger Motoren herrschen hohe Temperaturen, die Stickoxid entstehen lassen. Dieses muss im Katalysator aus den Abgasen entfernt werden. Auf der Rückseite der Front sind die Temperaturen aber niedrig, und es kann Russ entstehen, wenn der Sauerstoff fehlt.

Sauberer mit neuen Normen

Im Empa-Labor für Verbrennungsmotoren, das Bach leitet, steht ein halbseziertes Auto: «Wir kombinieren einen Erdgas- mit einem Elektromotor zu einem Hybridantrieb.» In einem Nebenraum fährt ein Mitarbeiter Bachs einen Testzyklus mit einem Benzinauto auf dem Rollprüfstand. «Heute messen wir oft Fahrzeuge, deren Stickoxid-Gehalt in den Abgasen tiefer ist als in der angesaugten Umgebungsluft», sagt Bach. Das Stickoxid führte in den 1980er Jahren zum sauren Regen und zu einer hohen Ozonbelastung, bevor die Katalysatoren eingeführt wurden.

Wenn 2015 die neue Abgasnorm Euro-6 in Kraft tritt, sind laut Bach sowohl Benzin- als auch Dieselfahrzeuge

im normalen Betrieb so sauber, dass sie praktisch keine Schadstoffe mehr ausstossen werden.

Der Fokus liegt nun auf CO₂

Bis auf das Kohlendioxid (CO₂). Das Treibhausgas ist für den Menschen zwar nicht direkt gefährlich, erwärmt aber das Erdklima. «Heute arbeiten wir an Konzepten für Antriebe, die möglichst wenig CO₂ ausstossen», sagt Bach. Deshalb steht der Erdgas-Hybrid im Labor: Erdgas produziert bei der Verbrennung aufgrund seiner Zusammensetzung ein Viertel weniger CO₂ im Vergleich zum Benzin. Es besteht zur Hauptsache aus Methan, dessen Molekül aus einem Kohlenstoff- und vier Wasserstoffatomen besteht. Benzin hingegen besteht aus längeren Kohlenwasserstoffketten, der Anteil an Kohlenstoff ist entsprechend grösser. Allein durch den Wechsel von Benzin auf Erdgas stösst ein Motor also weniger CO₂ aus.

Der Elektromotor im Erdgas-Hybrid dient dazu, die Bremsenergie im Stop-and-go-Verkehr zurückzugewinnen. Er arbeitet beim Bremsen als Generator und speichert die Energie in einer Batterie. Beim Anfahren unterstützt der Elektromotor den Verbrennungsmotor. In einem durchschnittlichen Fahrprofil, einer Mischung zwischen Stadt, Land und Autobahn, stösst der Erdgas-Hybrid im Vergleich zu einem modernen Benzinauto 35 bis 40 Prozent weniger CO₂ aus.

Auf Erdgas-Hybride gesetzt

«Berücksichtigt man die Aufbereitung und den Transport des Treibstoffs, sind es sogar 40 bis 45 Prozent», sagt Bach. Er ist aber auch Realist: Ein solches Konzept setze sich nur durch, wenn es für einen Mittelklasse-PW ausgelegt und nicht teurer als heutige Benzinantriebe sei.

Dies ist ein weiterer Grund, weshalb das Empa-Team in Zusammenarbeit mit zwei ETH-Instituten und einem Automobilhersteller auf den Erdgas-Hybriden setzt: Nach 180 000 Kilometern sind die geschätzten Mehrkosten von 11 000 Franken bei der Anschaffung durch die tieferen Treibstoffkosten amortisiert. Das sei vor allem für Flottenfahrzeuge interessant. Ein Benzin-Hybrid rechnet sich hingegen laut Christian Bach nicht. Er stosse zwar ebenfalls rund 20 Prozent weniger CO₂ aus als ein normaler Benzinmotor, aber finanziell lohne sich das Engagement für die Umwelt zumindest heute nicht, weil die Abgaben auf Benzin viel höher seien als jene auf Erdgas.

Alternative Druckluftspeicher

Lino Guzzella, Professor an der ETH Zürich, der am Erdgas-Hybridprojekt beteiligt ist, verfolgt deshalb noch eine andere Richtung. Bei der Mobilität müsse man globale Lösungen finden, die auch für die Mittelschicht in China oder Indien bezahlbar seien. Statt auf die relativ teuren Hybridtechnologien setzt er auf das Downsizing bestehender Automotoren. Denn die maximale Leistung muss ein Motor nur selten abgeben, etwa beim Beschleunigen auf der Autobahn. Die meiste Zeit läuft er im Teillastbereich, weit unter seinen Möglichkeiten.

Guzzella halbierte bei einem VW Polo mit Jahrgang 2009 den Hubraum von 1,39 auf 0,75 Liter. Damit das Fahrzeug gleich schnell beschleunigt, spendierte er dem Motor einen Druckluftspeicher, der über ein elektronisch gesteuertes Ventil Luft in die Brennkammer einschiesst. Der Motor hat nun dieselbe maximale Leistung, obwohl er nur halb so gross ist. Beim Bremsen füllt das Ventil den Drucklufttank. Diese Technologie liesse sich problemlos in Drittweltländern einsetzen und würde

den Treibstoffverbrauch um ein Drittel senken. Bach arbeitet eng mit Guzzella zusammen und hält dessen Konzept für eine «geniale Idee». Ein Drucktank altere im Gegensatz zur Batterie im Elektrohybriden nicht.

Christian Bach denkt aber bereits an morgen, wenn das Benzin knapp wird und Erdgas immer mehr durch einheimisches Biogas substituiert wird. Diese Gase seien optimale Treibstoffe. Die Oktanzahl von Methan, dem Hauptbestandteil von Erd- und Biogas, liege mit 130 wesentlich höher als bei Benzin. Dadurch seien Erdgasmotoren besser geeignet für die Turboaufladung, und sie erreichten somit eine gegen 10 Prozent höhere Leistung als Benzinmotoren.

Bachs Vision ist ein Erdgasmotor mit einer homogenen Kompressionszündung, in dem das Gemisch von Erdgas und Luft so stark verdichtet wird, bis es sich im Zylinder von selbst entzündet. Ein Problem ist allerdings die stark variable Oktanzahl von Erdgas, je nachdem, wo man tankt. Sie kann in Frankreich oder Spanien bei 100 liegen, in der Schweiz und Deutschland bei 130. Dies liege an der Herkunft des Erdgases und lasse sich nicht so leicht ändern, sagt Bach. Eine Lösung wäre, dem Erdgas eine geringe Menge Wasserstoff beizumischen. Der Wasserstoff dominiert nun den Zündpunkt, und das Gemisch ist unempfindlicher gegenüber Qualitätsschwankungen.

Von Vorschriften abhängig

Ob solche CO₂-arme Antriebskonzepte in nächster Zeit auf den Markt kämen, hänge stark von der Politik Europas ab, sagt Bach. Werde der CO₂-Ausstoss auf 95 Gramm pro Kilometer limitiert, wie es die EU bis 2020 vorschläge, brauche es solche neue Konzepte. «Bleibt es allerdings bei den 130 Gramm, die ab 2015 gelten, wird wenig geschehen.»

Auf den Meeren ohne schwarzen Rauch

Wie die Schifffahrt «ergrünen» soll

30 Jahre nach den Automotoren werden die Schadstoffemissionen von Schiffsdieseln limitiert. Mit Massnahmen am Motor oder mit dem Einsatz von Katalysatoren sollen Frachter künftig eine «saubere» Rauchfahne mitführen.

Guido Santner

Ein Containerschiff, das Konsumgüter von China nach Europa transportiert, fährt mit Schweröl. Die Motoren verbrennen eine dickflüssige, schwarze Brühe, die bei den Raffinerien übrig bleibt, wenn die hochwertigen Bestandteile wie Benzin und Diesel dem Rohöl entnommen worden sind. Das Schweröl enthält bis zu 4,5 Prozent Schwefel, den die Motoren in Form von Schwefeloxiden wieder ausstossen. So kommt es, dass in Kalifornien neben dem Autoverkehr die Schifffahrt für einen wesentlichen Teil der Schadstoffe in der Luft verantwortlich ist.

Strengere Standards

Bisher wurden die Emissionen von Schiffsmotoren kaum reglementiert. Erste Grenzwerte aus dem Jahr 2000 schränken die Reedereien kaum ein. Das ändert sich. Denn die Städte und Regionen machen Druck auf die Schiffseigner. Neben Kalifornien engagiert sich auch Norddeutschland: Vor Travemünde fährt der Schiffsverkehr des grössten Ostseehafens Lübeck durch den engen Kanal. Die Stadt preist sich aber gleichzeitig als Kurort an. Dies lässt sich nicht mit hohen Schadstoffkonzentrationen vereinen.

In der Nordsee ist der Schwefelanteil im Brennstoff bereits heute auf ein Pro-

zent limitiert. Ab 2015 gelten 0,1 Prozent. Auch international soll die Limite bis 2020 auf 0,5 Prozent sinken. Laut Konstantinos Boulouchos, Professor an der ETH Zürich und ebendort Leiter des Energy Science Center, diskutiert nun die Schiffsbranche, ob es sinnvoll ist, den Schwefel im Schweröl zu reduzieren, oder ob nicht eher das Schwefeloxid nach der Verbrennung auf dem Schiff mit Filtern aufgefangen werden sollte. Diese sogenannten «scrubbers» binden das Schwefeloxid im Material des Filters. Den Schwefel in der Raffinerie zu entfernen, koste viel und sei energieintensiv, sagt Boulouchos.

Die Abgase wurden bisher bei Schiffsmotoren kaum nachbehandelt. Einen Katalysator, wie er in der Automobiltechnik üblich ist, um Stickoxide zu entfernen, kennen Schiffe nicht. Stickoxide sind die zweite Form von Schadstoffen, die bei Verbrennungsmotoren entstehen. Parallel zum Schwefelanteil reduzierte deshalb die Internationale Schifffahrtsorganisation die maximale Menge Stickoxid, die ein Schiff ausstossen darf – in einem ersten Schritt um rund 20 Prozent gegenüber dem Jahr 2000.

Die Hersteller von Schiffsdieseln erwarten, dass sie die 20 Prozent alleine mit Massnahmen am Motor erreichen – ohne dass Katalysatoren nötig sind. Dies können flexible Einspritzsysteme sein, die den Kraftstoff genau zum richtigen Zeitpunkt und in der richtigen Menge bereitstellen. Hier beginnt aber das Dilemma: Wenn das Gemisch von Treibstoff und Luft optimal aufbereitet ist, läuft der Motor zwar am effizientesten, und der Russ in den Abgasen verschwindet, durch die hohen Temperaturen entsteht aber Stickoxid. Man kann also nicht gleichzeitig das Stickoxid minimieren und den Motor auf Effizienz trimmen. Letzteres wäre aber Vor-

aussetzung, wenn man den Ausstoss von Kohlendioxid (CO₂) reduzieren und sich nicht zuletzt nach den Wünschen der Konsumenten nach einem nachhaltigen Transport der Güter richten will.

Einspritzung optimieren

Ab 2016 werden in den küstennahen Gebieten, in der Nordsee oder an der Küste der USA, weit schärfere Grenzwerte für das Stickoxid gelten. Statt um 20 Prozent muss es dann um 80 Prozent reduziert werden. Die Stickoxide um 80 Prozent zu reduzieren und gleichzeitig die Effizienz der Motoren zu erhöhen, gehe nicht ohne zusätzliche Massnahmen am Motor und Katalysatoren, sagt Boulouchos. Zurzeit läuft das europäische Forschungsprojekt Herkules B, an dem Schweizer Forschungsinstitute beteiligt sind.

Am Paul-Scherrer-Institut wurde 2008 ein neuer Prüfstand mit einem Schiffsmotor in Betrieb genommen. Gleichzeitig bauten die ETH Zürich und Wärsilä in Winterthur eine optisch zugängliche Brennkammer auf, um Einspritz- und Verbrennungsvorgänge zu studieren. Daneben simulieren Wissenschaftler der ETH die Verbrennungsprozesse am Computer. So können Dutzende Varianten durchgerechnet werden, ohne dass das Budget mit teuren Motorenstunden belastet wird.

Das Dilemma zwischen Effizienz und Reduktion von Stickoxid kann gelöst werden, indem beispielsweise Wasser in den Brennraum eingespritzt wird. Das Wasser senke die Temperaturen und damit den Stickoxidausstoss, sagt Boulouchos. Die zusätzlichen Einspritzdüsen im Motor und das Mitführen des reinen Wassers auf dem Schiff seien aber teuer.

Eine zweite Möglichkeit wäre, den Motor im sogenannten Miller-Zyklus zu

betreiben: Das Lufteinlassventil bliebe länger offen, wenn in einem normalen Motor der Kolben bereits die Luft komprimieren würde. Ein Teil der Luft wird zurück in den Ansaugtrakt geschoben. Damit trotzdem die erforderlichen Drücke erreicht werden, komprimiert ein zweiter Turbolader die Luft. Was auf den ersten Blick unsinnig ist, hat den Vorteil, dass die Luft abgekühlt werden kann, bevor sie in den Motor strömt. Laut Boulouchos sinken damit die Verbrennungstemperaturen, ohne die Effizienz zu beeinflussen.

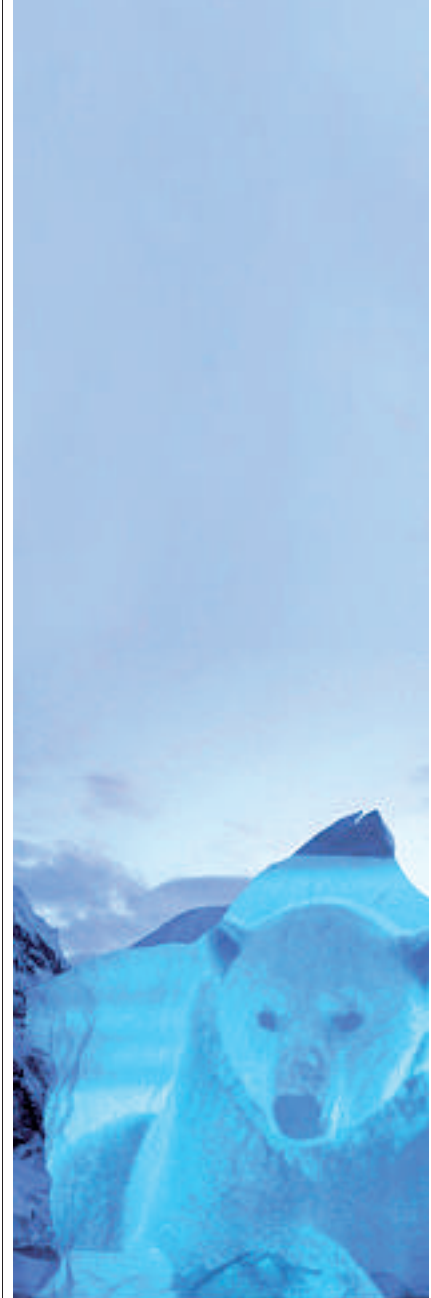
Ob die Schiffsmotoren in Zukunft mit einer Wassereinspritzung, dem Miller-Zyklus oder mit Katalysatoren betrieben werden, ist offen. Boulouchos vermutet, dass sich verschiedene Systeme durchsetzen werden. Für Kreuzfahrtschiffe, die meist Vierzylindermotoren mit hohen Abgastemperaturen haben, böten sich Katalysatoren an. Grosse Containerschiffe hingegen werden mit Zweitaktmotoren angetrieben, die systembedingt tiefere Abgastemperaturen haben. Um die Katalysatoren effizient zu betreiben, reiche die Temperatur hier nicht aus, sagt Boulouchos. Das Stickoxid müsse bereits im Motor reduziert werden.

Erdgas statt Schweröl

Die Schadstoffe könnten auch mit Erdgas als Treibstoff vermindert werden, erklärt Konstantinos Boulouchos. Erdgas stösst wegen seiner Zusammensetzung ein Viertel weniger CO₂ aus als Schweröl bei der Verbrennung. Schwefel enthält Erdgas keinen, und Stickoxid entsteht nur wenig. «Da Erdgas rund doppelt so teuer ist wie Schweröl, wird es keine komplette Umstellung geben», sagt Boulouchos, «aber die Schiffe könnten zumindest in Küstennähe mit Erdgas fahren.»

AllStar AS1®

Die bärenstarke EgoKiefer Kunststoff- und Kunststoff/Aluminium-Fensterlinie.



Klimaschutz inbegriffen.

AS1® – So heisst der AllStar der Fensterbranche. Ob im Neubau oder für die Modernisierung, die EgoKiefer AllStar-Fensterlinie AS1® erfüllt all Ihre Wünsche. Mit AS1® reduzieren Sie den Energieverbrauch über das Fenster um bis zu 75%.

EgoKiefer AG
Fenster und Türen
Schöntalstrasse 2
CH-9450 Altstätten
Telefon +41 71 757 36 28

Und an 13 eigenen Standorten sowie bei über 350 Wiederverkaufspartnern in der ganzen Schweiz: www.egokiefer.ch

MINERGIE®
LEADING PARTNER

Ein Unternehmen der
AFG
Arbonia-Forster-Holding AG

Vorsprung durch Ideen. **EgoKiefer**
Fenster und Türen