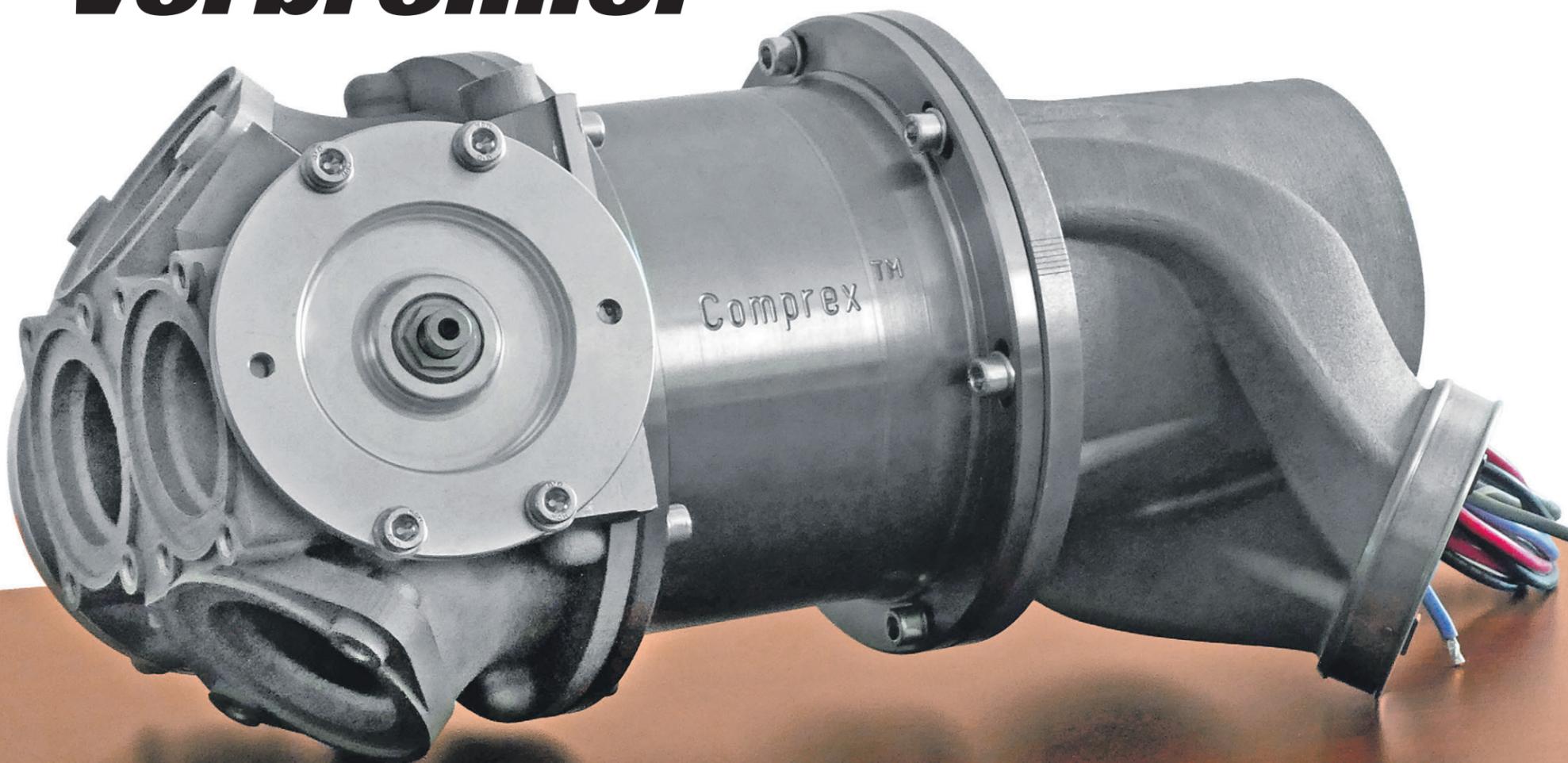


Schnellladen im Verbrenner



KOMPRESSOR In den 1990er-Jahren wäre es dem Druckwellenlader beinahe gelungen, dem Turbolader den Rang abzulaufen. Technische und finanzielle Hürden liessen ihn aber scheitern. Jetzt könnte er doch noch erfolgreich werden.

Stephan Hauri

Im Jahr 1986 sorgte der mit Comprex-Druckwellenlader ausgestattete Dieselmotor eines Audi 80 für Aufregung in einschlägigen Kreisen. Im direkten Vergleich mit der Turbovariante beschleunigte er den Mittelklasse-Audi deutlich schneller aus dem Stand auf Tempo 100 und erwies sich bei den Elastizitätsmessungen im dritten und vierten Gang als viel temperamentvoller. Grosser Vorteil gegenüber dem Turbolader: Die neue Aufladeeinrichtung brachte das unangenehme Turboloch zum Verschwinden. Der Comprex-Diesel sprach ungewohnt spontan auf Gaspedalbewegungen an.

Dieselmotoren mit Comprex-Ladern kamen ab Mitte der 1980er-Jahre nicht nur in den Konzernmodellen Audi 80 und VW Passat, sondern auch im Opel Senator zum Einsatz. Zwar brachten sie nicht in allen Modellen eine höhere Leistungsspitze, doch resultierten stets bessere Beschleunigungswerte und niedrigere Treibstoffverbräuche.

Der Comprex-Lader, in den 1970er- und 1980er-Jahren von der Brown, Boveri und Cie. (BBC) in Baden AG entwickelt, besteht aus einem zylinderförmigen Gehäuse, in dem sich ein Zellenrad mit mehreren Ein- und Auslasskanälen für heisse Abgase und Frischluft dreht und durch Druckwellen die Zylinderfüllung steigert. Trotz vielversprechender Fahrleistungswerte entschied sich BBC respektive das Nachfolgeunternehmen ABB wegen hoher Entwicklungskosten schliesslich für die Einstellung des Projekts. Danach übernahm Mazda das System und passte es dem Zweiliter-Dieselmotor des Modell 626 Comprex an, das von 1992 bis 1997 serienmässig angeboten wurde. Weil

die Abstimmung des Laders auf unterschiedliche Motorentypen ziemlich komplex und kostspielig war, wollte der neue Mazda-Partner Ford die Entwicklung nicht weiterführen, zumal im Konzern ein passender Turbodiesel im Regal bereit war.

Von der Formel 1 bis Greenpeace

In Verbindung mit Ottomotoren kam der Comprex-Lader ebenfalls zu diversen Versuchseinsätzen. Schon 1981 setzte Ferrari einen Formel-1-Motor auf diese Weise unter Druck – wandte sich aber bald wieder davon ab, da der damals verwendete Riemenantrieb den Belastungen nicht gewachsen war. Der damalige Ferrari-Pilot Gilles Villeneuve mochte den Comprex-Lader trotzdem, da er deutlich schnellere Rundenzeiten ermöglichte, wenn er richtig funktionierte. Eine Weiterentwicklung des Laders durch die BBC hätte wahrscheinlich zum Erfolg geführt, doch leider konnte Enzo Ferrari nicht davon überzeugt werden.

Eine vielversprechende Neubelebung folgte 1996 an anderen Ende der Leistungsskala: Mit dem Twingo Smile, den Greenpeace von der Burgdorfer Firma Swissauto Wenko entwickeln liess, entstand eine aerodynamisch und antriebsseitig stark modifizierte Version des Renault Twingo. Ein Zweizylinder-Boxermotörchen mit nur 358 Kubikzentimeter Hubraum wurde mit einem Comprex-Lader bestückt. So erreichte die kleine Maschine eine Höchstleistung von 55 PS, was einer noch heute respektablem Literleistung von 153 PS entspricht – bestes Downsizing. Der Benzinverbrauch nahm sich dagegen mit 3.3l/100km bescheiden aus. Diese Entwicklung endete aufgrund technischer Probleme, aber auch, weil sich Renault eher ablehnend zeigte. In einem nächsten Anlauf

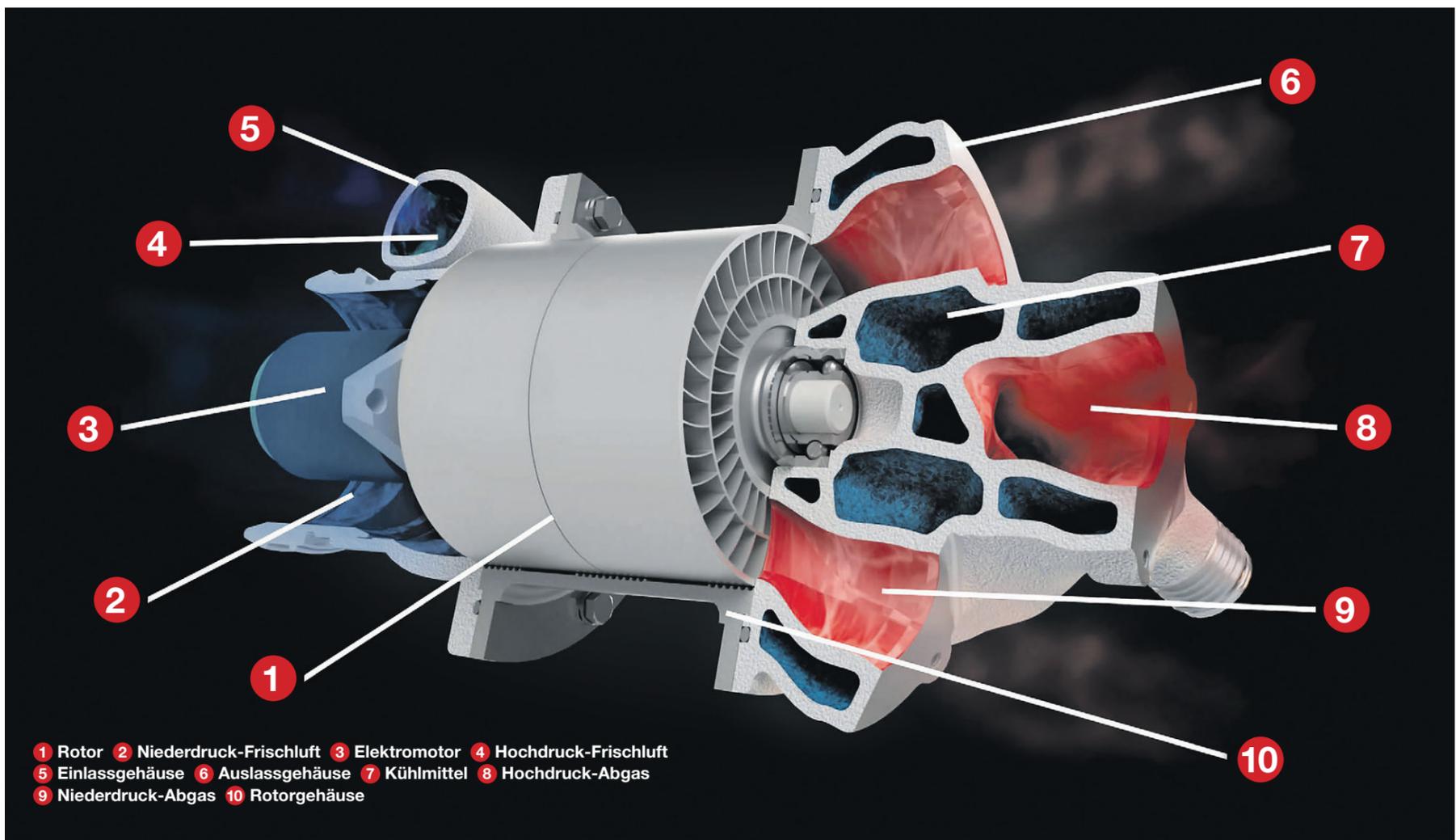
Comprex-Lader in der aktuellen Ausführung von Antrova.

verpasste Swissauto 2008 einem VW Golf 5 zu Demonstrationszwecken einen Einliter-Druckwellenladermotor mit 150 PS und einem Maximaldrehmoment von 210 Nm, das bereits bei 1250 U/min verfügbar war. Aber auch dieses, Hyprex genannte System schaffte den Durchbruch nicht. Einen weiteren Comprex-Versuch ohne Happy End unternahm Mercedes-AMG später mit dem Modell A45. Die Affalterbacher scheiterten jedoch ebenfalls an Kinderkrankheiten des Systems, die seither jedoch beseitigt werden konnten.

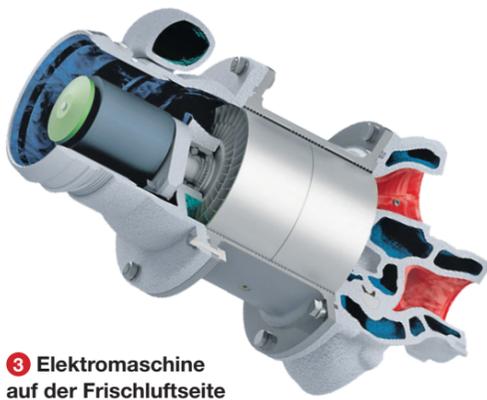
Renaissance in Schaffhausen

Nun haben Ingenieure des in Stein am Rhein SH angesiedelten Entwicklungsunternehmens Antrova den Lader gründlich überarbeitet, sodass er heute zuverlässig in der Lage ist, Verbrennungsmotoren wesentlich effizienter zu machen. Besonders Potenzial sieht ETH-Ingenieur Mario Arno Skopil von Antrova jedoch in der Verbindung des Aufladeaggregats mit Gasmotoren – sowohl für Erdgas als auch für Wasserstoff. Solche Triebwerke könnten in Nutzfahrzeugen, die bei einem stückzahlmässigen Anteil von rund 20 Prozent für rund 80 Prozent der Fahrleistungen und damit für einen Grossteil der auf der Strasse emittierten Abgase verantwortlich sind, wesentlich zu einer raschen und kostenseitig gut vertretbaren Absenkung der CO₂-Emissionen sorgen.

Das Kernstück des ursprünglichen und von Mazda weiterentwickelten Laders war ein Zellenrad, das über einen Riemen mit der Kurbelwelle verbunden war und später auch elektrisch angetrieben wurde. Dieser Rotor läuft mit einer höheren Drehzahl als die Kurbelwelle. Der gasdynamische Zyklus beginnt, indem an die eine Seite des Rotors



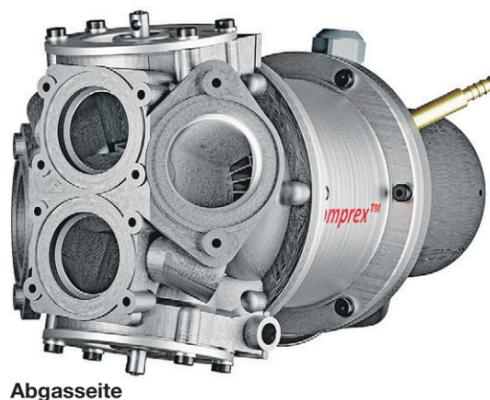
- 1 Rotor 2 Niederdruck-Frischluff 3 Elektromotor 4 Hochdruck-Frischluff
- 5 Einlassgehäuse 6 Auslassgehäuse 7 Kühlmittel 8 Hochdruck-Abgas
- 9 Niederdruck-Abgas 10 Rotorgehäuse



3 Elektromaschine auf der Frischluftseite



Frischluffseite



Abgasseite



1 Rotor

Abgas und an die andere Frischluft geleitet wird. Dreht sich der Rotor, wird die darin erhaltene Luftsäule durch die heißen Abgase mit einer Druckwelle beaufschlagt. So gelangt komprimierte Frischluft in den Brennraum des Motors. In umgekehrter Richtung presst die Druckwelle Frischluft in den Abgastrakt, was eine Absenkung der Abgasschadstoffe durch eine weitere Oxidation im Katalysator ermöglicht.

Comprex-Entwicklungschef Mario Skopil berichtete beim diesjährigen internationalen Wiener Motorensymposium, das erneut nur virtuell durchgeführt werden konnte, von den aktuellen Entwicklungsarbeiten der Firma Antrova. In der neuesten Ausbaustufe erhielt der Comprex-Lader ein wassergekühltes Abgasgehäuse, das es ermöglicht, ein Lager einzusetzen, wodurch konstant kleine Spiele zwischen Rotor und Gehäuse möglich sind. Der Rotor ist nun zweiteilig ausgeführt, damit Wärmeausdehnungen besser ausgeglichen werden können. Bei hohen Temperaturen sinkt der Abstand zwischen den beiden sich mit gleicher Geschwindigkeit drehenden Rotorteile auf null. Zudem ist einer der beiden im Lader befindlichen gasdynamischen Zyklen geregelt abschaltbar ausgeführt. Dazu verfügen beide Zyklen auf der Abgasseite über Ventile, die der Funktion eines Turboladers mit variabler Geometrie (VTG) entsprechen. Somit ist im Comprex-Lader die Funktionalität einer Turbo-Registerraufladung mit zwei VTG-Turboladern enthalten.

Auf Pumpgrenzen und Überdrehzahlen muss dabei keine Rücksicht genommen werden, was die Anpassung an einen Erdgas- oder Wasserstoffmotor vereinfacht. Der Antrieb des Zellenrades überträgt im Gegensatz zu einem Roots-Gebläse

keine mechanische Energie zum Druckaufbau und muss ausser der Lagerreibung keine Kräfte überwinden. Zudem helfen die Abgase ab einem bestimmten Durchsatz, den Rotor anzutreiben. Es geht alleine um eine Drehzahlsynchronisierung, damit die gasdynamischen Vorgänge im Lader getaktet werden können. Der Elektroantrieb könnte sogar als Generator Energie zurückgewinnen.

Passt zum Wasserstoffverbrenner

Im Gegensatz zum Turbo hat der Comprex keine Pumpgrenze und kann auch bei kleinen Durchsätzen hohe Ladedrücke erzeugen. Ausserdem ist er für die Aufladung in grösserer Höhe besser geeignet als der Turbolader, da es keine Überdrehzahlreserve braucht wie beim Turbolader. Hinsichtlich CO₂- und Schadstoffemissionen können als Vorteile der im Vergleich mit dem Turbomotor geringere Gegendruck und der Betrieb mit niedrigeren Drehzahlen und hohen Drehmomenten genannt werden. So ergeben sich günstigere Verbrauchswerte. Da sich ein Dreiwegekatalysator zwischen Motor und Lader integrieren lässt, erreicht der Abgasreiner schneller seine Betriebstemperatur. Zudem vereinfacht die geräuschkämmende Auflademaschine das Auspuffsystem. Der Comprex zerhackt die üblichen Schallwellen, weshalb sich schwere Auspufftöpfe erübrigen.

Wie Skopil in seinem Referat betonte, passt der neue Druckwellenlader schon aus thermodynamischen Gründen perfekt zu Wasserstoffmotoren, da deren niedrige Abgastemperaturen Turboladersysteme vor grössere Probleme stellen. Aufgrund seines sehr guten Ansprechverhaltens könne auf ein schweres und teures Hybridmodul verzichtet werden. «Was nicht gehen konnte, musste neu laufen

lernen. Inzwischen haben wir einen Sprinter aufgebaut», erklärt der erfahrene Systementwickler.

Zusammenfassend sagt er: «Der Comprex-Lader kann nicht nur ein Aufladesystem mit zwei Turboladern mit variabler Geometrie ersetzen, er ist auch ein Schlüssel für neue Möglichkeiten, die CO₂-Problematik schnell in den Griff zu kriegen.» Was Aufladungsspezialist Skopil in seinem Vortrag über den jüngsten Entwicklungsstand des Laders berichtete, bestätigen die ersten Testläufe, die an der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) in Dübendorf ZH mit dem Comprex der neuesten Generation in Verbindung mit einem Erdgasmotor gemacht werden. Laut Empa-Motorenspezialist Patrik Soltic überzeugen vor allem das spontane Ansprechen des Comprex-Motors und die problemlose Möglichkeit, Miller-Verbrennungsverfahren bei gleichbleibend hohen Drehmomenten zu integrieren und damit den Motor noch effizienter zu machen. ●



Mazda 626 von 1992, ausgestattet mit einem Dieselmotor mit Comprex-Lader.

Fotos: Antrova, Stephan Häutli, Mazda