

# TURBO POWER

## **100 Jahre Abgas-Turbolader**

Aufgeladenen Motoren gehört die Zukunft, wie es der Diesel eindrucksvoll vorexerziert. Einen ähnlichen Siegeszug erleben sparsame, leistungsstarke Benzin-er mit Turboaufladung. Das Prinzip ist schon seit 1905 bekannt – aber erst im Zeitalter der Elektronik setzt es sich endgültig durch.



# DRUCK- MITTEL

## Mehr Leistung für Motoren

Eine frühe Idee geriet erst zum Kult und dann fast wieder ins Abseits. Beim Diesel ist der Turbolader Standard, die Aufladung von Benzinmotoren steht jedoch noch am Anfang.

**W**odurch eigentlich wandelt sich das leise Pfeifen eines Turboladers beim Druck auf's Gaspedal in puren Schub? Gehen wir der Sache auf den Grund.

Auf der Suche nach mehr Leistung fanden schon die Motoren-Pioniere drei probate Möglichkeiten – jede natürlich mit Vor- und Nachteilen behaftet: entweder man vergrößert den Hubraum, erhöht die Drehzahl oder aber man steigert die Füllung. Ein Stichwort, das direkt zur Aufladung führt.

Denn die Grenzen freisaunder Motoren sind durch deren Hubraum bestimmt: Es kommt nur so viel Luft in den Brennraum, wie der Kolben auf seiner Talfahrt anzusaugen vermag. Will man aber mehr Leistung herauskitzeln, muss einer größeren Kraftstoffmenge auch mehr Sauerstoff als Reaktionspartner offeriert werden.

Das geht nur, wenn man Luft verdichtet, also unter Druck in den Brennraum zwingt. Zwar bleibt das Volumen des Gemischs das gleiche, aber die Vermählung von Kraftstoff- und Sauerstoffmolekülen findet unter erheblich größerem Gedränge statt. Dass das Geschehen dabei natürlich weit größere Dynamik entfaltet, lässt sich leicht nachvollziehen.

Ebenso, dass sich Aufladegeräte unterschiedlicher Me-

thoden bedienen. Mechanisch angetriebene Verdichter – von Roots-Lader bis Kompressor – begründen eine eigene Konfession. Verfechter des Turboladers hingegen reklamieren Vorzüge, die dem Prinzip innewohnen. Denn schon Alfred Büchi, vor hundert Jahren Erfinder des Turboladers, hatte erkannt, dass fast ein Drittel der Energie, die im Sprit steckt, ungenutzt durch den Auspuff verschwindet. Der Löwenanteil ist purer Staudruck des Abgasstroms, etwa ein Drittel davon ist Wärmeenergie.

Es liegt also nahe, die Gratenergie zu nutzen. Also lenkt man die Abgase auf die Schaufeln eines Turbinenrads und versetzt es so in Rotation. In separatem Gehäuse, aber über eine Welle verbunden, rotiert synchron auf der Gegenseite ein Verdichterrad. Dessen Aufgabe

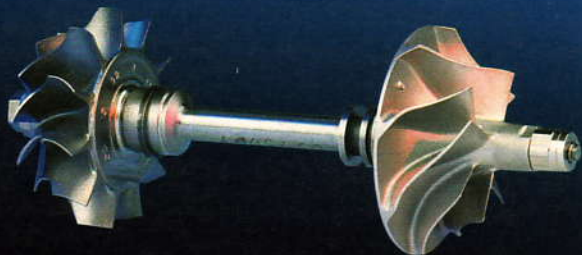
### Turbolader-Daten

- Abgastemperaturen: Dieselmotoren ca. 700 °C, Ottomotoren ca. 1000 °C
- Lader-Drehzahlen: von 150 000 bis 330 000 (Smart-Diesel) U/min
- Ladedruck: üblicherweise arbeiten Pkw-Turbomotoren mit 0,5 bis 1,5 bar. Unter Vollast werden 2 bis 3 bar erreicht



## DAS LAUFZEUG: HERZ DES TURBOLADER

Bei Drehzahlen bis zu 300000 U/min muss die Läuferachse-, Verdichter- und Turbinenrad-Einheit präzise ausgewuchtet sein.



## INTEGRIERTE LÖSUNG

Das Zusammenfassen von Auspuffkrümmer und Turbinengehäuse zu einem Gussteil verbessert das Ansprechverhalten und mindert Wärmeverluste.



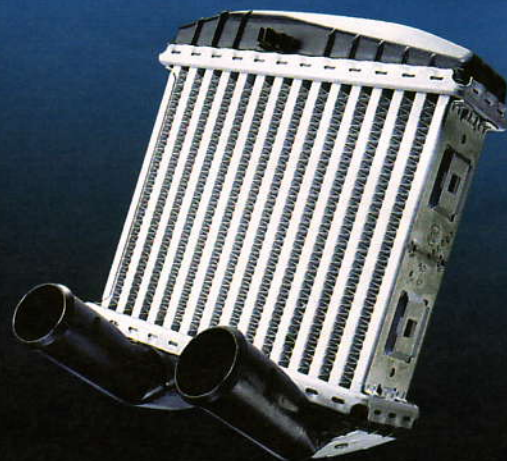
## VARIABLE GEOMETRIE

Mit verstellbaren Leitschaufeln lässt sich der Luftbedarf genauer anpassen. Die Garrett VNT-Lader brachten bei Dieselmotoren den Durchbruch.



## KÄLTEBEHAND- LUNG FÜR DIE LADELUFT

Weil kalte Luft dichter ist als erwärmte, wird die verdichtete Luft durch einen Ladeluftkühler geschickt und damit die Füllung optimiert.



ist es, in Axialrichtung Frischluft anzusaugen, zu verdichten und in Umfangsrichtung zu den Brennräumen zu leiten. Rund 0,5 und 2,5 bar Druckzuwachs bringt diese Prozedur – je nach Motorauslegung. Druck, das weiß jeder, der mit einer Fahrradpumpe hantiert hat, erzeugt Wärme. Und damit einen gegenläufigen Effekt, denn warme Luft ist weniger dicht als kalte. Um bis zu 180 Grad kann sich Luft bei der Vorverdichtung erwärmen. Daher gehören inzwischen so genannte Ladeluftkühler, eingefügt zwischen Verdichter und Brennraumeinlass, praktisch zum festen Repertoire von Ladersystemen. Die Abkühlung verbessert nicht nur die Leistung, sie wirkt sich durch verminderte Verbrennungstemperatur selbst auf Emissionen und Verbrauch positiv aus.

Dass sich Turbolader in Dieselmotoren bisher viel stärker durchsetzen konnten, liegt am Brennverfahren. Unabhängig von der Gaspedalstellung wird immer die gleiche Luftmenge durchgeschleust, aber verschiedene Spritquanten eingespritzt. Damit bleibt die Abgasmenge relativ konstant. Die Regelung des Laders wird so einfacher.

Überhaupt die Regelung des Ladedrucks: Sie gilt als heikelster Punkt der Turbos. Weil ausreichend Abgas erst zur Verfügung steht, wenn der Motor auf Touren ist, setzt der Zusatzschub verzögert ein – Stichwort Turboloch. Lader-Entwickler verbesserten das Ansprechverhalten mit kleineren, flinkeren Ladern. Weil die aber unter Vollast den Drehmoment-Bogen überspannen würden, leitet ein Bypass-Ventil einen Teil des Abgases an der Turbine vorbei. Effektiver können das heute Lader mit variabler Geometrie,

die bisher nur in Dieselmotoren eingesetzt werden und damit den Bypass erübrigen. Aufladung bleibt aber immer ein Kompromiss zwischen maximalem Drehmoment und maximaler Leistung – ein Konflikt, der sich zwar mildern aber kaum beseitigen lässt.

Doch zurück zum Diesel, dessen Plus seine „nur“ etwa 700 °C heißen Abgase sind. Mit knapp 1000 °C liegt Benziner-Abgas oft jenseits der Grenztemperatur, bei der bislang verwendete Nickel-Legierungen an ihre Grenze stießen.

Mit den hohen Abgastemperaturen hängt ein weiteres Benziner-Handicap zusammen, die Klopfgefahr. Daher arbeiten Otto-Turbos oft nur mit reduzierter Verdichtung problemlos aber eben auch mit schlechterem Wirkungsgrad. Die frühen Turbos besorgten sich mit angefettetem Gemisch die bitter notwendige Innenkühlung. Das half zwar, stempelte sie aber zu maßlosen Säufern. Direkteinspritzung gilt deshalb unter Experten als doppelt hilfreich. Weil mit ihr der Kraftstoff erst im Brennraum verdampft, entzieht er ihm Wärme. Und dieser Kühleffekt lässt sich mit erhöhter Verdichtung wieder als Plus an Effizienz nutzen.

Nicht erst dadurch empfehlen sich moderne Turboladersysteme inzwischen längst als Sparkonzept, denn Reibungs- und Wärmeverluste sind bei hubraumkleineren Turbomotoren gegenüber leistungskleinere Saugern geringer. Und mit einer konsequenten „Downsizing“-Strategie, bei der Motoren häufiger im – effizienteren – Vollastbereich fahren, sehen Experten Einsparmöglichkeiten bis zu 20 Prozent.

[ Klaus-Ulrich Blumenstock ]