

Mit Luft mehr Leistung

Luftführende Systeme bei Motoren mit Abgasturbolader

Die Motoren in unseren Autos arbeiten mit Ausnahme eines aus Japan kommenden Sportwagens, der von einem Kreiskolbenmotor (Wankel-Motor) angetrieben wird, nach dem Hubkolben-Prinzip. Und sie vergeuden jede Menge Energie, denn ihr Wirkungsgrad liegt nur bei gut 30 %, was vor allem daran liegt, dass der Verbrennungsdruck im Zylinder in Abhängigkeit von Hubraum und Drehzahl an seine Grenzen stößt.

Die Leistung steigern kann man zum einen rein mechanisch durch Verdichten der Luft vor Eintritt in den Zylinder. Diese einfachste Aufladung braucht viel Bauraum und erhöht erheblich den Kraftstoffverbrauch.

Die andere Möglichkeit ist die Abgasturboladung. Die Idee, damit ein paar von den restlichen 70 % der Energie, die mit den Abgasen verloren gehen, zur Leistungssteigerung zu nutzen, ließ sich schon 1905 der Konstrukteur Alfred Büchi patentieren: hier wird die Energie der Abgase zum Antrieb einer Turbine genutzt, die über einen Verdichter den erhöhten Ladedruck erzeugt.

Leistung pur

Zunächst einmal ging es den Motorenkonstrukteuren ausschließlich um mehr Leistung, vor allem bei relativ kleinen Fahrzeugen, denn die Großen konnten ja ihre Pferdestärken aus dem Hubraum beziehen.

Ein typisches Beispiel: der BMW 2002 Turbo, der erste Pkw in Europa mit serienmäßigem Abgasturbolader. Die damals sportlichste Limousine glänzte mit satten 170 PS. Dass sich das Turbo-Prinzip im „Alltagsbenziner“ zunächst nicht durchsetzte, lag neben dem hohen Kraftstoffverbrauch am unbefriedigenden Fahrverhalten („Turbo-loch“), an Komfortmängeln und der Reparaturanfälligkeit der kleinen Wagen.

Erst der Einsatz der Abgasturboladung bei Dieselmotoren brachte überzeugende Ergebnisse: angemessene Fahrleistungen bei optimaler Kraftstoffausnutzung und geringerem Schadstoffausstoß. Die dieseltypischen Eigenschaften, vor allem das üppige Drehmoment im unteren Drehzahlbereich, spielen hier perfekt mit den neuen Turboladern mit variabler Turbinengeometrie zusammen, deren verstellbare Schaufeln die ständige Anpassung der Leistung an die momentanen Anforderungen des Fahrbetriebs erlaubt.

Steigende Leistung durch Verdichtung der Luft aber führt zu einer Erhöhung der Temperatur - unerwünscht im ohnehin durch Zusatzaggregate sehr engen Motorraum. Abhilfe schafft der Einsatz eines Ladeluftkühlers, der die verdichtete Luft mit der durch den Kühler strömenden Außenluft kühlt. Positive Nebeneffekte: geringere Stickoxid-Emissionen und niedrigerer Kraftstoffverbrauch.

Komplexe Anforderungen

Der normale Autofahrer interessiert sich beim Blick unter die Motorhaube in der Regel für wenige Dinge: Ölmesstab, Kühlersverschluss, Batterie, Behälter der Scheibenwaschanlage. Das Ladeluftsystem bleibt ihm weitestgehend verborgen, und so hat er auch kaum eine Vorstellung von den Problemen, die sich den Konstrukteuren von Automobilherstellern und Zulieferern stellen.

Abgesehen davon, dass der Luftkühler selbst ja auch Platz im Motorraum beansprucht, ist für jeden Pkw eine andere, mitunter sehr schwierige Leitungsführung für die Ladeluft erforderlich. Das ist zunächst eine Vorgabe des Automobilkonstruktors für den Entwickler im Zulieferbetrieb, der ja die Materialauswahl zu treffen hat. Hier verbindet sich auch das Wissen um die Beanspruchungen, denen die Bauteile im Fahrbetrieb ausgesetzt sind, mit dem Know-how für die Problemlösungen hinsichtlich der Haupteinflussfaktoren Temperatur, aggressive Medien und dynamische Belastung.

An erster Stelle steht der Temperatureinfluss, eine wichtige Größe für die Auswahl der Werkstoffe. Vor allem bei Vollast-Betrieb (im Test Vollast bei Bergfahrt mit Anhänger) treten an der Oberfläche der Ladeluftleitungen minutenlange Temperaturspitzen oberhalb von 200 °C auf. Je nach Enge des Motorraums kommen Belastungen durch Strahlungswärme von Motor und Abgasstrang hinzu.

Die Medienbelastung schränkt ebenfalls die Werkstoffauswahl ein.

Der Kontakt mit Ölen, Kraftstoffen, Wasser und einer Anzahl noch nicht vollständig analysierter Spalt- und Reaktionsprodukte macht eine ausreichende Beständigkeit der Materialien zur konstruktiven Grundvoraussetzung.

Schließlich der Einfluss der dynamischen Belastung - abhängig von den wechselnden Betriebszuständen des Laders und vom Fahrverhalten. Für die Insassen des Fahrzeugs am ehesten in Gestalt von Vibrationen spürbar, ist deren Vermeidung durch die Entkoppelung zwischen dem Hauptverursacher Motor und den fest mit der Karosserie verbundenen Bauteilen eine wichtige Aufgabe des Werkstoffs Gummi. Deshalb finden wir in Ladeluftleitungen neben metallischen und thermoplastischen elastomere Bauteile, vor allem sogenannte Formschläuche mit gestricktem Druckträger, einem „Gerüst“ aus hochfesten Kunstfasern. Die Gummischläuche werden aufgrund der wechselnden Druckverhältnisse im System am stärksten dynamisch beansprucht.

Spezialkautschuke als Rohstoffe für Druckschläuche

Leistungssteigerung und verbesserte Geräuschkapselung der Motoren führen zu hohen Temperaturen im Motorraum, wodurch die thermische Belastbarkeit der „klassischen“ Kautschuke für die in Motornähe verwendeten Schläuche, (Nitrilkautschuk NBR und Chloroprenkautschuk CR) überschritten wird. Selbst der in der Spitze bis 150 °C belastbare Epichlorhydrinkautschuk (ECO) ist hier überfordert.

Für Druckschläuche in Ladeluftleitungen werden also Kautschuke benötigt, die hochtemperaturbeständig sind und gleichzeitig den Ansprüchen an Dichtigkeit, dynamische Festigkeit und Medienbeständigkeit genügen. Das führt zum einen zur Verwendung von teuren Spezialkautschuken, zum anderen zur Entwicklung sogenannter Lamine aus verschiedenen elastomeren Rohstoffen, deren Eigenschaften bereits in der Laborphase getestet und optimiert werden.

Auf breiter Front hat sich für Bauteile im Dauertemperaturbereich bis 160 °C derzeit der Ethylenacrylatkautschuk AEM durchgesetzt. Jedoch werden bereits Alternativen getestet, da die Lastenhefte künftiger Pkw-Modelle Dauertemperaturen von über 200 °C bei Drücken von 3,5 bar vorsehen. Die einzigen Kautschuke für diesen Bereich sind extrem teure Fluorelastomere oder Silikonkautschuke, für deren großtechnische Verarbeitung zu Druckschläuchen jedoch neue Verfahren entwickelt werden müssen - Herausforderungen für Chemiker und Ingenieure.

Für die Druckträger haben sich anstelle der üblicherweise in Schläuchen verwendeten Cellulose - (Reyon) und Polamidfasern (Nylon) die thermisch und dynamisch hoch belastbaren Aramidfasern etabliert.

Material- und Systemkompetenz

Jahrzehntlang waren die Aufgaben unter den Zulieferern der Automobilindustrie sehr weit gefächert, sauberlich getrennt nach Herstellern von Elektrik-, Metall-, Kunststoff- und Gummiteilen. So lieferte die Kautschukindustrie Schläuche für Kühl- und Waschwasser, Kraftstoffe und Bremsflüssigkeit, Firmen der Metall- oder Kunststoffverarbeitung steuerten Rohrleitungen bei, und beim Autohersteller wurden die Leitungssysteme zusammengebaut.

Der Zwang zur Rationalisierung und die Globalisierung haben die Beziehungen zwischen Automobil- und Zulieferindustrie völlig umgekrempelt. Stichwort: Verringerung der Fertigungstiefe. Jetzt ordert der Automobilhersteller Leitungs-Systeme, bestehend aus verschiedenen Werkstoffen, einbaufertig und just-in-time ans Band geliefert.

Diese Forderung, die es ja ähnlich auch bei anderen komplexen Bauteilen des Automobils gibt, ist nur zu realisieren, wenn sich der jeweilige „Systemführer“, in der Regel der Hersteller des in punkto Beanspruchung wichtigsten Teils, profunde Materialkenntnisse hinsichtlich der ihm zugeliferten Teile aneignet, die Technologie ihrer Bearbeitung beherrscht und so nicht nur seine Materialkompetenz erweitert, sondern Kompetenz für das ganze System aufbaut.

Beispiel Leitungssysteme für Kraftstoff oder Ladeluft: Der Kautschukverarbeiter entwickelt, fertigt und testet zusätzlich zu seinen Gummischläuchen jetzt auch Kunststoffrohre, bringt diese und zugeliferte Metallrohre in die gewünschte Form und fügt alles zum einbaufertigen System zusammen. Zusätzlich gehören auch noch Verbindungstechniken und Schnellverschlüsse zur rationellen Anbindung der Leitungssys-

teme an Abgasturbolader, Ladeluftkühler und Saugrohr zu den laufenden Entwicklungsaktivitäten.

Das Beispiel „Ladeluftleitung“ verdeutlicht einen bedeutsamen Wandel in der industriellen Wirklichkeit: Aus dem Hersteller von Gummitteilen nach vorgegebener Spezifikation wurde der Partner für innovative Technologien - vom Schlauch zum System.



Fotos: Veritas

Thermomanagement-Strukturbauteile: optimaler Mix aus Thermoplast, Elastomer und Metall. Die kombinierten Werkstoffe sorgen für eine hohe Funktionalität der Teile.