

Zusatzinformationen zu Wärmekraftmaschinen:

Elemente modernen Motorenbaus

Das Schnittbild stellt eine moderne Weiterentwicklung auf dem Gebiete der Turbolader vor.

Schon beim „normalen“ Turbolader ergibt sich das Problem, dass folgende Bedingungen gleichzeitig erfüllt werden müssen: Einerseits soll schon bei niedriger Drehzahl genügend Ladeluftdruck aufgebaut werden, andererseits darf aber bei höher werdenden Drehzahlen dieser Ladeluftdruck nicht beliebig anwachsen.

Zur Erfüllung dieser sich widersprechenden Forderungen wird beim „normalen“ Turbolader eine Ladedruckregelung durch den sog. Bypass und ein Ladedruckregelventil eingesetzt. (siehe Sachinformation Transparent 5/6 der Transparente-Mappe)

Eine andere technische Lösungsmöglichkeit dieses Problems zeigt das Bild des Abgas-Turboladers mit „**variabler Turbinengeometrie**“. Hier sind zusätzlich **verstellbare „Leitschaufeln“** unmittelbar vor dem Eintritt der Abgase in die Schaufeln der Abgasturbine angebracht. Die Verstellung erfolgt durch eine „Unterdruckdose“

Wirkungsweise:

Wenn die Motordrehzahl **niedrig** ist, werden die Schaufeln so gestellt, dass der Abgasstrom durch sie **verengt** wird. Dadurch erhöht sich in der verbleibenden Strömung die Geschwindigkeit der Abgase. Der Abgasstrom wird dabei so gelenkt, dass er die Turbinenschaufeln weiter außen trifft. Nach dem Hebelgesetz bewirkt dies ein höheres Drehmoment; die Turbine arbeitet in diesem Zustand also besonders effektiv.

Ist die Motordrehzahl **hoch**, wird der Eintrittsquerschnitt der Abgase in die Turbine **vergrößert**. Dadurch sinkt die mittlere Geschwindigkeit der Gasteilchen. Sie treffen die Turbinenschaufeln nicht mehr vorzugsweise am Außenrand, sondern auf deren volle Länge verteilt. Die Turbinenleistung arbeitet jetzt ineffektiver. Dies ist aber beabsichtigt, da jetzt ja vom Motor viel mehr Abgase entlassen werden, ohne dass der Ladedruck steigen soll.

Verstellt man trotz hochdrehenden Motors die Leitschaufeln in die Stellung für niedrige Drehzahlen, so erhöht sich die Turbinenleistung deutlich. Diese Verengung des Abgasstromes kann kurzfristig sinnvoll sein, wenn z. B. für einen Überholvorgang am Berg maximale Leistung erforderlich ist (sog. „**Overboost**“). Dieser Fahrerwunsch wird automatisch durch den „Kickdown“ des Gaspedals möglich.

Eine solcher Turbolader ermöglicht optimalen Ladeluftdruck für die verschiedensten Betriebszustände. Die Regelung durch einen Bypass ist nicht nötig.

(Text zum Foto „Rotglühender Turbolader“ (ARAL))

Welchen thermischen Belastung das Material des Abgas-Turboladers ausgesetzt ist, dokumentiert dieses Foto eines rotglühenden Turboladers unter Vollast. Die Abgase eines Ottomotors sind bis zu 1000 °C heiß. Selbst bei einem Dieselmotor können durchaus noch 800 °C erreicht werden.

Es ist dennoch nicht üblich, den Turbolader in das Kühlsystem des Fahrzeugs einzubeziehen. Man kühlt den Lader zwangsläufig etwas, indem seine Lager mit in das Schmiersystem des Motorölkreislaufs einbezogen sind. Der Fahrer eines Autos mit Turbolader muss dies bei der Wahl seines Motoröls bedenken, da solche Fahrzeuge strengere Anforderungen an die Ölqualität stellen.

Rußfilter:

Schon ein „normaler“ Dieselmotor hat prinzipbedingte Vorteile hinsichtlich der Kraftstoffausnutzung gegenüber einem Ottomotor. Er produziert daher auch weniger der schädlichen „Treibhausgase“.

Moderne Dieselmotorenkonstruktionen mit z. B. Common-Rail-Technik erzeugen gegenüber einem konventionellen Dieselmotor noch weniger Schadstoffe: sie geben rund 20 % weniger CO₂, 40 % weniger CO, 50 % weniger Kohlenwasserstoffe und 60 % weniger Rußpartikel in die Umgebung ab.

Diese Partikel sind es aber, die den Dieselmotor unbeliebt machen. Wer hat sich nicht schon über einen schlecht eingestellten LKW geärgert, der mit Vollgas den Berg hinauffährt und dabei dicke schwarze Qualmwolken aus dem Auspuff entlässt?

Diese Rußpartikel sind es auch, die als krebserregend gelten. Beim Benzinmotor treten sie nicht in vergleichbarer Form auf.

Man schafft hier Abhilfe durch den Einbau von Dieselrußfiltern. Die Partikel werden während des normalen Fahrbetriebs in einem speziellen Partikelfilter gesammelt und treten nicht in die Umwelt aus.

Damit dieser Filter nicht nach einiger Zeit voll ist, werden die im Filter abgelagerten Rußpartikel in bestimmten Abständen verbrannt (etwa alle 400 bis 500km Fahrstrecke). Dieser Verbrennungsprozess wird durch einen Drucksensor ausgelöst, der den Füllgrad des Filters registriert.

Bisher erfolgte die Verbrennung im Filterelement, z. B. durch elektrische Beheizung.

Eine Neuentwicklung von Rußfiltern (PEUGEOT) nutzt die Möglichkeiten der **Common-Rail-Technik** des eingebauten Dieselmotors. Für die Verbrennung der Rußpartikel benötigt man Temperaturen von ca. 550 °C. Solche Verbrennungsbedingungen werden durch drei Maßnahmen erreicht:

1. Bei der Common-Rail-Technik sind im Ablauf der Einspritzvorgänge Spritzbeginn, -menge und -dauer elektronisch individuell beeinflussbar. Es ist daher möglich, zusätzlich während des laufenden Arbeitstaktes nochmals eine gewisse Kraftstoffmenge in jeden Zylinder einzuspritzen. Durch diese so genannte Nachverbrennung im Zylinder, erhöht sich die Abgastemperatur um 200 bis 250 °C.
2. Eine weitere Temperaturerhöhung erzielt man durch eine „**Nachverbrennung im Oxidationskatalysator**“. Dieser ist als Vorkatalysator direkt mit dem Filterelement zusammengebaut. Die in seinem Innern ablaufende Eliminierung der bis dorthin noch unverbrannten Kohlenwasserstoffe erhöht die Temperatur um weitere 100 °C. Beide Maßnahmen zusammen angewandt führen zu einer **vorübergehenden Erhöhung der Abgastemperaturen im Filter auf über 450 °C**. Der Vorgang spielt sich vom Fahrer unbemerkt ab und dauert 2 bis 3 Minuten.
3. Damit schon diese Temperatur von 450 °C für die Verbrennung der Partikel ausreicht, wird dem Kraftstoff permanent ein spezieller **Cerin-Zusatz** in organischer Lösung beigemischt. Dieser zusätzliche Betriebsstoff des Fahrzeugs befindet sich

in einem Zusatztank, der unmittelbar neben dem normalen Dieseltank angeordnet ist. Das Cerin-Additiv wird proportional zur jeweils getankten Kraftstoffmenge automatisch dem Dieselmotorkraftstoff zugesetzt. Die Mengenverhältnisse sind 37,5 ml Additivlösung (darin sind 1,9 g Cerin enthalten) auf 60 l Diesel. In zahlreichen Versuchen wurde nachgewiesen, dass diese Chemikalie weder gesundheits- noch umweltschädlich ist, sie wurde vom deutschen und französischen Umweltministerium zugelassen und ist EU-weit freigegeben. In dem Additiv-Tank befindet sich eine Menge von 5 Liter Cerin-Zusatz, der für eine Fahrstrecke von 80.000 km ausreicht. Nach dieser Laufzeit muss der Filter eine Hochdruckreinigung beim Händler erhalten, wodurch die Cerin-Ablagerungen beseitigt werden. Bei dieser Gelegenheit wird der Zusatztank für die nächsten 80.000 km erneut befüllt.

Mehrventiltechnik:

Bei einfachen konventionellen Motoren werden pro Zylinder zwei Ventile eingebaut, je ein Einlass- und ein Auslassventil.

Bei der dargestellten Anordnung werden diese beiden Ventile durch eine darüber liegende Nockenwelle („hängende Ventile“ mit „obenliegender Nockenwelle“) gesteuert. Dies stellt schon seit Jahren die Standardanordnung im Fahrzeugbau dar. Motoren mit „stehenden Ventilen“, Stößelstangen und „untenliegender“ Nockenwelle werden heute nur noch für sehr einfache Anwendungen hergestellt, z. B. für Rasenmäher (durch die Bezeichnungen „oben“ und „unten“ dort allerdings nicht verwirren lassen, beim Rasenmäherbeispiel liegt der Motor horizontal!).

Die englische Bezeichnung für „obenliegende Nockenwelle“ ist oft als Abkürzung OHC zu finden, was bedeutet „Over Head Camshaft“.

Möglichkeiten der Optimierung:

1. Da ein rundlicher Hohlraum für den Verbrennungsvorgang optimal ist, kommt dieser Forderung die dargestellte Anordnung mit den hängenden Ventilen sehr entgegen.
2. Bei mehr als zwei Ventilen pro Zylinder, kann die Brennraumgestaltung und die Zylinderfüllung zusätzlich verbessert werden: Mehr Einlassventile bewirken **größere Öffnungsquerschnitte** und damit einen **höheren Liefergrad**. Ferner lässt sich die Temperatur in der Umgebung der thermisch besonders beanspruchten Auslassventile senken, wenn **zwei** Auslassventile verwendet werden.
3. Ein weiterer Vorteil zeigt sich, wenn man bedenkt, dass Ventile *hin und her gehende Massen* sind. Lassen sich solche Massen verringern, lässt sich die Drehzahlfestigkeit eines Motors steigern. Wenn mehrere kleinere Ventile die Funktion erfüllen, kann der „Ventilhub“ (die *Weite* der Hin-und-her-Bewegung) sowie die Masse eines einzelnen Ventils verringert werden. Daher ist ein Mehrventilmotor **drehzahlfester**.

Diese Vorteile werden bedeuten natürlich deutlich mehr konstruktivem Aufwand bei der Ventilsteuerung und dem Aufbau der Zylinderköpfe. Daher finden sich zur Zeit **Fünfventilmotoren** nur bei sehr leistungsfähigen Motoren.

Variable Ventilsteuerung

Vor allem bei hochdrehenden modernen Ottomotoren lässt sich die Forderung nach geringen Abgasemissionen und niedrigem Verbrauch sowohl bei hohen Drehzahlen (im *maximalen Leistungsbereich*) als auch bei mittleren Drehzahlen (im Bereich des *besten Drehmomentes*) und schließlich noch bei niedrigen Drehzahlen nur erfüllen, wenn die **Steuerzeiten** der Ventile **nicht immer gleich** sind. (Zur Ventilsteuerung vgl. die Steuerdiagramme („Kreisdiagramme“) auf der Folienabbildung (siehe Sachinformation Transparent 5+6), dort sind die üblichen Öffnungs- und Schließzeiten der Einlass- und Auslassventile in zeitlicher Folge dargestellt.)

Es gibt mehrere Lösungsansätze zur technischen Lösung des Problems der variablen Ventilsteuerzeiten, von denen hier vier vorgestellt werden sollen. Diese beeinflussen Öffnungszeit und/oder Öffnungsbeginn der Ventile.

Zu Bild 1 und Bild 2: (häufigste Variante)

1. Man **verdreht** die Nockenwelle bei Bedarf um ihre Längsachse. Die Auswirkung auf die Ventilsteuerung ist: Da die Nocken**form** nicht verändert wird, wird die eigentliche Öffnungs**zeit** des Ventils **nicht verändert**. Man **verändert** aber den Öffnungs**beginn** in Richtung früher oder später.

Zu Bild 3:

2. Von FIAT wird eine Lösung vorgestellt, bei der die Nockenwelle in Längsrichtung verschoben werden kann. Die einzelnen Nocken haben ein besonderes Profil. Dies bewirkt, dass die Wirkung des ablaufenden Nockens auf das zugehörige Ventil nicht immer gleichartig ist. Je nach Verschiebung der Nockenwelle in Längsrichtung sind somit stufenlose Änderungen in Steuerzeit und Ventilhub möglich.

Im Steuerdiagramm wird klar: Sowohl die Öffnungs**zeit** eines Ventils wird stufenlos **variabel** als auch der Öffnungs**beginn**.

Zu Bild 4:

3. Die Entwicklung schnell schaltender elektromagnetischer Ventile für die Einspritztechnik beim Common-Rail-Dieselmotor ermöglicht, dass die Nockenwelle nicht verändert wird, dafür aber die Länge der **Ventilstößel**. Da die Magnetventile sehr schnell schalten können, kann man mit dieser relativ neuen Technik das Verhalten des Ventils hinsichtlich **Öffnungszeit** und **Öffnungsbeginn** gezielt und stufenlos verändern.

Zu Bild 5:

4. Bei dieser technischen Lösung von HONDA hat die Nockenwelle zur Steuerung der Ventile jeweils nicht nur *ein* Nockenprofil, sondern **zwei**. Eines davon ist für hohe, eines für niedrige Drehzahlen zuständig. Die zugehörige elektromechanische Steuerung sorgt für die Auswahl des „richtigen“ Profils, das dann für die Ventilsteuerung herangezogen wird, während das andere jeweils bedeutungslos ist. Mit dieser Technik können Öffnungs**zeit** und **-beginn** in zwei Stufen variiert werden.

Der hohe konstruktive Aufwand bedingt die noch geringe Verbreitung der variablen Ventilsteuerung im „Alltagsmotor“.