

HANSER

Nutzfahrzeug-Dieselmotoren

Rainer Kurek

Stand der Technik – Entwicklungs- und Innovationspotenziale –
Optimierungspotenziale

ISBN 3-446-40590-9

Leseprobe

Weitere Informationen oder Bestellungen unter
<http://www.hanser.de/3-446-40590-9> sowie im Buchhandel

3.4 Motorsteuerung

3.4.1 Aufgabe und Funktion

In den vergangenen Jahren hat sich in der Motorentechnik ein Trend zu **obenliegenden Nockenwellen** (overhead camshaft = OHC und double overhead camshaft = DOHC) entwickelt, wobei Motoren mit **untenliegenden Nockenwellen** (overhead valve = OHV) gerade bei großvolumigen V-Motoren nach wie vor Anwendung finden. Der Grund für die Entwicklung von Motoren mit obenliegenden Nockenwellen liegt im Bestreben, für Motoren hoher Leistung noch drehzahlfestere Ventiltriebe bereitzustellen. OHV- und DOHC-Konzepte zeichnen sich durch kompakte Bauformen und kostengünstige Herstellung aus.

Bei Nutzfahrzeug-Dieselmotoren zeichnet sich ein Trend zu **Vierventil-Konzepten** ab. Kipphebel bzw. Doppel-Kipphebel mit mechanischer Einstellung des Ventilspiels, die von unten liegenden Nockenwellen über Stößelstangen angetrieben werden, übernehmen die Betätigung der Ventile. Für kleinere Nutzfahrzeugmotoren, die ohne Motorbremsbetrieb auskommen, werden neben OHV auch OHC-Konzepte eingesetzt, zunehmend mit hydraulischem Ventilspielausgleich.

Die **Nockenwelle** setzt den Ventiltrieb in Bewegung und hat die Aufgabe, Öffnungs- und Schließzeiten der Ventile sicherzustellen. Ihre Drehzahl ist beim Viertaktmotor gleich der halben Kurbelwellendrehzahl (Untersetzung). Das Nockenwellenrad muss also doppelt so viele Zähne besitzen wie das Kurbelwellenrad.

Die **untenliegende Nockenwelle** wird von der Kurbelwelle über schräg verzahnte Zahnräder angetrieben. Das größte Zahnrad besteht aufgrund der Geräuschminderung aus Pressstoff. Die **obenliegende Nockenwelle** steht über Ketten, Zahnriemen oder Kegelräder mit der Kurbelwelle in Verbindung. Die Ketten laufen im **Kurbelgehäuse** und werden durch Spritzdüsen mit Öl geschmiert. Der Kunststoffzahnriemen mit Stahldrahteinlage oder Glasfaserlitzen liegt außerhalb des Kurbelgehäuses und wird nicht geschmiert.

Die Nockenwelle wird nach oben in den Zylinderkopf verlagert, sofern der Ventiltrieb besonders schwingungssteif ausgeführt werden soll. Dies ist bei Motoren mit hoher Drehzahlanforderung notwendig, damit keine Ventiltriebsschwingungen mit Federbrüchen auftreten. Die wichtigsten Kriterien bei der Entscheidung für den Antrieb der Nockenwelle sind Kosten, Bauraum, Wartungsfreundlichkeit, Lebensdauer und Geräuschentwicklung.

Steuertriebe in modernen Motoren treiben neben der Nockenwelle auch noch andere Bauteile, wie Ölpumpe, Wasserpumpe oder Einspritzpumpe, an. Da sowohl Nockenwelle, als auch Kurbelwelle ungleichförmig umlaufen und auch der Kraftbedarf der Einspritzpumpe beispielsweise sehr starken periodischen Schwankungen unterliegt, entstehen hier sehr komplexe dynamische Beanspruchungen für die Bauteile der Motorsteuerung.

3.4.1.1 Anordnung der Ventile

Untengesteuerter Motor – SV-Motor (side valves)

Die Schließbewegung der Ventile ist gleichgerichtet mit der Kolbenbewegung in Richtung unterer Totpunkt. Ein untengesteuerter Motor hat seitlich stehende Ventile. Er wird wegen der ungünstigen Form des Verdichtungsraumes in Kraftfahrzeugen nicht verwendet.

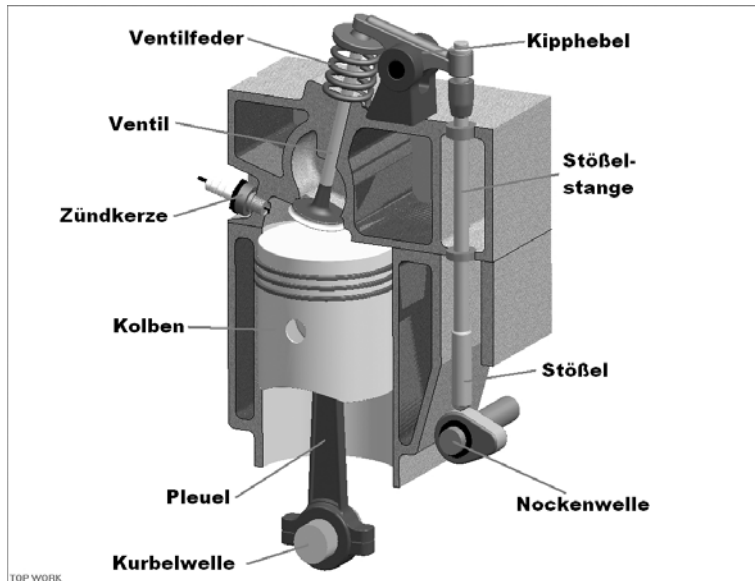
Obengesteuerter Motor

Die Schließbewegung der Ventile ist gleichgerichtet mit der Kolbenbewegung in Richtung oberer Totpunkt. Ein obengesteuerter Motor hat hängende Ventile. Obengesteuerte Motoren, die sich primär in der Anordnung der Nockenwelle(n) unterscheiden, werden in Kraftfahrzeugen vornehmlich eingesetzt.

3.4.1.2 Anordnung der Nockenwelle

OHV-Motor (overhead valves)

Die vom Nocken erzeugte Hubbewegung wird über Ventilstößel, Stoßstange und Kipphebel auf das hängend eingebaute Ventil übertragen. OHV-Motoren finden gerade bei großvolumigen V-Motoren Einsatz.



TOP WORK

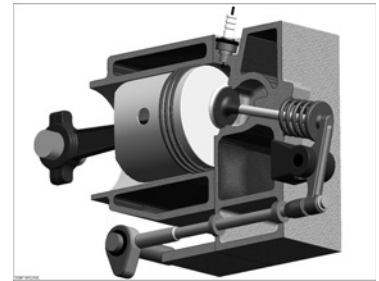
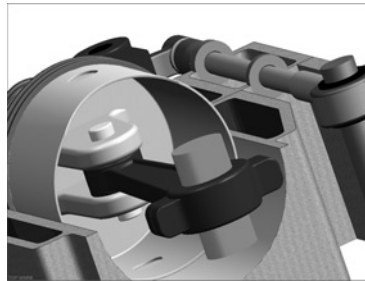
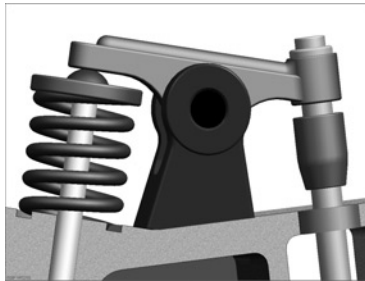


Abb. 3.24: Aufbau eines OHV-Motors mit untenliegender Nockenwelle

Sie zeichnen sich durch eine kompakte Bauweise und kostengünstige Herstellung aus. Abb. 3.24 zeigt den konstruktiven Aufbau eines Motors mit untenliegender Nockenwelle aus verschiedenen Ansichten.

OHC-Motor (overhead camshaft)

Das Verlegen der Nockenwelle aus dem Kurbelgehäuse in den oberliegenden Zylinderkopf verringert die zu bewegenden Massen um die Ventilstößel und Stoßstangen (Abb. 3.25). Eine weitere Massenreduzierung ergibt sich bei modernen Motoren durch den Einsatz von **Schwinghebeln** oder **Tassenstößeln**. Der Antrieb erfolgt überwiegend durch **Zahn-**

riemen oder **Ketten**. Seltener werden Stirnradgetriebe oder zwei Kegelräder mit verbindender Königswelle realisiert.

DOHC-Motor (double overhead camshaft)

Das Funktionsprinzip sowie die oben genannten Vorteile des OHC-Motors ergeben sich auch für den DOHC-Motor. Bei der DOHC-Anordnung werden zwei Nockenwellen eingebaut (Abb. 3.25).

Durch diese Bauweise werden keine Kipphebel benötigt, und somit ist eine direkte Betätigung der Nockenwelle auf säulengeführten Elementen (Tassenstößel) möglich. Vorteil sind sehr gute Steifig-

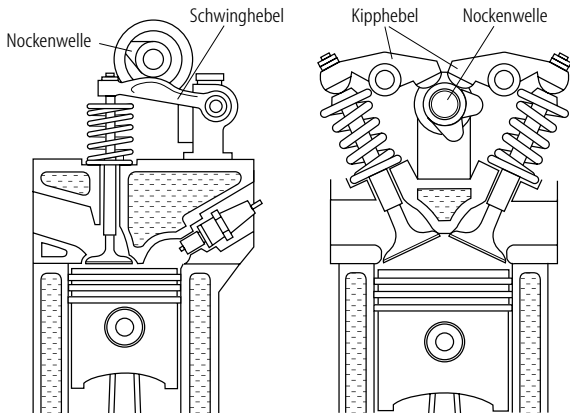


Abb. 3.25: Ausführungsformen von (D-)OHC-Motoren

keitswerte bei relativ geringen bewegten Massen. Somit lassen sich gerade mit Tassenstößeln effiziente und hochdrehende Motoren verwirklichen. Die mechanischen Tassenstößel-Ventiltriebe gestatten bei DOHC-Anwendungen eine relativ geringe Bauhöhe des Zylinderkopfes.

CIH-Motor (camshaft in head)

Die Nockenwelle ist hier ebenfalls im Zylinderkopf angeordnet. Das Verlegen der Nockenwelle aus dem Gehäusebereich direkt in den Zylinderkopf vermindert die zu bewegenden Massen um die Stoßstangen. Die Nockenwelle betätigt über einen Ventilstößel und Kipphebel das Ventil.

3.4.1.3 Variable Ventilsteuerung

Da sich Forschung und Entwicklung in der Vergangenheit primär auf Motoren mit variablen Ventilsteuerungen konzentrierten, werden die folgenden Ausführungen sowie die verschiedenen Bauarten erläutert.

Der **Füllungsgrad** des Zylinders ist bei Verbrennungsmotoren mit herkömmlichem Ventiltrieb nur bei einer bestimmten Drehzahl optimal. Bei dieser Drehzahl gibt der Motor sein größtes Drehmoment ab. Wird die Drehzahl weiter erhöht, steigt zwar die Leistung bis zu einem Höchstwert, aber das Dreh-

moment nimmt durch die schlechter werdende Zylinderfüllung jedoch ab.

Lässt man das Einlassventil möglichst lange geöffnet, verbessert dies die Zylinderfüllung bei hohen Drehzahlen. Bei kleinen Drehzahlen ergeben sich durch die große Ventilüberschneidung jedoch ein unruhigerer Leerlauf und große Spülverluste. Dies führt zu hohen Schadstoffanteilen im Abgas.

Nockenwellenverstellung

Der **Nockenwellenversteller** lässt eine kontinuierliche Veränderung der Steuerzeiten der Nockenwelle in einem weiten Winkelbereich zu. Somit ist bei DOHC-Motoren eine Veränderung der Ventilüberschneidung möglich und damit eine Einstellung des Restgasgehaltes im Brennraum. Darüber hinaus können die Steuerzeiten vor allem im Leerlauf und unter Vollast auf besten Komfort bzw. auf höchstes Drehmoment und höchste Leistung ausgelegt werden.

Bei DOHC-Motoren werden Nockenwellenversteller meist auf der Einlasswelle eingesetzt. Typische Verstellwinkel liegen bei 40 ... 60°. **Auslassversteller** kommen bei aufgeladenen Motoren zur Anwendung. Die kontinuierliche Nockenwellenverstellung wird in einem geschlossenen Regelkreis betrieben und hydraulisch betätigt.

Hydraulische Verstelleinheit

Die hydraulische Verstelleinheit wird an der Antriebsseite der Nockenwelle befestigt. Mit diesem Bauteil wird der Verstellwinkel durch wechselweise Befüllung zweier Ölkammern verändert.

Steuerventil

Das Ventil wird elektrisch angesteuert und regelt den Zu- und Ablauf des Öls in den Kammern.

Regelkreis

Der Regelkreis besteht aus einer Software, einer Treiberendstufe in der Motorsteuerung sowie Geberädern und Sensoren an Kurbelwelle und Nockenwelle.

Durch die Motorsteuerung wird je nach Last und Drehzahl aus einem Kennfeld der geforderte Sollwinkel der Steuerzeiteinstellung ausgelesen. Dieser wird mit dem gemessenen Istwinkel verglichen. Abweichungen von Soll- zu Istwert werden ausgewertet und führen zu einer Veränderung des Stroms zum Steuerventil. Damit steuert das Ventil Öl in die jeweils der gewünschten Verstellrichtung entsprechende Ölkammer des Nockenwellenverstellers, während Öl aus der jeweils anderen Kammer ablaufen kann.

Entsprechend der Befüllung der Ölkammern des Verstellers ändert sich die Winkellage der Nockenwelle. Sensoren lesen die Position der Geberräder an Nockenwelle und Kurbelwelle ab. Aus diesen Signalen wird der Istwinkel ermittelt. Dieser Regelvorgang läuft mit hoher Frequenz (Wiederholung) ab. Das System wird in der Regel mit dem Motoröl- druck betrieben.

3.4.1.4 Zylinderabschaltung

Bereits Anfang der achtziger Jahre war die Zylinderabschaltung als Maßnahme zur **Verbrauchsreduzierung** bei Verbrennungsmotoren bekannt. Die Zylinderabschaltung findet vorwiegend bei großvolumigen, vielzylindrigen Motoren Einsatz.

Zweck der Zylinderabschaltung ist es, die Ladungsverluste (Pump- und Drosselverluste) zu minimieren. Eine Reduzierung der Reibleistung wird durch geringe Federkräfte an den deaktivierten Zylindern erreicht. Hier arbeitet die Nockenwelle nur noch gegen die so genannten „Lost-Motion-Federkräfte“, die etwa 4- bis 5-mal kleiner sind als die vergleichbaren Ventilsfederkräfte.

Das ursprünglich von DaimlerChrysler entwickelte Zylinderabschaltsystem basiert auf folgendem Prinzip: Zur Abschaltung werden die im Vollmotorbetrieb gekoppelten Zwillingshelben durch einen mit Öldruck verschiebbaren Kolben entkoppelt. Dadurch überträgt sich der Nockenhub nicht auf das Ein- und Auslassventil. Versuche an einem V8-Motor im stationären Betrieb zeigten, dass sich durch die Zylinderabschaltung ein Kraftstoffeinsparpotenzial in üblichen Fahrzyklen von etwa 8 ... 15 % erreichen lässt.

3.4.1.5 Mechanisch variabler Ventiltrieb (Valvetronic)

Die drosselfreie Laststeuerung über den Ventiltrieb ist mit den „Valvetronic“-Motoren von BMW erstmals in Serie gegangen. **Valvetronic** arbeitet mit einem variablen Ventilhub. Im Teillastbetrieb geschieht dies mit vergleichsweise kleinen Ventilhuben von 0,5 ... 2 mm. Dadurch gelangt das Kraftstoffgemisch nur durch einen schmalen Spalt in den Brennraum. Durch die hohe Einströmgeschwindigkeit wird das Gemisch schon bei kaltem Motor ideal zerstäubt.

Die Valvetronic-Technologie (Abb. 3.26) bietet aufgrund ihrer Funktionsweise ein optimales Kaltstartverhalten und eine hohe Laufruhe.

Die Valvetronic realisiert einen vollvariablen Ventilhub von 0,0 ... 9,7 mm. Dieser wird durch einen elektromotorisch verstellbaren Zwischenhebel erreicht, der zwischen der Nockenwelle und dem Schleppebel platziert ist, der das Ventil betätigt. Dabei arbeitet die Valvetronic nicht nur äußerst präzise, sondern auch extrem schnell. Die Verstell-



Abb. 3.26: Valvetronic-Ventiltrieb