

Zusatzinformationen zu Wärmelehre/Energieumsetzung

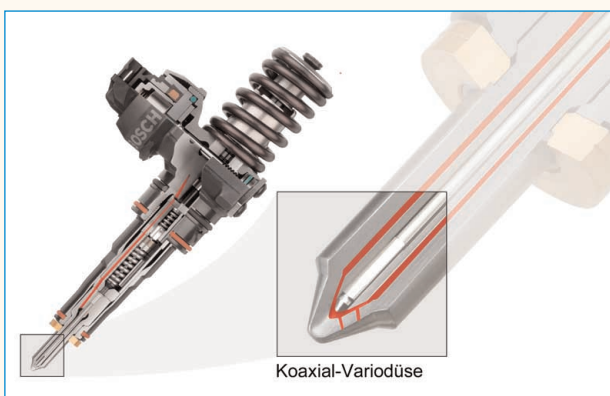
Einspritztechniken

Bei der neuen Motorengeneration unterscheiden sich die Ablaufphasen bei Dieselmotoren und direkt-einspritzenden Benzinmotoren (jeweils mit Common-Rail-System) nur noch in Details. Dies ist die Folge neu entwickelter Bauteile und deren Einsatzmöglichkeiten.

Ein kurzer Rückblick: Früher bestimmte beim Dieselmotor die Einspritzpumpe selbst den **Einspritzbeginn** (= Zündzeitpunkt). Im Inneren der Einspritzpumpe befindet sich der „Spritzversteller“. Mit diesem kann der Aufbau des Hochdrucks etwas vor- oder nachverlegt werden. Da ein Einspritzventil alter Art bei einem bestimmten Druck in der angeschlossenen Hochdruckleitung von selbst mit dem Einspritzen beginnt, konnte auf diese Weise der Einspritzbeginn direkt von der Einspritzpumpe bestimmt werden.

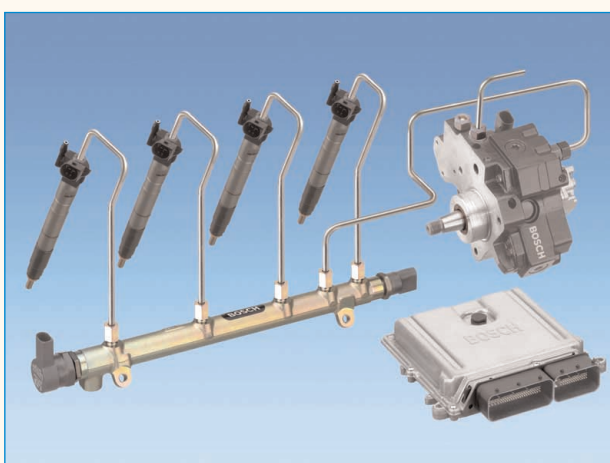
Auch die Menge des eingespritzten Kraftstoffs wurde von der Einspritzpumpe direkt zugemessen. Man veränderte die Menge, indem man den Aufbau des Hochdrucks nach kürzerer oder längerer Zeit stoppte. Eine entsprechende Kraftstoffmenge gelangte daher fein verteilt über die Einspritzdüse in den Zylinder. Bei einem Dieselmotor bestimmte man auf diese Weise von jeher die aktuelle Leistung des Motors über die Menge des eingespritzten Kraftstoffs. Im Ansaugluftkanal befinden sich bei einem Diesel (anders als beim herkömmlichen Ottomotor, siehe weiter unten) keinerlei Drosselemente zur Leistungsbeeinflussung.

Steigende Anforderungen an die Schadstoffarmut der Abgase machten eine wichtige Änderung erforderlich. Dabei ergaben sich zugleich die willkommenen Nebeneffekte der besseren Kraftstoffausnutzung, Geräuschverminderung u. a. m. Die Aufgaben der Hochdruckerzeugung und der exakten Steuerung von Einspritzbeginn und -dauer wurden aufgeteilt. Die Aufgabe der Hochdruckerzeugung übernimmt nun eine separate Hochdruckpumpe. Der über einen längeren Zeitraum zur Verfügung stehende Hochdruck wird dann von der elektronisch gesteuerten Einspritzdüse zu einer variantenreichen Einspritzung genutzt, wobei sich ganz gezielt und individuell Beginn und Menge bestimmen lassen. Auch sind mehrere Einspritzungen nacheinander möglich.



Zwei Systeme konkurrieren zurzeit:

Jede Einspritzdüse kann eine eigene Hochdruckpumpe haben, die mit dieser oft als kompakte Einheit zusammengebaut ist (Pumpe-Düse-System, Unit Injector System). Der Antrieb einer Einheit erfolgt direkt von der im Motorblock nahebei liegenden Nockenwelle aus. Dieses Prinzip ist im „Profilager“ des Nutzfahrzeugbaus weit verbreitet und erscheint daher ausge-reift und zuverlässig, auch einige PKW-Diesel benutzen es.



Die zweite Möglichkeit ist die einer gemeinsamen Hochdruckpumpe für alle Einspritzdüsen. Die Pumpe fördert permanent Kraftstoff unter enorm hohem Druck in einen Hohlraum („Common Rail“), aus dem sich dann die Einspritzdüsen elektronisch gesteuert nach Bedarf bedienen können. Viele Neukonstruktionen im PKW-Bereich benutzen dieses System mit hohem Entwicklungspotenzial.

Die Einspritzdüsen sind bei beiden Systemen für eine **elektronische Steuerung** ausgelegt. Ihre Nadeln öffnen zwar immer noch einfach dadurch, dass der Druck des Kraftstoffs auf ihre Druckschulter einen bestimmten Wert übersteigt. Aber man erreicht z. B. durch Magnetventile, dass der Kraftstoff (bei extrem kurzen Wegen im Inneren der Düse) ganz präzise zu von der Bordelektronik berechneten Zeitpunkten unter dem Öffnungsdruck an der Nadelschulter anliegt. Daraufhin öffnet die Nadel und die Düse spritzt ein. Kann dies in hinreichend kurzer Zeit nacheinander ablaufen, eignet sich eine solche Düse für mehrere Einspritzungen während desselben Arbeitstaktes.

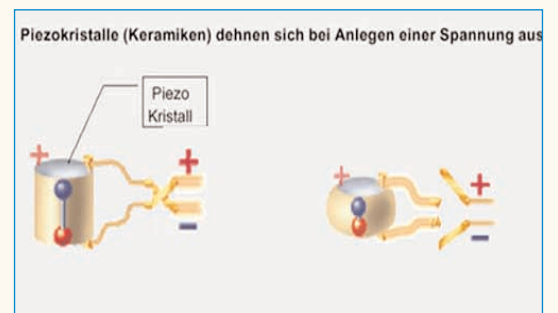
(Mindestens) eine Vor-Einspritzung lässt den Verbrennungsprozess sanfter beginnen, sodass die folgende Haupteinspritzung unter idealeren Bedingungen ablaufen kann. Deutliche Geräuschreduzierung und besseres Abgasverhalten sind die Folgen.

Schon die „klassische“ Bauweise ohne Magnetventile und mit ausschließlicher Steuerung durch die Einspritzpumpe erlaubte eine solche doppelte Einspritzung. Man benutzte besondere Einspritzdüsen mit zweifachen Druckfedern im Inneren. Die Zeitfolge und die Kraftstoffmengenverteilung auf Vor- und Haupteinspritzung lagen jedoch unveränderlich fest. Hinzu kommt: Für besondere Zwecke der Abgasreinigung sind zusätzlich evtl. eine oder mehrere Nach-Einspritzungen erforderlich. (Darüber findet sich an anderer Stelle mehr, vgl. die Abschnitte über den Partikelfilter.) Spätestens hier muss die althergebrachte Einspritzdüse ohne steuernde Zusatzeinrichtungen passen.

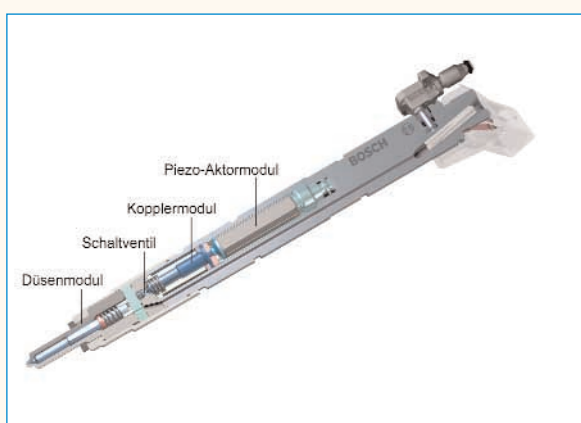
Die übliche Bauform solcher neuerer Einspritzdüsen ist die mit **magnetischer** Ansteuerung. Jetzt ist eine weitere Generation solcher „Injektoren“ entwickelt worden, die mit einer **piezo-elektrischen** Ansteuerung arbeiten.

Das Prinzip der Piezo-Elektrizität kennt man im Alltag von der etwas höherwertigen Ausführung der Einweg-Feuerzeuge. Diese zünden das austretende Gas nicht mit einem Reibrad und einem Feuerstein, sondern mit einem „Klick“ auf die Zündtaste. Dabei „klickt“ der Benutzer im Inneren auf ein Federelement. Nachdem dessen Vorspannung überwunden ist, schnellt dies mit einiger Kraft auf einen Piezo-Kristall. Dieser reagiert daraufhin mit der Erzeugung einer Hochspannung von einigen Kilovolt. Die Spannung wird geeignet abgegriffen, und der entstehende Funke zündet das Gas. Ähnliche Piezo-Gasanzünder sind in komfortable Gasherde oder Gasheizgeräte eingebaut.

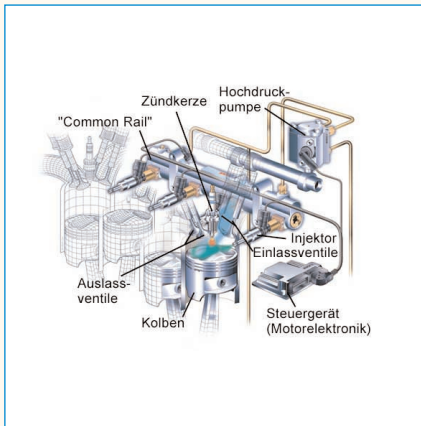
Das gleiche Prinzip benutzten auch die früheren einfachen Tonabnehmer bei Schallplattenspielern. Die Nadel beeinflusst einen Piezo-Kristall mit geringer Kraft, wenn sie der Rillenveränderung auf der Schallplatte folgte. Der Kristall reagierte auf diese geringe Krafteinwirkung mit der Abgabe einer entsprechend geringen elektrischen Spannung. Diese schwankte entsprechend der Vorgabe durch die Rillenform im Rhythmus der aufgezeichneten Musik. Nach entsprechender Verstärkung war daher der Inhalt der Platte zu hören.



Wichtig für die neue Generation von Einspritzdüsen ist nun: Dieses **Piezo-Prinzip** ist umkehrbar. Legt man an einen Piezo-Kristall eine elektrische Spannung an, so reagiert dieser mit einer entsprechenden mechanischen Längenveränderung.



Obwohl diese nicht sehr groß ist, reicht sie für den Zweck der Steuerung eines „Injektors“ aus. Um die Formveränderung bis in den Millimeterbereich zu vergrößern, werden die Piezo-Kristall-Elemente scheibchenweise gestapelt. Andererseits geschieht der Piezo-Effekt rasch und präzise mit An- und Abschalten der Spannung; ein verzögernder magnetischer Hysterese-Effekt kann sich prinzipiell nicht einstellen, was für eine schnelle Steuerung der Düsen besonders wichtig ist. Eine piezo-gesteuerte Einspritzdüse kann nach Herstellerangaben neben der Haupteinspritzung mehrere Vor- und Nach-einspritzungen ausführen.



Die genannten Bauelemente bieten sich auch zur Verwendung in einem modernen Ottomotor mit direkter Benzineinspritzung in den Brennraum an. Bis auf die Tatsache, dass auch dieser Ottomotor zum Einleiten des Zündvorgangs eine Zündkerze braucht, sind alle anderen vorhin erwähnten Bauelemente des Common-Rail-Systems hier ebenfalls vorhanden. Ein Motor dieser Bauart hat sogar das typische Element der Leistungssteuerung anderer Ottomotoren verloren: Während die Leistung des „normalen“ Ottomotors durch die Drosselklappe im Ansaugweg bestimmt wird, mit der man die angesaugte Luftmenge beeinflusst, kann der direkteinspritzende Ottomotor wie ein Diesel ohne „störende Hindernisse“ im Ansaugtrakt über die eingespritzte Kraftstoffmenge gesteuert werden.

Bei den Einspritzdüsen solcher Otto- und auch Dieselmotoren gibt es Ausführungen mit magnetischer Steuerung (z. B. der unten erwähnte VW-Motor) und solche mit Piezo-System (z. B. bei Mercedes).

Ein typischer Vertreter dieser neuen Motorengeneration ist beispielsweise der so genannten „FSI-Motor“, der von VW für den Kleinwagen „Lupo“ als Sprit sparende Benzin-Alternative zur Dieselsonversion im „3-Liter-Lupo“ entwickelt worden ist. Über diesen Motor und seinen „Schichtladebetrieb“ („FSI“ zu Deutsch „geschichtete Kraftstoff-Einspritzung“) können Sie sich in einer abrufbaren Video-Animation informieren.