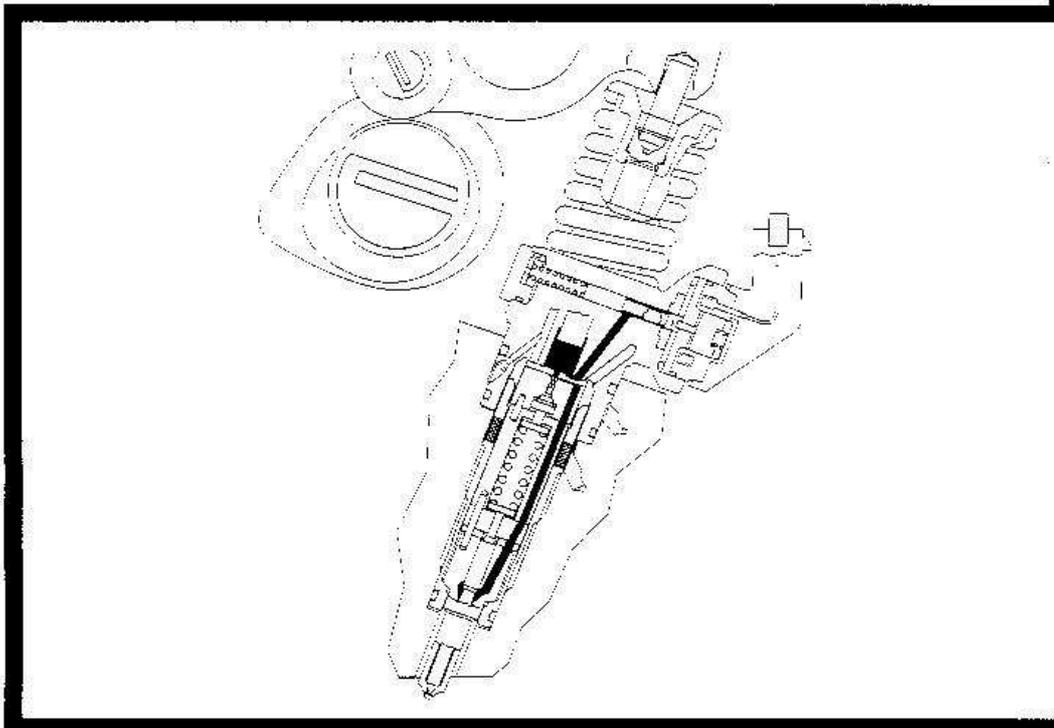




**RATIONALISIERUNGS-
KURATORIUM FÜR
LANDWIRTSCHAFT**



**DIESELMOTOREN –
EINSPRITZSYSTEME**

Peter Dönges

Dieselmotoren – Einspritzsysteme

Februar 2004

Dipl. Ing. Schiffsbetriebstechnik Peter Dönges ist Technischer Lehrer an der DEULA Schleswig-Holstein GmbH, Lehranstalt für Agrar- und Umwelttechnik, 24768 Rendsburg, Am Kamp 13, Tel. 04331-847910.

Herausgeber:

Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft (RKL)

Leiter: Dr. Hardwin Traulsen

Am Kamp 13, 24768 Rendsburg, Tel. 04331-847940, Fax: 04331-847950

Internet: www.rkl-info.de; E-mail: mail@rkl-info.de

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Zustimmung des Herausgebers

Gliederung

1.	Einleitung	721
2.	Grundsätzliche Aufgabe der Einspritzanlage	721
3.	Wirbelkammer	724
4.	Vorkammer	725
5.	Direkteinspritzung	726
6.	Abgasturbolader	727
7.	Ladeluftkühlung	727
8.	Elektronik	728
9.	Common–Rail	728
10.	Hochdruckeinspritzung	730
11.	Düsen	731
12.	Einspritzleitungen	732

1. Einleitung

Auch bei den Dieselmotoren hat die Elektronik Einzug gehalten. Erst fast unbemerkt wurde der klassische Fliehkraftregler an den Einspritzpumpen ersetzt, elektrische statt mechanischer Sensoren für Kühlwassertemperatur oder Öltemperatur u.s.w. eingebaut und dann auch elektronische Bausteine an den Einspritzkomponenten verwendet.

Diese Schrift soll über den heutigen Stand der Dieselmotorentechnik in der Landwirtschaft informieren. Dabei wird die Entwicklung kurz dargestellt, um die Unterschiede aufzuzeigen und auch um deutlich zu machen, welches Potenzial in den Motoren steckt.

Ebenso sollen typische Fachbegriffe erläutert werden, damit man sich selbst eine Vorstellung über Funktionen und Abläufe machen kann.

2. Grundsätzliche Aufgabe der Einspritzanlage

Um ein so komplexes System wie die Einspritzanlage eines Dieselmotors zu verstehen, sollte man sich immer erst die Frage stellen:

Welche Funktion hat eine Einspritzanlage und was will ich damit erreichen?

Die Antwort, die man findet, lässt einen erkennen, dass die Ansprüche vor 80 Jahren nicht viel anders waren, als heute. Natürlich haben wir heute Emissionsvorschriften

und ähnliches, auch bietet die Technik Möglichkeiten, an die zu jener Zeit niemand denken konnte, aber vom Grundsatz ist der Anspruch gleich geblieben.

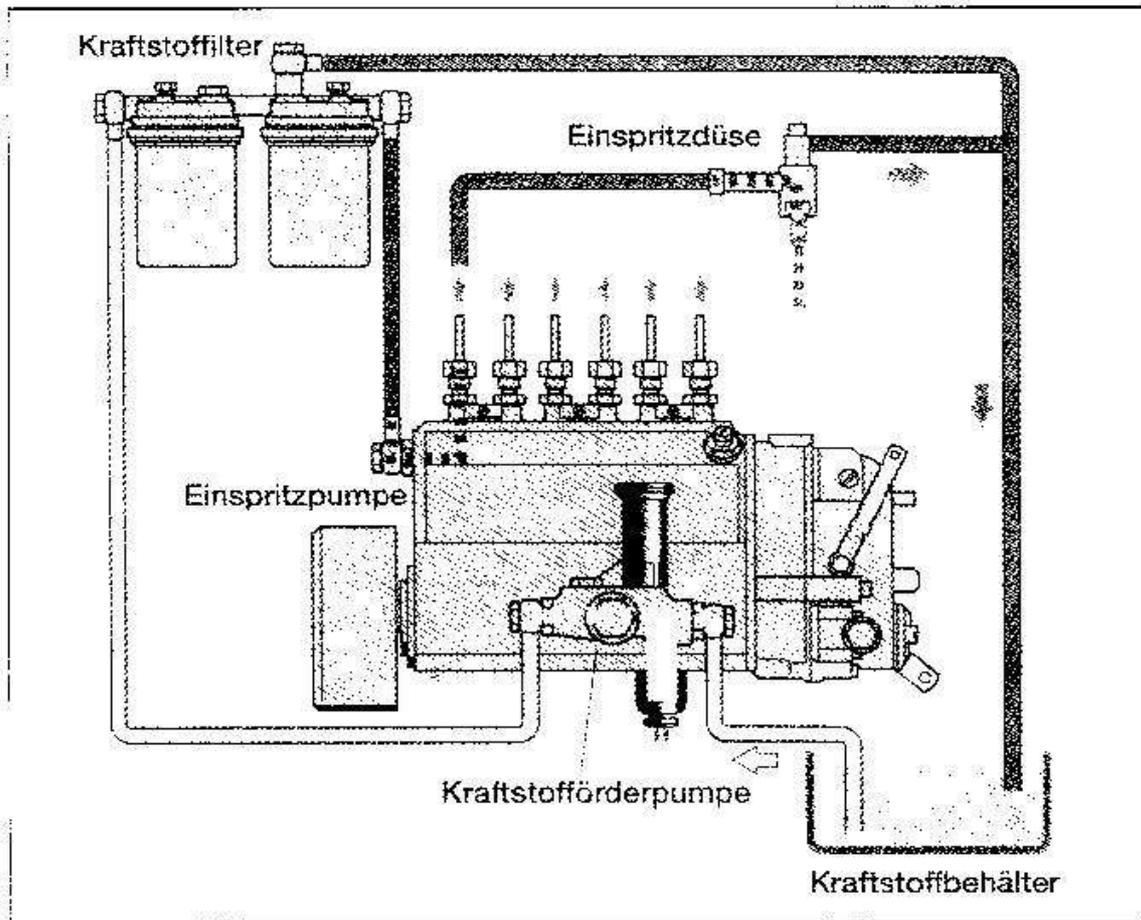


Abbildung 1: MAN-Schulungsunterlagen

Eine Kraftstoffanlage soll:

- 1.) Kraftstoff fördern vom Tank bis in den Zylinder und dabei den Kraftstoff so aufbereiten, dass er optimal verbrannt werden kann.
- 2.) Den Kraftstoff zum richtigen Zeitpunkt bereitstellen
- 3.) Je nach Leistungsbedarf die passende Menge Kraftstoff zuteilen

Eigentlich sind diese drei Punkte alles, was eine Einspritzanlage zu erledigen hat. Man kann also sagen: Gar nicht so kompliziert.

Ist es auch nicht, wenn man die angeführten Punkte in der gesamten Funktion des Motors unterbringen kann.

Dazu kurz ein paar Grundlagen:

Ein Dieselmotor ist ein Selbstzündler. Selbstzündler heißt, es gibt keine Zündkerze oder etwas anderes, was die Verbrennung einleitet. Die Verbrennung wird durch den

Beginn des Einspritzens von Dieselkraftstoff eingeleitet (also Punkt 2: Kraftstoff zum richtigen Zeitpunkt bereitstellen).

Wenn also keine Zündkerze den Verbrennungsvorgang einleitet, sondern der Kraftstoff selbst, bleibt noch zu klären, warum er sich entzündet.

Der Kraftstoff entzündet sich, weil die angesaugte Luft so weit zusammengepresst (verdichtet) wird, dass die Temperatur auf ca. 700° C ansteigt. Wird nun der Kraftstoff fein zerstäubt eingespritzt, entzündet er sich von selbst an der heißen Luft. Das ist der Grund, warum der Zeitpunkt so wichtig ist, wann man den Kraftstoff einspritzt.

Der Kraftstoff wird durch Zerstäuben für die Verbrennung aufbereitet. Den Vorgang, erst reine Luft ansaugen, diese komprimieren und dann erst den Kraftstoff in den Zylinder einspritzen, nennt man „innere Gemischbildung“.

Lange war dies die Domäne des Dieselmotors. Heute wendet man dieses Prinzip auch schon bei Benzinmotoren an. Nur ganz am Anfang ca. 1890 – 1920 baute man Dieselmotoren, bei denen ein Kraftstoff – Luftgemisch in den Motorraum eingeblasen wurde (MAN Einblasediesel).

Ein Dieselmotor soll wirtschaftlich und umweltschonend arbeiten. Dazu bedarf es eines Motors mit perfekt aufeinander abgestimmten Komponenten. Genau in dem perfekt aufeinander abstimmen, liegen das Verbesserungspotenzial und die Neuerungen der heutigen Motoren.

Möglich geworden ist dies durch hochpräzise Fertigungsverfahren, die Kombination von Mechanik mit Elektronik, qualitativ hochwertiger Kraft- und Betriebsstoffe sowie leistungsfähiger Filtersystemen. Interessant in diesem Zusammenhang ist auch, dass einige Einspritzsysteme die heute als technische Innovationen bezeichnet werden, in ihrer Grundausführung mehrere Jahrzehnte alt sind.

Nehmen wir z.B. das Pumpe-Düse-System (PDS). Dahinter verbirgt sich das Lorange System, das in Großdieseln schon seit ca. 1930 eingesetzt wird. Das Time Pressure System (PT-System) der Firma Cummins ist schon genau so lange im Einsatz. Natürlich sind die Systeme heute mit entsprechendem Know-how verbessert worden.

Um einen Gesamtüberblick zu haben, sollen die wichtigsten bisherigen Einspritzsysteme kurz dargestellt werden.

3. Wirbelkammer

Eine lange Zeit häufig anzutreffende Art von Dieselmotor war der Wirbelkammermotor, wie ihn DEUTZ z.B. lange gebaut hat.

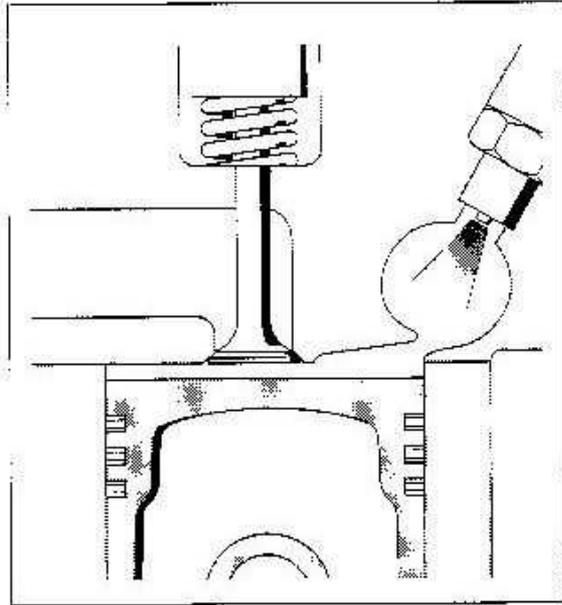


Abbildung 2: Wirbelkammerverfahren
(Quelle: Diesel-Einspritztechnik, Bosch, VDI-Verlag 1993)

Bei diesem Verbrennungsverfahren wird die angesaugte Luft beim Verdichten in einen kleinen kugelförmigen Brennraum im Zylinderkopf gepresst. Bei kaltem Motor wird mittels einer Glühkerze dieser kleine Raum (die Wirbelkammer) vorgewärmt. Dies verhindert, dass die verdichtete Luft beim Starten zu schnell ihre Wärme an die Kammerwände abgibt und, damit der eingespritzte Kraftstoff an den kalten Wänden kondensiert. Nur durch das Vorwärmen (Vorglühen) der Wirbelkammer wird erreicht, dass bei kaltem Motor und ggf. niedrigen Außentemperaturen der Motor sicher startet. Nach dem Verdichten wird in die Wirbelkammer durch eine Zapfendüse mit nur einem Loch der Kraftstoff bei einem Druck von ca. 125 bar eingespritzt. Er vermischt sich mit der heißen Luft und entzündet sich an ihr. Durch die Verbrennung gibt es einen Druckanstieg. Dieser bewirkt, dass sich das Kraftstoff-Luftgemisch ausdehnt u. so sich der Druck durch den Schusskanal zum Kolben hin ausdehnen kann. Dadurch wird der Kolben nach unten getrieben.

- 1.) Das System hat den Vorteil auch relativ schlechte Kraftstoffqualitäten verarbeiten zu können (lange Verdampfungszeiten durch die Wirbelkammer).
- 2.) Niedrige Verdichtungsdrücke und weichere Verbrennung sorgen für einen „leiseren Motor“ und geringere Belastung der Triebwerksteile (alles was sich im Motor dreht).

- 3.) Die Leistung ist durch Aufladung des Motors nur schwer steigerbar (Aufladung durch Abgasturbo-Lader und ähnliches, was zusätzlich Luft zum Zylinder bringt).

4. Vorkammer

Ähnlich arbeitet auch das Vorkammerverfahren. Hierbei wird auch ein Teil der verdichteten Luft in einen Raum im Zylinderkopf gepresst. In diesen Raum wird auch der Kraftstoff eingespritzt und so die Verbrennung eingeleitet. Durch den Druckanstieg wird nun das zum Teil verbrannte Gemisch durch Bohrungen am Ende der Vorkammer wieder in den Zylinder gedrückt, vermischt sich da mit der restlichen Verbrennungsluft und lässt so die Hauptverbrennung stattfinden.

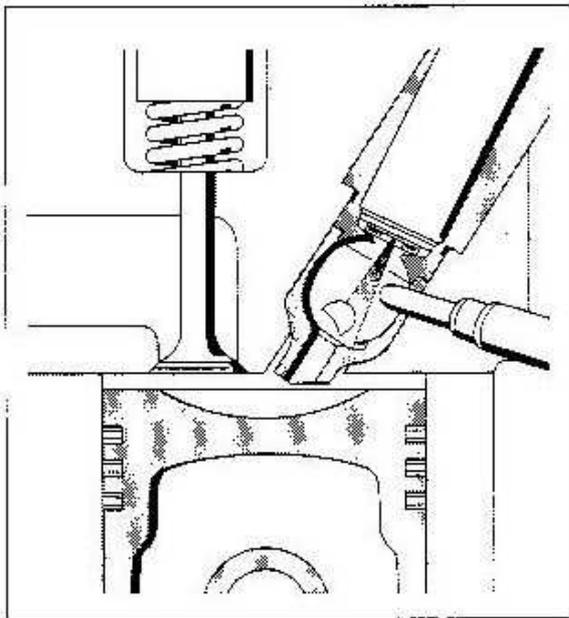


Abbildung 3: Vorkammerverfahren
(Quelle: Diesel-Einspritztechnik, Bosch, VDI-Verlag 1993)

Der Hauptunterschied zwischen Vor- und Wirbelkammer besteht darin, dass bei dem Vorkammerverfahren die Luft und der Kraftstoff durch Thermik und ein Prallblech miteinander vermischt werden und dass die Vorkammer zum Zylinder hin mehrere kleine Bohrungen hat, durch die das entzündete Gemisch in den Zylinder gelangt.

Der Wirbelkammer Motor hingegen hat nur den großen Schusskanal und die verdichtete Luft wird durch die Bauform der Kammer und des Schusskanals schon in eine Drehbewegung versetzt (verwirbelt).

Ansonsten gelten für den Wirbelkammer Motor die gleichen Punkte wie für den Vorkammer Motor.

5. Direkteinspritzung

Das heute gebräuchlichste Verfahren ist die Direkteinspritzung.

Wie man schon in Abbildung 4 gut erkennen kann, gibt es hier keine Räume im Zylinderkopf mehr. Sondern die Einspritzdüse bringt den Kraftstoff direkt in den Verbrennungsraum. Hierbei gibt es natürlich auch die verschiedensten Möglichkeiten die Luft zu verwirbeln und optimal mit dem Kraftstoff zu vermischen.

Zum einen werden die Kolbenböden (unten) mit verschiedensten Mulden versehen und zum anderen spritzt man den Kraftstoff nicht mehr durch nur ein Loch in den Zylinder, sondern über mehrere kleine Löcher. Weiter erhöht man auch den Einspritzdruck sowie den Verdichtungsdruck. Durch den höheren Einspritzdruck (ca. 250 bar) und mehrere kleine Löcher, erreicht man kleinere Kraftstofftröpfchen, also eine bessere Vermischung und Anbindung mit der Luft.

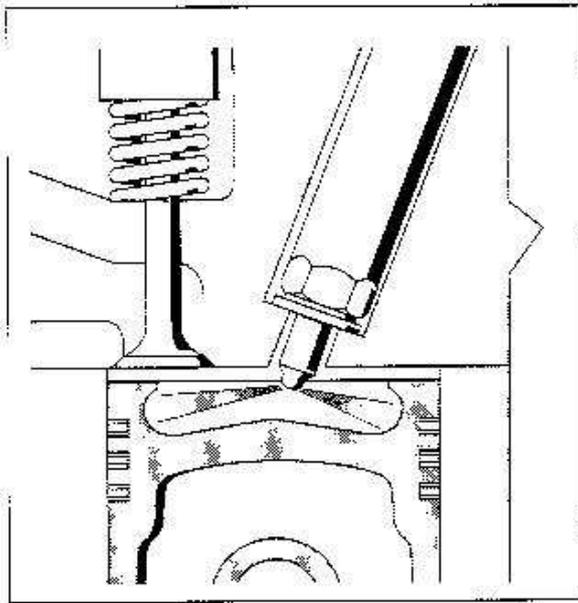


Abbildung 4: Direkteinspritzverfahren
(Quelle: Diesel-Einspritztechnik, Bosch, VDI-Verlag 1993)

Durch die Erhöhung des Verdichtungsdruckes bekommt man auch eine höhere Verdichtungstemperatur (Zündtemperatur). Aufgrund dessen braucht man dann auch keine Glühkerze mehr um den Motor zu starten. Allerdings funktioniert dies nur sicher bis zu einer bestimmten Lufttemperatur. Bei Minusgraden muss man die Ansaugluft insgesamt anwärmen. Dies geschieht im Ansaugkanal vor den Zylindern, durch Flammkerzen, die Kraftstoff verbrennen, oder durch Heizspiralen.

Auf dem System Direkteinspritzer basieren auch die nachfolgend dargestellten Neuerungen.

6. Abgasturbolader

Heutige Einspritzsysteme müssen nicht nur den Anforderungen der Wirtschaftlichkeit entsprechen, sondern auch bestimmte Emissionswerte einhalten. Lange galt, dass man strengere Abgasvorschriften nur zu Lasten eines höheren Kraftstoffverbrauches einhalten konnte.

Dies hat sich durch Einsatz von modernen Abgasturboladern vermeiden lassen. Der Abgasturbolader bringt zusätzliche Luft in den Zylinder und erhöht mit der Luftmenge auch den Sauerstoffgehalt. Dies bewirkt beim Verdichten der Luft einen höheren Verdichtungsdruck sowie auch eine höhere Verdichtungstemperatur. Allein dadurch erreicht man bei gleichbleibender eingespritzter Kraftstoffmenge schon eine Leistungssteigerung des Motors. Da der Kraftstoff nun auch mehr Sauerstoff beim Verbrennen zur Verfügung hat, reduziert sich auch der Schadstoffgehalt im Abgas (Ruß-Partikel).

7. Ladeluftkühlung

Leider kommt es beim Einsatz von Abgasturboladern auch zu einer Erwärmung der Ansaugluft. Dies kann bedeuten das mehr Stickoxyd gebildet wird. Um dies zu verhindern und um die Wirkung der Lader zu verbessern, wird die Luft hinter dem Abgasturbolader durch Ladeluftkühler auf dem Weg zum Zylinder wieder gekühlt. Durch diese Maßnahmen (erhöhte Luft-/Sauerstoffmenge) kann auch mehr Kraftstoff eingespritzt werden, so dass eine Leistungssteigerung nicht nur über den höheren Verdichtungsdruck, sondern auch durch mehr Kraftstoff erreicht werden kann.

Turbolader steigern also die Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit der Motoren und senken den Rußpartikelgehalt.

Um die Motoren weiter zu verbessern, musste auch an den Einspritzanlagen gearbeitet werden.

Wie bereits oben erwähnt, geht es darum eine Maschine optimal abzustimmen. Durch die Möglichkeiten der Elektronik können nicht nur einzelne Baugruppen, wie Motoren an sich abgestimmt werden, sondern es ist möglich geworden alle wichtigen Baugruppen miteinander zu vernetzen und als Gesamtes zu optimieren.

8. Elektronik

Durch die CAN-Bus Technologie können die einzelnen Steuergeräte untereinander kommunizieren und somit ist es möglich, dass z.B. der Motor sich in Verbindung mit dem Getriebe die optimalen Betriebseinstellungen sucht (Motor – Getriebe – Management). Dadurch kann z.B. Kraftstoff gespart werden oder man nutzt die Maschine in einem bestimmten Leistungssegment optimal.

Mittels der Elektronik ist es möglich geworden, Einspritzanlagen sehr flexibel reagieren zu lassen. Althergebrachte Fliehkraftregler reagieren bei Drehzahlabfall durch Erhöhung der Einspritzmenge. Auf den Einspritzdruck können sie aber keinen Einfluss nehmen. Auch ist die Reaktion auf den Einspritzzeitpunkt sehr begrenzt.

Des Weiteren war es früher nicht möglich, den Einspritzvorgang in mehrere Segmente zu teilen. Dies bedeutet nicht, dass schlechte Dieselmotoren gebaut wurden, es heißt nur, die heutige Technik bietet Möglichkeiten, Kompromisse die man machen musste weiter einschränken zu können.

9. Common–Rail

Das innovativste Dieseleinspritzsystem im Moment ist das Common–Rail–System.

Bei diesem System hat man es geschafft, den Einspritzdruck und den Einspritzzeitpunkt unabhängig von der Motordrehzahl zu regeln. Hinzu kommt, dass man auch noch den Einspritzvorgang in mehrere Segmente aufteilen kann (Voreinspritzung, Haupteinspritzung und Nacheinspritzung). Dieses Aufteilen des Einspritzvorganges bewirkt einen leiseren und ruhigeren Motorlauf, eine weichere und vollständigere Verbrennung und eine Verbesserung der Abgaswerte.

Die Druckerzeugung bei diesem System erfolgt durch eine Hochdruckpumpe. Diese fördert den Kraftstoff in den Druckspeicher (Rail), aus dem die einzelnen Injektoren (Düsen) den Kraftstoff für den Zylinder abrufen können. Der Kraftstoffdruck im Rail liegt je nach Betriebszustand des Motors zwischen 200 und 1600 bar. Die Injektoren werden von Magnetventilen betätigt, welche über das Steuergerät angesteuert werden. In der neuesten Common–Rail Generation wurden die Magnetventile durch Piezzo–Kristalle ersetzt. Diese sind kleiner und können noch schneller getaktet werden. Dadurch erreicht man, dass die drei Segmente der Einspritzung nochmals unterteilt werden können. Heute sind 3 Voreinspritzungen, eine Haupteinspritzung und 2 – 3 Nacheinspritzungen ohne weiteres realisierbar. Dabei wird nicht unbedingt mehr Kraftstoff benötigt, sondern die erforderliche Gesamtmenge für eine Einspritzung, die auch mit älteren Anlagen nötig gewesen wäre, wird einfach unterteilt.

Ein Dieselmotor der mit einer Drehzahl von 2000 Umdrehungen/Minute betrieben wird, zündet 1000 mal in der Minute. Dies bedeutet in einer Sekunde ca. 16 mal.

Wenn man sich jetzt vorstellt wie lang eine Sekunde ist und das man diese 16 Einspritzungen jetzt noch mal bis zu 5 und mehr mal unterteilt, kann man sich vielleicht vorstellen warum man immer wieder von Präzision spricht.

Den Zusammenhang von Steuerspannung, Zeit, Hubweg des Magnetventils, Hub der Injektornadel und Einspritzmenge verdeutlicht Abbildung 6.

Durch die Programmierung der Motorcharakteristik die im Steuergerät hinterlegt wird, ist das Betriebsverhalten des Motors festgelegt. Um Soll- und Ist-Werte im Steuergerät vergleichen zu können, muss ein moderner Motor mit entsprechenden Sensoren ausgerüstet sein. Diese Sensoren melden ihre Werte permanent dem Steuergerät, dies gleicht sie ab und reagiert je nach vorgegebenen Sollwerten mit der entsprechenden Einspritzung. Um eine Vorstellung zu bekommen, welche Sensoren an einem Motor angebracht sind, hier eine Aufzählung:

Temperatursensoren für: Motoröl, Kühlwasser, Abgas, Ansaugluft, Kraftstoff

Drehzahlsensoren für: Kurbelwellendrehzahl, Nockenwellendrehzahl

Klopfsensor u.s.w.

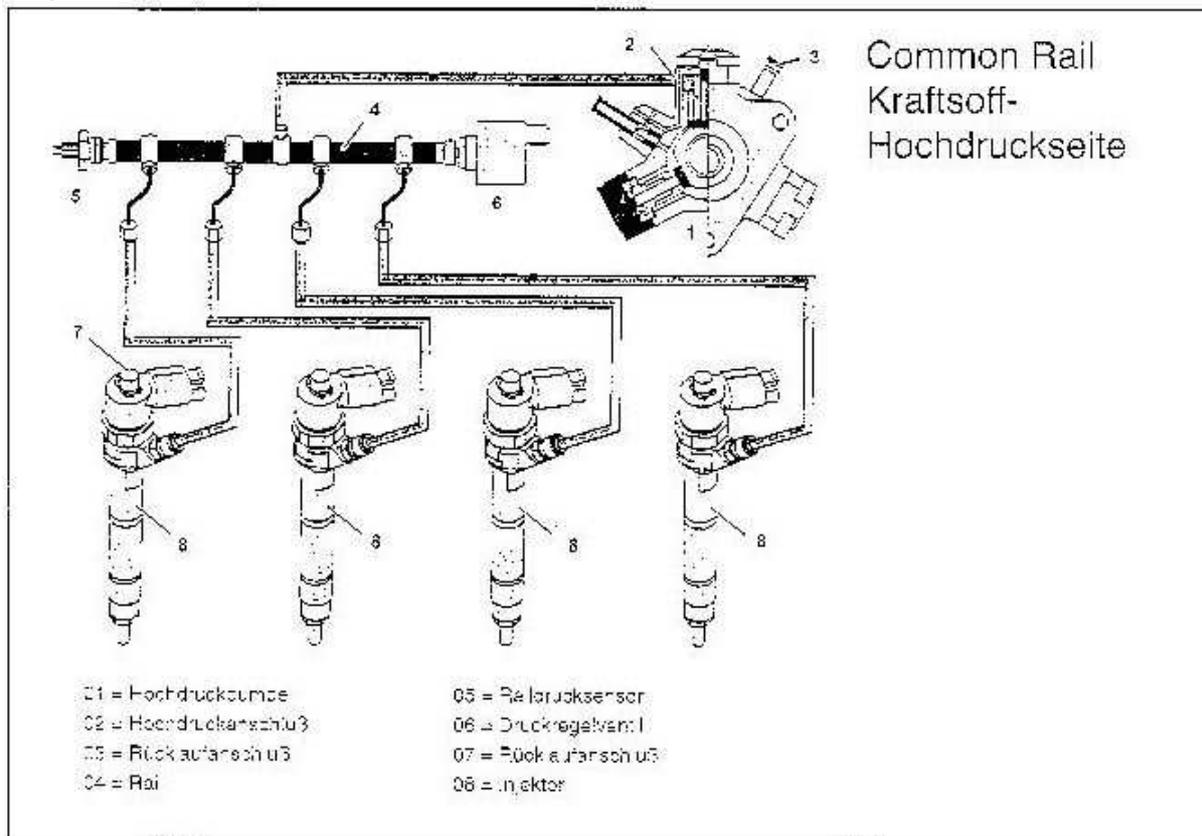


Abbildung 5: Common-Rail
(Quelle: Bosch Schulungsunterlagen 2000)

Die Steuergeräte der Common-Rail Anlagen haben sogar Notlaufprogramme, die es ermöglichen, bei Ausfall von einem oder sogar mehreren Injektoren den Motor so weiterzubetreiben, dass man eine Werkstatt anfahren kann. Ein 4Zylindermotor soll auch noch mit nur einem betriebsfähigen Injektor am laufen gehalten werden können.

Was beim Betrachten der elektronischen Steuerung deutlich wird, ist dass wir heute durch Verarbeitung der Informationen (Soll-/ Istwert Abgleich) in Echtzeit, sofort und exakt mit einer Veränderung der Einspritzmenge und des Einspritzzeitpunktes reagieren können. Dadurch erreicht man, dass nur soviel Kraftstoff eingespritzt wird wie wirklich benötigt wird.

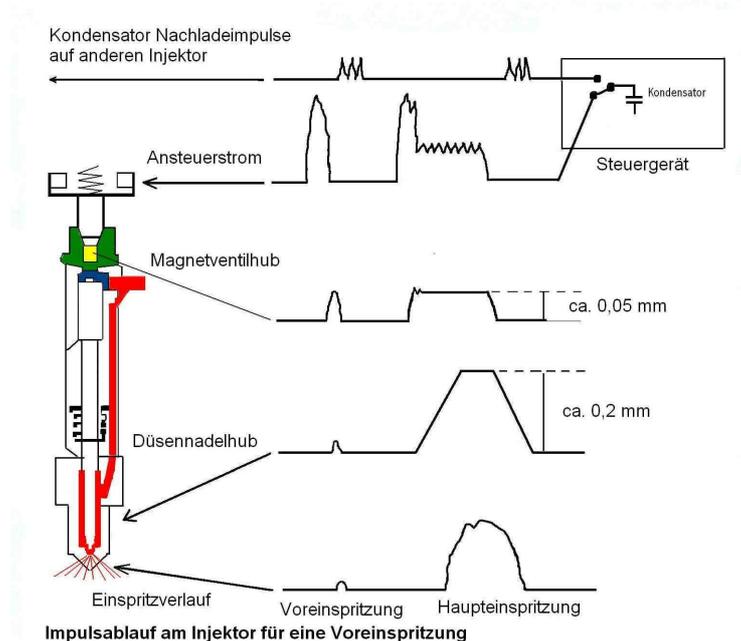


Abbildung 6: Abläufe in dem Injektor einer Common-Rail-Anlage (Quelle: Bosch-Schulungsunterlagen 2000)

10. Hochdruckeinspritzung

Begründung für die heute üblichen hohen Einspritzdrücke ist folgendes: je feiner der Kraftstoff zerstäubt wird und je besser und vollständiger er sich mit der Luft vermischt, desto besser ist der Verbrennungsverlauf und der Wirkungsgrad der Verbrennung.

Aus der Druckerhöhung resultiert auch, dass die Partikelwerte (Ruß) sinken. Bei einem Einspritzdruck von 1200 bar liegen sie unter 0,2 g/kWh und unterschreiten damit die derzeit geforderten Grenzwerte. Erhöht man den Druck bis auf 2000 bar, so sinken die Werte unter 0,06 g/kWh.

Einer weiteren Erhöhung der Drücke wird allerdings eine Grenze gesetzt durch die verwendeten Werkstoffe.

Zur Verdeutlichung hier ein paar Zahlen:

2000 bar entsprechen einer Belastung von 2 t auf einer Fläche von 1 cm². Der Kraftstoff erreicht beim Einspritzvorgang bei diesem Druck eine Geschwindigkeit von 2350 km/h.

Die Fertigung von solchen Präzisionsteilen ist nur unter Reinraumbedingungen möglich und mit modernsten hoch präzisen Fertigungsverfahren.

Die gemachten Aussagen in bezug auf hohen Einspritzdruck treffen natürlich nicht nur auf das Common–Rail–System zu, sondern auch für alle anderen modernen Einspritzsysteme. Im Gegensatz zum Common – Rail – System sind bei den anderen Systemen Druckerzeugung und Einspritzzeitpunkt noch miteinander verbunden. Man versucht aber auch hier möglichst exakt und flexibel die Einspritzung zu steuern. Grundlage dabei sind die herkömmlichen Reihen- und Verteilereinspritzpumpen. Reiheneinspritzpumpen sind zwar in der Lage auch Drücke über 1000 bar aufzubauen, werden allerdings aus Kostengründen heute kaum noch gebaut.

Die Verteilereinspritzpumpen unterteilt man in Axialkolben Verteilereinspritzpumpen und Radialkolben Verteilereinspritzpumpen. Die Axialkolben -Verteilereinspritzpumpe war die bisher gebräuchlichste. Durch ihren Aufbau ist sie aber nur in der Lage Drücke bis zu 800 bar aufzubauen und damit für moderne Systeme nicht geeignet.

Anders dagegen die Radialkolben-Verteilereinspritzpumpen. Eine moderne Pumpe dieser Art ist die VP 44 von Bosch. Mit ihr sind Drücke von bis zu 1700 bar realisierbar. Der Standardbetriebsdruck liegt allerdings bei 1400 bar. Die Pumpe kann elektronisch geregelt werden und durch eine kleine Vornocke ist sogar eine Voreinspritzung möglich. Die bedeutet, dass auch hier ein ruhigerer Motorlauf (Nageln fällt weg) und ein besseres Startverhalten ermöglicht werden.

11. Düsen

An den Düsen selbst hat sich bei diesen Systemen nicht viel geändert. Der Öffnungsdruck (Abspritzdruck) liegt höher und, das ist die eigentliche Neuerung, die Düsenlöcher sind viel kleiner geworden. Nur so kann dann auch im Zusammenhang mit der Druckerhöhung der Kraftstoff feiner zerstäubt werden. Bei einigen wurde auch um den Einspritzdruck am Ende der Einspritzung schnell abbauen zu können der innere Aufbau des Düsenstocks etwas geändert. Das Grundprinzip ist jedoch gleich geblieben.

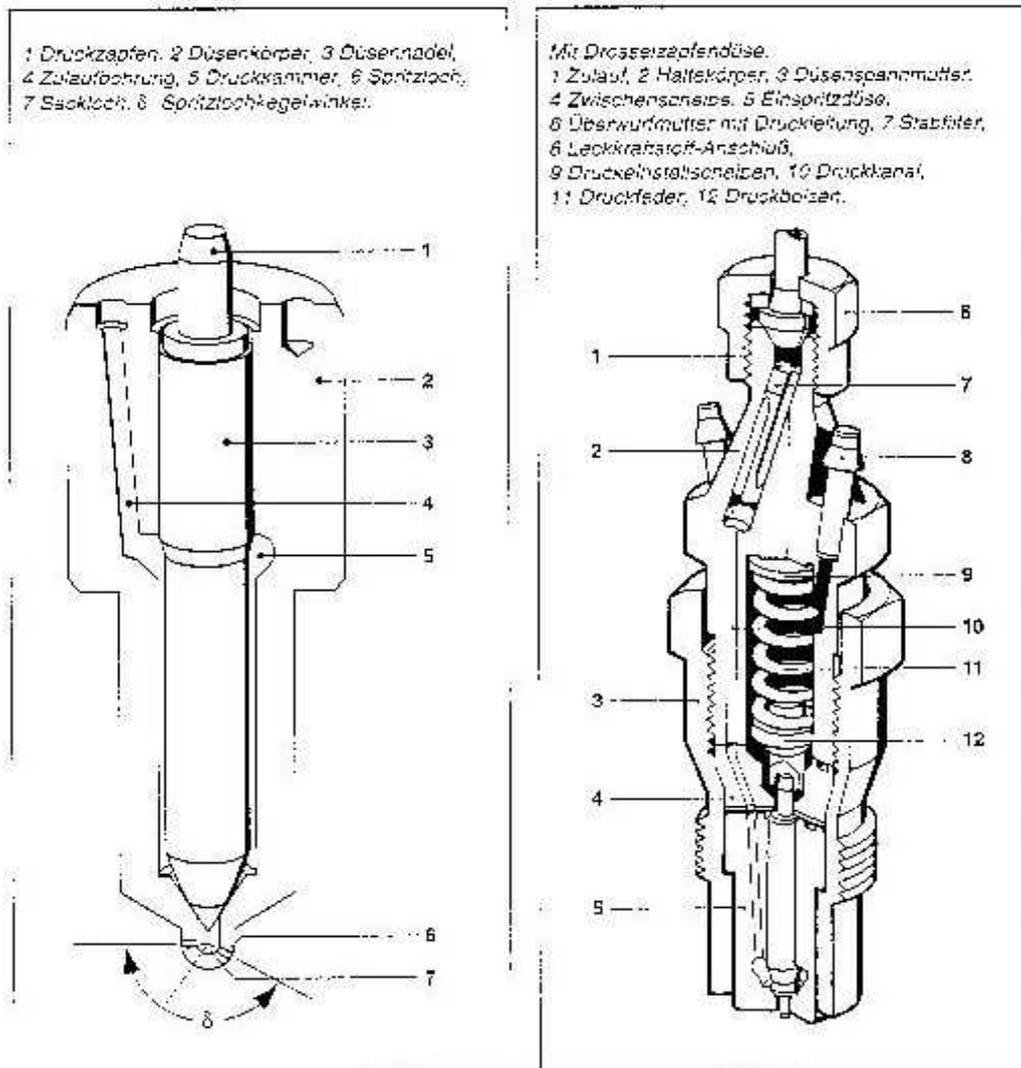


Abbildung 7: Lochdüse und Düsenhalterkombination
(Quelle: Diesel-Einspritztechnik, Bosch, VDI-Verlag 1993)

12. Einspritzleitungen

Einspritzleitungen haben schon immer für Ungenauigkeiten in den Einspritzanlagen gesorgt. Zum einen dehnen sie sich aus und zum anderen wird der Druckaufbau zwischen Pumpe und Düse durch ihre Länge verzögert. Man sagt die Leitungen pulsieren. Um dies in den Griff zu bekommen hat man dicke Wandungen gewählt und versucht sie nach Möglichkeit kurz zu bauen.

Aus diesen Überlegungen sind dann das Pumpe – Düse – System und Pumpe – Leitung – Düse – System entstanden.

Wie auf Abbildung 8 zu sehen, fällt bei dem **Pumpe – Düse – System** (PDE) die Einspritzleitung ganz weg. Der Druckaufbau findet direkt in der Düse statt, gesteuert z.B. durch eine zusätzliche Nockenwelle oberhalb der Düse.

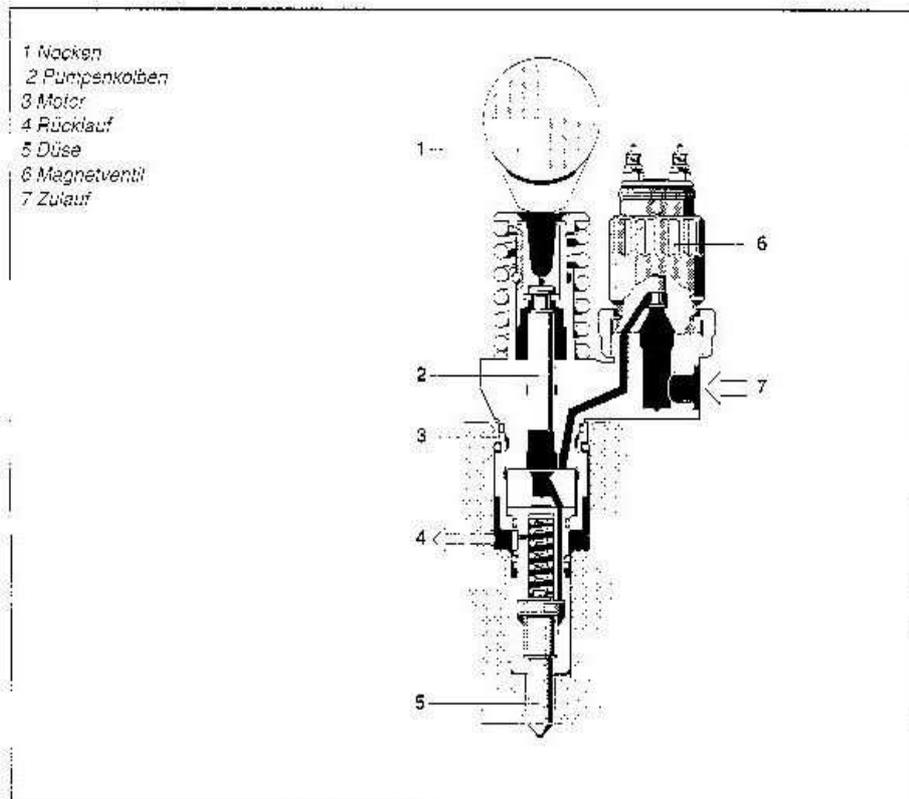


Abbildung 8: Pumpe - Düse – Einheit (PDE)
(Quelle: Diesel-Einspritztechnik, Bosch, VDI-Verlag 1993)

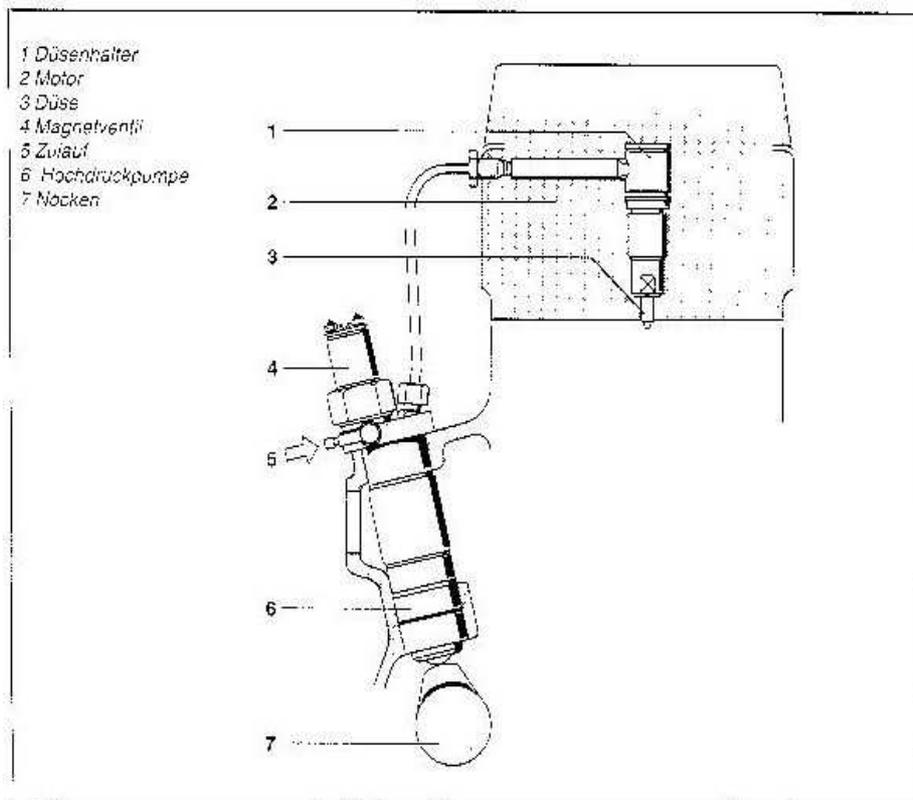


Abbildung 9 Pumpe – Leitung – Düsen – System
(Quelle: Diesel-Einspritztechnik, Bosch, VDI-Verlag 1993)

Etwas anders ist es beim **Pumpe – Leitung – Düse – System** (PLD) (Abbildung 9). Hier hat jeder Zylinder eine eigene in den Motorblock eingelassene Steckpumpe. Diese ist mit einer kurzen Einspritzleitung direkt mit der Düse verbunden. Angetrieben wird die Steckpumpe von einem zusätzlichen Nocken auf der Motorenockenwelle.

Die Elektronik, der man in der Technik heute einen großen Raum gegeben hat, ist viel standfester und verlässlicher als ihr Ruf. Auch wenn man vielmehr Vertrauen zur reinen Mechanik hat, so muss man doch erkennen, dass sie bei den heutigen Anforderungen an ihre Grenzen stößt. Wie bereits erwähnt sind manche Einspritzsysteme in ihrer Grundkonstruktion schon fast 80 Jahre alt (z.B. PLD-System), durch die sinnvolle Kombination von Mechanik und Elektronik aber hoch aktuell.

Man muss einfach akzeptieren, dass die Wartung und Instandhaltung einer größeren Sorgfalt und Sauberkeit bedürfen (Filter, Öle, Kraftstoff) und das die Instandsetzung und Reparatur in fachkundige Hände gehören. Mit großem Hammer, Putzlappen, ein bisschen Geduld und einer Lehmziegel geht an diesen Motoren nichts mehr.

Dafür erhält man aber auch eine Maschine, die den Kraftstoff wirtschaftlich und umweltschonend in Arbeit umwandelt.