



Immer mehr Schlepper werden mit modernen Common-Rail-Motoren ausgestattet.

Doping für den Diesel: Alles über Common-Rail

Moderne Schleppermotoren haben eine Common-Rail-Einspritzanlage. Landmaschinenmechaniker-Meister Reinhard Timpe erklärt, wo die Vorteile liegen.

Hat Euer neuer Trecker denn auch Common-Rail? „Natürlich, was denn sonst!“ Jeder will es haben, aber nur wenige wissen genau, was das ist: Common-Rail. Dabei eröffnet Common-Rail dem guten alten Diesel eine Menge neuer Möglichkeiten, hin zu sauberer Verbrennung und weniger Ver-

brauch. Jetzt werden auch „kleinere“ Schlepper damit ausgerüstet.

Im Pkw-Bereich wurde das System ca. 1997 mit dem Mercedes CDI-Motor eingeführt. Seit etwa drei bis vier Jahren arbeiten auch Schleppermotoren damit. Im Jahr 2003 hat John Deere mit einem Update der 6020er-Reihe die Common-Rail-Technik als erster bei Ackerschleppern eingeführt.

Klassische, mechanische Einspritzpumpen fördern den Diesel in enger Abhängigkeit von der Kurbelwellenposition. Nachteil: Der Motor kann im kalten Zustand nageln, und die heutigen Abgasgrenzwerte lassen sich damit nur schwer einhalten. Vor allem geht's um den Rußpartikelgehalt und die Stickoxide (No_x).

Je feiner der Diesel zerstäubt wird, desto sauberer läuft die Verbrennung, der Rußgehalt im Abgas sinkt. Mechanische Verteilerpumpen älterer Bauart errei-

chen „nur“ 550 bis 600 bar, modernere mechanische Reihenpumpen maximal 800 bis 900 bar. Common-Rail spielt da in einer anderen Liga: Die Anlagen der so genannten ersten Generation erreichen 1350 bar Einspritzdruck. Aktuell liegt der maximale Druck von Anlagen der 2. Generation (derzeit gängig in Schleppermotoren) bei 1600 bar und der 3. Generation bei ca. 1800 bar. An Einspritzungen der 4. Generation mit 2500 bar wird im Pkw-Bereich gearbeitet.

Den Stickoxiden kommt man aber nicht über den Druck, sondern über die Verbrennungstemperatur bei. Die Temperatur ist direkt vom Einspritzzeitpunkt abhängig. Auch hier stößt die mechanische Einspritzung an ihre Grenzen. Denn durch den Kurbelwellenwinkel ist der Einspritzzeitpunkt bei der klassischen mechanischen Pumpe fix vorgegeben, es gibt nur eine Einspritzung pro Verbren-

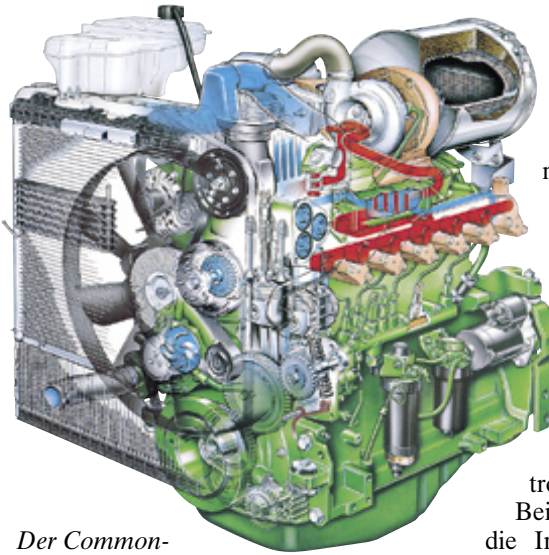
nungstakt. Elektronisch geregelte Einspritzpumpen, z.B. die Bosch VP 44, schaffen zwei Einspritzungen pro Verbrennungstakt – schon besser, aber immer noch nicht genug für die ständig steigenden Anforderungen. Also Common-Rail. Hier sind heute fünf Einspritzungen kein Problem mehr.

Gemeinsame Leitung unter Hochdruck

Wie funktioniert das Common-Rail? Wörtlich übersetzt heißt das „gemeinsame Schiene“, die Pumpe versorgt also eine gemeinsame Kraftstoff-Hochdruckleitung. Hier sind direkt die so genannten Injektoren angeschlossen, die auf einen elektrischen Impuls öffnen und den Kraftstoff fein im Brennraum zerstäuben.

Für den permanent hohen Druck sorgen Radialkolbenpumpen, meist mit drei Kolben. Auch diese Pumpe wird von der Kurbelwelle des Motors angetrieben, doch durch die elektronische Steuerung der Injektoren ist der Einspritzzeitpunkt völlig unabhängig vom Kurbelwinkel.

Eine elektrische Förderpumpe versorgt die Hochdruckpumpe mit Diesel. Die Pumpe läuft, sobald der Zündschlüssel gedreht ist, ihr Geräusch kann man



Der Common-Rail-Motor im Schnittbild: Das Common-Rail befindet sich hier über der Filteranlage.

meist gut hören. Wenn der Motor startet, setzt die Hochdruckpumpe das Common-Rail unter einen konstanten Druck. Den Druck konstant zu halten, ist allerdings nicht ganz einfach, vor allem bei stark wechselnden Drehzahlen des Motors. Bei den Common-Rail-Systemen der ersten Generationen fördert die Hochdruckpumpe eine fixe Menge. Ungenutzter Diesel fließt über ein Druckbegrenzungsventil zurück in den Tank. Nachteil: Das kostet unnötig Leistung, und der Diesel erwärmt

sich stark; unproduktive Wärme muss über aufwändige Kraftstoffkühler abgeführt werden.

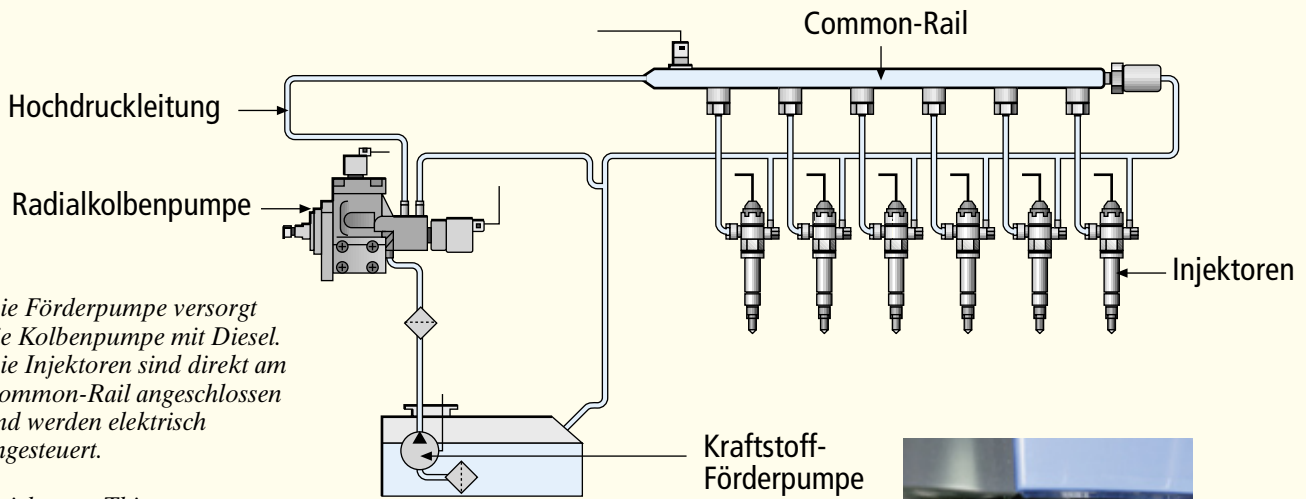
Bei den moderneren Generationen, die vor allem im Pkw-Bereich eingesetzt werden, ist man schon weiter: Die Fördermenge der neuen Hochdruckpumpen ist variabel. Ein Vorlaufdruckregelventil steuert die Füllung der Pumpe mit Diesel. Die Steuerung des Ventils übernimmt der elektronische Controller des Motors.

Beim Common-Rail-Motor spritzen die Injektoren den Kraftstoff in den Brennraum ein. Sie ersetzen die Düsen der alten Einspritzanlagen. Der Weg vom Common-Rail zu den Düsen muss möglichst kurz sein, um Druckschwankungen in Grenzen zu halten.

Die Injektoren der ersten Generation arbeiten mit Elektromagneten als Aktuatoren. Für fünf Einspritzungen pro Arbeitstakt sind die Magneten allerdings zu „langsam“. Heute weicht man daher zunehmend auf Piezo-Aktuatoren aus.

Die Piezoelemente bestehen aus spezieller Keramik. Liegt hier eine Spannung an, dehnt sich die Keramik aus (Piezoeffekt). Weil der Hub eines einzelnen Elements für die Düse des Injektors nicht

So funktioniert das Common-Rail-System

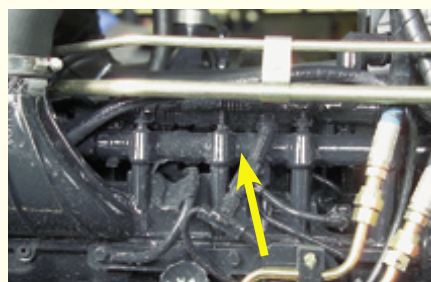


Die Förderpumpe versorgt die Kolbenpumpe mit Diesel. Die Injektoren sind direkt am Common-Rail angeschlossen und werden elektrisch angesteuert.

Zeichnung: Thiemeyer



Rechts im Bild die Hochdruckpumpe eines New-Holland TSA.



Pfeil: Das Common-Rail des gleichen Motors.



Der Controller steuert den kompletten Einspritzvorgang.

ausreicht, arbeitet man mit gestapelten Piezoelementen. Die 350 Plättchen erreichen zusammen einen Hub von 0,04 mm. Diese vier hundertstel Millimeter reichen aus, um die Düse weit genug zu öffnen. Der Wert zeigt, wie genau die Bauteile gefertigt sein müssen und wie empfindlich das System auf Verschmutzungen im Kraftstoff reagiert. Die Fertigungstoleranzen liegen bei einem zweitausendstel Millimeter. Ein Menschenhaar (0,05 mm) ist 25mal dicker...

810 Mio. Einspritzvorgänge im Leben des Injektors

Die Anforderungen an die Injektoren sind enorm: Läuft ein Schleppermotor konstant mit 1800 U/min, öffnet ein Injektor bei drei Einspritzungen pro Arbeitstakt 2700 mal pro Minute oder 45 mal pro Sekunde. Pro Stunde macht das 162000 Öffnungen. Rechnet man das auf eine Lebensleistung von 5000 Stunden hoch, muss der Injektor rund 810 Mio. mal Kraftstoff in den Brennraum blasen.

Auch die Zeit, in der das geschieht, ist atemberaubend. Die Piezo-Keramik reagiert 75 % schneller als der Elektromagnet. Im Schnitt dauert eine Einspritzung 1 bis 2 Millisekunden. Das ist ziemlich schnell: In einer Millisekunde legt ein Ton aus einem Lautsprecher gerade einmal 33 cm zurück. Diese Werte machen den Weg für die bis zu fünf Einspritzungen frei. Der Motorcontroller sagt „jetzt“, und der Kraftstoff spritzt unverzüglich in den Brennraum ein.

Warum treibt man diesen enormen Aufwand? Schließlich ist das Common-Rail wegen der geringen Fertigungstoleranzen deutlich teurer. Die Vorteile lassen sich auf den Punkt bringen:

- Saubere Verbrennung, weniger Ruß, weniger Stickoxide.
- Geringerer Verbrauch.
- Einwirkung auf die Leistungscharakteristik des Motors, Leistungszugabe bei höheren Drehzahlen (Power-Boost).
- Genaue Angabe des aktuellen Verbrauchs.
- In Zukunft: Optimale Zusammenarbeit von Motor und Getriebe.

Der Hauptgrund für den Trend zum Common-Rail sind die steigenden Abgasvorschriften. Weil sich die Abgaswerte an der Leistung orientieren, wurde die Common-Rail-Technik zuerst bei den großen Schleppern eingebaut. Durch schärfere Grenzwerte liegt die Grenze bei 130 bis 140 PS. Ab hier lassen sich die Grenzwerte mit herkömmlicher Einspritztechnik kaum einhalten. Wohin die Reise geht, zeigt u.a. Fendt mit der neuen Baureihe Vario 300, die bereits ab 95 PS einen Deutz Common-Rail-Motor haben.

Zwar konnte die Stickoxid-Emission



Die Software des Controllers steuert unter anderem die Einspritzmenge, den Zeitpunkt und die Zahl der Einspritzungen.
Fotos: Heil (4), Höner, Werkbilder

auch bei konventionellen Einspritzanlagen zunächst begrenzt werden, indem der Einspritzzeitpunkt nach hinten verlegt wurde. Dadurch sinkt die Verbrennungstemperatur, weniger NO_x entsteht. Doch das Leistungsdefizit musste durch mehr Diesel kompensiert werden. Die Motoren wurden sauberer, aber durstiger. Der Schritt von Abgasnorm Tier I auf II kostete im Schnitt 7 % mehr Diesel.

Beim Common-Rail plus Abgasrückführung und variablem Turbolader kann das abgefangen werden, die spezifischen Verbräuche liegen wieder im Bereich von 230 bis 245 g/kWh.

Common-Rail spritzt den Diesel in mehreren Intervallen ein. Es beginnt mit einer minimalen Voreinspritzung (rund 1 mg). Die anschließende Verbrennung läuft ruhiger und weniger schlagartig ab, der Motor nagelt weniger und wird dadurch geschont. Der Drehmomentverlauf ist gleichmäßiger. Außerdem nimmt der Sauerstoffgehalt im Brennraum ab, in der eigentlichen Verbrennung entstehen weniger Stickoxide.

Bei der Haupteinspritzung kommt die eigentliche Einspritzmenge in den Brennraum und steht voll zur Leistungserzeugung zur Verfügung.

Zum Schluss kommt die Nacheinspritzung, die ebenfalls die Schadstoffe reduziert. Die Temperaturen im Abgas steigen und Rußpartikel verbrennen. Die Nacheinspritzung kann auch einen Partikelfilter mit Kraftstoff versorgen, der dort zum Nachverbrennen der Rußteilchen gebraucht wird.

Sehr moderne Motoren, z.B. vom Fendt Vario 936, dem neuen Claas Axion, dem Agrottron X710 und X720, der John Deere-Reihe 8030 und selbst das Triebwerk der Vario 300-Reihe arbeiten zu-

sätzlich mit einer gekühlten Abgasrückführung. Ein Teil des Abgases geht direkt wieder in den Brennraum und senkt dort den Sauerstoffgehalt. Es bilden sich weniger Stickoxide.

Bei Bedarf spendiert der Motor 30 PS mehr

Beim Common-Rail kann man permanent Einfluss auf die Motorcharakteristik nehmen. Stichwort Power-Boost. Sobald die Drehzahl in den Antrieben steigt und sie mehr Leistung aufnehmen können, gibt es hier einen Nachschlag, der Motor legt noch „eine Schuppe drauf“. Den Power-Boost gab es zuerst als Sigma-Power bei Valtra: Sobald die Zapfwelle zugeschaltet wird, liefert der Motor eine höhere Leistung.

Beim neuen Claas Axion gibt es in 5 Schritten jeweils 6 PS mehr (zusammen 30 PS Power-Boost). Aber nie mehr als benötigt, um Kraftstoff zu sparen. Sensoren messen die abgegebene Leistung und der Motorcontroller liefert bei Bedarf mehr, z.B. wenn es bergan geht oder viel Hydrauliköl gebraucht wird.

Dass sich das Motorkennfeld beeinflussen lässt, weckt natürlich auch Begehrlichkeiten: Stichwort Tuning. Theoretisch ließe sich der Einspritzzeitpunkt nach vorne verlegen, was mehr Leistung bringen kann. Aber Vorsicht: Mit so einer Maßnahme erlöschen Garantie, Betriebserlaubnis und Versicherungsschutz des Schleppers. Außerdem können die Antriebe überlastet werden. Denn Tuning ist kein Power-Boost. Die getunte Mehrleistung wirkt permanent, auch bei niedrigen Drehzahlen. Beim Anfahren oder bei schweren Zugarbeiten im kleinen Gang wirken so deutlich höhere Drehmomente

auf die Antriebe. Hier kann es schnell Bruch geben. Außerdem: Durch das Tuning steigt die Verbrennungstemperatur, die Wärme kann von den exakt berechneten Kühlelementen der modernen Schlepper eventuell nicht mehr abgeführt werden, und die thermische Belastung des Motors steigt.

Übrigens: Common-Rail hat noch einen schönen Nebeneffekt. Man kann den aktuellen Dieselverbrauch über das programmierte Kennfeld sehr exakt ablesen. Das Kennfeld bezieht alle wichtigen Größen wie z.B. den Ladedruck, den Luftmassenmesser, die Kühlwasser-, Diesel- und Ladelufttemperatur sowie den Raildruck, die Drehzahl und die Gaspedalposition ein. Aus diesen Kenngrößen errechnet das System die notwendige Einspritzmenge, die exakt angezeigt werden kann.

Natürlich hat das Common-Rail-System auch Nachteile. Es ist teurer. Die Teile müssen hoch präzise sein, der Steuerungsaufwand und die Sensortechnik sind aufwändiger. Immer weniger Werkstätten sind in der Lage, Teile aus Common-Rail-Systemen zu prüfen und zu reparieren.

Durch den hohen Druck ist der Leistungsbedarf der Pumpe höher. Es wird



Die Common-Rail-Technik erobert nun auch die unteren Leistungsklassen: Beim Fendt 300 Vario gibt es die gemeinsame Leitung bereits ab 95 PS.

mehr „Blindleistung“ gebraucht.

Vor allem aber reagiert das Common-Rail sehr empfindlich auf Schmutz. Bei den feinen Fertigungstoleranzen reichen schon kleine Partikel. Kalt gepresstes Pflanzenöl wird wegen der Schwebstoffe, kaum vertragen. Wichtig sind feine Filterelemente. Fachleute raten, grundsätzlich nur Originalfilter einzubauen. Die günstigen Nachbaufilter sind oft nicht fein genug.

Außerdem scheiden sie schlechter Kondenswasser ab. Und Wasser ist reines Gift für die Common-Rail-Anlagen. An den Spitzen der Düsen wird das Wasser schlagartig zu Dampf umgewandelt. Die Injektorspitzen werden dadurch extrem belastet und eventuell sogar zerstört. Wasser hat zudem keine Schmierfähigkeit. Ein höherer Wasseranteil ist deshalb das Aus für die Hochdruckpumpe. G. Höner