

**Zeitschrift:** Landtechnik Schweiz  
**Herausgeber:** Landtechnik Schweiz  
**Band:** 59 (1997)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Der Traum von Rudolf Diesel wird wahr  
**Autor:** Meyer, Martin  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1081354>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 03.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

### Direkteingespritzte Dieselmotoren für naturbelassenes Pflanzenöl

# Der Traum von Rudolf Diesel wird wahr

Martin Meyer, Dozent für Maschinenkunde an der Schweizerischen Ingenieurschule für Landwirtschaft, 3052 Zollikofen



**D**as weltweit wichtigste Triebwerk in Landwirtschaft, Transportwesen, im aquatischen Bereich und für den Stationäreinsatz ist der Dieselmotor. Gelingt seine Adaptation für den störungsfreien Betrieb mit naturbelassenen Pflanzenölen, eröffnet sich diesem weitgehend CO<sub>2</sub>-neutralen und schwefelfreien Konzept in aller Herren Länder unabhängig vom Industrialisierungsgrad ein breites Einsatzpotential zu Lande und zu Wasser.

Der Gedanke, naturbelassenes Pflanzenöl im Dieselmotor zu nutzen, stammt von Rudolf Diesel selbst. Bereits 1900 wurde anlässlich der Pariser Weltausstellung ein mit Erdnussöl betriebener Dieselmotor präsentiert. In der Folge nahm indessen die Bedeutung der Erdölprodukte zu, und die Pflanzenöle traten vollkommen in den Hintergrund.

Die beiden Erdölkrisen in den siebziger Jahren veranlassten eine breit angelegte Suche nach alternativen Energien. In diesem Zusammenhang wurden auch die pflanzlichen Öle als Kraftstoffquelle wiederentdeckt.

## Die Schwierigkeiten

Der störungsfreie Betrieb des modernen Direkteinspritzers mit reinem Pflanzenöl verlangt indessen die Anpassung von Kraftstoffführung, Ein-

spritzung und Verbrennungsverfahren. Vor diesem Hintergrund erschien seinerzeit die Umesterung als die vielversprechendere Massnahme. Die wiederkehrende Grundbelastung dieses Treibstoffes und Schwierigkeiten bei der Glycerinentsorgung bewirkten hingegen in der Folge ein wachsendes Interesse an der einmaligen Investition in einen echten Mehrstoffmotor. Der von der Universität Hohenheim betreute Versuch mit einer auf Tesselbetrieb umgestellten Traktorenflotte brachte Hinweise auf ernsthafte Schwierigkeiten bei längeren Phasen im Teillast- und Kurzzeitbetrieb. Das Tesselverfahren zielte darauf ab, mit wenig Aufwand einen Alternativtreibstoff mit hohem Rapsölanteil zu mischen und gleichzeitig den motorseitigen Anpassungsaufwand auf ein unbedeutendes Mass zu reduzieren. Der negative Ausgang dieses deutschen Versuches mit reinem Tesselbetrieb und die grundsätzliche Relativierung der grossen Erwartungen in diese Lösung haben der Motoradaptation weiteren Auftrieb gegeben.

## Was bedeutet Motoradaptation?

Pflanzenöle unterscheiden sich in ihren physikalischen Eigenschaften stark von Dieselöl. Bei unverändertem Einspritzsystem und Verbrennungsverfahren ergeben sich daraus unterschiedliche Einspritzbedingungen, die nicht mehr auf die für Dieselmotoren optimierte Brennraumgeometrie abgestimmt sind. Nament-

## Pflanzenöle: Treibstoffseitige oder motortechnische Voraussetzungen

Pflanzenöle sind Triglyceride. Ihre chemische Struktur ist der Grund für die mehrfach höhere Viskosität als diejenige von Dieselöl: Dieselmotoren setzen sich aus einer Vielzahl von Kohlenwasserstoffen zusammen, die in einem Siedetemperaturbereich von ca. 180 bis 360° liegen. Während der Raffination bildet sich durch das Zersetzen von Rohölbestandteilen vor dem Verdampfen in den Destillationskolonnen Ölkohle. Diese bleibt im Rückstand der atmosphärischen Destillation, dem sogenannten Heizöl schwer. Naturbelassene Pflanzenöle durchlaufen keinen Destillationsprozess und enthalten alle Fraktionen, die sich vor dem Verdampfen im Brennraum des Motors zersetzen und zur Bildung von Ölkohle führen können. Es sind also zwei Hauptprobleme, die der generellen Verwertung von naturbelassenen Pflanzenölen in herkömmlichen, direkteingespritzten Dieselmotoren entgegenstehen:

- **Glycerinbedingte, hohe Viskosität.** Sie erschwert die Treibstoffführung, -filtrierung und hauptsächlich die Feinstvernebelung im Moment der Einspritzung.
- **Hoher Anteil an Fraktionen, die zur Ölkohlebildung neigen.** Er ist die Ursache von Verkokungen an Einspritzdüsen, Kolbenboden, Kolbenringnuten und Ventilen.

Die motorische Verwertung pflanzlicher Öle im modernen Direkteinspritzer verlangt deshalb Massnahmen, die entweder den Treibstoff oder den Motor betreffen.

Bisher sind grundsätzlich folgende drei Wege beschritten worden:

### 1. Die Anpassung des Treibstoffes an den Motor.

- Umesterung: das verkokungsträchtige Glycerin wird in einem Umesterungsverfahren durch Monoalkohole wie z.B. Methanol ersetzt.  $\Rightarrow$  (Raps-) Methyl ester RME
- Raffination: das Pflanzenöl wird – wie das Mineralöl – in einer Raffinerie durch die geeigneten Konversionsverfahren geführt und in kraftstofftypische Komponenten umgewandelt. Diese können problemlos in Volumenanteilen von bis 5% im Sommer und bis 1,5% im Winter dem Dieselöl beige-mischt werden.

### 2. Aufmischen von Pflanzenöl zu Tessel-Nadi.

Tessel-Naturdiesel ist eine Mischung aus ca. 80% Rapsöl, ca. 13% Benzin und ca. 7% Monoalkoholen mit weiteren Zusätzen, wie etwa zur Verbesserung der Zetanzahl.

### 3. Die Anpassung des Motors an den alternativen Treibstoff.

- Das Kraftstoffsystem, die Einspritzung und das Verbrennungsverfahren werden den speziellen Eigenschaften von Pflanzenöl angepasst.

In unserem Beitrag wird das Hauptgewicht auf die dritte Möglichkeit gelegt.



Abbildung 1: Tropfengrössenverteilung für DK, RME und RÖ.

Erwartungsgemäss fällt der Anteil «zu grosser» und «zu weit fliegender» Tropfen beim höherviskosen und spezifisch schweren Rapsöl grösser aus.

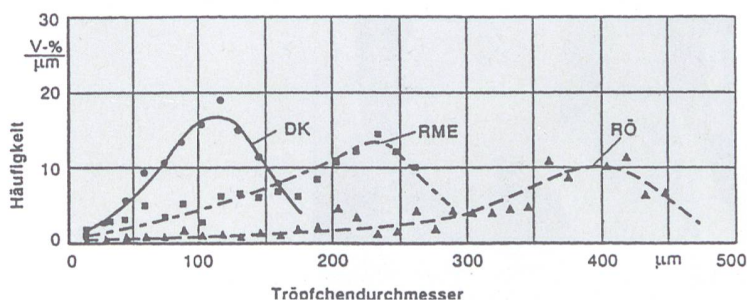
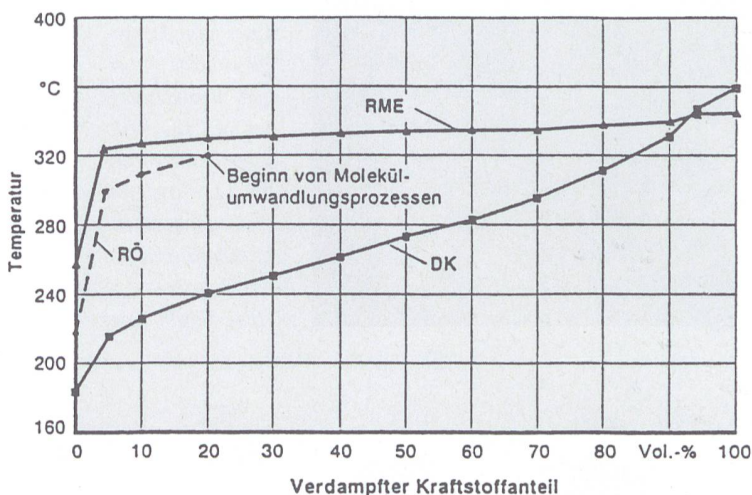


Abbildung 2: Siedeverlauf von DK, RME und RÖ.

Dieselöl zeigt im Siedebe- reich von 200 bis 360° ei- nen gleichmässigen Anstieg der verdampften Anteile. Nicht so Rapsöl und RME. Diese verdampfen nach ei- nem zögerlichen Beginn innerhalb einer relativ kleinen Temperaturspan- ne. Rapsöl beginnt bei 320° zusätzlich mit der ungünstigen Zersetzung.



lich verändern sich Einspritzmenge, -druck und -dauer sowie die Tröpf- chengrössenverteilung in den Kraft- stoffstrahlen und deren Reichweite. Die Abbildung 1 von Prof. H. Tschöke et al, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, zeigt die Tropfengrössen- verteilung in einem nicht ange- passsten Einspritzsystem für Diesel- kraftstoff (DK), Rapsmethylester (RME) und Rapsöl (RÖ). Alle drei Kurven entstanden bei gleicher Kraft- stofftemperatur und einem Einspritz- druck von 250 bar.

Die Konsequenz aus der dargestellten, ungleichen Tropfenbildung ist eine – in diesem Fall unerwünschte – Wandauftragung. Weil der Verdamp- fungsbeginn von Rapsöl höhere Tem- peraturen verlangt als Dieselöl, be- steht nun die Gefahr, dass der wand- angelagerte Anteil im Verlauf des Ar- beitspiels nicht vollständig abdamp- fen und verbrennen mag. Damit wird dieser Kraftstoffanteil zur Quelle von Ablagerungen an den Düsenbohrun- gen (Trompetenbildung), mit ent- sprechender Störung der Strahlauf- bereitung und nachfolgender Verko- kung der Kolbenringnuten bis zum

Festsetzen der Kolbenringe und dem Motorausfall.

Die Abbildung 2 von Prof. H. Tschöke et al, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, zeigt den Siedeverlauf von Dieseldieselkraftstoff (DK), Rapsme- thylester (RME) und Rapsöl (RÖ).

### Die Konsequenzen für den Mehrstoffmotor

Die genaue Analyse der Problemur- sachen führt zu den konstruktiven Massnahmen ihrer Verhinderung. Damit lassen sich die spezifischen Anforderungen an einen pflanzenöl- tauglichen Direkteinspritzer in vier Punkten zusammenfassen:

1. Sorgfältiges Fernhalten des einge- spritzten Kraftstoffes von jeglichen Wandungen und Flächen.
2. Erhalten der relativen Wärme- dichtigkeit des Brennraumes.
3. Auslegung von Einspritzpumpen, -leitungen und -düsen auf Viskosität, Dichte und Siedeverlauf des Pflan- zenöls.
4. Sicherstellen des Winterbetriebes durch entsprechend gross dimensio- nierte Kraftstoffleitungen und Filter, allenfalls beheizbar.

## Elsbett, der Vorläufer

Es ist das Verdienst von Ludwig Elsbett aus Hilpoltstein bei Nürnberg, den ersten, allerdings etwas heiklen Pflanzenölmotor mit Direkteinspritz- ung in Kleinserie vorgestellt zu ha- ben.

Sein duothermisches Grundkonzept arbeitet mit einem ausgeprägten Drall der «kalten» Ansaugluft, die die «heisse», zentrale Brennzone gegen die Wandungen abschirmt. Einge- spritzt wird gleichsinnig zur Rotation der angesaugten Luft. Elsbett ent- schied sich für die halbkugelförmige Brennraummulde in der Kolbenmit- te. Zur Wirkungsgradmaximierung verzichtete Elsbett auf eine Luft- oder Wasserkühlung und setzte auf die al- leinige Ölkühlung. Gleichzeitig wäh- lte er das gleiche Gussmaterial für Motorblock und Zylinderkopf und konnte dadurch auf die Kopfdichtung verzichten. Herzstück seines Motors wurde der eigens konstruierte Gelenk- kolben mit einem sehr eng passenden Oberteil aus Sphäroguss und einem

aluminiumlegierten Gleitstein für die Seitenführung.

Die Einspritzung erfolgte mit Einzel- pumpen und Einloch-Zapfendüsen. Antrieb und Regelung waren in den Zylinderkopf integriert.

Dieses äusserst innovative Aggregat entsprach indessen einem für den PW-Bereich ausgelegten Hochlei- stungsmotor, der in der Landwirt- schaft und verwandten Gebieten nicht Fuss fasste.

Ein eigens entwickelter Umbausatz erlaubte die «Elsbettisierung» der OM-Motorenfamilie von Daimler- Benz, die unter anderem in den MB- Trac und den Unimog eingebaut wurden. Die Herstellung des Elsbett- Motors in Deutschland ist leider ein- gestellt. Der hohe Aufwand für diese Neuentwicklung war für das kleine Unternehmen nicht verkraftbar.

### Die Innovation findet Anwender

Die von Elsbett erarbeiteten Grund- satzerkenntnisse blieben hingegen in der Folge für diesen Sektor weglei- tend. Nach umfassenden und sehr er- folgreichen Arbeiten mit indirekt ein- gespritzten Motoren, vorwiegend von KHD und MWM stammend, erfolgte der Durchbruch der verbrauchsün- stigen Direkteinspritzung, wie sie auch im modernen Traktor nahezu ausschliesslich vertreten ist.

In Anlehnung an das Konzept Elsbett entstanden seit Beginn der neunziger Jahre die beiden für Pflanzenölbetrieb adaptierten Motoren von der Antriebs- und Maschinenteknik (AMS) GmbH in Schönebeck und von den Thürin- ger Motorenwerken (TMW) in Nord- hausen. Beide Vorschläge basieren auf dem Duotherm-Verbrennungs- verfahren von Elsbett mit den soge- nannten Gelenk- oder Pendelschaft- kolben.

- AMS arbeitet mit ausschliesslicher Ölkühlung und zwei axialsymmetri- schen Einspritzdüsen pro Zylinder.
- TMW hat die Wasserkühlung bei- behalten, spritzt nur mit einer Düse pro Zylinder ein, hat indessen eine Treibstoffvorwärmung installiert.

Beide Motoren sind auf ein Zweikraft- stoffsystem für den Start angewiesen.



## Vielstoff-Motor «Mahler» auf dem Prüfstand



*Willi Mahler mit dem umgebauten chinesischen Jiang-Dong-Dieselmotor, mit einem liegenden Zylinder und Wasserkühlung. Der Motor ist für den Betrieb mit Rizinusöl in einem brasilianischen Projekt vorgesehen. (Bild: Martin Meyer)*

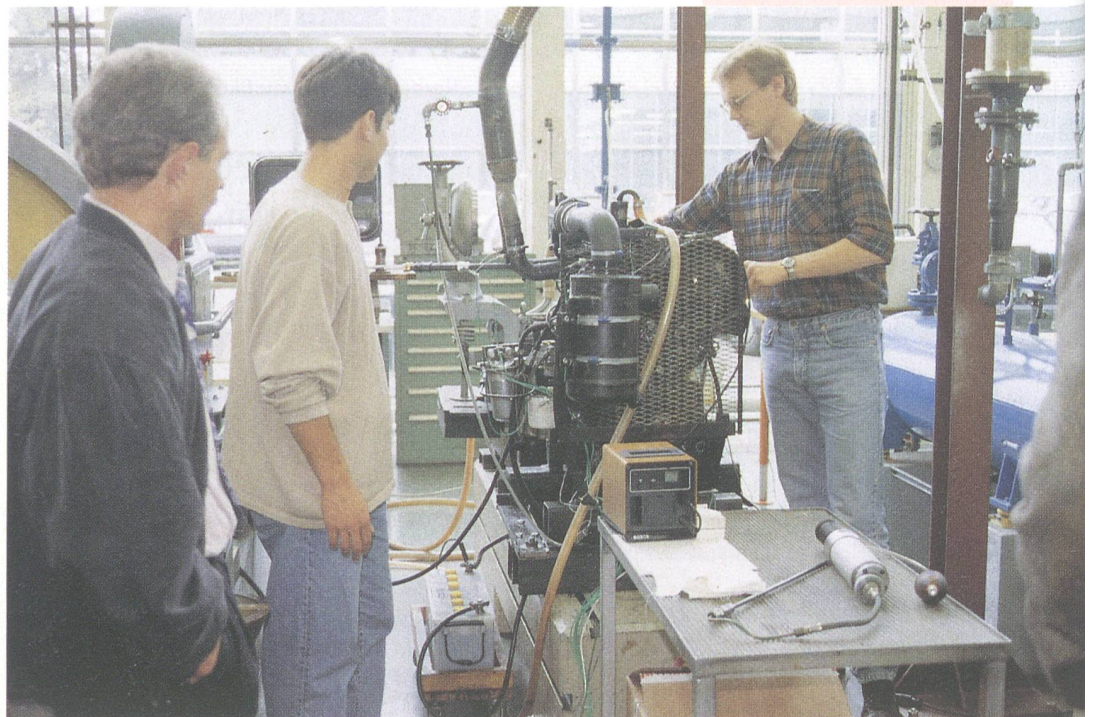
Red: Ein schwieriges Unterfangen und ein langer Weg bedeutet es, die namhaften Motorenhersteller für grundlegende Neuerungen in der Motorentechnik zu erwärmen. Es braucht dazu den Druck der Abgasvorschriften und die Einsicht, dass nachwachsende Treibstoffe CO<sub>2</sub>-neutral sowie wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll sind. Drittens sollen Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit von naturbelassenen Pflanzenölen mit denjenigen des Dieselöles vergleichbar sein. Die Voraussetzungen hiezu werden vor allem auch durch elektronisch gesteuerte Regelkreise für eine hochpräzise Einspritztechnologie geschaffen. Es braucht nicht zuletzt auch das Vertrauen in ein ausreichend grosses Marktpotential.

## Die Schweizer Lösung von Mahler

In der Schweiz brachte Willi Mahler, Seniorchef der W. Mahler AG in Obfelden, erstmals den Vorschlag mit Brennraum im Zylinderkopf zur Funktionsreife. Dieser Ansatz weicht von der bei allen übrigen Direkteinspritzern gewählten Brennraumlage im Kolben ab.

Das Konzept Mahler beruht auf dem Umbau bestehender, vorzugsweise luftgekühlter Motoren mit Einzelköpfen und umfasst den Einbau von flachen Kolben sowie je zwei axialsymmetrischen Zapfendüsen. Sie erlauben die Aufteilung der einzuspritzenden Pflanzenölmenge auf zwei «Portionen», mit dem Ziel einer homogenen Tröpfchen- und Gemischbildung, die aus der Schwebelagerung in die Verbrennung übergeht und einer Wandanlagerung wenig Chancen gibt. Als wichtige Grundregel zur Verminderung von Wandanlagerungen wird zudem auf ausreichend grosse Zylindereinheiten von möglichst über 1 Liter Inhalt und > 100 mm Bohrung geachtet.

Zur Ermöglichung des Kaltstartes bis ca. minus 6° C, liegt gegenüber jeder Einspritzdüse eine Stabglühkerze. Analog zum «Winterdiesel» ist in kal-



(Bild Willi von Atzigen)

ten Perioden ebenfalls ein «Winter-Pflanzenöl» problemlos mischbar.

### Unterschiede des Konzeptes «Mahler» zu den beiden deutschen Vorschlägen:

- Mahler arbeitet als einziger mit dem Brennraum im Zylinderkopf und erreicht dadurch eine bessere Füllung.

- Diese Brennraumlage erlaubt einteilige, kürzere, leichtere und dadurch billigere Kolben.

- Die Bauhöhe des Motors verringert sich.

- Die mit Glühkerzen unterstützte Kaltstarttauglichkeit bis in den Minusbereich erlaubt das Einkraftstoffprinzip. Zusatztank für Dieselöl, Leitungen, Ventile sowie Umschaltautomatik entfallen.

Die technischen Probleme hat man weitgehend im Griff oder sind jedenfalls lösbar. Dies zeigen u.a. Messungen über Wirkungsgradverläufe, Leistungsverläufe in Abhängigkeit der Motordrehzahl, wie sie an der Ingenieurschule HTL in Windisch AG durchgeführt worden sind.



Die Mahler-Versuchsmotoren haben bisher um die 1500 Betriebsstunden mit unverändertem Pflanzenöl, zum Teil ebenfalls mit altem Fritieröl und tierischem Abfallfett absolviert, ohne dass Verkokungen zu Problemen geführt haben, wie sie in nicht angepassten Direkteinspritzern üblich sind.

Der Umfang der erfolgreichen Resultate aus der Praxis, die grösstenteils den schwierig zu beherrschenden Kurzzeit- und Teillastbetrieb im Sommer und Winter repräsentieren, lassen dieses Konzept vor allem auch für den Fahrzeugantrieb interessant erscheinen. Hier werden Gewicht, Bauhöhe und übrige Abmessungen wesentlich strenger bewertet als im Stationärbereich. Ein weiterer Vorteil gegenüber den beiden immer noch etwas voluminösen Vorschlägen aus den neuen Bundesländern ist die Möglichkeit, bestehende moderne Rumpfmotoren für den Umbau nach Mahler zu nutzen.

Das nächste Anliegen ist denn auch die Übertragung des bisher Erreichten auf einen geeigneten, wassergekühlten Dieselmotor der neuesten Generation und die anschliessende Prüfung als Traktorentriebwerk.

## Ausblick

Der heutige Weltgüterverkehr wird zu 90% mit Dieselmotoren durchgeführt. In der Landwirtschaft ist er das konkurrenzlose Triebwerk. Der moderne Direkteinspritzer für Reinpflanzenölbetrieb (Abbildung 3) entspricht einem wachsenden Nischenbedürfnis. Verschärfte Abgasvorschriften in den USA und Europa sowie der Quantensprung von der mechanischen zur elektronischen Steuerung der Motorfunktionen haben Anfang der neunziger Jahre eine eigentliche Renaissance des Dieselmotors eingeleitet. Bereits sind die ersten Common Rail-Einspritzsysteme (Abbildung 4) angekündigt, die mit entkoppelter Druckerzeugung und Einspritzung die vollelektronische, kennfeldgesteuerte Regelung jedes einzelnen Injektors erlauben.

Die Magnetventile und damit die vom extrem hohen Kraftstoffdruck

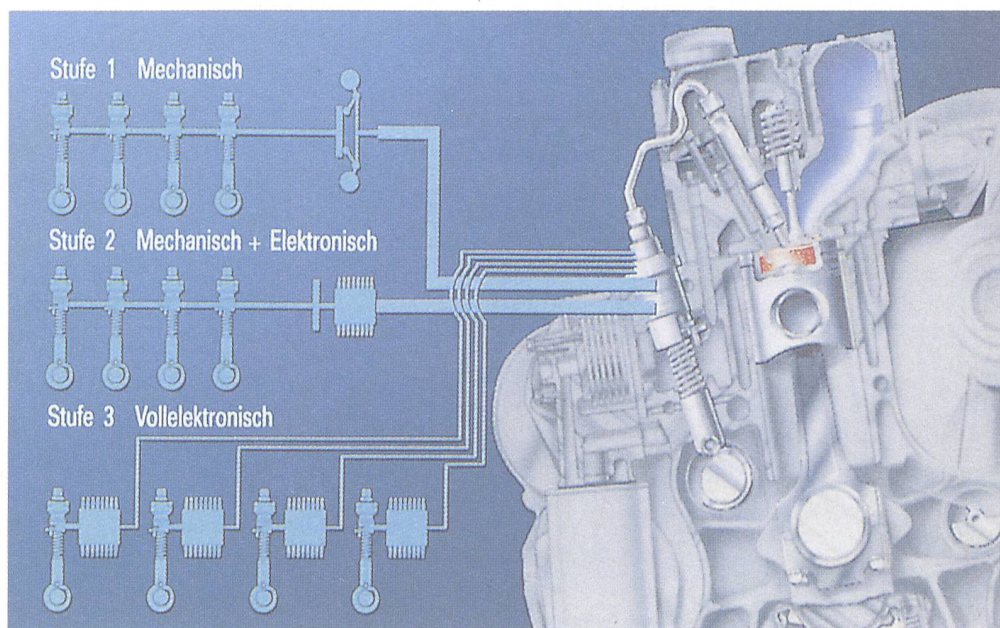


Abbildung 3: Moderner Direkteinspritzer mit ausbaubarem Einspritzkonzept (Quelle: Deutz Motor Industriemotoren GmbH, Köln) Dieselmotor der neuesten Generation, mit PLD-Einspritzung (PLD = Pumpe-Leitung-Düse-System). Das Konzept der direktangetriebenen Steckpumpen erlaubt den dargestellten Ausbau auf mechanisch-elektronische und vollelektronische Regelung. In diesem Fall erfolgte sogar die Verlegung des Rädertriebes für die Nockenwelle der Einspritzpumpen auf die Motorschwungradseite, um Einflüsse durch Drehschwingungen der Kurbelwelle zu eliminieren.

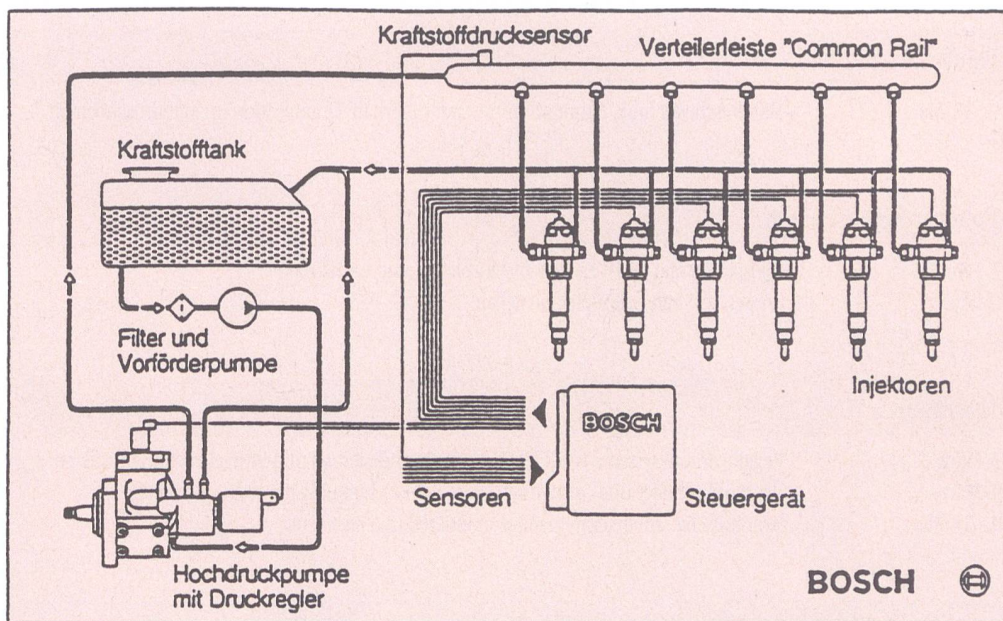


Abbildung 4: Prinzipdarstellung einer Common Rail-Hochdruckeinspritzanlage mit einer eigenständigen, regelbaren Hochdruckpumpe und den magnetventilgesteuerten Injektoren.

gesteuerten Düsenadeln können in unter 250 µs ganz öffnen und wieder schliessen. Damit werden Doppel- oder sogar Mehrfacheinspritzungen möglich, was dem Ansatz «Anpassung des Motors an den Treibstoff» – namentlich bei der Gestaltung des Luftüberschusses und der Absenkung

der NO<sub>x</sub> – gänzlich neue Perspektiven eröffnet.

Um naturbelassene Pflanzenöle motorisch verwenden zu können ist es schliesslich unerlässlich, dass diese einen regelmässigen Standard bezüglich chemisch-physikalischer Mindestanforderungen erfüllen. Die Ein-

gung von Motorenherstellern, Planern und Betreibern von Anlagen für kaltgepresste Pflanzenöle und von Analyseinstituten auf einheitliche Spezifikationen und Verfahren ist Voraussetzung für allgemeingültige Versuche und den zuverlässigen Betrieb von Pflanzenölmotoren.