

Schwachlast mit dem Nachteil hoher Rauchwerte im Volllastbereich. Eine Multijet-Einspritzung wäre auch für die Kleindieselmotoren wünschenswert, scheidet hier jedoch wegen zu hoher Kosten aus. Als sehr geeignet haben sich RSN-Düsen erwiesen, die bei größerem Nadelhub eine variable Vordrossel-Steuerung erreichen und somit sowohl das Verbrennungsgeräusch als auch die NO_x - und CO -Emission reduzieren. Da elektronische Komponenten für die Steuerung des Spritzbeginns ebenfalls aus Kostengründen ausscheiden bzw. für die Einzylinder-Kleindieselmotoren nicht verfügbar sind, ist man auf einfache, wenn auch nicht optimale hydraulische Maßnahmen am Pumpenelement und am Einspritzventil angewiesen.

18.2 Einbau- und Industriemotoren

18.2.1 Definition und Einteilung

Unter dem Begriff Einbau- und Industriemotoren kann man fast alle Verbrennungsmotoren verstehen, die für den Einsatz außerhalb des Straßenverkehrs abgestimmt und zertifiziert wurden, auch als Non-Road-Anwendungen bezeichnet. Fahrzeuge mit Industriemotoren dürfen zwar auch teilweise auf öffentlichen Straßen betrieben werden, wie z. B. Traktoren, Straßenreinigungsmaschinen oder Radlader, jedoch spielt der Anteil des Straßenverkehrs für diese Anwendungen nur eine untergeordnete Bedeutung. Die Zertifizierung erfolgt in einem von der Anwendung abhängigen Stufenzyklus gemäß ISO 8178 (s. Abschn. 15.2). Charakteristisch für Einbau- und Industriemotoren ist die Vielzahl der Applikationen mit oft nur geringen Stückzahlen. Daraus resultiert die Anforderung an den Hersteller, die Motoren in einer Modulbauweise herzustellen, um den Gegebenheiten des jeweiligen Einbaus gerecht zu werden. Für die Anbauteile ist ein Baukastensystem erforderlich, mit dem eine möglichst hohe Anzahl von möglichen Anwendungen abgedeckt wird, ohne die Variantenvielfalt in unwirtschaftliche Größenordnungen wachsen zu lassen. Bei den Anwendungen lässt sich eine grobe Einteilung in drei Gruppen vornehmen:

- Stationärmotoren,
- Mobile Arbeitsmaschinen,
- Landtechnik.

Stationärmotoren dienen im Wesentlichen der Stromerzeugung (Gensets), werden aber auch für andere Aggregate wie z. B. Kühlsysteme, Pumpen und Kompressoren verwendet. Je nach Anwendung befinden sie sich im Dauereinsatz mit zum Teil hohen Anteilen im Schwachlastbetrieb oder im stark intermittierenden Einsatz, dann aber mit hoher Auslastung, wie z. B. bei Notstromaggregaten. Stationärmotoren werden mit wechselnder Last, aber mit konstanter Drehzahl betrieben. Dies gilt insbesondere für Stromaggregate, die zur Gewährleistung einer konstanten Wechselstromfrequenz von 50 Hz in Europa bei 1500 min^{-1} bzw. für 60 Hz in den USA

bei 1800 min^{-1} betrieben werden. Die Zertifizierung erfolgt gemäß ISO 8178 im D2-Zyklus, s. Abschn. 15.2.

Der Anwendungsbereich der mobilen Arbeitsmaschinen umfasst sowohl den großen Bereich der Baumaschinen, wie Bagger, Radlader und Planiertrappen sowie auch Gabelstapler, Schienenfahrzeuge und Flugfeldschlepper. Je nach Anwendung werden Motoren in mobilen Arbeitsmaschinen im gesamten Kennfeld betrieben, wie auch bei einer festen Arbeitsdrehzahl, wenn die Leistungsanforderung von einer Hydraulikeinheit kommt. Die Arbeitsdrehzahl entspricht meistens der Nenndrehzahl des Motors. Bahnmotoren werden entweder wie Industriemotoren zertifiziert oder aber auch entsprechend der Gesetzgebung für Nutzfahrzeugmotoren.

Landtechnikmotoren entsprechen in ihrer Anwendung eigentlich den mobilen Arbeitsmaschinen, jedoch stellt die Landtechnik bezüglich der Leistungsanforderungen und der Einbauten eine Besonderheit dar, weswegen die Landtechnikmotoren auch technologisch eine eigene Gruppe bilden. Eine konstruktive Besonderheit von Landtechnikmotoren liegt häufig in der Übernahme einer versteifenden Funktion des Fahrzeugs.

Entsprechend ihrer konstruktiven Basis lassen sich Industriemotoren in modifizierte Fahrzeugmotoren und gezielt für die Industrieanwendung entwickelte Motoren einteilen. Zu den modifizierten Fahrzeugmotoren gehören sowohl abgeleitete Pkw-Motoren für Leistungen bis ca. 100 kW als auch Nfz-Motoren für Motorleistungen bis ca. 500 kW. Generell decken Industriemotoren einen Leistungsbereich von 2 bis ca. 500 kW ab. Anwendungen oberhalb 1000 kW werden durch mittelschnelllaufende und langsamlaufende Mittel- und Großmotoren bedient (s. Abschn. 18.3 und 18.4). Im Leistungsbereich zwischen 500 und 1000 kW gibt es nur sehr wenige Motoren.

Wie bei Pkw- und Nfz-Motoren, setzen sich auch bei Industriemotoren elektronisch geregelte Einspritzsysteme durch; dies gilt vor allem für Motorleistungen oberhalb 75 kW. Mit der 2006 in Kraft getretenen Abgasgesetzgebung der Stufe 3 für Industriemotoren sind die Anforderungen in diesem Leistungsbereich nicht mehr mit vertretbarem Aufwand mit mechanisch geregelten Einspritzsystemen zu erreichen. Im Wettbewerb der Einspritzsysteme stehen hier Steckpumpen, Pumpe-Düse und in zunehmendem Maß auch Common Rail. Die Elektronik erlaubt darüber hinaus auch die Übernahme von Kundenfunktionen und eine intelligente Verknüpfung von Motorelektronik und Fahrzeug- bzw. Maschinenelektronik, s. Kap. 5 bzw. 6.

Für Motoren kleiner 75 kW sind viele Motoren auch aufgrund der weniger scharfen Emissionsanforderungen mit mechanisch geregelten Einspritzsystemen ausgerüstet. Da in diesem Marktsegment der Anschaffungspreis des Motors gegenüber den Betriebskosten eine dominierende Rolle spielt, verzichtet man hier auf die Vorteile der Motorelektronik.

Ursprünglich wurden Industriemotoren nur als luftgekühlte Motoren gebaut (s. Abschn. 9.1.4). Der Verzicht auf ein zusätzliches Kühlmedium bedeutet für die Handhabung und Wartung einen unbestreitbaren Vorteil hinsichtlich der Robustheit besonders für die teilweise sehr harten Einsatzbedingungen, z. B. bei extremen klimatischen Bedingungen. Die schrittweise Verschärfung der Emissionsgrenzwerte bewirkte eine teilweise Verdrängung der Luftkühlung durch die Wasserkühlung, da letztere aufgrund der niedrigeren Bauteiltemperaturen einen Vorteil bei den Stickoxidemissionen, aber auch bei der Leistungsdichte besitzt. Da es den Entwicklern in den vergangenen Jahren immer gelungen ist, alle Grenzwertstufen entgegen der ursprünglichen Erwartung auch mit luftgekühlten Motoren zu erfüllen, ist auch in naher Zukunft von einem Fortbestand des Marktes für luftgekühlte Motoren auszugehen. Es sei an dieser Stelle noch darauf hingewiesen, dass der Hersteller Deutz mit einem Konzept ölgekühlter Motoren sehr erfolgreich im Markt vertreten ist (s. Abschn. 9.1.3). Das Grundkonzept kommt der Konstruktion wassergekühlter Motoren sehr nahe, vermeidet aber das zusätzliche Kühlmedium Wasser. Da jedoch die Öltemperaturen gemeinhin oberhalb der Kühlmitteltemperatur wassergekühlter Motoren liegt, wird auch der ölgekühlte Motor mit etwas höheren Bauteiltemperaturen betrieben, s. Abschn. 9.1.3.

18.2.2 Angebot und Auswahl

Trotz des in den vergangenen Jahren in der weltweiten Automobil- und Motorenindustrie stattfindenden Konzentrationsprozesses ist das weltweite Motorenangebot immer noch sehr groß, so dass es hier nicht ausführlich und vollständig behandelt werden kann. Tabelle 18-1 vermittelt eine Vorstellung über die weltweiten Einsatzfelder der Dieselmotoren. Die maßgeblichen Anwendungen kommen aus den Bereichen Pkw, Nfz und Landtechnik. Dies dokumentiert, dass die Vielzahl der Anwendungen für Einbau- und Industriemotoren i. d. R. mit gerin-

gen Stückzahlen einhergeht. Dennoch gibt es zahlreiche namhafte Fahrzeughersteller, die auch Industriemotoren anbieten. Einen Einblick – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – auf das weltweite Angebot von Industriemotoren gibt Bild 18-11.

Die Verwendung von modifizierten Fahrzeugmotoren im Industriemotorenbereich bietet insbesondere die sich aus einer Großserienfertigung ergebenden Vorteile. Allerdings geht dies häufig mit einer geringen Flexibilität bezüglich einbaubedingter Abweichungen einher. Gerade in der Flexibilität liegt jedoch die Stärke der auf die Produktion von Industriemotoren spezialisierten Hersteller.

Bei den Herstellern von Industriemotoren ist zwischen den sog. Captive und Non-Captive-Herstellern zu unterscheiden. Für die „Captive“ Hersteller (captive = gefangen) besteht das Kerngeschäft in der Produktion von Industriemaschinen oder -fahrzeugen. Die für diese Maschinen erforderliche Motorenpalette decken sie aus einer eigenen Motorenproduktion ab. Für diesen Markt typische Hersteller sind z. B. Caterpillar, JohnDeere und Yanmar. Dieses Marktsegment wird als „captive“ bezeichnet, weil es für andere Motorenhersteller nicht erreichbar ist. Die genannten Hersteller bieten ihre Motoren aber auch auf dem „non-captive“ Markt an und stehen damit im Wettbewerb mit reinen Motorenherstellern wie Cummins oder Deutz.

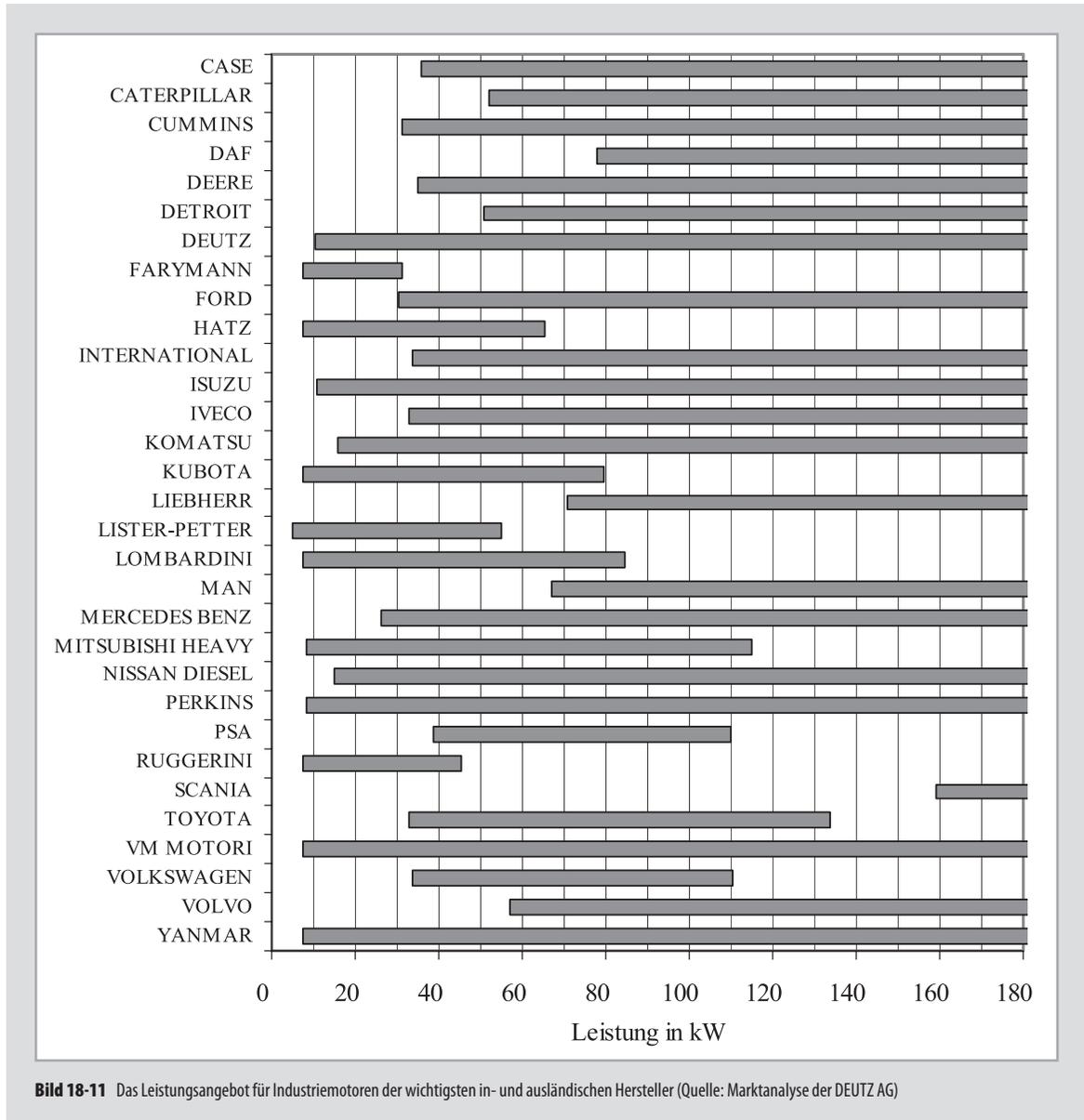
Aufgrund der auch durch die Abgasgesetzgebung getriebenen zunehmenden Komplexität zeichnet sich in den vergangenen Jahren bei den Herstellern von Industriemotoren ein Konzentrationsprozess ab, wie man ihn auch in der Automobilindustrie beobachten kann. Besonders kleinere „Captive“ Hersteller – deren Motorenproduktion bei 20000 bis 30000 Einheiten im Jahr liegt – gehen vermehrt dazu über, ihre Motoren auf dem „Non-Captive“ Markt einzukaufen.

18.2.3 Applikationen

Der Markt für Einbau- und Industriemotoren ist geprägt von einer Vielzahl von Applikationen, die sehr häufig mit geringen

Tabelle 18-1 Verwendung der hergestellten Dieselmotoren (100 Stück)

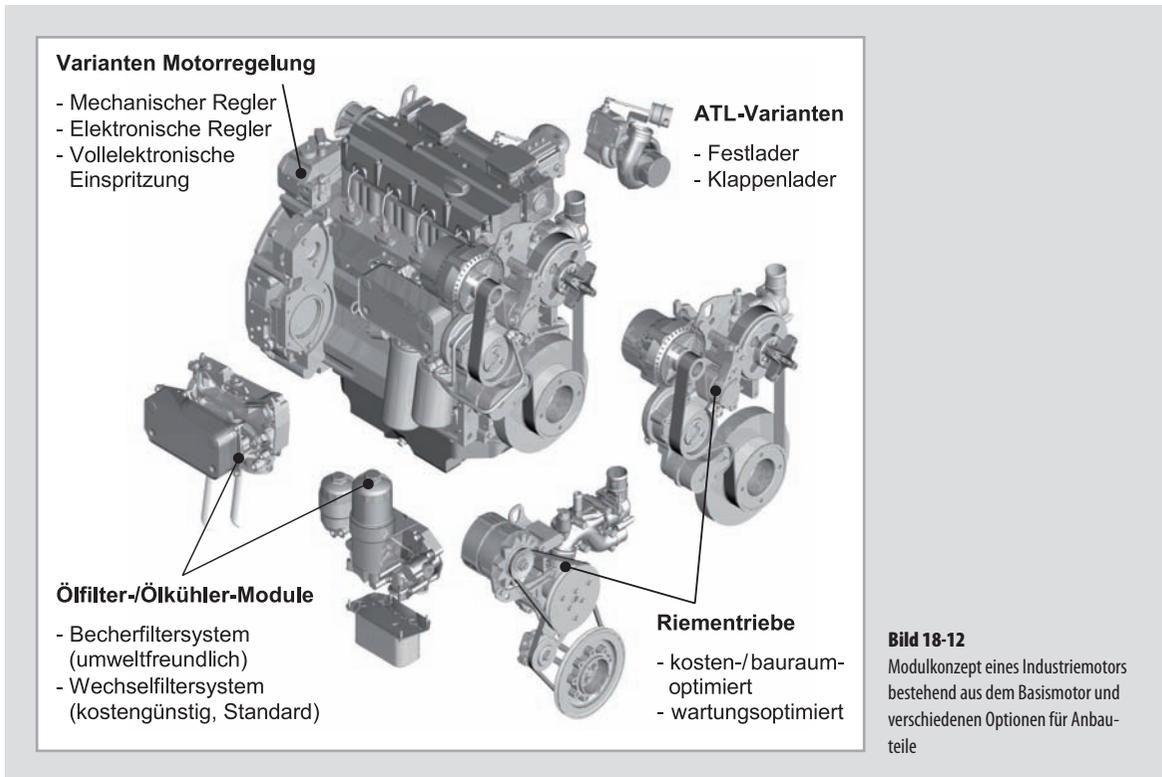
Land	Japan	Ostasien	Nordamerika	Westeuropa	Osteuropa	Summe weltweit
Personenkraftwagen	323	167	0	4.383	1.013	6.209
Nutzfahrzeuge	774	1.047	693	2.328	277	5.853
Landmaschinen	590	7.156	42	340	67	8.792
Baumaschinen	299	61	112	271	22	812
Industriemotoren	140	47	31	186	9	482
Stromaggregate	204	179	17	247	28	711
Schiffs- und Schiffshilfsmotoren	38	203	13	35	3	297
Summe	2.368	8.860	908	7.790	1.1419	23.156



Stückzahlen bis hin zur Einzelfertigung verbunden sind. Die Kunst des Motorenherstellers besteht darin, diese Applikationsvielfalt abzudecken, ohne dabei in der eigenen Produktion in eine unüberschaubare und kommerziell nicht tragbare Variantenvielfalt zu geraten. Der Lösungsansatz besteht in einer Plattformstrategie basierend auf einem Grundmotor und einem Baukastenkonzept für die Anbauten, wie dies beispielhaft in Bild 18-12 dargestellt ist [18-1]. Eine besondere Variantenviel-

falt aufgrund der Einbaubedingungen besteht für Ölwanne, Ansaug- und Abgaskrümmer. Letztere müssen den verschiedenen Anbaulagen für Abgasturbolader gerecht werden. Ebenso variabel ist der Anbau von Lichtmaschinen, wenn sie für den Einbau überhaupt erforderlich sind.

Die Applikationsvielfalt ist nicht nur ein Resultat der Einbaurestriktionen, sondern auch durch Lastprofile, klimatische Einsatzbedingungen, Kraftstoffqualitäten, unterschiedliche



Emissionsstandards, Anforderungen an den Kraftstoffverbrauch und den erzielbaren Verkaufspreis des Motors bedingt.

Während in der EU und Nordamerika nur noch Motoren verkauft werden, die die Anforderungen der Abgasgrenzwertstufe 3 (s. Abschn. 15.2) erfüllen, gelten in großen Teilen Afrikas und des Nahen- und Mittleren Ostens keinerlei Emissionsstandards. In diesen Regionen ist der Verkauf von Motoren, die die Grenzwertstufe 3 erfüllen, aus kommerziellen Gründen wie auch aufgrund der technologischen Komplexität der Motoren nicht möglich. Auch aus klimatischen und logistischen Gründen werden hier luft- oder ölgekühlte Motoren mit mechanisch geregelten Einspritzsystemen bevorzugt.

Ein weiterer schon bei der Entwicklung zu beachtender Gesichtspunkt sind die weltweit sehr unterschiedlichen Kraftstoffqualitäten. Dem für Westeuropa geltenden Kraftstoffstandard gemäß EN590 mit einer Cetanzahl von mindestens 51 stehen in den USA Dieselkraftstoffe mit einer Cetanzahl von durchschnittlich 40 bis 42 gegenüber. Dies führt erfahrungsgemäß zu einem Anstieg der Stickoxidemissionen um ca. 0,2 g/kWh. Da für die USA und Europa die gleichen Grenzwerte für Industriemotoren gelten, muss dies bei der Abstimmung des Motors berücksichtigt werden. Des Weiteren stellt der Schwefelgehalt des Kraftstoffs – in

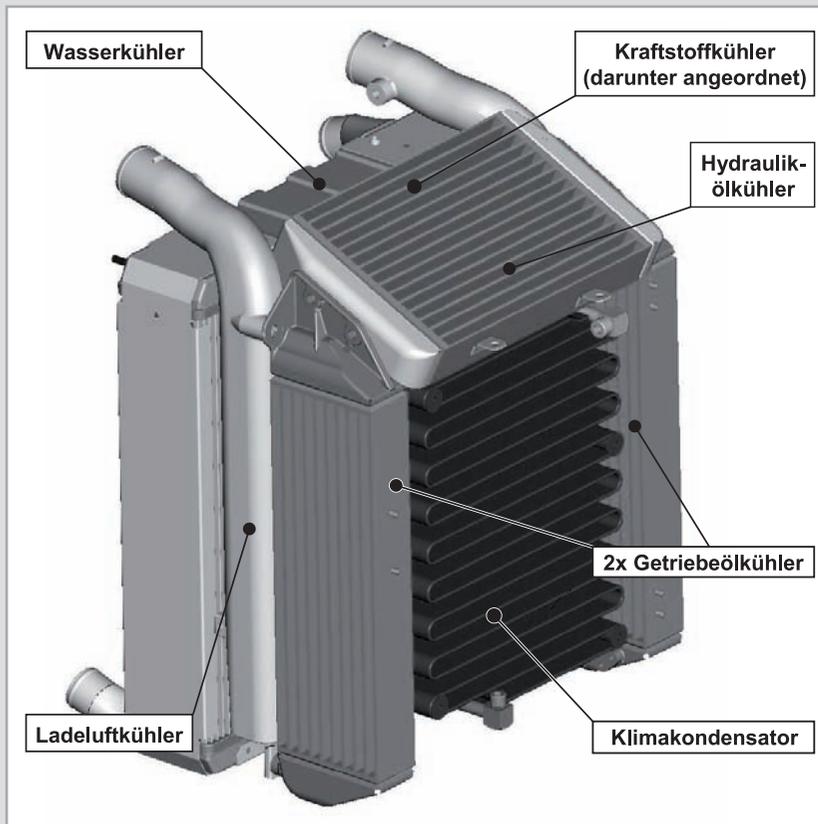
einigen Regionen über 5000 ppm – eine Herausforderung dar; dies sowohl hinsichtlich der Auswirkungen auf die Partikelemissionen wie auch auf Schäden durch Schwefelsäurekorrosion. In einigen EU-Ländern darf Heizöl für Industriemotoren verwendet werden. Auch dies entspricht nicht dem EN590 Standard. Es sei noch erwähnt, dass zunehmend Biokraftstoffe verwendet werden. Für diese unter dem Begriff FAME (Fatty acid methyl ester) zusammengefassten, auf Pflanzenölbasis veresterten Kraftstoffe erteilen die Hersteller von Einspritzsystemen i. d. R. keine Freigabe, so dass das Freigaberisiko auf der Seite des Motorenherstellers liegt. Bei dem in Deutschland gängigen Biodiesel handelt es sich um Rapsölmethylester (RME), s. Abschn. 4.2.

Da die Dauerhaltbarkeit eines Motors auch von seiner Beanspruchung abhängt, wird die Einstellung herstellerseitig in sog. Leistungsgruppen vorgenommen, s. Tabelle 18-2. Dabei wird die Leistung des Motors reduziert, um eine thermische Überlastung durch einen dauerhaften Vollastbetrieb zu vermeiden.

Die Komplexität eines Einbaus veranschaulicht Bild 18-13 anhand des Kühlerpakets für einen Traktor. Der Einbau wird der nach unten gezogenen Frontpartie des Traktors gerecht, deren Konstruktion der Verbesserung des Sichtfelds für den Fahrer dient. Da der Wirkungsgrad der Kühler ganz

Tabelle 18-2 Beispiel für die Definition von Leistungsgruppen und den jeweiligen Zuordnungen der Anwendungen auszugswise

Leistungsgruppe	Leistungsreduktion	Fahrzeugmotoren	Einbaumotoren		
			Baumaschine	Land- und Forstmaschinen	Pumpen und Verdichter
I	0%	Baustellenfahrzeuge Feuerlöschfahrzeuge Muldenkipper Kranfahrzeuge Straßenreinigungsmaschinen	Radlader Baggerlader Grader Erdtransportgeräte Straßenwalzen Beton- und Mörtelmischer	Mähdrescher	Feuerlöschpumpen Notpumpen
II	5%	Schneefräsen Schneeräumer	Hydraulikbagger Schwarzdeckenfertiger Beton- und Straßenfräsen	Vierradschlepper Forstschlepper Baumschneider Feldhäcksler Erntemaschinen	Beregnungs- und Bewässerungsanlagen Hochdruckkompressoren bis 10 bar
III	10%		Grabenfräsen Bohrgeräte		Hochdruckkompressoren über 10 bar

**Bild 18-13**

Kühlerpaket eines Traktors mit sieben Kühlmodulen

erheblich von der Anordnung und der Durchströmung abhängt, muss vor der technischen Freigabe eine Einbausimulation durchgeführt werden, um zu gewährleisten, dass das Kühlerpaket die Auslegungsdaten des Motors erfüllt. Dies ist erforderlich, um einerseits die Emissionsanforderungen zu erfüllen und andererseits eine thermische Überlastung des Motors zu vermeiden.

18.2.4 Modifizierte Fahrzeugmotoren

18.2.4.1 Allgemeine Bemerkungen

Neben den speziell ausschließlich als Industrienmotoren entwickelten Dieselmotoren gibt es Triebwerke, die als Modifikation von Pkw- oder Nfz-Motoren in den allgemeinen industriellen Einsatz gelangen. Die unbestreitbaren Vorteile der modifizierten Fahrzeugmotoren für diese Verwendung sind insbesondere der Kostenvorteil infolge der Synergien mit der Großserienfertigung und der Leichtbau mit einem günstigen Verhältnis von Leistung zu Motormasse.

Grenzen der Anwendung bestehen dann, wenn Wirtschaftlichkeit oder technische Eigenschaften leiden, z. B. durch zu hohe Beanspruchung des Triebwerkes, das sich bei Fahrzeugmotoren durch Leichtbau auszeichnet. Das gewichtsoptimierte Triebwerk sollte deshalb hinsichtlich der Motorlagerung auch wie beim Fahrzeugeinbau behandelt werden. Deshalb sollte aus Festigkeitsgründen das Motorkurbelgehäuse nicht zu systemtragenden Aufgaben herangezogen werden, so wie dies häufig bei Land- und Baumaschinenkonstruktionen üblich ist. Der masseoptimierte Fahrzeugmotor ist infolge seiner kleineren Massen bei den Geräusch- und Schwingungsdämpfungsmaßnahmen gegenüber einem schwereren Industrienmotor schon etwas aufwändiger zu behandeln. Die Leistungen eines Fahrzeugmotors sind auf fahrzeugspezifische Anforderungen abgestimmt und sollten zugunsten der Motorlebensdauer mit geringem Verschleiß für Industrienmotoren im Dauereinsatz entsprechend der DIN/ISO 3046 deutlich niedriger gewählt werden, vgl. Abschn. 18.2.3. Bei der Motorauswahl sollte auch darauf geachtet werden, dass bei Forderungen nach einem hohen Anfahrtdrehmoment nach Möglichkeit kein Pkw-Dieselmotor, sondern besser gleich ein Nfz-Triebwerk zur Basis erklärt wird: Pkw-Motoren erreichen i. d. R. ihr maximales Drehmoment erst im oberen Drehzahlbereich. Es besteht zwar die Möglichkeit, mit einer speziellen Abstimmung der Einspritzpumpe das maximale Drehmoment innerhalb bestimmter Grenzen in den unteren Drehzahlbereich zu verlagern. Doch jede Abweichung von einer Fahrzeug Serienausrüstung wird teuer und unrentabel, wenn zu viele zwar wünschenswerte, aber nicht unbedingt notwendige Sonderausstattungen gefordert werden.

Um die Möglichkeiten eines serienmäßigen Fahrzeugmotors zur Anpassung an die Belange beim Einsatz als Industrienmotor abschätzen zu können, sind diese mit den dabei auftretenden Anforderungen in Übereinstimmung zu bringen.

Für Industrienmotoren spielen Lebensdauer und Wartungsintervalle eine ausschlaggebende Rolle. Zugunsten längerer Ölwartungsintervalle sind für diese Einsätze oft größere Motorölvolumen erforderlich. In Abstimmung mit den Einbaugegebenheiten werden spezielle Ölwanne mit bis zu 20 Liter Ölvolumen gegenüber der Pkw-Version mit ca. 4 Liter verwendet. Hierbei sind nicht nur die Sonderkosten, sondern auch die bestehenden Fertigungseinrichtungen bzw. Fertigungsmöglichkeiten abzuwägen, ob eine derartige Modifikation noch zielführend bzw. noch bezahlbar ist.

18.2.4.2 Ausgeführte Motoren

Ein Beispiel für einen modifizierten Fahrzeugmotor [18-2] zeigt Bild 18-14 am Beispiel des Herstellers Volkswagen. Der Motor basiert auf dem Pkw-Motor und unterscheidet sich von diesem nur noch in seinem Datensatz, um ein Höchstmaß an Synergie mit der Pkw-Großserienproduktion zu erreichen. Wirbelkammermotoren werden als Saugmotoren nur noch im Leistungsbereich bis 37 kW hergestellt, die aber ab der Grenzwertstufe 3A durch direkt einspritzende Motoren ersetzt werden. Diese werden bis ca. 80 kW mit 1,9 und 2,5 l Hubvolumen sowohl als Saugmotoren wie auch als aufgeladene Motoren mit und ohne Ladeluftkühlung hergestellt.

Für die Anpassung dieser für den Fahrzeugeinsatz entwickelten Basismotoren an die verschiedenartigen Anforderungen von Industrieapplikationen wurde ein Datensatzkonzept entwickelt, das aus einem Block von der jeweiligen Applikation unabhängiger Motorgrundfunktionen und einem Block Industrienmotorenfunktionen besteht. Die Industrienmotorenfunktionen sind in sieben spezifischen Datensätzen im Motorsteuergerät gespeichert. Diese unterscheiden sich in der Art der Motorregelung:

- Momentensteuerung mit Vorgabe über das Fahrpedal,
- Leistungssteuerung mit Vorgabe über das Fahrpedal,
- Arbeitsdrehzahlregelung mit Vorgabe über das Fahrpedal in Form eines P-Reglers,
- Arbeitsdrehzahlregelung über eine 0 – 5 V-Schnittstelle in Form eines PI-Reglers mit oder ohne Sicherheitskonzept,
- Automotives Fahren durch Umsetzung des Fahrerwunsches über das Fahrpedal in eine Einspritzmenge,
- Stationärer Betrieb durch eine extern geschaltete Festdrehzahlregelung.

Abweichend vom Fahrzeugmotor verfügt die Elektronik über einige für Industrieanwendungen spezifische Aktoren und

- **Direkteinspritzung**
- **Verteilereinspritzpumpe VP 37**
- **ECU Bosch EDC 15V+**
- **SOHC Ventiltrieb**
- **Aluminium - Zylinderkopf**
- **stehender Ölfilter mit Wechsepatrone**
- **VTG-Lader**
- **Daten TDI® 2.5:**
 - 80kW bei 3.500 min⁻¹
 - 280Nm bei 1.400 - 2.400min⁻¹
 - 200kg
 - 211 g/kWh (be_{best})



VOLKSWAGEN TDI® 2.5

Bild 18-14 Aufgeladener 2,5 l TDI®-Motor von VW mit elektronisch geregelter Verteilereinspritzpumpe, Zweiventilzylinderkopf, Abgasturbolader mit variabler Turbinengeometrie. Maximale Leistung 80 kW bei 3500 min⁻¹

Sensoren. Diese hier dargestellte Varianz war bislang bei Motoren mit einer mechanisch-hydraulisch arbeitenden Einspritzpumpe nur durch eine applikationsabhängige Einstellung der Einspritzpumpe in Verbindung mit einer speziellen Ausrüstung, wie einem Alldrehzahlregler, häufig nur zusammen mit einer zusätzlichen elektronischen Regelung darstellbar.

18.2.5 Industriebmotoren

18.2.5.1 Produktkonzept

Ausschließlich als Einbau- und Industriebmotoren entwickelte Dieselmotoren sind in der Klasse bis ca. 75 kW Leistung zu finden. Zwischen einem und vier Zylindern sind alle Zylinderzahlen üblich. Kraftstoffverbrauch und Leistungsdichte spielen eine untergeordnete Rolle; wichtiger sind Anschaffungskosten, Robustheit und Vielseitigkeit. Aufgrund der Emissionsanforderungen werden die Saugmotoren zunehmend durch aufgeladene Motoren ersetzt; aus Einbau- und Kostengründen aber häufig ohne Ladeluftkühler. Im Leistungsbereich bis 37 kW dominieren jedoch noch Saugmotoren. Mehrere Nebenabtriebe und die Möglichkeit einer 100prozentigen Kraftabnahme am dämpferseitigen Kurbel-

wellenende sind üblich. Geringe Wartungsansprüche führen bei dieser Leistungsklasse u. a. dazu, dass ein sehr hoher Anteil luft- oder öl-/luftgekühlt ist.

Industriebmotoren im Leistungsbereich oberhalb von 75 kW – ausgeführt als 4-, 6- oder 8-Zylindermotor – sind meistens entweder von Nfz-Motoren abgeleitet oder Industriebmotoren, die auch als Fahrzeugmotoren einsetzbar sind, sodass bezüglich Abgas- und Lärmemission, Wartung, Lebensdauer, Leistungsgewicht und -dichte usw. in dieser Leistungsklasse für Industriebmotoren ähnliche Anforderungen wie an Nfz-Motoren bestehen. Sie unterscheiden sich von Nfz-Motoren nur durch spezielle konstruktive Merkmale wie zusätzliche Nebenabtriebe, Kraftabnahme auch am dämpferseitigen Kurbelwellenende, besonders steife Motorblöcke, versteifte Ölwanne und Massenausgleichsgetriebe bei Schleppeinbau, zusätzliche Kühlsysteme für Hydraulikanlagen und Generatoren.

Die Vielfalt der Einsatzmöglichkeiten von Industriebmotoren und damit der Kundenwünsche erfordert entsprechend viele Ausrüstungsvarianten, die oft nur in relativ kleinen Stückzahlen produziert werden. Industriebmotoren sind daher im Normalfall etwas teurer als entsprechende Pkw- oder Nfz-Motoren.

18.2.5.2 Ausgeführte Motoren

Angeichts der breiten Palette der Industriemotoren sollen in diesem Abschn. anhand einiger Ausführungsbeispiele grundsätzliche Merkmale für das Hubraumsegment zwischen 200 und 400 cm³ und das Segment im Bereich 1 l pro Zylinder dargestellt werden. Die ganze Vielfalt lässt sich an dieser Stelle nicht erfassen.

Im kleinen Hubraumsegment bis 400 cm³ gibt es eine Vielzahl von mehrzylindrigen, fast ausschließlich als Reihenmotoren konzipierte, wassergekühlte Triebwerke. Maßgebliche Hersteller sind hier Kubota, Yanmar, Daihatsu, Isuzu, Lister Petter und Deutz. Das konstruktive Grund-

prinzip ist bei allen sehr ähnlich, jedoch findet eine breite Varianz der Einspritzausrüstung vom System Pumpe-Leitung-Düse über Verteilerpumpen, Reihenpumpen bis zu Einsteckpumpenblöcken. Häufig wird das indirekteinspritzende Wirbelkammerverfahren angewandt, dass gegenüber dem direkteinspritzenden Verfahren neben dem Geräuschvorteil und den geringeren Herstellkosten auch ein niedrigeres Stickoxidemissionsniveau aufweist. Der damit verbundene Verbrauchsachteil wird in diesem Marktsegment akzeptiert.

Ein konstruktiv sehr interessantes Beispiel ist die Baureihe W35 des Herstellers Hatz (s. Bild 18-15), die mit einem Hubraum von 350 cm³ pro Zylinder als Reihenmotor mit 2,

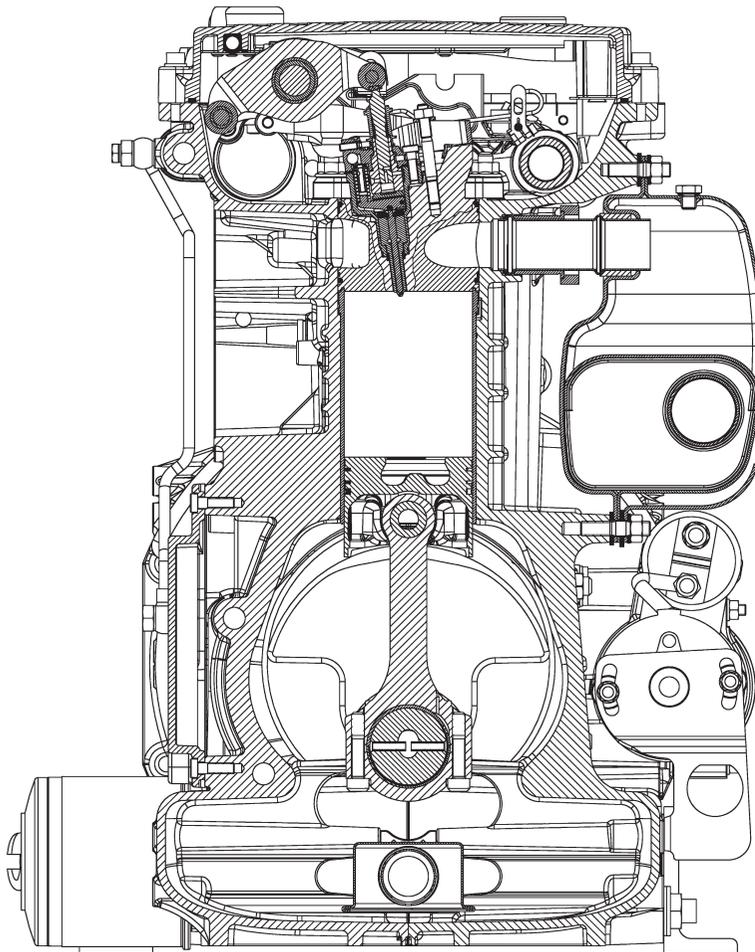


Bild 18-15

Querschnitt des Motors 4W35NA der Fa. Hatz Vertikal in Längsrichtung geteiltes Alu-Druckguss-Kurbelgehäuse

3 und 4 Zylindern angeboten wird. Der Reihenmotor hat eine in Längsrichtung vertikale Teilungsebene. Beide in Alu-Druckguss herstellbaren Gehäusehälften beinhalten bereits Ölwanne, Steuergehäuse, Räderkasten, Schwungradgehäuse, Zylinderkopf- und Laufbüchsenaufnahme. Der Zylinderkopf und die dünnwandige Schleuderguss-Laufbuchse sind Module. Die Wasserpumpe ist im Rädertrieb des Steuerkastens integriert. Mit lediglich drei Bauteilen bestehend aus der linken und der rechten Kurbelgehäusehälfte sowie dem Ventildeckel ist der Motor bereits komplett geschlossen. Auch das Einspritzsystem und dessen Steuerung sind modular aufgebaut. Zum Einsatz kommt eine mechanisch geregelte sehr kurz bauende Pumpe-Düse, deren Antrieb über die oben liegende Nockenwelle und den Antriebshebel erfolgt. Bild 18-16 zeigt den konstruktiven Aufbau des komplett ausgerüsteten 4W35-Saugmotors.

Die Ausführungsbeispiele in den Bildern 18-17 und 18-18 zeigen, wie unterschiedliche Markt- und Gesetzgebungsan-

forderungen die Ausführung eines Motors einer Baureihe beeinflussen. Für die 64 kW-Variante gilt ein Emissionsgrenzwert von 4,7 g/kWh für NO_x+HC und 0,3 g/kWh für Partikel im C1-Zyklus gemäß ISO 8178, s. Abschn. 15.2. Aus Bau- und Kostengründen besitzt dieser Motor keinen Ladeluftkühler und ist mit einem mechanisch geregelten Steckpumpeneinspritzsystem ausgestattet. Das Emissionsziel wurde durch die entsprechende Gestaltung der Brennraum- und Einspritzdüsengeometrie, des Einspritzzeitpunktes und des Ladungswechsels erreicht. Die mit diesem Konzept verbundenen Nachteile im Kraftstoffverbrauch werden durch die niedrigen Herstellkosten mehr als kompensiert. Die 113 kW-Variante in Bild 18-18 wurde für eine hohe Auslastung in einem Traktor abgestimmt. Für diese Leistung gilt ein Emissionsgrenzwert von 4,0 g/kWh für NO_x+HC und 0,2 g/kWh für Partikel im C1-Zyklus. Aufgrund des Lastkollektivs wie auch der hohen Betriebsstundenzahl pro Jahr spielt der Kraftstoffverbrauch eine wesentlich größere Rolle. Dabei werden ein

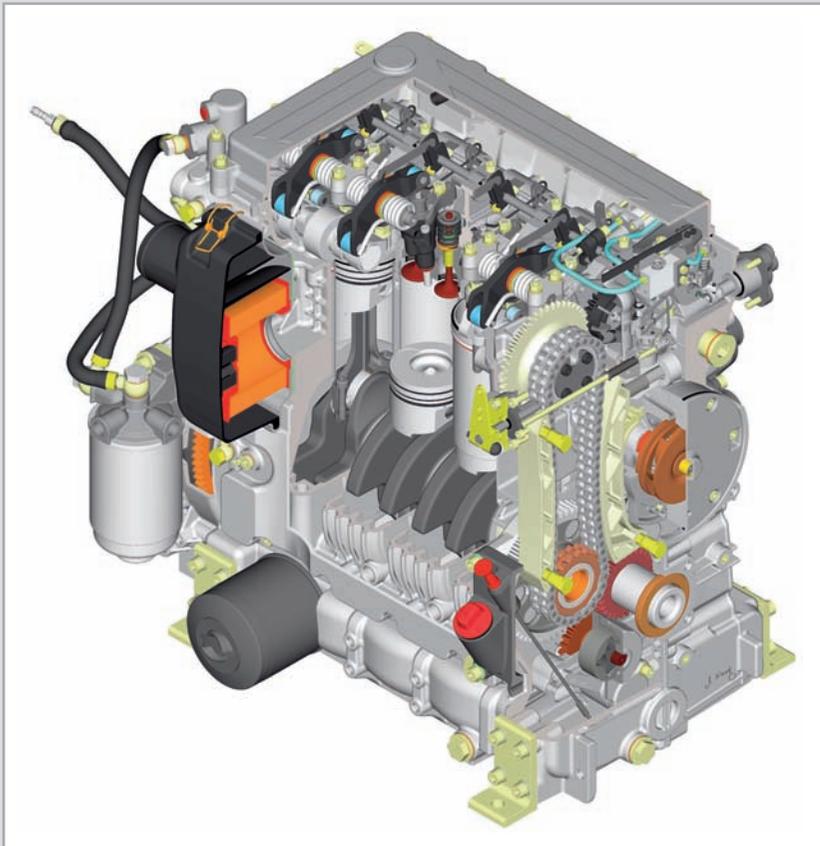
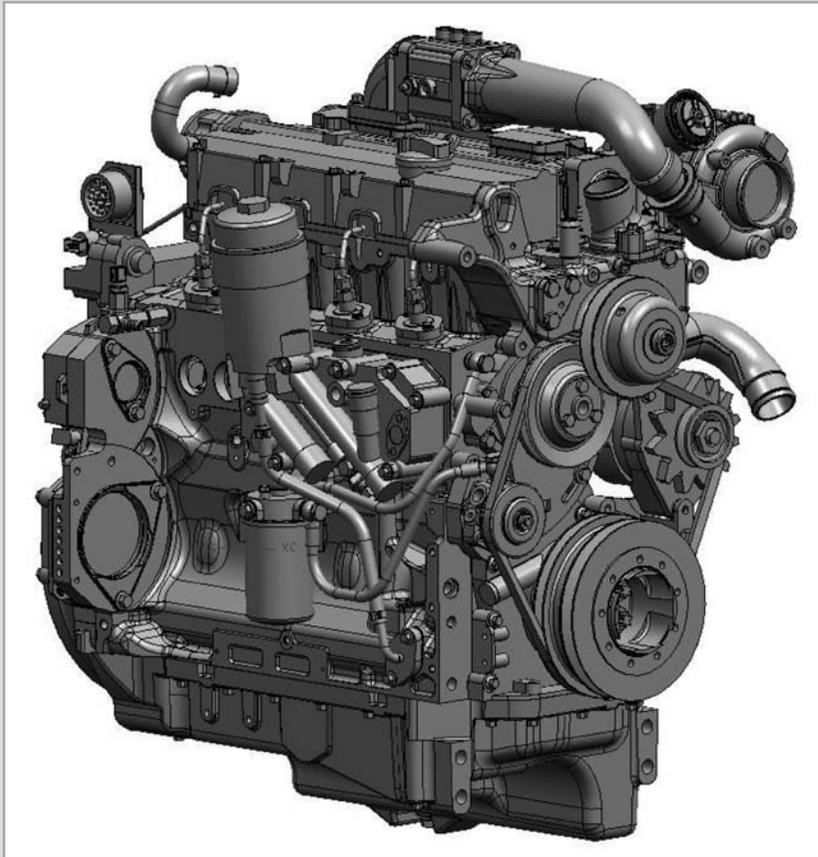


Bild 18-16

Wassergekühlter 4 Zylinder OHC-Reihenmotor mit mechanisch geregelter Pumpedüse aus der Motorbaureihe W35 des Herstellers Hatz

**Bild 18-17**

Aufgeladener Vierzylindermotor ohne Ladeluftkühlung der DEUTZ Baureihe 2012, Typ TD2012L04.2V mit mechanisch geregelter Pumpe-Leitung-Düse Einspritzsystem, Zwei-ventilzylinderkopf, seitlich angebautem Abgasturbolader. Maximale Leistung 67 kW bei 2200 min⁻¹

technologisch höherer Aufwand und damit ein höherer Preis des Motors akzeptiert. Sowohl die Ladeluftkühlung wie auch die gekühlte Abgasrückführung sind geeignete Maßnahmen, niedrige Stickoxidemissionen verbunden mit einem guten Kraftstoffverbrauch zu erzielen. Darüber hinaus erlaubt das Common Rail Einspritzsystem eine Optimierung von Kraftstoffverbrauch, Verbrennungsgeräusch und Emissionen im gesamten Motorkennfeld [18-3], [18-4].

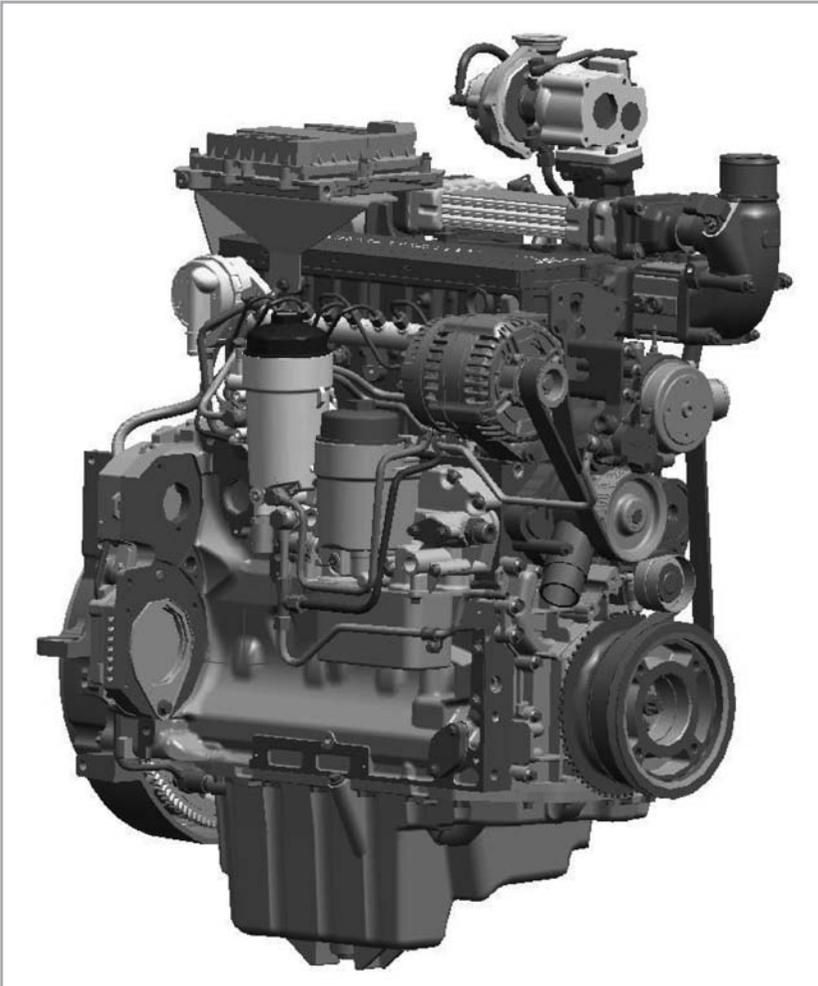
Die Motoren bieten als charakteristische Einbaumotoren mehrere Möglichkeiten zur Kraftabnahme: über den Steuerädertrieb können neben der Nockenwelle auch eine oder mehrere Hydraulikpumpen und/oder Kompressoren angetrieben werden. Alternativ können bis zu 100% der Motorleistung auch stirnseitig abgenommen werden. Auch für diese wassergekühlten Motoren ist ein integriertes Kühlsystem vorgesehen: Öl- und Wasserkühler werden dazu seitlich am Motor befestigt, wobei wahlweise auch ein

zusätzlicher Kühler für Hydrauliköl vorgesehen werden kann. Dies ermöglicht nicht nur eine sehr kompakte Bauweise, sondern vereinfacht auch die Montage des komplett mit der integrierten Kühlung angelieferten Motors.

Ein typischer Einsatzfall des Industriemotors ist die Landmaschine. Die hohe Steifigkeit des Motorblocks verringert nicht nur die Geräuschemission, sondern ermöglicht auch, den Motor als tragendes Schlepper-Bauteil einzusetzen. Dazu eliminiert ein Massenausgleichsgetriebe bei der Vierzylinder-Variante die freien Massenkräfte und garantiert dadurch die für einen starren Einbau in den Schlepper notwendige Laufruhe.

18.2.6 Ausblick

Die Weiterentwicklung der Industriemotoren wird, wie die Entwicklung der Fahrzeugmotoren, in den nächsten Jahren

**Bild 18-18**

Aufgeladener Vierzylindermotor mit Ladeluftkühlung der DEUTZ Baureihe 2012, Typ TD2012L04 2V mit elektronisch geregelter Common Rail Einspritzsystem, Vierventilzylinderkopf, mittig oben angebautes Abgasturbo-lader und externer gekühlter Abgasrückführung. Maximale Leistung 113 kW bei 2200 min⁻¹

von einer weiteren drastischen Verschärfung der Abgasgesetzgebung geprägt sein (s. Abschn. 15.2). Die damit verbundenen technologischen Anforderungen haben bereits in der Grenzwertstufe 3A bei vielen Motoren zu einer Ablösung der mechanisch geregelten Einspritzsysteme durch elektronisch geregelte Systeme geführt. Lediglich im Leistungsbereich unter 75 kW dominieren weiterhin mechanisch geregelte Einspritzsysteme.

Die Erfüllung der Grenzwertstufe 4 erfordert die Einführung von Abgasnachbehandlungstechnologien wie dem Partikelfilter und der Stickoxidnachbehandlung durch SCR. Da diese Technologien eine Überwachung und Regelung benötigen, ist ein integriertes Motormanagement unerläss-

lich, dass auch die Abgastemperaturregelung für die Abgasnachbehandlung übernimmt. Aufgrund der höheren Emissionsgrenzwerte ist lediglich im Leistungsbereich unter 56 kW auch künftig die Anwendung der kostengünstigen mechanisch geregelten Einspritzsysteme wahrscheinlich.

Mit seiner Flexibilität, insbesondere der Möglichkeit von Mehrfacheinspritzungen, wird dem Common Rail Einspritzsystem das größte Zukunftspotenzial zugeschrieben. Dies erleichtert auch die Abstimmung des dynamischen Betriebsverhaltens, das neben den Kundenanforderungen durch die Einführung eines Transientzyklusses auch der Emissionsgesetzgebung genügen muss. Das elektronische Motormanagement bietet darüber hinaus die Möglichkeit