

Fakultät Verkehrswissenschaften „FRIEDRICH LIST“
Professur für Technik spurgeführter Fahrzeuge

Triebfahrzeugtechnik

Antriebskonfigurationen

Dr.-Ing. Martin Kache // Sommersemester 2021



Inhalte

Vorlesung Triebfahrzeugtechnik (Antriebskonfigurationen)

7. Leistungsauslegung von Triebfahrzeugen

8. Dieselmotor und andere Verbrennungskraftmaschinen

9. Leistungsübertragungsanlagen

10. Hilfs- und Nebenbetriebe

11. Leittechnik (Überblick)

Dieselantriebstechnik im Schienenverkehr

Ist das noch relevant?

Deutschland:

ca. 37% der Strecken
nicht elektrifiziert



Anteil der E-Traktion
an Verkehrsleistung:
90%

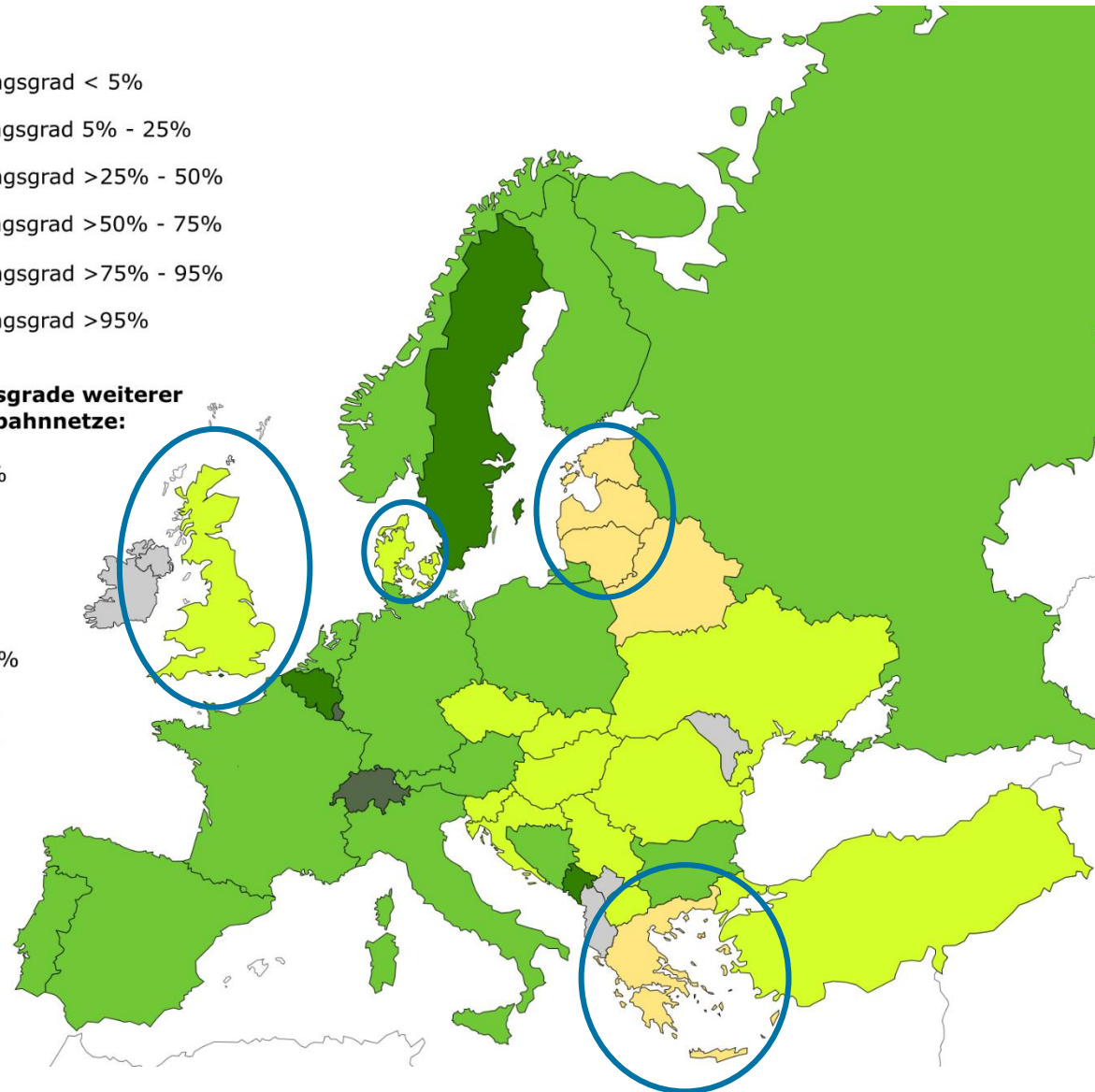


Legende:

- Elektrifizierungsgrad < 5%
- Elektrifizierungsgrad 5% - 25%
- Elektrifizierungsgrad >25% - 50%
- Elektrifizierungsgrad >50% - 75%
- Elektrifizierungsgrad >75% - 95%
- Elektrifizierungsgrad >95%

Elektrifizierungsgrade weiterer wichtiger Eisenbahnnetze:

- Argentinien: 2,2%
- Australien: 8,4%
- Brasilien: 1,7%
- Canada: 0,5%
- China: 60,5%
- Indien: 33,7%
- Japan: 60,1%
- Kasachstan: 28,3%
- Pakistan: 3,2%
- Südafrika: 48,4%
- Südkorea: 70,9%
- USA: 3,4%



europäische Länder mit
größeren Dieselnetzen:



Großbritannien



Dänemark

Estland

Lettland

Litauen

Griechenland

Dieselantriebstechnik im Schienenverkehr

Ist das noch relevant?

Einsatzfelder der Dieseltraktion in Europa



Personennahverkehr*



Verteilerverkehr



Rangierverkehr



Bauzugverkehr



Personenfernverkehr



Grenzverkehr



Notfallhilfe



Werksverkehr



Güterfernverkehr

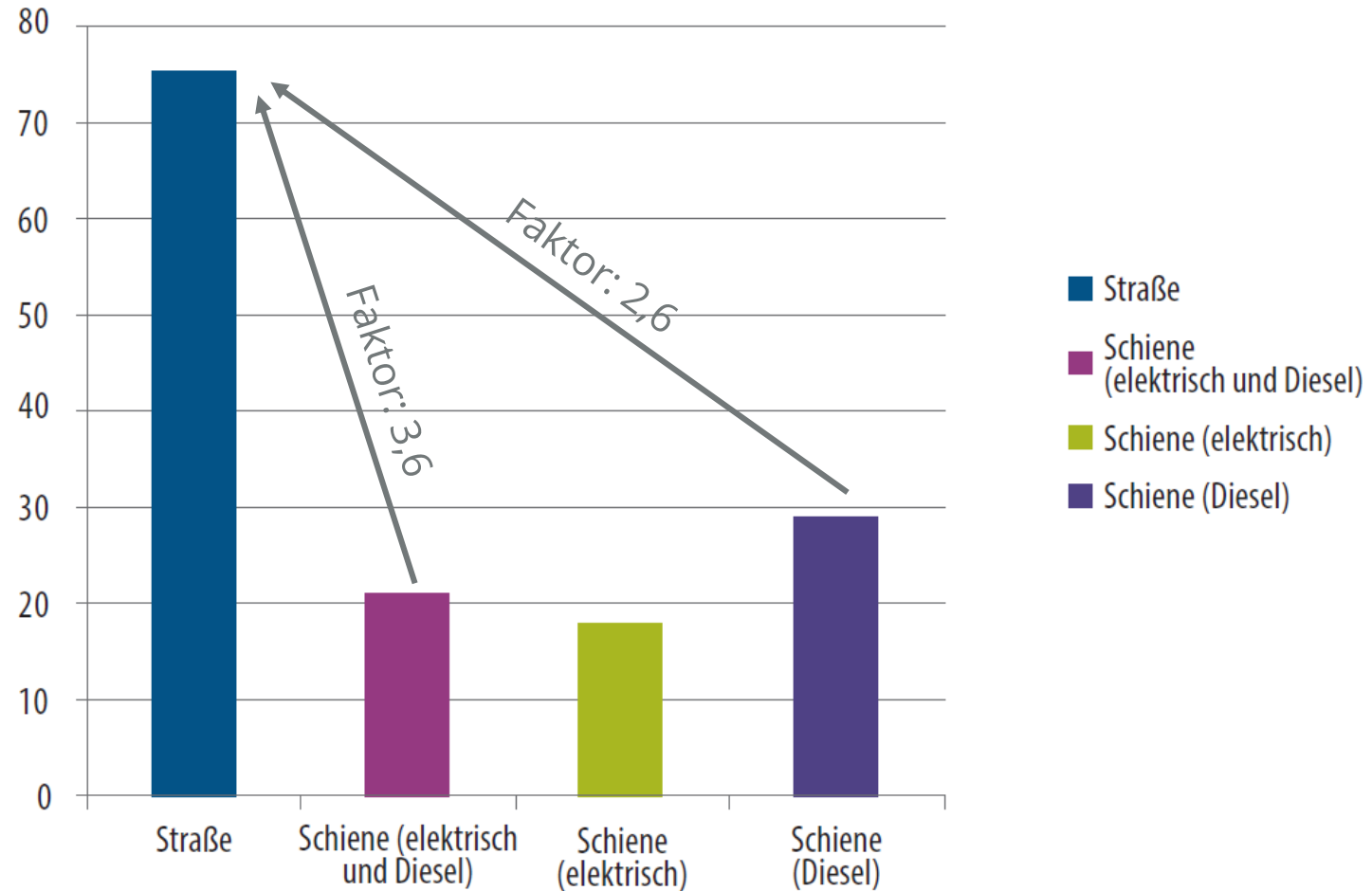
***fett gedruckt:**
auch mittelfristiger Einsatz

Dieselantriebstechnik im Schienenverkehr

Ist das nicht umweltschädlich?



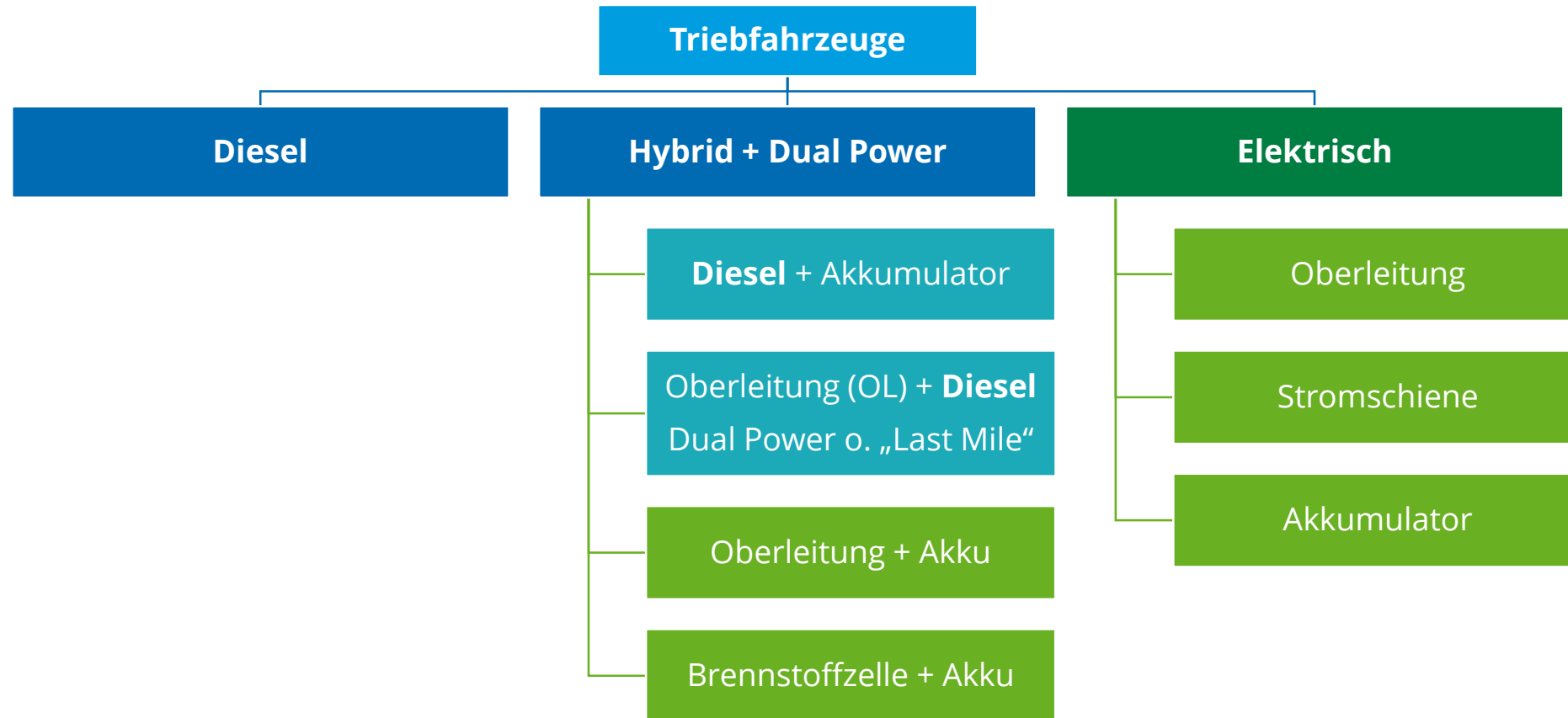
CO₂-Emissionen pro Tonnenkilometer in der EU im Jahr 2012



Dieselantriebstechnik im Schienenverkehr

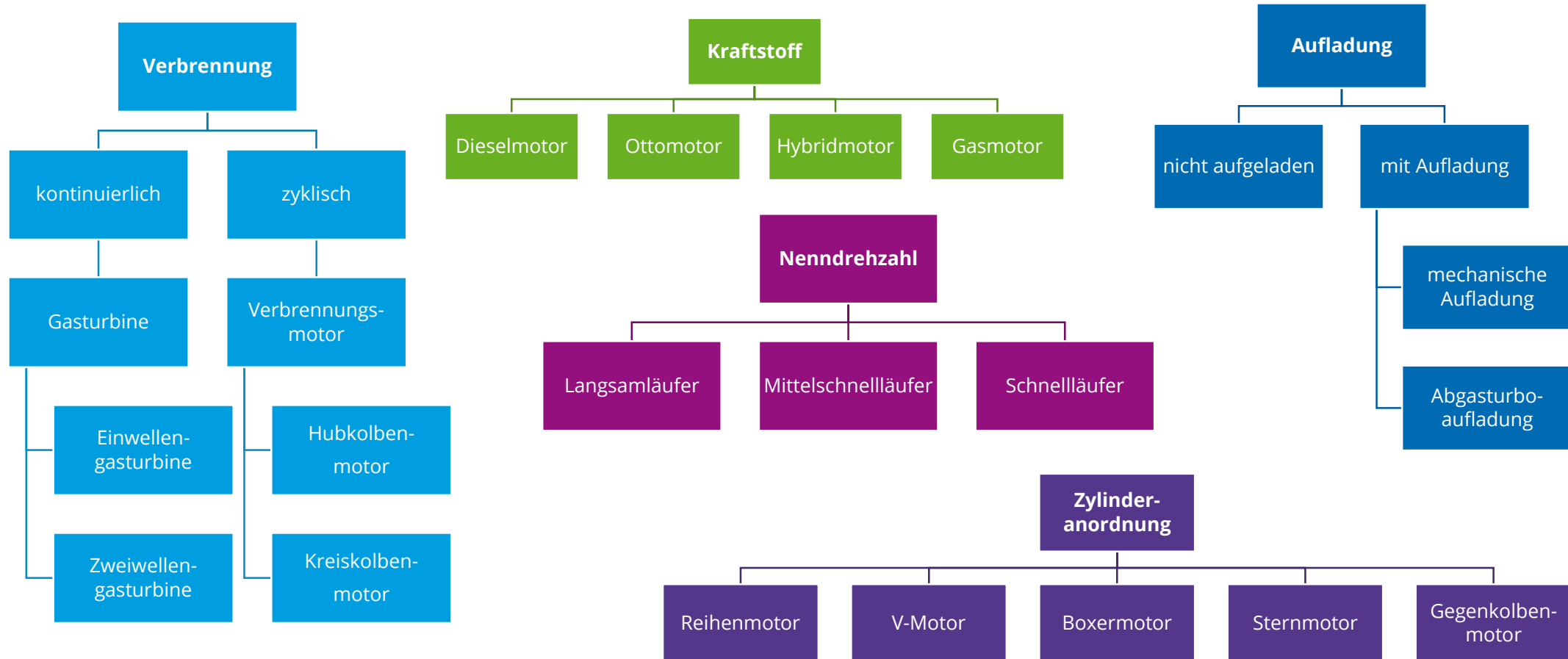
Wo steckt sie drin?

Einteilung von Triebfahrzeugen nach **Art der Primärenergieversorgung am Fahrzeug**



8.1 Einteilung von Verbrennungskraftmaschinen

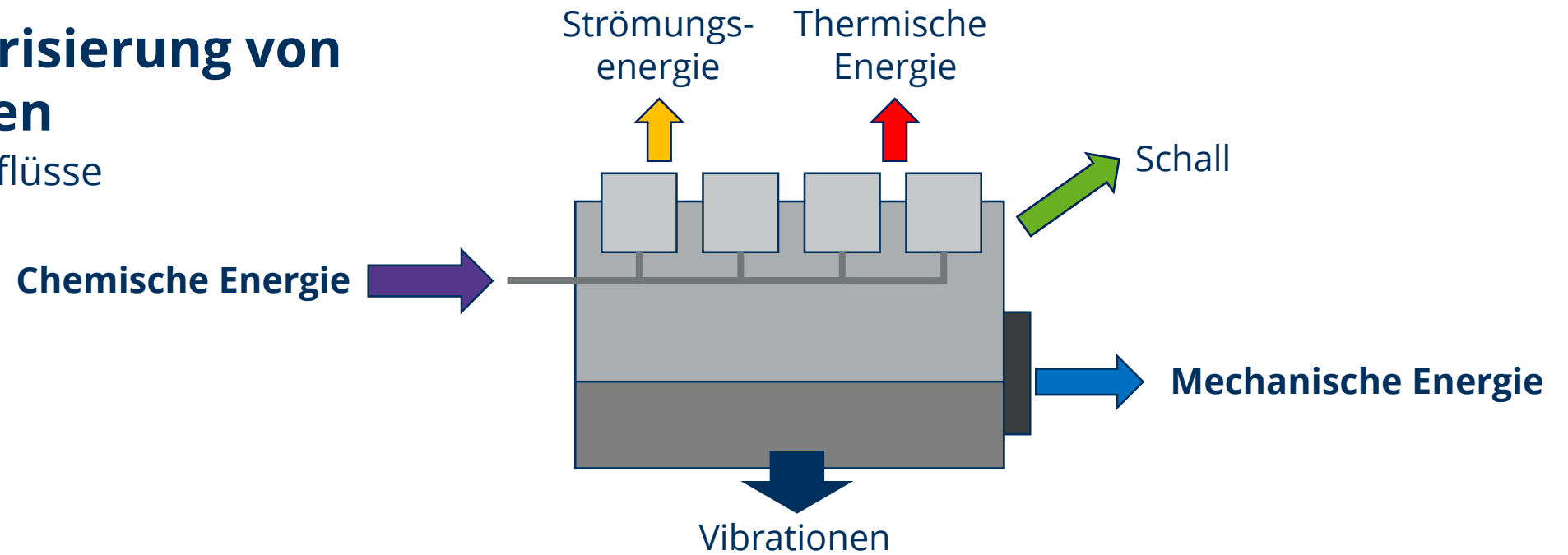
Unterscheidungsmerkmale von Verbrennungskraftmaschinen



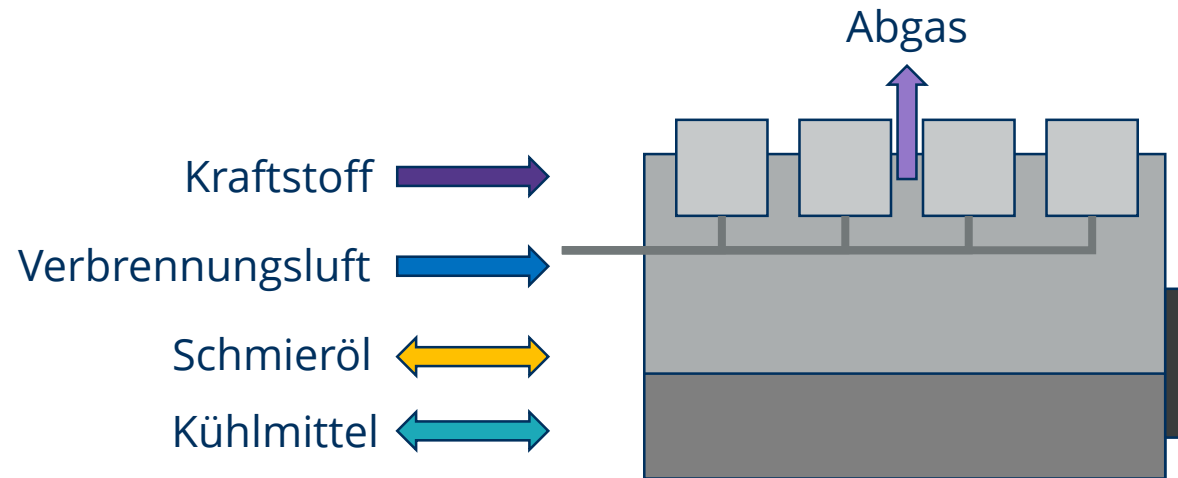
8.2 Charakterisierung von Dieselmotoren

Energie- und Stoffflüsse

ENERGIE



STOFF



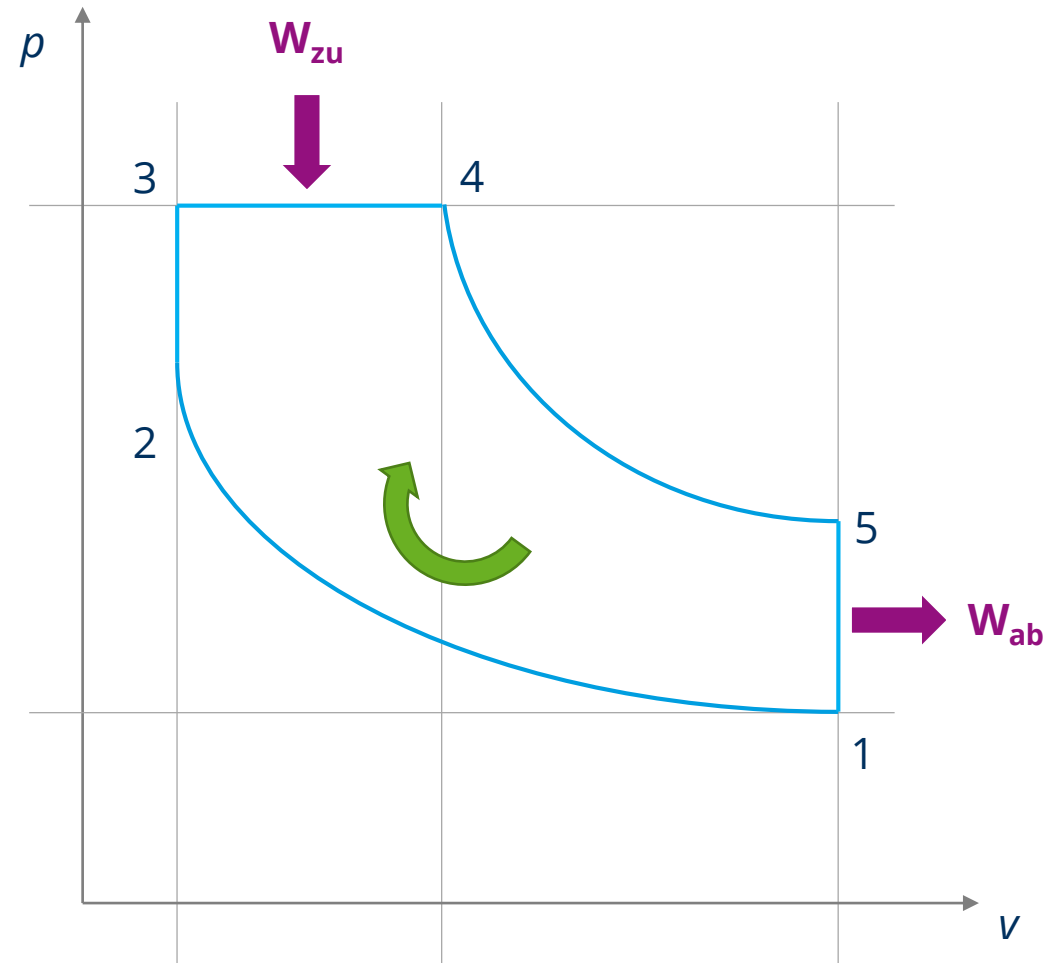


8.2 Charakterisierung von Dieselmotoren

Diesel-Kreisprozess

Diesekreisprozess (idealisiert)

- 1-2: Isentrope (Kompression)
- 2-3: Isochore
- 3-4: Isobare (Wärmezufuhr)
- 4-5: Isentrope (Expansion)
- 5-1: Isochore (Wärmeabfuhr)





8.2 Charakterisierung von Dieselmotoren

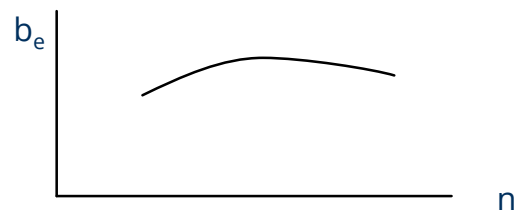
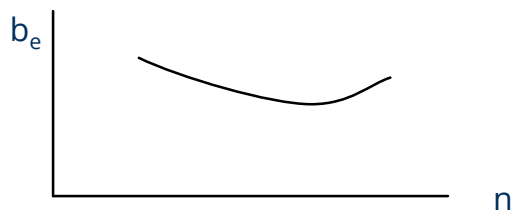
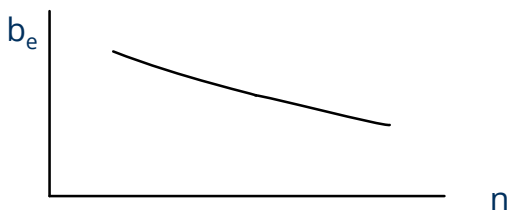
Vergleich mit anderen Verbrennungskraftmaschinen

	Ottomotor	Dieselmotor	Gasturbine
1) Prozessführung	<p>Gleichraumverbrennung</p> <p>p</p> <p>3</p> <p>2</p> <p>4</p> <p>1</p> <p>v</p>	<p>Gleichdruckverbrennung</p> <p>p</p> <p>2</p> <p>3</p> <p>4</p> <p>1</p> <p>v</p>	<p>beides möglich, aber für Fz-GT nur Gleichdruckverbrennung</p> <p>p</p> <p>2</p> <p>3</p> <p>4</p> <p>1</p> <p>v</p>
2) Drehmomentenverlauf	<p>M</p> <p>n</p>	<p>M</p> <p>n</p>	<p>M</p> <p>2-W-GT</p> <p>1-W-GT</p> <p>n</p>



8.2 Charakterisierung von Dieselmotoren

Vergleich mit anderen Verbrennungskraftmaschinen

	Ottomotor	Dieselmotor	Gasturbine
3) Wirk.-grad	28...32 %	38...42%	15...35 % (max. 38%)
4) Teillastverhalten			
5) Zündung	Zündkerze	Selbstzündung	
6) Kraftstoff	teuer und feuergefährlich	billiger, weniger feuergefährlich	Palette v. Flugbenzin bis Schweröl (50% DK)
7) Robustheit	begrenzt	hoch	begrenzt
8) Leistungen	Sfz bis 200...250 kW max.	Sfz bis etwa 4000 kW	Sfz bis etwa 8000 kW
9) Masse	2,5...5,5 kg/kW	4...7 kg/kW	0,4...1 kg/kW
10)Vorteile	Typenmotoren Kfz verwendbar	hohe Lebensdauer, hohe Wart.-intervalle, aufladbar	kurzz. Überlastbarkeit, keine oszill. Teile, Kühlwasser, schnell bereit
11)Nachteile	kl. Masse und Volumen, geringe Max.-Leistung, hoher Verbrauch	große Masse u. Volumen, Geräuschentwicklung	hohe Anschaffungskosten und Geräuschentwicklung, hoher Verbrauch im Teillastbereich

8.2 Charakterisierung von Dieselmotoren

Vergleich mit anderen Verbrennungskraftmaschinen

Zusammenfassung

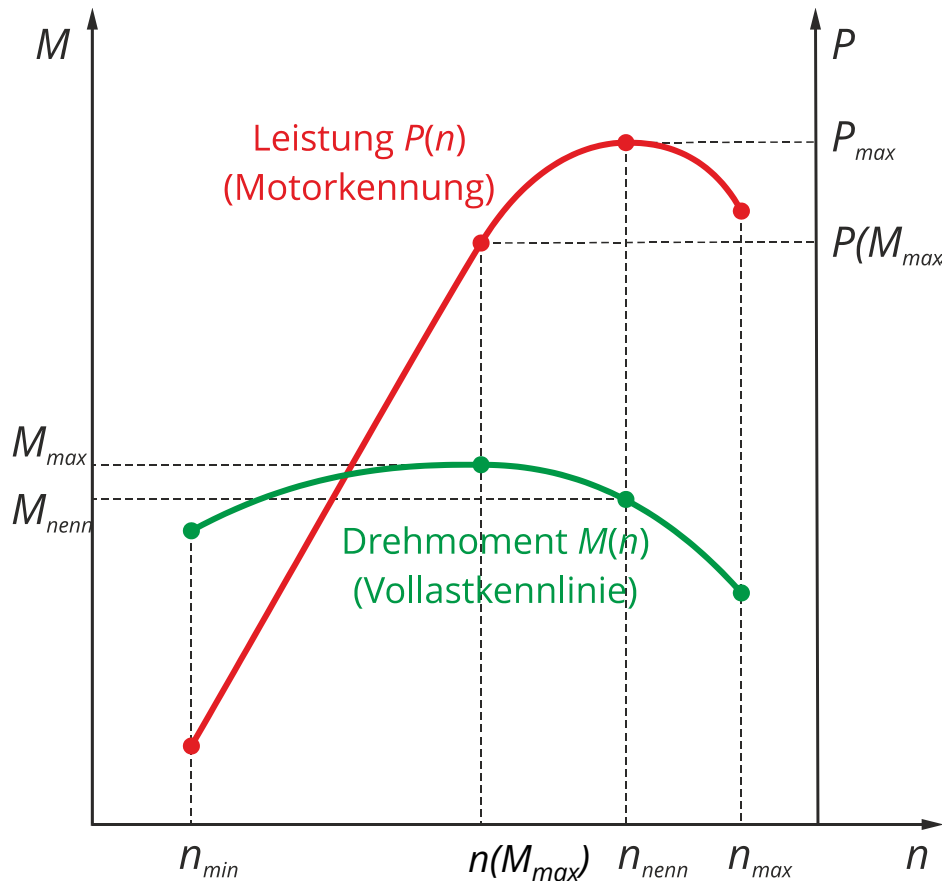
- DM mit Gleichdruckverbrennung günstiger als Ottomotor oder Gasturbine mit Gleichraumverbrennung
- Selbstzünder (2- od. 4-Takt, jeweils 1 Arbeitstakt!) – sehr robust und zuverlässig
- hohen Wirkungsgrad (38-42 %) , gutes Teilleistungsverhalten
- hohe Lebensdauer, lange Wartungsintervalle
- DK mit hohem Energieinhalt, handhabungssicher, verfügbar
- DM mit großem Volumen und großer Masse (3-6 kg/KW)

aber:

- aufgrund scharfer Abgasgesetzgebung nur mit aufwändigen Zusatzelementen (Partikelfilter, AGR, SCR mit Harnstoff....) und Aufladung einsetzbar

8.2 Charakterisierung von Dieselmotoren

Betriebsverhalten (Drehmoment- und Leistungscharakteristik)



M	Motor-Drehmoment
P	Motorleistung
n	Motordrehzahl
M_{max}	Maximales Motormoment
$M_{nenn} = M(P_{max})$	Motormoment bei maximaler Leistung = Nennmoment
$P_{max} = P_{nenn}$	Maximales Motorleistung = Nennleistung
$P(M_{max})$	Motorleistung bei maximalem

Leistung:

$$P = M \cdot 2\pi n$$

Drehzahlelastizität:

$$\varepsilon_n = \frac{n_{nenn}}{n(M_{max})}$$

Drehmomentelastizität:

$$\varepsilon_M = \frac{M_{max}}{M(n_{nenn})}$$

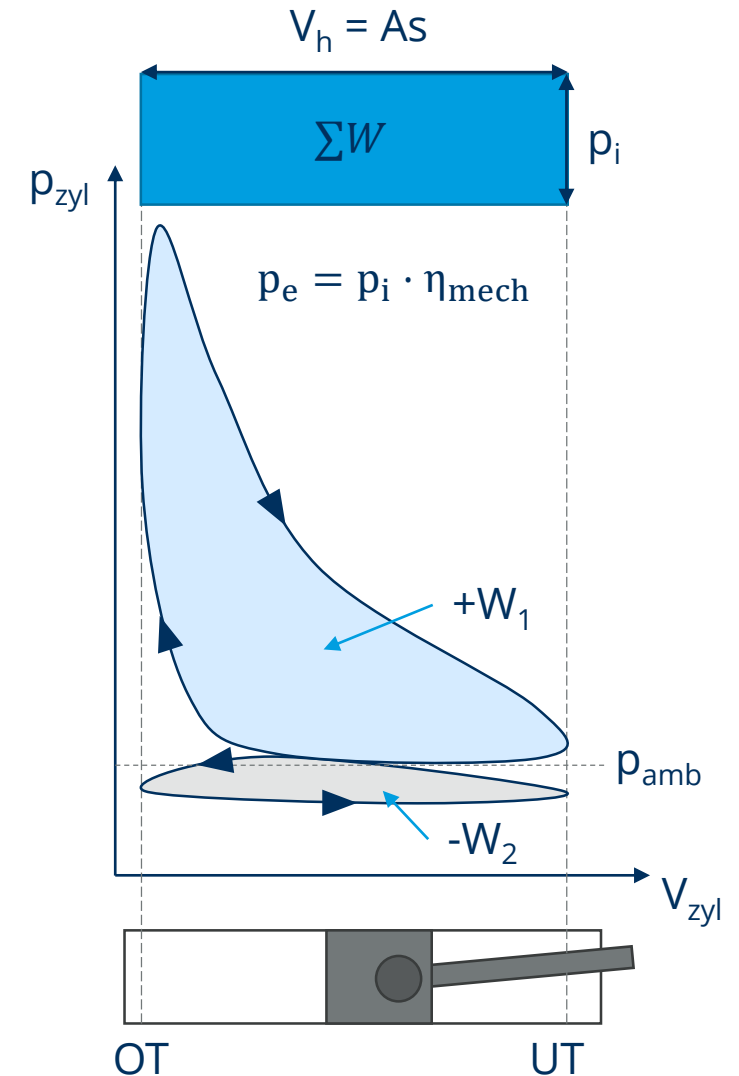
8.2 Charakterisierung von Dieselmotoren

Leistungsgleichung

— indizierte Leistung des DM:

$$P_i = \frac{p_e \cdot A \cdot s \cdot n \cdot z}{30 \cdot N} \quad \text{in kW}$$

- p_e ... effektiver Mitteldruck
- A ... Kolbenfläche
- s ... Kolbenhub
- n ... Drehzahl (1/min)
- z ... Zylinderzahl
- N ... Taktzahl



8.2 Charakterisierung von Dieselmotoren

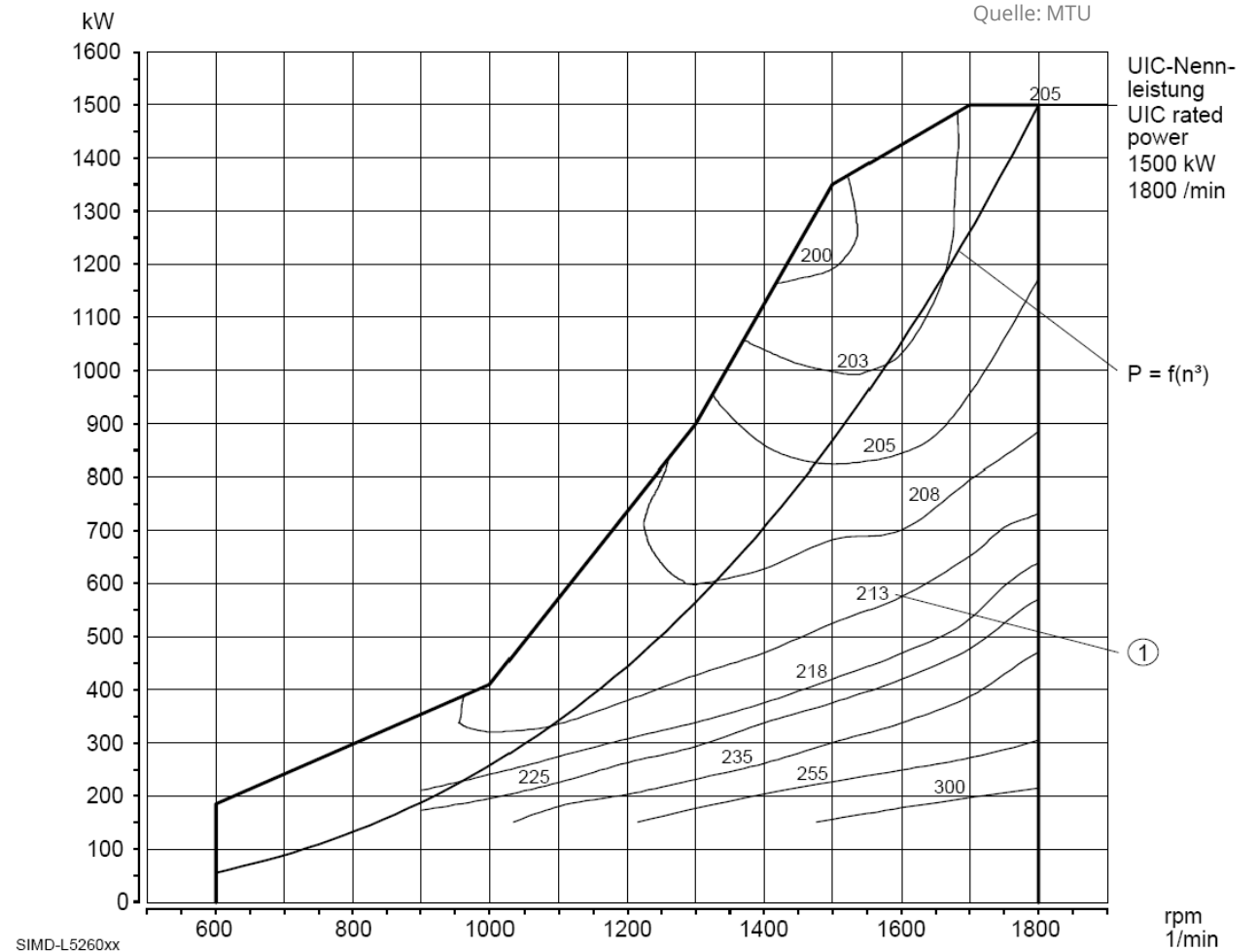
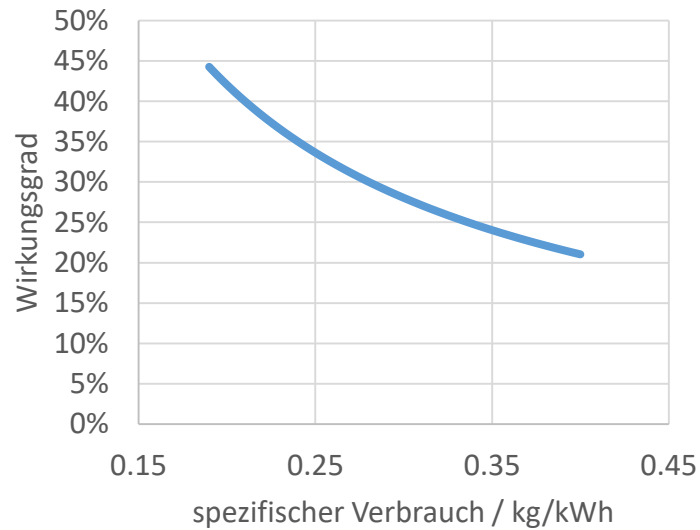
Betriebsverhalten (Kennfeld)

Zusammenhang von spezifischem Verbrauch und Dieselmotorwirkungsgrad:

$$\eta_{DM} = \frac{1}{b_e \cdot H_u} = \frac{1}{b_e \cdot 11,89 \text{ kWh/kg}}$$

spezifischer Verbrauch

unterer Heizwert des Dieselkraftstoffes

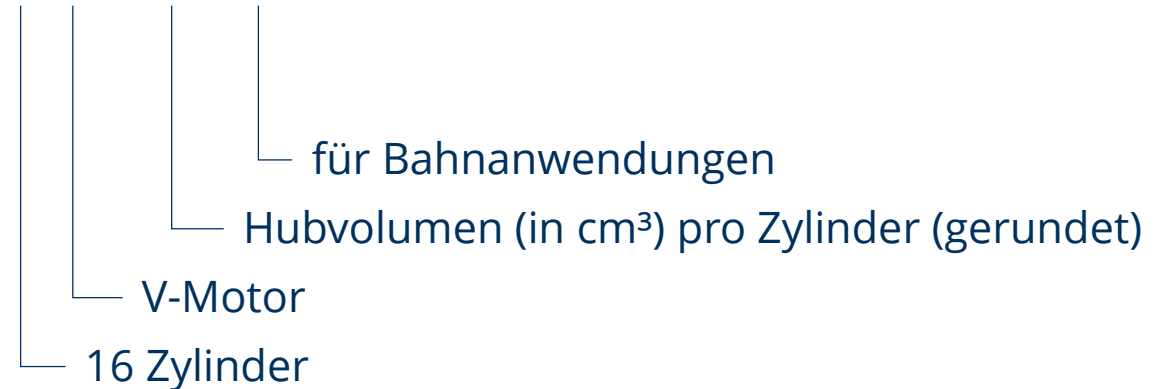


8.2 Charakterisierung von Dieselmotoren

Beispiel: Lokomotivmotor



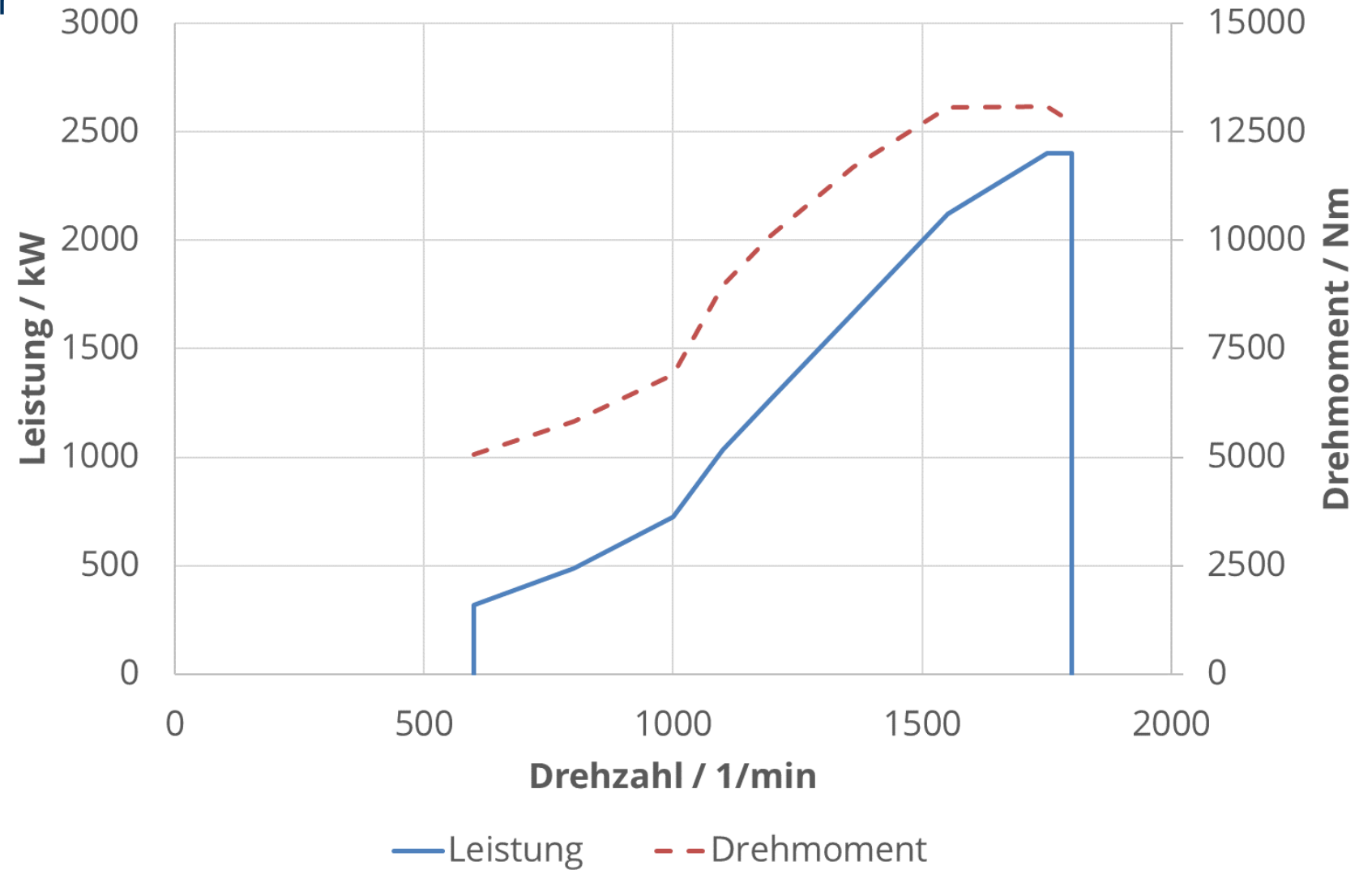
MTU 16 V 4000 R 41



Nennleistung:	2000 kW
Nenndrehzahl:	1800 1/min
effektiver Mitteldruck:	20,5 bar
Gesamthubvolumen:	65 L
spez. Kraftstoffbedarf bei Nennleistung:	195 g/kWh (Wirkungsgrad: 43,1%)
minimaler spezifischer Verbrauch:	194 g/kWh (Wirkungsgrad: 43,3%)

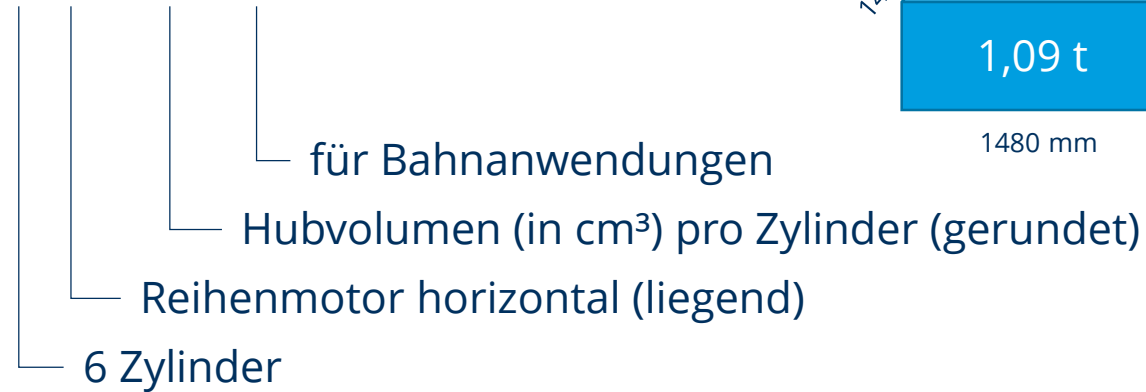
8.2 Charakterisierung von Dieselmotoren

Beispiel: Lokomotivmotor



8.2 Charakterisierung von Dieselmotoren

Beispiel: Triebwagenmotor **MTU 6 H 1800 R 85L**



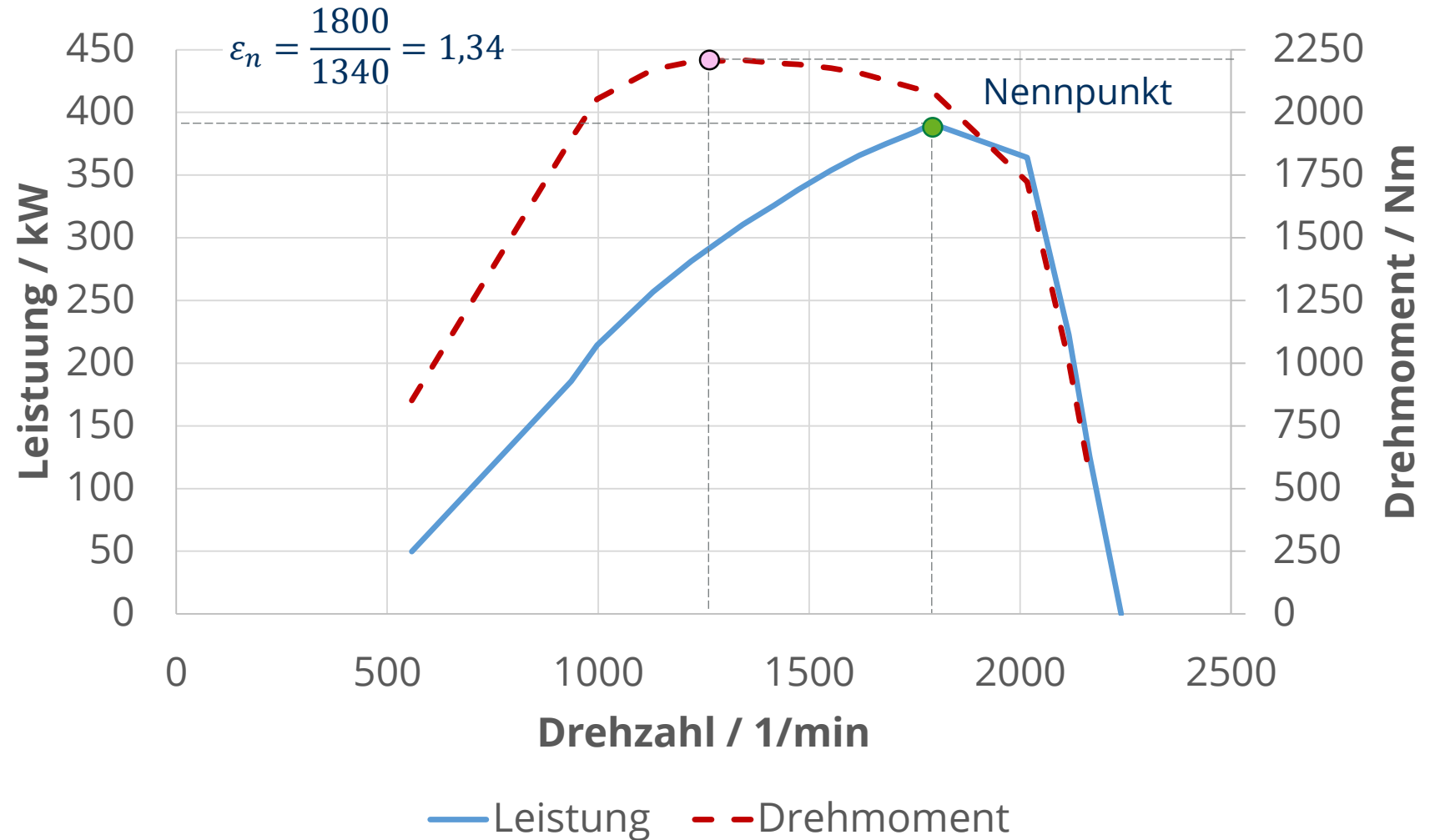
Nennleistung:	390 kW
Nenndrehzahl:	1800 1/min
effektiver Mitteldruck:	20,3 bar
Gesamthubvolumen:	12,81 L
spez. Kraftstoffbedarf bei Nennleistung:	208 g/kWh (Wirkungsgrad: 40,4 %)
minimaler spezifischer Verbrauch:	183 g/kWh (Wirkungsgrad: 46,0 %)
Kaltstartfähigkeit ohne/mit Starthilfe:	-20 °C / -40 °C (Umgebungstemperatur)
Summe abzuführender Wärmeleistungen:	324 kW

Dieselmotoren

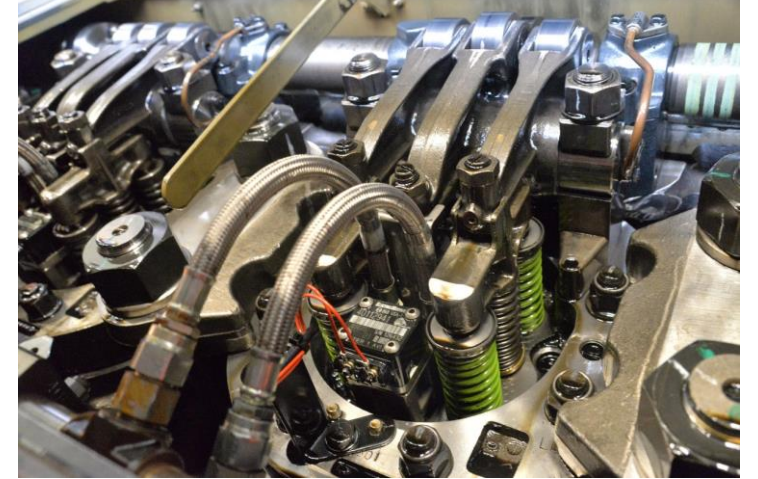
Praxisbeispiel Triebwagenmotor

Nennpunkt: $P_{\text{nenn}} = 390 \text{ kW} \Rightarrow M_{\text{nenn}} = 2069 \text{ Nm @ } 1800 \text{ 1/min}$

max Drehmoment: $M_{\text{max}} = 2210 \text{ Nm @ } 1340 \text{ 1/min}$



8.3 Aufbau und Funktionsweise des Dieselmotors



8.3 Aufbau und Funktionsweise des Dieselmotors

Brainstorming:

Welche Funktionen sind zu erfüllen, damit ein Dieselmotor arbeiten kann und welche Subsysteme sind dabei jeweils involviert?

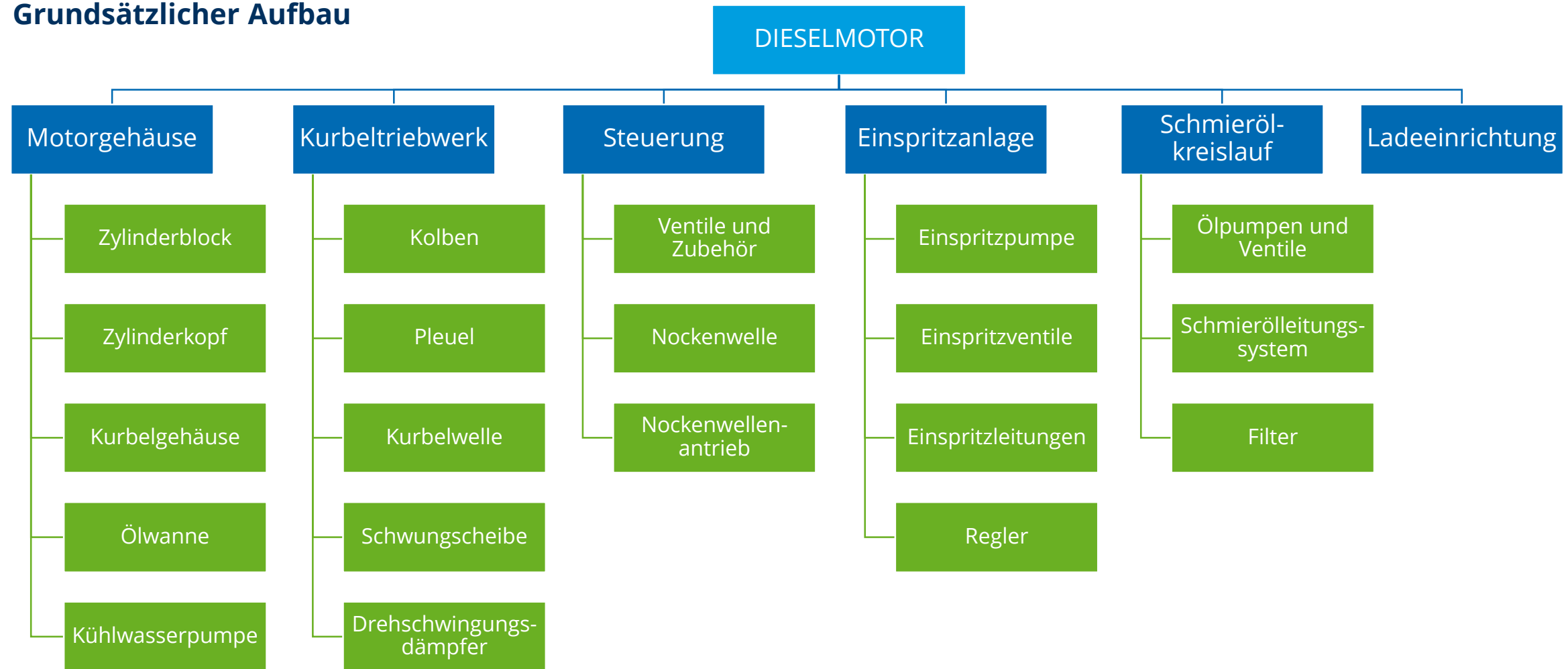
Funktion	Subsysteme
Energiewandlung	Brennkammer, Kolben, Pleuel
Aufnahme von Reaktionskräften und Drehmomenten	Motorblock
Umwandlung von Längs- und Drehbewegung	Kurbeltriebwerk
Dosierung von Kraftstoff und Luft	Steuerung (Zylinderkopf, Ein- und Auslassventile, Nockenwelle), Einspritzsystem
Förderung und Aufbereitung des Kraftstoffes	Kraftstoffanlage
Abgasbehandlung	Abgasanlage
Schmierung	Schmierölkreislauf
Kühlung	Kühlwasserumwälzpumpe
Vorwärmung	Vorwärmanlage
Verbrennungsluft aufbereiten und Zuführen	Ladeeinrichtung

Diskussionsvorschlag
ohne Anspruch auf
Vollständigkeit

8.3 Aufbau und Funktionsweise des Dieselmotors



Grundsätzlicher Aufbau



8.3 Aufbau und Funktionsweise des Dieselmotors

Grundsätzlicher Aufbau

- Beispiel MTU 8000 (Schiffsdiesel)

- 1) Motorgrundlager
- 2) elektronische Motorsteuerung
- 3) Schwinghebeldeckel
- 4) Luftfilter
- 5) Motorgrundlager
- 6) Seewasserpumpe
- 7) Verteilergehäuse Kühlwasser
- 8) Ölwanne
- 9) Ölpumpe
- 10) Geräteträger
- 11) Kurbelwelle
- 12) Kühlwasserpumpe
- 13) Anschlusskasten Aufladegruppe
- 14) Ölkühler
- 15) Ölzentrifuge
- 16) Schwingungsdämpfer Kurbelwelle
- 17) Anlasser-Zahnkranz
- 18) Kupplung
- 19) Anlasser
- 20) Ansaugchalldämpfer
- 21) Abgasturbolader (1)
- 22) Abgasturbolader (2)
- 23) Abgasturbolader (3)
- 24) Abgasturbolader (4)
- 25) Nockenwelle
- 26) Kurbeigehäuse
- 27) Automatik-Ölfiler
- 28) Trägergehäuse Turbolader
- 29) Power-Units
- 30) Zylinderkopfhaube

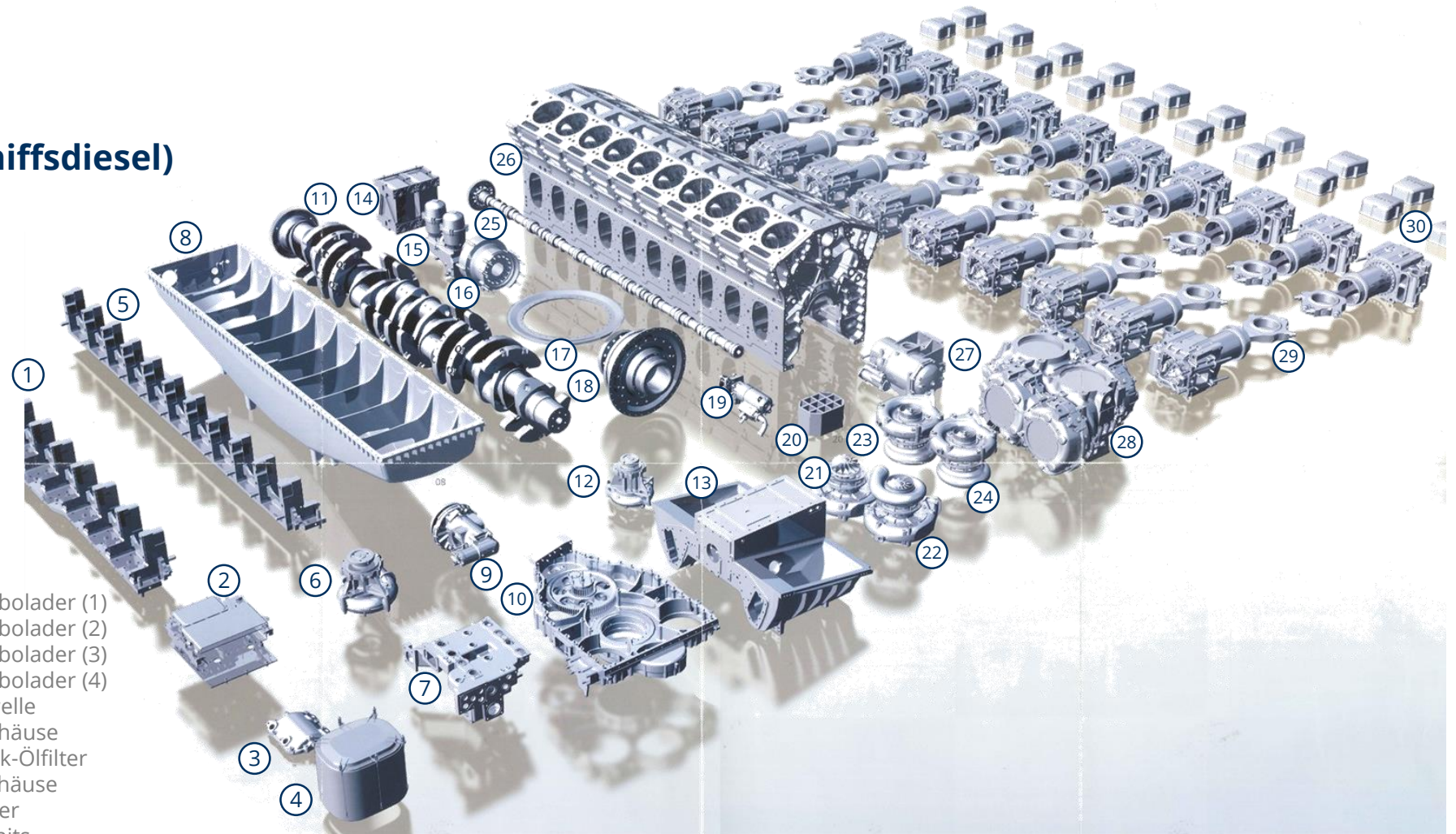
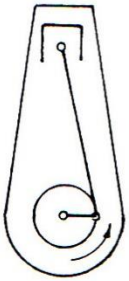
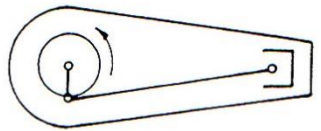


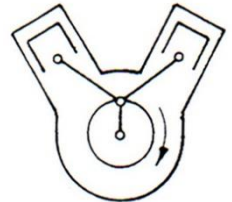

Abbildung: MTU

8.3 Aufbau und Funktionsweise des Dieselmotors

Zylinderanordnung

Bauform	Anwendungsbeispiele			
	Motortyp	Firma	Triebfahrzeug	Bahn
 <p>stehender Reihenmotor</p>	6 VD 18/15	SKL	312.1	DB AG
	RHS 518 A	MWM	333	DB AG
	6 S 310	CKD	ex. 107	DR
	8 M 282 AKB	Mak	291	DB AG
 <p>liegender Reihenmotor</p>	U 10	Büssing	798	DB AG
	6 KVD 18 HRW	SKL	772	DB AG
	D 3256 BTXU	MAN	628.0	DB AG
	S 1 DHR	SCL	X 2100	SNCF
	82.17.32	FIAT	Aln 668	FS

Quelle: Feihl/Die Diesellokomotive, transpress 2009

Bauform	Anwendungsbeispiele			
	Motortyp	Firma	Triebfahrzeug	Bahn
 <p>V - Reihenmotor</p>	OM 424 A	MB	628.1	DB AG
	12V 652 TB 11	MTU	212, 290	DB AG
	12 KVD 21-A	KAB	201, 228	DB AG
	16 V R43	MTU	ER 20, Vectron	diverse
	C 175	CAT	Class 68	DRS, UK
	GTO 6	MY	360, 361	DB AG
	6V 331 TC 12	MTU	DE 501	J
	12V 956 TB12	MTU	218	DB AG
	16 PA V200	SEMT		
	12 V 396 TC	MTU	BB 204	PJKA
	16-645 E 3B	EMD	MZ	DSB
	F 12 M 716	KHD	Z 66	SJ
	AGO 240			
	V 16 ESHR	SACM	CC 72 000	SNCF
 <p>Boxer - Reihenmotor</p>	D 3650 HM 3U	MAN	614	DB AG

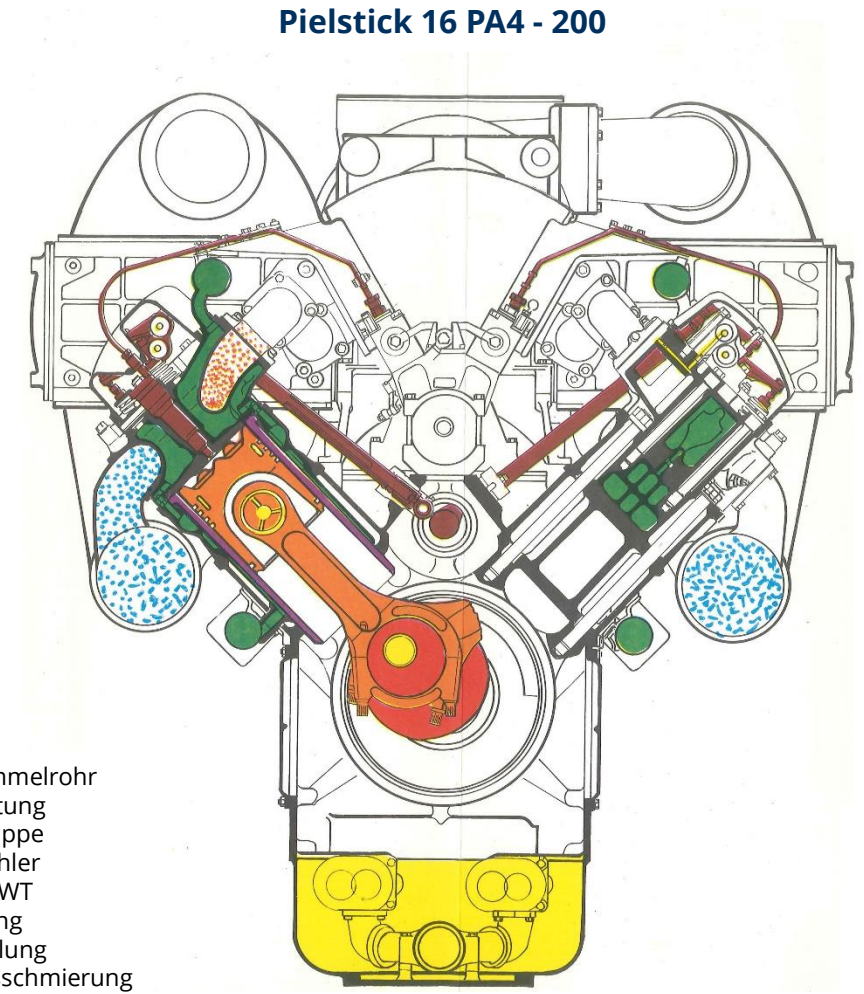
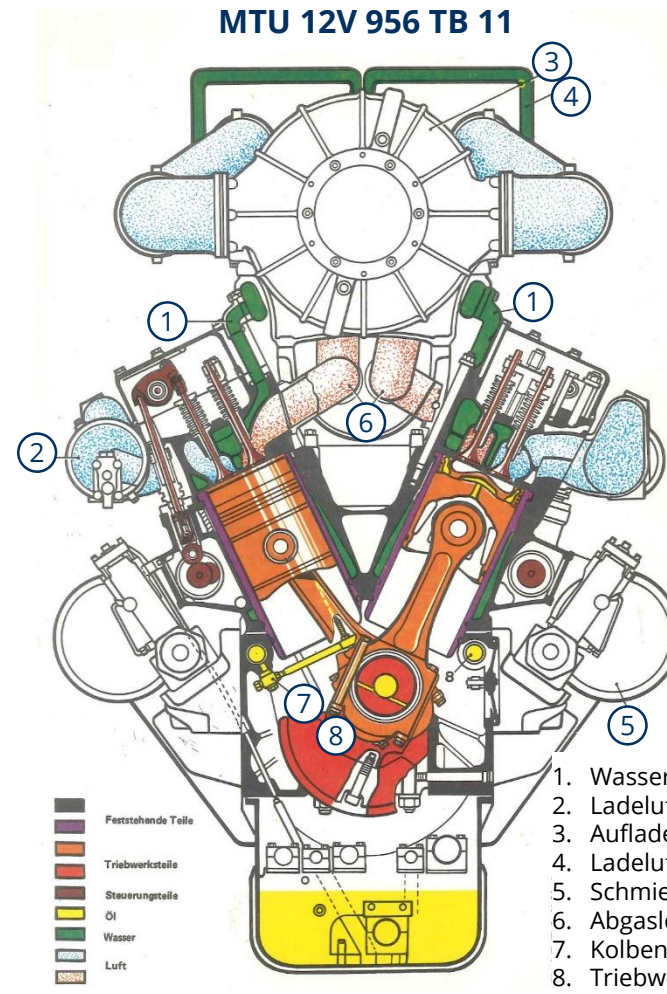
8.3 Aufbau und Funktionsweise des Dieselmotors

Querschnitt V-Motor

— Vergleich Motoren BR 218

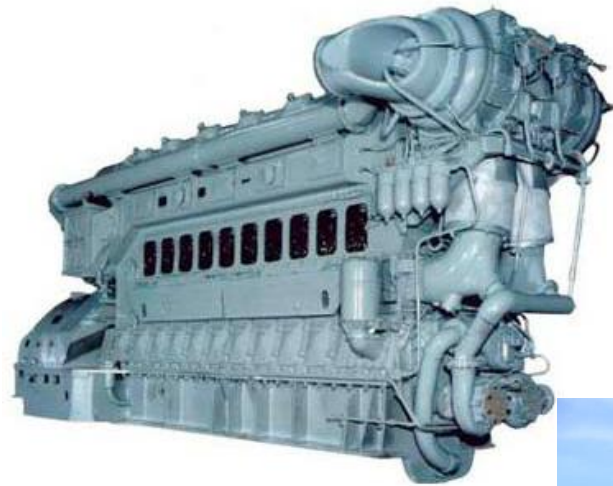


Foto: Wikipedia/Thomas Wolf



8.3 Aufbau und Funktionsweise des Dieselmotors

Außergewöhnliche Motorenkonzepte



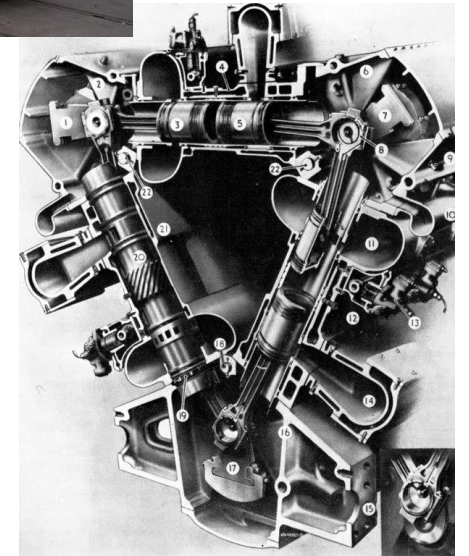
10 D 100:
Gegenkolbenmotor
mit 2 Kurbelwellen

2ТЭ10М (z.B. Kasachstan)



BR Class 55 („Deltic“)

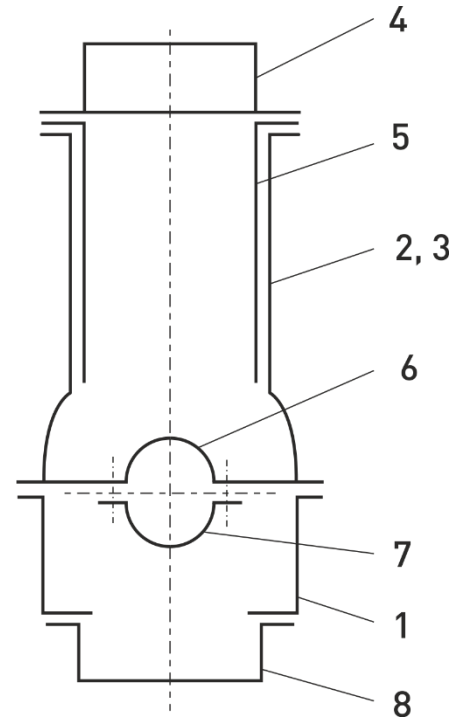
Sonderbauart
(historisch)



Napier-Deltic-Motor T18-37K

8.3 Aufbau und Funktionsweise des Dieselmotors

Motorgehäuse



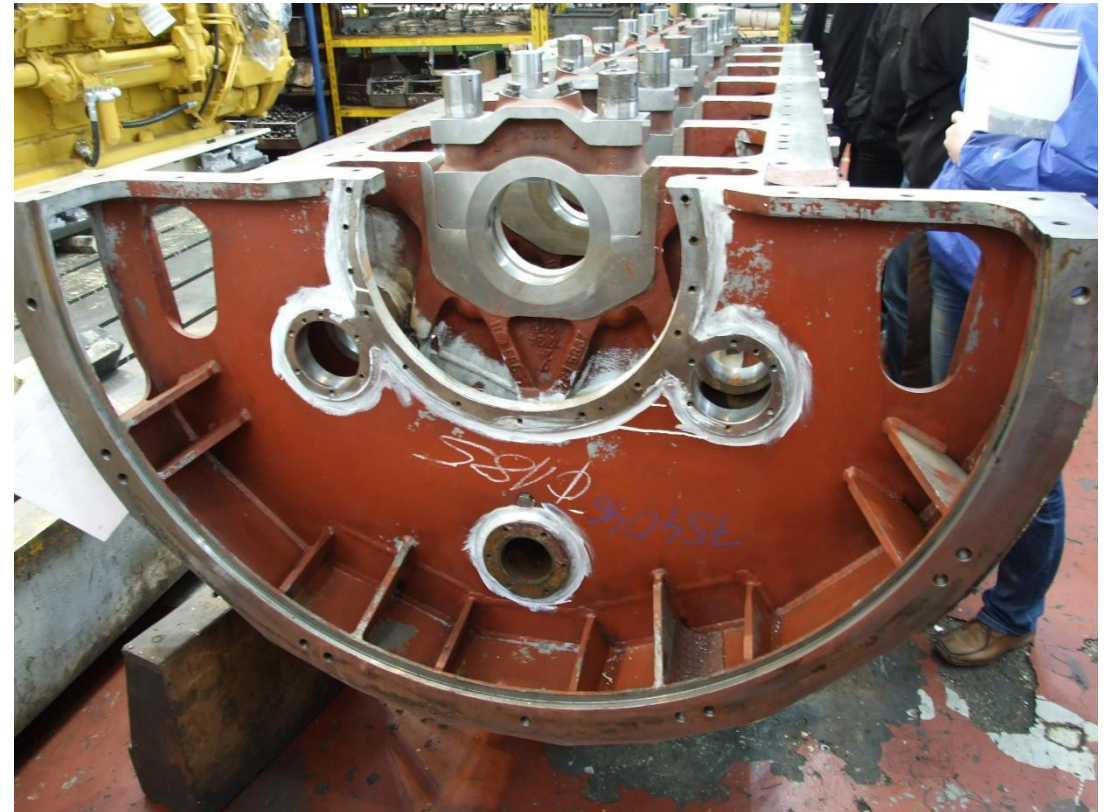
1. Rahmen oder Kurbelgehäuseunterteil
2. Kurbelgehäuseoberteil
3. Zylinderblock
4. Zylinderkopf
5. Zylinderlaufbuchse
6. Kurbelwellengrundlager
7. Kurbelwellenagerschale
8. Ölwanne



Motor K6 S 230 DR

8.3 Aufbau und Funktionsweise des Dieselmotors

Motorgehäuse - Kurbelgehäuse

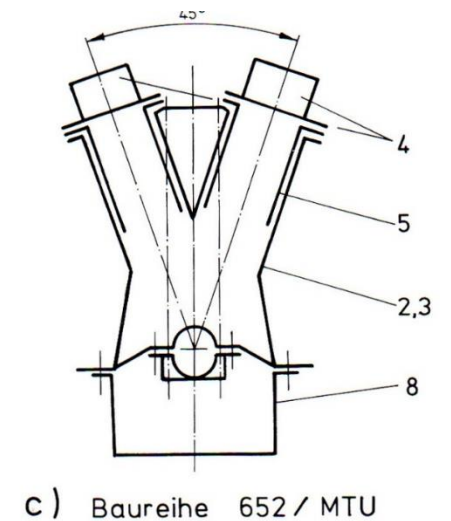
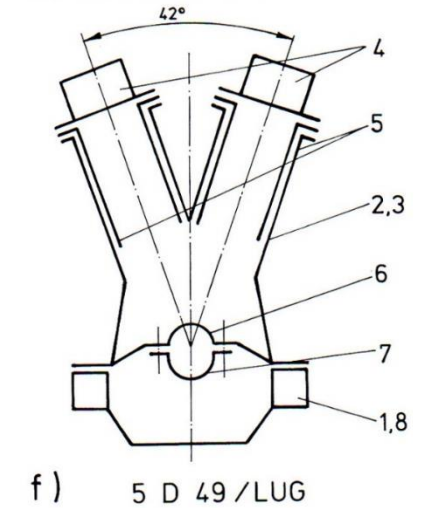
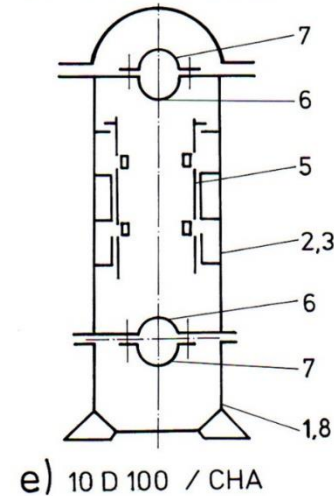
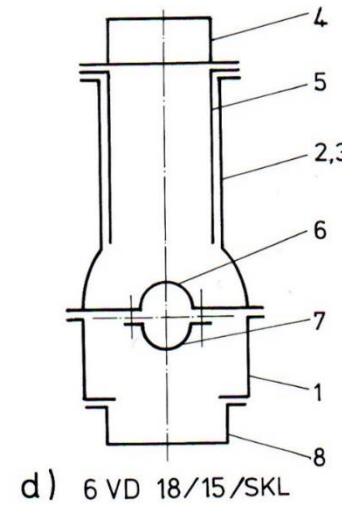
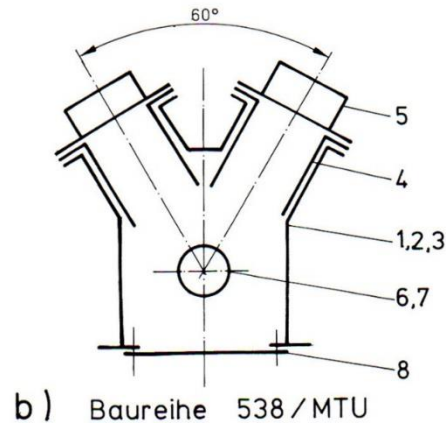
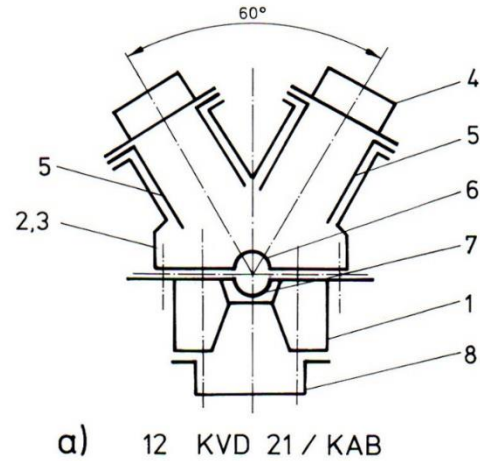


Fotos : Karim Benabdellah

8.3 Aufbau und Funktionsweise des Dieselmotors

Motorgehäuse

- 1) Rahmen oder Kurbelgehäuseunterteil
- 2) Kurbelgehäuseoberteil
- 3) Zylinderblock
- 4) Zylinderkopf
- 5) Zylinderlaufbuchse
- 6) Kurbelwellengrundlager
- 7) Kurbelwellenlagerschale
- 8) Ölwanne



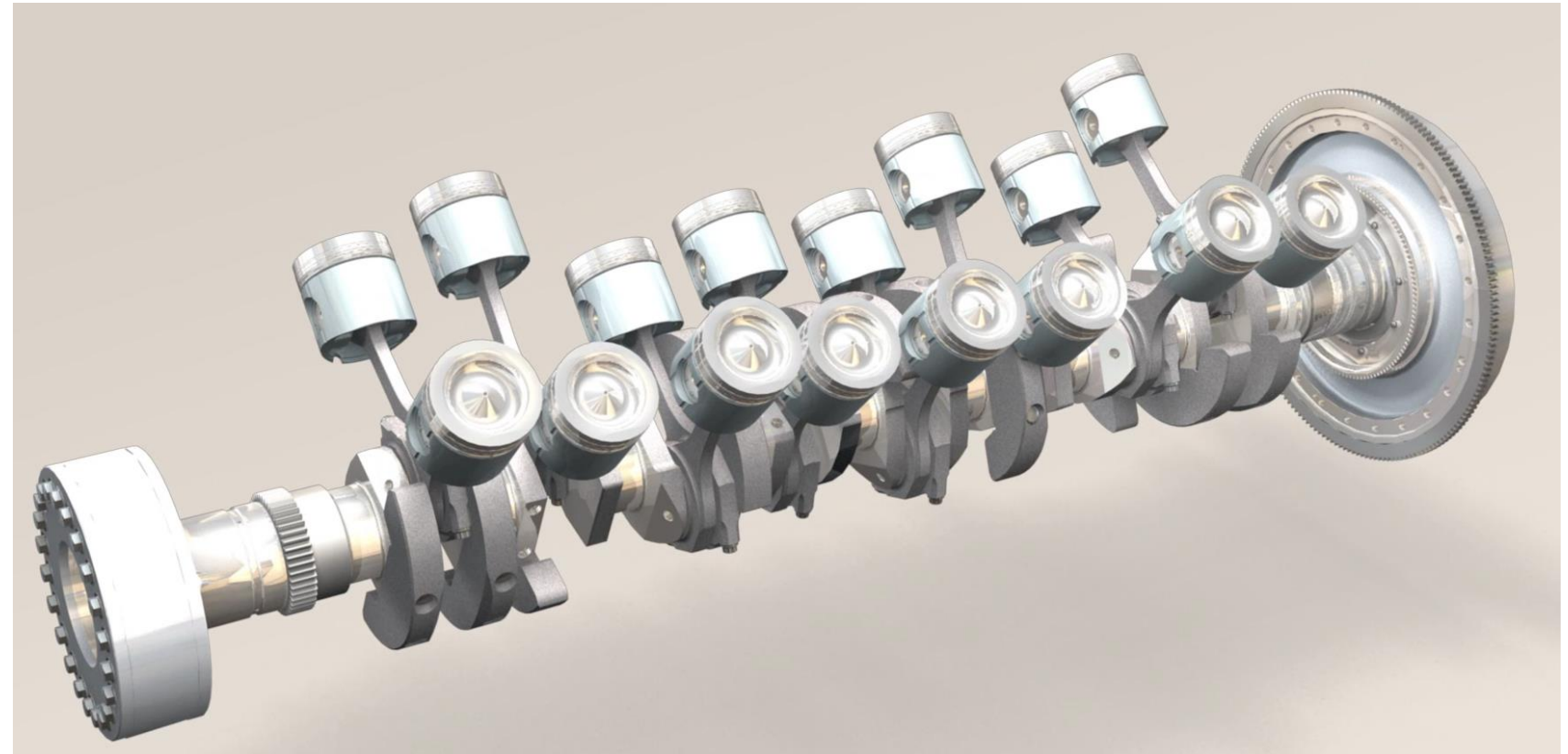
Quelle: Feihl/Die Diesellokomotive, transpress 2009

150

8.3 Aufbau und Funktionsweise des Dieselmotors

Kurbeltriebwerk

- Kolben
- Pleuel
- Kurbelwelle
- Schwungscheibe
- Drehschwingungs-dämpfer

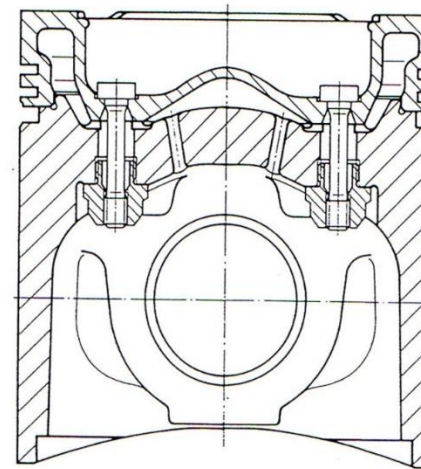


Quelle: MTU

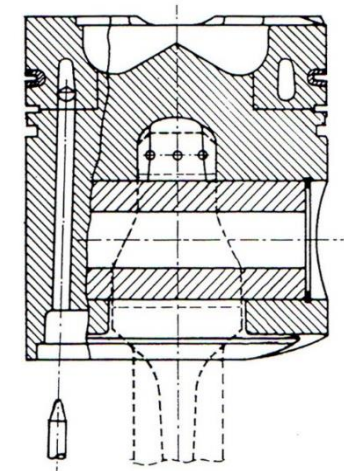
8.3 Aufbau und Funktionsweise des Dieselmotors

Kurbeltriebwerk – Kolben

- Kolben sind die am meisten beanspruchten Bauteile
→ Herz des Motors
- Anforderungen:
 - a) geringe Masse
 - b) geringe Wärmedehnung
 - c) gute Wärmeleitfähigkeit
 - d) große Wärmehärte
 - e) hoher Verschleißwiderstand
 - f) gut dichtende Kolbenringe
- meist einteilige Leichtmetallkolben oder mehrteilige „gebauter“ Kolben (Boden aus hochleg. Stahl, Schaft aus Alu)



gebauter MAHLE-Kolben,
verschraubt (MTU Motor-BR 396-03)

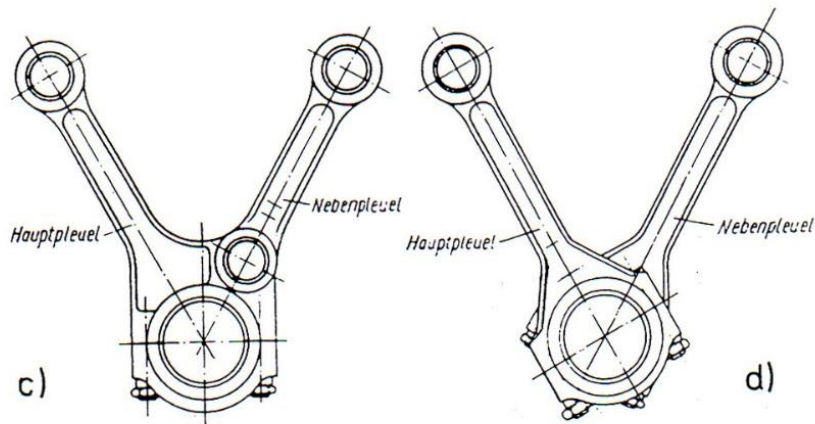


gebauter MAHLE-Kolben,
elektronenstrahlgeschweißt
(MWM Motor-BR 604 B)

8.3 Aufbau und Funktionsweise des Dieselmotors

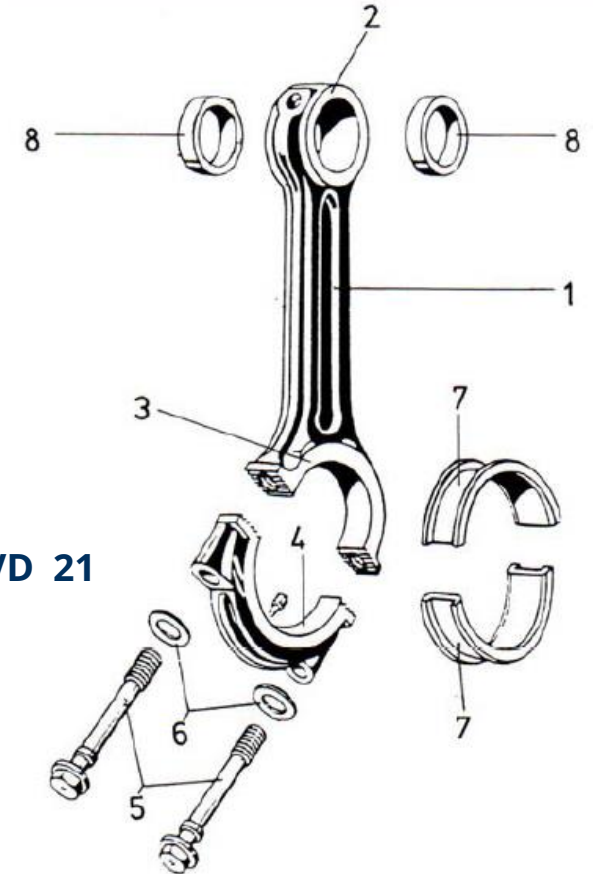
Kurbeltriebwerk – Pleuel

- Verbindungsglied zw. Kolben und Kurbelwelle
- werden durch Wechselbeanspruchungen hoch belastet
- Bei V-Motoren 3 Arten der Lagerung der beiden Pleuelstangen:
 - Gabelstangen
 - Hauptpleuel und Anlenkpleuel (c)
 - zwei normale Pleuelstangen nebeneinander auf einem Zapfen (d),



Pleuel Dieselmotor 12 KVD 21

1. Pleuelschaft
2. Pleuelkopf
3. Pleelfuß, schräg geteilt
4. Pleueldeckel
5. Dehnschrauben
6. Scheiben
7. Lagerschale, geteilt
8. Buchse Kolbenbolzen, geteilt



8.3 Aufbau und Funktionsweise des Dieselmotors

Kurbeltriebwerk – Pleuel



Foto: Wikipedia/A. Gutwein

Anlenkpleuel des Dieselmotors Kolomna 5D49 V16

8.3 Aufbau und Funktionsweise des Dieselmotors

Kurbeltriebwerk – „Powerpack/Power Assembly“

- von EMD geprägte Bauweise
- Einheit von Zylinderlaufbuchse, Kolben + Dichtringe, Pleuel, Zylinderkopf
- Motor-Überholung ohne Ausbau des Motors möglich



Foto : Martin Kache



Foto: © E. M. Bell



Abbildung: © EMD

8.3 Aufbau und Funktionsweise des Dieselmotors

Kurbeltriebwerk – Kurbelwelle

- Umsetzung der oszillierenden Bewegung v. Kolben und Pleuel in eine rotatorische
- aus einem Stück gegossen, geschmiedet od. aus Einzelteilen zusammengeschraubt
- hochbelastetes Bauteil → wechselnden Biege- und Torsionsbeanspr. und Schwingungen ausgesetzt



Foto : Martin Kache

8.3 Aufbau und Funktionsweise des Dieselmotors

Steuerung

- Alle Bauteile und Organe, die zum Ladungswechsel der Zylinder dienen
- 4-Takter: Ventilsteuerung (a),
- 2-Takter: Zweitakter mit Schlitzsteuerung (b) o. komb. Ventil-Schlitz-Steuerung

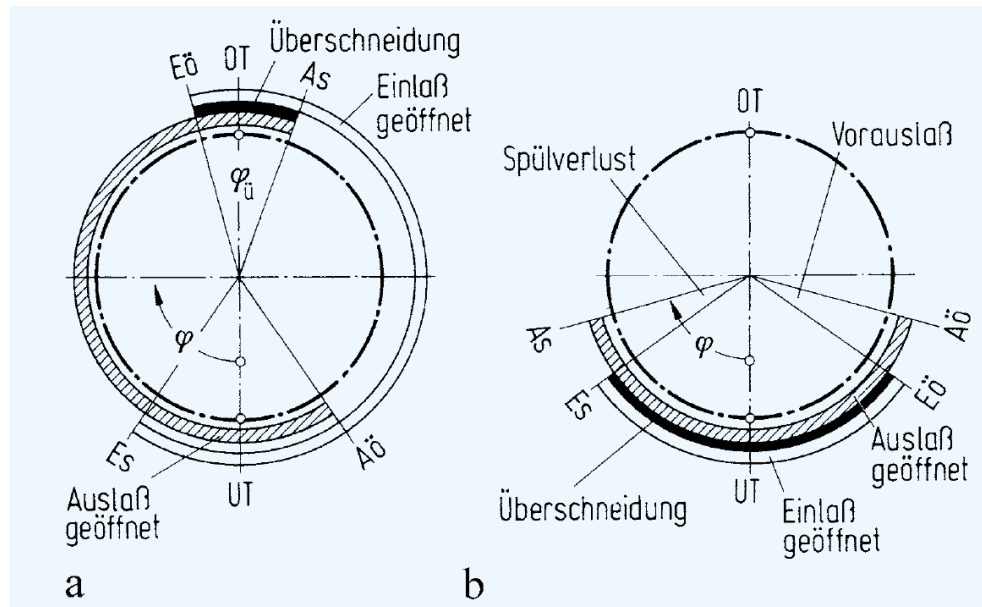
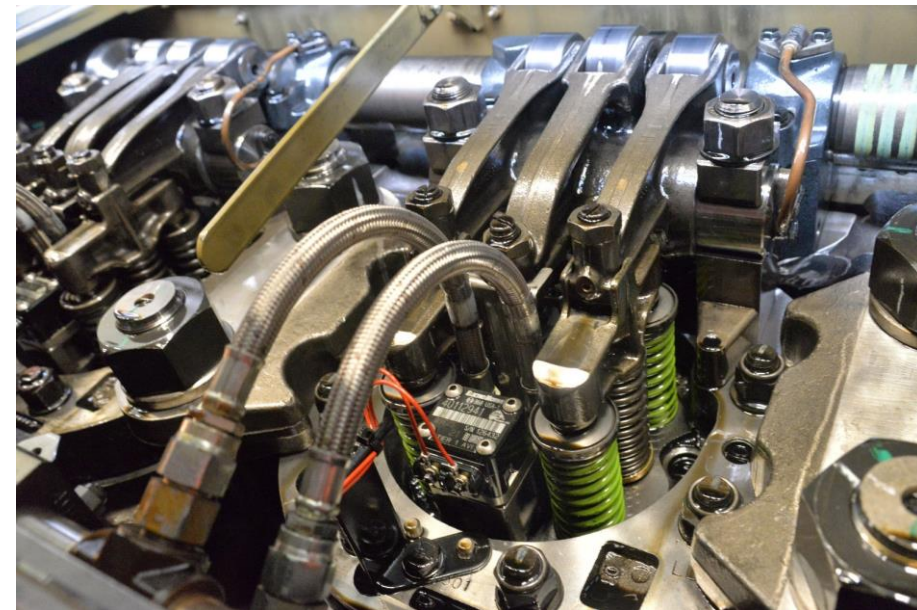


Abbildung: Dubbel



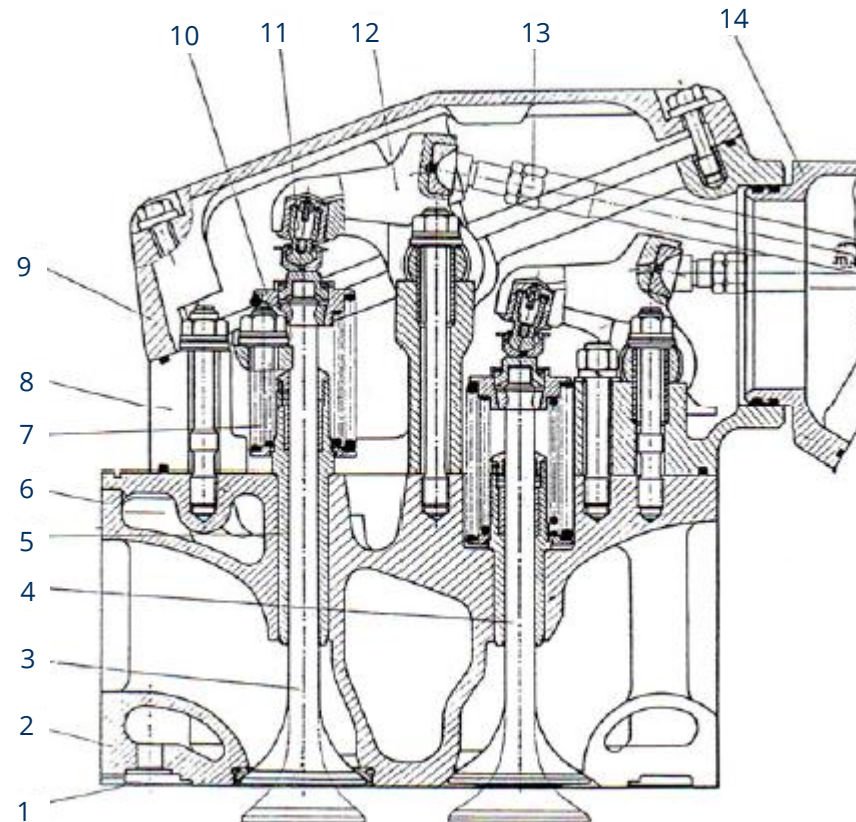
8.3 Aufbau und Funktionsweise des Dieselmotors

Steuerung

Ventile und
Zubehör

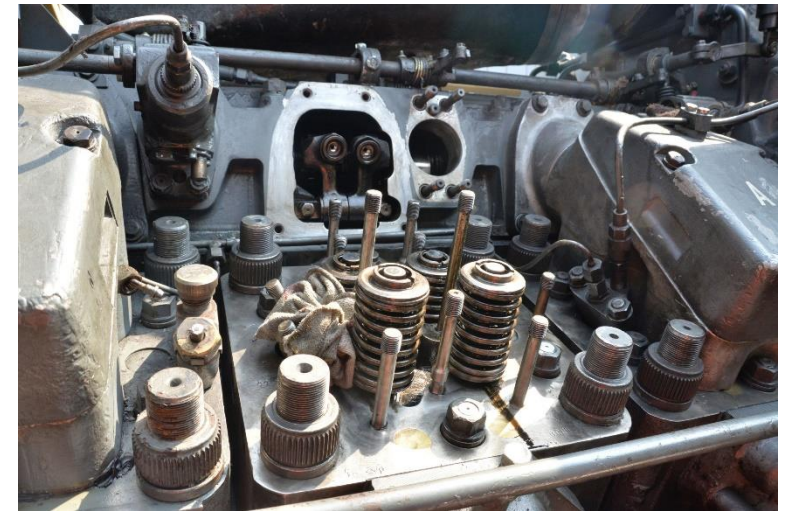
Nockenwelle

Nockenwellen-
antrieb



- 1) Kühlwassereintritt
- 2) Zylinderkopfgehäuse
- 3) Auslassventil
- 4) Einlassventil
- 5) Ventulführungsbuchse
- 6) Kühlwasseraustritt
- 7) Ventulfedern
- 8) Ventilgehäuse
- 9) Zylinderkopfhaube
- 10) Oberer Ventulfederteller
- 11) Hydraulischer Stößel
- 12) Kipphebel
- 13) Stößelstange
- 14) Übergangsgehäuse zur Nockenwelle

**Schnitt Zylinderkopf
Motor Kolomna 5D49 V16**

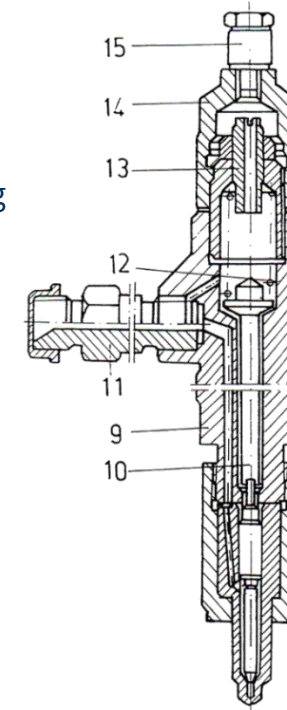


8.3 Aufbau und Funktionsweise des Dieselmotors

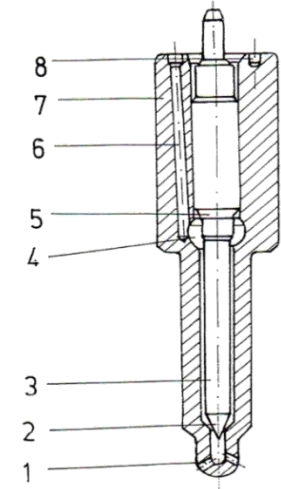
Einspritzanlage



- 1) Mehrlochdüsenbohrung
- 2) Nadelsitz
- 3) Düsennadel
- 4) Ringkanal
- 5) Tragschulter
- 6) Kraftstoffzulaufkanal
- 7) Düsenkörper
- 8) Ringkanal
- 9) Düsenhalter
- 10) Stößel
- 11) Druckstutzen
- 12) Stößelfeder
- 13) Einstellschraube
- 14) Verschlusskappe
- 15) Leckkraftstoffanschluss



Einspritzventil



Einspritzdüse

8.3 Aufbau und Funktionsweise des Dieselmotors

Einspritzanlage

Common-Rail-Verfahren (CR)

Hochdruckpumpe

Injektoren

Hochdruckspeicher (Rail)

elektronische Motorsteuerung

- ① Hochdruckpumpe
- ② Hochdruckleitung
- ③ Railsystem
- ④ Injektoren
- ⑤ ECU

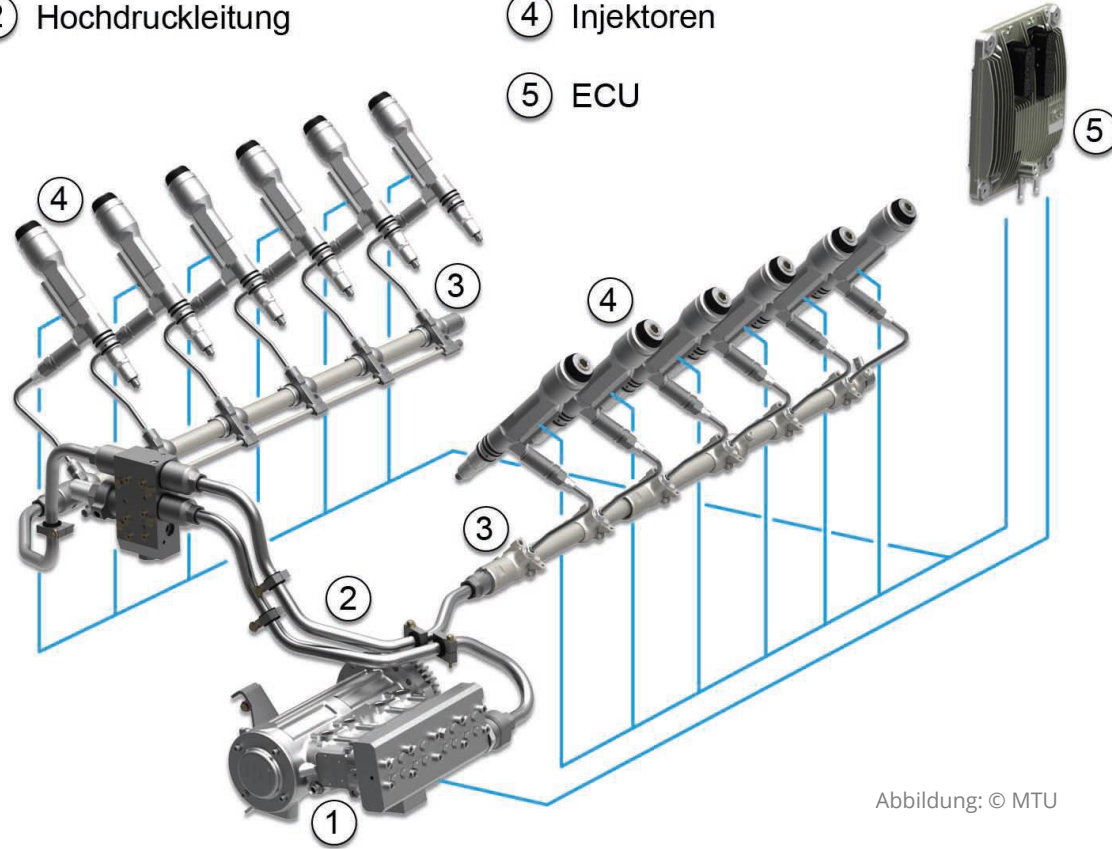
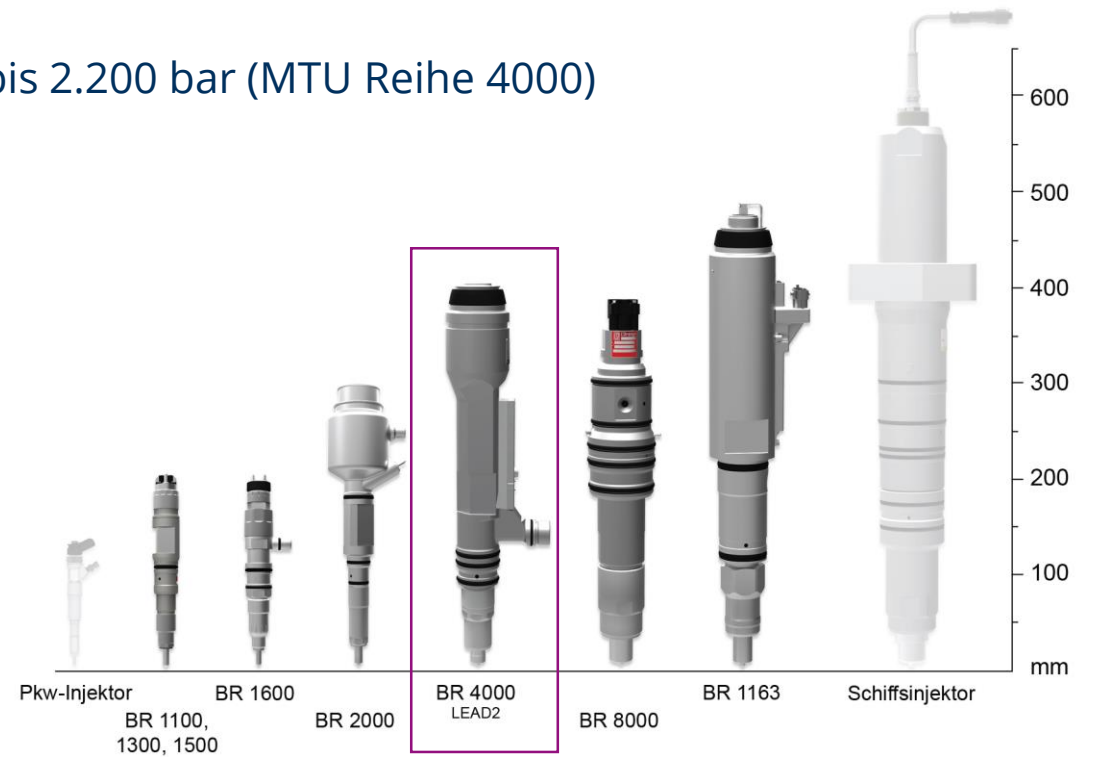


Abbildung: © MTU

8.3 Aufbau und Funktionsweise des Dieselmotors

Einspritzanlage - Injektion

- Einspritzverlauf legt fest, zu welcher Zeit wie viel Kraftstoff in den Zylinder eingespritzt wird
- beispielhaft: 3-teiliger Einspritzverlauf (Vor-, Haupt-, Nacheinspritzung)
- Besonderheit CR-Injektoren für Tfz: Einspritzdruck bis 2.200 bar (MTU Reihe 4000)



Injektor für Lok-Motoren

Abbildungen: © MTU

8.3 Aufbau und Funktionsweise des Dieselmotors

Schmierölkreislauf

- Ziele: Verschleiß gering halten → höhere Lebensdauer
- größte Bedeutung für die Kolben und die Zylinderlaufbuchsen, insbes. beim Anlassvorgang
- Schmierung hat drei Aufgaben zu erfüllen:
 - Schmieren
 - Kühlen
 - Dichten

Ölpumpen und Ventile

Schmierölleitungssystem

Filter

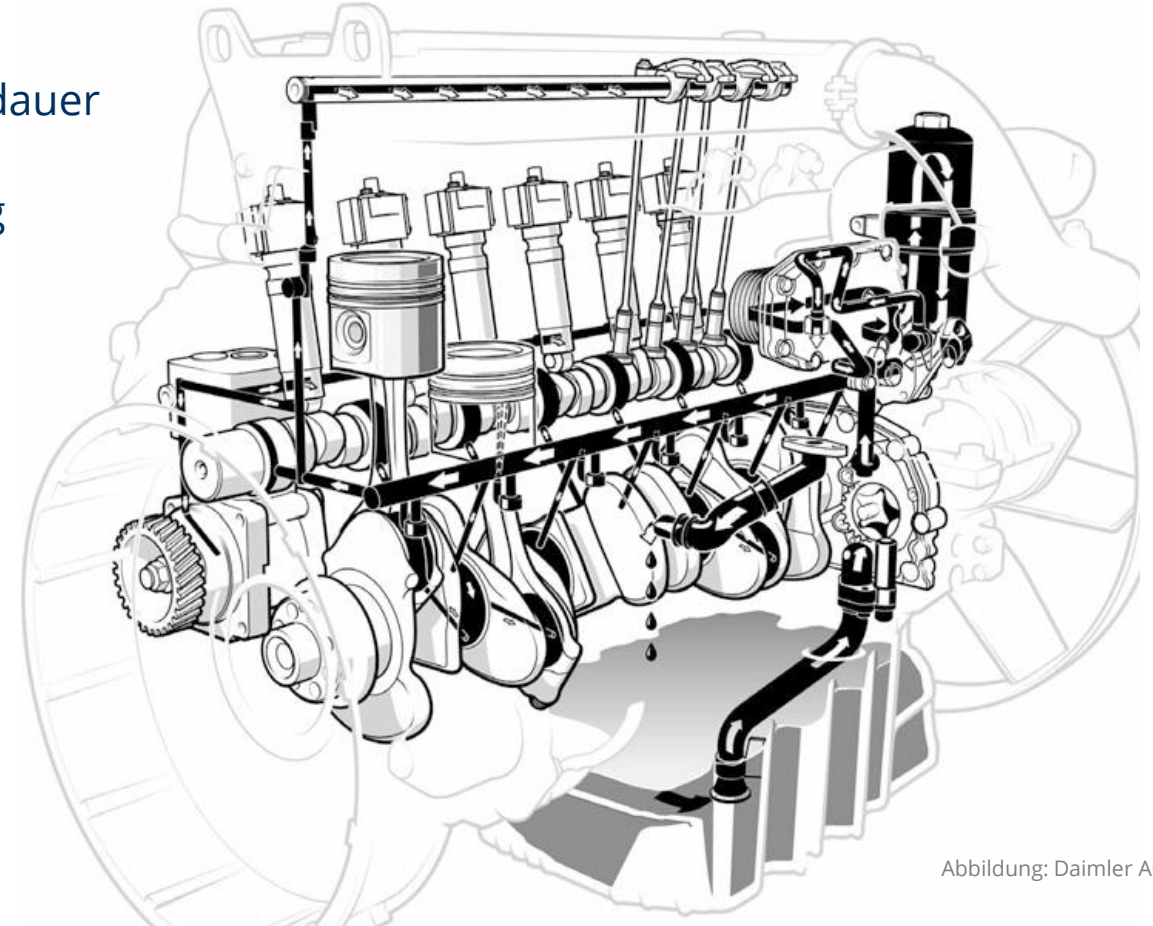


Abbildung: Daimler AG

Schmierstoffschema Kfz-Motor OM 603 LA

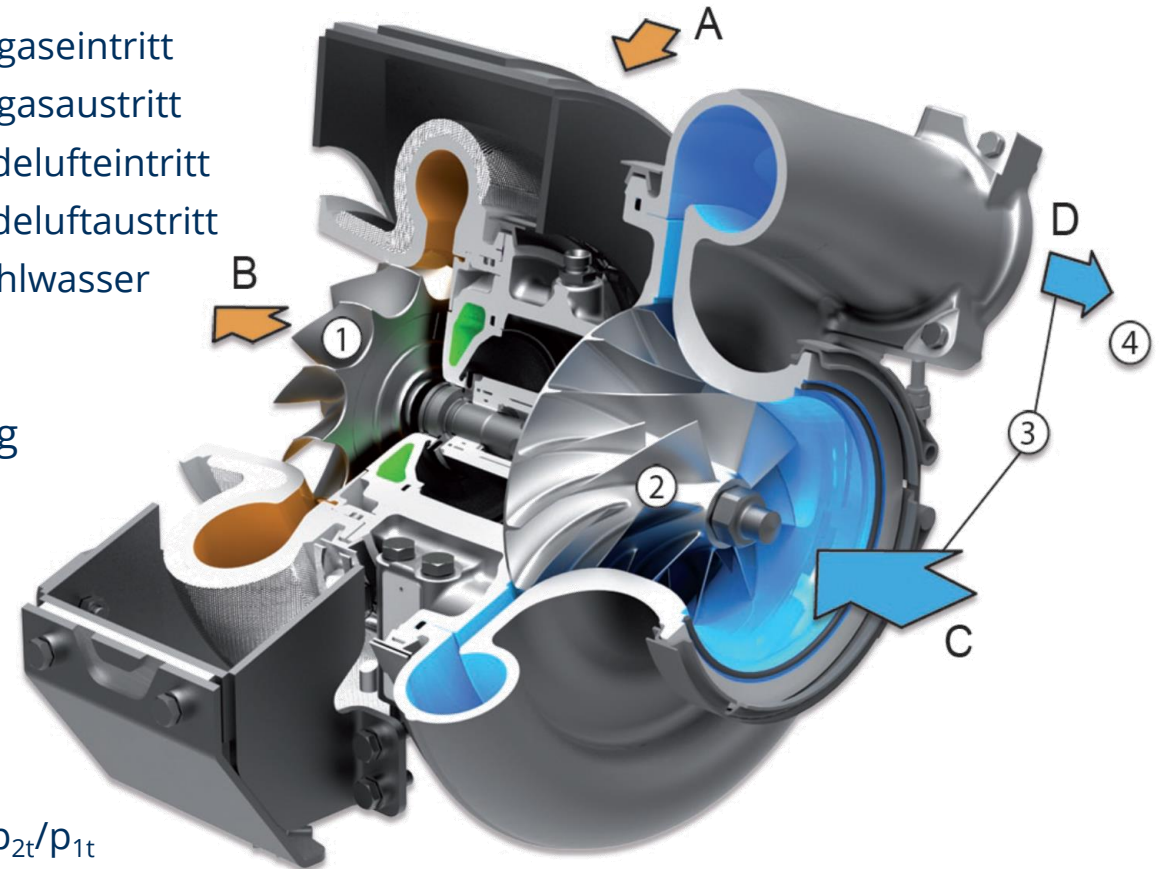


8.3 Aufbau und Funktionsweise des Dieselmotors

Aufladung

- Zuführung größerer Luftmengen, als Motoren selbst ansaugen können
- je Zylinder können größere Kraftstoffmengen verbraucht und Leistungssteigerungen erzielt werden
- Hochleistungs-Dieselmotoren mit 2-stufiger Aufladung
- Leistungssteigerung durch Aufladung: 50...100%

A	Abgaseintritt
B	Abgasaustritt
C	Ladelufteintritt
D	Ladeluftaustritt
	Kühlwasser



- 1) Turbinenrad
- 2) Verdichterrad
- 3) Druckverhältnis p_{2t}/p_{1t}
- 4) reduzierter Volumenstrom $V_{red.}$

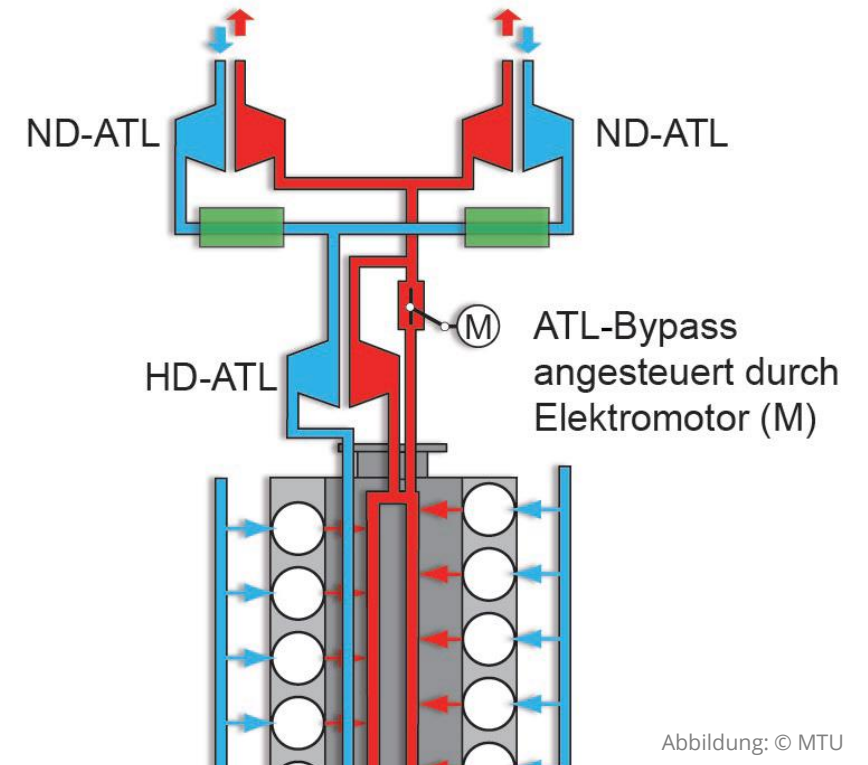
Quelle: MTU

8.3 Aufbau und Funktionsweise des Dieselmotors

Ladeeinrichtung

Aufladung erfolgt:

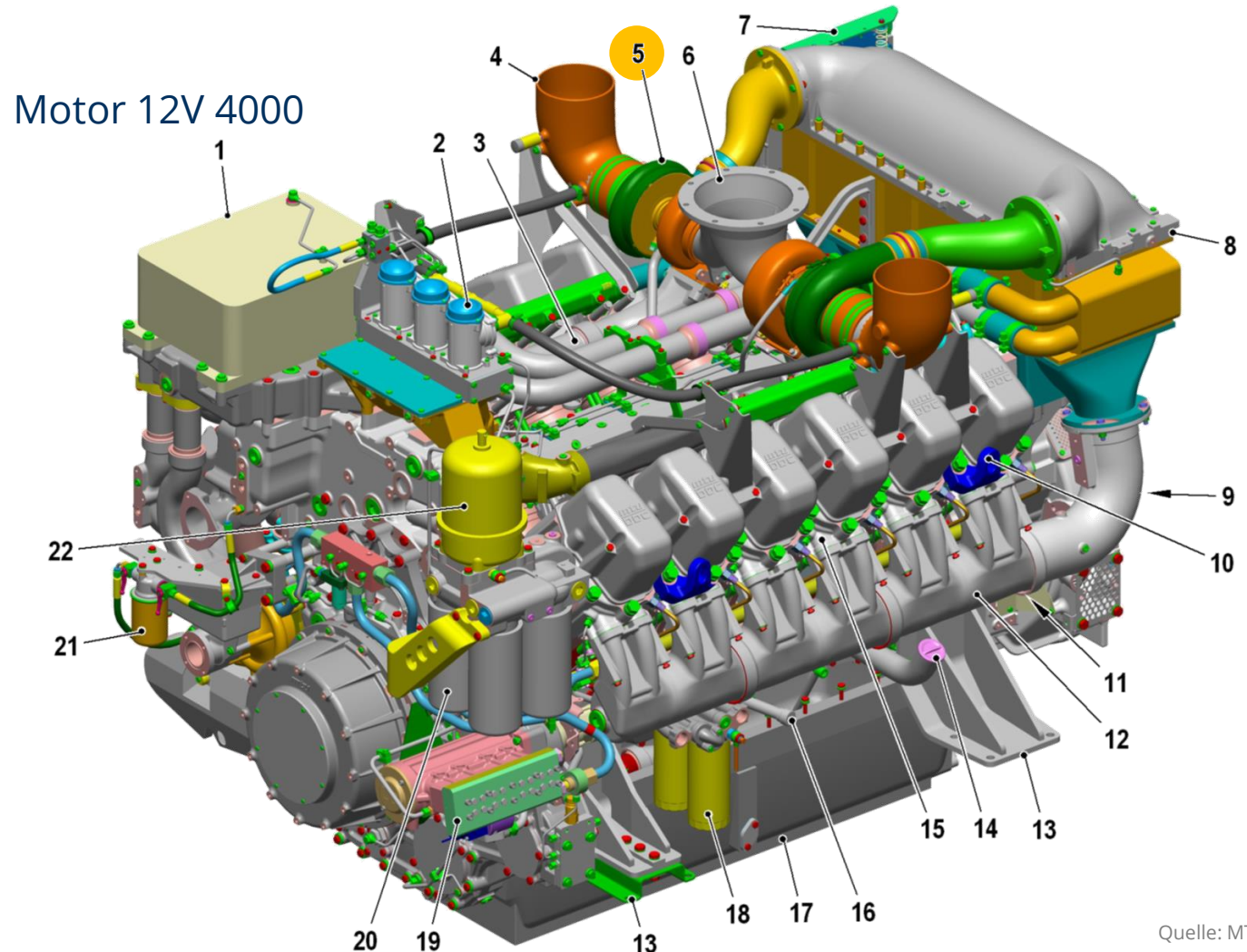
- Einstufig
 - Ladedruck wird für den gesamten Drehzahl- und Lastbereich des Motors durch einen einzigen Lader erzeugt
- Zweistufig, mit Ladeluftzwischenkühlung (Abb.)
 - zwei Turbolader in Reihe geschaltet
 - vom Zylinder kommender Abgasstrom wird geteilt, ein Teil strömt durch die Hochdruckturbinen (HD), ein Teil wird an der Turbinen über einen regelbaren Bypass vorbeigeleitet
 - gesamte Massenstrom fließt danach durch die Niederdruckturbinen (ND).



8.3 Aufbau und Funktionsweise des Dieselmotors

Aufladung – Bsp. MTU

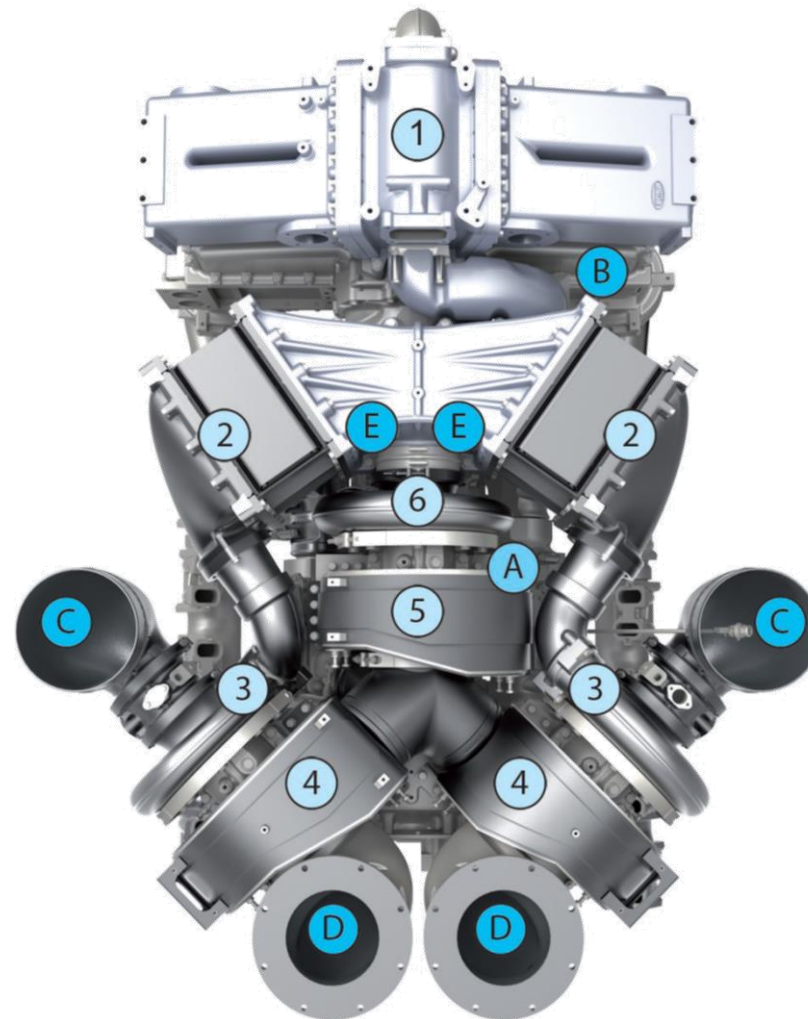
- 1) Ölkühler
- 2) Kurbelgehäuseentlüftung
- 3) Abgasleitung
- 4) Anschluss Verbrennungslufteintritt
- 5) Abgasturbolader**
- 6) Anschluss Abgasaustritt
- 7) Motorregler
- 8) Ladeluftkühler
- 9) Schwungrad
- 10) Aufhängeöse
- 11) Starter
- 12) Ladeluftrohr
- 13) Motorlagerung
- 14) Öleinfüllstutzen
- 15) Zylinderkopf
- 16) Kraftstoffhandpumpe
- 17) Ölwanne
- 18) Kraftstofffilter
- 19) Kraftstoffhochdruckpumpe
- 20) Motorölfilter
- 21) Kühlmittelfilter
- 22) Ölzentrifuge



Quelle: MTU

8.3 Aufbau und Funktionsweise des Dieselmotors

Aufladung – Bsp. MTU



- ① Ladeluftkühler
- ② Zwischenkühler
- ③ Niederdruckverdichter
- ④ Niederdruckturbine
- ⑤ Hochdruckturbine
- ⑥ Hochdruckverdichter
- A vom Hochdruckverdichter zum Ladeluftkühler
- B vom Ladeluftkühler zur Zylinderbank
- C Ansaugluft
- D Abgasaustritt
- E vom Zwischenkühler zum Hochdruckverdichter

Quelle: MTU

8.3 Aufbau und Funktionsweise des Dieselmotors

Dieselmotor-Baureihen (am Beispiel MTU 4000)

Motivation:

- Kostensenkung durch Gleichteile und Modularisierung (Produktion)
- Vorteile in der Instandhaltung (Gleichteile, Technologie)
- Abdeckung eines großen Leistungsspektrums

z.B. 8V 4000 R 43 L

8 Zylinder

V-Anordnung

4000er Reihe

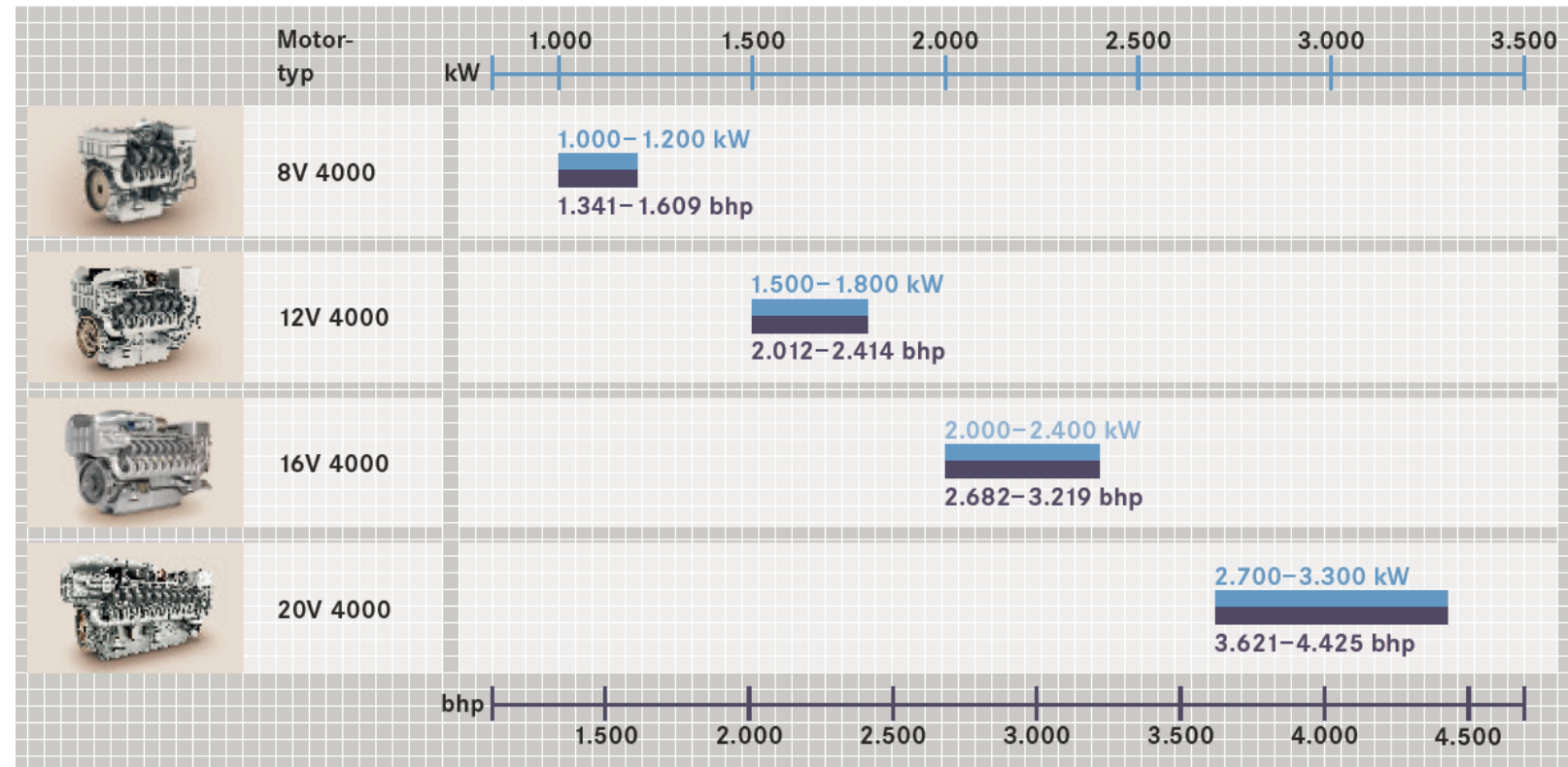
R – für Bahnantriebe (**R**ail)

4 – Leistungssegment

3 – Konstruktions-Index

L - leistungsgesteigert

Beispiel: MTU Baureihe 4000





8.4 Charakteristik von Bahn-Dieselmotoren

„Bahn-Dieselmotor“

- Bahn-Dieselmotoren → Spezial-DM, auf die speziellen Betriebsbedingungen der Bahn zugeschnitten
- Typ. Hersteller: MTU, Caterpillar, Cummins
- auch Einsatz anderer DM in Sfz, z. B. Schiffsdiesel (ABC), Kfz-DM (MAN)

Besonderheiten der Bahn-DM

- intermittierendes Leistungsregime, gekennzeichnet durch:
 - häufigen Lauf bei Teillasten;
 - seltenem Lauf bei Volllast,
 - häufigem Lauf im Leerlauf.
- häufiges Ab- und Wiederanstellen
- Abstellen und Starten bei tiefen Temperaturen
- Platzmangel und Massebeschränkung im Tfz
- Kraftstoffverbrauch und Wirkungsgrad → im ges. Leist.-bereich ist mögl. geringer KS-Verbrauch gefordert
- Betriebszuverlässigkeit unter allen Betriebszuständen und klimatischen Bedingungen
- Normative Nutzungszeit von 25...30 Jahren

8.4 Charakteristik von Bahn-Dieselmotoren

8.4.1 Besonderheit der Bahn-DM

... und wenn doch „nur“ Industriemotoren eingesetzt werden:

„Rollkur für Mehrmotoren-Lokomotiven der Baureihe 245“

[Meldung Eisenbahn-Revue International 7 /2018]

„[...] Die Lokomotiven erhalten neue beziehungsweise überarbeitete Dieselmotoren. Bei den sonst vor allem in Bau- und Industriemaschinen verwendeten Caterpillar-Motoren hatte sich gezeigt, dass die Zylinderkopfdichtungen dem Betrieb **mit hohem Vollastanteil** nicht genügten. Inzwischen hat der Motorenhersteller in den USA eine eigene Produktionslinie für Lokomotiv-Dieselmotoren eingerichtet, für die schärfere Anforderungen als bei den Baumaschinen gelten. [...]“



Foto: Karim Benabdellah



Foto: ERI, 2018/07

8.4 Charakteristik von Bahn-Dieselmotoren

Taktzahl

— 2- oder 4-Takt?



Foto: wikipedia/Quelle

EMD Class 66

- 2-Takt EMD-Motor 12N-710G3B-EC
- $n_{nenn} = 950 \text{ /min}$
- $P_{nenn} = 2420 \text{ kW}$



Foto: Martin Kache

ER20

- 4-Takt MTU-Motor 16V 4000 R41
- $n_{nenn} = 1800 \text{ /min}$
- $P_{nenn} = 2000 \text{ kW}$

8.4 Charakteristik von Bahn-Dieselmotoren

Drehzahl

- Mittelschnell- o. Schnellläufer



Foto: Karim Benabdellah



Foto: Wikipedia/TrainPhotos

Voith Maxima 40CC

- ABC-Motor 16V DZC
- $n_{\text{nenn}} = 1000$ /min
- $P_{\text{nenn}} = 3600$ kW

UK Light Class 68

- CAT-Motor C175-16
- $n_{\text{nenn}} = 2000$ /min
- $P_{\text{nenn}} = 2800$ kW

8.4 Charakteristik von Bahn-Dieselmotoren

Drehzahl

- Motoren in modernen Lokomotiven mit $n_{\text{nenn}} = 950 \dots 2000 \text{ min}^{-1}$
- Leistungen bis 3500 ... 4500 kW pro Motor möglich

- im VT-Einsatz kleine, kompakte Motoren bis $n_{\text{nenn}} = 2400 \text{ min}^{-1}$, Leistungsbereich 250 bis 600 kW
- zus. mit Leistungsübertragung in sog. Powerpacks → teilw. mehrmotorige VT

Motorbauart	typ. Drehzahl [min^{-1}]	Drehzahlbereich [min^{-1}]
langsamdrehend	750	625 – 850
mittelschnell drehend	1000	900 – 1200
schnelldrehend	1500	1250 - 2500

8.4 Charakteristik von Bahn-Dieselmotoren

Drehzahl

— Drehzahl-Drehmoment/Leistungs-Kurve – Bsp. MAN-Motor D2676 LE621

D2676 LE621 full power curve

rated power: 338 kW / 1800 rpm

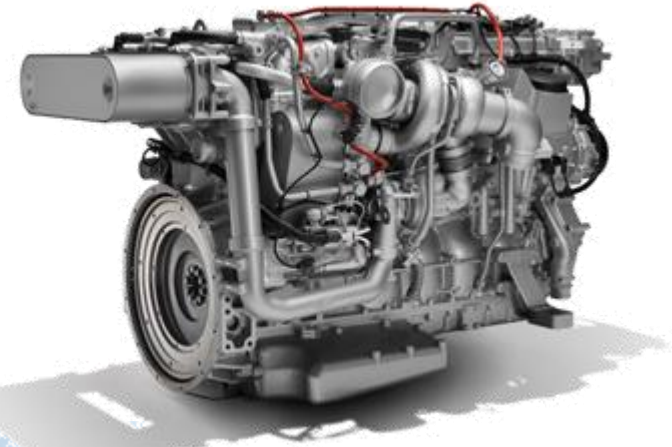
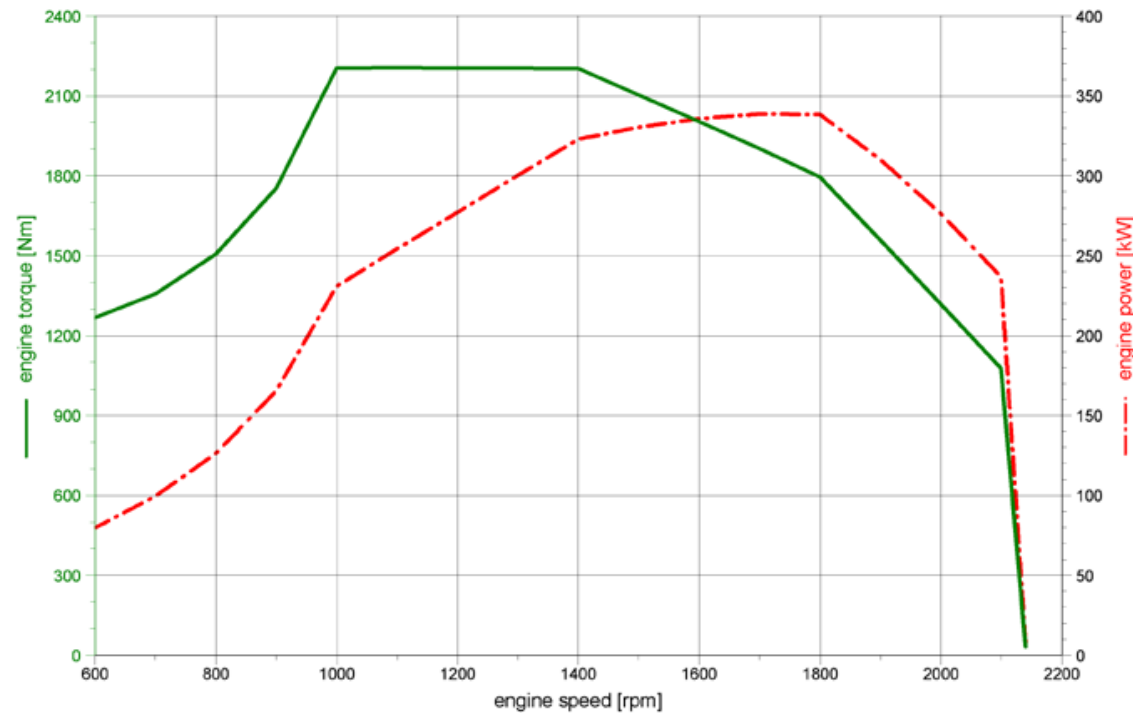
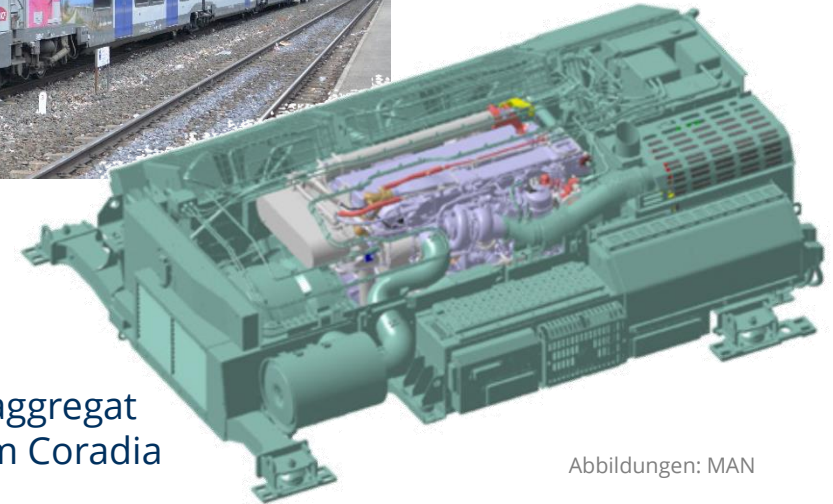


Foto: Martin Kache



Dachaggregat
Alstom Coradia

Abbildungen: MAN

8.4 Charakteristik von Bahn-Dieselmotoren

Einstellung und Abnahme von Bahn-DM

- Bahndieselmotoren auf Dauerleistung B nach DIN 6270 eingestellt
- Nennleistung, die nicht überschritten werden kann und die dem intermittierenden Betrieb Rechnung trägt

- Bahn-DM müssen Typenlauf unterzogen werden
- An mind. einem DM ist Eignung für den Bahneinsatz durch nat. und internat. Zulassungsverfahren nachzuweisen
- Nach UIC besteht die Zulassungsprüfung aus
 - a) einer Leistungsprüfung mit 100 Stunden, gefolgt von einer Dauerleist.-prüfung von 360 h auf dem Prüfstand oder
 - b) einer Leistungsprüfung von 100 h auf dem Prüfstand, gefolgt von einem Betriebsversuch von 4000 h im Streckendienst oder 5000 h im Rangierdienst
- vorgeschriebenes Regime entspricht wechselnden Beanspruchungen im Bahneinsatz

8.4 Charakteristik von Bahn-Dieselmotoren

Übersicht Lokomotivmotoren

Hersteller	Modell	RS-Folge	Leistung [kW]	Masse [t]	Radsatz-last [t]	V-Max [km/h]	Erstes BJ	Motor	Motor-Drehzahl	Emission	p [kW/t] ↑
NEWAG	311Da	Co'Co'	2133	120	20,0	100	2007	GE 7FDL 12 EFI	1050	UIC Stage II	17,8
Vossloh	333.3	Co'Co'	2240	120	20,0	120	2002	GM-EMD 16-645 E3	950		18,7
EMD	JT42CWR-T1	Co'Co'	2420	129,6	21,6	120	2006	EMD 12N-710G3B-T2	950	EU97/68 Stage IIIa	18,7
EMD	JT42CWR "Class 66"	Co'Co'	2420	126	21,0	120	1998	GM-EMD 12N-710G3B-EC	950	UIC Stage II	19,2
Bombardier	DE-AC33C "Blue Tiger"	Co'Co'	2460	126	21,0	120	1996	GE 7FDL12	1050		19,5
GE Transportation	PH37ACmi (GB)	Co'Co'	2750	129	21,5	120	2009	PowerHaul P616	1500	EU97/68 Stage IIIb	21,3
Voith	Maxima 30CC	C'C'	2750	126	21,0	120	2008	ABC 12V DZC	1000	EU97/68 Stage IIIa	21,8
GE Transportation	PH37ACai (EU)	Co'Co'	2750	126	21,0	120	2012	PowerHaul P616	1500	EU97/68 Stage IIIb	21,8
Alstom	BB75000/7500/75300	Bo'Bo'	2000	86	21,5	120	2007	MTU 16V 4000 R41	1800	UIC Stage II	23,3
Henschel	DE 2500 (202 002)	Bo'Bo'	1840	76	19,0	120	1971	MTU MA 12 V 956 TB	1500		24,2
Siemens	ER20	Bo'Bo'	2000	80	20,0	140	2002	MTU 16V 4000 R41	1800		25,0
Bombardier	DE2000	Bo'Bo'	2100	81,6	20,4	160	1997	2x MTU 12V396TC13	1800		25,7
Bombardier	TRAXX P160 DE	Bo'Bo'	2200	84	21,0	160	2006	MTU 16V 4000 R41L	1800	EU97/68 Stage IIIa	26,2
Voith	Maxima 40CC	C'C'	3600	135	22,5	120	2006	ABC 16V DZC	1000	EU97/68 Stage IIIa	26,7
Siemens	Charger (USA)	Bo'Bo'	3280	120	30,0	200	2016	Cummins QSK95	1700	EU97/68 Stage IIIb	27,3
Bombardier	TRAXX DE ME	Bo'Bo'	2256	82	20,5	160	2012	4x CAT C18	2000	EU97/68 Stage IIIb	27,5
Alstom	BB75400	Bo'Bo'	2400	86	21,5	120	2010	MTU 16V 4000 R43L	1800	EU97/68 Stage IIIa	27,9
Vossloh	EURO 3000 Passenger	Bo'Bo'	2390	85	21,3	200	2006	EMD 12N-710G3C-U2	950	EU97/68 Stage IIIa	28,1
Siemens	Vectron DE	Bo'Bo'	2400	84	21,0	160	2010	MTU 16V 4000 R84	1800	EU97/68 Stage IIIb	28,6
Bombardier	TRAXX F140 DE	Bo'Bo'	2400	84	21,0	140	2006	MTU 16V 4000 R43	1800	EU97/68 Stage IIIa	28,6
PESA	Gama 111 Db	Bo'Bo'	2400	84	21,0	160	2014	MTU 16V 4000 R84	1800	EU97/68 Stage IIIb	28,6
Vossloh	EURO 3000 Freight	Bo'Bo'	2460	82	20,5	120	2012	EMD 12N-710G3C-U2	950	EU97/68 Stage IIIa	30,0
GE	China Railways HXN5	Co'Co'	4660	150	25,0	120	2008	GE GEVO16	1050		31,1
Vossloh	UKLIGHT	Bo'Bo'	2800	85	21,2	160	2013	CAT C175-16	2000	EU97/68 Stage IIIa	32,9

8.4 Charakteristik von Bahn-Dieselmotoren

Übersicht Triebwagenmotoren

Hersteller	Modell	RS-Folge	Anz. DM	Leistung je DM [kW]	V-Max [km/h]	Erstes BJ	Motor	Motor-Drehzahl	Emission
Alstom	Alstom Coradia Polyvalent (4-Teiler)	Bo'2'2'2'Bo'	4	340	160	2011	MAN D2676 LE62X	1800	EU97/68 Stage IIIa/b
Pesa	Link	B'2'B'	2	565	140	2012	MTU 6H 1800 R85L	1800	EU97/68 Stage IIIa/b
Alstom	Lint 27	B'2'	1	315	120	1999	MTU 6R 183 TD13H	1900	
Alstom	Lint 41	B'2'B'	2	315	140	1999	MTU 6R 183 TD13H	1900	
Siemens	VT 642	B'2'B'	2	275	120	1999	MTU 6R 183 TD13H	1900	EURO-2
Bombardier	BR 612	2'B'+B'2'	2	560	160	1998	Cummins QSK19-R	2000	
Stadler	RS1	B'B'	2	257	120	1996	MAN D2865 LUH 7	2000	EURO-2
Stadler	BR 646	2'+(Bo)+2'	1	550	120	1996	MTU 12V 183 TD 13 E2	2100	EURO-2



Foto: Martin Kache



Foto: Martin Kache



Foto: wikipedia/Qualle

8.4 Charakteristik von Bahn-Dieselmotoren

