

Inhalte

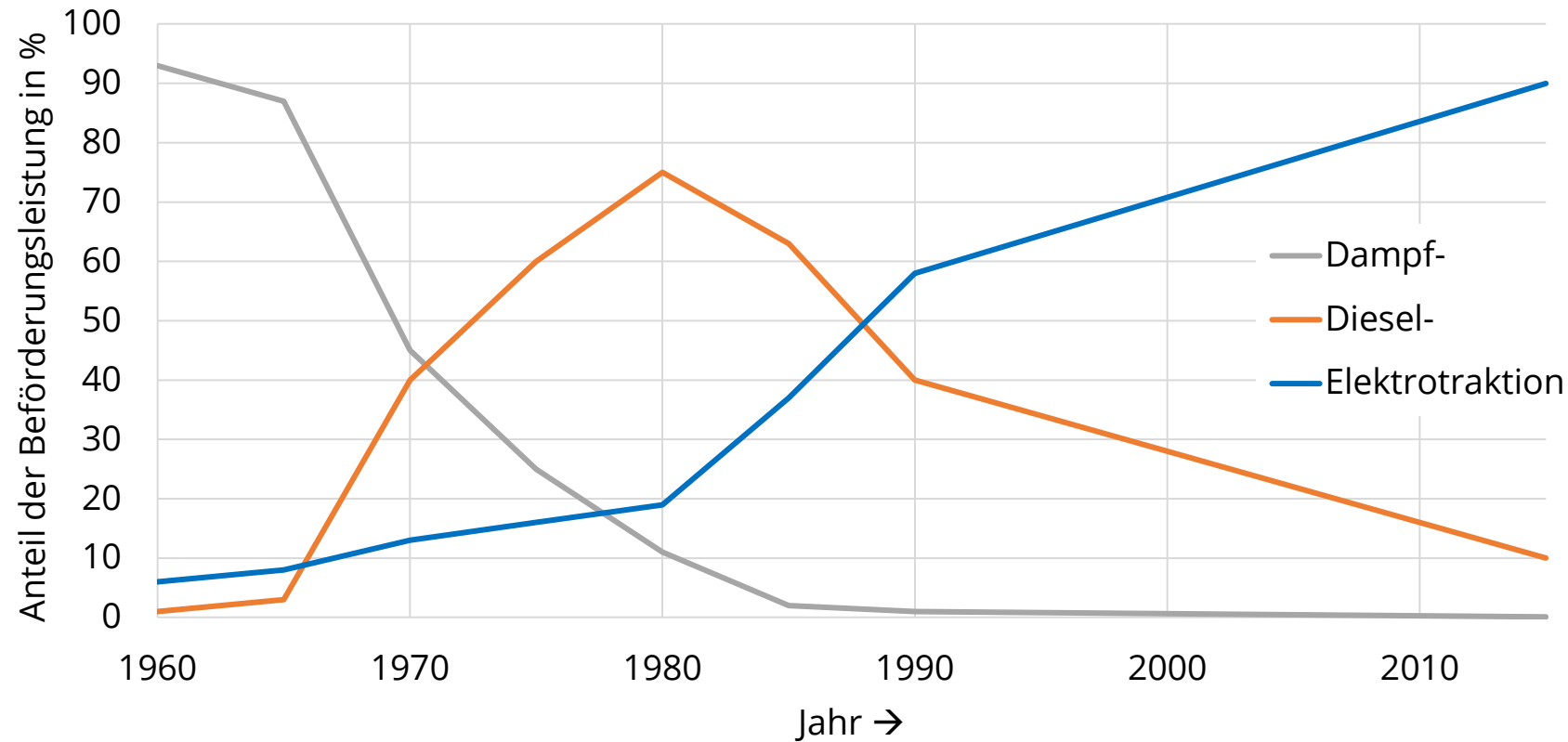
Vorlesung Triebfahrzeugtechnik (Grundlagen)

1. Einteilung der Triebfahrzeuge
2. Anforderungen
- 3. Entwicklungslinien**
 - 3.1 Elektrotriebfahrzeuge**
 - 3.2 Dieseltriebfahrzeuge
 - 3.3 Zweikrafttriebfahrzeuge
 - 3.4 Akkutriebfahrzeuge
 - 3.5 Hybridtriebfahrzeuge
 - 3.6 Dampftriebfahrzeuge
 - 3.7 Gasturbinen-Triebfahrzeuge
4. Baugruppen
5. Mechanischer Teil
6. Einrichtungen zur Bedienung, Wartung und Instandhaltung

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.0 Einführung

Beförderungsleistung der Traktionsarten seit 1960 (für Deutschland)

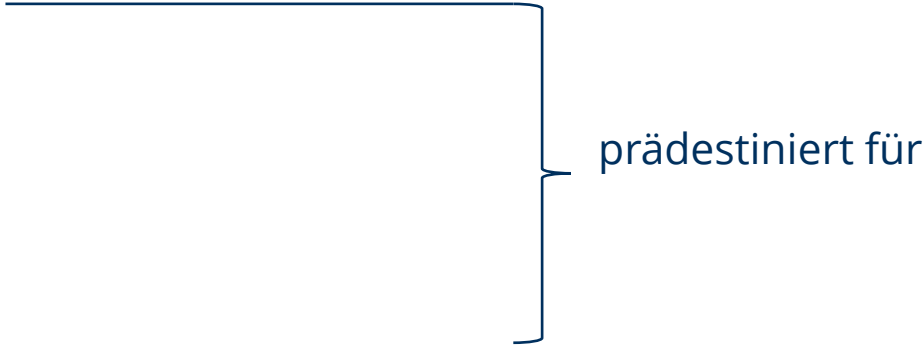


3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.1 Elektrotriebfahrzeuge

3.1.2 Haupteigenschaften E-Traktion

Vorteile

- Höhere Leistungsfähigkeit
 - geringere spezif. Eigenmasse
 - beliebige Leistungsaufteilung
 - geringe Erhaltungskosten
 - hohe schadensfreie Laufleistungen
 - Verwendung alternativer Energieformen
 - vorteilhafte Heizung und Elektroenergieversorgung der Züge via Zugsammelschiene
 - kein Energieverbrauch im Stillstand, ständige Betriebsbereitschaft
- 
- prädestiniert für

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.1 Elektrotriebfahrzeuge

3.1.2 Haupteigenschaften E-Traktion

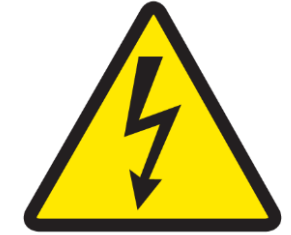
Nachteile bzw. Probleme



Foto: Martin Kache

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

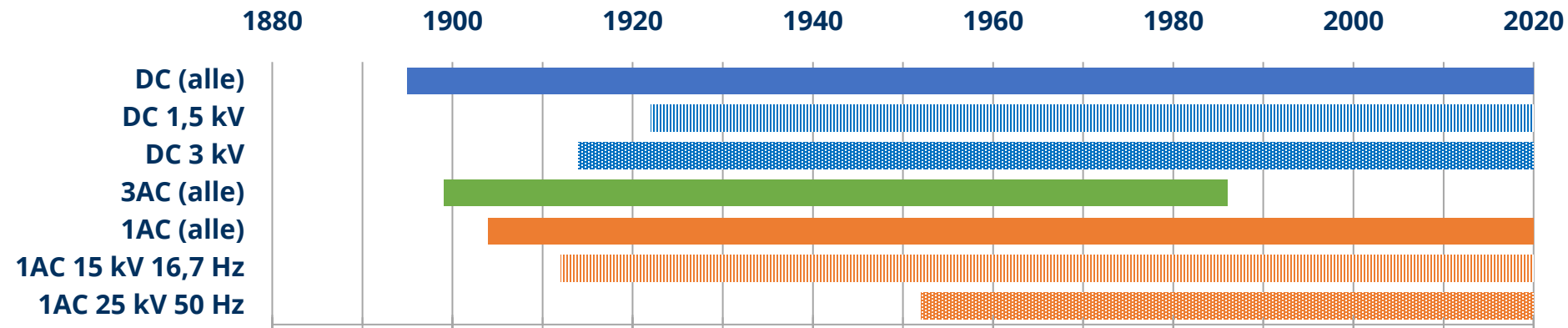
3.1 Elektrotriebfahrzeuge



3.1.3 Spannungssysteme: Überblick

- schrittweise, von technologischer Entwicklung abhängige Herausbildung der Spannungssysteme
- erste Bahnen mit Elektrotraktion wurden mit DC oder mit 3AC betrieben
- Bau von Fahrzeugen mit einfachen Fahrmotoren und einfachen Steuerungen
- Technik für die Verwendung von 1AC erst später verfügbar
- Vereinfachung von Fahrleitungen und Energieversorgung

Entwicklung der Spannungssysteme bei Vollbahnen



3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.1 Elektrotriebfahrzeuge

3.1.3 Spannungssysteme: Vergleich



	DC	AC	3AC (hist.)
Aufwand			sehr hoch, da 2 OL erf.
Fahrmotorsteuerung			ASM möglich f-Steuerung umständlich
Masse			(je nach Ausführung)
E-Übertragung			(je nach Ausführung)

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.1 Elektrotriebfahrzeuge

3.1.4 Fahrmotoren

Voraussetzung für Weiterentwicklung der Traktion mit 1 AC:

→ Wechselstrom-Bahnmotor mit günstigem Leistungs- und Drehzahlspektrum

Problematik des Bahnmotors für Wechselstromnetze

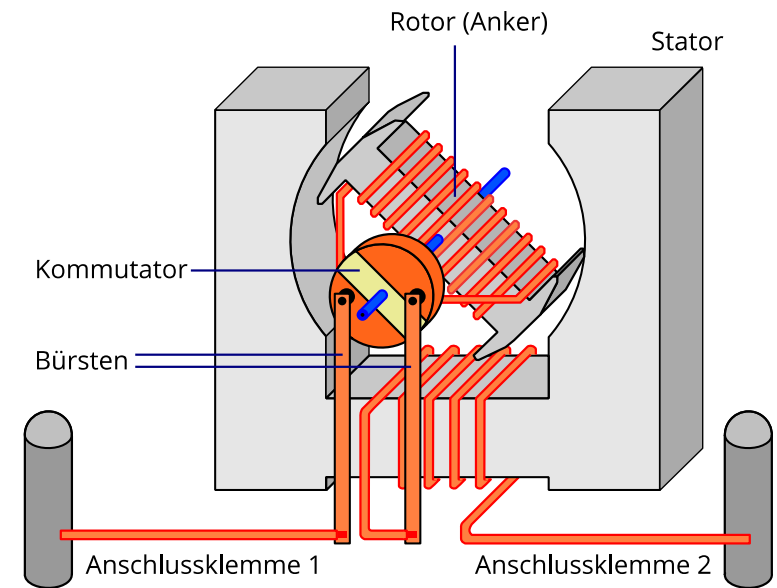


Abbildung: Wikipeda/Algos

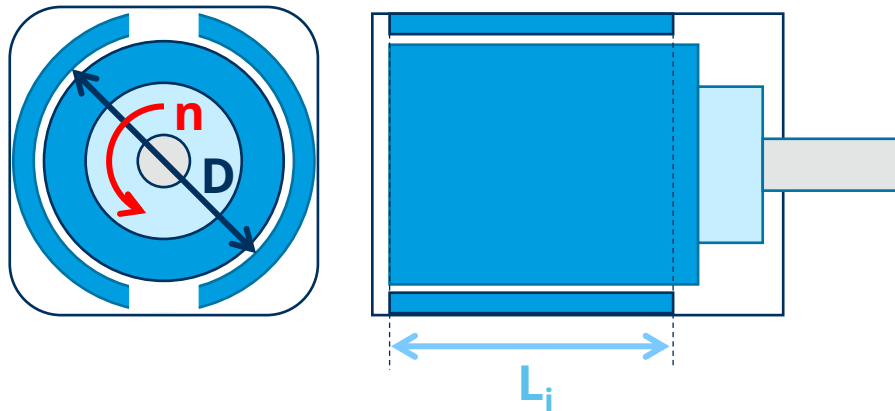
3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.1 Elektrotriebfahrzeuge

3.1.4 Fahrmotoren – Problematik des Bahnmotors für Wechselstromnetze

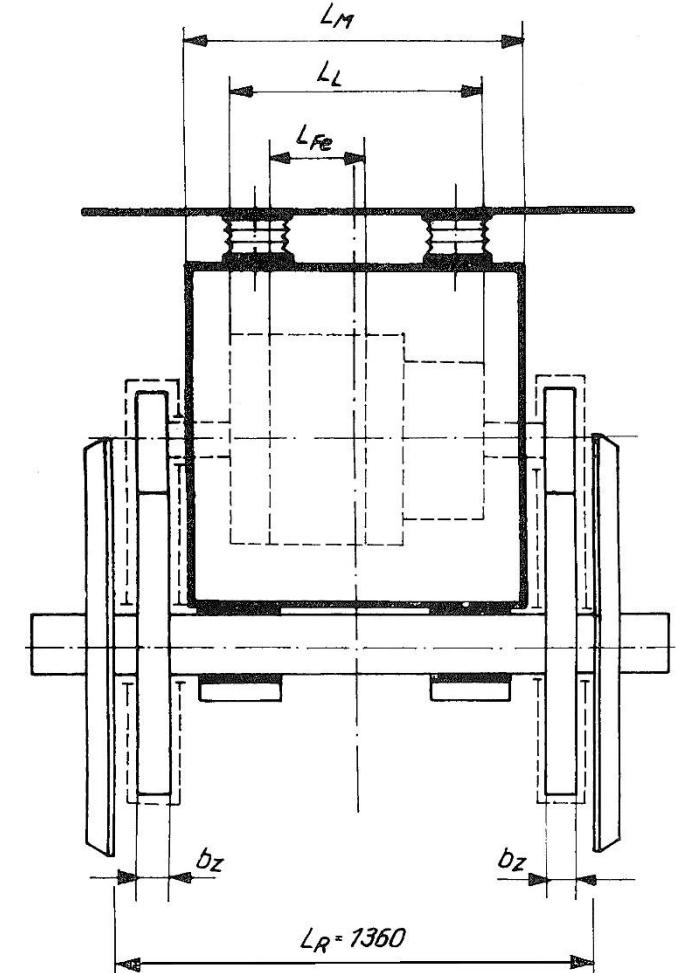
— Allg. Auslegungsformel E-Maschine:

- C... Maschineneffizient
- D... innerer Ständerdurchmesser
- L_i ... ideale Eisenlänge
- n... Drehzahl



— Legende Skizze (r.)

- L_M ... Motorlänge
- L_L ... Läuferlänge
- L_{Fe} ... Eisenlänge
- b_Z ... Großradbreite

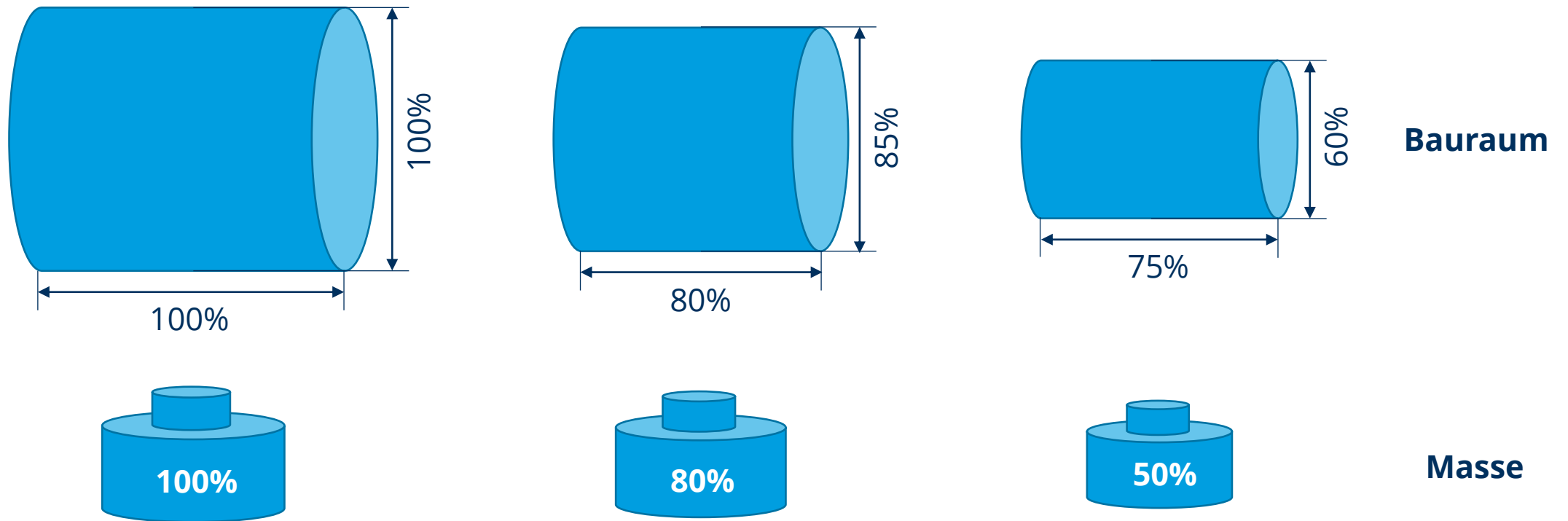


Quelle: Die el. Lokomotive, transpress/Helmut Bendel

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.1 Elektrotriebfahrzeuge

3.1.4 Fahrmotoren – Größenvergleich Elektrischer Maschinen



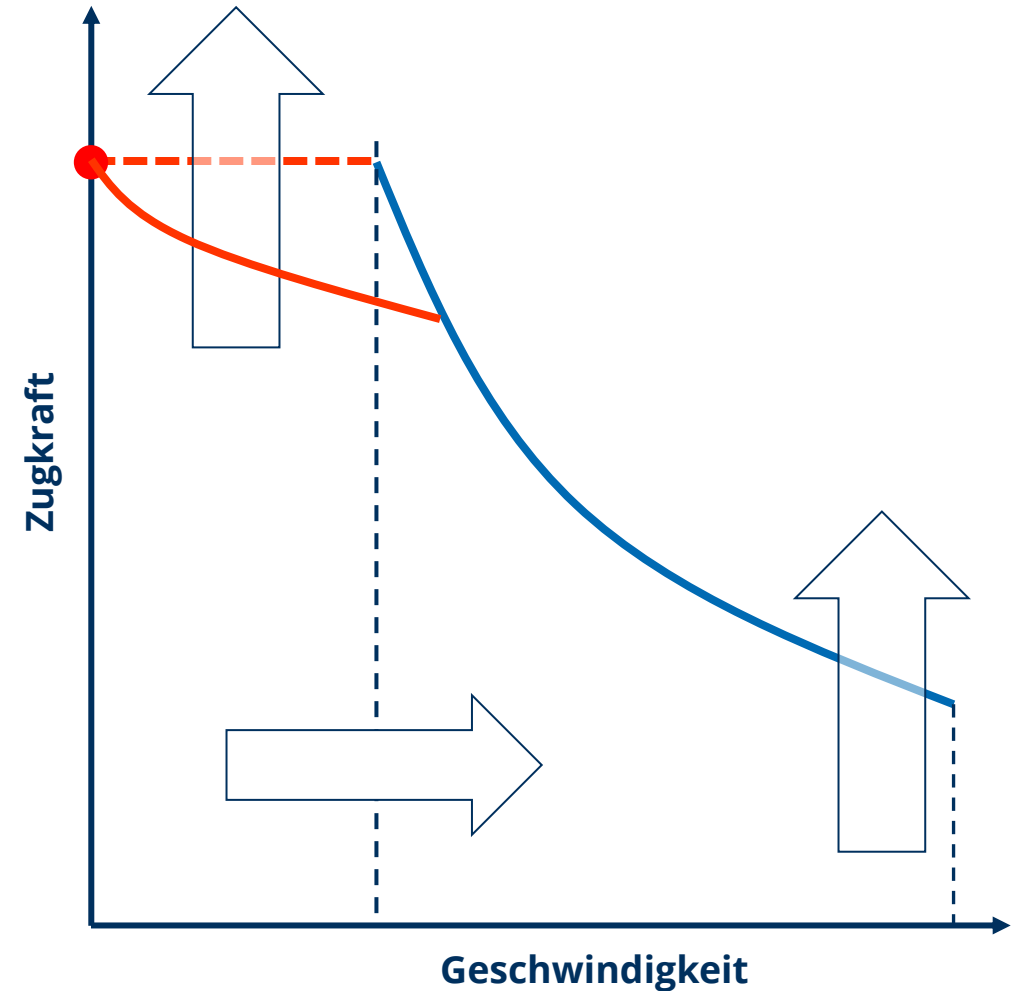
3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.1 Elektrotriebfahrzeuge

3.1.5 Frühe Fahrzeugentwicklungen

- Weiterentwicklung der el. Triebfahrzeuge von Anforderungsprofil getrieben (wie auch bei anderen Traktionsarten)

- besonders in früher Phase der E-Traktion Herausforderung für el. Antriebe und el. Maschinen



3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.1 Elektrotriebfahrzeuge

3.1.5 Frühe Fahrzeugentwicklungen

preuß. EP 235
 $P_{Dauer} = 1650 \text{ kW}$

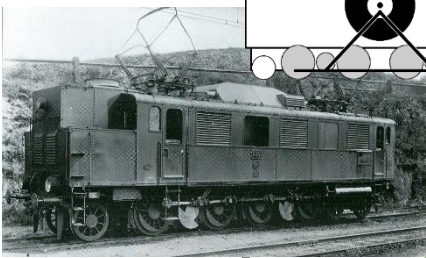


Foto: Wikipedia

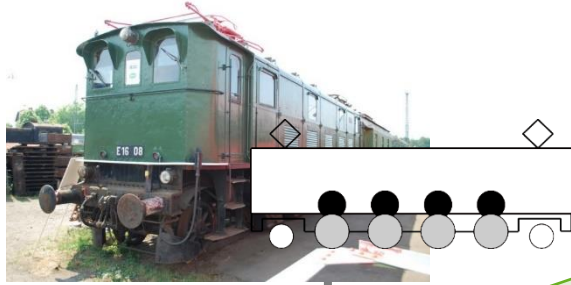
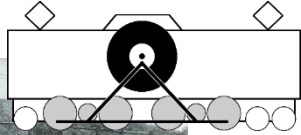


Foto: flickr/Hugh Llewelyn

DRG E 16
 $V_{max} = 120 \text{ km/h}$

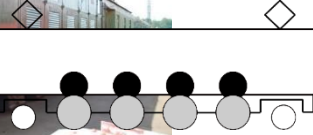
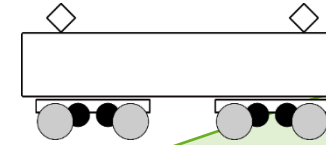


Foto: Wikipedia/Klaus Kort

BLS Ae 4/4
1. „Hochleistungslok“
 $P_h = 2940 \text{ kW}$



1956

1931

DRG E 44
1. Universallok?

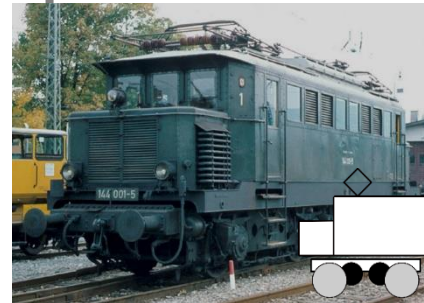


Foto: Wikipedia/Spoorjan

1935

DRG E 18
 $P_{Dauer} = 2840 \text{ kW}$

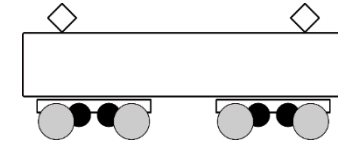


Foto: Wikipedia/Jürgen Heegmann



Foto: Wikipedia/Klaus Kort

DB-Einheitsloks
E 10, 40, 50



DRG E 91
 $F_z = 294 \text{ kN}$



Foto: Wikipedia/Manfred Kopka

1925, 1926

1914

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.1 Elektrotriebfahrzeuge

3.1.6 Innovationen – Fahrzeugteil

Bundesbahn-Einheitsprogramm (E10/E40/E50)

- Vereinheitlichung von möglichst vielen Fahrzeugbauteilen
- Gummi-Ringfederantrieb als Weiterentwicklung von AEG-Federtopftrieb
- Unterscheidung nur durch Übersetzung im Radsatzgetriebe (bei Bo'Bo' Varianten)

Variante	Einsatz	v _{Max}
E10	Personenzug	150/160 km/h
E40	Güterzug	110 km/h

- ähnliches E-Lok-Konzept bei Deutscher Reichsbahn (E11/E42)
- bei SNCF BB 8500 („Danseuse“) Universaleinsatz durch im Stillstand schaltbares Getriebe
- Stellung „P“ – v_{max} 140 km/h, Stellung „G“ – v_{max} 90 km/h



Foto: Wikipedia/Klaus Kort

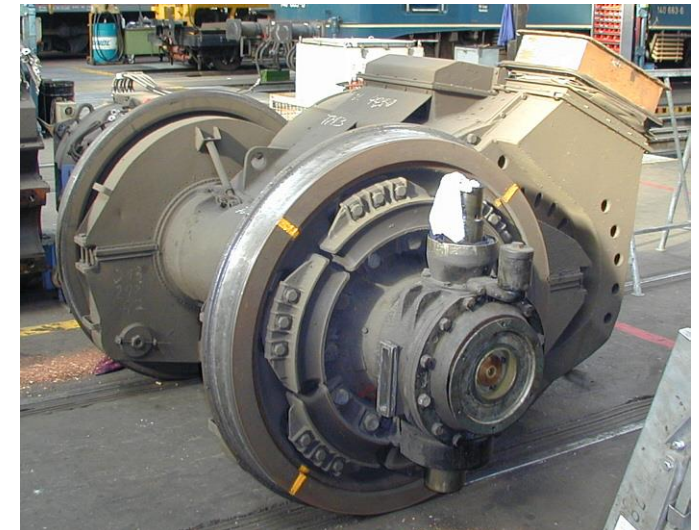


Foto: Wikipedia/Solaris2006

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.1 Elektrotriebfahrzeuge

3.1.7 Innovationen – Elektrischer Teil (konventionelle Antriebstechnik – KAT)



Foto: Martin Kache

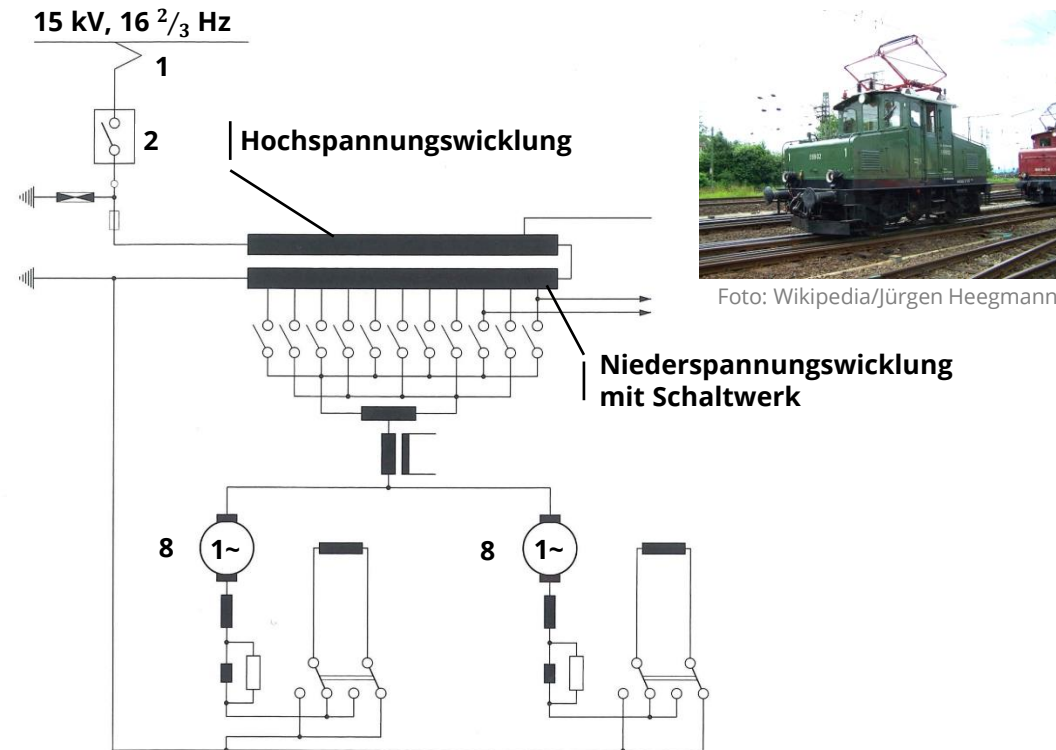
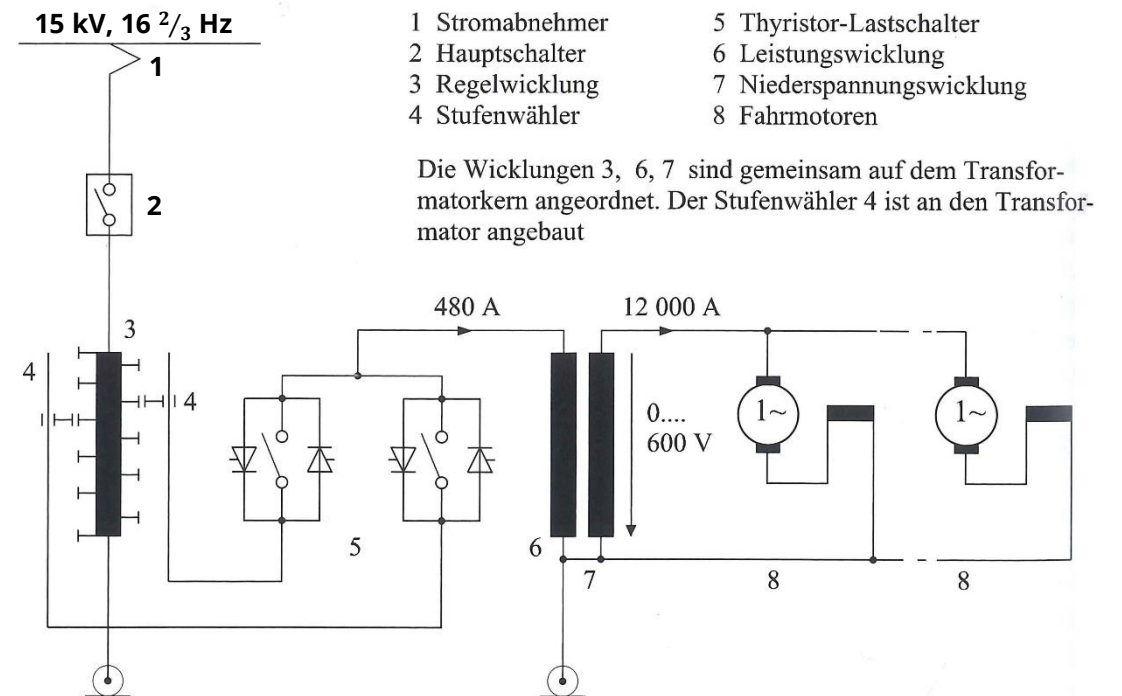


Foto: Wikipedia/Jürgen Heegmann

Niederspannungssteuerung (Referenz DRG E69 02)

Quelle: El. Tzf. und ihre Energieversorgung, eb/Andreas Steimel



- 1 Stromabnehmer
- 2 Hauptschalter
- 3 Regelwicklung
- 4 Stufenwähler
- 5 Thyristor-Lastschalter
- 6 Leistungswicklung
- 7 Niederspannungswicklung
- 8 Fahrmotoren

Die Wicklungen 3, 6, 7 sind gemeinsam auf dem Transformator Kern angeordnet. Der Stufenwähler 4 ist an den Transformator angebaut

Hochspannungssteuerung mit Stufenschaltwerk und Thyristor-Lastschalter (Referenz DB BR 103)

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.1 Elektrotriebfahrzeuge

3.1.7 Innovationen – Elektrischer Teil (konventionelle Antriebstechnik – KAT)

a) Hochspannungssteuerung für 1AC-Fahrmotoren

- ab 1950er wichtiger Übergang vom Nieder- zur Hochspannungssteuerung

Vorteile der Trafo-Abzapfungen auf Hochspannungsseite:

- geringere Schaltströme
- höhere Leistungen
- mehr Schaltstufen möglich
- zusätzliche Neuerung der Thyristor*-Lastschalter → verschleißloses Umschalten durch stromlos-Schaltung
- feinere Fahrsteuerung statt hoher Spannungs- und Zugkraftsprünge

- leistungsfähigste Fahrzeuge in Verbindung mit Hochleistungs-1AC-Fahrmotoren ($P_{el,1250/min} = 1240 \text{ kW}$)
- DB BR 103, SBB Re 6/6 ($P_{el,h}$ jeweils ca. 7800 kW)



Foto: Wikipedia/Klaus Kort



Foto: Wikipedia/Klaus Kort



Foto: Martin Kache

*steuerbarer Hochleistungs-Siliziumgleichrichter

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

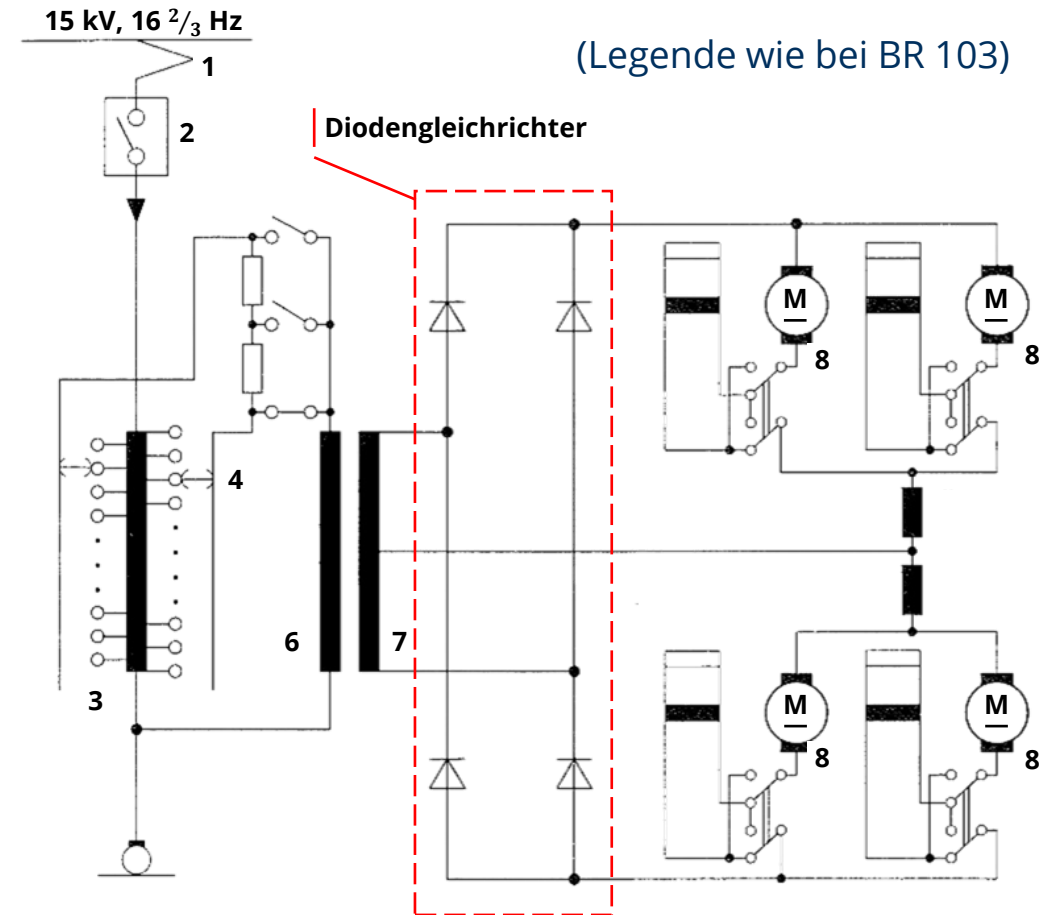
3.1 Elektrotriebfahrzeuge

3.1.7 Innovationen – Elektrischer Teil (KAT)



Foto: Wikipedia/David Gubler

Hochspannungssteuerung für Gleichstrommotoren (hier: Diodengleichrichtung, Referenz BLS Re 4/4, 1964)



(Legende wie bei BR 103)

Quelle: El. Tfz. und ihre Energieversorgung, eb/Andreas Steimel

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.1 Elektrotriebfahrzeuge

3.1.7 Innovationen – Elektrischer Teil (KAT)

b) Hochspannungssteuerung für Gleich- (bzw. Mischstrom-)Fahrmotoren

- ab 50er Jahren besonders für 50 Hz-Netze entwickelt
- Grundprinzip: Hochspannungssteuerung wie a) aber Gleichrichtung auf Niederspannungsseite
- leistungsfähige Gleichrichter erforderlich
- grundsätzliche Systemarchitektur auch für Mehrsystem-Fahrzeuge geeignet

- Gleichstrommotoren mit günstigeren m-P-Verhältnis ggü. 1AC-Fahrmotoren

- Weiterentwicklung: mit Thyristor-Phasenanschnittsteuerung (z. B. SJ Rc 2/3, 1970)
- letzte Entwicklungsstufe vor DAT: ÖBB Rh 1044 (1976)
- $P_{el,h} = 5400 \text{ kW}$ (1350 kW pro FM), $F_{ZA} = 341,5 \text{ kN}$, $v_{max} = 160 \text{ km/h}$
- Weg zur „Universallok“



Foto: Wikipedia/Tadeo59370



Foto: Wikipedia/David Gubler



Foto: Wikipedia/Sebastian Terfloth

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.1 Elektrotriebfahrzeuge

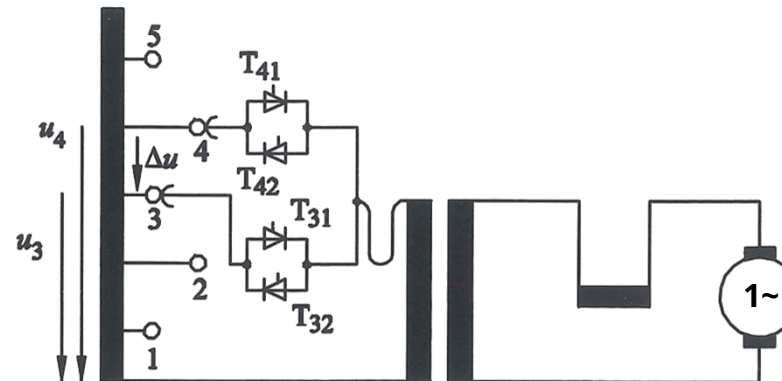
3.1.7 Innovationen – Elektrischer Teil (KAT)

c) Wechselstromsteller mit Phasenanschnittsteuerung

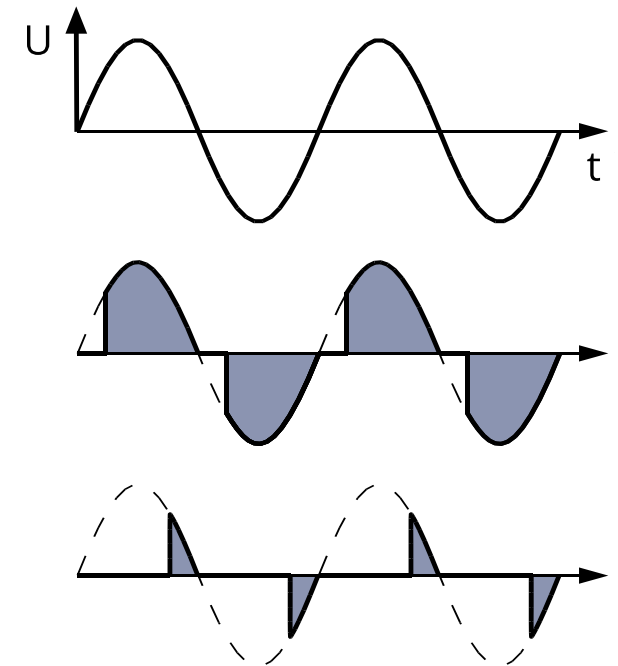
- Phasenanschnittsteuerung für 1AC-Fahrmotoren
- LEW-Wechselstromsteller
- stufenlose Überbrückung der Spannungsdifferenzen bei Umschaltung am Hochspannungsabgriff
- stetiger Verlauf der Zugkraft im F_z -v-Diagramm
- günstig für sehr gute Ausnutzung des Kraftschlussbeiwerts
- Anwendung bei DB BR 155/156, BR 112/143 (erste Bj. 1974/1982)
- Nachteil: nach wie vor schwerer, wartungsintensiver 1AC-Motor



Foto: Karim Benabdellah



Quelle: El. Tzf. und ihre Energieversorgung, eb/Andreas Steimel



3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.1 Elektrotriebfahrzeuge

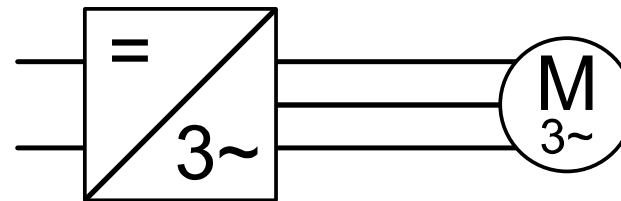
3.1.8 Drehstrom-Antriebstechnik (DAT)

Elektrotechnische Voraussetzungen

— Drehstrom-ASM frühzeitig als idealer Fahrmotor für Tfz erkannt:



— zur Drehzahländerung:



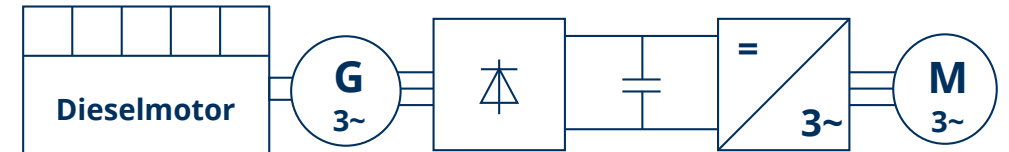
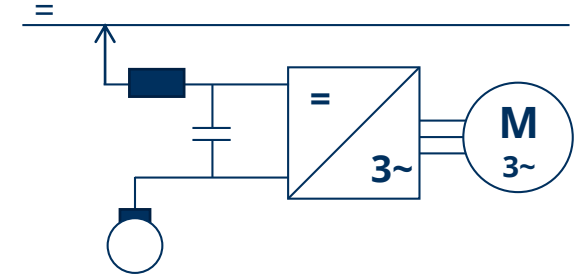
— **Meilensteine:** *Transistor (1948) → Thyristor (1957) → GTO (1980) → IGBT (1985) → IGCT (1996)*

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

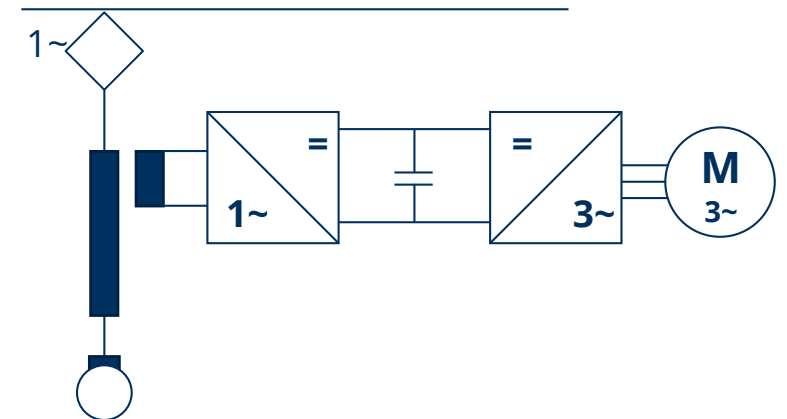
3.1 Elektrotriebfahrzeuge

3.1.8 Drehstrom-Antriebstechnik (DAT)

Elektrotechnische Voraussetzungen



- Verfügbarkeit erster Leistungshalbleiter für Triebfahrzeuge (akzeptables Einbauvolumen + wirtschaftlicher Preis) ab Ende 1960er



3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.1 Elektrotriebfahrzeuge

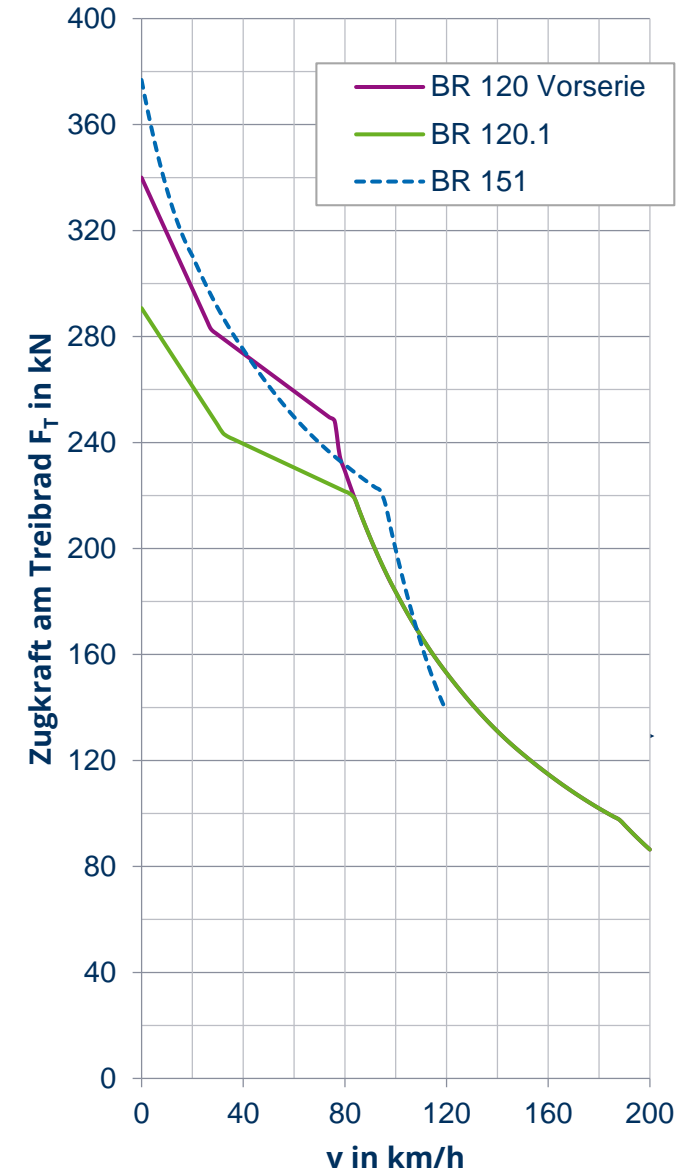
3.1.8 Drehstrom-Antriebstechnik (DAT)

Weg zur Universallok

- 1979: BCC/Henschel BR 120
→ $P_{el,d} = 5600 \text{ kW}$, $v_{max} = 200 \text{ km/h}$

später Eigenentwicklungen anderer Hersteller:

- 1991: Siemens *EuroSprinter*
- 1994: AEG 12X



3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.1 Elektrotriebfahrzeuge

3.1.8 Drehstrom-Antriebstechnik (DAT)

Exkurs: Synchron oder Asynchron?

- parallel zu Entwicklungen um BR 120 in D auch erste DAT-Versuchsfahrzeuge in Frankreich
- aufgrund zweier Spannungssysteme (1,5 kV DC/25 kV AC) Bedarf an Hochleistungs-Zweissystem-Tfz
- Mitte 80er Jahre mit vorh. Wechselrichtertechnik für ASM aber noch nicht darstellbar
- Entscheidung, sog. selbstgeführte Synchron-Fahrmotoren einzusetzen, da einfachere Drehzahl-/Drehmoment-Regelung

- 1988: franz. Universallok BB 26000 „SYBIC“ (SYnchrone, BICourante, Monomoteur-Drehgestelle → $P_{el,d} = 5600 \text{ kW}$, $v_{max} = 200 \text{ km/h}$)
- 1990: TGV Atlantique (Radsatz-FM m. Kardan-Antrieb)

- ab Mitte 90er Jahre wieder Schwenk zu Tfz mit ASM-FM (BB 36000 „ASTRIDE“, TGV POS, ...)



Foto: Martin Kache

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.1 Elektrotriebfahrzeuge

3.1.9 Hochgeschwindigkeitsfahrzeuge

Haupteigenschaften

- „Hochgeschwindigkeitsfahrzeug“ →
- „Schnellfahrstrecke“ → (beides lt. TSI)
- aufgrund hoher erforderlicher Leistung → vorrangig el. Triebfahrzeuge

Vorreiter (Regel-Hochgeschwindigkeitsverkehr)

- 1964: Shinkansen (Reihe 0)
- 1981: TGV (PSE)
- 1991: ICE (BR 401)



Fotos: Martin Kache

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

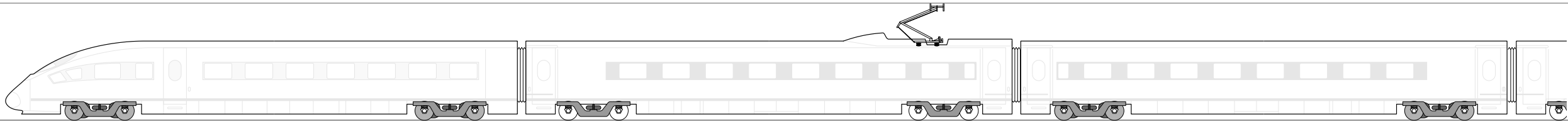
3.1 Elektrotriebfahrzeuge

3.1.9 Hochgeschwindigkeitsfahrzeuge

Antriebstechnik

HGV – genereller „Innovationstreiber“ in Schienenfahrzeugtechnik

- Innovative Fahrwerke und Fahrzeugkonzepte (→ „Next Generation Train“)
- Leichtbau
- Aerodynamik
- Hochleistungsantriebe



3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.1 Elektrotriebfahrzeuge

3.1.9 Hochgeschwindigkeitsfahrzeuge – HGV-Züge im Vergleich

Jahr	Bezeichnung	Land	Konzept	Anzahl FM	P_{max}/FM [kW]	FM-Typ	Spannungssystem	Wagenzugteile	Gesamtleistung [kW]	v_{max}^* [km/h]
1964	Shinkansen Reihe 0	JP	Triebzug mit Vollantrieb	48	185	DC	AC1	12 (Var.)	8880	220
1981	TGV PSE	FR	Triebkopfzug (2 TK + je 1 anetr. DG an Endwg.)	12	538	DC	AC1 + DC2	10	6450	270
1989	TGV Atlantique	FR	Triebkopfzug (2 Triebköpfe)	8	1300	3AC-SM	AC1 + DC2	12	10400	300
1991	ICE 1	DE	Triebkopfzug (2 Triebköpfe)	4	2400	3AC-ASM	AC2	14 (Var.)	9600	280
1992	ETR 500	IT	Triebkopfzug (2 Triebköpfe)	4	2200	3AC-SM	AC1 + DC1 + DC2	13 (Var.)	8800	300
1995	TGV Duplex	FR	Triebkopfzug (2 Triebköpfe)	8	1100	3AC-SM	AC1 + DC2	12	8800	320
2008	TGV Duplex (Dayse)	FR	Triebkopfzug (2 Triebköpfe)	8	1160	3AC-ASM	AC1 + AC2 + DC2	10	9280	320
1999	ICE 3	DE	Triebzug mit 50%-Antrieb	16	500	3AC-ASM	AC2	8	8000	330
2007	CRH2C	CN	Triebzug mit 75%-Antrieb	24	365	3AC-ASM	AC1	8	8760	350
2012	AGV ETR 575	IT	Triebzug mit 5/7-Antrieb	10	900	3AC-SM	AC1 + DC1	7	9000	300
2017	ICE 4	DE	Triebzug mit 50%-Antrieb	24	413	3AC-ASM	AC2	12 (Var.)	9900	250

Legende Spannungssysteme

AC1 25 kV, 50 Hz AC (außer Japan: 60 Hz)

AC2 15 kV, 16,7 Hz AC

DC1 3 kV DC

DC2 1,5 kV DC

* Betriebsgeschwindigkeit

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.1 Elektrotriebfahrzeuge

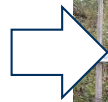
3.1.10 Aktuelle Lokomotivfamilien

- durch DAT europa-/weltweit hohes Vereinheitlichungsniveau möglich, gleichzeitig Konkurrenz der Hersteller
- 4-achsiges Brückenfahrzeug → „Standardkonzept“ für Lokomotiven, aber Grenzen der Kraftschlussausnutzung bedingen für viele Zugförderaufgaben teilw. Doppeltraktion



Foto: Wikipedia/Benedikt Dohmen

AEG/ADtranz 12X (1994)



Bombardier TRAXX (seit 1997)



Fotos: Martin Kache



Alstom PRIMA (seit 2004)



Fotos: Martin Kache



Foto: Wikipedia/Jürgen Heegmann

Siemens EuroSprinter (1992... bis 2006 → BR 152, 189, 182 „Taurus“, u.a.)



Fotos: Martin Kache



Foto: Martin Kache

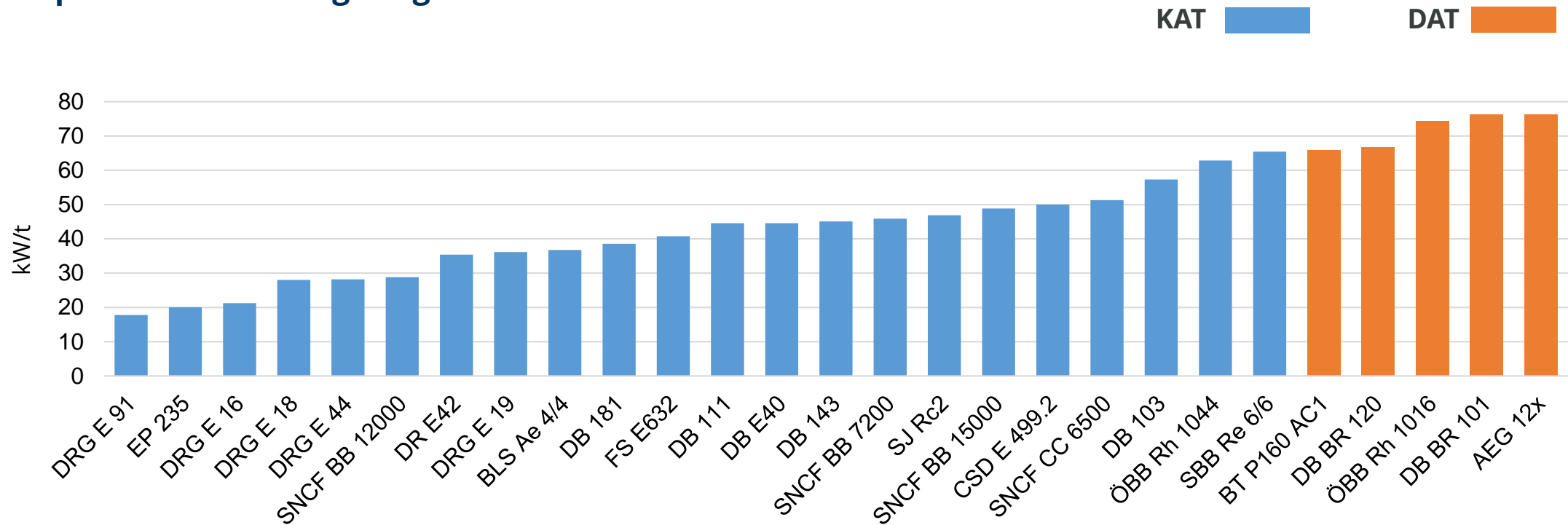
Siemens Vectron (seit 2010)

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.1 Elektrotriebfahrzeuge

3.1.11 Entwicklungsübersicht

— Spezifische Leistung ausgewählter elektrischer Lokomotiven



3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.2 Dieseltriebfahrzeuge

3.2.1 Einführung

Besonderheiten der Entwicklung

- in Gegensatz zu Dampf- und Elektrolokomotiven:

- bei Dieseltriebfahrzeugen deshalb zunächst schleppende Entwicklung (Ende 19. Jh.)
- techn. Probleme, die bei Dampfmaschine und Elektromotor nicht vorhanden sind:

→ außerdem: keine zwingende wirtschaftliche Notwendigkeit (in Frühzeit d. Eisenbahn)

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

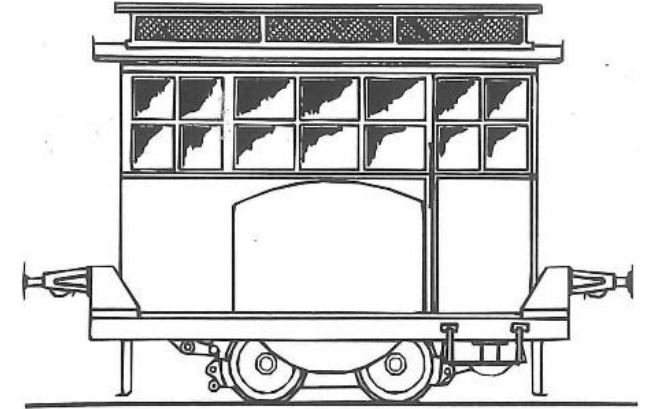
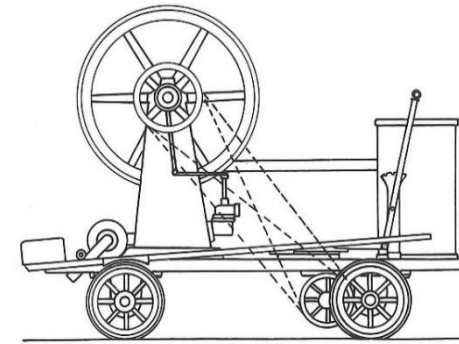
3.2 Dieseltriebfahrzeuge

3.2.1 Einführung

Anfänge

- Erfindung der Brennkraftmaschinen
 - 1861: Gasmotor (LENOIR)
 - 1863: „athmosphärischer“ Motor (OTTO und LANGEN)
 - 1883: 1. schnelllaufender Benzinmotors (DAIMLER)
 - 1897: DIESEL-Motor (DM)

- erste Versuche ab 1880er Jahren:
 - 1880: 1. von VM angetriebenes Schienenfahrzeug (Fa. HANOMAG)
 - 1899: 1. regelspurige Motorlok der Welt (Fa. Deutz)
 - ab 1903: 1. in Serie hergestellte VT (Weitzer-De Dion-Bouton)



Abbildungen: Diesellokomotiven, Transpress/Wolfgang Glatte



Foto: Wikipedia

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.2 Dieseltriebfahrzeuge

3.2.1 Einführung

Anfänge

— 1912: erfolgloses Kapitel – *Lokomotive mit Direktantrieb*

„Sulzer-Klose-Lokomotive“

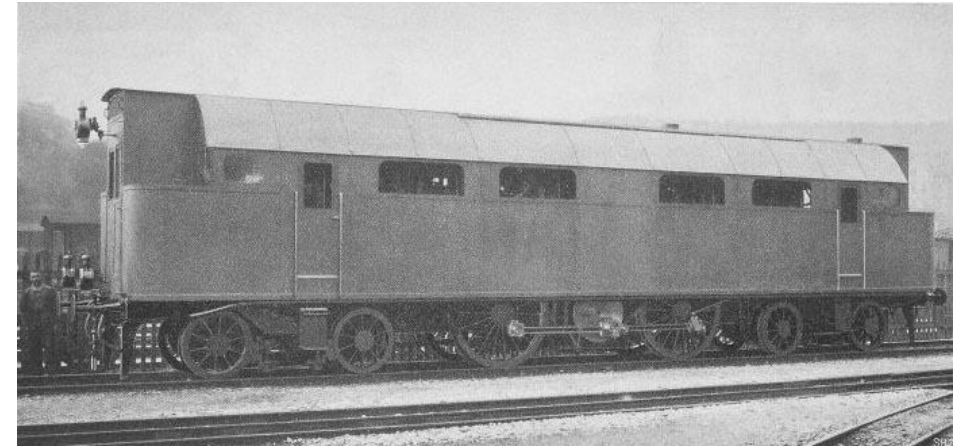
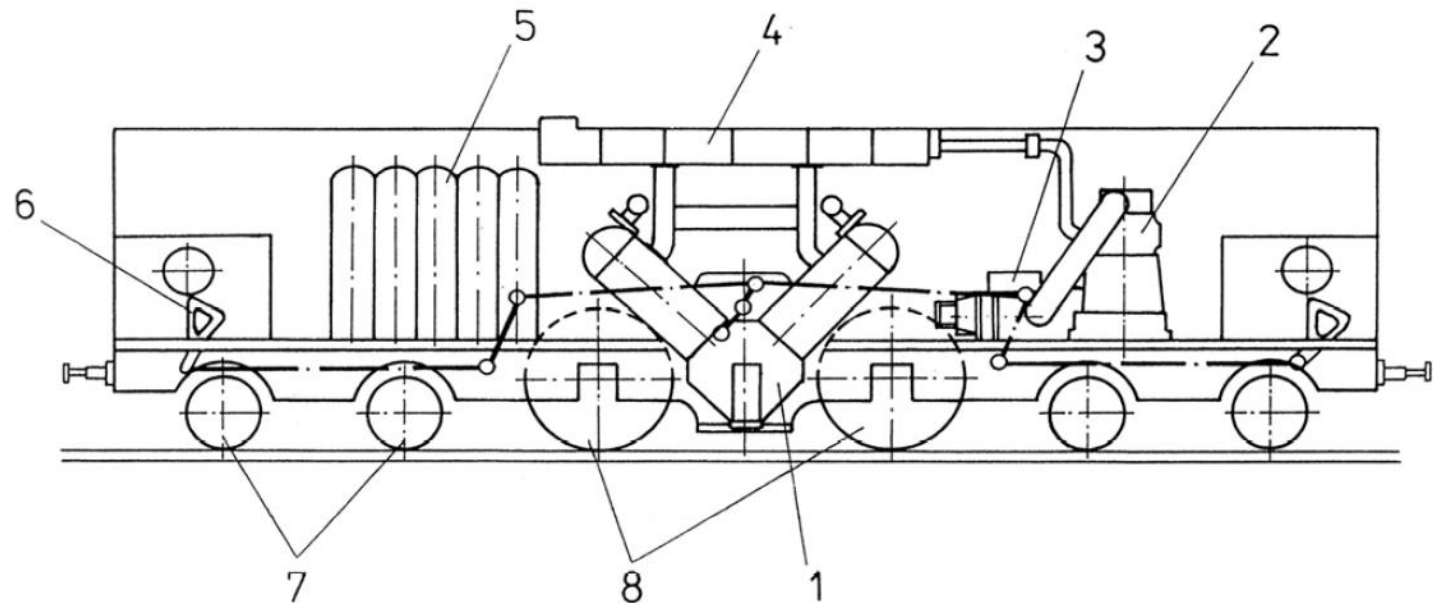


Foto: Wikipedia

- 1) Hauptdieselmotor
- 2) Hilfsdieselmotor
- 3) Verdichter
- 4) Abgasanlage
- 5) Druckluftspeicher
- 6) Umsteuervorrichtung
- 7) Laufradsätze
- 8) Treibradsätze



3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.2 Dieseltriebfahrzeuge

3.2.2 Haupteigenschaften Dieseltraktion

Anforderungen

wesentliche Eigenschaften

(günstiger als E-Traktion bei Kohleenergieversorgung – ca. 25%)

Nachteile

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.2 Dieseltriebfahrzeuge

3.2.2 Haupteigenschaften Dieseltraktion

Haupteinsatzgebiete

- 1) Nebenbahndienst (Regionalbahnen):

- 2) Rangierdienst, Werkbahndienst:

- 3) Streckendienst (teilw. auch Hauptstrecken):

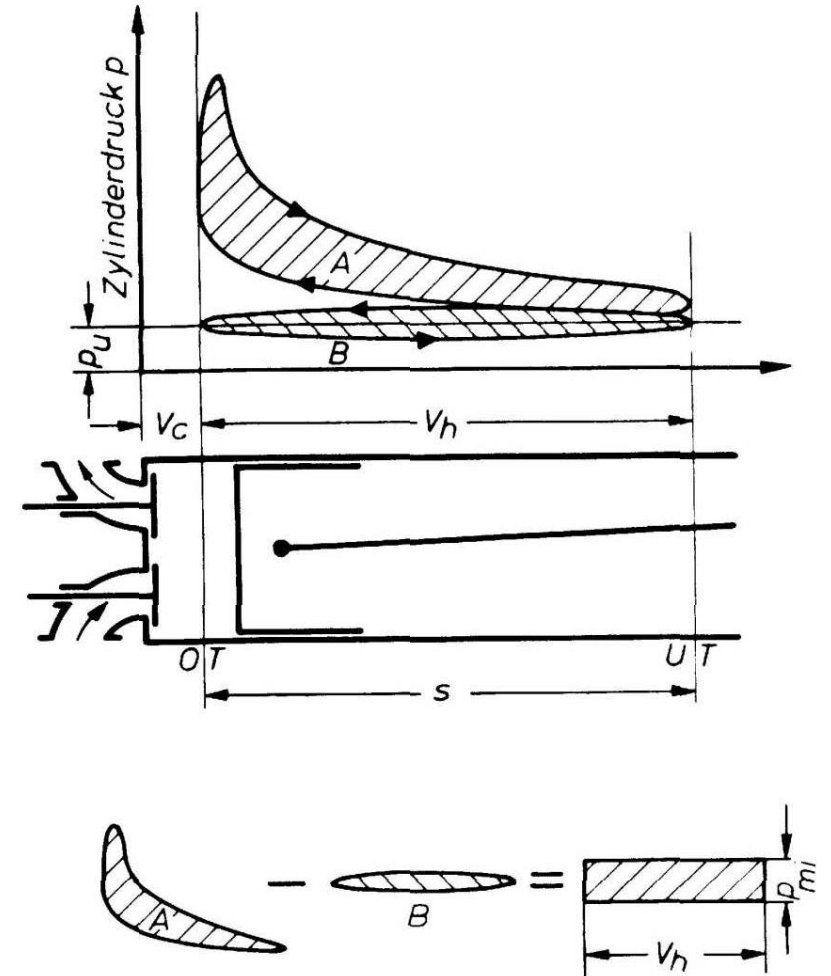
3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.2 Dieseltriebfahrzeuge

3.2.3 Leistungsspektren von Dieselmotoren

- Verbrennungsmotor → Zentrales Antriebselement des Diesel-Tfz
- Leistungsformel Verbrennungsmotor:

- V_h ... Hubvolumen
- p_e ... effektiver Mitteldruck
- N ... Taktzahl
- n ... Drehzahl
- C ... Maschinenkonstante



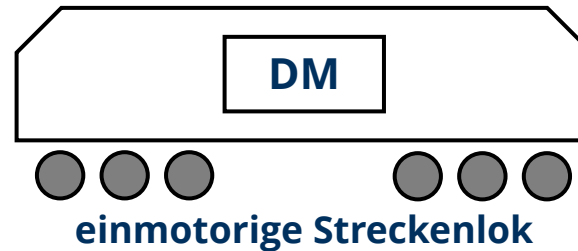
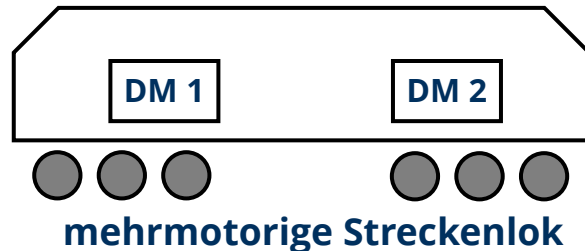
Quelle: R. Pischinger, Thermodynamik der Verbrennungskraftmaschine

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.2 Dieseltriebfahrzeuge

3.2.3 Leistungsspektren von Dieselmotoren

- frühe Lokomotiv-Dieselmotoren sehr langsamdrehend (n_{enn} um 450 min^{-1} , später bis 800 min^{-1})
- bis 1950 Jahre vorrangig nur Leistungen bis 1000 kW pro Einzelmotor möglich (bei Reihen bzw. V-Motoren)
- für leistungsfähige Lokomotiven zunächst Mehrmotorenkonzept erforderlich (z. B. DB V200, DR V180, ...)
- leistungsfähige 1-Motorlokomotiven ($P > 1400 \text{ kW}$) in D erst ab 1960er Jahren (z. B. DB V160)



12 KVD 21 auf Prüfstand, Quelle: Archiv WTZ Roßlau

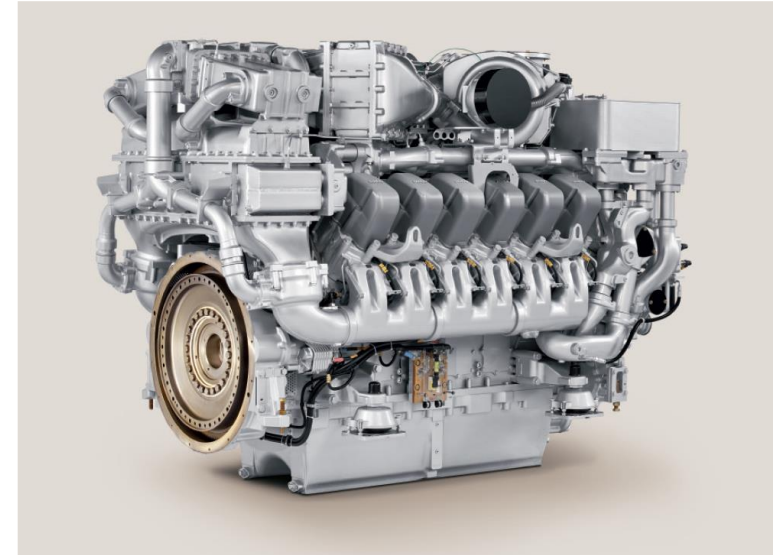
3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.2 Dieseltriebfahrzeuge

3.2.3 Leistungsspektren von Dieselmotoren

- Motoren in modernen Lokomotiven mit
- Leistungen bis

- im VT-Einsatz:



MTU 12V 4000, Quelle: mtu-online.de



MTU Powerpack 6H 1800, Quelle: mtu-online.de

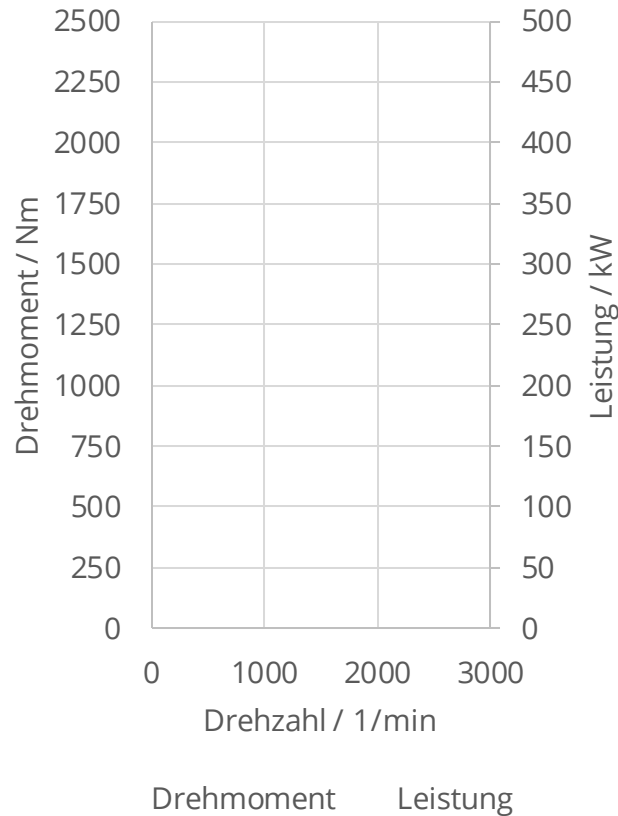
Motorbauart	typ. Drehzahl [min ⁻¹]	Drehzahlbereich [min ⁻¹]

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

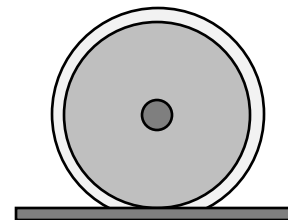
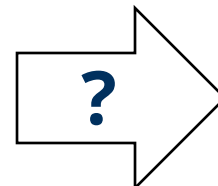
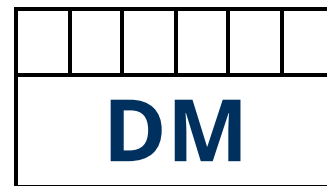
3.2 Dieseltriebfahrzeuge

3.2.4 Leistungsübertragungsarten

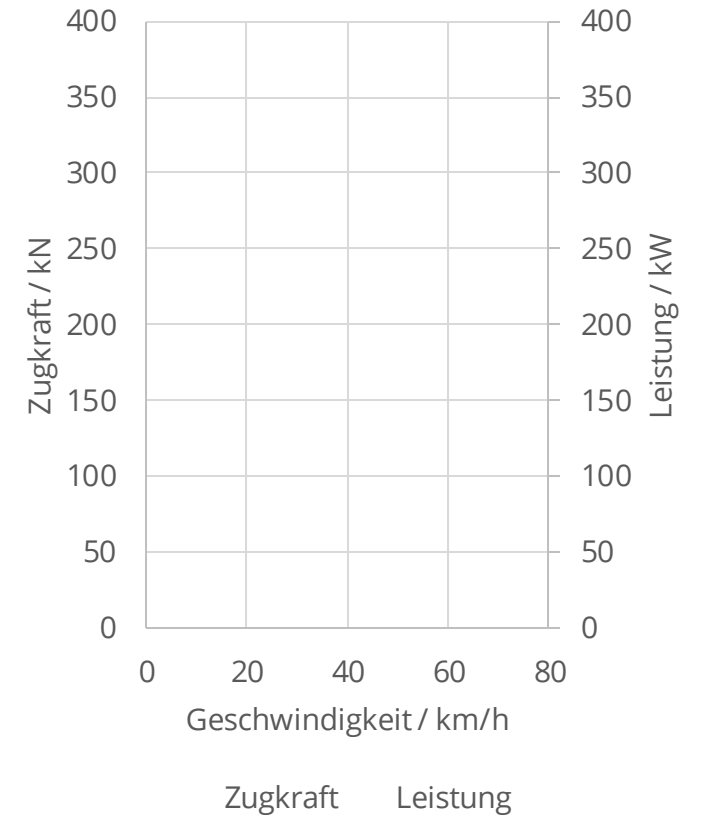
Dieselmotorcharakteristik



Warum eine Leistungsübertragung?



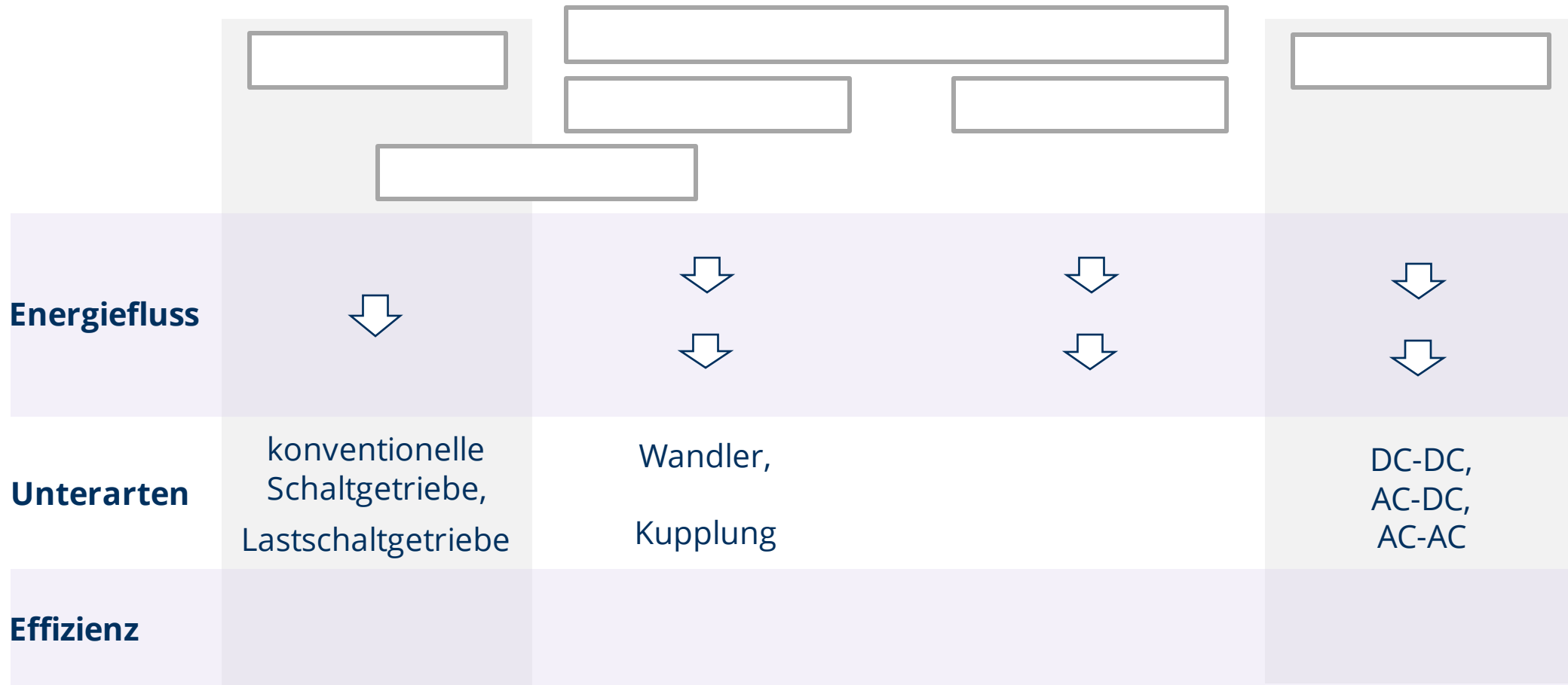
Zugkraftcharakteristik



3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.2 Dieseltriebfahrzeuge

3.2.4 Leistungsübertragungsarten



3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.2 Dieseltriebfahrzeuge

3.2.4 Leistungsübertragungsarten - Mechanische LÜ

Vorteile:

- hoher Wirkungsgrad
- einfacher Aufbau

Nachteile:

- hoher Verschleiß
- Lücken in Zugkraftkennlinie
- nur für kleine Leistungen geeignet

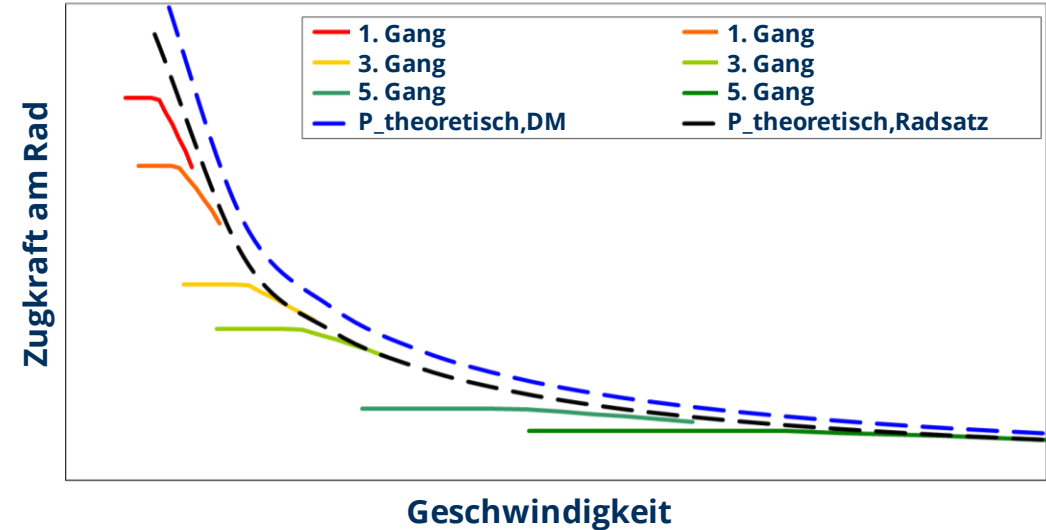
nur noch historische Fahrzeuge



Foto: Martin Kache

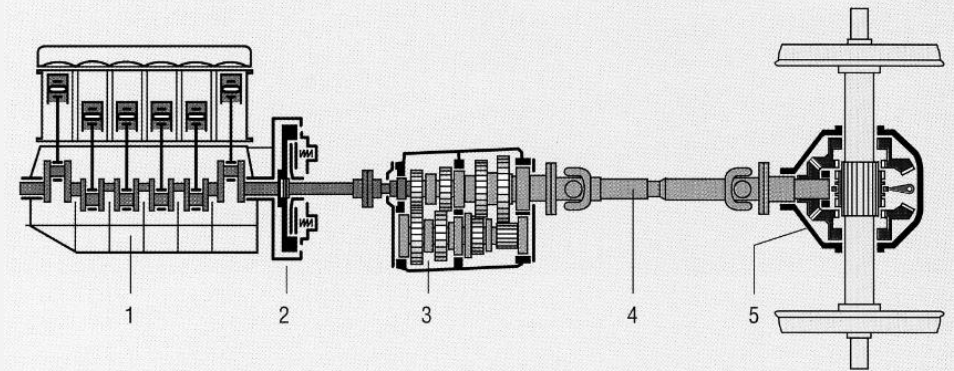
Beispielfahrzeug - Schienenbus

Zugkraft-Charakteristik 6-Gang-Getriebe



typischer Aufbau:

- 1) Dieselmotor
- 2) Kupplung
- 3) Schaltgetriebe
- 4) Gelenkwelle
- 5) Radsatz-Wendegetriebe



3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

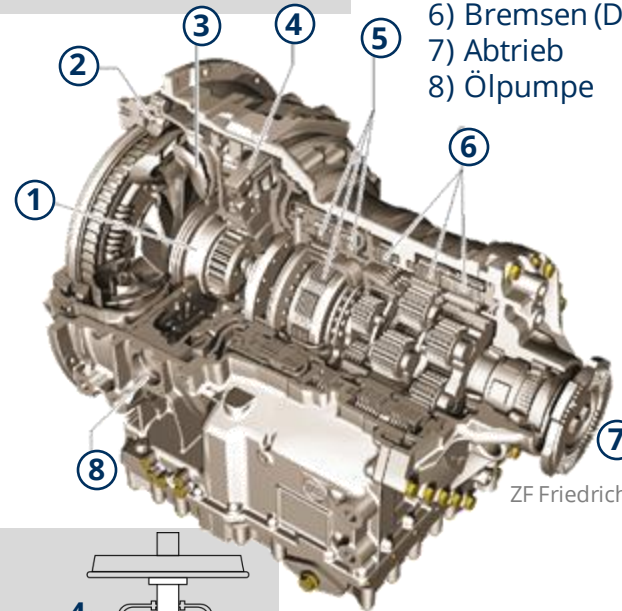
3.2 Dieseltriebfahrzeuge

3.2.4 Leistungsübertragungsarten - Hydromechanische LÜ

Vorteile:

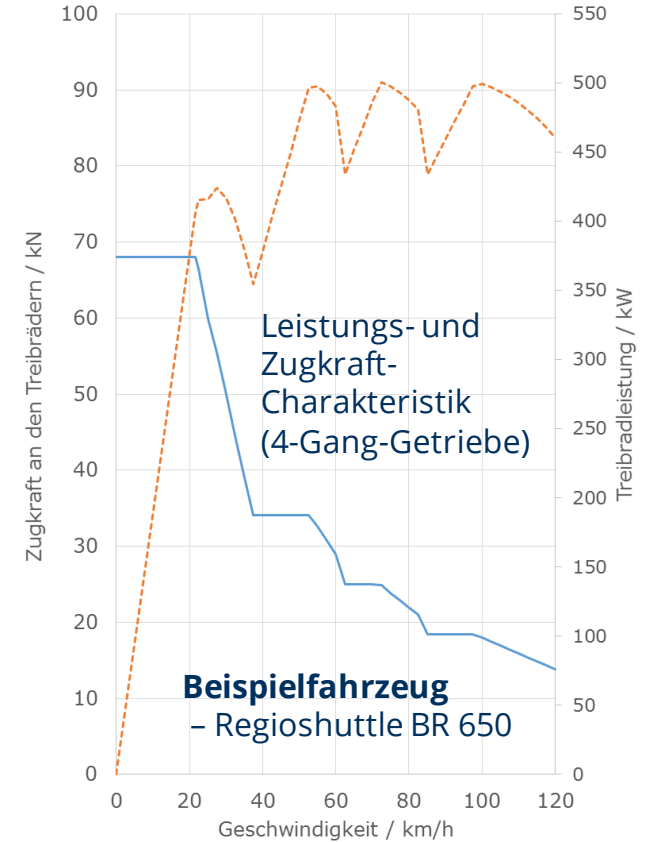
- typische Getriebe:
- ZF Ecomat/EcoLife (s. Bild)
 - Voith DIWA

- 1) Antrieb
- 2) Wandler-Überbrückungskupplung
- 3) Drehmomentwandler
- 4) Retarder
- 5) Kupplungen (A, B, C)
- 6) Bremsen (D, E, F)
- 7) Abtrieb
- 8) Ölpumpe



Quelle: ZF Friedrichshafen AG

Nachteile:

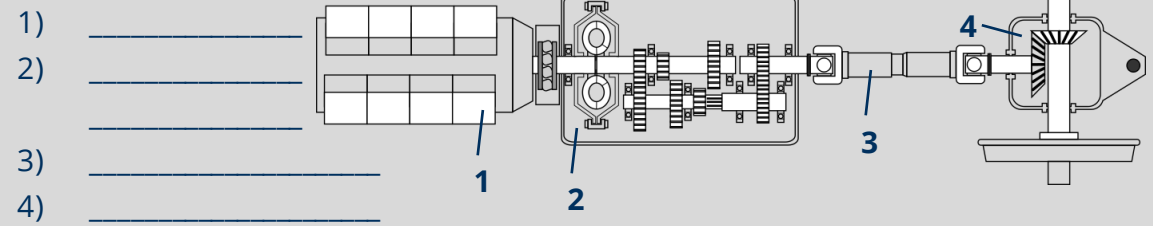


Beispielfahrzeug - Regio Shuttle BR 650



Foto: Martin Kache

typischer Aufbau:



Anwendung:

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.2 Dieseltriebfahrzeuge

3.2.4 Leistungsübertragungsarten - Hydrostatische LÜ

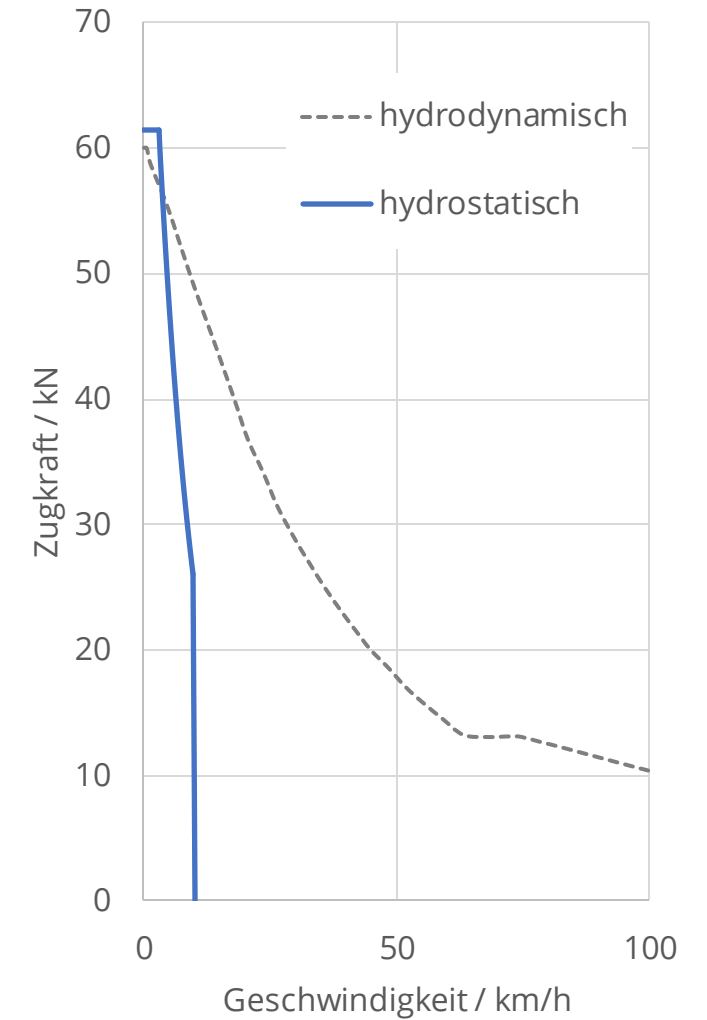
Vorteile:

Nachteile:

Beispielfahrzeug BR 703

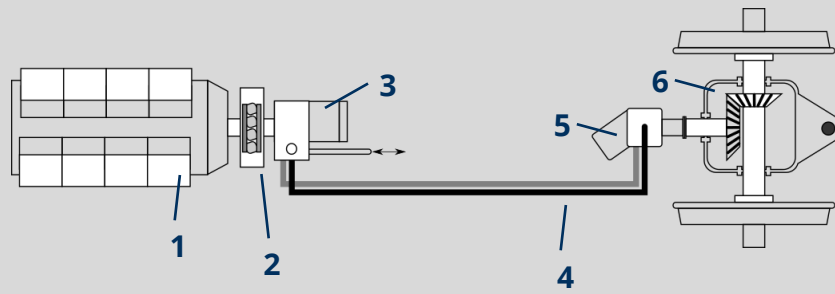


Foto: Reinhard Gessen



typischer Aufbau:

- 1) Dieselmotor
- 2) _____
- 3) _____
- 4) _____
- 5) _____
- 6) Radsatzgetriebe



Anwendung:

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

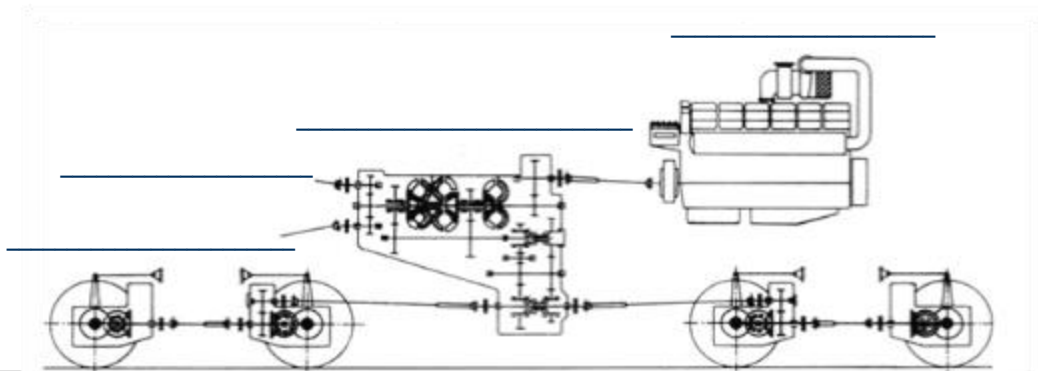
3.2 Dieseltriebfahrzeuge

3.2.4 Leistungsübertragungsarten - Hydrodynamische LÜ

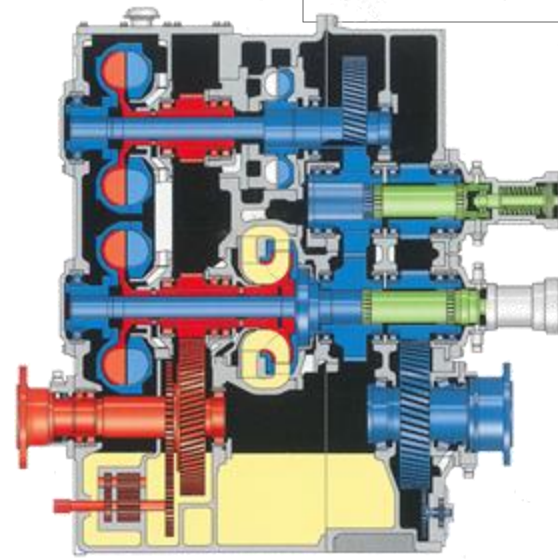
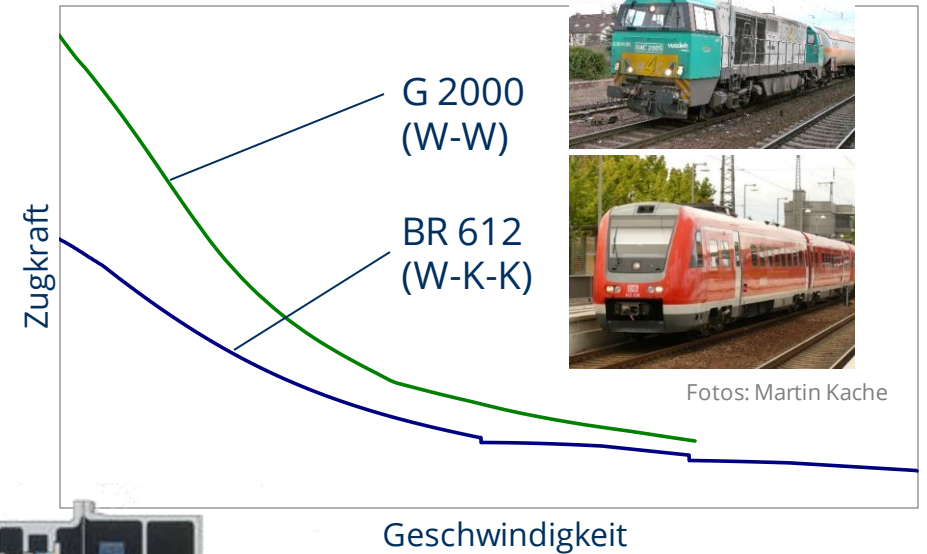
Vorteile:

Nachteile:

Anwendung:



Zugkraft-Charakteristiken



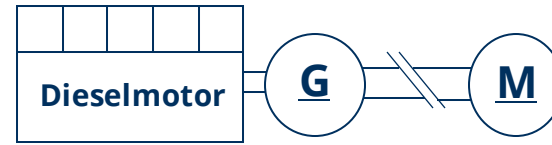
Beispiel Strömungsgetriebe:
T 312bre (Referenz BR 612)
– Dreiganggetriebe
– Bauart W-K-K
– über 90% Wirkungsgrad
in den Kupplungsgängen

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

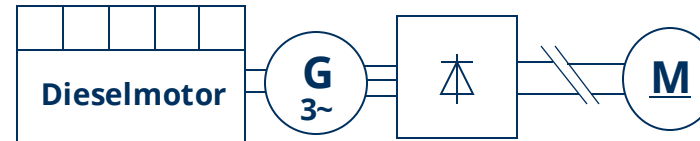
3.2 Dieseltriebfahrzeuge

3.2.4 Leistungsübertragungsarten - Elektrische LÜ

Vorteile:

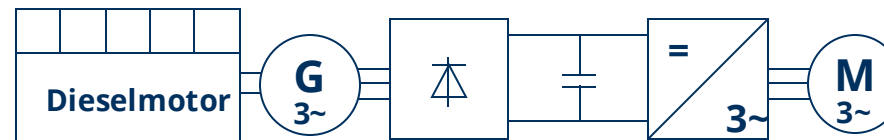


Nachteile:



Anwendung:

→ Typische Systemaufbauten:



3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.2 Dieseltriebfahrzeuge

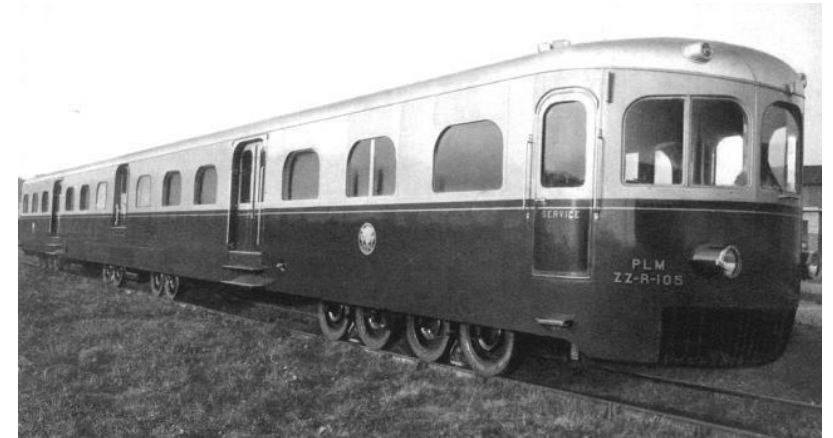
3.2.5 Frühe Fahrzeugentwicklungen

Triebwagen

- erste Serienfahrzeuge ab 1905 in USA und Europa, beschleunigte Entwicklung nach 1. WK in Europa
- Anfang 1920er Jahre großer Bedarf an Triebwagen in ganz Europa
- Oberbau-schonende, leichte Fahrzeuge für kostengünstigen Personenverkehr auf Nebenbahnen (→ LVT)
- schnelle, leistungsstarke Fahrzeuge (in Leichtbauweise) für Städteverbindungen (→ SVT)



Quelle: Wikipedia



Quelle: Wikipedia

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.2 Dieseltriebfahrzeuge

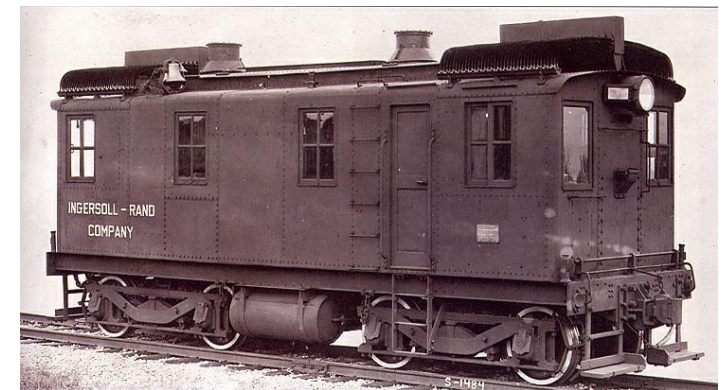
3.2.5 Frühe Fahrzeugentwicklungen

Kleinlokomotiven

- bereits Anfang 20. Jh. technisch gut umsetzbar:
 - mechanische LÜ
 - kleine erf. Motorleistungen
- durch betriebliche Vorteile frühe Anwendungen von Kleinlokomotiven mit VM auf Bf mit geringem Rangierbetrieb
- leichte Bedienbarkeit, schneller Betriebsbereitschaft, Personaleinsparung
- in D ab 1930er zahlreiche Kleinlok-Beschaffungen („Leistungsgruppe I/II“ → bis 31/109 kW, insg. 1300 Stk. sog. K/Kö)
- „Kleinlok“ nach US-Maßstäben – 1925: ALCO „Boxcab“
- erste relevante Serien-Diesellokomotive mit el. LÜ (Bo'Bo', $P_{inst} = 220 \text{ kW}$, 30 Stk.)



Foto: Wikipedia/Gerne



Quelle: sbiii.com

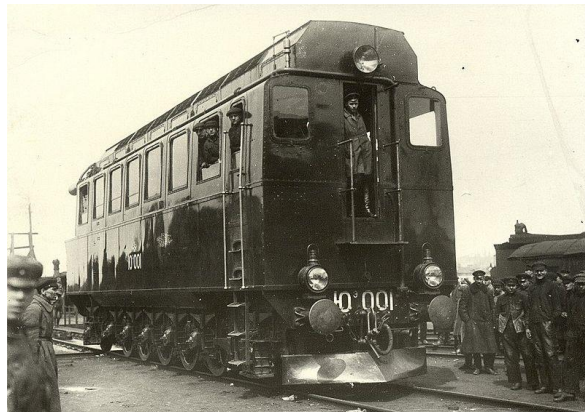
3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.2 Dieseltriebfahrzeuge

3.2.5 Frühe Fahrzeugentwicklungen

Streckenlokomotiven

- Entwicklung relevanter Fahrzeuge zunächst v. a. in USA o. UdSSR
- ab 1924 erste leistungsfähige und erfolgreiche Streckenlokomotiven mit elektrischer LÜ
- bis Ende 1930er erreichen Lokomotiven mit el. LÜ (DC-DC) in USA höchste Leistungen
 - 1937: EMD E-Serie, 1300 kW pro Fahrzeugeinheit (2 DM, Radsatzfolge A1A' A1A')
 - 1939: EMD F-Serie 1000 kW pro Fahrzeugeinheit (1 DM, Radsatzfolge Bo'Bo')



Quelle: Wikipedia



Quelle: Wikipedia



Quelle: Wikipedia

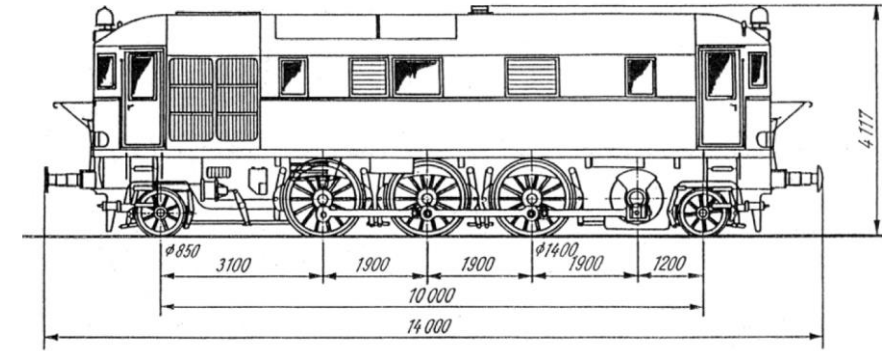
3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.2 Dieseltriebfahrzeuge

3.2.5 Frühe Fahrzeugentwicklungen

Streckenlokomotiven

- Entwicklung des Strömungsgetriebes ermöglicht hydrodyn. LÜ
→ leistungsstarke, leichte Streckenlokomotiven
(el. LÜ zunächst nur bei $m_{RS} \gg 20$ t möglich)
- 1935: V 140 001 (Einzelstück):
 - Radsatzfolge 1'C1' (1-Rahmen-Fahrzeug)
 - $P_{inst} = 1030$ kW
 - $F_z = 140$ kN
 - $m_{Tfz} = 83$ t (12,4 kW/t), $m_{RS} = 17,3$ t
 - $m_T = 51,7$ t
 - $v_{max} = 100$ km/h
 - $D_T = 1400$ mm
- aufgel. 8 Zyl.-Viertakt-DM ($n_{nenn} = 700$ min⁻¹), Voith-Getriebe (WKK)
- Blindwelle + Stangenantrieb

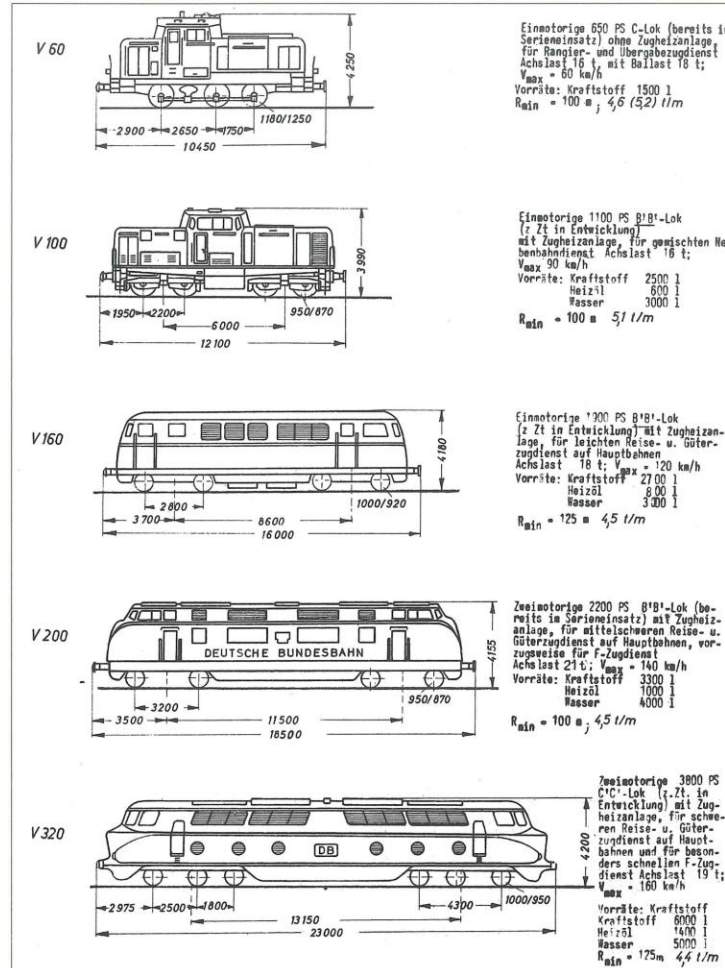


Quelle: Wikipedia

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

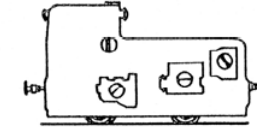
3.2 Dieseltriebfahrzeuge

3.2.6 Beschaffungsprogramme der Deutschen Bahnen

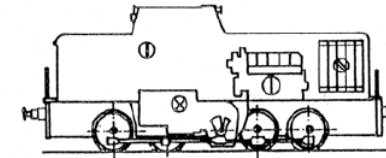


DB-Entwicklungsprogramm (Stand 1958)

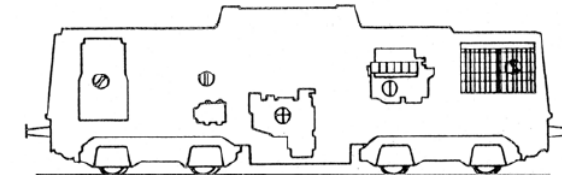
V 18 V 22



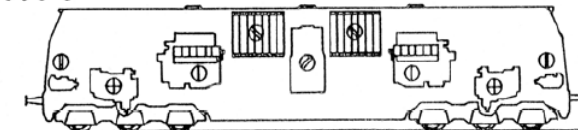
V 60



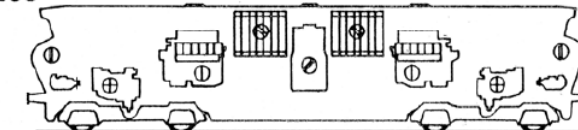
V 100



V 180C'C'



V 200



DR Diesellok-Typenprogramm 1957

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.2 Dieseltriebfahrzeuge

3.2.6 Beschaffungsprogramme der Deutschen Bahnen

Deutsche Bundesbahn

- aus BR-Familie V160 (DB BR 215-219, Stückzahl > 800) etabliert sich Standardtyp für DB-Streckenlok: **BR 218**

- Radsatzfolge B'B' (Brückenfahrzeug)
- $P_{inst} = 1839...2000$ kW
- $F_Z = 235$ kN (Langsamgang)
- $m_{Tfz} = 80$ t (25 kW/t)
- $m_{RS} = 20$ t
- $v_{max} = 160$ km/h
- $D_T = 1000$ mm



Foto: Wikipedia/Thomas Wolf

- verschiedene Motortypen (nach Remotorisierung/Modernisierung), jeweils $n_{nenn} = 1500$ min⁻¹
- el. Zugheizanlage via Umrichter von DM gespeist

Deutsche Reichsbahn

- Bedarf an Diesellok mit $P > 2000$ kW
- zunächst leistungsstarke Güterzugdiesellokomotiven mit *el. LÜ* importiert (DR BR 120, 130/131)
- Forderung nach leistungsstarker Universallokomotive erst durch DR **BR 132** (DB AG BR 232) erfüllt:

- Radsatzfolge Co'Co'
- $P_{inst} = 2200$ kW
- $F_Z = 295$ kN
- $m_{Tfz} = 122$ t (18 kW/t)
- $m_{RS} = 20$ t
- $v_{max} = 120$ km/h
- $D_T = 1050$ mm



Foto: Martin Kache

- 4-Takt-Dieselmotor 5D49 – $n_{nenn} = 1000$ min⁻¹
- el. Zugheizanlage

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.2 Dieseltriebfahrzeuge

3.2.6 Beschaffungsprogramme der Deutschen Bahnen

Deutsche Bahn AG

- nach Wiedervereinigung BRD/DDR und Gründung DB AG (01.01.1994) stark geänderter Fahrzeugbedarf bei Dieseltriebfahrzeugen
 - Güterzug-Diesellokomotiven, Diesellokomotiven m. Dampfheizung ↘
 - Universallokomotiven (m. el. Zugheizung) →
 - Triebwagen für den Regionalverkehr ↗
- teilw. Rekonstruktion und Modernisierungsprogramme
 - z. B. BR 232 für 140 km/h → BR 234
- Neubeschaffungen vorrangig auf VT (teilw. mit Neigetechnik) beschränkt
 - BR 605, 610, 612, 642, 643, 644, 650, ... u. a.
- wenige Neubau-Lokomotiven:
 - Voith Gravita BR 261/265 (Rangierlok m. hydrodyn. LÜ, als Ersatz für V90)
 - Bombardier Traxx DE ME BR 245 (Streckenlok m. 4 DM, el. LÜ, Ersatz BR 218)
- Tendenz: Fahrzeugbeschaffung „von der Stange“, keine gemeinsamen Entwicklung zw. Betreiber (DB AG) und Hersteller
- keine einheitlichen Fahrzeugkonzepte wie bei ehem. Staatsbahnen



Foto: Martin Kache



Foto: Martin Kache



Foto: flickr/Thomas Naas

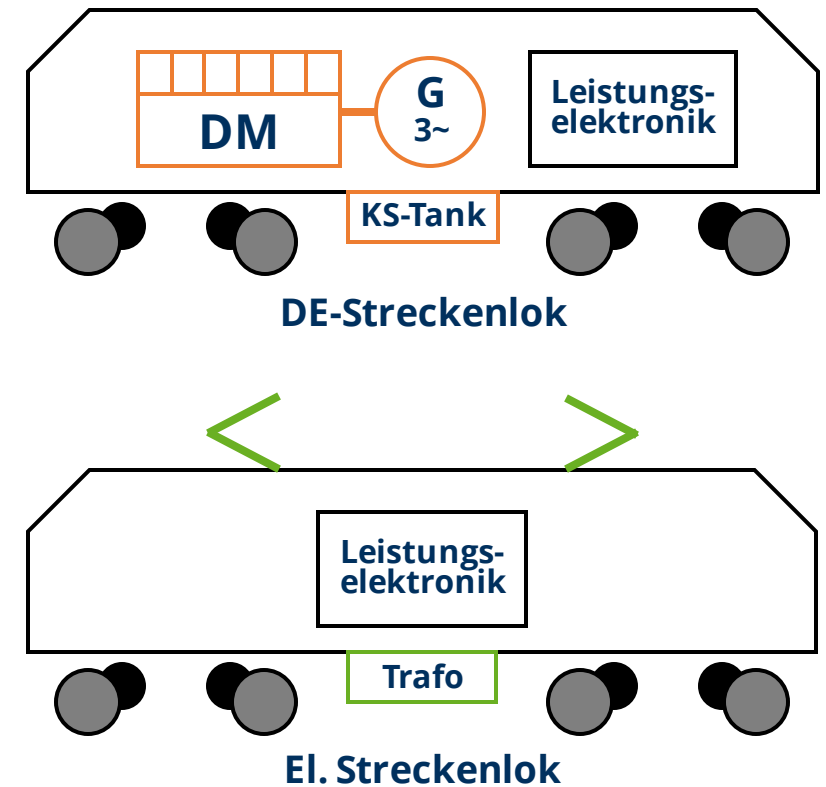
3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.2 Dieseltriebfahrzeuge

3.2.7 Aktuelle Fahrzeugkonfigurationen

Plattformkonzepte (Lokomotiven)

- parallel zu el. Tzf setzen sich bei Herstellern zunehmend sog. Plattform- u. Baukastenkonzepte durch
- Gründe:
 - kleinere Stückzahlen pro Auftrag (keine großen „Staatsaufträge“ mehr)
 - Kosten- und Konkurrenzdruck der Hersteller
 - rationellere Fertigung nötig
- Lösung: Anpassung einer flexiblen, modularen Grundkonstruktion an Kundenwunsch
- außerdem: Durchsetzen der el. LÜ (DAT) bei Diesellokomotiven und größeren VT
- stärkere Ähnlichkeit zwischen Diesel- und Elektrotriebfahrzeugen begünstigt Schaffung gleicher „Plattform“
- Bsp: Siemens Vectron, Bombardier Traxx, Stadler Flirt, ...



3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.2 Dieseltriebfahrzeuge

3.2.7 Aktuelle Fahrzeugkonfigurationen

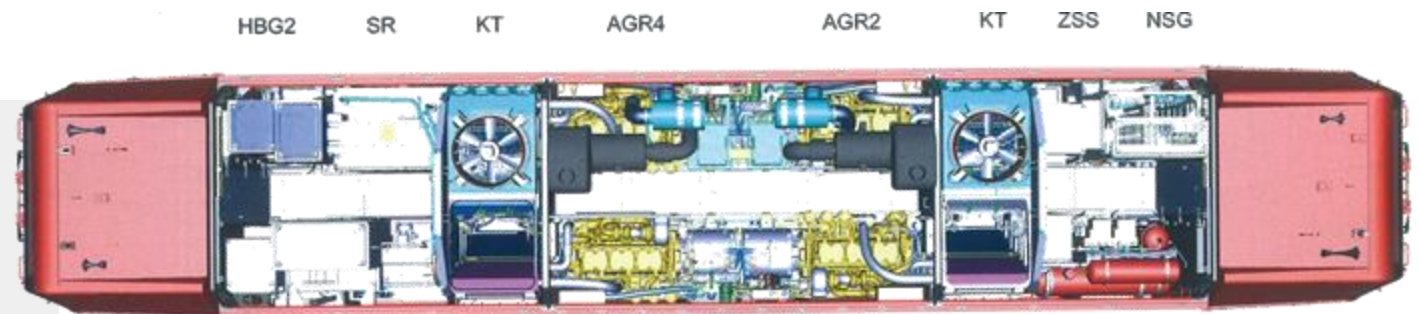
Multi-Engine-Fahrzeuge

— Beispielfahrzeug **Traxx DE ME P160**

- Radsatzfolge Bo'Bo'
- $P_{inst} = 4 \times 563 \text{ kW} (= 2252 \text{ kW})$
- $F_Z = 300 \text{ kN}$
- $m_{Tfz} = 81 \text{ t} (36 \text{ kg/kW})$
- $m_{RS} = 20,3 \text{ t}$
- $v_{max} = 160 \text{ km/h}$
- $D_T = 1250 \text{ mm}$

— Motoren mit Generatoren zu sog. „Gensets“
zusammengefasst → austauschbare Einheit

— weitere Fahrzeugbsp: Alstom H3 Bi-Diesel, Vossloh G6 ME, NRE 3GS21B (USA)



ES	HBG1	AGR3	AGR1	DG
HBG	Hilfsbetriebegegerüst		DLG	Druckluftgerüst
SR	Stromrichter		ZSS	Zugsicherungsschrank
KT	Kühlturm		NSG	Niederspannungsgerüst
AGA	Aggregat (Diesel+ Generator)		ES	Elektronikschrank

Abbildung: Bombardier

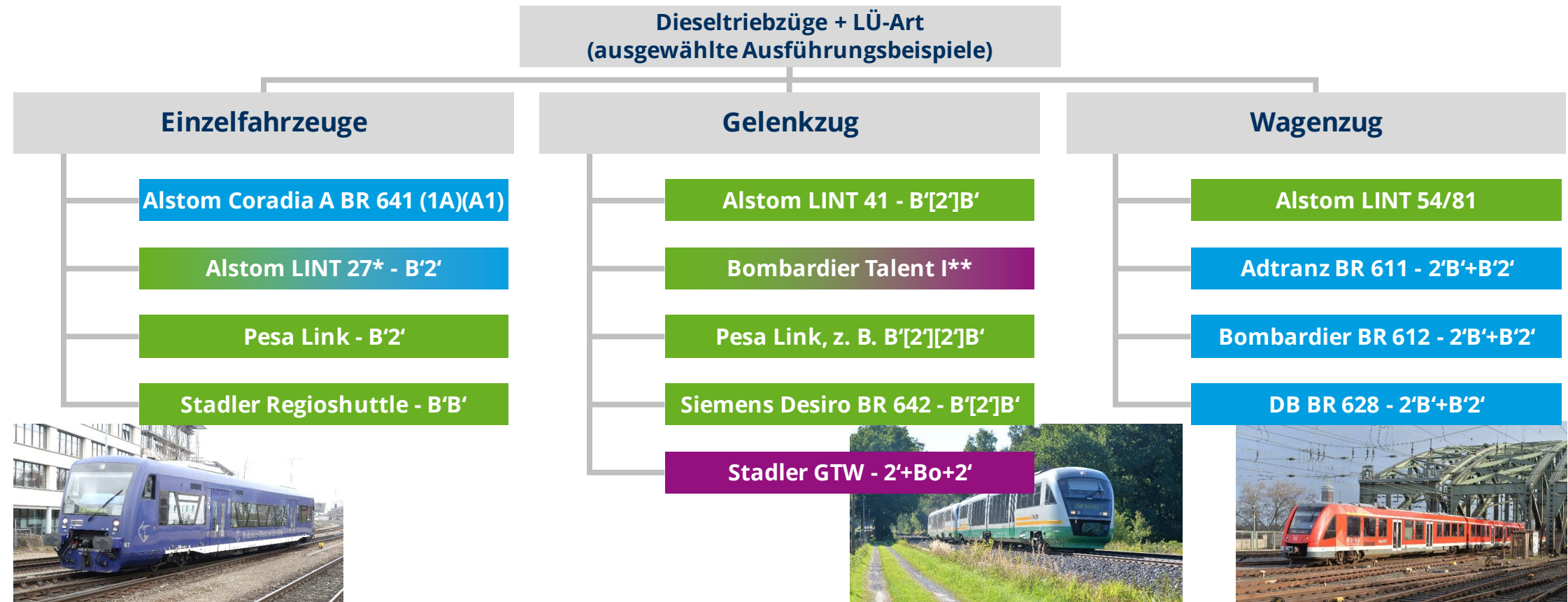
3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.2 Dieseltriebfahrzeuge

3.2.7 Aktuelle Fahrzeugkonfigurationen – Triebwagen & -züge

Legende LÜ-Art

- hydromechanisch
- hydrodynamisch
- elektrisch



*Variante DBAG BR 640 –

**Varianten B'[2]B', B'[2][2]B' (2- bzw. 3-Teiler) – , Bo'[2][2][2]Bo' –

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

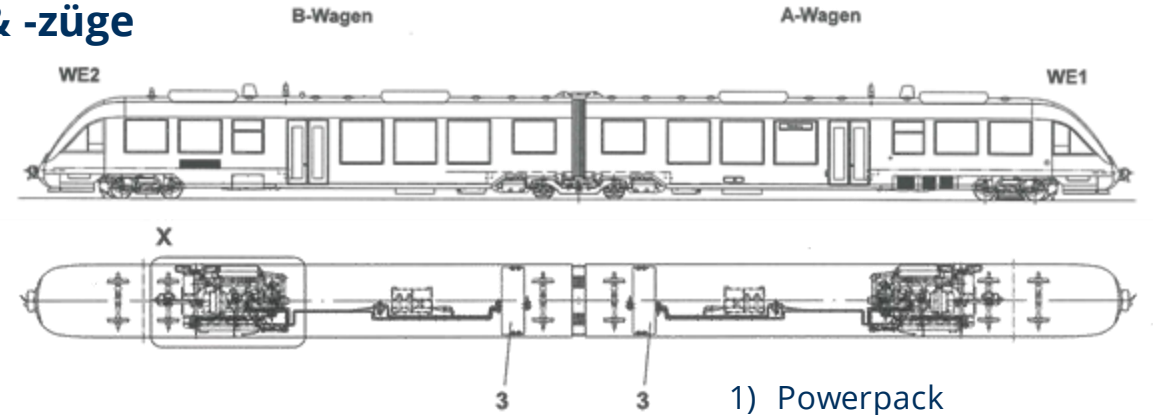
3.2 Dieseltriebfahrzeuge

3.2.7 Aktuelle Fahrzeugkonfigurationen – Triebwagen & -züge

Alstom Coradia LINT 41

- Radsatzfolge B'[2]B'
- $P_{inst} = 2x (315...390) kW$ (je nach Ausführung)
- $a = 0,6 m/s^2$
- $m_{Tfz} = (63,5...68) t$
- $v_{max} = (120...140) km/h$
- $D_T = 770 mm$

— MTU Motor 6R 183 TD13H mit 5-Gang Ecomat-Getriebe (hydromech.)



- 1) Powerpack
- 2) Gelenkwelle
- 3) Kraftoffanlage
- 4) Kühlanlage
- 5) Radsatzwendegetriebe

Detail X

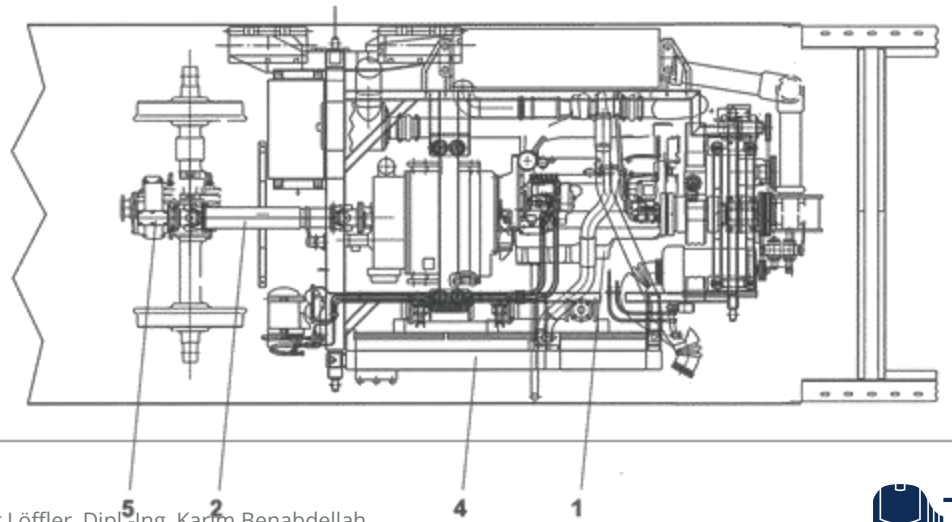


Foto: wikimedia/EveryPicture

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.2 Dieseltriebfahrzeuge

3.2.7 Aktuelle Fahrzeugkonfigurationen – Triebwagen & -züge

Stadler GTW (BR 646 u. a.)

- Radsatzfolge 2'+(Bo)+'B'
- $P_{inst} = 550 \text{ kW}$
- $a_{Anf} = 0,85 \text{ m/s}^2$
- $m_{Tfz} = 57,4 \text{ t}$
- $v_{max} = 120 \text{ km/h}$
- $D_T = 860 \text{ mm}, D_L = 680 \text{ mm}$

- Mittelfahrzeug mit Powerpack:
 - MTU Motor 12V 183TD13 E2 mit el. LÜ (AC-AC)
 - 3AC Synchron-Traktionsgenerator (460 kW)
 - ASM Fahrmotoren (2x 262 kW)

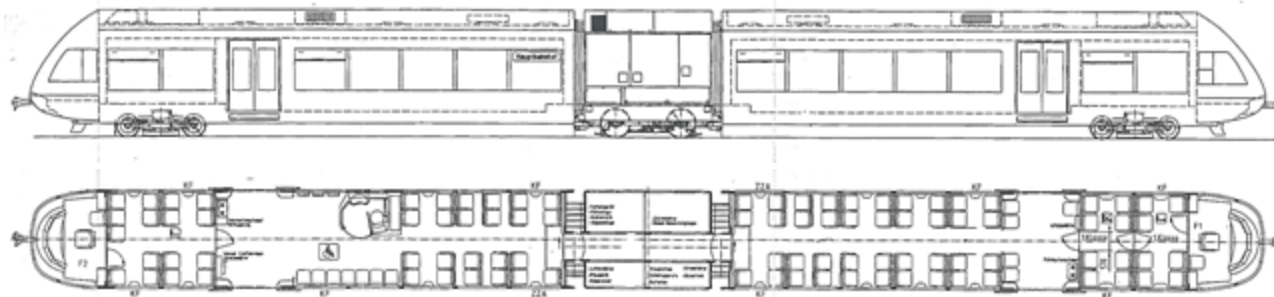


Foto: wikimedia/Knut Rosenthal

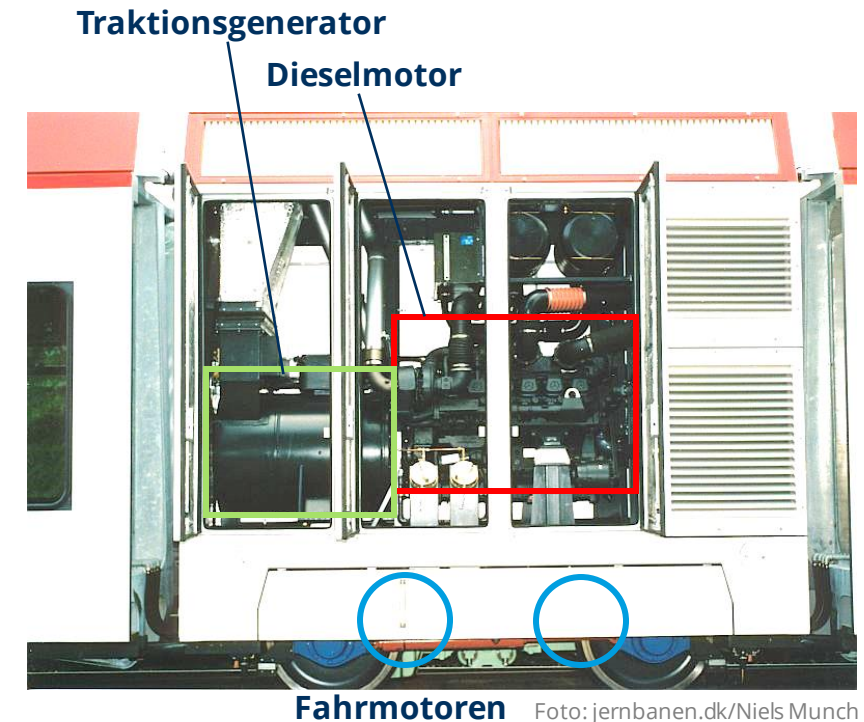


Foto: jernbanen.dk/Niels Munch

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.2 Dieseltriebfahrzeuge

3.2.7 Aktuelle Fahrzeugkonfigurationen – Vergleich Lok

Hersteller	Modell	RS-Folge	P _{inst.} [kW]	Masse [t]	V _{max} [km/h]	Baujahr	Motor	Motor-Drehzahl	spezif. Leistung [kW/t]	Leistung/RS
NEWAG	311Da	Co'Co'	2133	120	100	2007	GE 7FDL 12 EFI	1050	17,8	355,5
Vossloh	333.3	Co'Co'	2240	120	120	2002	GM-EMD 16-645 E3	950	18,7	373,3
EMD	JT42CWR "Class 66"	Co'Co'	2420	126	120	1998	GM-EMD 12N-710G3B-EC	950	19,2	403,3
Bombardier	DE-AC33C "Blue Tiger"	Co'Co'	2460	126	120	1996	GE 7FDL12	1050	19,5	410,0
GE Transportation	PH37ACai (EU)	Co'Co'	2750	126	120	2012	PowerHaul P616	1500	21,8	458,3
Voith	Maxima 30CC	C'C'	2750	126	120	2008	ABC 12V DZC	1000	21,8	458,3
Henschel	DE 2500 (202 002)	Bo'Bo'	1840	76	120	1971	MTU MA 12 V 956 TB	1500	24,2	460,0
Siemens	ER20	Bo'Bo'	2000	80	140	2002	MTU 16V 4000 R41	1800	25,0	500,0
Bombardier	DE2000	Bo'Bo'	2100	81,6	160	1997	2x MTU 12V396TC13	1800	25,7	525,0
Bombardier	TRAXX P160 DE	Bo'Bo'	2200	84	160	2006	MTU 16V 4000 R41L	1800	26,2	550,0
Voith	Maxima 40CC	C'C'	3600	135	120	2006	ABC 16V DZC	1000	26,7	600,0
Siemens	Charger (USA)	Bo'Bo'	3280	120	200	2016	Cummins QSK95	1700	27,3	820,0
Bombardier	TRAXX DE ME	Bo'Bo'	2252	82	160	2012	4x CAT C18	2000	27,5	563,0
Alstom	BB75400	Bo'Bo'	2400	86	120	2010	MTU 16V 4000 R43L	1800	27,9	600,0
PESA	Gama 111 Db	Bo'Bo'	2400	84	160	2014	MTU 16V 4000 R84	1800	28,6	600,0
Siemens	Vectron DE	Bo'Bo'	2400	84	160	2010	MTU 16V 4000 R84	1800	28,6	600,0
Stadler*	EURO 3000 Freight concept	Bo'Bo'	2460	82	120	2012	EMD 12N-710G3C-U2	950	30,0	615,0
GE	China Railways HXN5	Co'Co'	4660	150	120	2008	GE GEVO16	1050	31,1	776,7
Stadler*	UKLIGHT	Bo'Bo'	2800	85	160	2013	CAT C175-16	2000	32,9	700,0
Stadler*	EURO LIGHT	Bo'Bo'	2800	79	200	2010	CAT C175-16	2000	35,4	700,0

*ehem. Vossloh

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.2 Dieseltriebfahrzeuge

3.2.7 Aktuelle Fahrzeugkonfigurationen – Vergleich VT

Hersteller	Modell	RS-Folge	P _{inst.} [kW]	Masse [t]	V _{max} [km/h]	Baujahr	Motor	Motor-Drehzahl	spezif. Leistung [kW/t]
Alstom	Coradia Polyvalent (4-Teiler)	Bo'2'2'2'Bo'	1360	150	160	2011	MAN D2676 LE62X	1800	9,1
Alstom	Lint 27 (BR 640)	B'2'	315	40,2	120	1999	MTU 6R 183 TD13H	1900	7,8
Alstom	Lint 41	B'[2']B'	630	63	140	1999	MTU 6R 183 TD13H	1900	10,0
Bombardier	BR 612	2'B'+B'2'	1120	116	160	1998	Cummins QSK19-R	2000	9,7
Pesa	Link	B'2'B'	1130	89	140	2012	MTU 6H 1800 R85L	1800	12,7
Siemens	Desiro BR 642	B'2'B'	550	88	120	1999	MTU 6R 183 TD13H	1900	6,3
Stadler	RS1	B'B'	514	40	120	1996	MAN D2865 LUH 7	2000	12,9
Stadler	GTW (BR 646)	2'+(Bo)+2'	550	57,4	120	1996	MTU 12V 183 TD 13 E2	2100	9,6
Alstom	Coradia A TER (BR 641)	(1A)(A1)	514	48,7	120	2001			10,6
Adtranz	BR 611	2'B'+B'2'	1080	116,0	160	1996	MTU 12V 183 TD 13	2100	9,3
Alstom	Lint 54 (BR 622)	B'2+B'B'	1170	98	140	2013			11,9

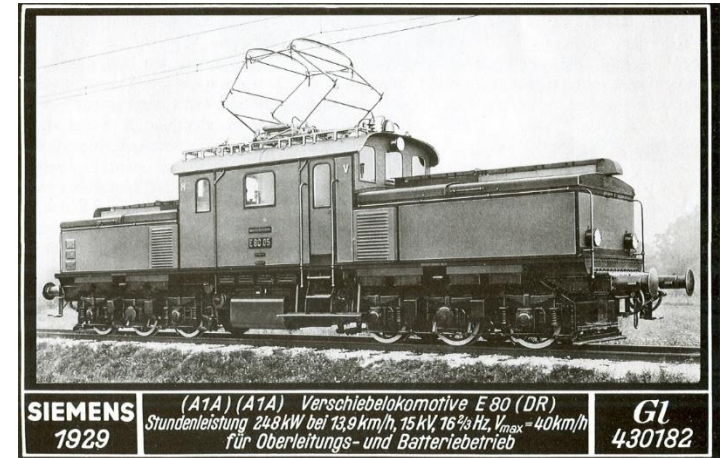
3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.3 Zweikrafttriebfahrzeuge

3.3.1 Einführung & Definition

„Zweikrafttriebfahrzeug“ (2K-Tfz)

- grundsätzliche Idee in D bereits Ende 1920er Jahren umgesetzt
 - DRG E 80
- Entwicklungsschwerpunkt bei Vollbahnen: Zweikraftfahrzeuge für Diesel- und Oberleitungsbetrieb
- frühe Fahrzeugentwicklungen (vorrangig für DC-Netze):
 - Jung ED (Werkbahnlok, D)
 - EMD FL 9 (DE-Diesellok mit Stromabnehmer für OL/Stromschiene, USA)



Fotos: Wikipedia/rapidotrains.com

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

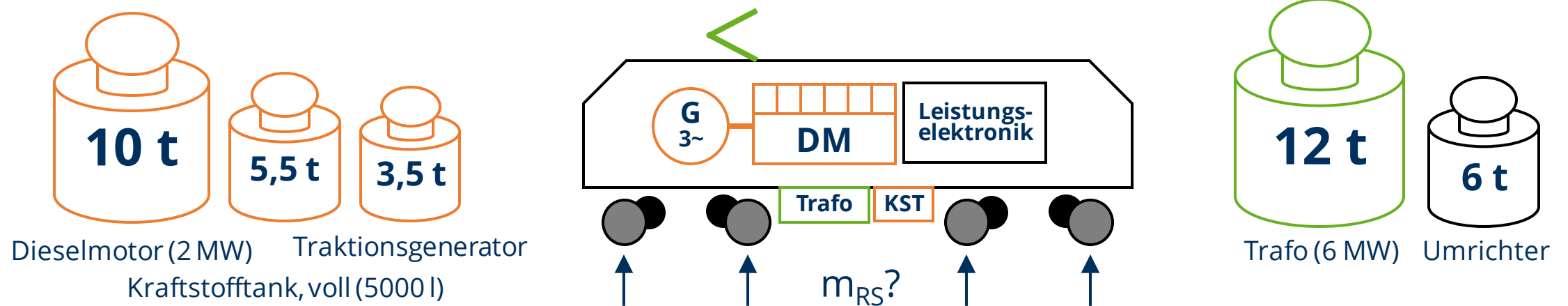
3.3 Zweikrafttriebfahrzeuge

3.3.2 Anforderungen und typische Einsatzfelder

Zielkonflikt:

→ bei AC-Betrieb mit schwerem Trafo (bes. bei 16,7 Hz) und entsprechendem DM schwer vereinbar

Beispiel: Hauptantriebskomponenten f. Tfz mit $P = 2 \text{ MW Diesel}$, 6 MW elektrisch (Trafo für 15 kV , $16,7 \text{ Hz}$ Netz)



3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.3 Zweikrafttriebfahrzeuge

3.3.2 Anforderungen und typische Einsatzfelder

Einsatz von 2K-Tfz im Personenverkehr (auch Einsatzfälle bei BOStrab):

Einsatz von 2K-Tfz im Güterverkehr:



Foto: © Christopher Gore



Foto: © Robert Pisani



Foto: Wikipedia/Rainer Haufe



Foto: © Captrain

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

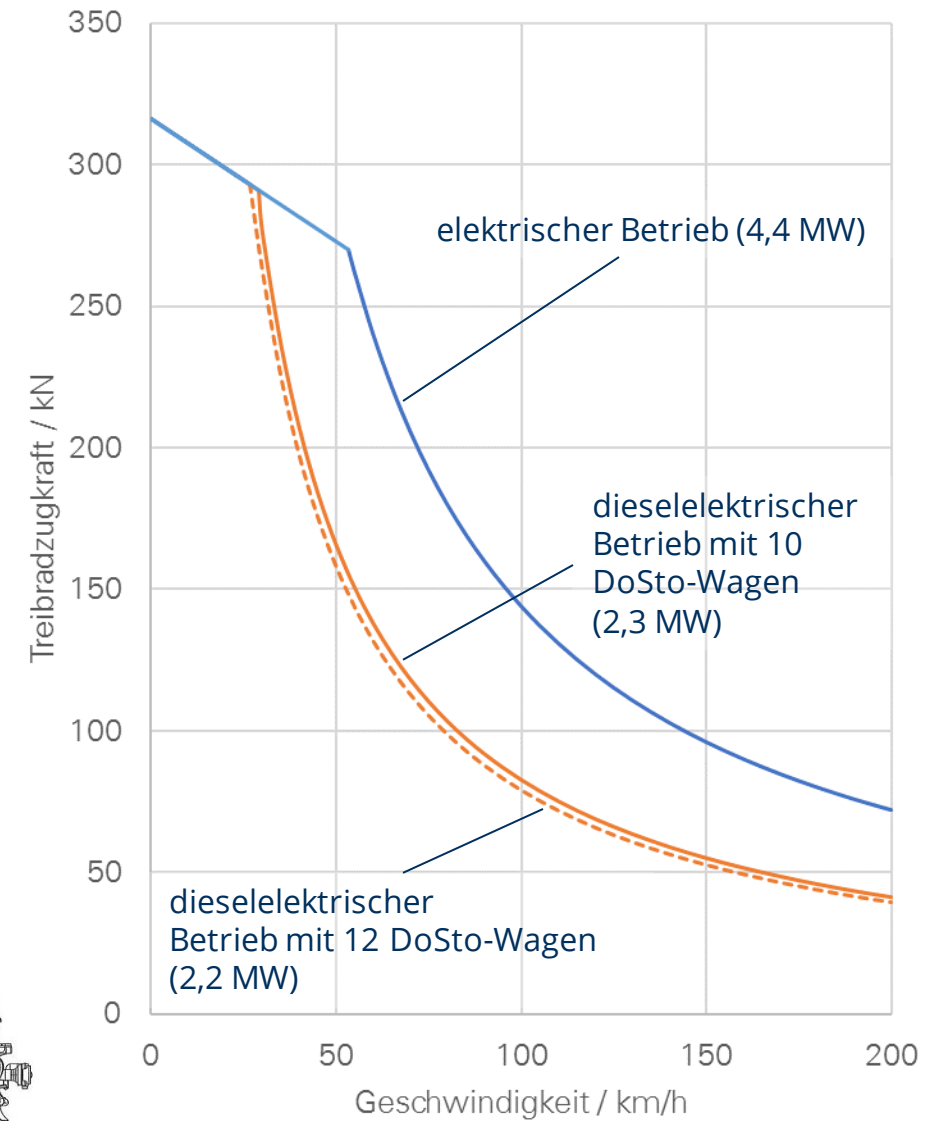
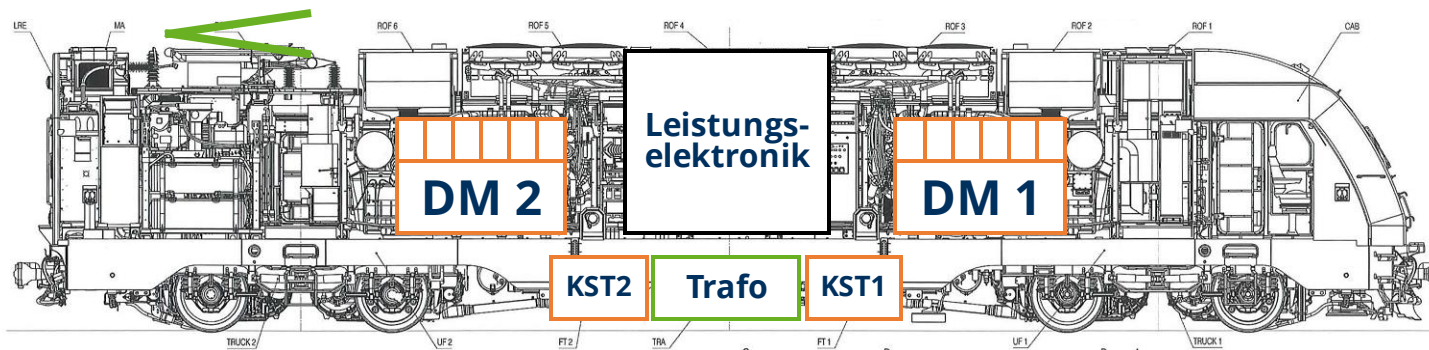
3.3 Zweikrafttriebfahrzeuge

3.3.3 Zweikraft-Streckenlokomotiven

Bombardier ALP 45-DP ($k_{DE} = 0,52$)

— Tfz für Intercity-Personenverkehr (E-Teil für AC Netze)

- Radsatzfolge Bo' Bo'
- $P_{el} = 4400 \text{ kW}$
- $P_{DM} = 2 \times 1567 \text{ kW} = 3134 \text{ kW}$
- $F_Z = 316 \text{ kN}$
- $m_{Tfz} = 128 \text{ t}$, $m_{RS} = 32 \text{ t}$
- $v_{max} = 200 \text{ km/h (el.)}$, $160 \text{ km/h (diesel-el.)}$



3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

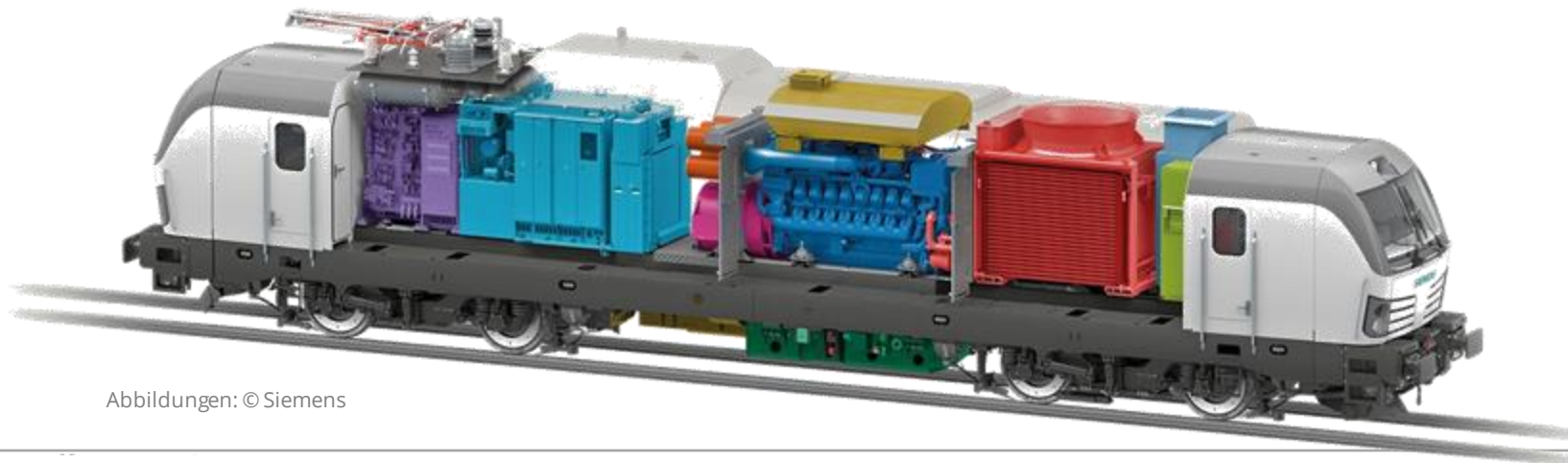
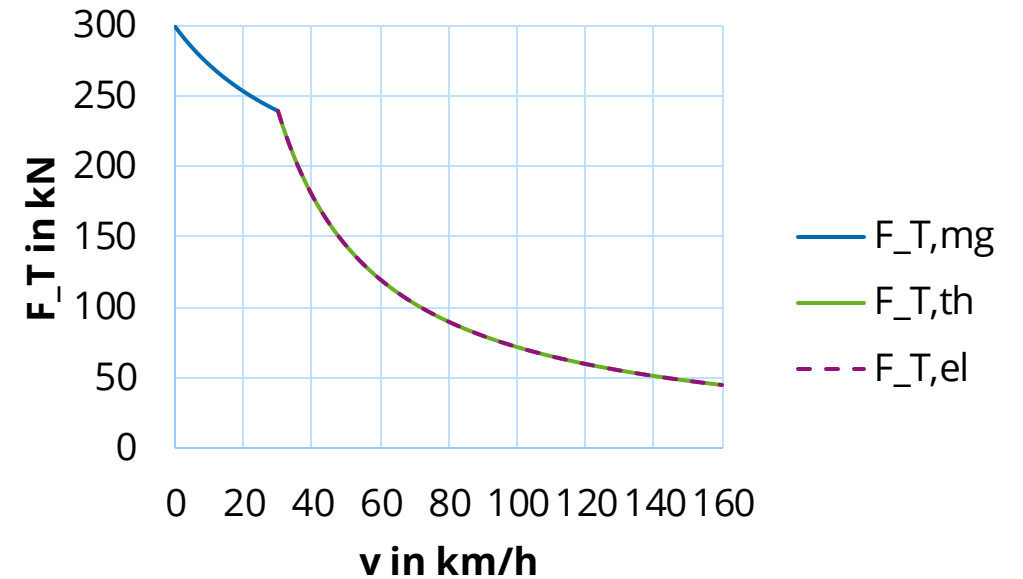
3.3 Zweikrafttriebfahrzeuge

3.3.3 Zweikraft-Streckenlokomotiven

Siemens Vectron Dual Mode ($k_{DE} = 1$)

— Tfz mit gleichberechtigten Antriebsmodi, vorrangig für Gv

- Radsatzfolge Bo'Bo'
- $P_{el} = 2000 \text{ kW}$
- $P_{DM} = 2600 \text{ kW}$
- $F_Z = 300 \text{ kN}$
- $m_{Tfz} = 90 \text{ t}$, $m_{RS} = 22,5 \text{ t}$
- $v_{max} = 160 \text{ km/h}$



Komponenten

- Bremswiderstand
- Zugsicherungsschrank
- Dieselmotor-Kühlanlage
- Dieselmotor
- Partikelfilter
- Verbrennungsluftansaugung
- Generator
- E-Block mit Zentrallüfter und Umschaltgerüst
- Bremsgerüst
- Kraftstoffbehälter
- Haupttransformator
- Stromabnehmer

Abbildungen: © Siemens

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.3 Zweikrafttriebfahrzeuge

3.3.3 Zweikraft-Streckenlokomotiven

CAF Bitrac CC 3600 ($k_{DE} = 0,65$)

— Tfz für Güterverkehr (E-Teil nur für DC Netze)

- Radsatzfolge Co' Co'
- $P_{el} = 4450 \text{ kW}$
- $P_{DM} = 2 \times 1800 \text{ kW}$ (2900 kW am TR)
- $F_Z = 440 \text{ kN}$
- $m_{Tfz} = 130 \text{ t}$
- $m_{RS} = 21,7 \text{ t}$
- $v_{max} = 120 \text{ km/h}$



Foto: Wikipedia/Ricardo Gómez

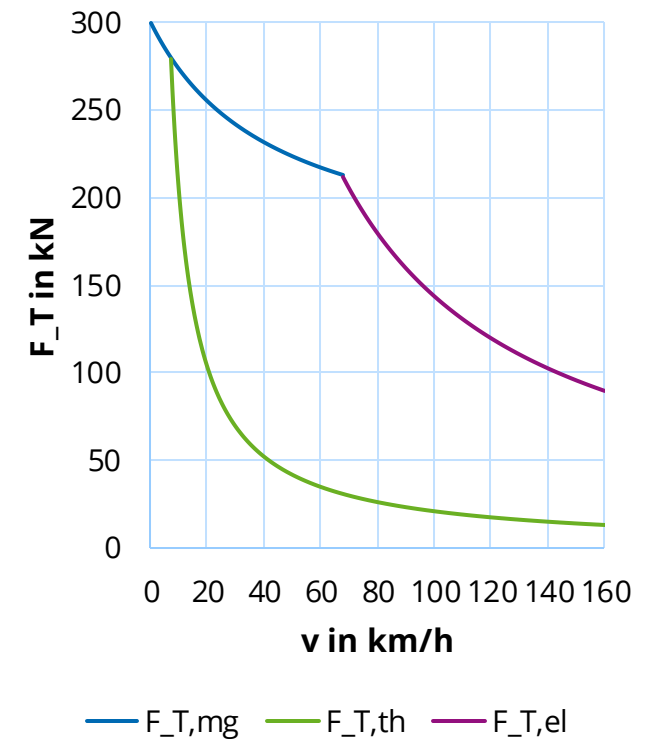


Foto: Martin Kache

Stadler UK Dual Class 88 ($k_{DE} < 0,18$)

— Tfz für Güterverkehr (E-Teil für AC Netze)

- Radsatzfolge Bo' Bo'
- $P_{el} = 4000 \text{ kW}$
- $P_{DM} = 700 \text{ kW}$
- $F_Z = 317 \text{ kN}$
- $m_{Tfz} = 86 \text{ t}$
- $m_{RS} = 21,5 \text{ t}$
- $v_{max} = 160 \text{ km/h}$



3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.3 Zweikrafttriebfahrzeuge

3.3.3 Zweikraft-Streckenlokomotiven

Stadler EuroDual BR 159 ($k_{DE} \approx 0,36$)

— Tfz mit gleichberechtigten Antriebsmodi, vorrangig für Güterverkehr

- Radsatzfolge Co'Co'
- $P_{el} = 6150 \text{ kW}$ (15 kV 16,7 Hz + 25 kV 50 Hz)
- $P_{DM} = 2800 \text{ kW}$
- $F_Z = 500 \text{ kN}$
- $m_{Tfz} = 123 \text{ t}$, $m_{RS} = 20,5 \text{ t}$
- $v_{max} = 120 \text{ km/h}$
- Kraftstoffvorrat: 3500 l

Dieselmotoren-Leistung am Rad abgeschätzt
mit Wirkungsgrad der LÜ $\eta_{LÜ} = 85 \%$
Hilfsleistungsfaktor $\psi = 8 \%$
→ ca. 2200 kW

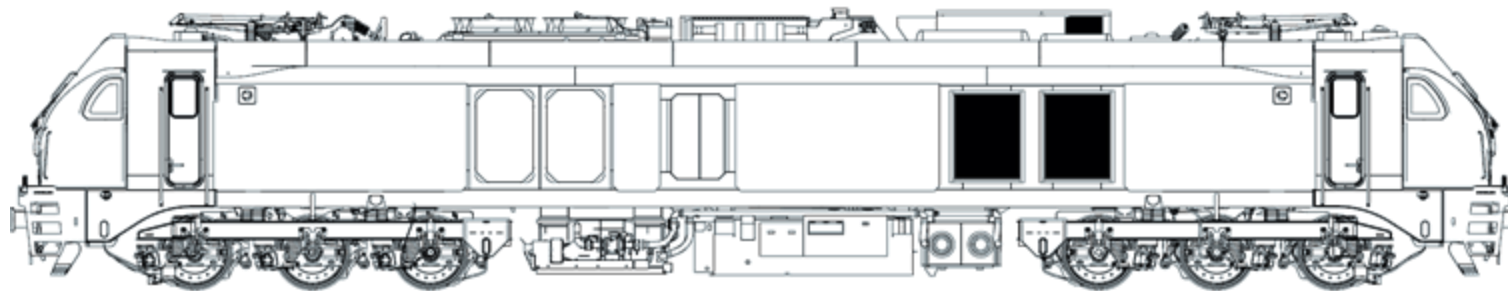
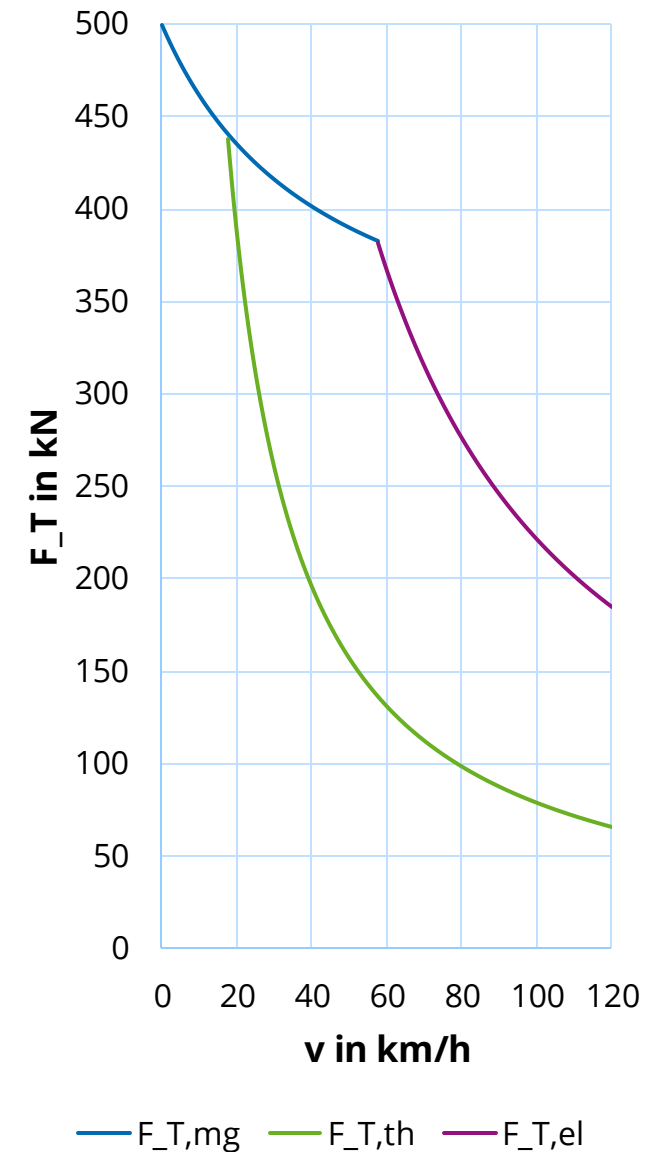


Abbildung: © stadlerail.com



3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.3 Zweikrafttriebfahrzeuge

3.3.4 „Last-Mile“- und Rangiertriebfahrzeuge mit Zusatzaggregat

Aufgabe:

Eine zu projektierende el. Streckenlokomotive soll ein Last-Mile Aggregat erhalten. Welche Dieselmotorleistung ist für folgende Schleppaufgabe (in der Ebene) nötig?

- $v = 20 \text{ km/h}$
- $m_W = 2000 \text{ t}$
- $F_{WFW} (20 \text{ km/h}) \approx 25 \text{ kN}$
- $F_{WFT} (20 \text{ km/h}) \approx 5 \text{ kN}$ (Referenz: BR 145)

1) **Selbstversuch - Schätzen Sie!**

2) **Berechnen Sie** die erforderliche Leistung

Randbedingungen des Antriebs:

Wirkungsgrad der LÜ $\eta_{LÜ} = 85 \%$
Hilfsleistungsfaktor $\psi = 8 \%$

$$P_{DM,T} = F_{T,erf} \cdot v = \frac{F_{WFT} + F_{WFW}}{\eta_{LÜ} \cdot (1 - \psi)} \cdot \frac{v}{3,6} \quad v \text{ in } \frac{\text{km}}{\text{h}}; F \text{ in kN}$$

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.3 Zweikrafttriebfahrzeuge

3.3.4 „Last-Mile“- und Rangiertriebfahrzeuge mit Zusatzaggregat

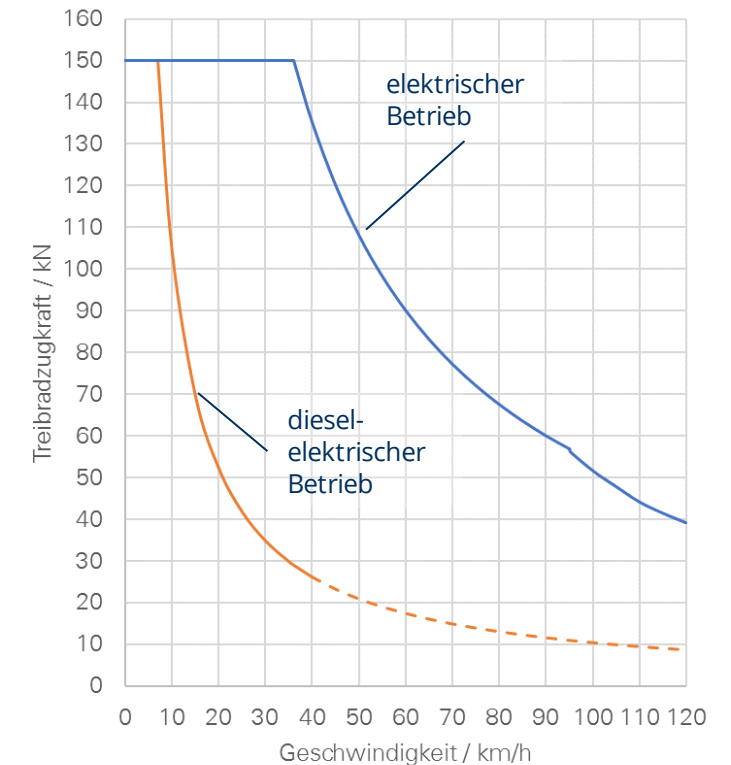
Stadler SBB Eem 923 ($k_{DE} = 0,19$)

— Rangierlok für leichten Streckendienst

- Radsatzfolge Bo'
- $P_{el} = 1500 \text{ kW}$
- $P_{DM} = 360 \text{ kW}$ (290 kW am Treibrad)
- $F_Z = 150 \text{ kN}$
- $m_{Tfz} = 45 \text{ t}$
- $m_{RS} = 22,5 \text{ t}$
- $v_{max} = 120 \text{ km/h}$
- E-Teil für 15 kV/16,7 Hz, 25 kV/50 Hz



Foto: Martin Kache



3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.3 Zweikrafttriebfahrzeuge

3.3.4 „Last-Mile“- und Rangiertriebfahrzeuge mit Zusatzaggregat

Bombardier TRAXX 3 Last Mile ($k_{DE} = 0,02$)

— Universal-E-Lok (AC/MS) mit DE-Zusatzaggregat

- Radsatzfolge Bo' Bo'
- $P_{el} = 5600 \text{ kW}$
- $P_{DM} = 230 \text{ kW}$ (132 kW am Treibrad)
- $F_Z = 300 \text{ kN}$
- $m_{Tfz} = 87 \text{ t}$
- $m_{RS} = 21,7 \text{ t}$
- $v_{max} = 120 \text{ km/h}$, 50 km/h (LM)



Foto: © Bombardier

Siemens VR-Baureihe Sr3 ($k_{DE} < 0,06$)

— Universal-E-Lok (AC) mit DE-Zusatzaggregat

- Radsatzfolge Bo' Bo'
- $P_{el} = 6400 \text{ kW}$
- $P_{DM} = 2 \times 180 \text{ kW} = 360 \text{ kW}$
- $F_Z = 350 \text{ kN}$
- $m_{Tfz} = 90 \text{ t}$
- $m_{RS} = 22,5 \text{ t}$
- $v_{max} = 200 \text{ km/h}$



Foto: Martin Kache

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.3 Zweikrafttriebfahrzeuge

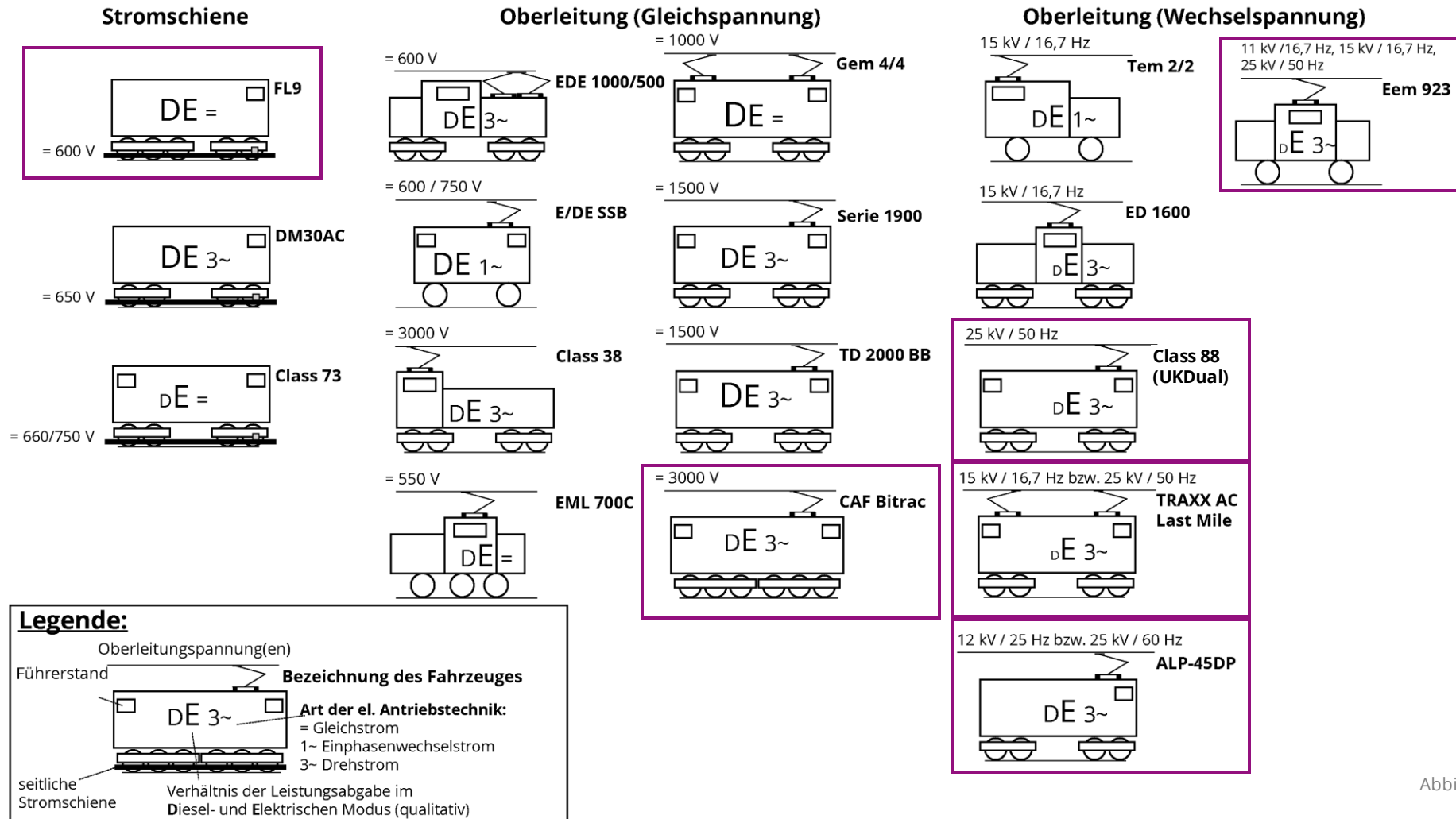


Abbildung: Martin Kache

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.3 Zweikrafttriebfahrzeuge



Abbildung: Martin Kache

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.3 Zweikrafttriebfahrzeuge

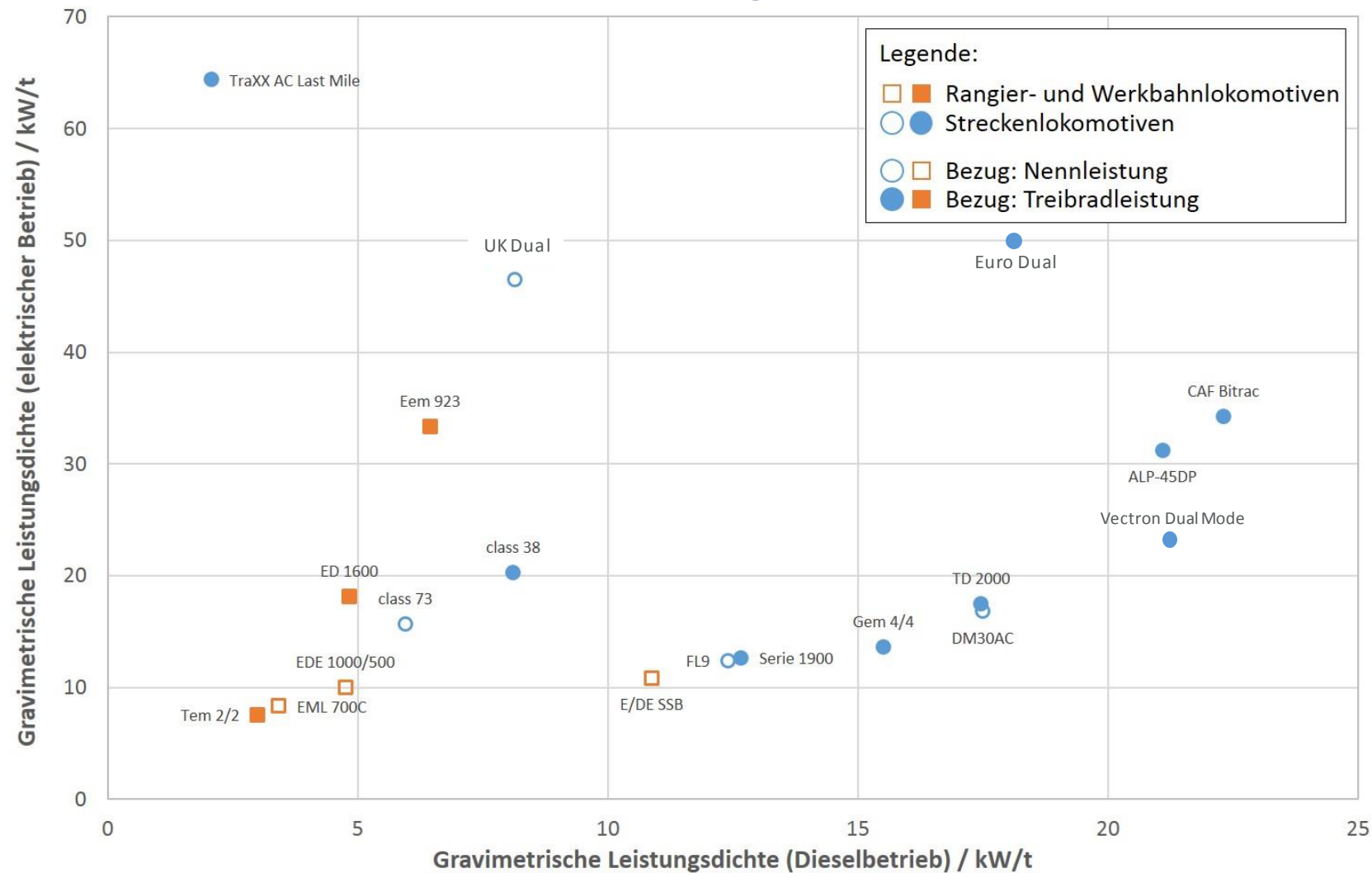


Abbildung: Martin Kache

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.3 Zweikrafttriebfahrzeuge

3.3.5 Zweikrafttriebzüge

Bombardier AGC Bibi (SNCF B 81500 und B 82500) ($k_{DE} = 0,70$)

- 2K-Regionaltriebzug (3- o. 4-tlg. Gliederzug)
 - Radsatzfolge Bo' 2' 2' Bo' bzw. Bo' 2' 2' 2' Bo'
 - $P_{el} = 1300 \text{ kW (DC)}, 1900 \text{ kW (AC)}$
 - $P_{DM} = 2 \times 662 \text{ kW}$
 - $v_{max} = 160 \text{ km/h}$
 - E-Teil für 1,5 kV DC (B 81500) bzw. 1,5 kV + 25 kV/50 Hz AC (B 82500)

Beispiel: Paris-Troyes

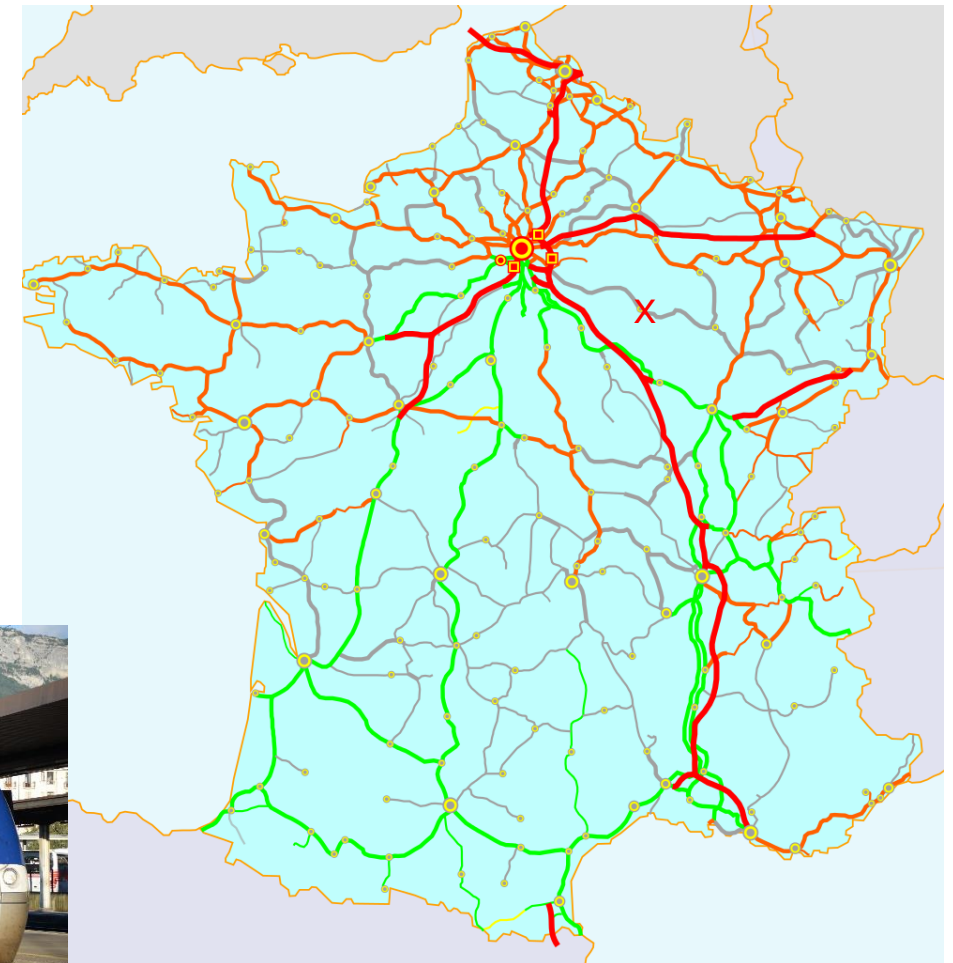
Gesamtlänge: 166,2 km
davon elektrifiziert: 38,3 km

Kraftstoffeinsparung durch Einsatz
von Zweikraftfahrzeugen: 27% (ca. 72 l)

Reduktion CO₂-Ausstoß: 25% (175 kg)
bezogen auf „Strommix“ im frz. Bahnstromnetz



Foto: Martin Kache



- 1500 V DC
- 25 kV/50 Hz
- 25 kV/50 Hz HGV

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.3 Zweikrafttriebfahrzeuge

3.3.5 Zweikrafttriebzüge

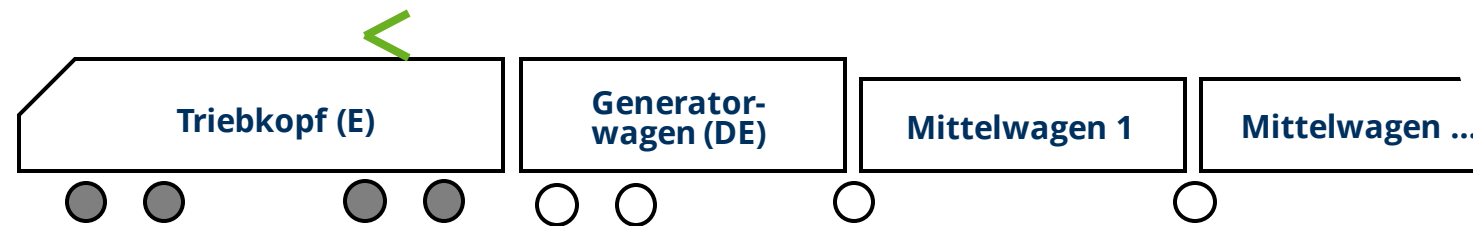
Talgo/Bombardier RENFE BR 730 ($k_{DE} < 0,5$)

— 2K+2-System HGV-Zug

- Zugkonf. TK+GW+9 MW+GW+TK
- P_{el} = 2x 2400 kW (AC), 2x 2000 kW (DC)
- P_{DM} = 2x 1200 kW
- V_{max} = 250 km/h (AC), 220 km/h (DC), 180 km/h (DE-Modus)
- E-Teil für 25 kV/50 Hz AC, 3 kV DC



Foto: Wikipedia/David Gubler



3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.3 Zweikrafttriebfahrzeuge

3.3.5 Zweikrafttriebzüge

Hitachi AT300 (BR Class 800/802)

— 2K HGV-Zug (jeweils 5- bzw. 9-teilig)

	BR Class 800	BR Class 802
Konfig.		S+A+A+A+S(5-T) S+A+A+M+A+M+A+A+S(9-T)
P_{el}		2712 kW (5-T) 4520 kW (9-T)
P_{DM}	3x 700 kW (5-T) 4x 700 kW (9-T)	3x 700 kW (5-T) 5x 700 kW (9-T)
k_{DE}	< 0,77 (5-T) < 0,62 (9-T)	< 0,77
V_{max}		200 km/h
E-Teil		25 kV/50 Hz AC

S ... Steuerwagen

A... angetriebener Mittelwagen

M... Mittwagen o. Antrieb



Foto: Wikipedia/Rsa

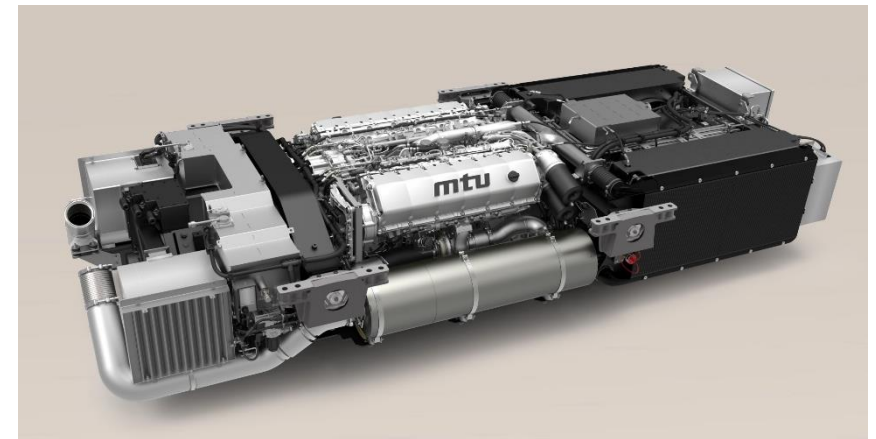


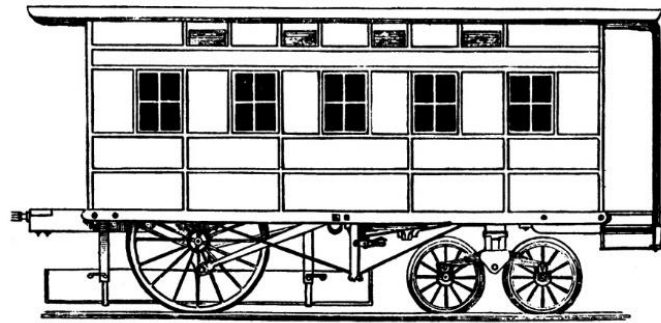
Abbildung: © MTU

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.4 Akkutriebfahrzeuge

3.4.1 Einführung

- Akkutriebfahrzeuge → prinzipiell Untergruppe der elektrischen (Gleichstrom-)Triebfahrzeuge
- Idee zur Energieversorgung von Triebfahrzeugen durch Akkumulator bereits vor Erfindung des Gleichstrommotors
- frühe Anwendung von Akkumulatoren bei Triebwagen (um 1890), Grubenlokomotiven und vereinzelt Rangierlokomotiven



THE FIRST LOCOMOTIVE THAT EVER MADE A SUCCESSFUL TRIP WITH GALVANIC POWER.

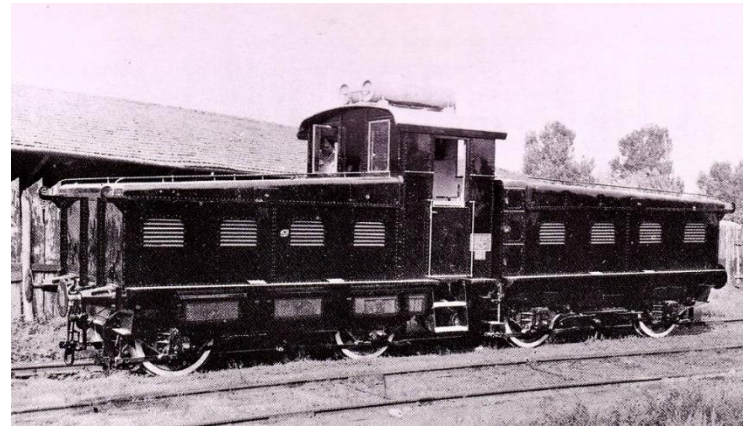


Foto: Wikipedia



Foto: Wikipedia/Sebastian Koppehel

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.4 Akkutriebfahrzeuge

3.4.2 Haupteigenschaften Akkutriebfahrzeuge

Anforderungen

Anwendungsgebiete

Nachteile



Foto: Wikipedia/Bahntech

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.4 Akkutriebfahrzeuge

3.4.3 Speichertechnologien

Anforderungen

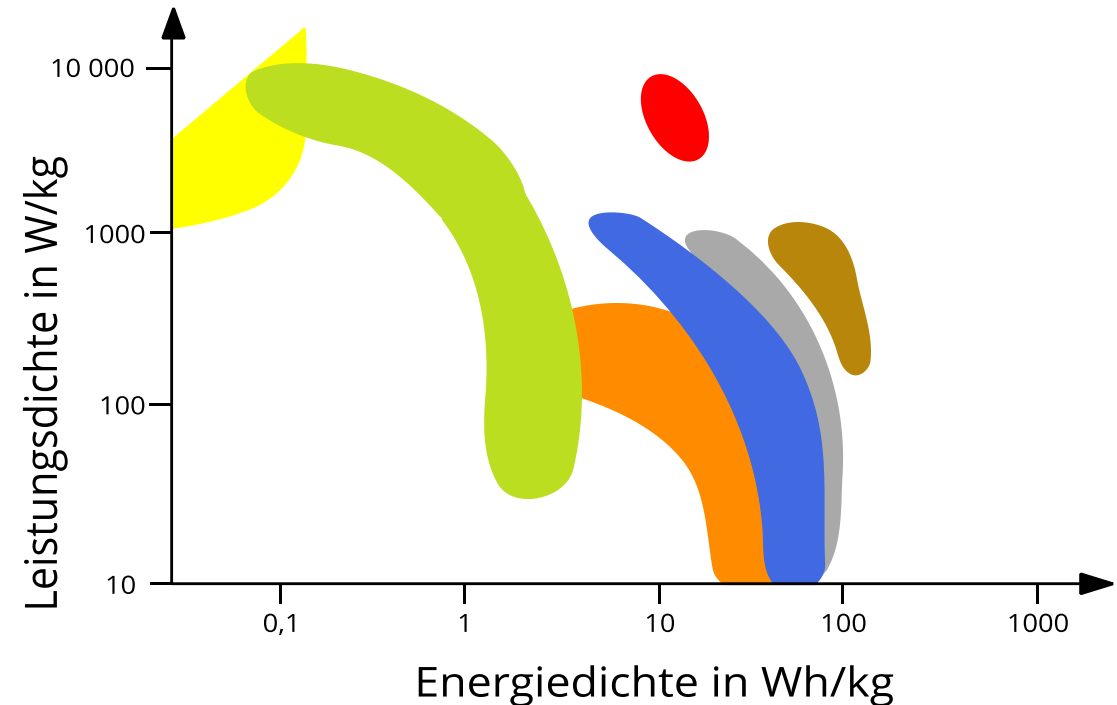
- hohe Energie- und Leistungsdichte
- lange Lebensdauer

typische Traktionsbatterien und Energiedichten

- Bleiakкумуляtor: ~ 35 Wh/kg
- Nickel-Cadmium-Akkumulator: ~ 75 Wh/kg
- Nickel-Metallhydrid-Akkumulator: ~ 90 Wh/kg
- Lithium-Ionen-Akkumulator: ~ 150 Wh/kg

- Vergleich Dieselkraftstoff: 11.700 Wh/kg
- Vergleich Wasserstoff: 800 Wh/kg

- UltraCap-Kondensator
- Doppelschicht-Kondensator
- Elektrolyt-Kondensator
- Li-Ion-Kondensator
- Li-Ion-Akkumulator
- Ni-MH-Akkumulator
- Ni-Cd-Akkumulator
- Blei-Akkumulator



3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.4 Akkutriebfahrzeuge

3.4.5 Moderne Akkutriebfahrzeuge

Triebzug Class 230 „D-Train“ (Hersteller Vivarail)

- Akku-Triebzug mit Li-Ion-Zellen (gesamt: 106 kWh)
- Antriebsleistung ca. 300 kW
- lt. Betreiberangaben nach 10 min Ladung 80 km Reichweite

Alstom H3 Akkulok (bisher nicht realisiert)

- reine Akku-Variante neben Hybrid-, Bi-Motor- und Großmotor-Variante auf gleicher Plattform
- ausgestattet mit Ni-Cd Traktionsbatterien
- Antriebsleistung 600 kW



Foto: Wikipedia/spsmiller



Foto: © Alstom

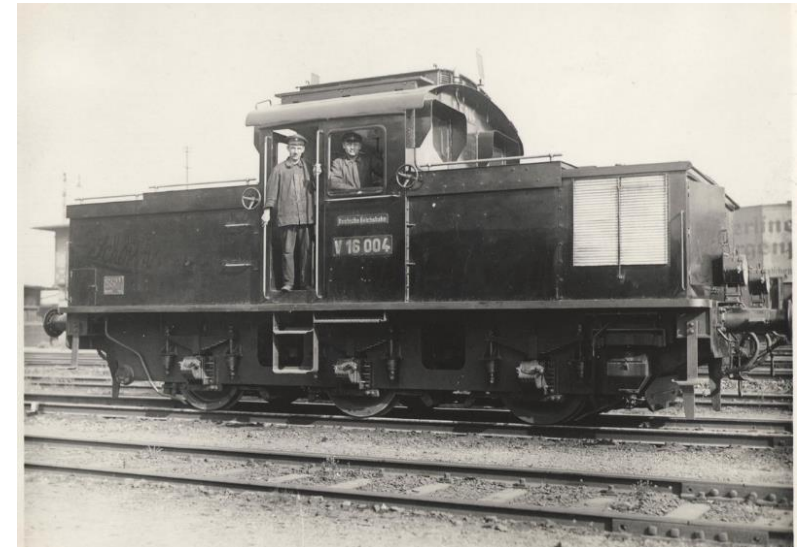
3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.5 Hybridtriebfahrzeuge

3.5.1 Einführung & Definition

„Hybrid“

- historisches Beispiel: V 16 004 (Bj. 1933), Radsatzfolge: Co
- „Speichertriebfahrzeug mit Diesel-Elektro-Ladeaggregat“
- DC-Fahrmotoren (3x 50 kW) konnten von Akkumulator, Dieselmotor (55 kW) o. in Kombination gespeist werden
- aber: kein Vollhybrid, da keine Rekuperation vorgesehen (Nachladung des Akku nur durch DM)
- keine Start-Stopp-Automatik (DM meist in Betrieb)

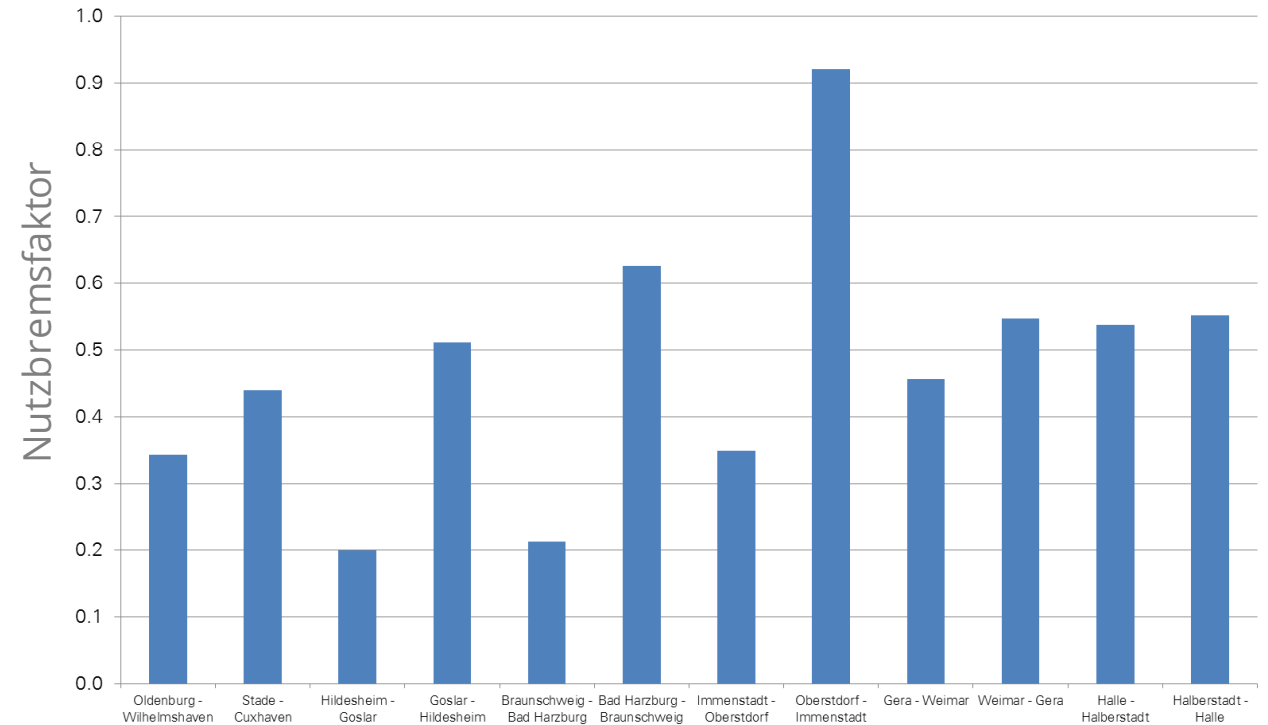


3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.5 Hybridtriebfahrzeuge



3.5.2 Anforderungen und typische Einsatzfelder



3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge



3.5 Hybridtriebfahrzeuge

3.5.2 Anforderungen und typische Einsatzfelder

Versuche in Frankreich (Plathée Projekt)

Rangierfahrten:

Mittlere Leistung: 80 kW
Maximale Leistung: 477 kW

PHP: 0,83

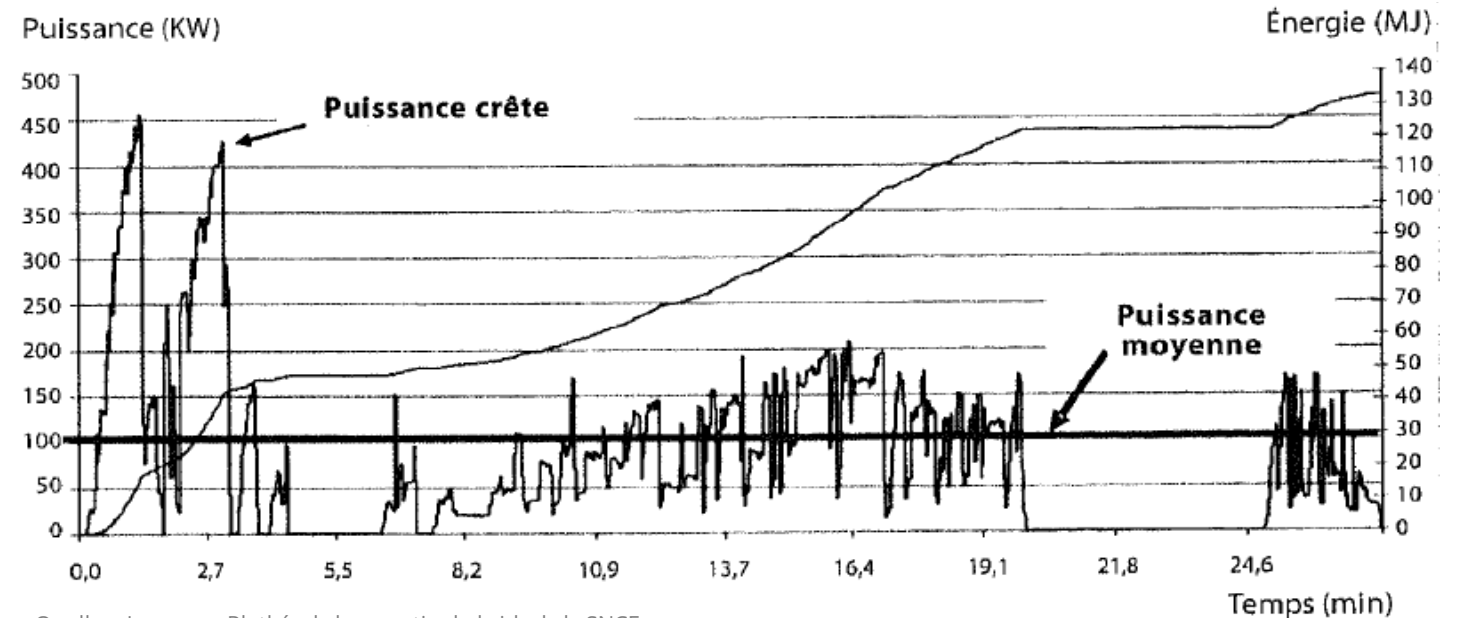
Spektrum PHP: 0,65...0,93

Verschiebedienst/Übergaben:

Mittlere Leistung: 200 kW
Maximale Leistung: 564 kW

PHP: 0,65

Spektrum PHP: 0,64...0,89

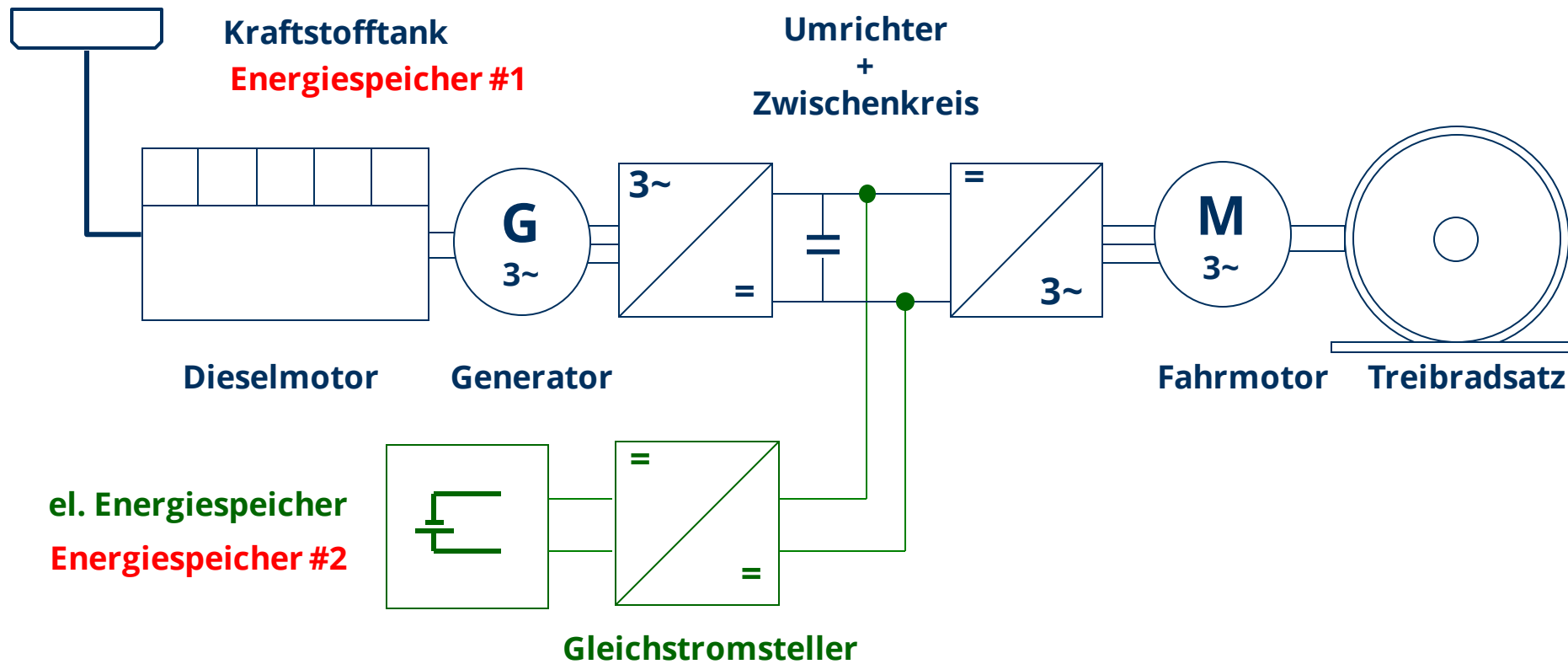


3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.5 Hybridtriebfahrzeuge

3.5.3 Grundsätzlicher Systemaufbau

— serielle Hybridkonfiguration

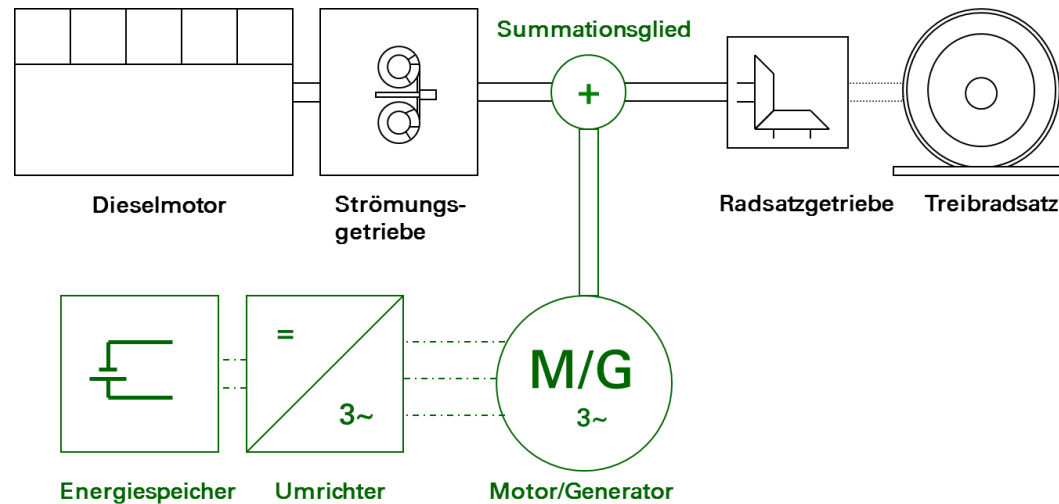


3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

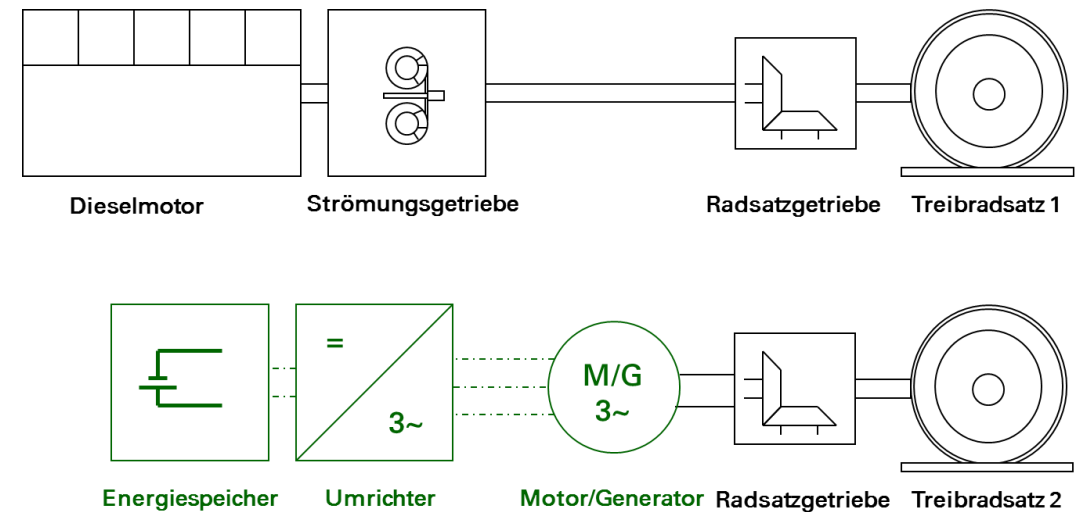
3.5 Hybridtriebfahrzeuge

3.5.3 Grundsätzlicher Systemaufbau

— parallele Hybridkonfigurationen



paralleler Hybrid (mit Summationsglied)



paralleler Hybrid (verteilter Antrieb)

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.5 Hybridtriebfahrzeuge

3.5.4 Referenzen Hybridtriebwagen

Alstom Coradia „Lirex Experimental“

— Hybrid-Triebwagen der DB AG (Baujahr 2000)

- Hybridtyp: serieller Dieselhybrid
- Hybridart: elektrischer Hybrid
- Speicherart: **Schwungmassenspeicher**
- v_{max} : 160 km/h
- Speicher: **2x 2 kWh**
- P_{DM} : 4x 338 kW = 1352 kW
- Radsatzfolge: A'1 'A' A' + A' A' 1'A'



Foto: Mattes/wikimedia



Foto: Martin Kache

Vergleichbarer Schwungradspeicher aus Linienbus

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.5 Hybridtriebfahrzeuge

3.5.4 Referenzen Hybridtriebwagen

Tokyu Car Corporation „NE-Train“ (KaYa E991-1)

— Hybrid-Triebwagen der JR East (Baujahr 2003)

- Hybridtyp: serieller Dieselhybrid
- Hybridart: elektrischer Hybrid
- Speicherart: **Lithium-Ionen-Batterie**
- v_{max} : 100 km/h
- Speicher: **10 kWh**
- P_{DM} : 331 kW
- Radsatzfolge: 2'Bo'



Foto: Wikipedia

Hitachi KiHa E200

— Hybrid-Triebwagen der JR East (Baujahr 2007)

- Hybridtyp: serieller Dieselhybrid
- Hybridart: elektrischer Hybrid
- Speicherart: Lithium-Ionen-Batterie
- v_{max} : 100 km/h
- Speicher: **15,2 kWh**
- P_{DM} : 331 kW
- Radsatzfolge: 2'Bo'



Foto: Wikipedia

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

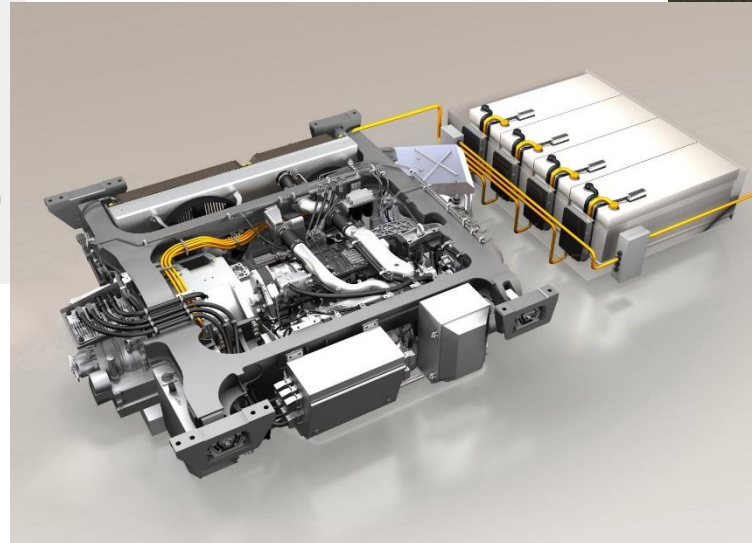
3.5 Hybridtriebfahrzeuge

3.5.4 Referenzen Hybridtriebwagen

Siemens/MTU BR 642 Hybrid (später: EcoTrain)

— Hybrid-Triebwagen der DB AG (Baujahr 2012)

- Hybridtyp: **paralleler Dieselhybrid**
- Hybridart: elektrischer Hybrid
- Speicherart: Lithium-Eisenphosphat
- v_{max} : 120 km/h
- Speicher: **2x 4,7 kWh**
- P_{DM} : 2x 315 kW
- $P_{max,FM}$: 2x 400 kW (max. 60 sek)
- Radsatzfolge: B'2'B'



Hybrid Power-Pack (2012)

Abbildung: © MTU



Foto: Martin Kache

MTU Batterie-Block (Stand: 2016)

Lithium-Ionen-Batterie

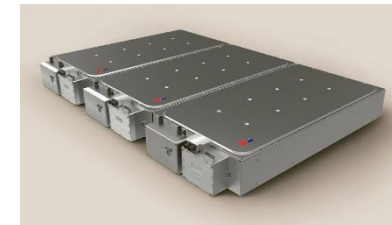
Energieinhalt: **30,6 kWh**

P-Abgabe (10s): 245 kW

P-Aufnahme (10s): 153 kW

Masse: 350 kg

Volumen: 0,25 m³



3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.5 Hybridtriebfahrzeuge

3.5.5 Referenzen Hybridlokomotiven

SNCF Plathée

- Prototyp einer Hybrid-Rangierlok (2003)
 - Hybridtyp: serieller Dieselhybrid
 - Hybridart: elektrischer Hybrid
 - Speicherart: Kombiniertes Speicher (Ni-Cd-Batterie + Doppelschicht Kondensatoren)
 - v_{max} : 80 km/h
 - Speicher: 50 kWh (Batterie) + 12 kWh (Cap)
 - P_{DM} : **235 kW**
 - $P_{TR,max}$: **400 kW**
 - Radsatzfolge: Bo' Bo'



Foto: Martin Kache

Toshiba HD 300

- Serien Hybrid-Rangierlok (2010)
 - Hybridtyp: serieller Dieselhybrid
 - Hybridart: elektrischer Hybrid
 - Speicherart: Lithium-Ionen-Batterie
 - v_{max} : 55 km/h
 - Speicher: 67,4 kWh
 - P_{DM} : **242 kW**
 - $P_{TR,max}$: **500 kW**
 - Radsatzfolge: Bo' Bo'



Foto: Rs1421

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.5 Hybridtriebfahrzeuge

3.5.5 Referenzen Hybridlokomotiven

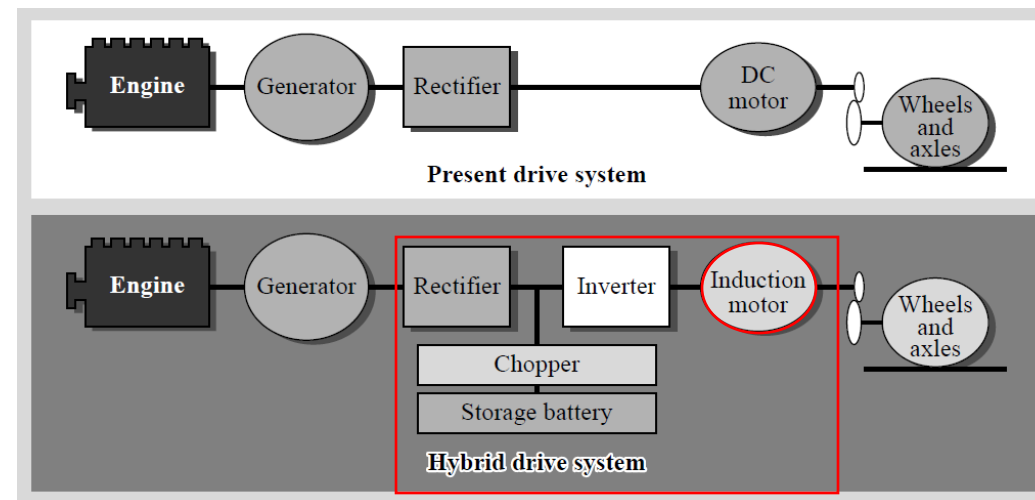
Hitachi V-Train 2 „Hayabusa“

— Versuchsträger für eine Hybrid-Streckenlok (2007)

- Hybridtyp: serieller Dieselhybrid
- Hybridart: elektrischer Hybrid
- Speicherart: Lithium-Ionen-Batterie
- v_{max} : unbek.
- Speicher: 48 kWh
- P_{DM} : **1678 kW**
- $P_{Radsatz}$: **1000 kW**
- Radsatzfolge: Bo' Bo'



Foto: © Hitachi



Quelle: Hitachi Review Vol. 57 (2008)

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.5 Hybridtriebfahrzeuge

3.5.5 Referenzen Hybridlokomotiven

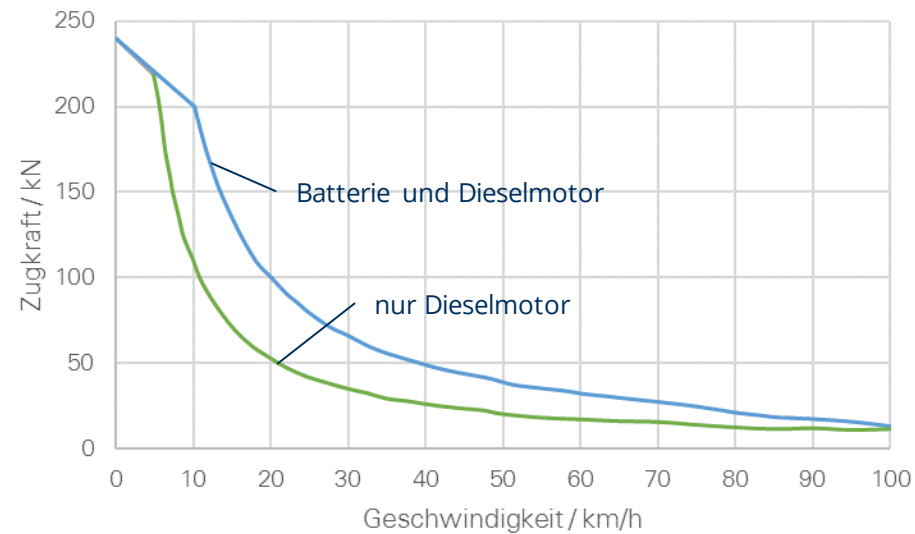
Alstom H3

— Serien Hybrid-Rangierlok für Werks- und Anschlussbahnen (2013)

- Hybridtyp: serieller Dieselhybrid
- Hybridart: elektrischer Hybrid
- Speicherart: Nickel-Cadmium-Batterien
- v_{max} : 100 km/h
- Speicher: 108,8 kWh
- P_{DM} : 350 kW
- P_{max} : 700 kW (Traktion + HB)
- Radsatzfolge: A' A A'



Foto: Martin Kache



3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

3.5 Hybridtriebfahrzeuge

3.5.5 Referenzen Hybridlokomotiven

HELMS (DB Systemtechnik)

- 2 Prototypen Hybrid-Rangierlok (2019)

- Hybridtyp: paralleler Dieselhybrid
- Hybridart: elektrischer Hybrid
- Speicherart: Lithium-Ionen
- v_{\max} : 80 km/h
- Speicher: 92,25 kWh
- P_{DM} : 1000 kW
- P_{\max} : 750 kW (Traktion + HB)
- Radsatzfolge: B'B'

- Besonderheit: Leistungsverzweigtes Planetengetriebe statt ursprünglichem Strömungsgetriebe
- „elektromechanische“ Leistungsübertragung
- 2 Asynchronmotoren für elektrischen Fahrbetrieb
- Asynchrongenerator für Rekuperations-/Ladebetrieb



Foto: © Deutsche Bahn

3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

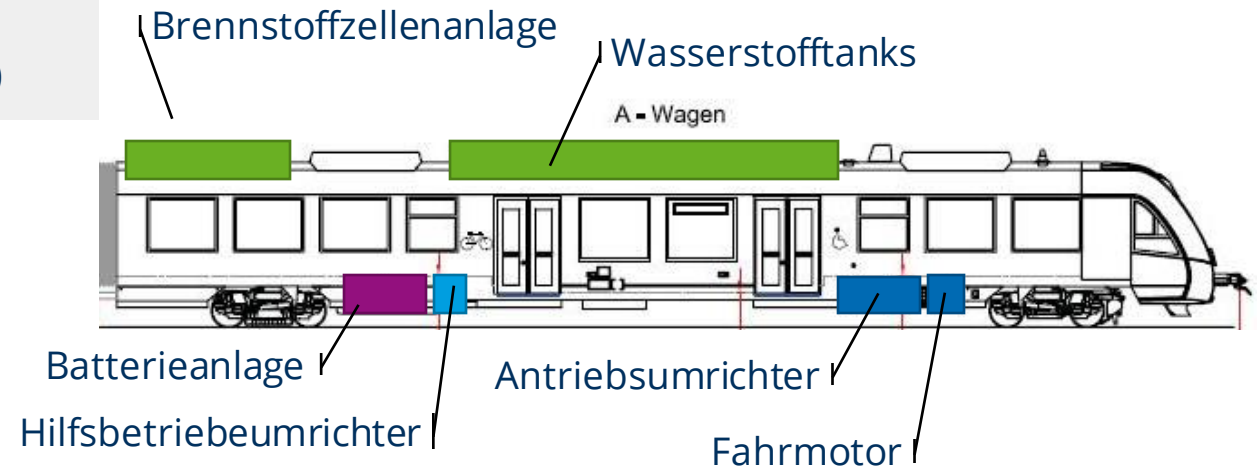
3.5 Hybridtriebfahrzeuge

3.5.6 Referenzen Wasserstoff-Hybride

Alstom iLint

— geplantes Serienfahrzeug mit Wasserstoff-Brennstoffzelle

- Hybridtyp: serieller Wasserstoffhybrid
- Hybridart: elektrischer Hybrid
- Speicherart: Li-Ionen-Ni-Mangan-Cobalt Batterie
- v_{max} : 120...140 km/h
- Speicher: 2x111 kWh
- P_{el} : 2x 221 kW
- $P_{nenn, Brennstoffzelle}$: 2x 200 kW
- Radsatzfolge: B'2'+2'B' (identische Einzelfzg.)



3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

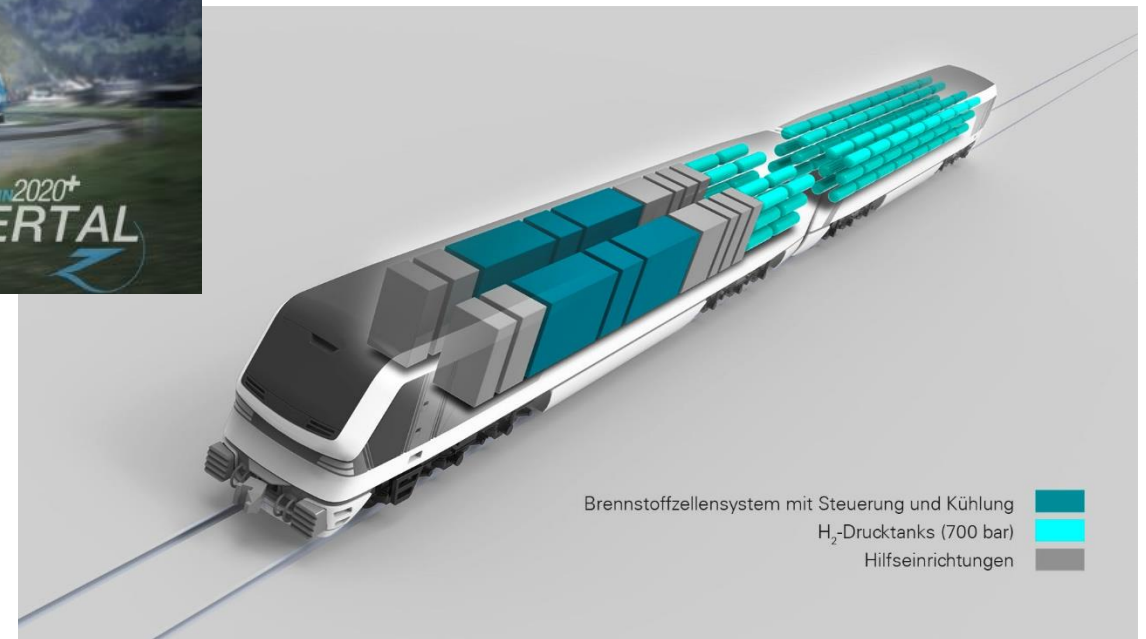
3.5 Hybridtriebfahrzeuge

3.5.6 Referenzen Wasserstoff-Hybride

Weiter mit Wasserstoff – „Hydrail“?



Abbildung(Designstudie): © Zillertalbahn



Quelle: Diplomarbeit „Hydron“, Falk Fröhlich (2014)