

# Inhalte

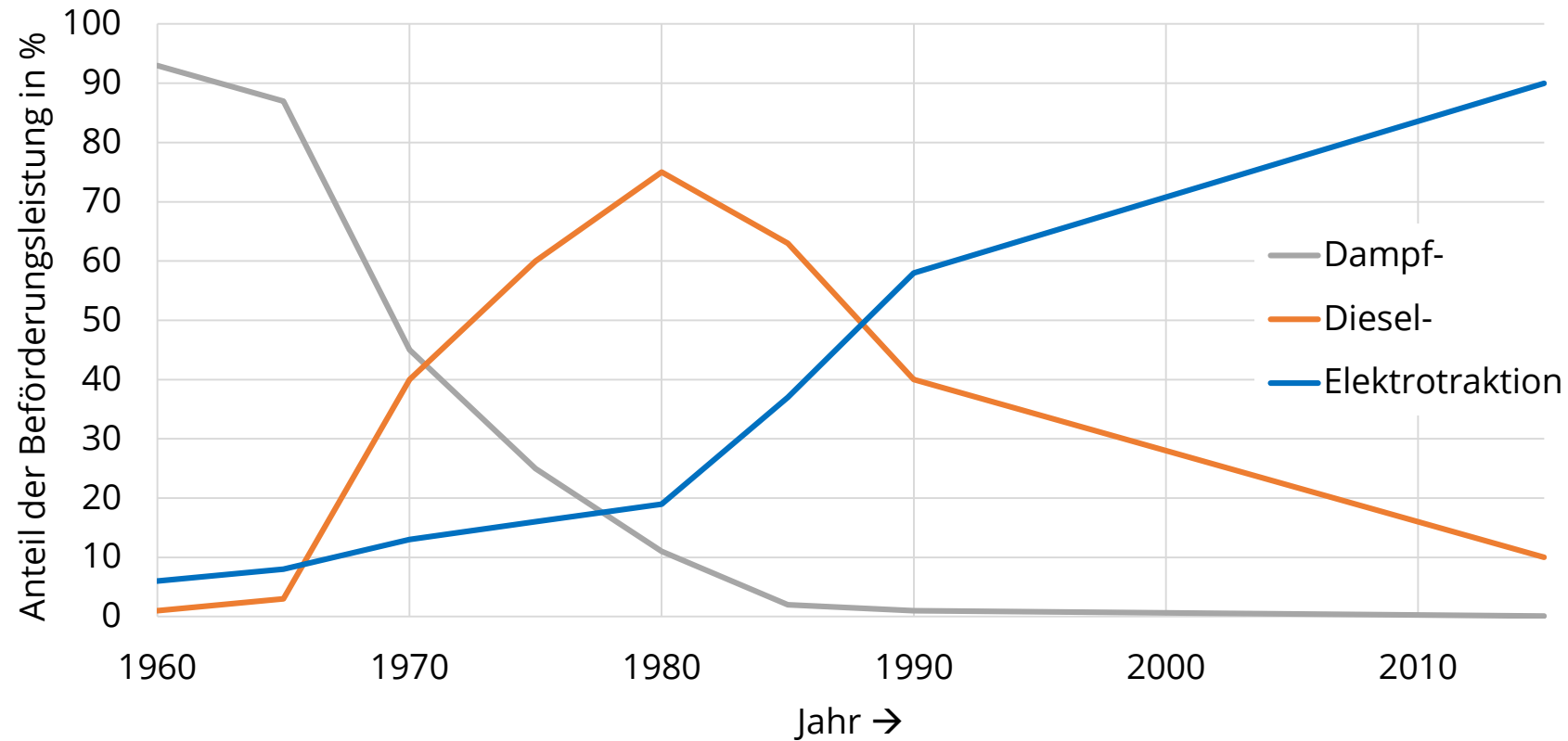
## Vorlesung Dieseltriebfahrzeuge

1. Einteilung der Triebfahrzeuge
2. Anforderungen
- 3. Entwicklungslinien**
  - 3.1 Elektrotriebfahrzeuge
  - 3.2 Dieseltriebfahrzeuge
  - 3.3 Zweikrafttriebfahrzeuge
  - 3.4 Akkutriebfahrzeuge
  - 3.5 Hybridtriebfahrzeuge
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

- hohe Anschaffungskosten
- Fahrleitungsabhängigkeit
- Gefahren durch Hochspannung
- Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
- besonders bei aktuellen Fahrzeugen: Obsoleszenz elektronischer Bauteile

# 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

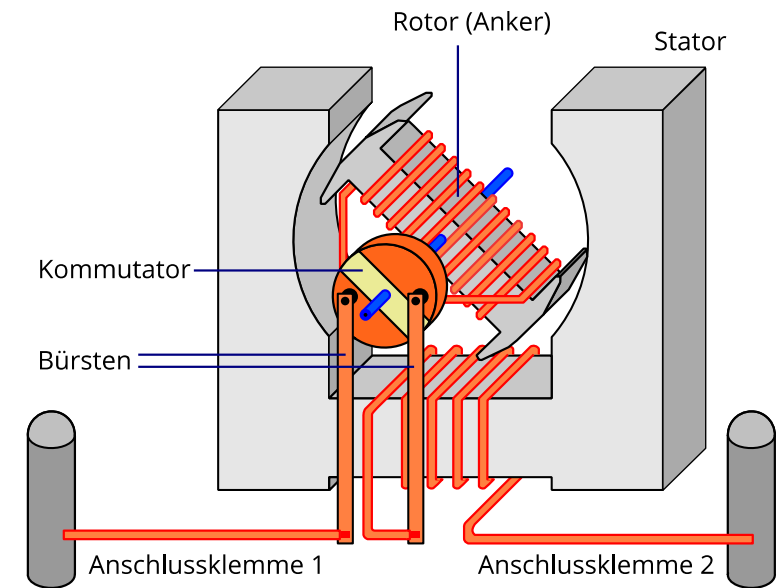


Abbildung: Wikipedia/Algos

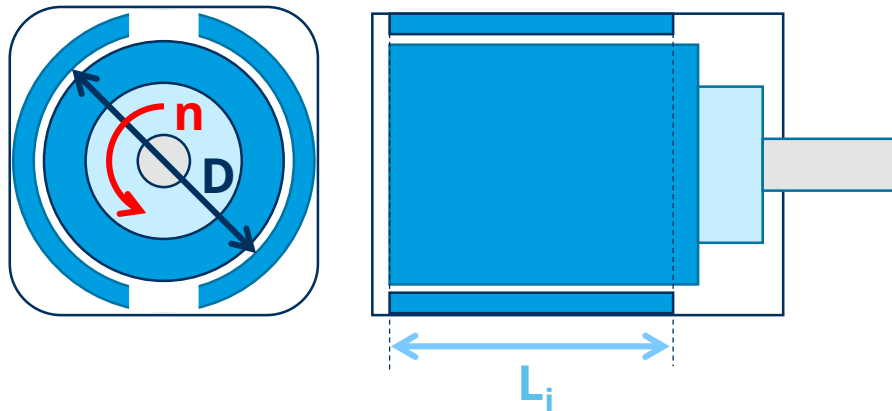
# 3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

## 3.1 Elektrotriebfahrzeuge

### 3.1.4 Fahrmotoren – Problematik des Bahnmotors für Wechselstromnetze

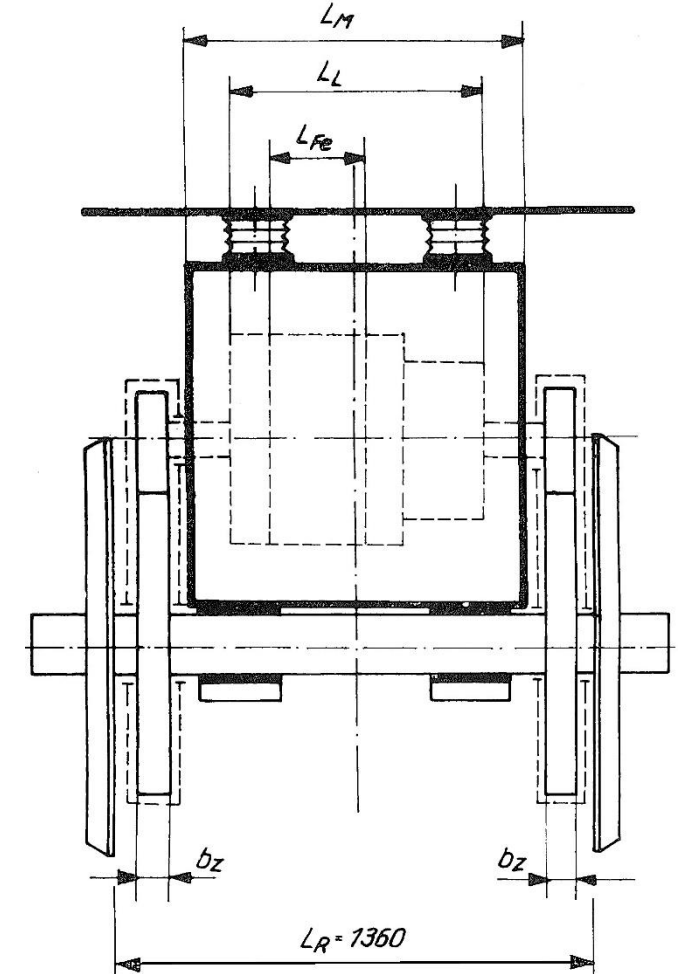
— Allg. Auslegungsformel E-Maschine:

- C... Maschinenkoeffizient
- D... innerer Ständerdurchmesser
- $L_i$ ... ideale Eisenlänge
- n... Drehzahl



— Legende Skizze (r.)

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

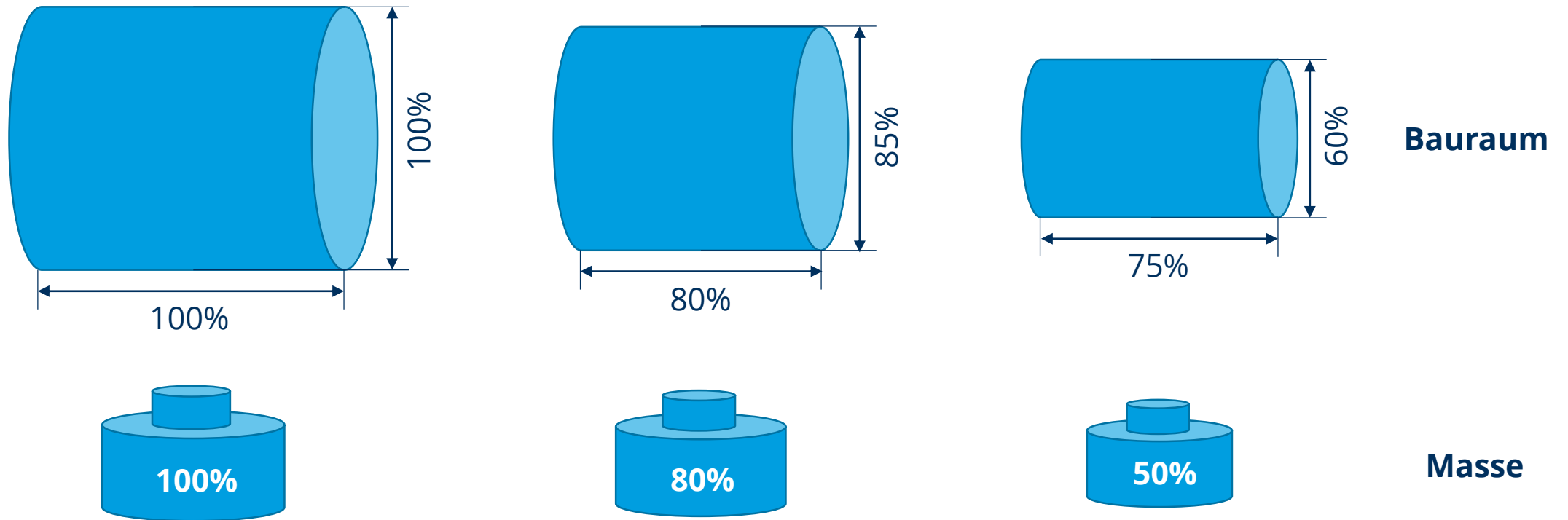


Quelle: Die el. Lokomotive, transpress/Helmut Bendel

# 3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

## 3.1 Elektrotriebfahrzeuge

### 3.1.4 Fahrmotoren – Größenvergleich Elektrischer Maschinen



# 3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

## 3.1 Elektrotriebfahrzeuge

### 3.1.5 Frühe Fahrzeugentwicklungen

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

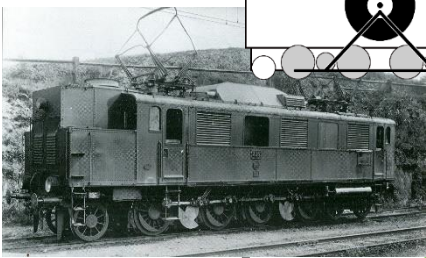


Foto: Wikipedia

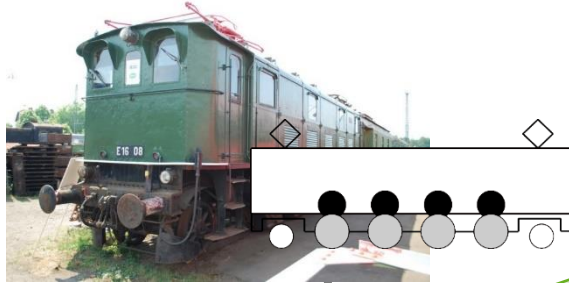
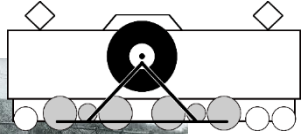


Foto: flickr/Hugh Llewelyn

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

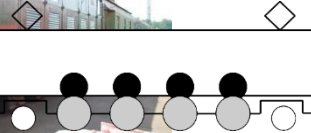
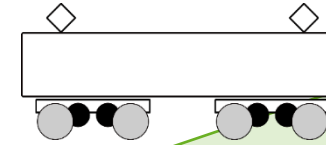


Foto: Wikipedia/Klaus Kort

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



1956

1944

1931

1935

1925, 1926

1914

DRG E 44  
1. Universallok?



Foto: Wikipedia/Spoorjan

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

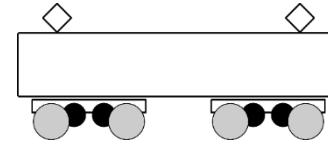


Foto: Wikipedia/Jürgen Heegmann



Foto: Wikipedia/Klaus Kort

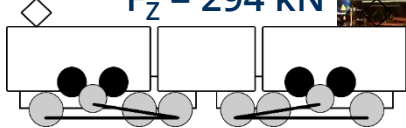
DB-Einheitsloks  
E 10, 40, 50



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



Foto: Wikipedia/Manfred Kopka



# 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 <sub>Max</sub>
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<sub>max</sub> 140 km/h, Stellung „G“ – v<sub>max</sub> 90 km/h



Foto: Wikipedia/Klaus Kort

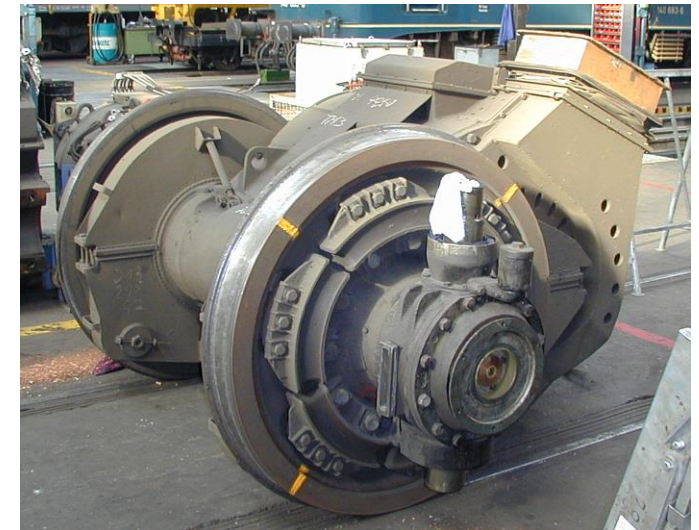


Foto: Wikipedia/Solaris2006

# 3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

## 3.1 Elektrotriebfahrzeuge

### 3.1.7 Innovationen – Elektrischer Teil (konventionelle Antriebstechnik – KAT)



Foto: Martin Kache

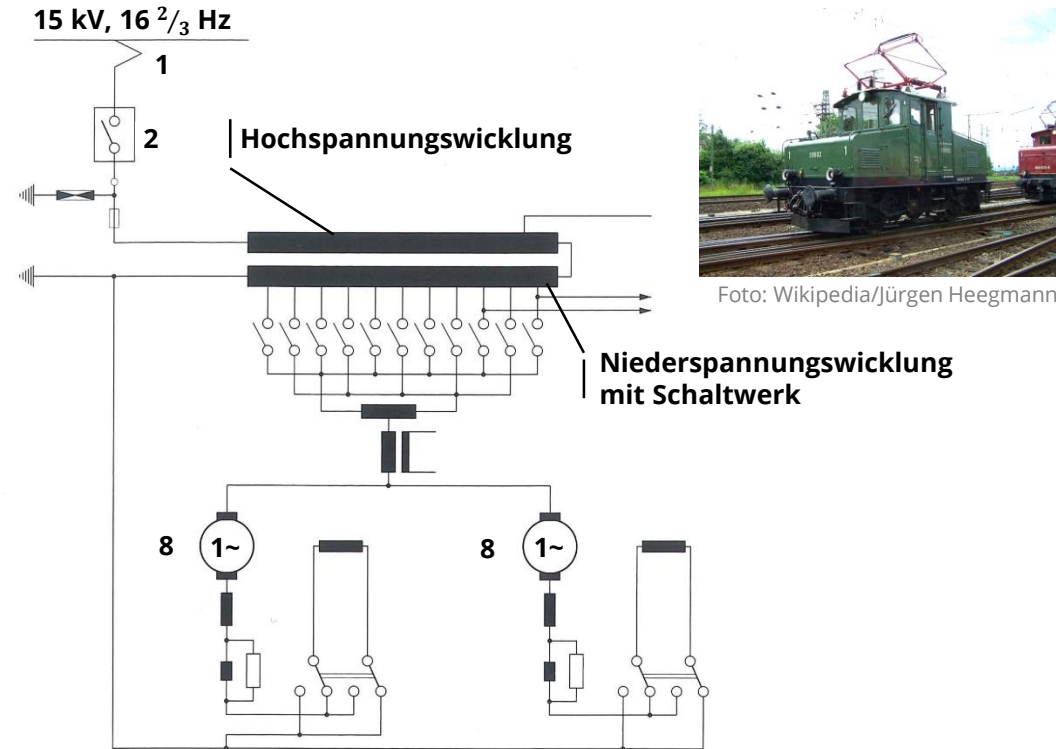
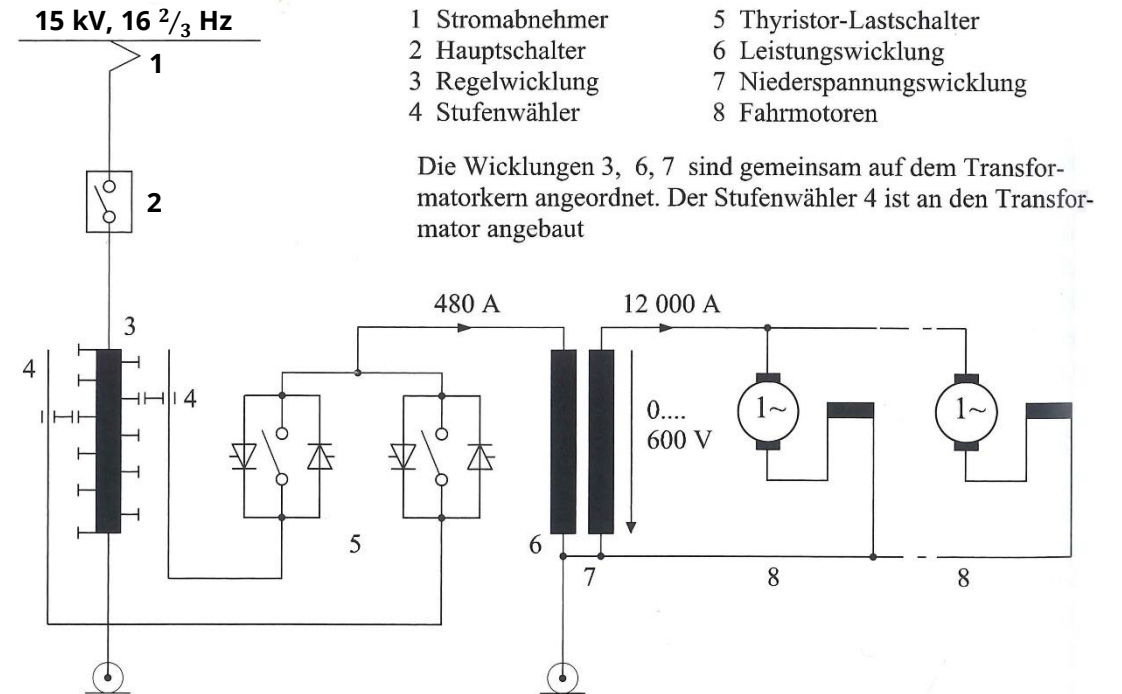


Foto: Wikipedia/Jürgen Heegmann

**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 angebau

**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

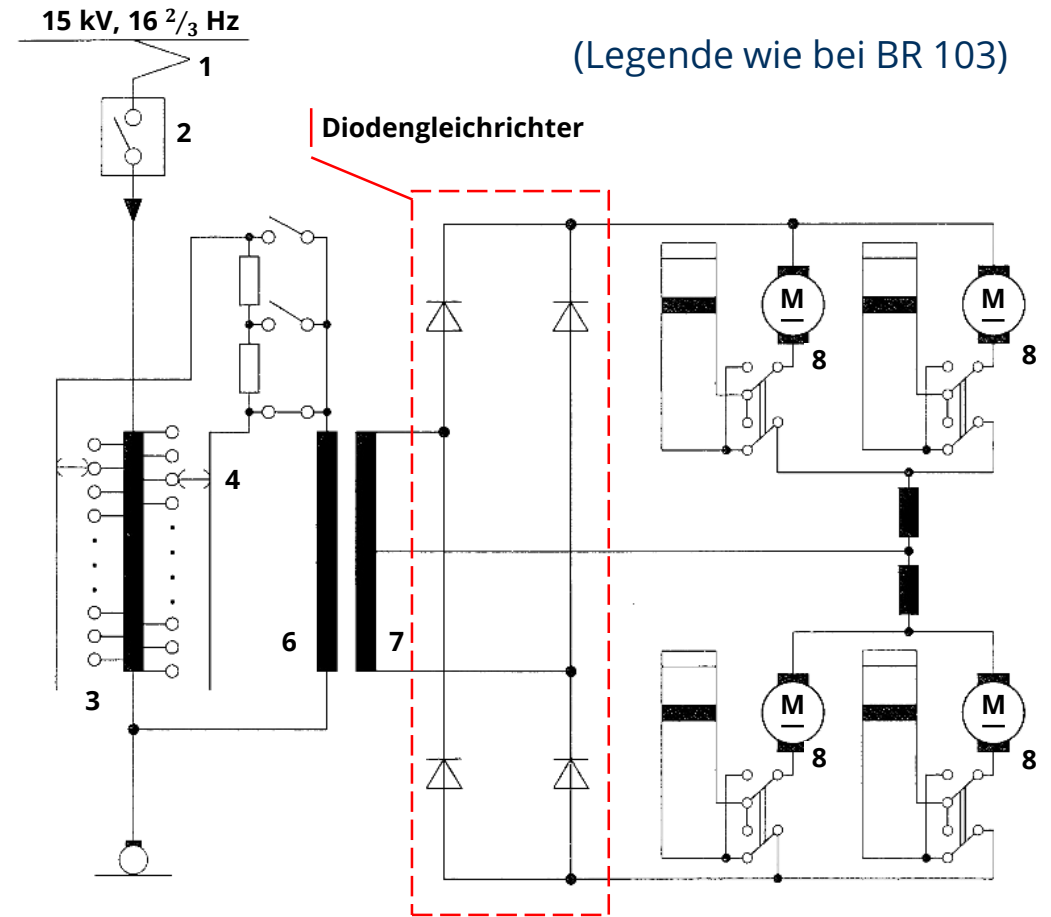
## 3.1 Elektrotriebfahrzeuge

### 3.1.7 Innovationen – Elektrischer Teil (KAT)



Foto: Wikipedia/David Gubler

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



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 günstigerer spezif. Leistung 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

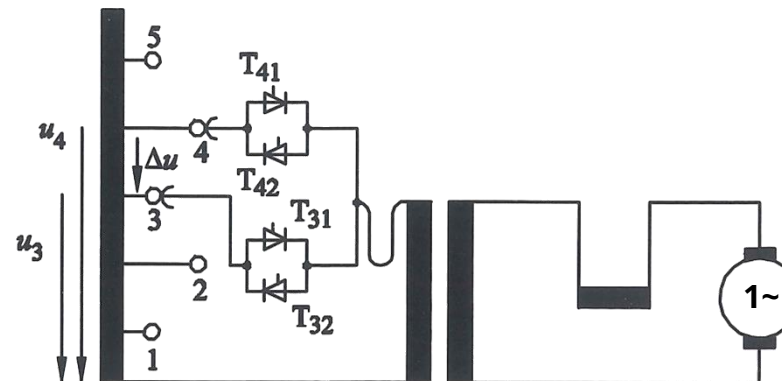
### 3.1.7 Innovationen – Elektrischer Teil (KAT)

#### c) Wechselstromsteller mit Phasenanschnittsteuerung

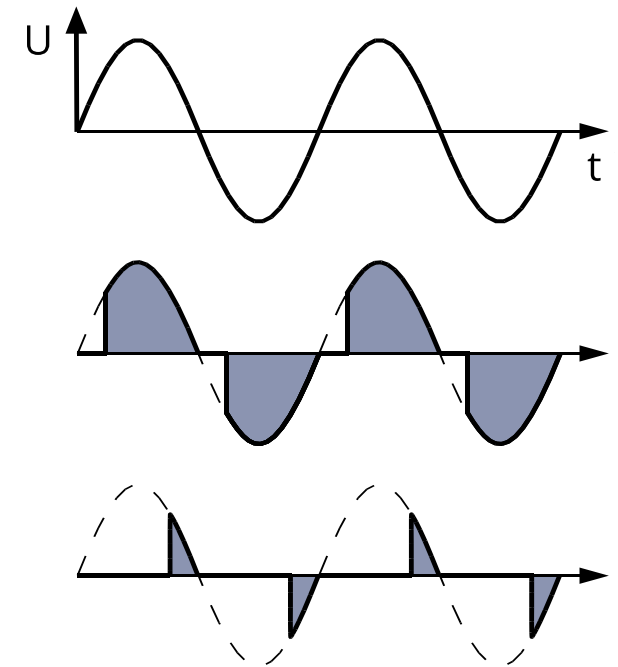
- Phasenanschnittsteuerung für 1AC-Fahrmotoren
- LEW-Wechselstromsteller
- stufenlose Überbrückung der Spannungsdifferenzen bei Umschaltung am Hochspannungsabgriff
- stetiger Verlauf der Zugkraft im  $F_z$ -v-Diagramm
- günstig für sehr gute Ausnutzung des Kraftschlussbeiwerts
- Anwendung bei DB BR 155/156, 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

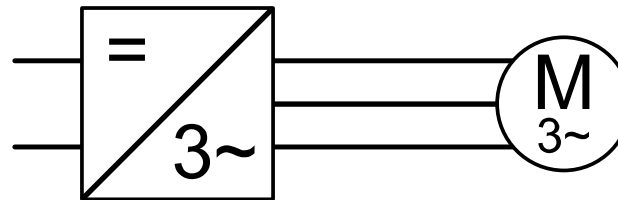
### 3.1.8 Drehstrom-Antriebstechnik (DAT)

#### Elektrotechnische Voraussetzungen

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



— zur Drehzahländerung:



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

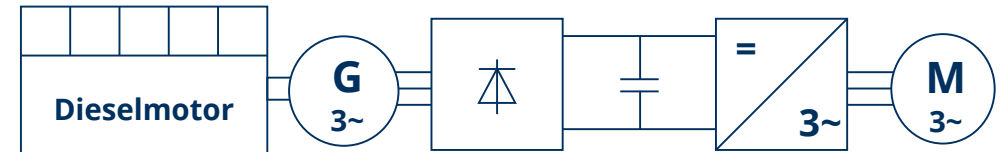
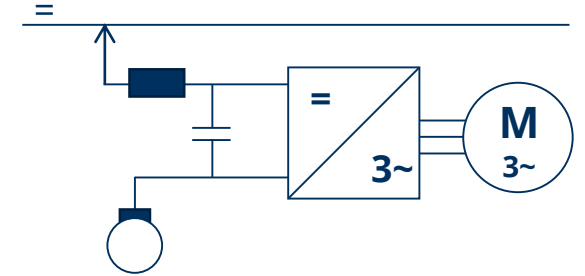
# 3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

## 3.1 Elektrotriebfahrzeuge

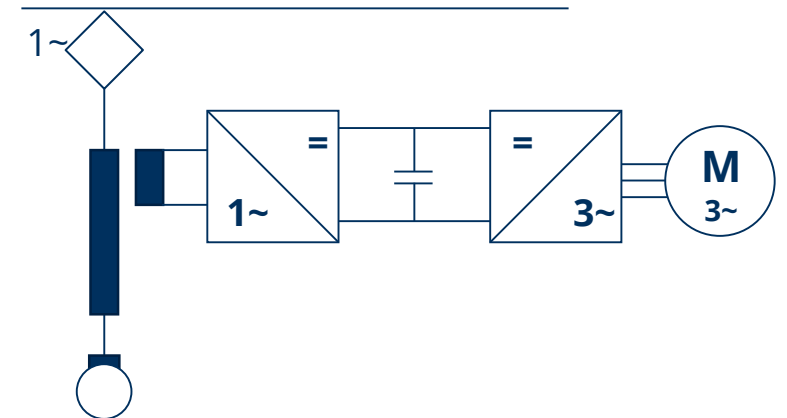
### 3.1.8 Drehstrom-Antriebstechnik (DAT)

#### Elektrotechnische Voraussetzungen

- DAT ermöglicht erstmals Standardisierung in der Tzf-Antriebstechnik (E+V)
- Grundprinzip:



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



# 3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

## 3.1 Elektrotriebfahrzeuge

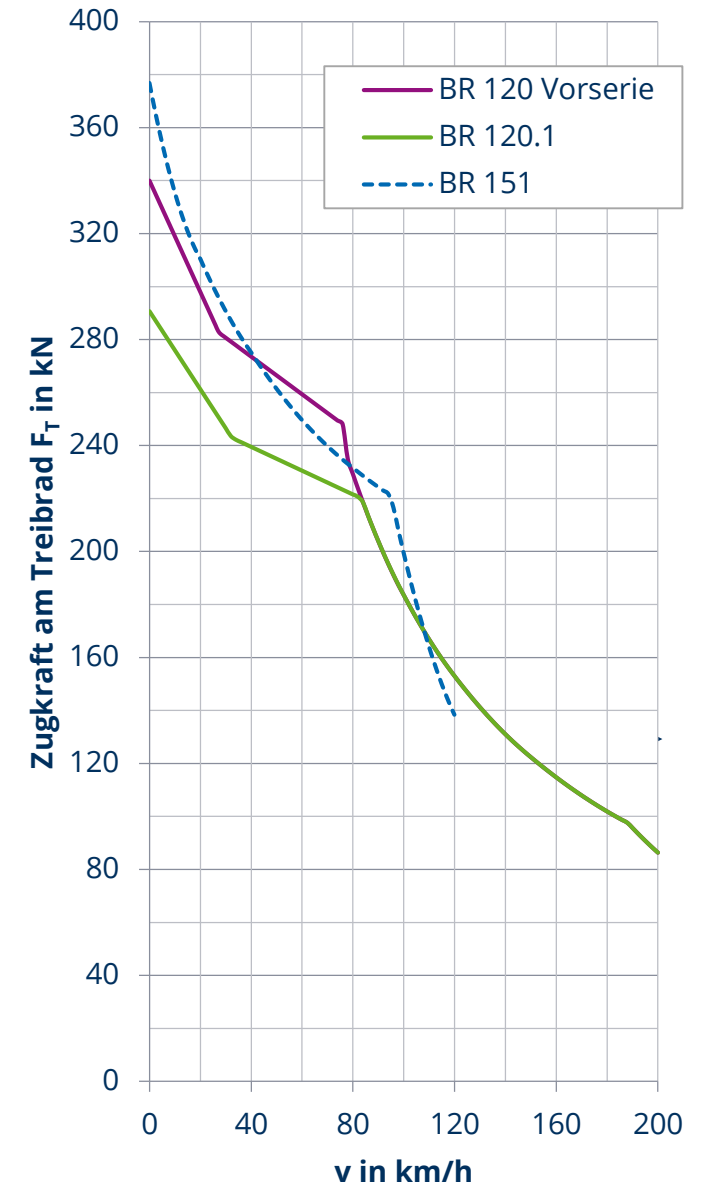
### 3.1.8 Drehstrom-Antriebstechnik (DAT)

#### 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

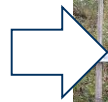
### 3.1.10 Aktuelle Lokomotivfamilien

- 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

