



# DMG Seminar

## Antriebs- und Bremssysteme

DB Systemtechnik GmbH | Dr. Helmut Möller | TT.TVE 3 | 21.10.2025

# Antriebssysteme Überblick (1)

## Dampftraktion

- Prägend für die Entwicklung der Eisenbahn weltweit
- 1804 erste Dampflokomotive in England



- Wirkungsgrad 4-10%
- Sehr hohe Betriebskosten (Instandhaltung, Personal, Verfügbarkeit)
- Begrenzte Leistung (max. 1,5 – 2,2 MW)
- Begrenzte Reichweite (max. 400 – 500 km)

# Antriebssysteme Überblick (2)

## Elektrische Traktion

### Vorteile:

- Hohe Leistungsfähigkeit auf kleinem Raum
- Hohe Beschleunigungen
- Geringer Wartungsaufwand
- Keine Reichweitenrestriktionen
- Keine fossilen Brennstoffe erforderlich
- Energierückspeisung beim Bremsen



### Nachteile:

- Einmalkosten Infrastruktur
- Anfälligkeit Oberleitung bei Naturereignissen
- Gefährdung durch Spannung





# Antriebssysteme Überblick (3)

## Dieseltraktion

### Vorteil:

- Wenig ortsfeste Installationen erforderlich

### Nachteile:

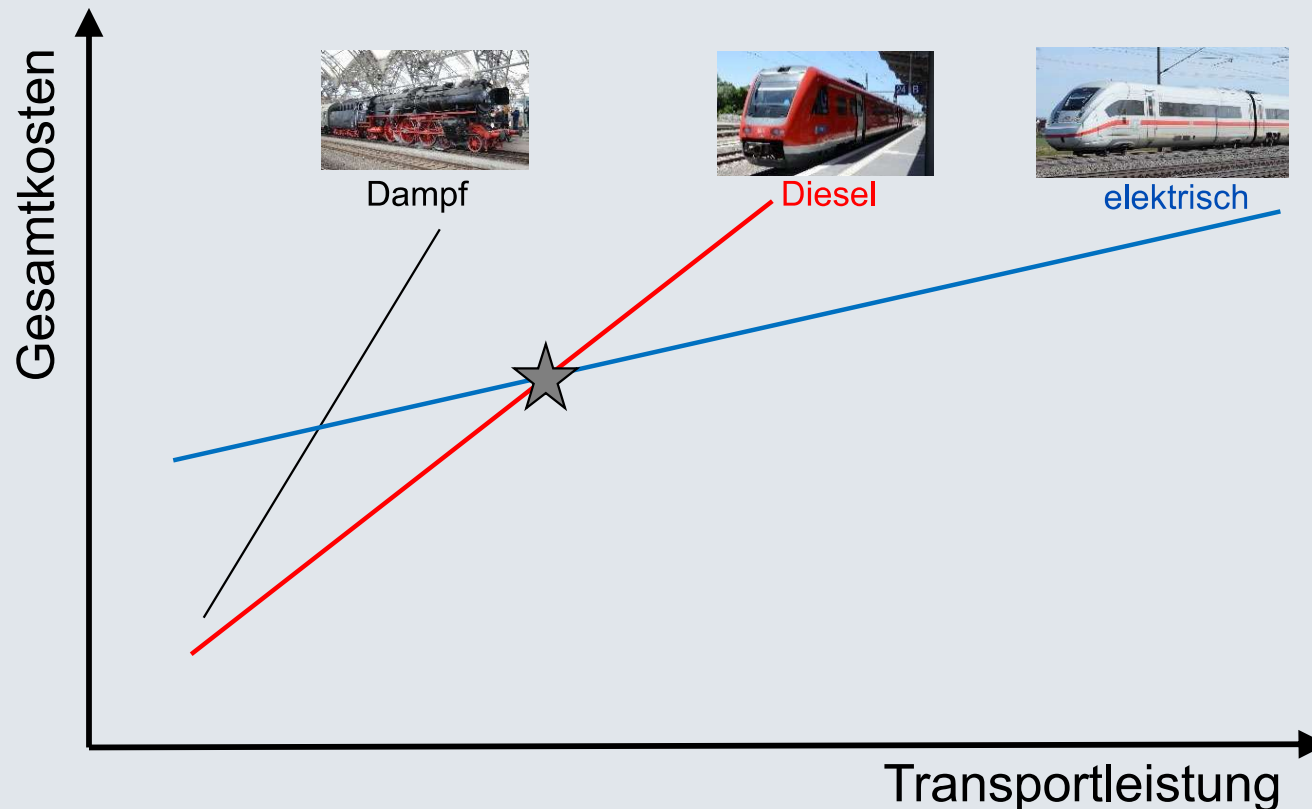
- Instandhaltungskosten
- Reichweite begrenzt (Kraftstofftank)
- Geringe Leistung
- Keine Energierückspeisung
- Abgase ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{No}_x$ , Feinstaub, Rußpartikel)
- Lärmbelastung



# Antriebssysteme Überblick (4)

## Gesamtkosten

- Dieseltraktion vorteilhaft bei schwachem Verkehr
- Elektrische Traktion vorteilhaft bei starkem Verkehr



### Kostengrenze★

abhängig von:

- Energiepreisen
- Streckenauslastung
- Infrastrukturkosten
- Fahrzeug-Systemkosten

Richtwert:  $12 \times 10^6$  tkm/Jahr km =  
1 Zug mit 1350 t / Stunde

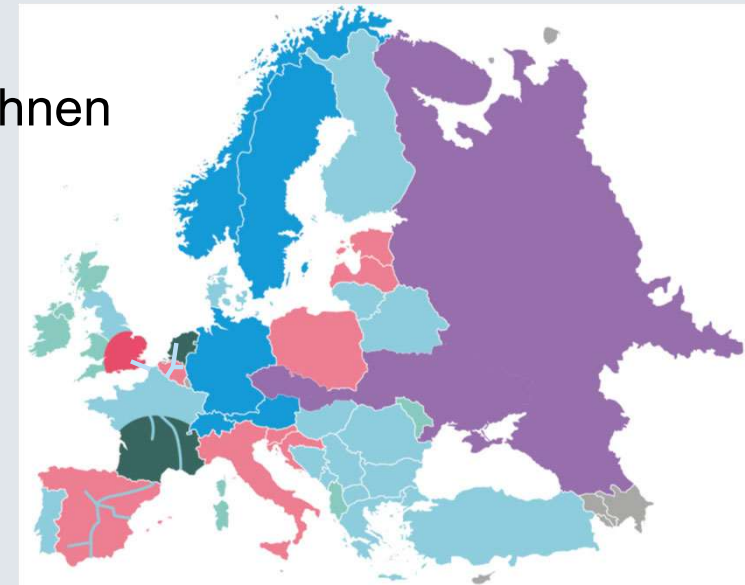
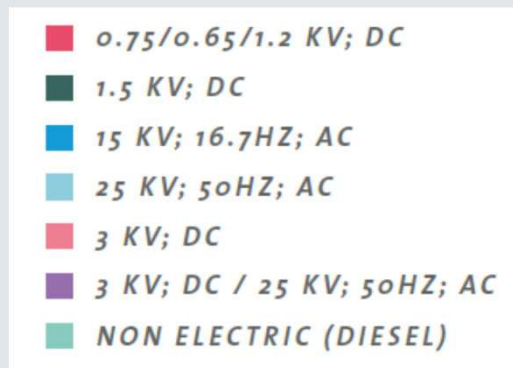
(Quelle Zarko Filipovic, Elektrische Bahnen)

# Antriebssysteme – Elektrische Antriebstechnik

## Überblick Energieversorgungssysteme

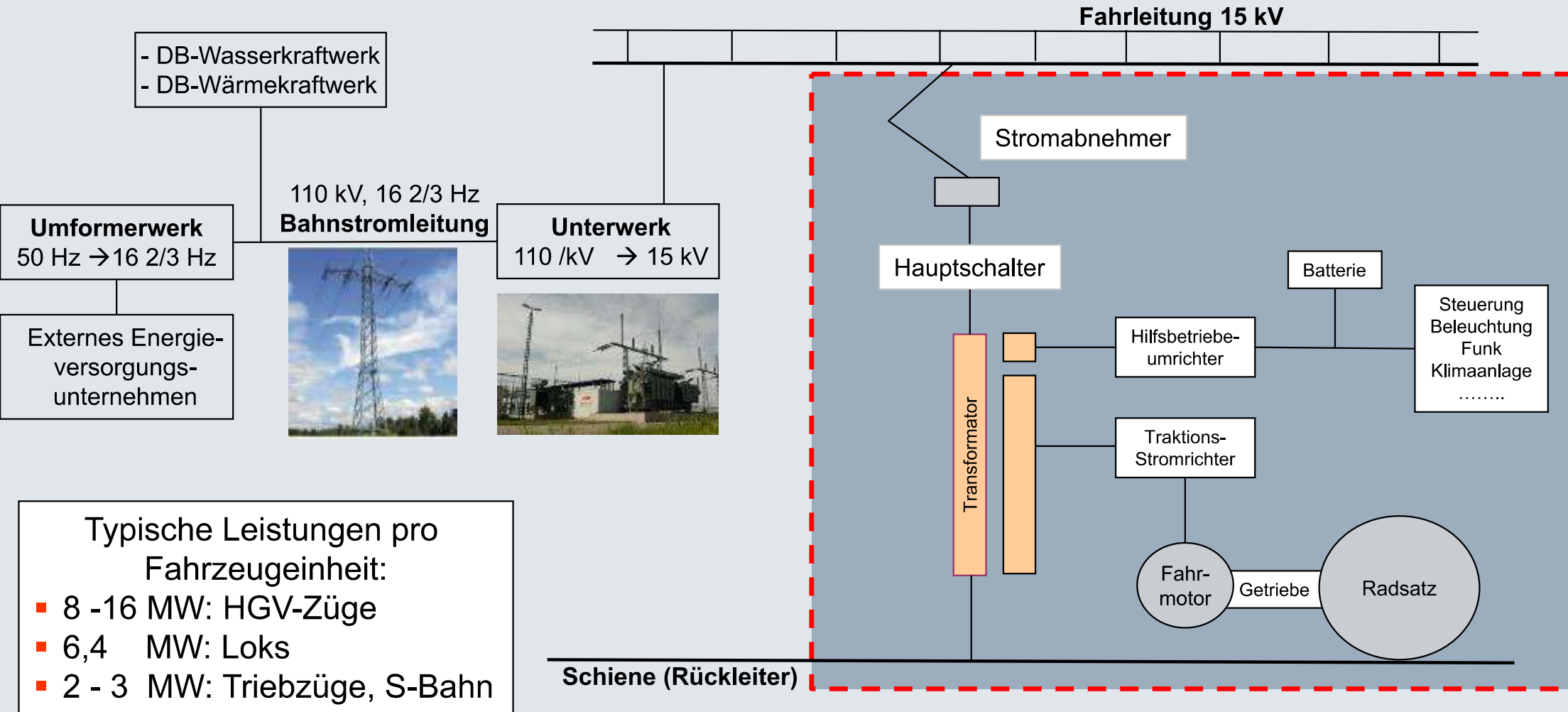
### Energieversorgung

- Einphasenwechselspannung **15 kV** - Frequenz **16,7 Hz**:  
Deutschland, Österreich, Schweiz, Norwegen, Schweden
- Einphasenwechselspannung **25 kV** mit Landesfrequenz **50/60Hz** :  
Frankreich, Dänemark, UK, Japan, Südkorea u.a.
- Gleichspannung **3 kV**: Italien, Belgien, Polen, Spanien u.a.
- Gleichspannung: **1,5 kV**: südl. Frankreich, Niederlande
- Gleichspannung: **600 V** oder **750 V**: Straßen- und U-Bahnen



# Antriebssysteme – Elektrische Antriebstechnik

## Energieversorgung im DB-Netz



# Antriebssysteme – Elektrische Antriebstechnik

## Komponenten des elektrischen Antriebsstranges

### Stromabnehmer (SA)

- Schleifleiste: muss hohen Strom übertragen (bis 1500 A)
- Material: möglichst verschleißarm; derzeit Grafit
- Wippenbreite = 1950mm in Deutschland
- Automatische Absenkeinrichtung mittels Schleifleistenüberwachung
- Wechselwirkung Stromabnehmer–Oberleitung → dynamisches Verhalten
- Lichtbögen müssen vermieden werden → Schäden an SA und Oberleitung
- Aerodynamik (fahrtrichtungsunabhängig) und Aeroakustik



### Hauptschalter (HS)

- Funktion: Sicherung
- durch Druckluft-Federspeicher ferngesteuerter Hochleistungsschalter, auf dem Dach montiert
- Vakuum-Hauptschalter auch in Maschinenräumen

### Transformator

- Transformation der Fahrleitungsspannung 15 kV auf 500 – 1000 Volt (Traktion) bzw. 100-220 Volt (Hilfsbetriebe)
- Hohes Gewicht wegen niedriger Frequenz ( $16 \frac{2}{3}$  Hz)
- Kühlung notwendig



# Antriebssysteme – Elektrische Antriebstechnik

## Motorsteuerung - historische Lösung für Wechselstrombahnen (1)

### Prinzip

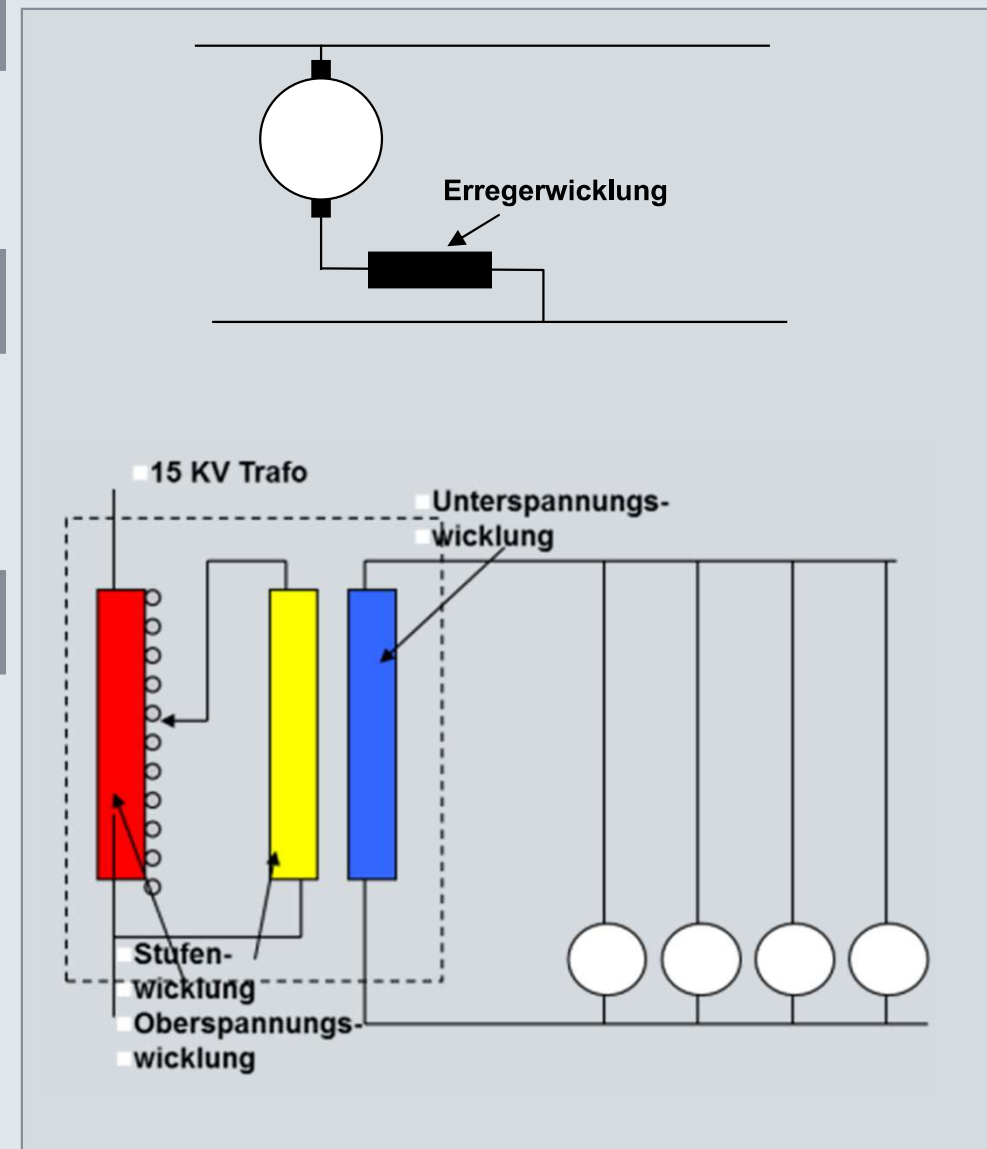
- Einphasenreihenschluss(kommutator)motor
- Leistung wird über Spannung gesteuert  
→ ein Schaltwerk greift 30 Trafoanzapfungen ab

### Vorteile

- Einführung elektrischer und umweltfreundlicher Antriebstechnik bereits im frühen 20. Jahrhundert
- Realisierung hoher Leistungen durch Einphasennetz:  
15 kV, 16 2/3 Hz, elektrifiziertes DB-Netz : ca. 20.000 km

### Nachteile

- Kommutierende Spule verantwortlich für Funkenbildung (Kollektorfeuer) - Funkenspannung ist proportional zur Netzfrequenz → 16,7 Hz Netzfrequenz bei der Deutschen Bahn
- Abnutzen der Kommutatorbürsten
- Keine kontinuierliche Zugkraftregelung, stufenweise, ruckartige Zugkraftherhöhung
- Phasenrichtige Energierückspeisung nur mit hohem Aufwand möglich
- Gewicht und Größe von Fahrmotor und Transformator



# Antriebssysteme – Elektrische Antriebstechnik

# Motorsteuerung - historische Lösung für Wechselstrombahnen (2)



Foto: Sebastian Terfloth

- 6 achsige E-Lok
- 6 Fahrmotoren
- Leistung: 7,8 MW
- Höchstgeschwindigkeit: 200 km/h
- Baujahr und Stückzahlen: E 03 - 1965 4 Stück  
103 - 1970-1974: 145 Stück

# Antriebssysteme – Elektrische Antriebstechnik

## Drehstromtechnik (1)

### Prinzip

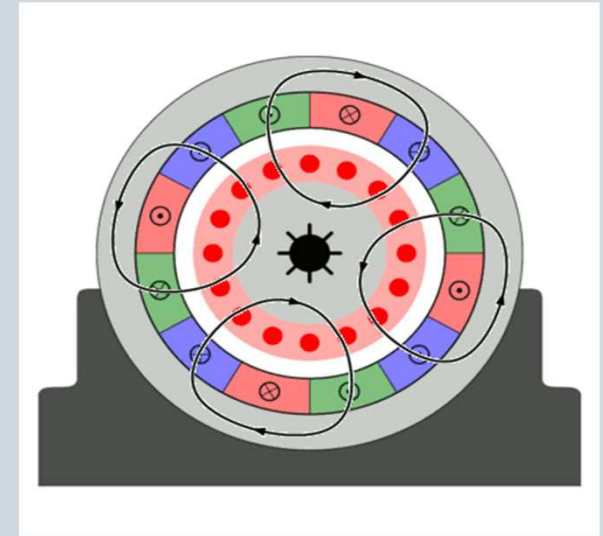
- Asynchronmotor
- Im Läuferkäfig wird durch Wechselfeld Strom induziert
- Läuferkäfig folgt dem Wechselfeld
- Drehzahlregelung über Frequenz (ca. 0 bis 400Hz),
- Drehmomentregelung über Motorspeisespannung

### Vorteile

- Einfacher robuster und wartungsarmer Aufbau der Fahrmotoren (kein Kollektor, keine Bürsten) → wartungsarm
- Abmessungen und Gewicht gering  
Beispiel Motor ET 442: Gewicht: 600 kg; Leistung: 250 kW;  $d = 460\text{mm}$ ;  $L = 720\text{mm}$
- Elektrische Nutzbremse einfach realisierbar → weiterer Ausbau des Umweltvorteils der Bahn gegenüber anderen Verkehrsträgern
- Speisung mit allen Netzfrequenzen und auch Gleichspannung möglich
- Realisierung dieselektrischer Fahrzeuge
- Entfall von Schaltwerk und dessen Ansteuerung

### Nachteile

- Anspruchsvollere EMV-Problematik (Störströme)
- Antteuerung





# Antriebssysteme – Elektrische Antriebstechnik

## Drehstromtechnik (2)

### Fahrmotor und Leistungssteuerung

Erste Versuche mit Drehstrom aus 3poliger Fahrleitung





# Antriebssysteme – Elektrische Antriebstechnik

## Drehstromtechnik (3)

### Leistungssteuerung – Traktionsumrichter mit Asynchronmotoren

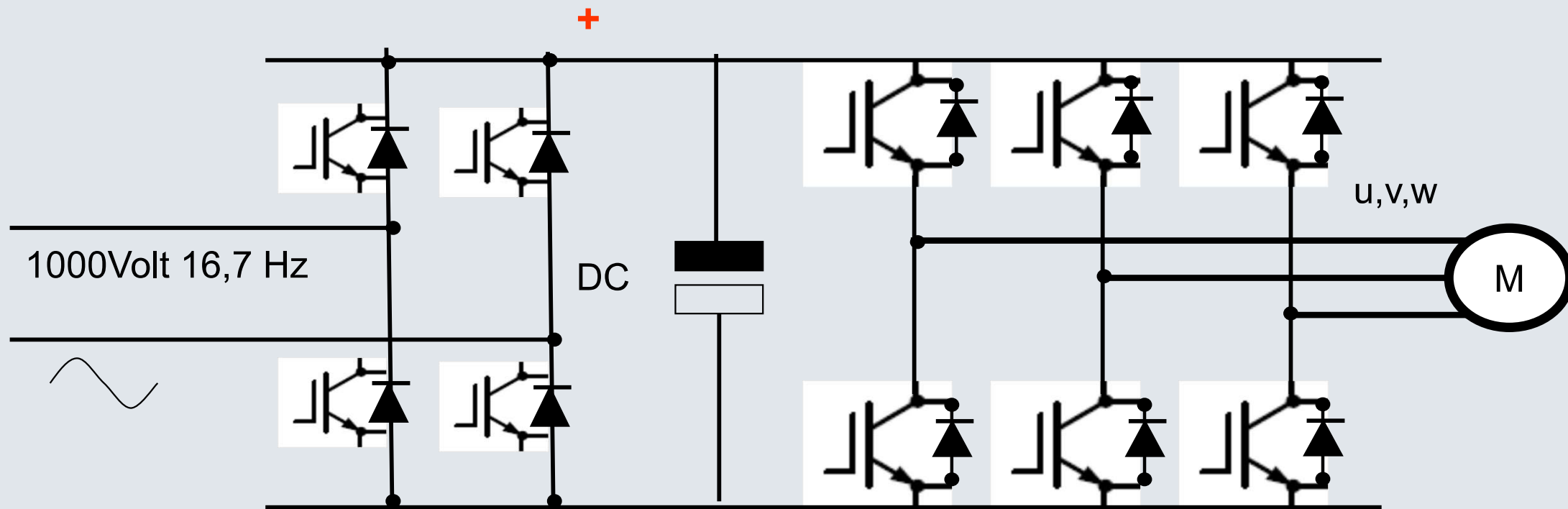
- Regelung stufenlos möglich
- Vier-Quadranten-Steller (4QS) wandelt Wechselspannung in Gleichspannung um (Gleichspannungs-Zwischenkreis)
- Pulswechselrichter wandelt Gleichspannung in dreiphasige Ausgangsspannung mit variabler Frequenz um
- Ursprünglich Stromrichter mit separaten Löschthyristoren (Lok BR 120; ICE 1)
- Später GTO Technik (Gate Turn off Thyristor) (Lok BR 101; ICE1 und 2)
- Heute: IGBT Technik (Insulated Gate Bipolar Transistor)
  - Stromrichterbaugruppen kleiner und weniger komplex
  - geringere Verluste
 (Loks BR 147, 187, 193; ICE 3 und ICE 4)
- Perspektive: Siliziumkarbid (SiC)-Halbleiter



# Antriebssysteme – Elektrische Antriebstechnik

## Drehstromtechnik (4)

### Leistungssteuerung - Traktionsumrichter



4 Quadrantensteller

DC Zwischenkreis

Pulswechselrichter

# Antriebssysteme – Elektrische Antriebstechnik

## Drehstromtechnik (5)

### Leistungssteuerung – GTO - Beispiel



# Antriebssysteme – Elektrische Antriebstechnik

## Drehstromtechnik (6)

### Leistungssteuerung – IGBT - Beispiel

Technische Information / technical information

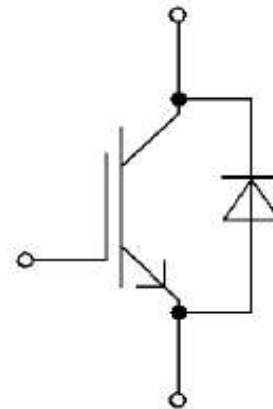
IGBT-Module  
IGBT-modules

**FZ750R65KE3T**



hochisolierendes Modul  
high insulated module

**Vorläufige Daten / preliminary data**



$V_{CES} = 6500V$

$I_{C\ nom} = 750A / I_{CRM} = 1500A$



# Antriebssysteme – Elektrische Antriebstechnik

## Drehstromtechnik (7)

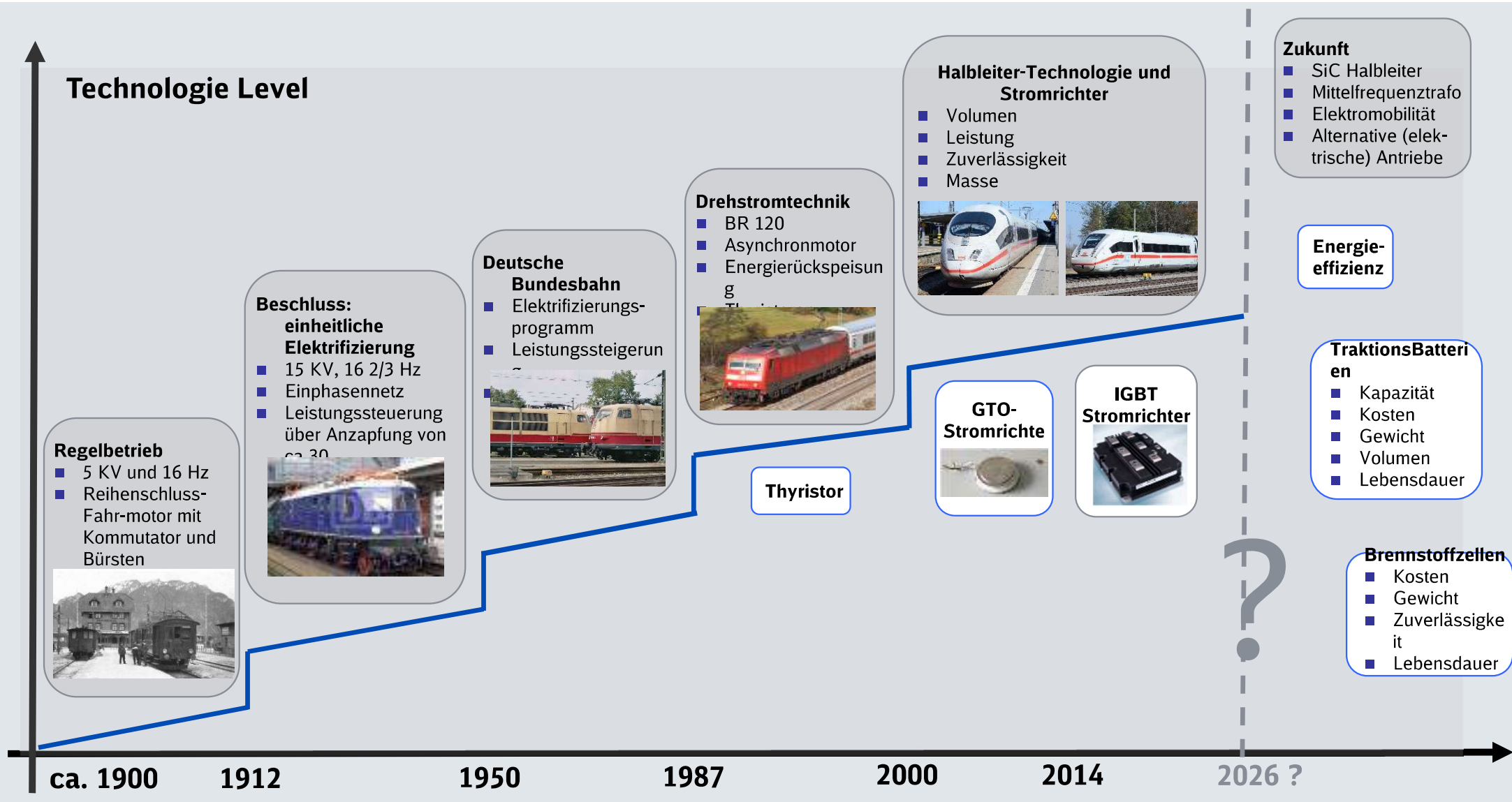
### BR120 - erste Seriendrehstromlokomotive der Welt

- 5 Prototyplokomotiven ab 1979 (BR 120<sup>0</sup>)
  - Jahrelange Erprobung
  - ca. 4 Mio. Laufkilometer
- 60 Serienloks ab 1987 (BR 120<sup>1</sup>)
- Drehstrom-Asynchronmotor
- Transformatorspannung  
ca. 1200 Volt
- Zwischenkreis 2800 Volt
- Frequenz PWR: 200Hz
- Leistung:  
 $4 \times 1.400 \text{ kW} = 5.600 \text{ kW}$
- Höchstgeschwindigkeit: 200 km/h
- Energie-Rückspeisung ins Netz  
beim elektrischen Bremsen möglich



# Antriebssysteme – Elektrische Antriebstechnik

## kontinuierliche Entwicklung und Technologiesprünge



# Antriebssysteme – Brennkrafttechnik

## Überblick Dieseltraktion (1)

### Geschichtlich

- 1892 Rudolf Diesel Patentanmeldung
- 1897 Erstes funktionsfähiges Modell mit 17,5 PS

### Heute

- Wirkungsgrad im Bestpunkt 33 – 40%; Durchschnitt 24%
- Lokomotiven: bis 160 km/h; 2000 – 4000 KW
- Triebzüge: bis 200 km/h (BR 605); 400 – 2000 kW

### Man unterscheidet anhand der Kraftübertragung:

#### 1. Dieselmekanische Fahrzeuge

Kraftübertragung erfolgt mechanisch mit klassischem Getriebe

#### 2. Dieselhydraulische Fahrzeuge

hydraulischer Drehmomentwandler und Kupplung

Drehmomentwandler verbindet An- und Abtriebs-Wellen über einen Ölkreislauf

#### 3. Dieselektrische Fahrzeuge

Dieselmotor treibt einen Generator an, der den/die elektrischen Fahrmotor(en) mit Energie versorgt

# Antriebssysteme – Brennkrafttechnik

## Überblick Dieseltraktion (2)

### Dieselmekanische Fahrzeuge

- mechanisches Getriebe - klassisches Stufenschaltgetriebe
- Zugkraftunterbrechung bei Gangschaltung
- Anfahrverhalten kritisch
- nur kleine Leistungen
- volle Motorleistung erst am Ende von jedem Gang
- automatische mechanische Getriebe werden oft hydraulischen Getrieben nachgeschaltet

Anwendung: Regional-Triebzüge



### Dieselhydraulische Fahrzeuge

- Hydraulischer Drehmomentwandler verbindet Antriebs- und Abtriebswellen über einen Ölkreislauf
- besserer durchschnittlicher Wirkungsgrad
- hohe Zugkraft bei der Anfahrt
- bessere Möglichkeiten zum Antrieb der Hilfsaggregate
- bei kleineren Leistungen Kraftübertragung mit Hochdrucköl (hydrostatischer Antrieb)

Anwendung: Lokomotiven (v.a. in DE), Triebzüge





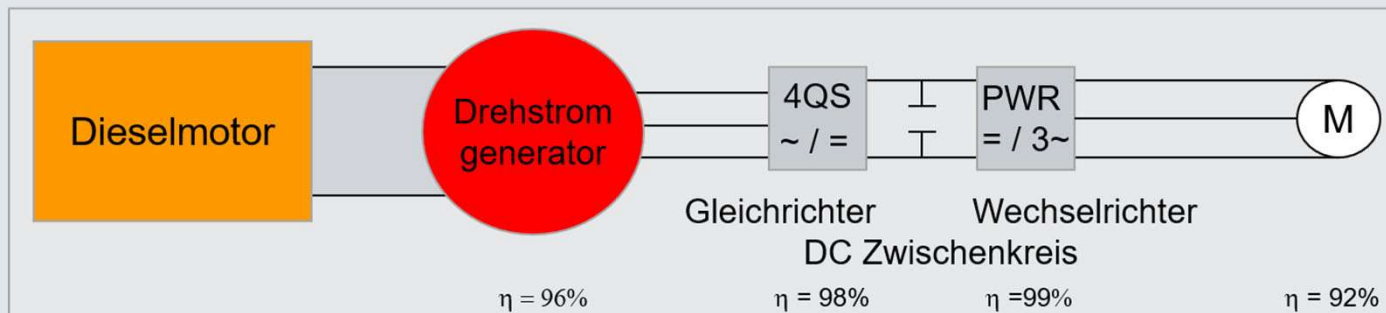
# Antriebssysteme – Brennkrafttechnik

## Überblick Dieseltraktion (3)

### Dieselelektrische Fahrzeuge

Dieselmotor treibt einen Generator an, der den/die elektrischen Fahrmotor(en) mit Energie versorgt

- Technik
  - früher: Gleichstromgenerator
  - später: Drehstromgenerator mit Gleichrichter versorgt Gleichstrommotor
  - heute: Drehstromtechnik mit Asynchron-Drehstrommotor
- idealer Betriebspunkt des Dieselmotors
- kluges Energiemanagement möglich
- Hybridfähigkeit: V / E möglich
- Nachteil: höhere Kosten; Gewicht
- lange Wirkungsgradkette



# Antriebssysteme – Brennkrafttechnik

## Beispiel Mehrmotortechnik

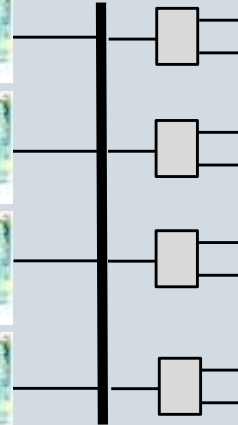
### BR 245 Multi Engine



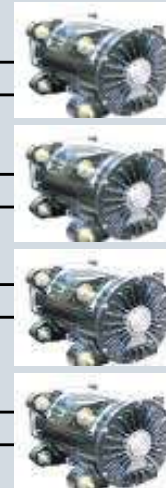
Dieselmotor



ZK



E-Motor



### BR 245

- Hersteller: Bombardier
- Betriebsaufnahme: 2014
- $V_{max} = 160 \text{ km/h}$
- Anfahrzugkraft: 300 kN
- Leistung: 4 x 563 kW
- Tankinhalt: max. 4230 l
- im Einsatz: 30 Fahrzeuge (DB)  
15 Fahrzeuge (Paribus)
- Zu- und Abschalten einzelner Motoren je nach Leistungsanforderung





# Antriebssysteme – Brennkrafttechnik

## Ausgewählte Komponenten und Themen

### Dieselmotor

- 8 bis 20 Zylinder pro Motor
- Abgasturbolader führt verdichtete Luft dem Motor zur Ansaugung zu und steigert Leistung
- Vorwärmung des Dieselmotors durch Fremdenergie

### Kühlung

- Wasserkühlung
- Sommer: Hitzestörungen möglich → Wartung Kühler – Pollenfilter

### Betriebsvorräte (am Beispiel BR 642):

- Diesel: 1 l pro Kilometer, d.h. 1000 l für 1000km
- Heizöl: 300 l
- Schmiermittel
- Getriebeöl
- Motoröl: 50 l / Motor: Ölwechsel
- Kühlflüssigkeit: 260 Liter



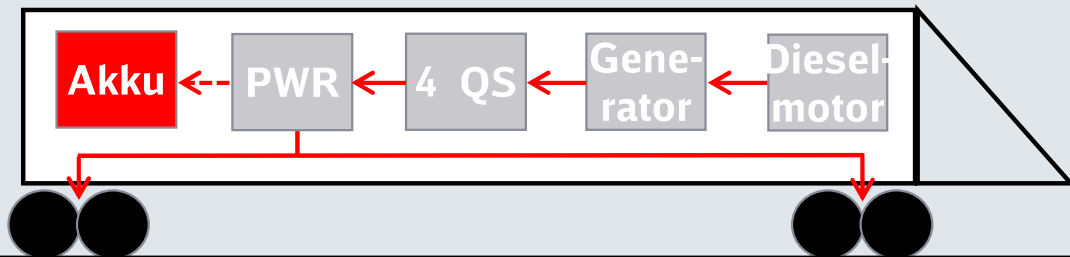
### Umweltbelastung

CO<sub>2</sub>, keine Bremsenergie rückgewinnung, Lärm, Rußpartikelfilter

# Antriebssysteme - Hybridfahrzeuge

## Diesel-Akku-Hybridfahrzeug

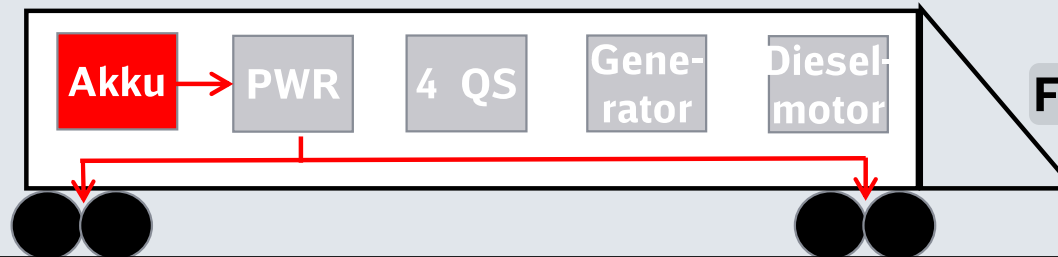
### Energiebezug aus Dieselmotor und Generator



Fahren und/oder Laden des Akkus

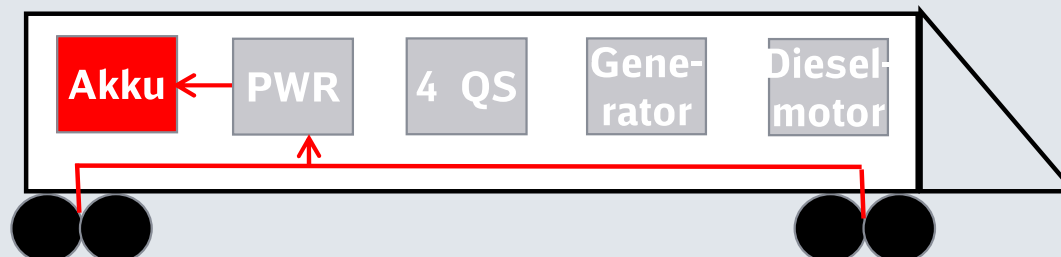
Laden des Akkus im Stand auch über Kabel möglich

### Energiebezug aus Energiespeicher



Fahren mit Energie aus dem Akku

### Rückspeisung Bremsenergie in Energiespeicher

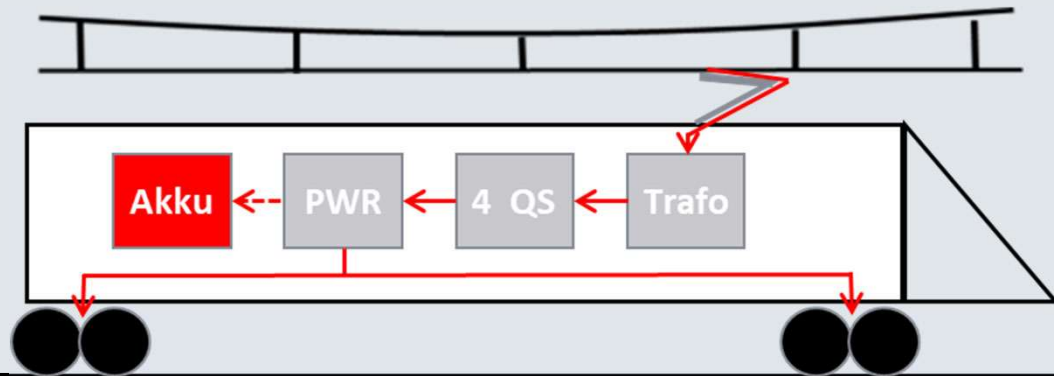




# Antriebssysteme - Hybridfahrzeuge

## BEMU (Batterieelektrischer Triebzug)

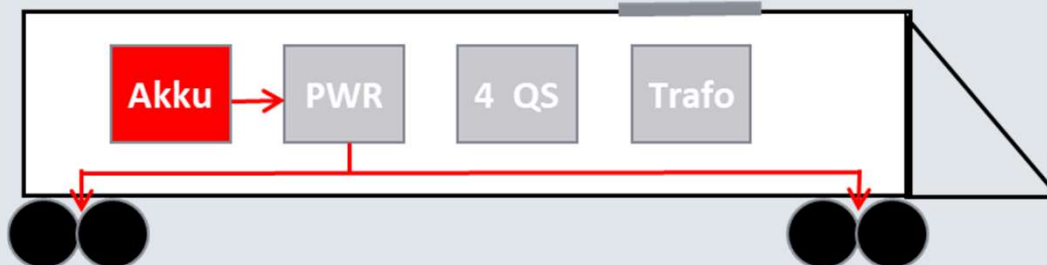
### Energiebezug aus Fahrleitung



Fahren und/oder Laden des Akkus

Laden des Akkus im Stand auch über Kabel möglich

### Energiebezug aus Energiespeicher



Fahren mit Energie aus dem Akku

### Rückspeisung Bremsenergie in Energiespeicher /und oder Fahrleitung

# Antriebssysteme - Hybridfahrzeuge

## BEMU (Batterieelektrischer Triebzug) - Beispiele

**Handelsblatt**  
EISENBAHN

16.10.2019

### Dieser Batterie-Zug soll bald die Dieselloks ablösen (Anm.: in Schleswig-Holstein)

Die Tage des Dieselantriebs auf der Schiene sind gezählt. Nach den Wasserstoff-Triebwagen von Alstom rollen nun die Batteriezüge von Stadler an.



Quelle: Stadler

**Schwarzwälder Post**

Lahr, Ortenau | 6.07.2020

### Züge rollen bald mit Batterie

Nahverkehr | SWEG bringt Hybrid-Antriebe auf Dieselstrecken – Einsatz auch im Harmersbachtal



Mireo  
Fa. Siemens

**SÜDWEST PRESSE**

### Batteriezug Talent 3 kommt mit Verspätung

Hersteller Bombardier muss Probebetrieb auf zwei Strecken bei Ulm verschieben.

25. Juli 2019, 18:13 Uhr • Alb-Donau-Kreis



Quelle:  
Bombardier

# Antriebssysteme - Hybridfahrzeuge

## BEMU (Batterieelektrischer Triebzug) – Bestellungen (Stand August 2021)

Bundesland	Anzahl und Typ	Betriebseinsatz
• Schleswig-Holstein:	55 Züge „Akku-Flirt“ der Fa.Stadler	ab 2022
• Sachsen:	11 Züge „Corradia Continental“ der Fa.Alstom	ab 2023
• Baden-Württemberg:	20 Züge „Mireo Plus B“ der Fa.Siemens	ab 2023
• Berlin und Brandenburg:	26 Züge „Mireo Plus B“ der Fa.Siemens	ab 2024
• Nordrhein-Westfalen:	63 Züge „Civity BEMU“ der Fa.CAF	ab 2025

<b>Summe:</b>	<b>175 Züge</b>
---------------	-----------------

Weitere Fahrzeuge im Testbetrieb



# Antriebssysteme - Hybridfahrzeuge

## HEMU (Wasserstoff-Triebzug) – Bestellungen (Stand August 2021)

Bundesland	Anzahl und Typ	Betriebseinsatz
• Niedersachsen:	14 Züge „i-LINT“ der Fa. Alstom	ab 2022
• Hessen:	27 Züge „i-LINT“ der Fa. Alstom	ab 2022

**Summe: 41 Züge**

Weitere Fahrzeuge im Testbetrieb





# Bremssysteme



# Bremssysteme Überblick

## Bremsen

### Kraftschlussabhängig

Mechanische Bremsen

Dynamische Bremsen

Klotzbremsen

Elektrische Bremsen

Scheibenbremsen

Hydrodynamische Bremsen

Trommelbremsen

Motorbremsen

### Kraftschlussunabhängig

Schienenbremsen

Magnetschienenbremsen

Wirbelstrombremsen

Züge müssen unter allen Bedingungen sicher zum Halten gebracht werden:

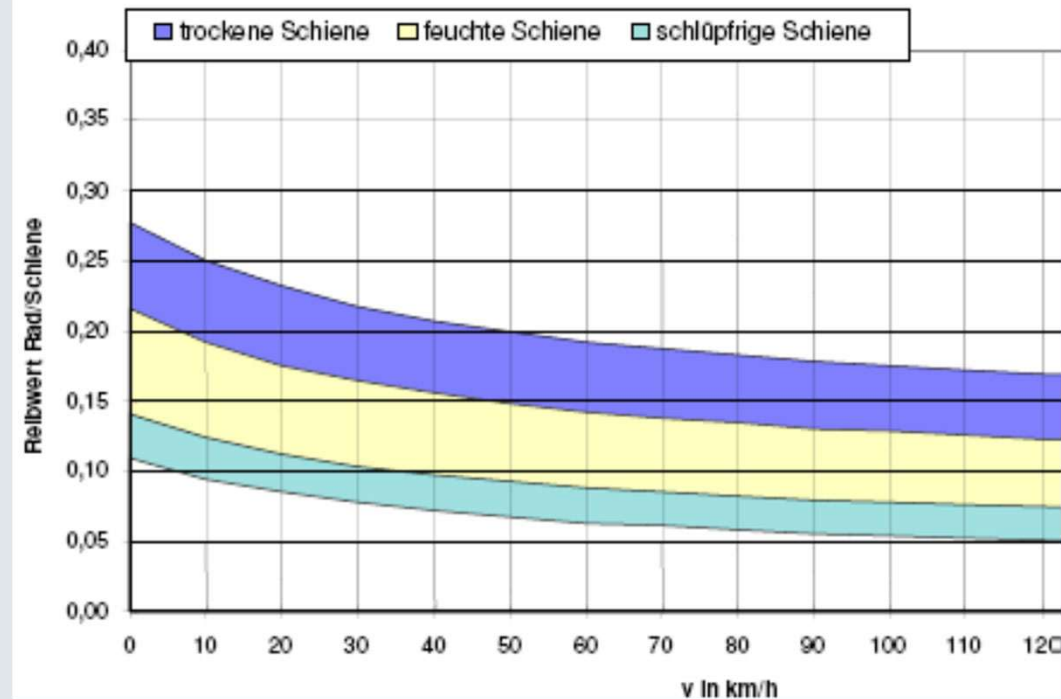
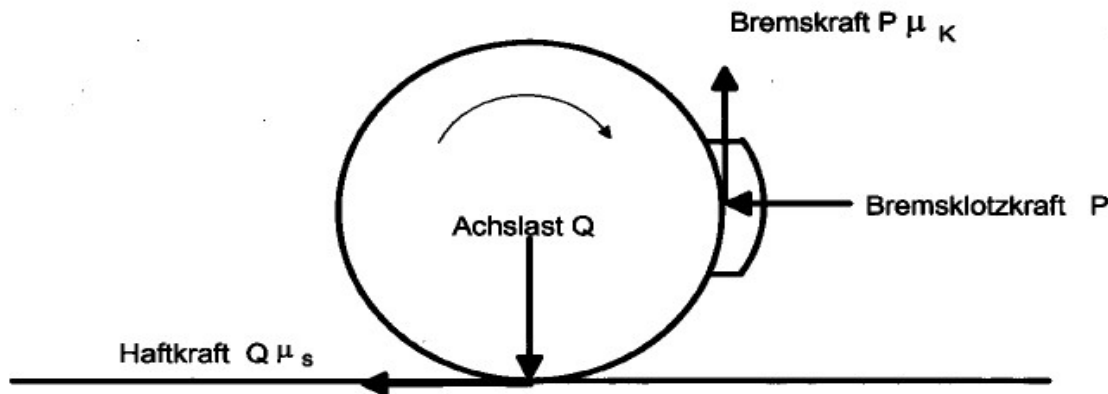
- Bremsen müssen durchgängig sein
  - Bremsen aller Fahrzeuge eines Zuges von einem Punkt aus
- Bremse muss selbsttätig sein
  - Wirksamkeit bei Zugtrennung, Beschädigung der Luftleitung

# Bremssysteme - Prinzip

$\mu_K$  = Beiwert der gleitenden Reibung zwischen Rad und Bremsklotz

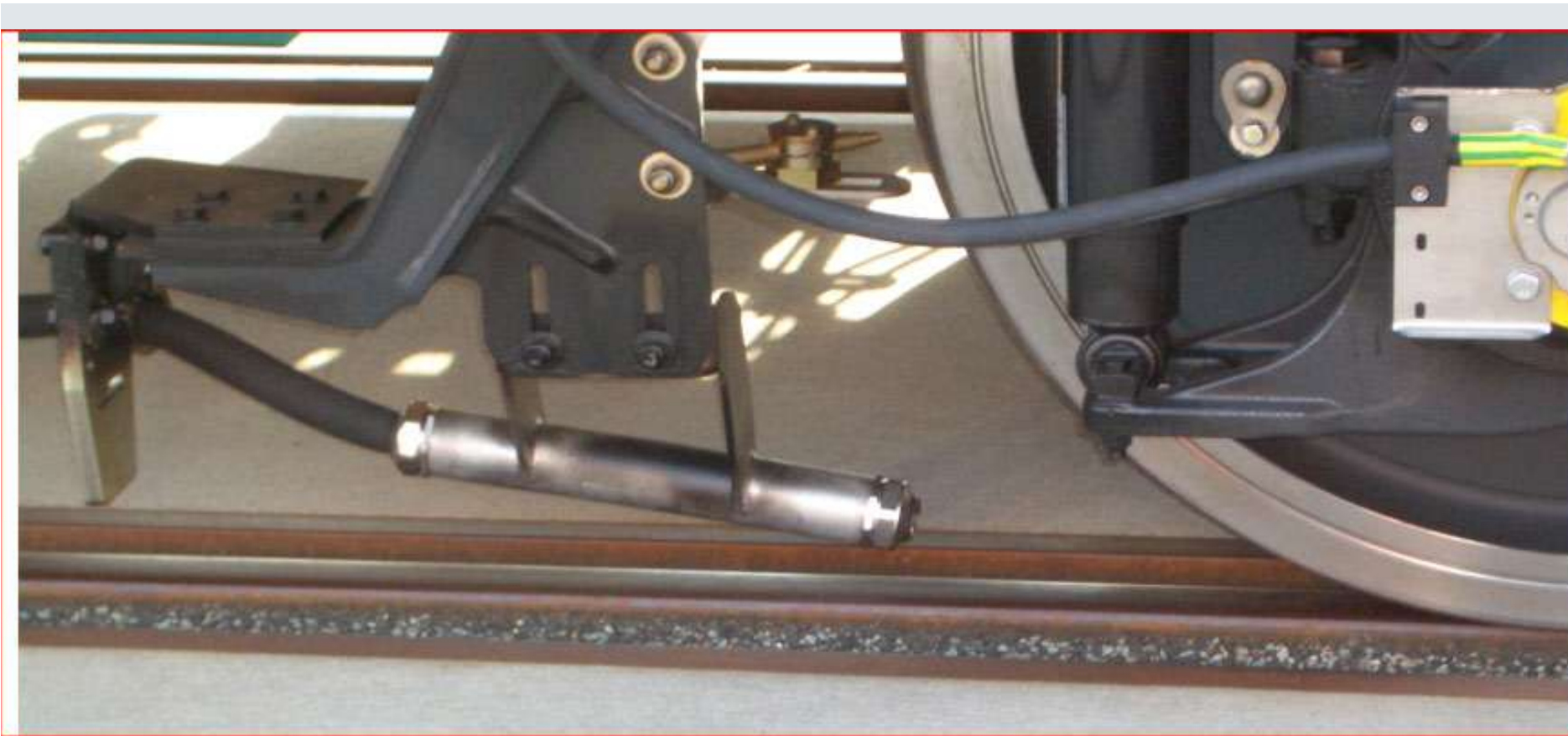
$\mu_s$  = Beiwert der Haftung zwischen Rad und Schiene

Bedingung:  $P \mu_K < Q \mu_s$



- Bei **Bremsberechnungen** sind nach TSI für  $0 \text{ km/h} < v \leq 250 \text{ km/h}$ :  $\mu = 0,15$ ; bis  $350 \text{ km/h}$  linear auf  $\mu = 0,10$  fallend anzusetzen
- **Maximal übertragbare Zug- bzw. Bremskraft** =  $F = m \cdot g \cdot \mu$   
Stahl / Schiene:  $\mu = 0,161 + 7,5 / (v+44)$  (Empirische Formel von Curtius)
- **Gleitschutz**: Verhindert Blockieren der Räder
- **Sanden**: erhöht  $\mu$ , d.h. verbessert den Kraftschluss beim Bremsen **und** der Traktion

# Bremssysteme - Sandungsanlage





# Bremssysteme – Prinzip Druckluftbremse

## Direkt wirkende Bremse

### Historisch

- nur Tender hinter der Lok gebremst
- Wagen besetzt mit Bremsern

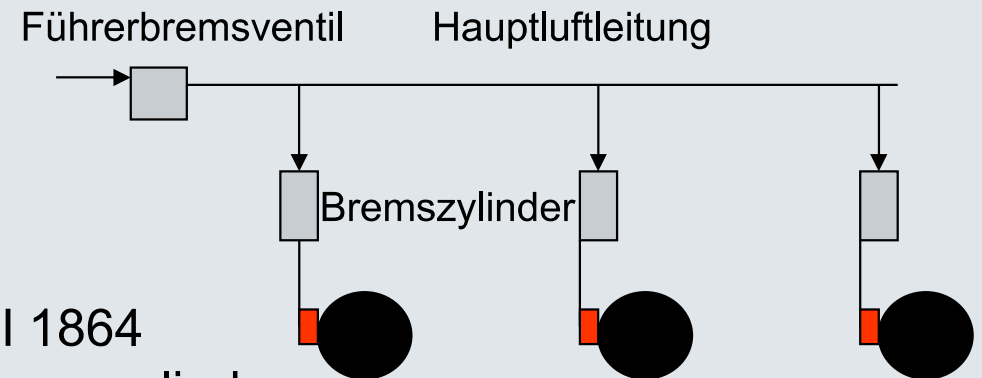
### Frühe Druckluftbremsen: direkt wirkend

- 1. durchgehende Druckluftbremse von Kendall 1864
- Druck der Hauptluftleitung steuert direkt die Bremszylinder  
→ Bremse wird bei Druck in der Hauptluftleitung angelegt
- Nachteil: bei Zugtrennung oder Beschädigung der Druckluftleitungen wirkt Bremse nicht mehr – nicht selbsttätig

### Heute üblich: indirekt wirkend

- seit 1873 von Westinghouse erfunden
- durchgängig **und** selbsttätig
- lange Zeitkonstanten → Abhilfe: elektro-pneumatische (ep) Bremssteuerungen

Direkt wirkende Bremse



# Bremssysteme – Prinzip Druckluftbremse

## Indirekt wirkende Bremse

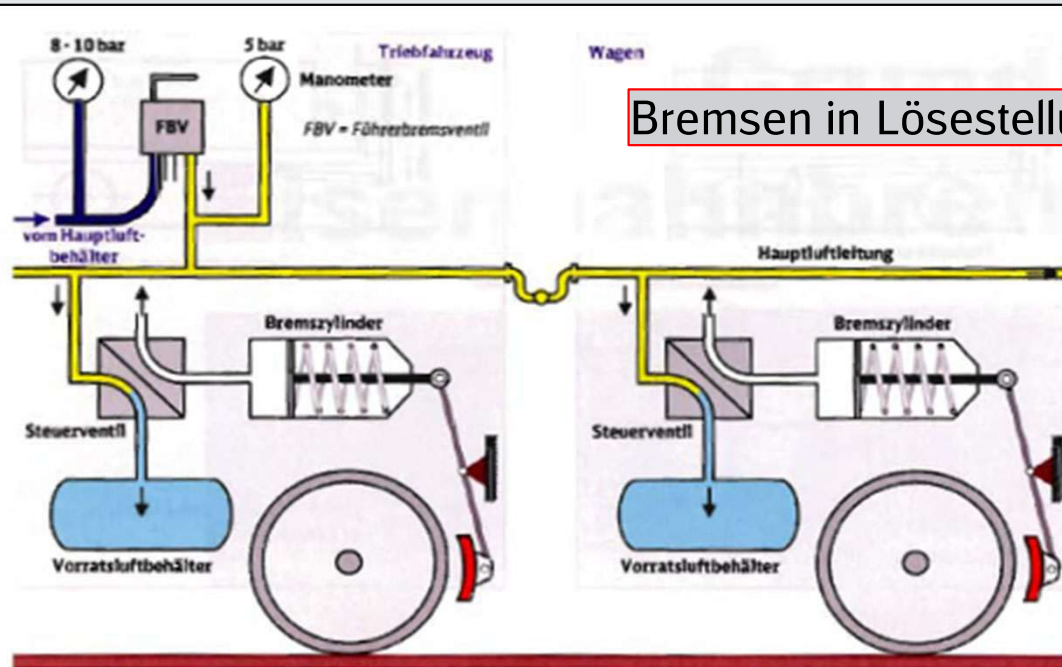


Abbildung: Deine Bahn 5/2009

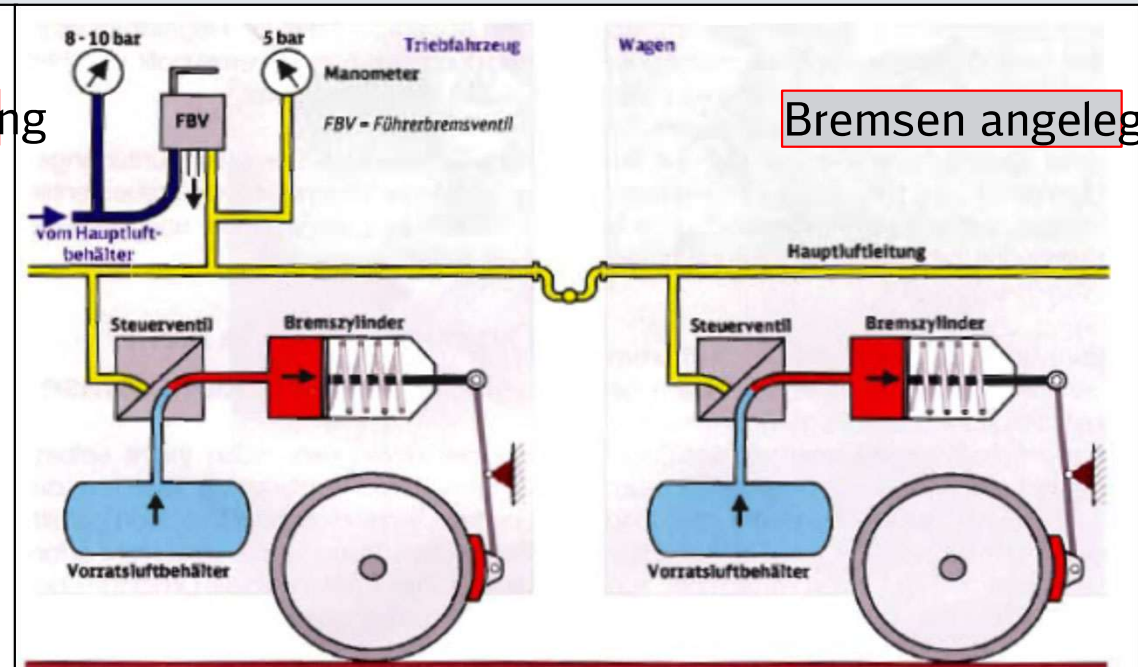
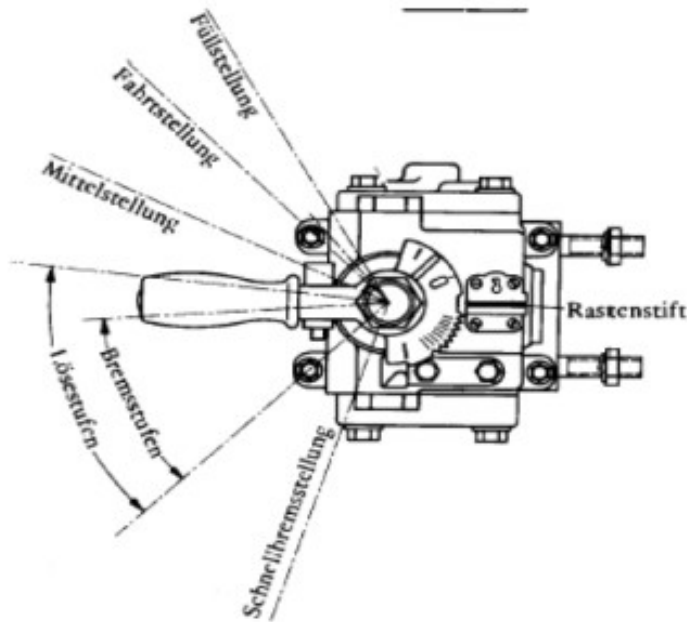


Abbildung: Deine Bahn 5/2009

- Führerbremsventil (FBV) in Fahrtstellung, Steuerventil in Stellung 1:
  - Vorratsbehälter wird gefüllt; falls Druck Hauptluftleitung 5bar
  - kein Druck auf Bremszylinder → Bremse ist gelöst
- Durch Betätigung des Führerbremsventils Absenkung des Drucks in der Hauptluftleitung:
  - Steuerventil geht in Stellung 2
  - Druckluft aus Vorratsbehälter auf Bremszylinder → Bremse wird angelegt
- Bei Zugtrennung Absenkung Druck in Hauptluftleitung → Bremsen legen an (Selbsttätigkeit)

# Bremssysteme – Beispiel

## Führerbremsventil



Versorgung der Hauptluftleitung (HL) mit geregelterm Druck

Fahrtstellung

Prüfen der Dichtheit der HL

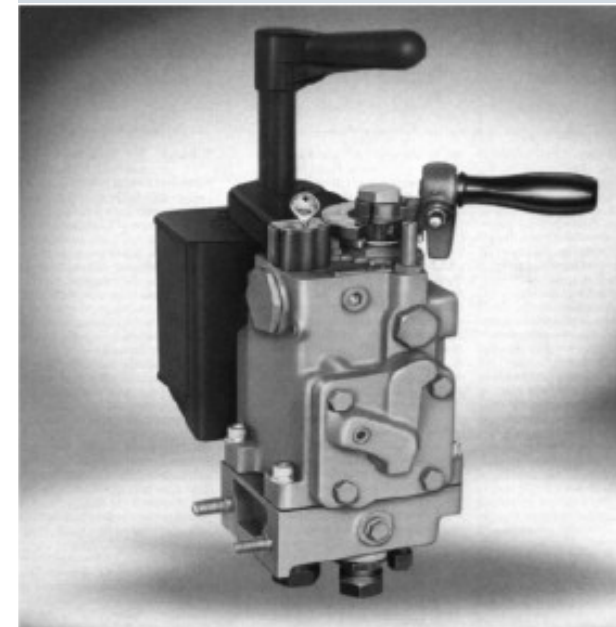
Mittelstellung

Stufenweises Absenken (Erhöhen) der HL

Betriebsbremsstellungen, einschließlich VB

Schnelles und sicheres Entlüften der HL über großen Querschnitt

Schnellbremsstellung



Führerbremsventil kombiniert mit E-Bremssteller

# Bremssysteme – Bremsbauarten - mechanische Bremsen

## Klotzbremsen

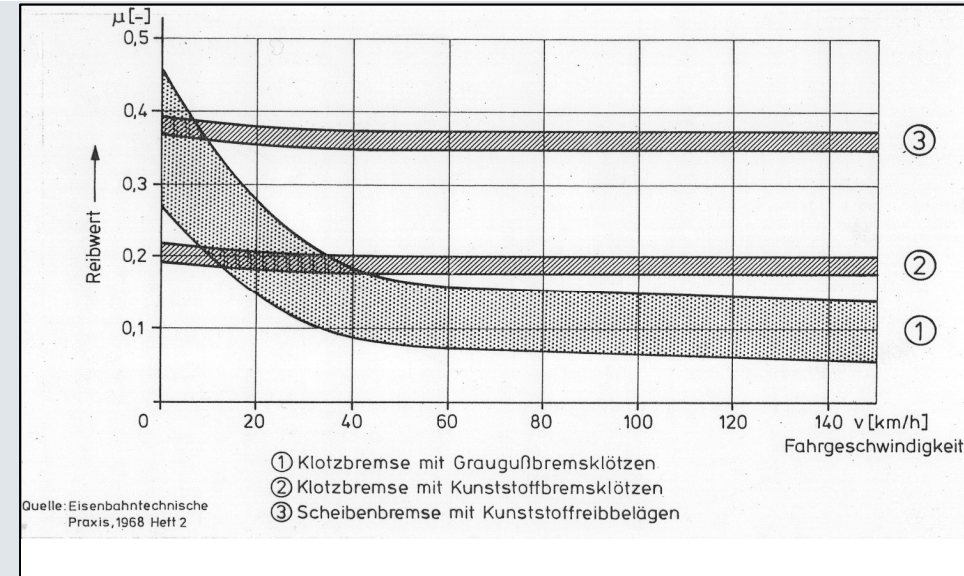
- Bremskraft wird bestimmt durch Bremsklotzkraft
- Grauguss-Bremsklotz:  
Reibwert sinkt mit zunehmender Geschwindigkeit
- Hohe Geräuschentwicklung
- LL- und K-Bremsklötze: Reibwert konstant über  $v$

## Scheibenbremsen

- Wellenbremsscheiben, Radbremsscheiben
- Mit und ohne Kühlrippen
- Bremskraft unabhängig von Geschwindigkeit

## Probleme mechanischer Bremsen:

- Verschleiß Bremsklötze / Bremsbeläge → Stäube
- Risse in Bremsscheiben (Wärmespannungen)
- Keine Energierückgewinnung möglich
- Hohe Kosten für Wartung und Instandhaltung
- Klotzbr.: Aufräumen und Profilveränderung der Räder

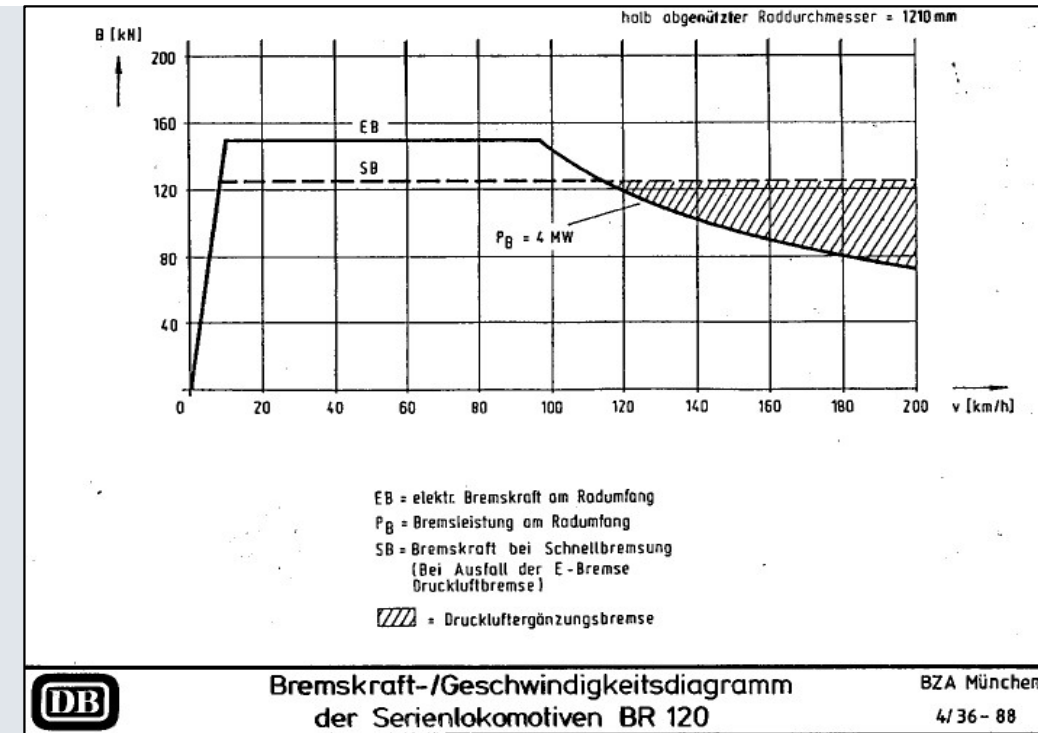




# Bremssysteme – Bremsbauarten - dynamische Bremsen

## Elektrische Bremsen

- Elektrische Fahrmotoren werden als Generator geschaltet
- Bremskraftbegrenzung nur durch Leistungsbegrenzung der Antriebsanlage
  - Leistung = Kraft x Geschwindigkeit
  - Bremskraft = Leistung / Geschwindigkeit
- Rückspeisung der elektrischen Energie bei Drehstromfahrzeugen möglich
- Verschleißfrei
- Bremsverlust bei Ausfall der Antriebsanlage



## Hydrodynamische Bremse bei dieselhydraulischen Fahrzeugen

- Retarderbremse
- Abführung der Wärme über Kühler (Überhitzungsgefahr)

## Motorbremse bei dieselmechanischen Fahrzeugen

# Bremssysteme – Bremsbauarten - Schienenbremsen

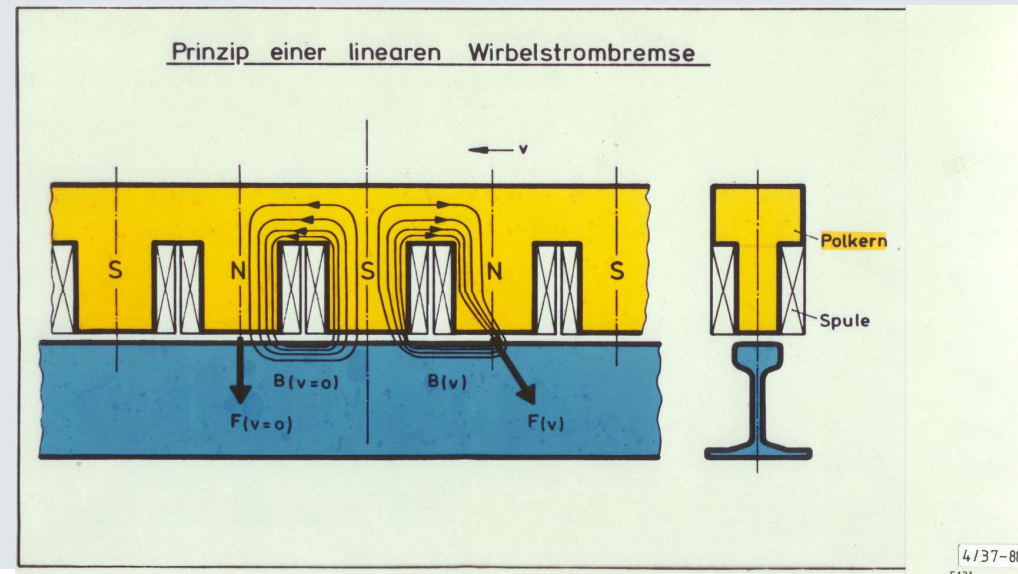
## Magnetschienenbremsen

- Nicht aktiv: Bremsmagnet hängt in Ruhestellung 60-130mm über Schienenoberkante; Hubkraft: Schraubenfedern
- Aktivierung: Bremsmagnet wird pneumatisch gegen Federkraft auf Schienen gedrückt und elektrisch erregt
- Magnetische Kraft zieht Magnet zusätzlich auf Schiene
- Durch Reibung zwischen Magnet und Schiene entsteht Bremskraft
- Sehr hoher Verschleiß: daher MG nur bei Schnellbremsung oder in Notfällen
- Bremskraft nicht regelbar



## Wirbelstrombremse

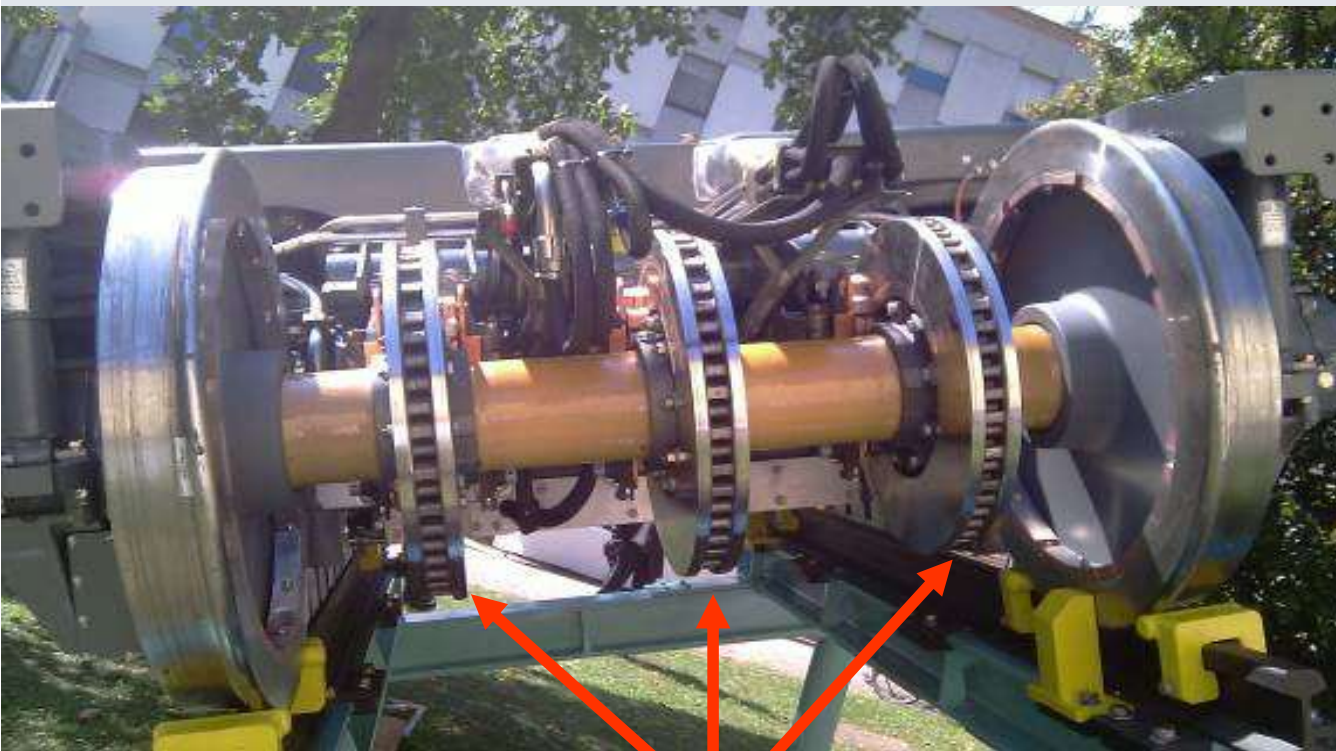
- Wird aus Hochlage auf 6-7 mm über Schienenoberkante abgesenkt
- Magnetfeld mit wechselnder Polarität erzeugt Wirbelströme in Schiene → sekundäres Magnetfeld → Bremskraft zwischen Schiene und Fahrzeug
- Als einzige Bremsbauart **gleichzeitig** kraftschlussunabhängig, berührungslos (verschleißfrei) und regelbar
- EMV-Probleme bei Strecken mit alter Signaltechnik
- Erwärmung der Schienen um bis 5°C pro ICE3-Doppelzug (16 Drehgestelle)





# Bremssysteme – Beispiele

Drehgestell (SF500) Velaro D (BR 407) mit Wellenbremsscheiben und Wirbelstrombremsen



Wellenbremsscheiben

Wirbelstrombremse



Isobar-Bremsbelag



# Bremssysteme – Gegenüberstellung

Bremse	Einsatz	Bewertung	Wirkung
Klotzbremsen	Güterwagen und Loks	Hoher Verschleiß Bremsgeräusche → K- und LL-Sohlen	Rad/Schiene
Scheibenbremsen	Alle Fahrzeugarten	Verschleiß Hohe thermische Leistungen	Rad/Schiene
Dynamische Bremsen	Elektr. Fzg Diesel-Fzg	verschleißlos, Energierückspeisung verschleißlos, Kühlung	Rad/Schiene
Magnetschienenbremsen	Personenverkehr	Verschleiß, hohes Gewicht „säubert die Schiene“	Frei wirkend auf Schiene über Reibung
Wirbelstrombremsen	ICE 3	EMV, Schientemperatur Regelbar, verschleißfrei, kraftschlussunabhängig	Frei wirkend auf Schiene ohne Reibung
Federspeicherbremse	Alle Fzg	Feststellbremse für Abstellung	Rad/Schiene

**Blending = Kombination der Bremsen**



# Bremssysteme – Beispiel Blending

**Bremsdiagramm**

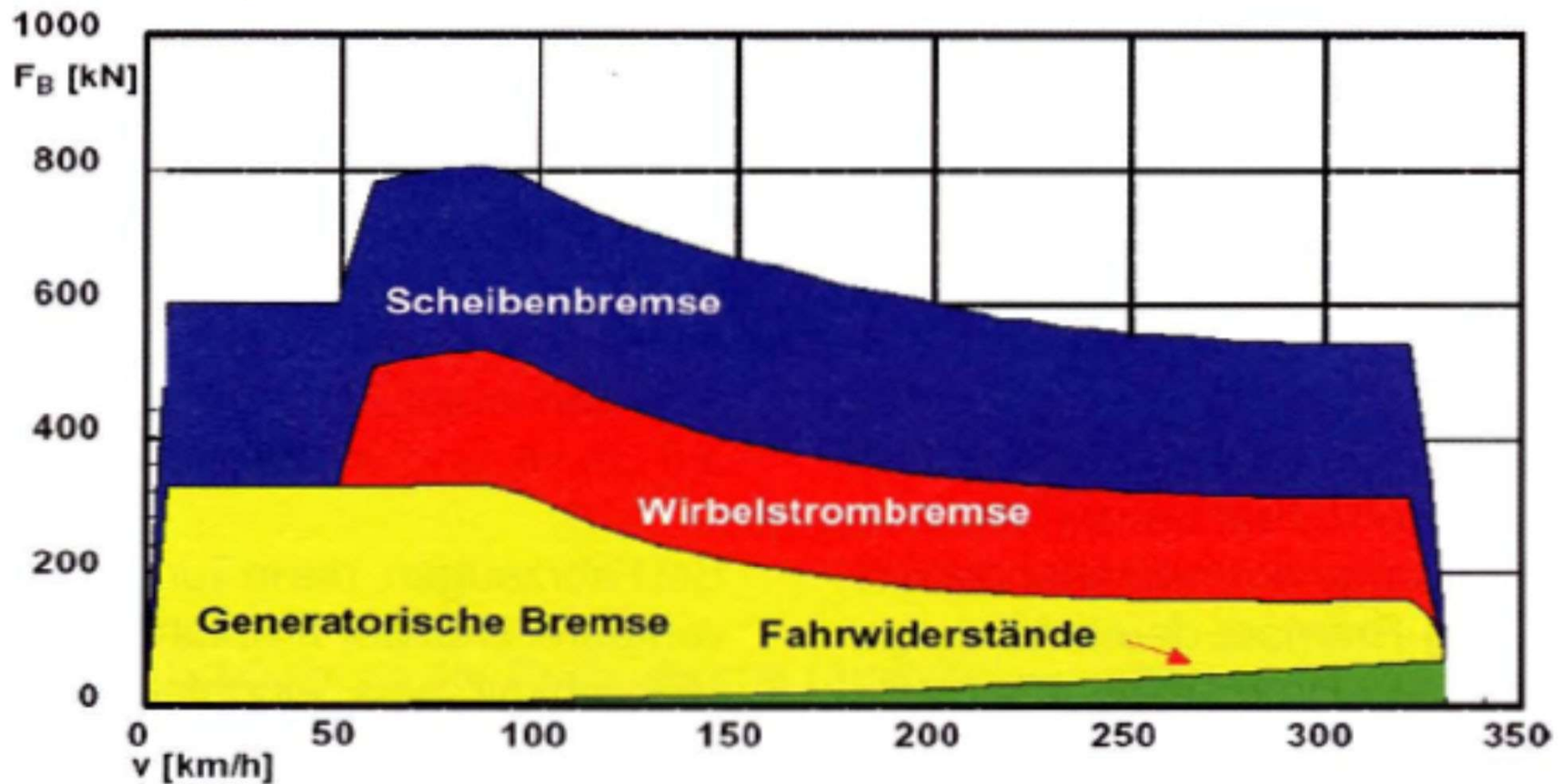


Abbildung 6: Blending im ICE3 (Quelle: DB AG)