



DMG Seminar

Antriebs- und Bremssysteme

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:

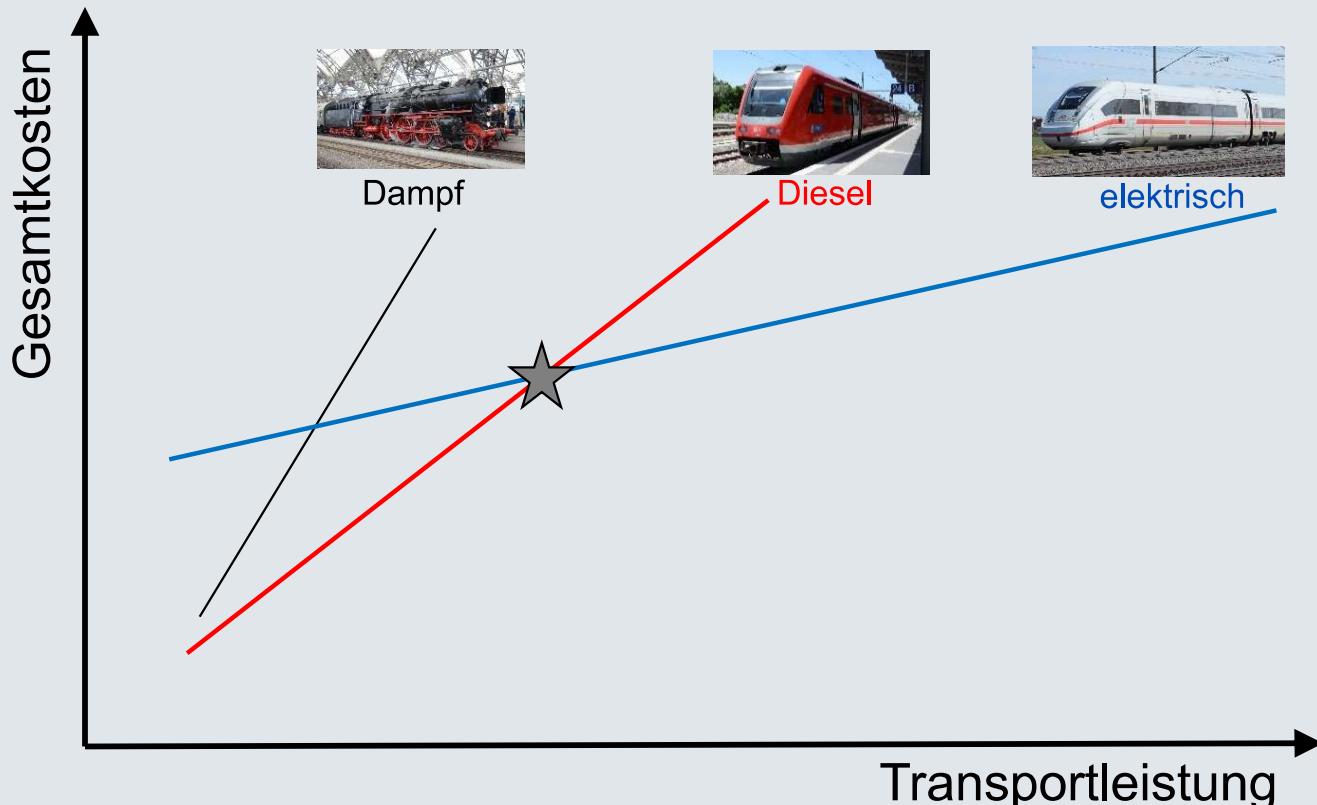
- Instandhaltungskosten
- Reichweite begrenzt (Kraftstofftank)
- Geringe Leistung
- Keine Energierückspeisung
- Abgase (CO₂, NO_x, Feinstaub, Rußpartikel)
- Lärmbelastung



Antriebssysteme Überblick (4)

Gesamtkosten

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



Kostengrenze

abhängig von:

- Energiepreisen
- Streckenauslastung
- Infrastrukturkosten
- Fahrzeug-Systemkosten

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

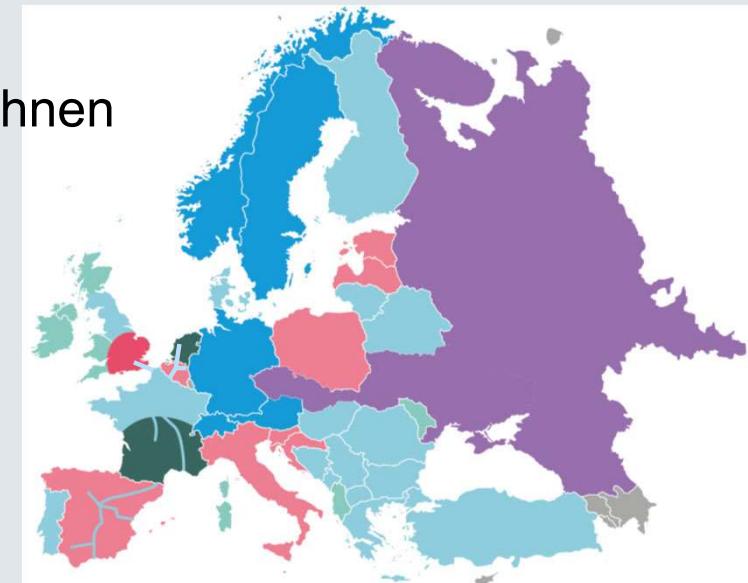
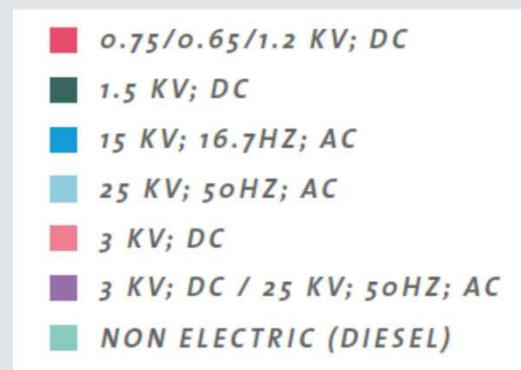
(Quelle Zarko Filipovic, Elektrische Bahnen)

Antriebssysteme – Elektrische Antriebstechnik

Überblick Energieversorgungssysteme

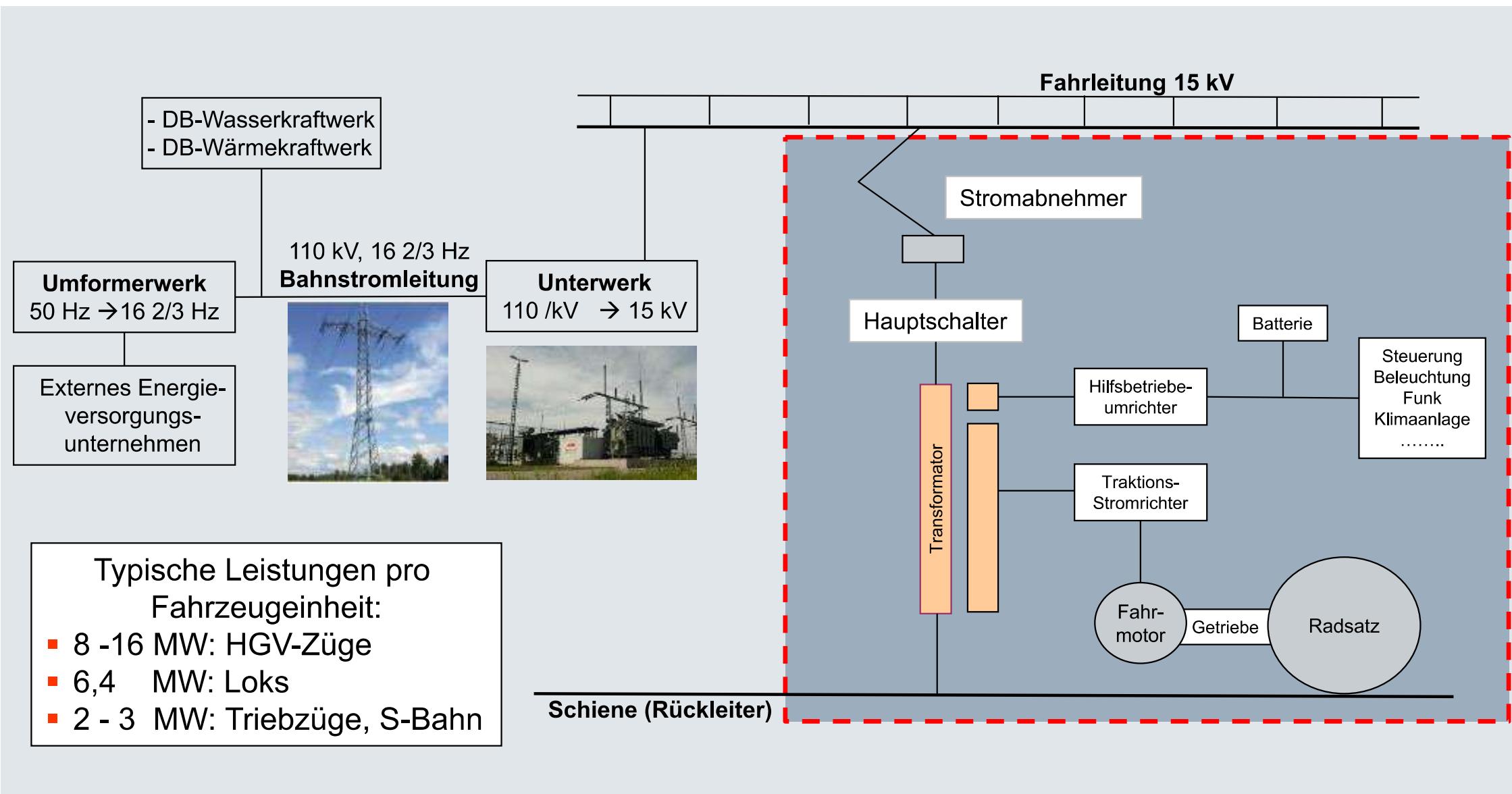
Energieversorgung

- 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 2/3 Hz)
- Kühlung notwendig

Antriebssysteme – Elektrische Antriebstechnik

Motorsteuerung - historische Lösung für Wechselstrombahnen (1)

Prinzip

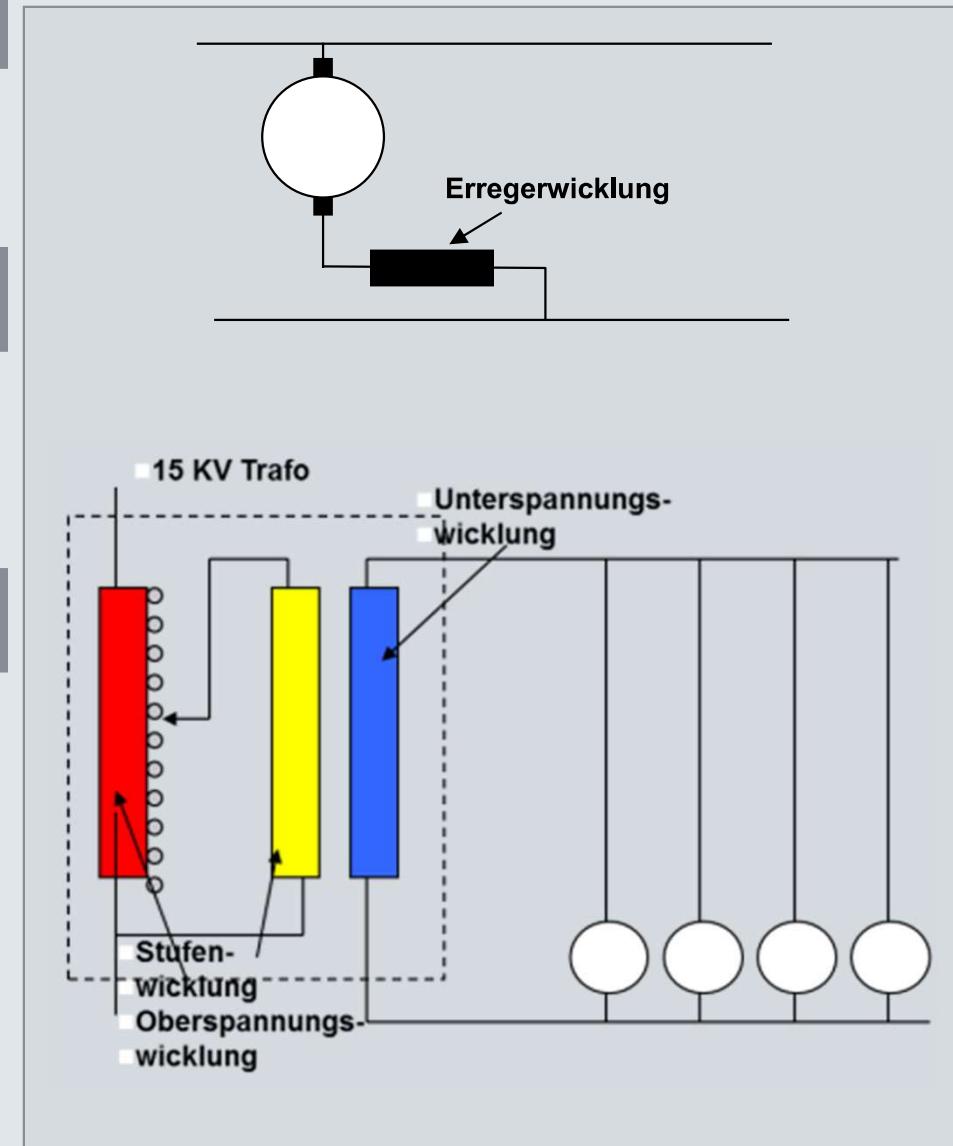
- Einphasenreihenschluss(kommutator)motor
- Leistung wird über Spannung gesteuert
→ ein Schaltwerk greift 30 Trafoanzapfungen ab

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
- Abnützen der Kommutatorbürsten
- Keine kontinuierliche Zugkraftregelung, stufenweise, ruckartige Zugkrafterhöhung
- 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

- 6achsige E-Lok
- 6Fahrmotoren
- 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

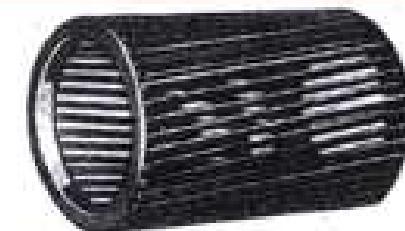
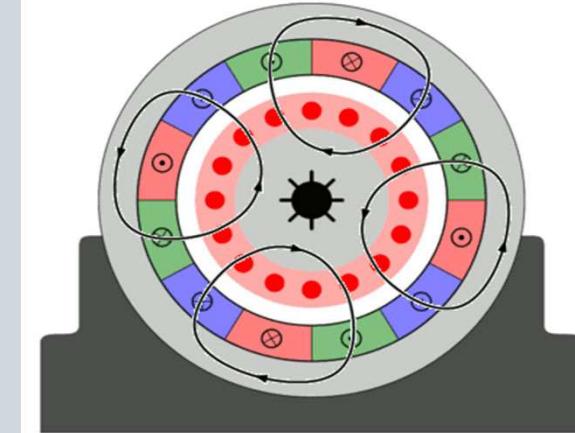
- Asynchronmotor
- Im Läuferkäfig wird durch Wechselfeld Strom induziert
- Läuferkäfig folgt dem Wechselfeld
- Drehzahlregelung über Frequenz (ca. 0 bis 400Hz),
- Drehmomentregelung über Motorspeisespannung

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 = 460mm; L = 720mm
- Elektrische Nutzbremse einfach realisierbar → weiterer Ausbau des Umweltvorteils der Bahn gegenüber anderen Verkehrsträgern
- Speisung mit allen Netzfrequenzen und auch Gleichspannung möglich
- Realisierung dieselelektrischer Fahrzeuge
- Entfall von Schaltwerk und dessen Ansteuerung

Nachteile

- Anspruchsvollere EMV-Problematik (Störströme)
- Antsteuerung



Käfig mit geschränkten Stäben

Antriebssysteme – Elektrische Antriebstechnik

Drehstromtechnik (2)

Fahrmotor und Leistungssteuerung

Erste Versuche mit Drehstrom aus 3poliger Fahrleitung



Antriebssysteme – Elektrische Antriebstechnik

Drehstromtechnik (3)

Leistungssteuerung – Traktionsumrichter mit Asynchronmotoren

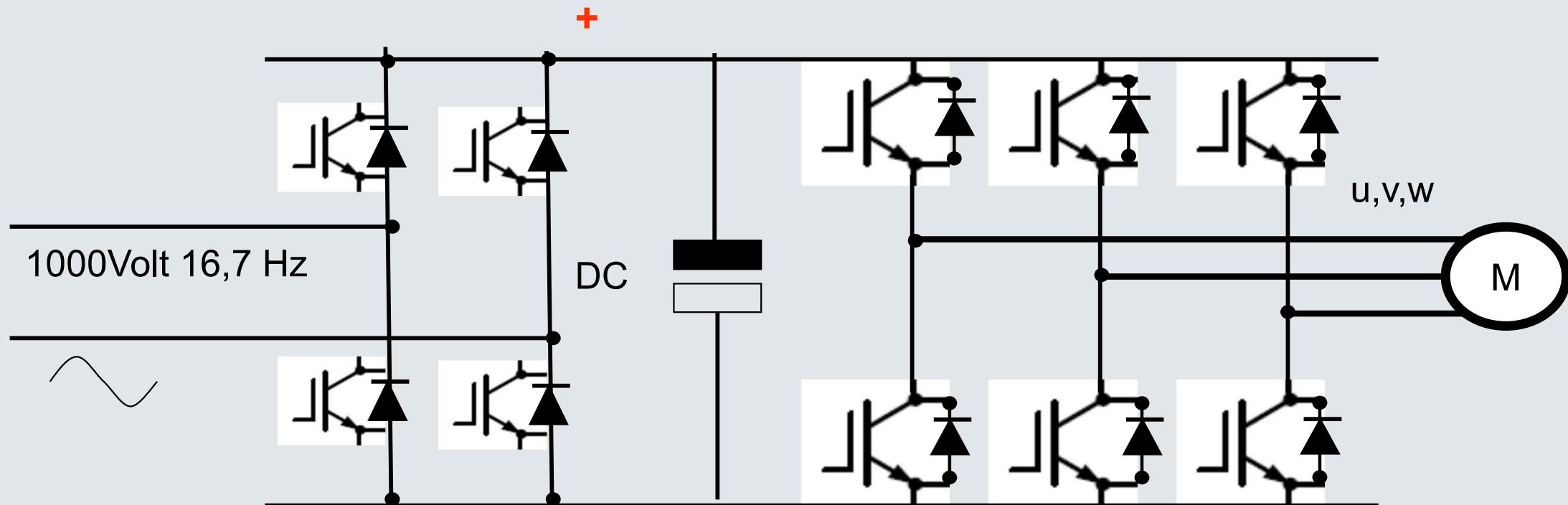
- Regelung stufenlos möglich
- Vier-Quadranten-Steller (4QS) wandelt Wechselspannung in Gleichspannung um (Gleichspannungs-Zwischenkreis)
- Pulswechselrichter wandelt Gleichspannung in dreiphasige Ausgangsspannung mit variabler Frequenz um
- Ursprünglich Stromrichter mit separaten Löschthyristoren (Lok 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)

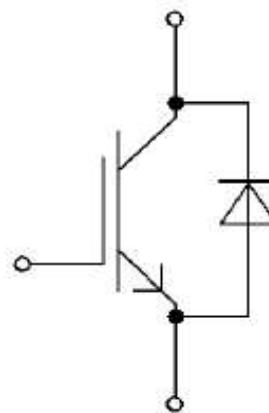
Leistungssteuerung – GTO - Beispiel



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	 Typical Appearance	 $V_{CES} = 6500V$ $I_{C\ nom} = 750A / I_{CRM} = 1500A$

Antriebssysteme – Elektrische Antriebstechnik

Drehstromtechnik (7)

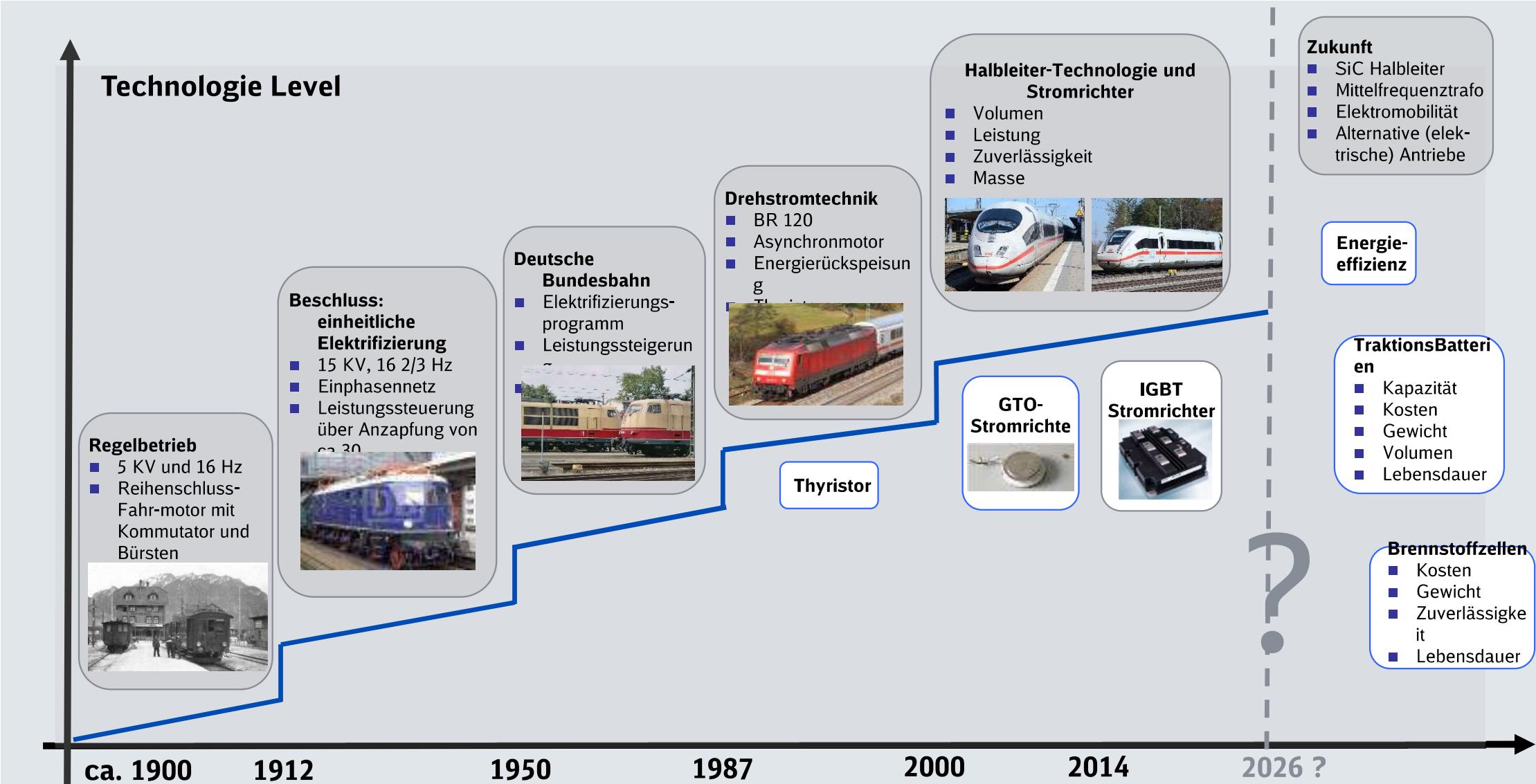
BR120 - erste Seriendrehstromlokomotive der Welt

- 5 Prototyplokomotiven ab 1979 (BR 120⁰)
 - Jahrelange Erprobung
 - ca. 4 Mio. Laufkilometer
- 60 Serienloks ab 1987 (BR 120¹)
- 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. Dieselmechanische Fahrzeuge

Kraftübertragung erfolgt mechanisch mit klassischem Getriebe

2. Dieselhydraulische Fahrzeuge

hydraulischer Drehmomentwandler und Kupplung

Drehmomentwandler verbindet An- und Abtriebs-Wellen über einen Ölkreislauf

3. Dieseletelektrische Fahrzeuge

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

Antriebssysteme – Brennkrafttechnik

Überblick Dieseltraktion (2)

Dieselmechanische 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



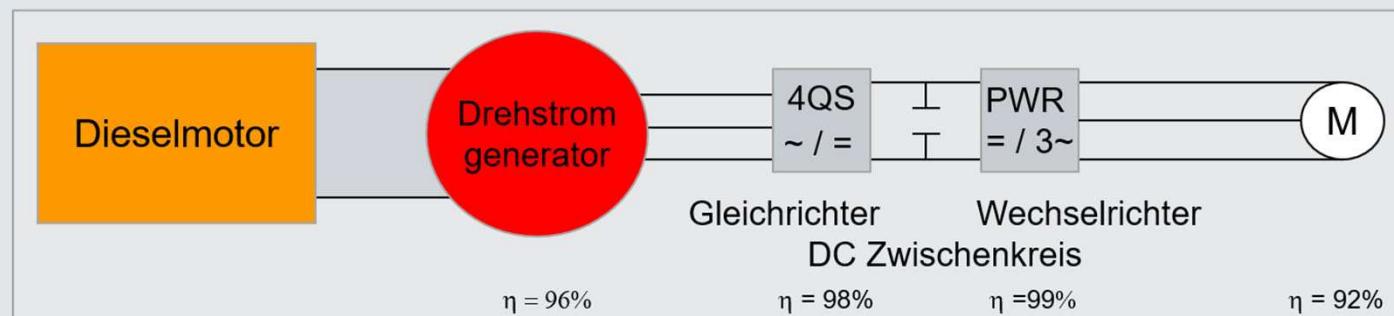
Antriebssysteme – Brennkrafttechnik

Überblick Dieseltraktion (3)

Dieselelektrische Fahrzeuge

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

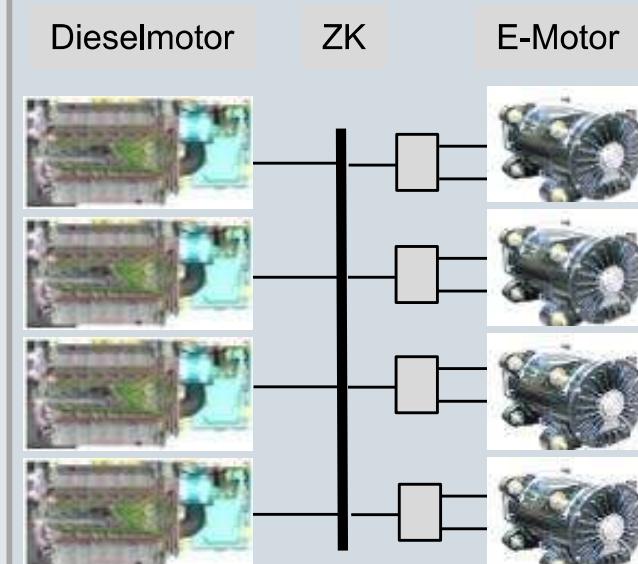
- Technik
 - früher: Gleichstromgenerator
 - später: Drehstromgenerator mit Gleichrichter versorgt Gleichstrommotor
 - heute: Drehstromtechnik mit Asynchron-Drehstrommotor
- idealer Betriebspunkt des Dieselmotors
- kluges Energiemanagement möglich
- Hybridfähigkeit: V / E möglich
- Nachteil: höhere Kosten;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



Antriebssysteme – Brennkrafttechnik

Beispiel Mehrmotortechnik

BR 245 Multi Engine



BR 245

- Hersteller: Bombardier
- Betriebsaufnahme: 2014
- $V_{max} = 160 \text{ km/h}$
- Anfahrzugkraft: 300 kN
- Leistung: $4 \times 563 \text{ kW}$
- 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



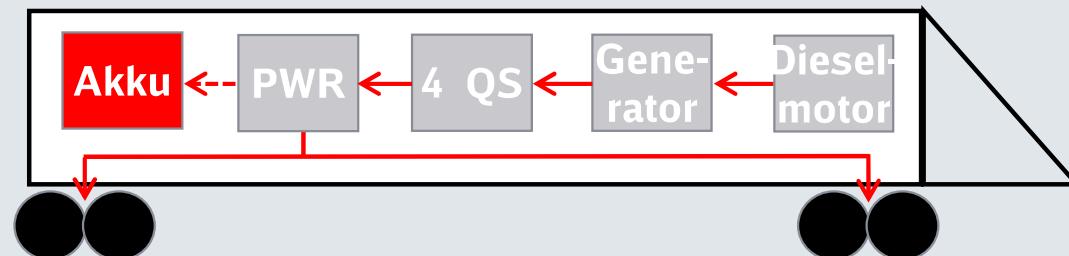
Umweltbelastung

CO₂, keine Bremsenergierückgewinnung, Lärm, Rußpartikelfilter

Antriebssysteme - Hybridfahrzeuge

Diesel-Akku-Hybridfahrzeug

Energiebezug aus Dieselmotor und Generator



Fahren und/oder Laden des Akkus

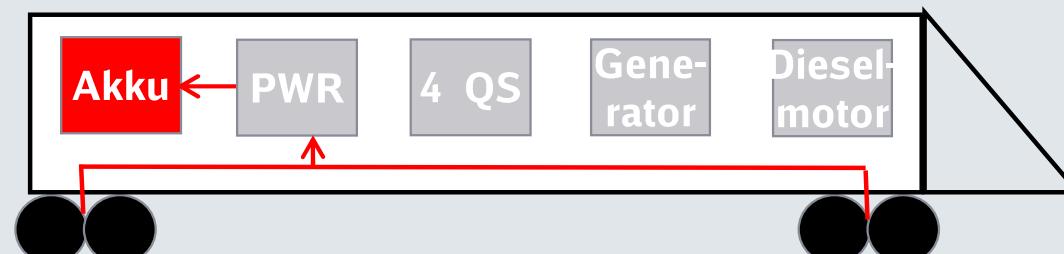
Laden des Akkus im Stand auch über Kabel möglich

Energiebezug aus Energiespeicher



Fahren mit Energie aus dem Akku

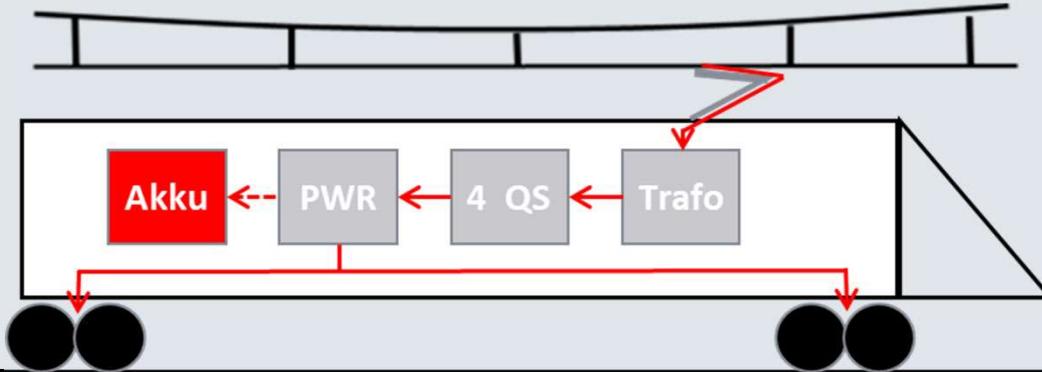
Rückspeisung Bremsenergie in Energiespeicher



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.



Schwarzwälder Post

Lahr, Ortenau | 6.07.2020

Züge rollen bald mit Batterie

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



SÜDWEST PRESSE
Batteriezug Talent 3 kommt mit Verspätung

Hersteller Bombardier muss Probefahrt auf zwei Strecken bei Ulm verschieben.

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



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 „Coradia 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

Summe: 175 Züge

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:

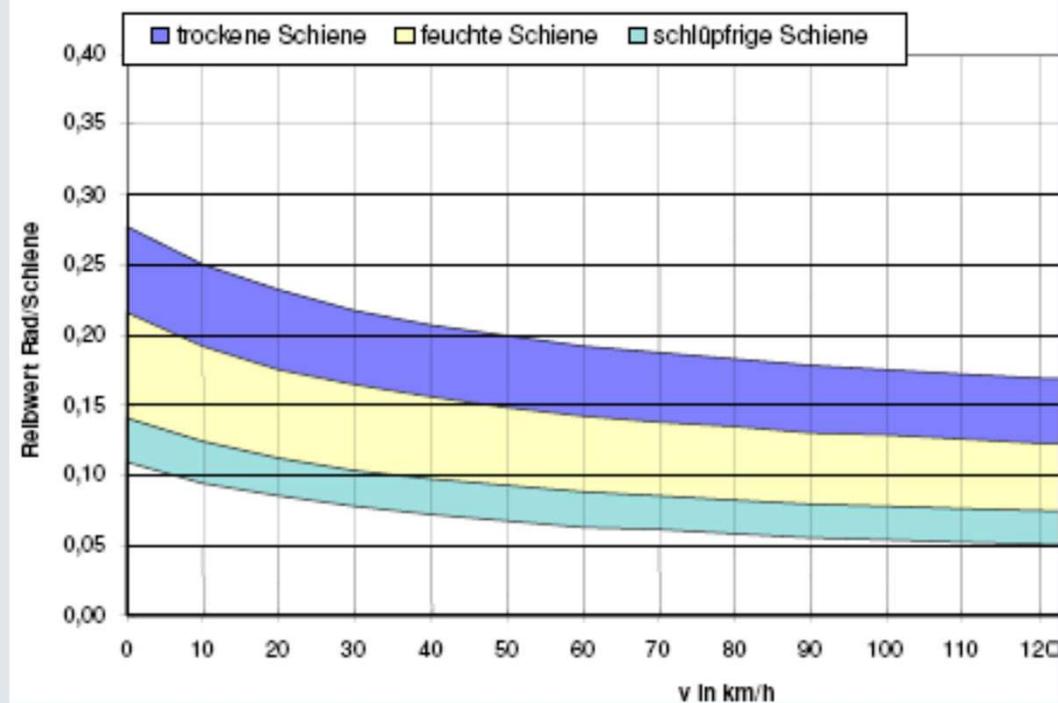
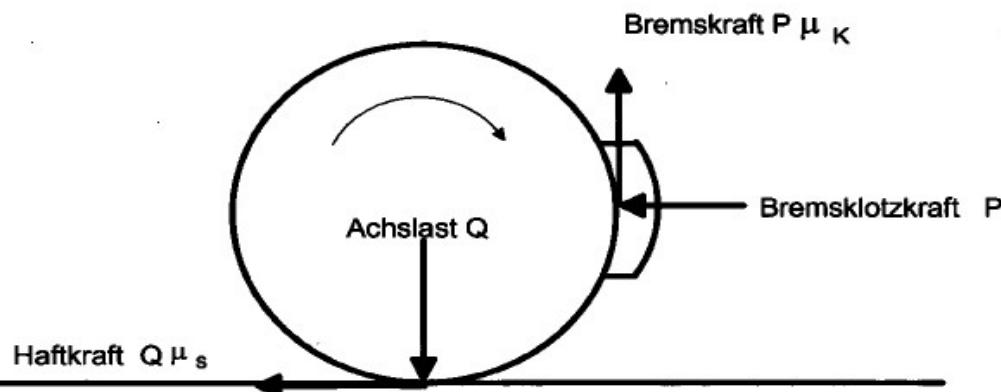
- Bremsen müssen durchgängig sein
→ Bremsen aller Fahrzeuge eines Zuges von einem Punkt aus
- Bremse muss selbsttätig sein
→ Wirksamkeit bei Zugtrennung, Beschädigung der Luftleitung

Bremssysteme - Prinzip

μ_K = Beiwert der gleitenden Reibung zwischen Rad und Bremsklotz

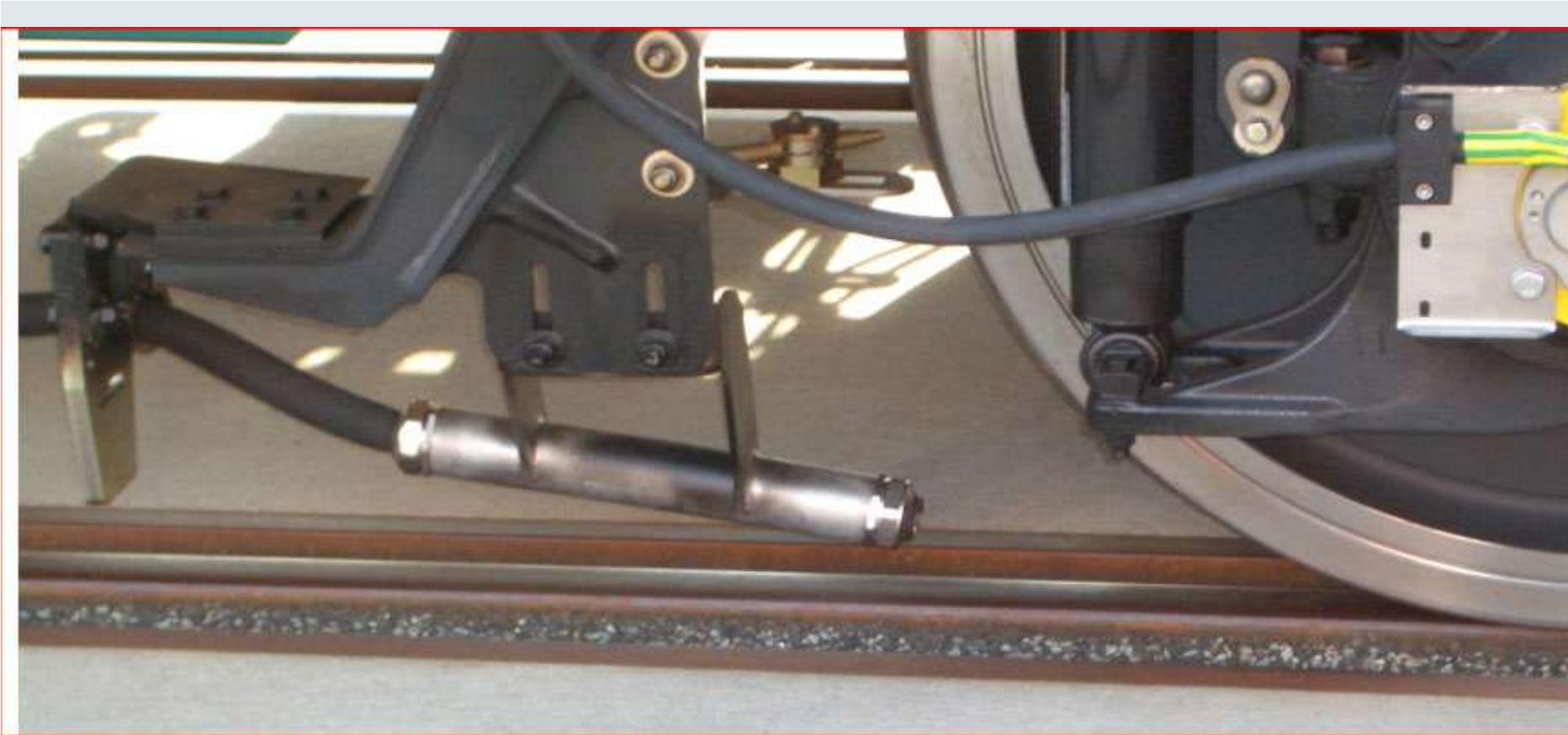
μ_s = Beiwert der Haftung zwischen Rad und Schiene

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 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 μ , d.h. verbessert den Kraftschluss beim Bremsen **und** der Traktion

Bremssysteme - Sandungsanlage



Bremssysteme – Prinzip Druckluftbremse

Direkt wirkende Bremse

Historisch

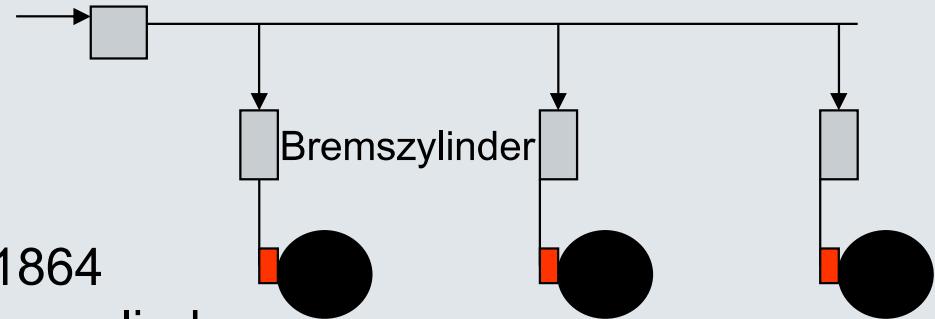
- nur Tender hinter der Lok gebremst
- Wagen besetzt mit Bremsern

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

Direkt wirkende Bremse

Führerbremsventil Hauptluftleitung

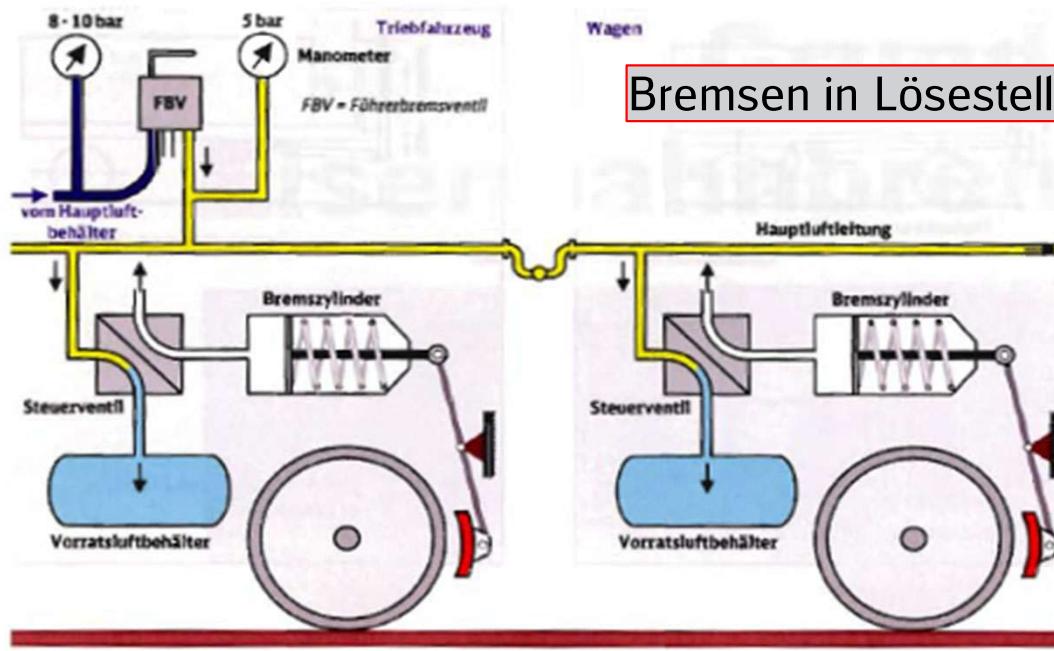


Heute üblich: indirekt wirkend

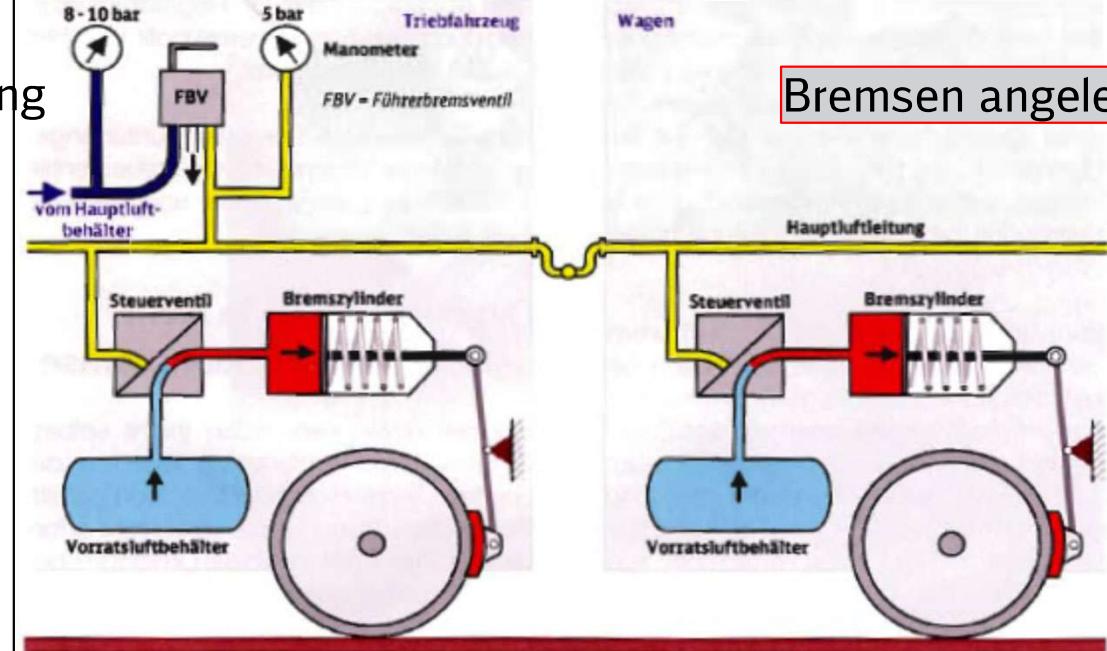
- seit 1873 von Westinghouse erfunden
- durchgängig **und** selbsttätig
- lange Zeitkonstanten → Abhilfe: elektro-pneumatische (ep) Bremssteuerungen

Bremssysteme – Prinzip Druckluftbremse

Indirekt wirkende Bremse



Bremsen in Lösestellung



Bremsen angelegt

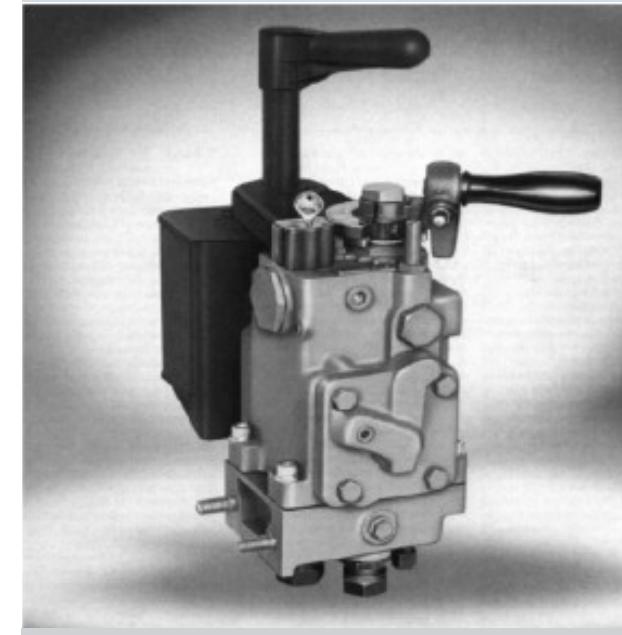
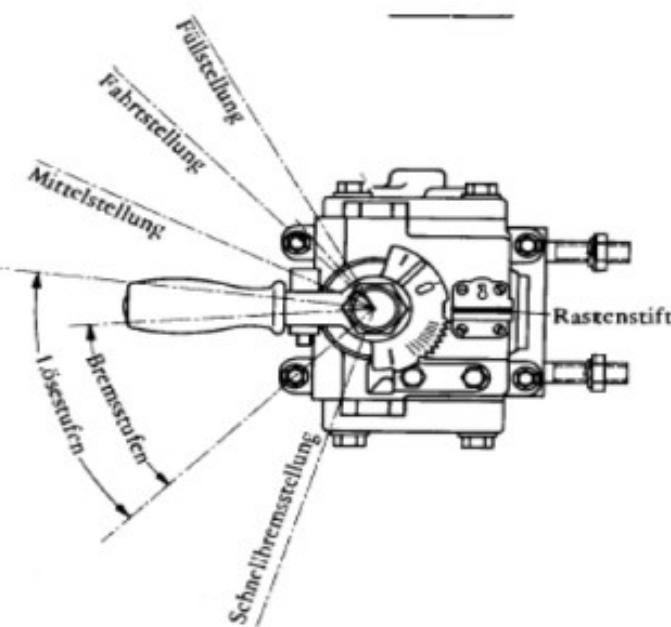
Abbildung: Deine Bahn 5/2009

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



Führerbremsventil kombiniert mit E-Bremssteller

Bremssysteme – Bremsbauarten - mechanische Bremsen

Klotzbremsen

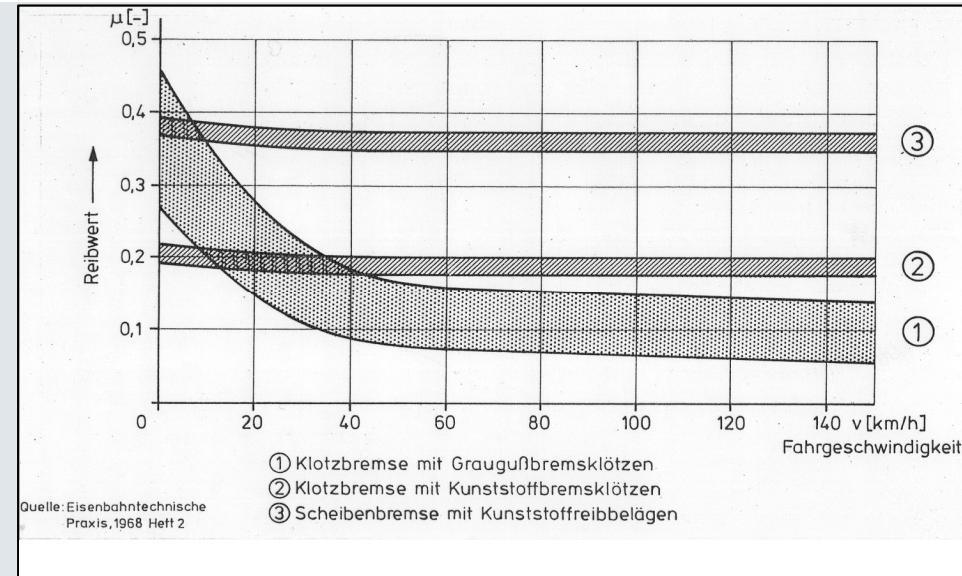
- Bremskraft wird bestimmt durch Bremsklotzkraft
- Grauguss-Bremsklotz:
Reibwert sinkt mit zunehmender Geschwindigkeit
- Hohe Geräuschentwicklung
- LL- und K-Bremsklötzte: Reibwert konstant über v

Scheibenbremsen

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

Probleme mechanischer Bremsen:

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



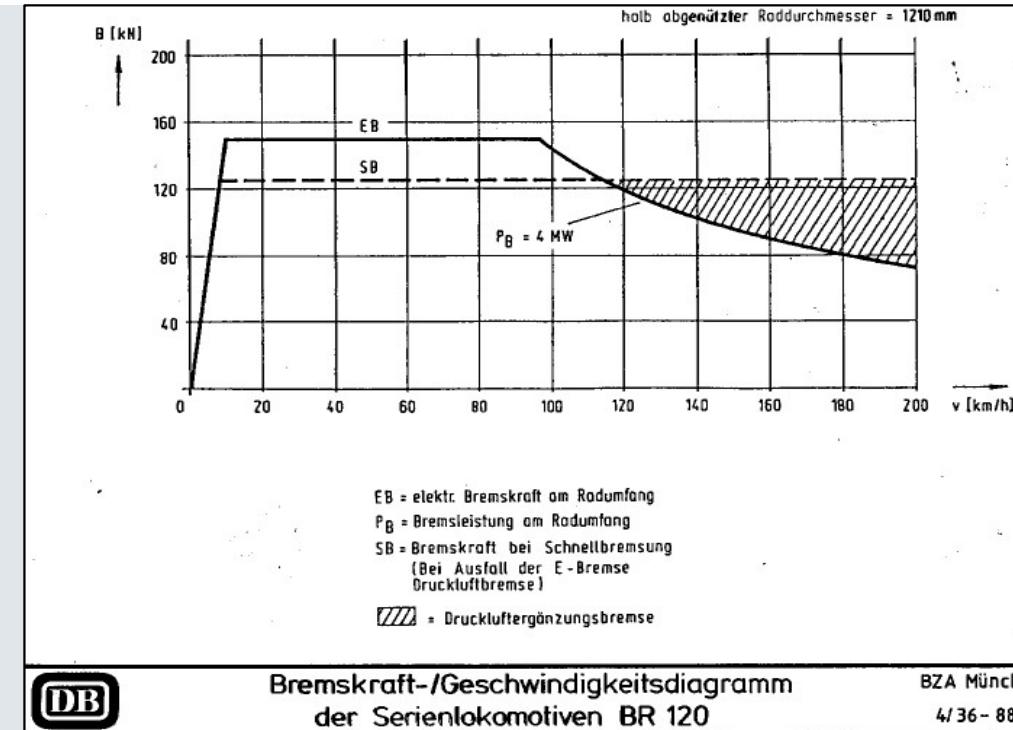
Bremssysteme – Bremsbauarten - dynamische Bremsen

Elektrische Bremsen

- Elektrische Fahrmotoren werden als Generator geschaltet
- Bremskraftbegrenzung nur durch Leistungsbegrenzung der Antriebsanlage

$$\text{Leistung} = \text{Kraft} \times \text{Geschwindigkeit}$$

$$\text{Bremskraft} = \text{Leistung} / \text{Geschwindigkeit}$$
- 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

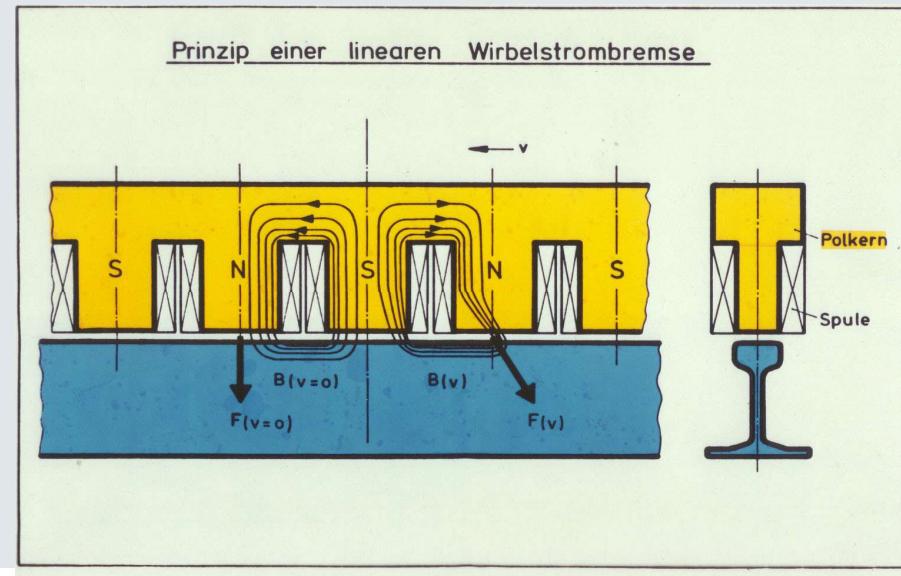
Magnetschienenbremsen

- 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



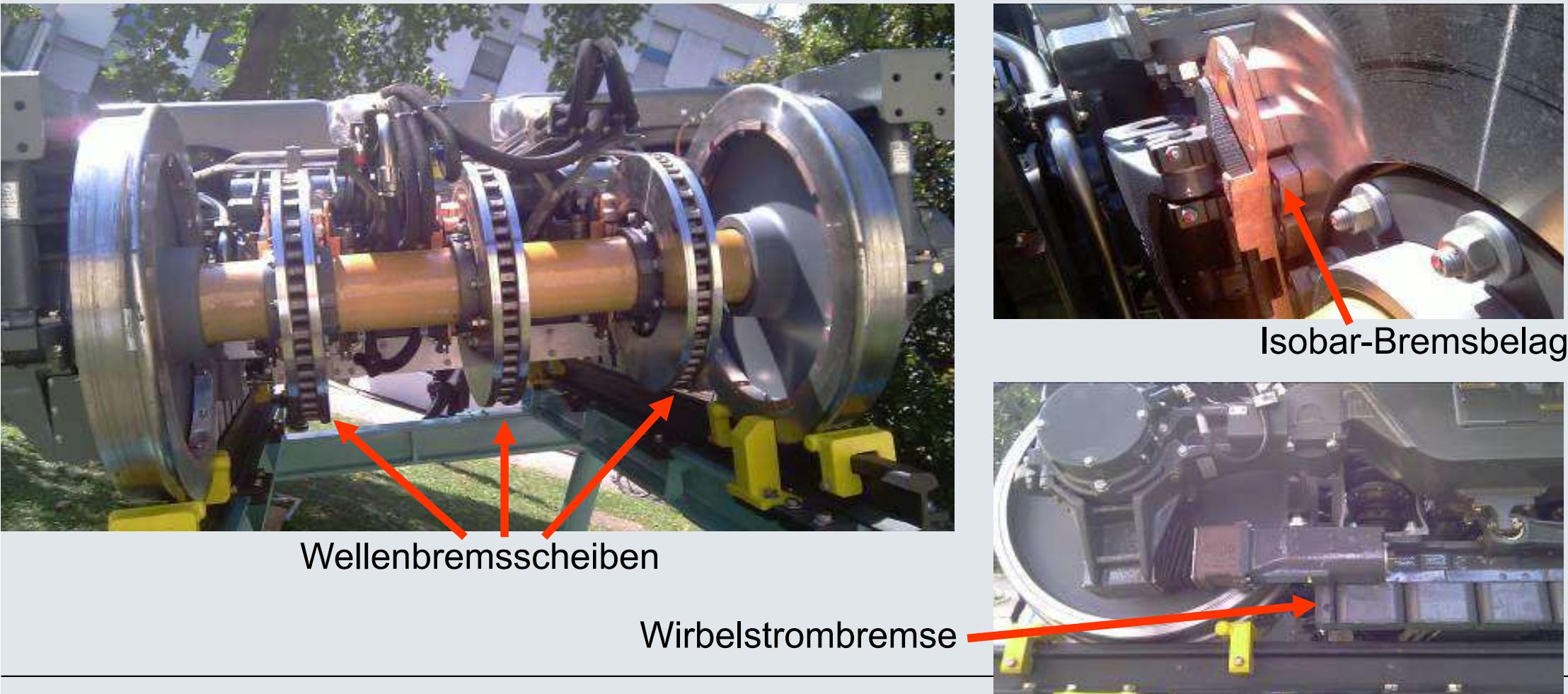
Wirbelstrombremse

- 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



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, Schienentemperatur Regelbar, verschleißfrei, kraftschlussunabhängig	Frei wirkend auf Schiene ohne Reibung
Federspeicherbremse	Alle Fzg	Feststellbremse für Abstellung	Rad/Schiene

Blending = Kombination der Bremsen

Bremssysteme – Beispiel Blending

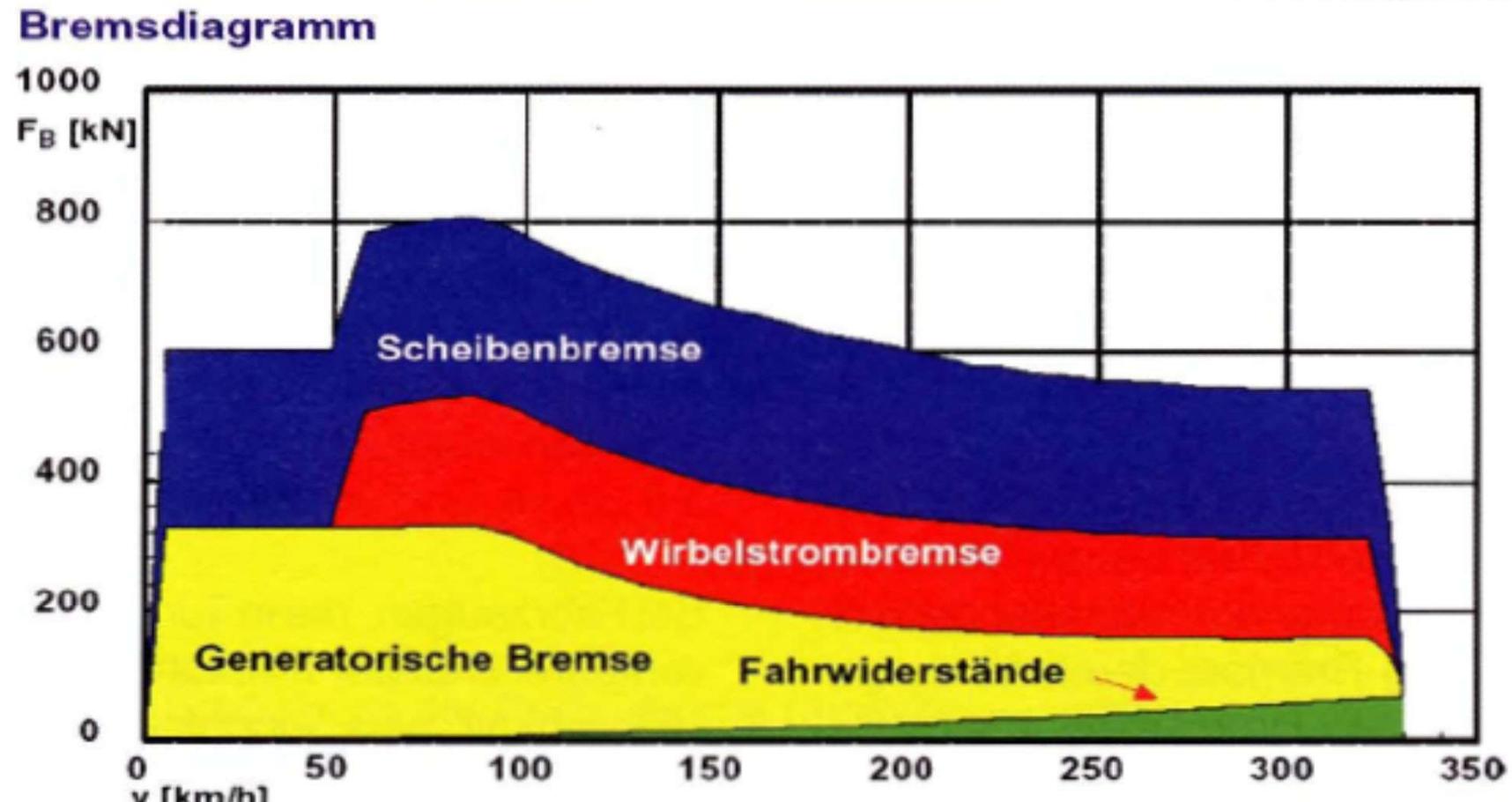


Abbildung 6: Blending im ICE3 (Quelle: DB AG)