

# 1879-2004 - 125 Jahre Elektrotraktion

## eine Bilddokumentation für Hörer der Lehrveranstaltungen „Elektrische Antriebe“

Prof. Dr. Peter Büchner, Technische Universität Dresden  
Elektrotechnisches Institut (ETI)

Lehrstuhl für Elektrische Antriebe und Grundlagen der Elektroenergietechnik (AE)

1. Einführung
2. Die ersten Jahre (1879 - 1912)
3. Entwicklung der 16 2/3-Hz-Traktion in Deutschland (1913 - 1945)
4. Sonderfälle 50-Hz- und Drehstromtraktionen
5. Entwicklungen bei der Deutschen Bundesbahn DB (1945 - 1990)
6. Auf dem Weg zur Drehstromlok bei der DB (1972 - 1984)
7. Entwicklungen bei der Deutschen Reichsbahn DR (1945 - 1990)
8. Drehstromlokontwicklung (Beitrag der TU Dresden (1987 - 1990))
9. Wieder eine Deutsche Bahn und neue Drehstromloks
10. Aktuelle Entwicklungen im Rad-Schiene und in Schwebetechnik

## **These: Die elektrische Lokomotive war und ist seit 125 Jahren ein Zugferd für die Weiterentwicklung der elektrischen Antriebstechnik!**

### **Warum?**

- Eisenbahnen stellen eine wichtige Verkehrsinfrastruktur in Europa dar.
- Für die Elektrotraktion werden erhebliche Staatsinvestitionen ausgegeben.
- Wegen des Investitionsvolumens ist Elektrotraktion meist eine Aufgabe für Firmenkonsortien, die im Wettbewerb um die beste Lösung stehen.
- Die Elektrotraktion eignet sich wegen der komplexen Beanspruchungen gut als Versuchsfeld für neue Entwicklungen in der elektrischen Antriebstechnik.
- Die Bahnverwaltungen hatten (haben) eigene Versuchsabteilungen, in denen Entwicklungen bis zur Einsatzreife getestet wurden.
- Die jährlichen Betriebsstunden und die rauen Einsatzbedingungen ergeben rasch gute Aussagen über die Qualität einer Entwicklung.
- Eine Ellok ist ein mechatronisches System, das alle wesentlichen Komponenten eines Antriebssystems enthält und in jeder Beziehung mit der Umgebung in Wechselwirkungen steht (Mechanik Rad-Schiene, Netzeinspeisung, Kommunikation auf dem Zug oder mit der Zentrale, thermische und mechanische Umgebung).

## Besonderheiten der Traktionsantriebe

### Einteilung in

- **schienengebundene** Traktion  
(Vollbahnen, Nahverkehr, innerbetrieblicher Transport) und
- **nicht schienengebundene** Elektrofahrzeuge  
(Nutzfahrzeuge, Bagger, Elektroautos, Transportroboter)

Die folgende Präsentation beschränkt sich vorzugsweise auf Vollbahnlokomotiven.

**Traktion für Vollbahnen** wird wiederum eingeteilt:

#### nach der Art der Einspeisung

- Fahrleitungsbetrieb
- dieselelektrischer Betrieb
- Akkumulatorbetrieb

#### nach der Stromart

Gleichstromtraktion (1,5 kV, 3 kV)  
für Vollbahnen [NL, B, PL, CZ, I];  
( $< 1\text{kV}$  für Nahverkehr)

Einphasen-Wechselstrom-Traktion  
(15 kV, 16,7 Hz [D, A, CH, S, N] und  
(25 kV, 50 Hz [F, E, H, CZ, SK, GUS])

Drehstromtraktion  
(Industriebahnen mit Niederspannung und  
historische Vollbahnen (USA und I))

## Auslegung von Traktionsantrieben

Wie bei jedem anderen Antrieb auch ist ein **Traktionsantrieb** für das **Wechselspiel** zwischen der **Antriebsstrecke** (hier Triebzug oder Ellok mit Anhängelast für ein Streckenprofil) und den **Antriebsmotoren** (hier normalerweise Achsantriebe) nach mechanischen, thermischen und konstruktiven Gesichtspunkten auszulegen, d.h.,

- die Beanspruchungen durch das **Zugförderprogramm** müssen geringer sein als die projektierte Belastbarkeit des Traktionsantriebs.
- Da Traktion eine translatorische Transportaufgabe ist, wird für die Dimensionierung das Zugkraft-Geschwindigkeits-Diagramm ( **$F_z$ -v-Diagramm**) anstelle des M-N-Diagramms verwendet.

## Zugwiderstände $F_w(v)$

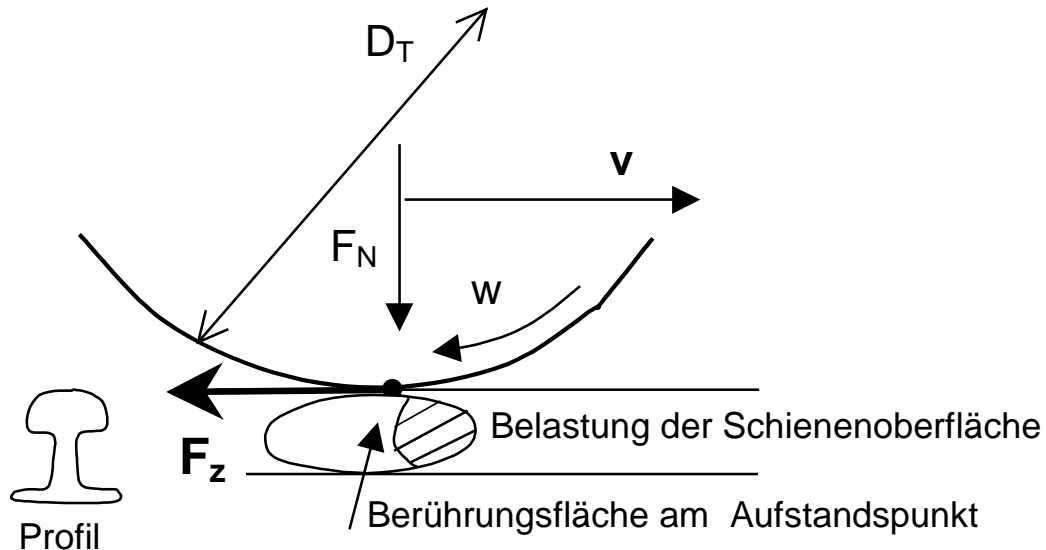
Auf den Zug wirken mit empirischen Gleichungen zu beschreibende statische Gegenkräfte ein:

(Formeln nach Sauthoff, Davis u.a.)

- **Laufwiderstand, Neigungswiderstand, Kurvenwiderstand, Beschleunigungswiderstand** (in N/t)

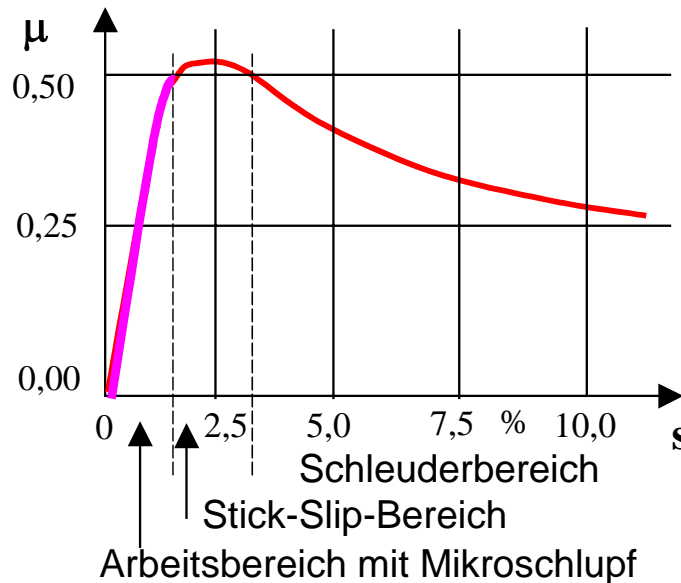
## Kraftübertragung Rad-Schiene

**Treibradsatz** einer Ellok und Schiene wirken als Paar eines **Reibungsgetriebes**, das nur im stabilen Zustand eine Kraftübertragung ermöglicht. Dabei wird beim Anfahren die reine Haftreibung des Reibungspaares Stahl-Stahl und bei Fahrt der komplizierte Vorgang der **Rollreibung** wirksam.



## Kraftübertragung Rad-Schiene

Eine genauere Betrachtung der Physik am Radaufstandspunkt ergibt, dass zwischen der Umfangsgeschwindigkeit  $w$  und der Fahrgeschwindigkeit  $v$  ein **Mikroschlupf**  $s = \Delta v/w = (w-v)/w$  besteht. Er entsteht, weil sich in Folge der Vortriebskraft mikroskopische Materialbewegungen an der flächenförmigen Radaufstandsfläche durch Zug- und Druckspannungen ergeben.



Der **Reibbeiwert** ist proportional der erreichbaren Zugkraft  
 $F_z = \mu \cdot F_N$ , wenn unterhalb der Haftgrenze gefahren wird.

## Die ersten Jahre (1879 - 1900)

### Ein Vorläufer:

Johann Philipp **Wagner** aus Fischbach/Nassau führte 1840 eine batteriebetriebene Gleichstromlok vor (Modell mit 20 kg Eigenmasse und 30 kg Nutzmasse)

### Die ersten Schritte der Elektrotraktion:

Die Firma Siemens & Halske in Berlin zeigte am **28. Mai 1879** auf einer Gewerbeausstellung in Berlin die erste elektrische Lokomotive, die auf einer Kreisbahn drei Anhänger für Passagiere zog.

Daten: Spurweite 490 mm, 300 m Kreisdurchmesser, GS-Lok mit 150 V

1881 elektrische Straßenbahn in Berlin-Lichterfelde (180 V)  
- zentrale Stromschiene

1882 elektrische Straßenbahn Charlottenburg - Spandau (Berlin)  
- erste Fahrleitung

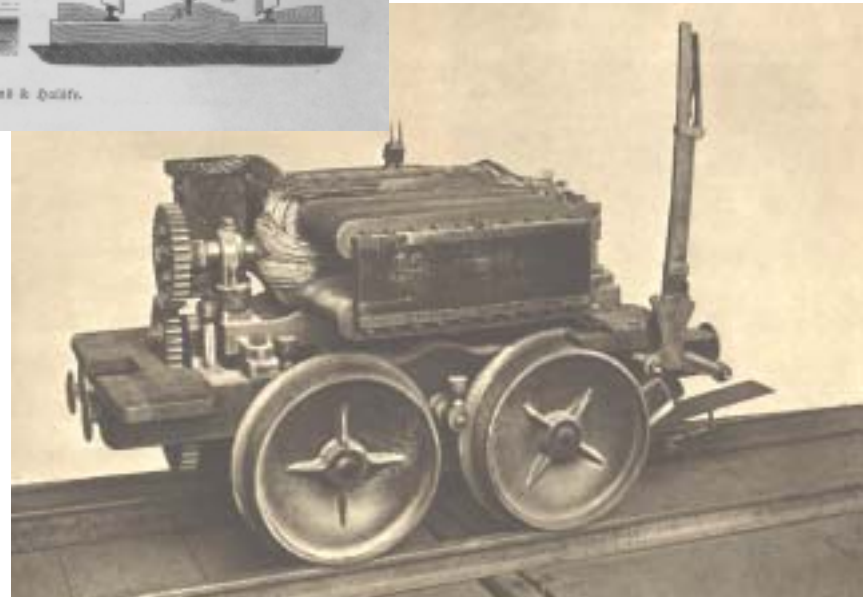
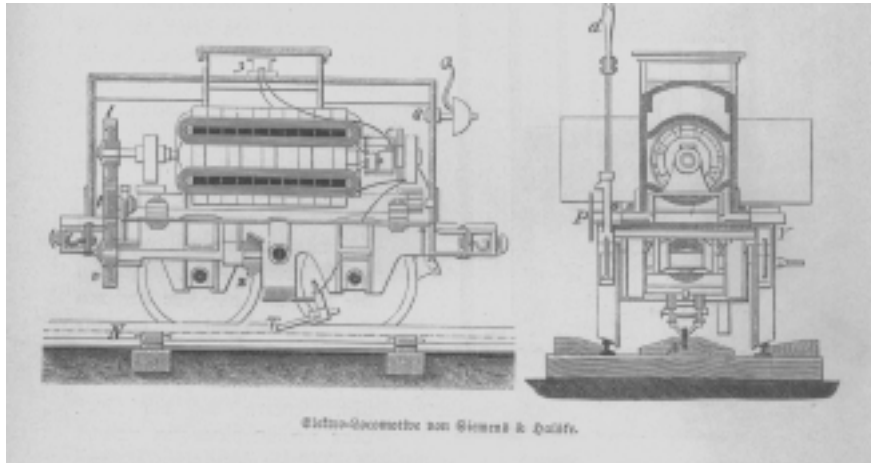
1891 erste Drehstrom-Fernübertragung der Welt Lauffen - Frankfurt (175 km)  
40 Hz, 7 kV

1892 erste Experimente mit Drehstromtraktion (Siemens Berlin)

1898 Studiengesellschaft für elektrische Schnellbahnen (St.E.S.) gegründet

1900 erste elektrische Schwebebahn Elberfeld - Barmen

1900 erste elektrische Stadtbahn in Berlin (GS 600 V)



Erste elektrische Lokomotive 150 V GS, 2,2 kW (Siemens & Halske - Mai 1879)



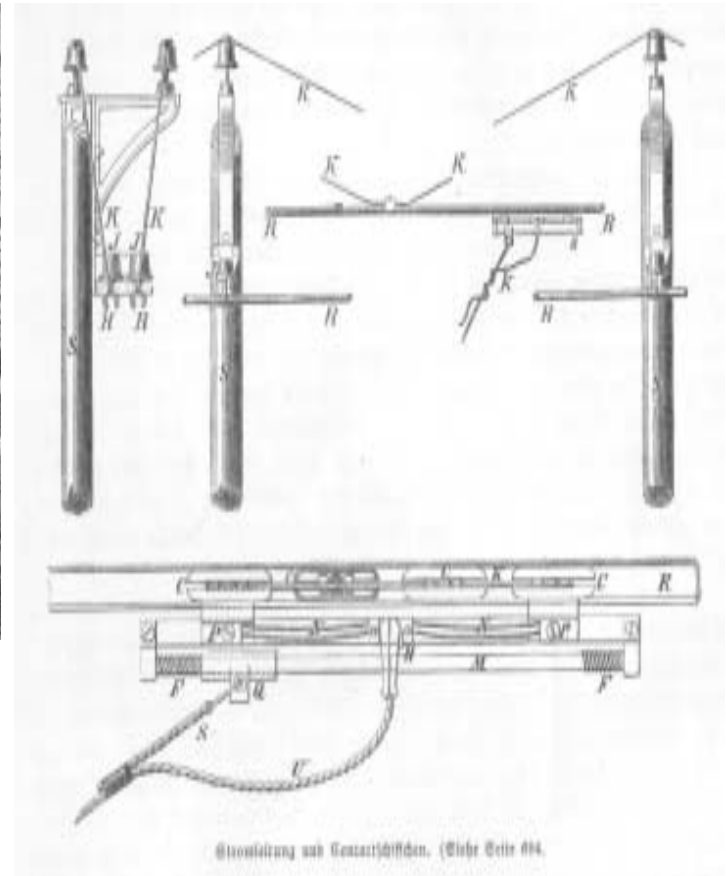


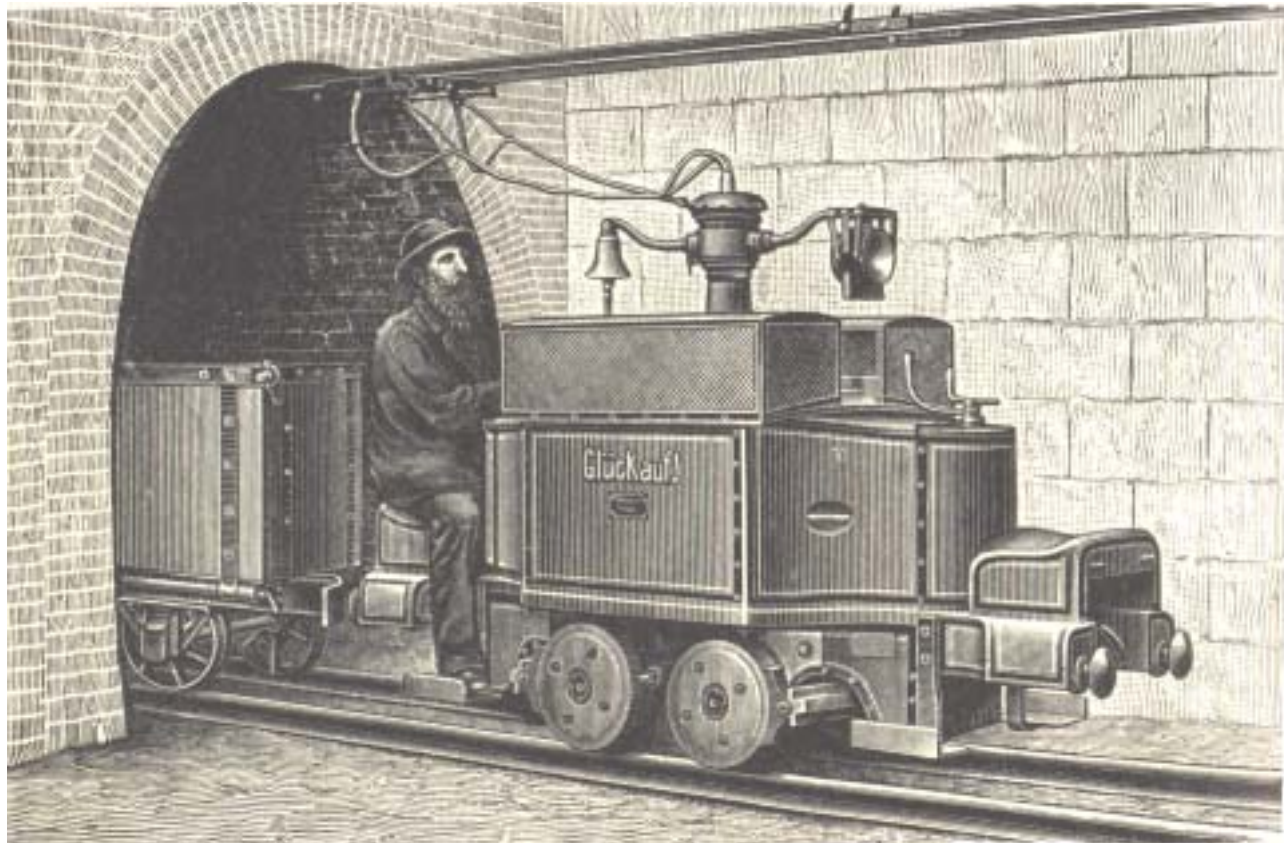
Gewerbeausstellung Berlin, Vorführung der ersten elektrischen Lokomotive auf einem Rundkurs für das Publikum am 28. Mai 1879



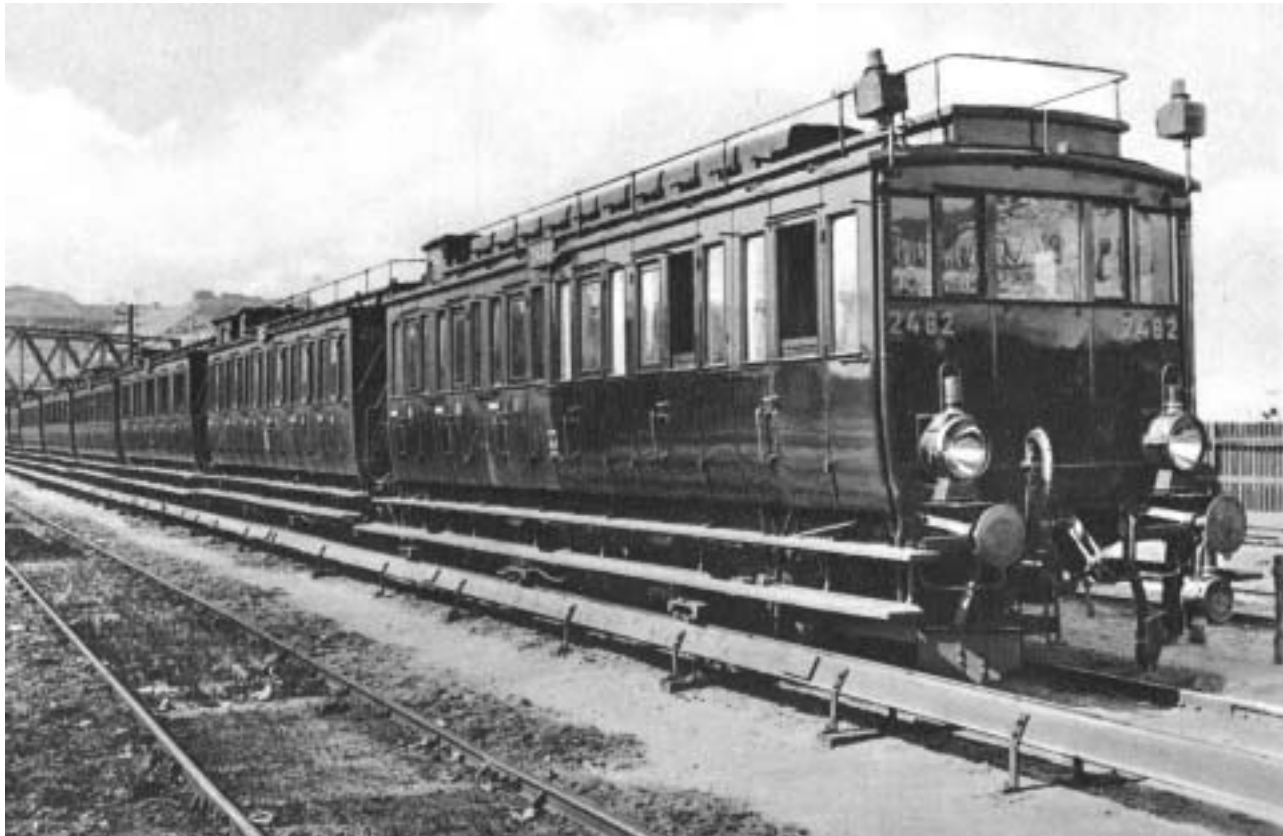
Straßenbahn Berlin S&H (1882)

Fahrleitungsvariante  
mit Kontaktschiffchen





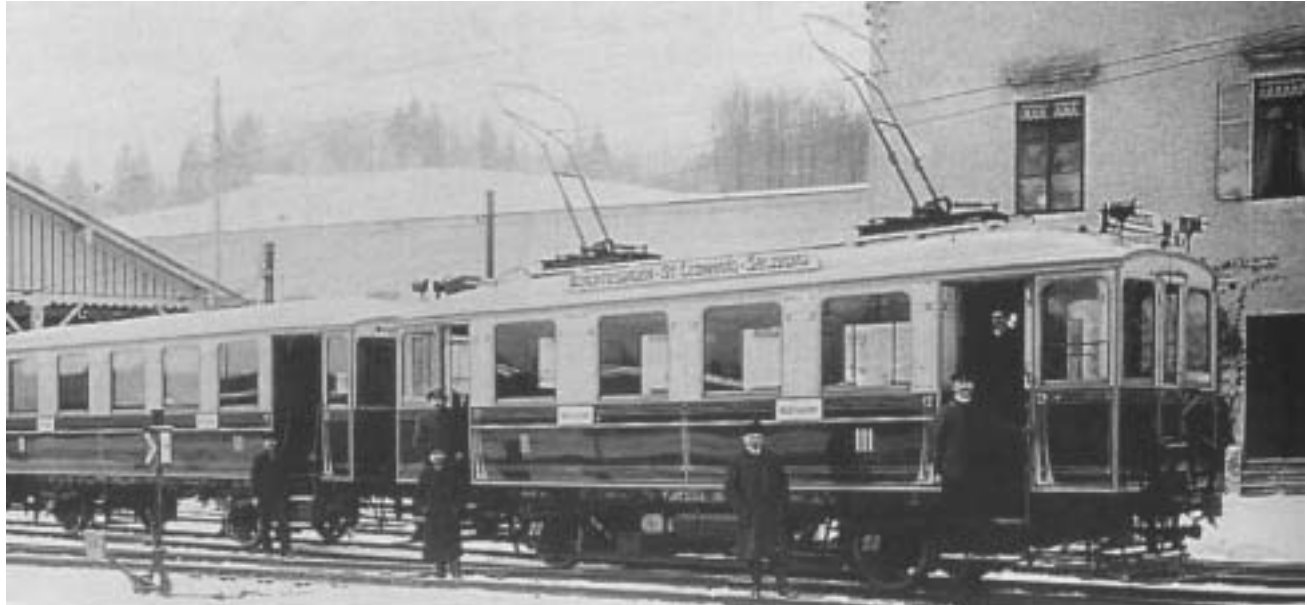
Erste elektrische Grubenlok in Freital-Zaukerode 90 V/6 PS (S&H - 1882)



Versuchszug der ersten elektrische S-Bahn in Berlin - Wanneseebahn  
GS mit seitlicher Stromschiene (Siemens&Halske - 1900 -1901)

## Der Kampf um das beste Traktionssystem (1900 - 1912)

- **1882** Einsatz von Gleichstrom-Fahrleitungen für Straßenbahnen
- **1891** erste Fernübertragung von Drehstrom mit Hochspannung (Lauffen - Frankfurt, 150 kVA, 40 Hz, 7 kV, 175 km)
- **1893** in den USA entwickelt sich die Gleichstromtraktion rasch
- **1895** erste Gleichstrom-Fernbahnen in den USA
- **1900-1912 drei unterschiedliche Systeme konkurrieren in Deutschland**
  - GS-Traktion (Straßenbahnen, Nebenbahnen)
  - WS-Traktion mit verschiedenen Frequenzen (10 ... 25 Hz)
  - DS-Traktion mit verschiedenen Frequenzen (dreiphas. Fahrftg.!)
- 1903 Experimente mit Hochgeschwindigkeit und Drehstrom 10 kV (StES) (Marienfelde - Zossen)
- 1905 WS-Traktion Murnau-Oberammergau 5.5 kV, 16 Hz
- 1906 erste WS-Industrielok 6 kV, 25 Hz (Versuchsbahn Oranienburg)
- erster öffentlicher Nahverkehr mit WS-S-Bahn Hamburg (1908)
- **1912 drei deutsche Länder unterzeichnen das 16 2/3 Hz-Abkommen**  
**Fahrdrahtspannung** ist 15 kV, 16 2/3 Hz  
 → die weitere Entwicklung konzentriert sich auf dieses System



Lokalbahn Berchtesgaden - Gleichstromtraktion mit Lyrastromabnehmern  
(1908)



Erste Versuchslok für  
Drehstromtraktion auf der S&H  
Werksstrecke mit drei  
Fahrleitungen  
(S&H und StES)



und ein weiteres  
Versuchsfahrzeug  
für die Schnellfahrversuche  
(S&H) auf der Militärbahn  
Marienfelde - Zossen (1903)

VDE

ETI



AEG-Triebwagen  
erreichte am 27.10.1903  
**210,2 km/h**

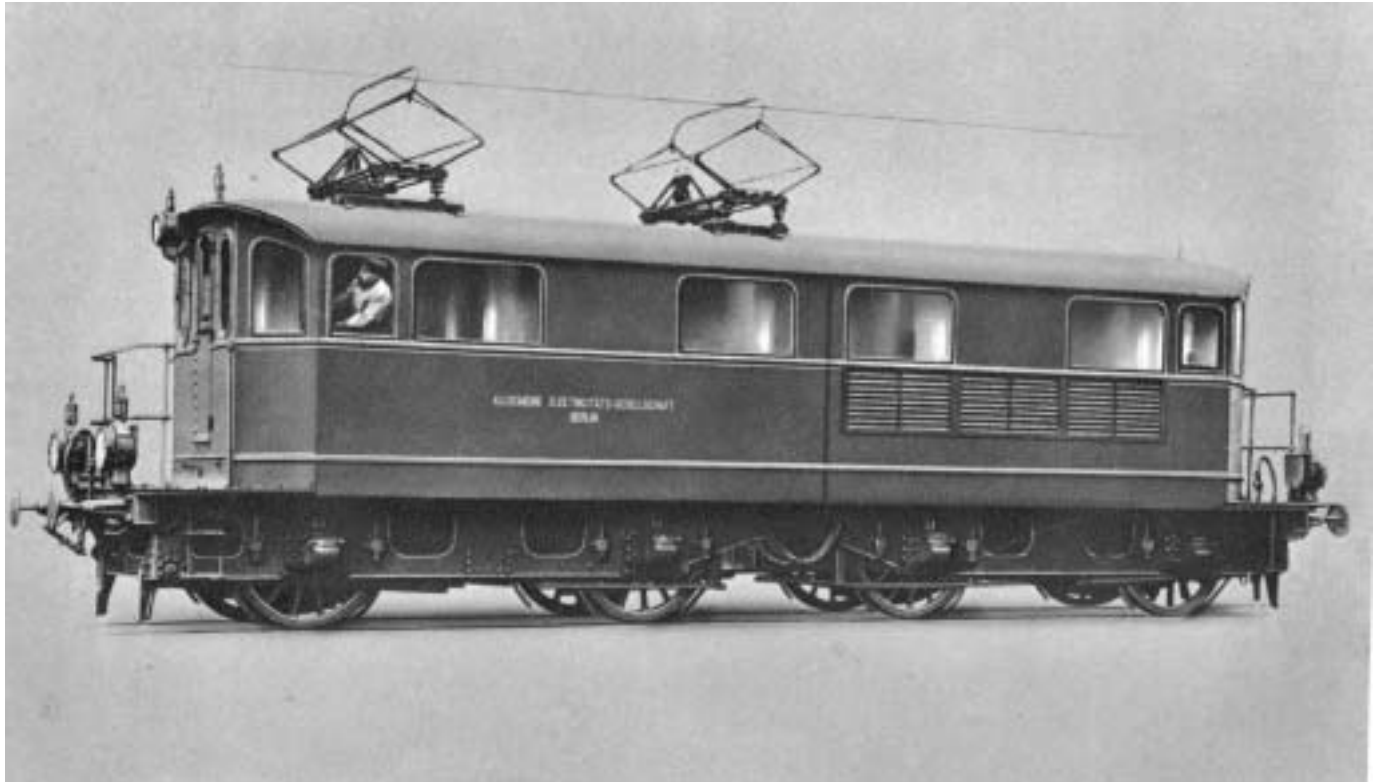
Drehstrom-Traktionsantrieb  
Antriebsleistung für beide  
Triebfahrzeuge  
vier Motoren mit je 500kW bei 55 Hz  
Frequenzsteuerung im Kraftwerk

Deutsche Studiengesellschaft  
für elektrische Schnellbahnen  
(StES) 1901-1904  
Kapital: 1,5 Mill. RM

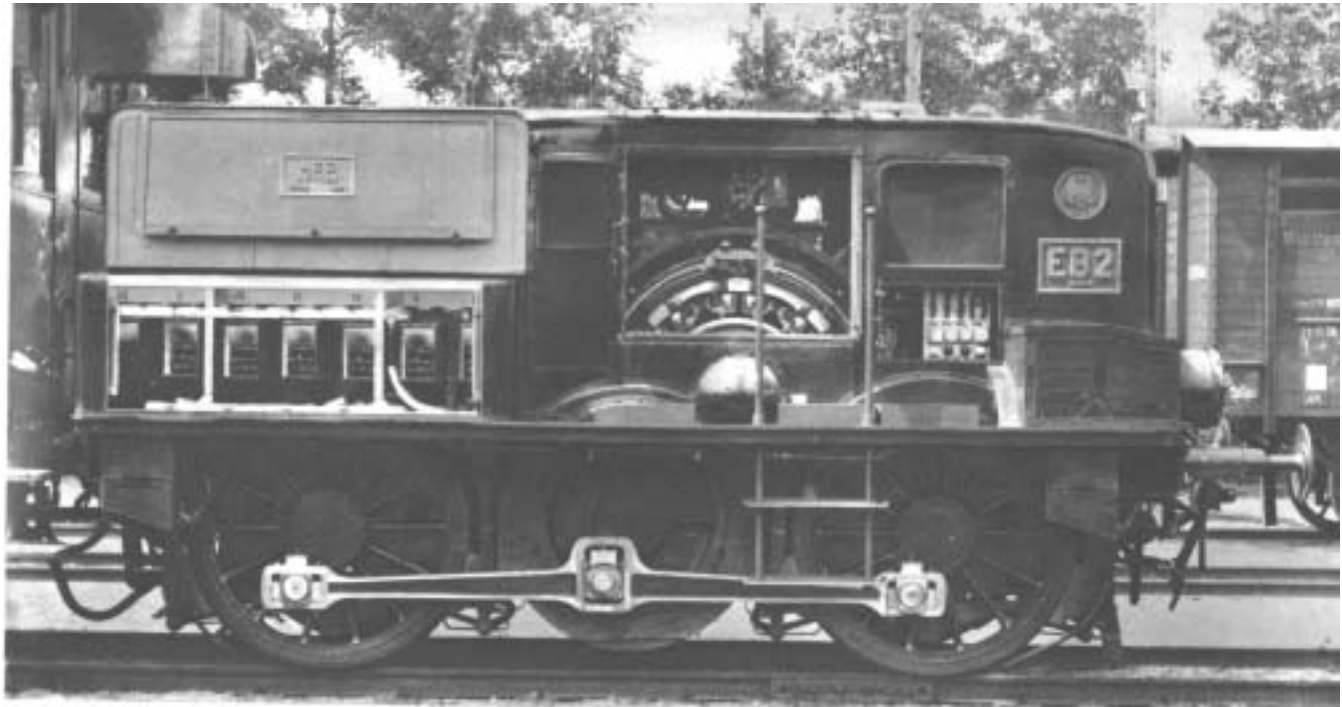
Siemens&Halske-Triebwagen  
erreichte am 23.10.1903  
206,7 km/h







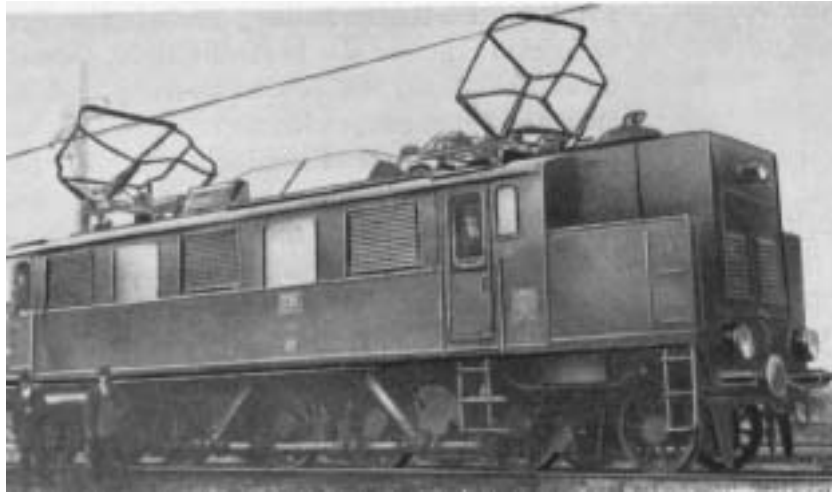
AEG-Lok für Wechselstromtraktion (6 kV, 25 Hz)  
für die Oberbau-Versuchsstrecke Oranienburg (1906)



AEG-Triebgestell für Wechselstromtraktion (15 kV, 16 2/3 Hz)  
für die S-Bahn Berlin (1913)

## Die Entwicklung der WS-Traktion mit 16 2/3 Hz / 15 kV

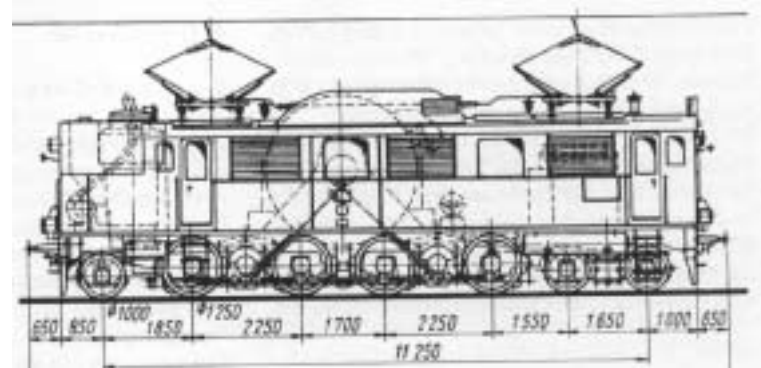
- **1911** erste deutsche Fernbahn mit 15 kV und 16 2/3 Hz (Bitterfeld - Dessau)
- **1914** Magdeburg - Bitterfeld - Leipzig - Halle (Mitteldeutschland)  
Bahnkraftwerk Muldenstein (1920: ungefähr 200 km elektrifiziert)
- **1912** Breslau - Hirschberg - Görlitz (Schlesien) - Gebirgsstrecken  
(1920: ungefähr 350 km elektrifiziert)
- **1912** Innsbruck - Berchtesgaden, Mittenwaldbahn (Bayern)  
(1920: ungefähr 700 km elektrifiziert)
- **1928 1500 km elektrifizierte Fernbahnen - 347 Ellok**  
→ Elektrischer Triebwagen Leipzig - Halle (1928)  
→ BR E44 die erste Ellok in Schweißkonstruktion (1930) - Siemens
- **1933-1960** 50 Hz/20 kV-Versuche auf der Höllentalbahn - eine Episode!?  
→ erster Einsatz von Hg-Dampf-Gleichrichtern und GS-Motoren
- **1935** 100 Jahre Deutsche Eisenbahnen → BR E18/E19 (AEG)  
→ Elektrischer Triebwagen Leipzig - Halle (1935)
- **1945 ungefähr 2220 km elektrifizierte Fernbahnen - 470 Ellok**  
(nur ca. 4% der Gesamtstrecken sind elektrifiziert)



2'D1'-Lok der BR EP 235  
der KPEV mit dem größten  
Einphasenmotor der Welt  
(als BR E 50 der DRG  
vorgesehen - 1926)  
Quelle: Bezold

Größter Gestellmotor der Welt  
für Wechselstromtraktion  
(15 kV, 16 2/3 Hz)  
(ausgestellt im  
Verkehrsmuseum Dresden)

Außendurchmesser 3600 mm  
Läuferdurchmesser 2700 mm  
Kommutatordurchmesser 2100 mm  
Masse 22 t

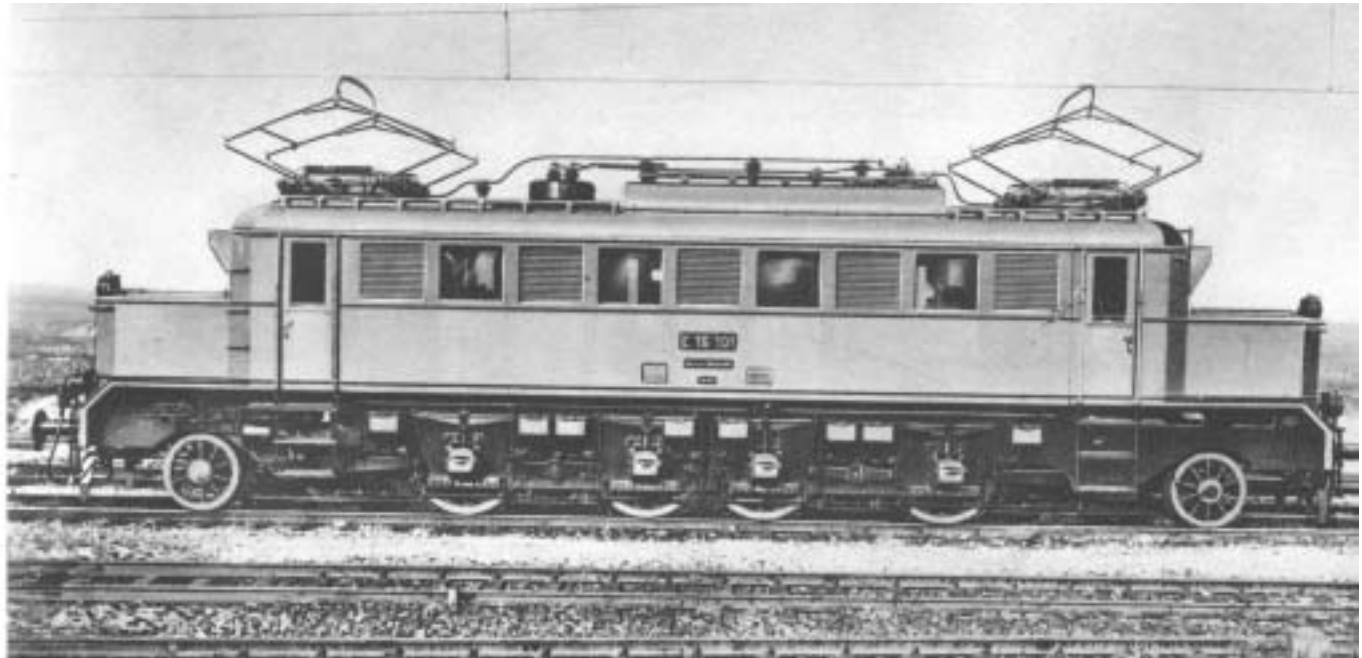


VDE

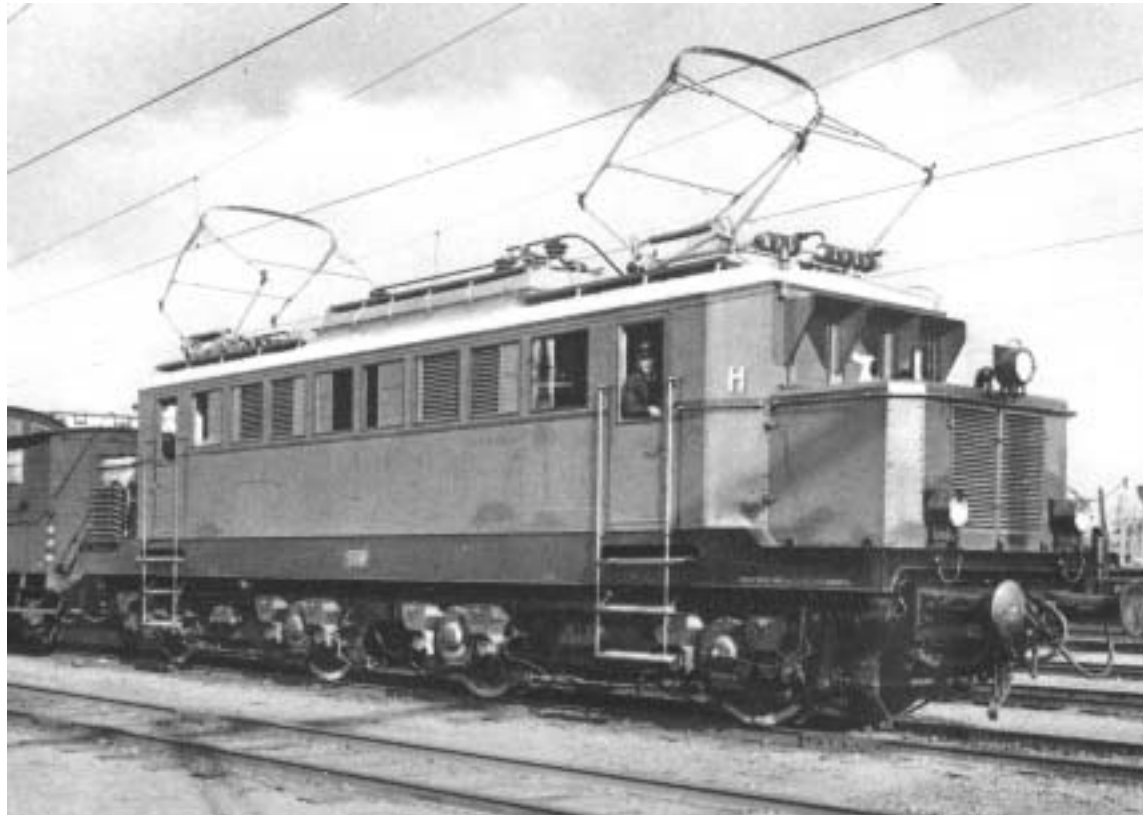
ETI



Größter Gestellmotor der Welt für Wechselstromtraktion (15 kV, 16 2/3 Hz)  
(ausgestellt im Verkehrsmuseum Dresden)



Wechselstrom-Lok (15 kV, 16 2/3 Hz) für die Strecke Halle - Leipzig (Siemens/Borsig 1928), Einrahmenlok, 1'Do'1, Tatzlagerantrieb, 120 km/h, Niederspannungssteuerung 13 Stufen, 1,9 MW, war zeitweise an der HfV Dresden als Studienobjekt aufgestellt (E 16 101)



Erste geschweißte Wechselstrom-Lok mit Drehgestellen, Achsfolge Bo'Bo'  
(Siemens 1930), spätere Einheitslok E 44, ca. 1,5 MW, NS-Schaltwerk, 90 km/h



Wechselstrom-Triebwagenzug (15 kV, 16 2/3 Hz)  
für die Strecke Halle - Leipzig (1928)



VDE

ETI



Wechselstrom-Triebwagenzug (15 kV, 16 2/3 Hz)  
für die Strecke Halle - Leipzig (1935)

VDE

ETI



Dieselektrischer Triebzug (SVT 137), Bauart Hamburg 1935  
(WUMAG Görlitz + SSW) - als Museumstriebwagen in Leipzig 1993

VDE

ETI



16 2/3 Hz-Hochleistungslokomotive für FD-Züge BR E18 (AEG - DRG)  
ab 1935, Goldmedaille 1937 in Paris, 4.5 MW, bis 180 km/h, (53 Ex.)  
E18 19 als 218 019 bei der DR als Testlok für Reisezugwagen (VESM Halle)

VDE

ETI



16 2/3 Hz-Hochleistungslokomotive BR E19 (AEG - DR) ab 1939,  
Leichtbau (Al), kräftigere Motoren als BR E18,  
entwickelt für den Schnellverkehr Berlin - München

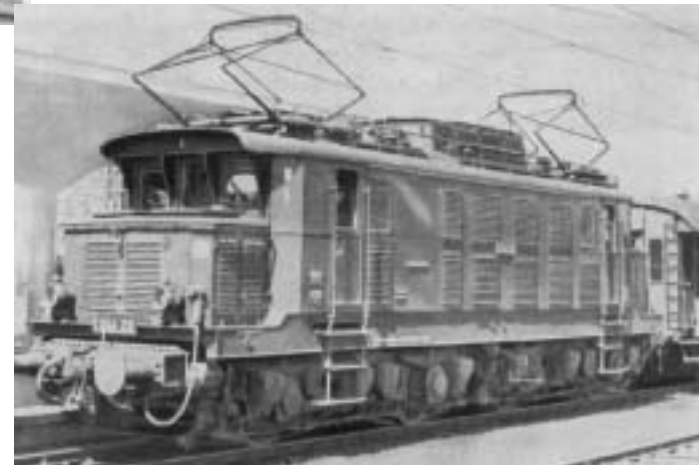


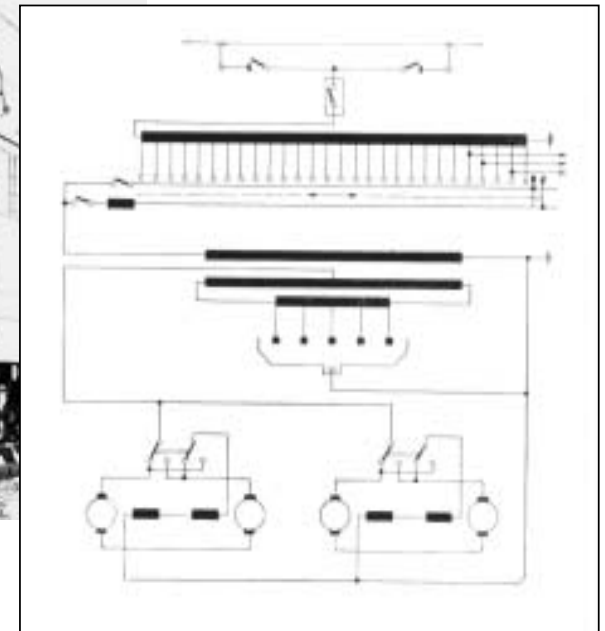
BR 194 - sechssachige Einheitslok für schwere Güterzüge (AEG u.a.)  
Bj. ab 1940: 145 Lok an die DRG, 3,1 MW, 90 km/h, 363 kN,  
mit el. Bremse; nach 1945 bei DB, DR und ÖBB im Einsatz



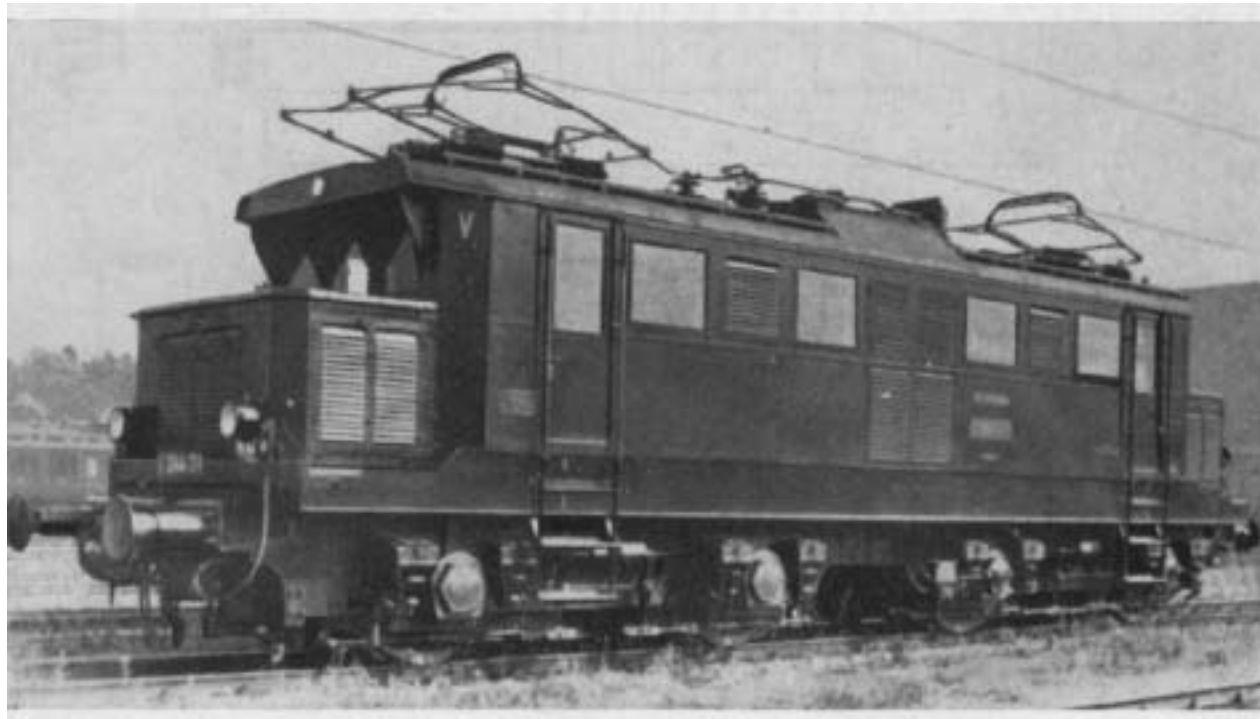
Versuchslok 244 01 der  
Höllentalbahn - AEG 1932,  
Ab 1936 im Regelbetrieb  
Gleichrichterlok mit  
gittergesteuertem Hg-GR  
(18 Anoden),  
torsionssteifer Tatzlagerantrieb

Versuchslok E 244 11  
WS-Lok (AEG 1950)  
mit  
50 Hz-Tandem-Reihenschluss-  
motoren mit zwei schmalen Läufern  
und zwei Kommutatoren (außen)  
auf einer Welle und in einem  
Gehäuse





E 244 11 Gleichrichterlok (BBC + Kraus Maffei) mit Hochspannungsschaltwerk, ungesteuertem Hg-Dampf-Gleichrichter und GS-Reihenschlussmotoren, el. Bremse, ab 1936 bis 1960 für Versuche auf der Höllentalbahn (Schwarzwald) eingesetzt



E 244 31 Garbe-Lahmeyer u. Krupp 1936 auf der Höllentalbahn,  
Antrieb mit kommutatorlosem Fahrmotor (Phasenspaltermotor)  
DS-ASM mit Zwischenläufer und Schleifringläufer, Wasserwiderstände,  
torsionssteifer Tatzlagerantrieb



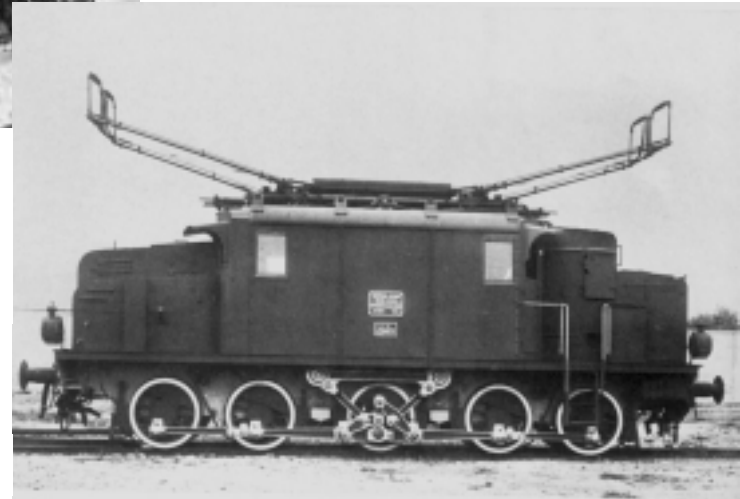
## Drehstromtraktion mit zwei Fahrleitungen in Italien (1903 - 1960)

VDE

ETI



DS-Ellok FS E470.001 (1925)  
Schnellzuglok bis 100 km/h  
10 kV, 45 Hz, 2 MW



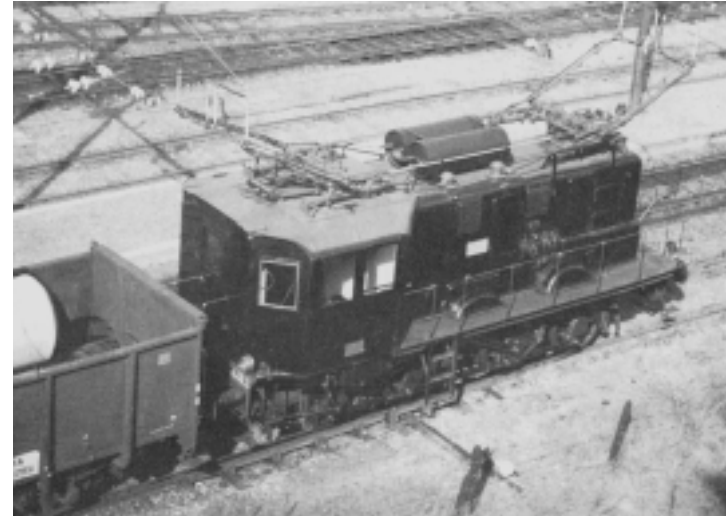
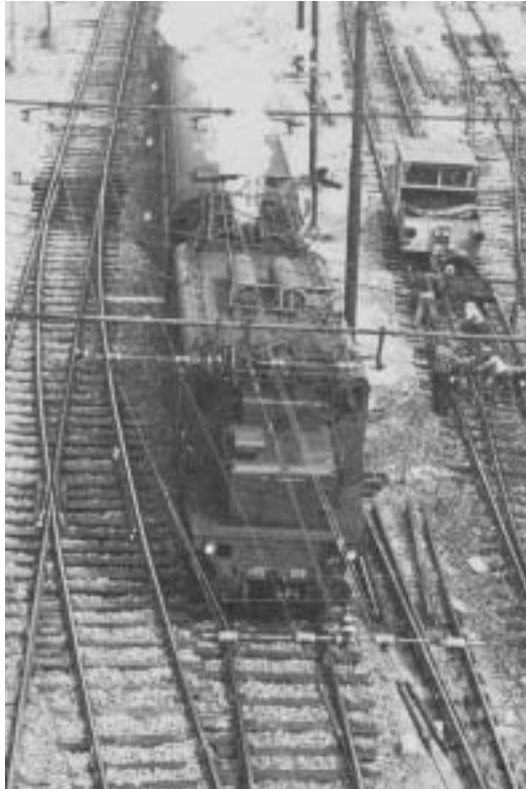
DS-Ellok FS E554.023 (1929)

Drehstromloks aus Oberitalien (15 kV, 16 2/3 Hz) Quelle: Messerschmidt

## Drehstromtraktion mit zwei Fahrleitungen in Italien (1903 - 1960)

VDE

ETI



FS DS-Ellok E440.2 - Foto von 1961

Dampfende Ellok  
(Wasserwiderstand der ASM mit SL kocht)

Drehstromloks aus Oberitalien (10 kV, 45 Hz) Quelle: Messerschmidt

## Entwicklungen bei der Deutschen Bundesbahn (DB) 1945-1990

- **1950 - 1970 Elektrifizierung** aller Hauptstrecken der DB  
(Nord-Süd-Orientierung mit Zentren in den Industriegebieten, neue DB-eigene Bahnkraftwerke oder -generatoren, WS-Traktion mit Reihenschlussmotoren)
- **1965 Schnellfahrversuche mit 200 km/h (Erlangen, Augsburg)**  
→ BR 103 Schnellfahrlokomotive und Serienlok
- **ab 1970 Stadtbahntwicklung** mit WS-Traktion (Olympiazüge München)
- **ab 1970 Erste Versuche mit Drehstromtraktion**  
→ Diesel-elektrische Lokomotive DE 2500 (Henschel+BBC)  
→ Vorbereitung der Umrichterlok BR 120
- **1979 100 Jahre Elektrotraktion (IVA Hamburg)**  
→ 5 Prototypen der BR 120 werden vorgestellt  
Beginn der Ertüchtigungen - 4 Mio. km
- **ab 1983 Serienlokomotiven der BR 120 mit Thyristoren (später GTO)**  
→ 120.1



BR 110 Klassische WS-Ellok der DB  
1957-63 Krauss-Maffei + Krupp  
+ AEG + SSW + BBC  
(3,7 MW, 140 km/h, 84,6 t)



BR 110.3 mit „Bügefalte“  
Baujahre 1964 – 69)  
(3,7 MW, 140 km/h, 84,6 t)

16 2/3 Hz-Schnellzug-Ellok der DB der Sechzigerjahre  
(Quelle: Bahn-Galerie.de)

VDE

ETI



16 2/3 Hz-WS-Hochleistungs-Ellok BR 103 (Siemens) ab 1965  
Hochspannungs-Schaltwerk, Thyristor-Feinsteller,  
6,2 MW, 200 km/h, 112 t, 6 Achsen



BR 420 Standard-Triebzug für den Nahverkehr der DB (15 kV/16 2/3 Hz)  
Siemens ab 1972, fast 500 Einheiten gebaut, dreiteilig, 2,4 MW, 120 km/h, 138 t



Güterzug-Ellok (Co'Co) BR 151 (16 2/3 Hz) der DB (1973 – 1977)  
(Krauss Maffei, Krupp, Henschel + BBC, Siemens, AEG) – 170 Exemplare  
6,3 MW, 120 km/h, 118 t                      Quelle: Bahn.Galerie.de

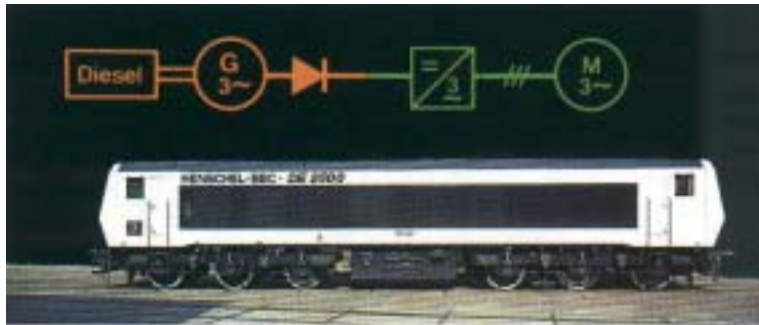


Zweissystem-Ellok BR 181 (16 2/3 Hz + 50 Hz) Universallokomotive für die DB (ABB, Siemens, AEG) – 1987



## Auf dem Weg zur Drehstromlok bei der DB (1970 - 1987)

- **ab 1970** Probefahrten mit der diesel-elektrischen Lok Henschel-BBC-DE2500 in Drehstromtechnik (1,84 MW, 84 t, 140 km/h)
- **1971** DE2500 auf der Hannover-Messe
- **ab 1975** Modifikation einer DE2500 für Einspeisung mit GS 1,5 kV (NS) Versuchsfahrten mit einer weiteren DE2500 mit Steuerwagen zur Erprobung der Technik des Vierquadrantenstellers (4QS) zur Einspeisung aus 16 2/3 Hz – Vorbereitung der BR 120, Vorbereitung der ICE-Technik mit DE2500 auf einen Rollprüfstand bis 350 km/h
- **1979** Vorstellung der ersten fünf Lok der BR120 auf der IVA Hamburg (100 Jahre Elektrotraktion)
- bis **1983** Ertüchtigungsphase der BR 120 (4 Mio. km!) und Entwicklung des ICE in Thyristortechnik Anlauf der Serienlieferung für die DB als Universallok
- **ab 1987** Einsatz von GTO in Traktionsantrieben Einsparung von Aufwand und Verlustleistung

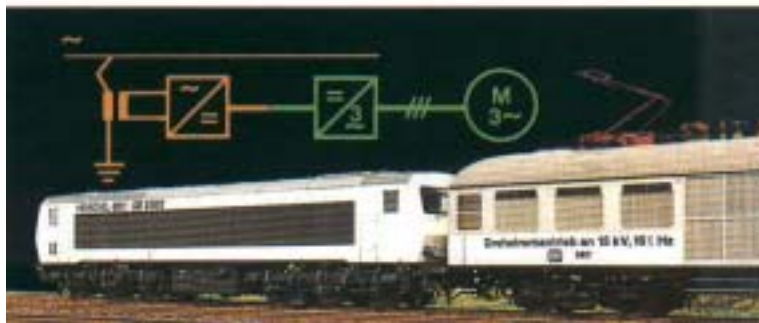


## Etappen der Entwicklung

Henschel - BBC - DE 2500  
Diesellok mit Wechselrichter  
und DS-ASM als Fahrmotoren  
Erprobung der Fahrmotoren  
(ab 1970)



Gleichstromlok mit DS-ASM  
für die NS  
(ab 1974)



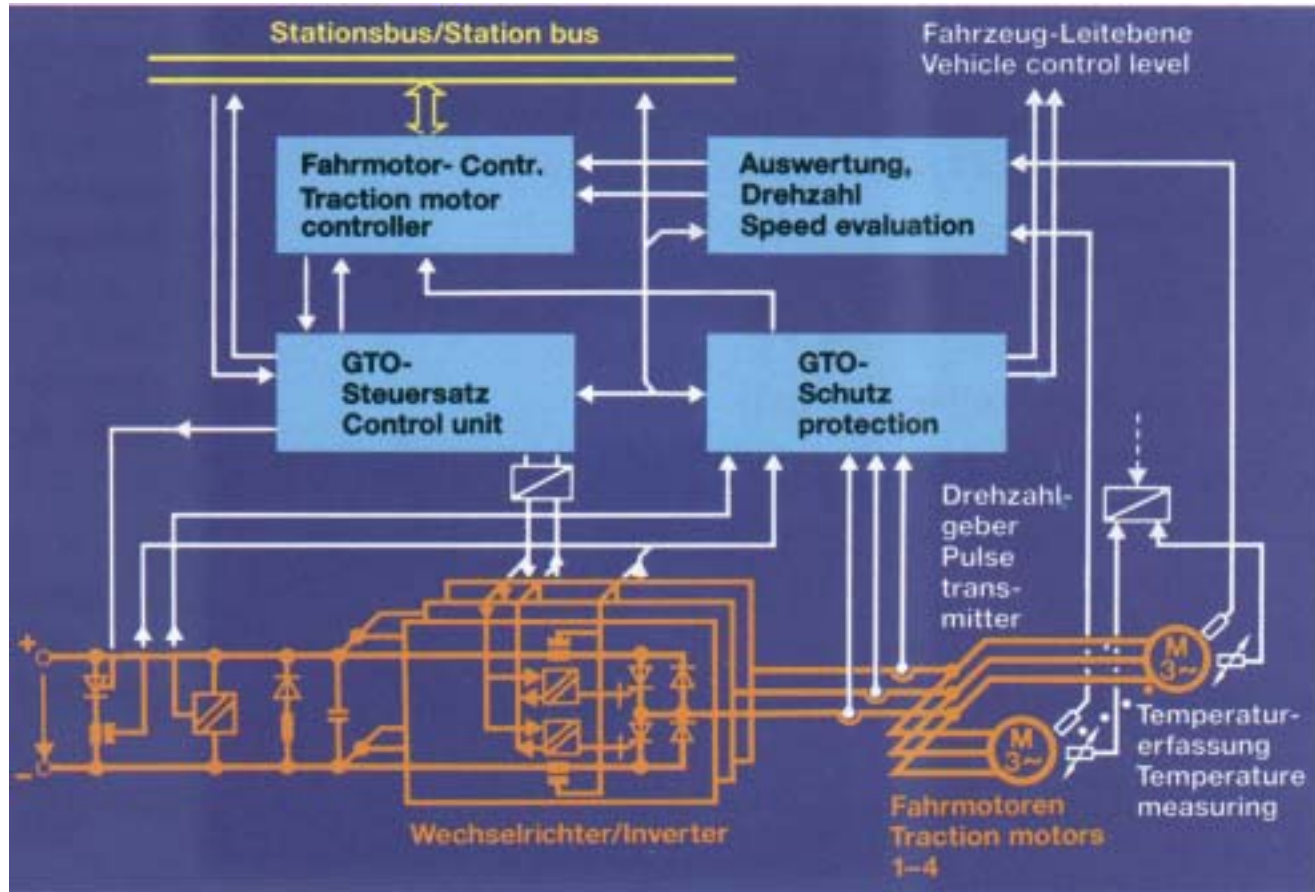
Erprobung des  
Netzstromrichters für  
16 2/3 Hz mit Versuchswagen  
für den Vier-Quadranten-Steller  
(ab 1974)

VDE

ETI



Versuchszug zur Erprobung der Drehstrom-Traktion  
(DE 2500 Henschel + BBC (1970))



DS-ASM mit Wechselrichter, Ansteuerung und Regelung - Strukturbild



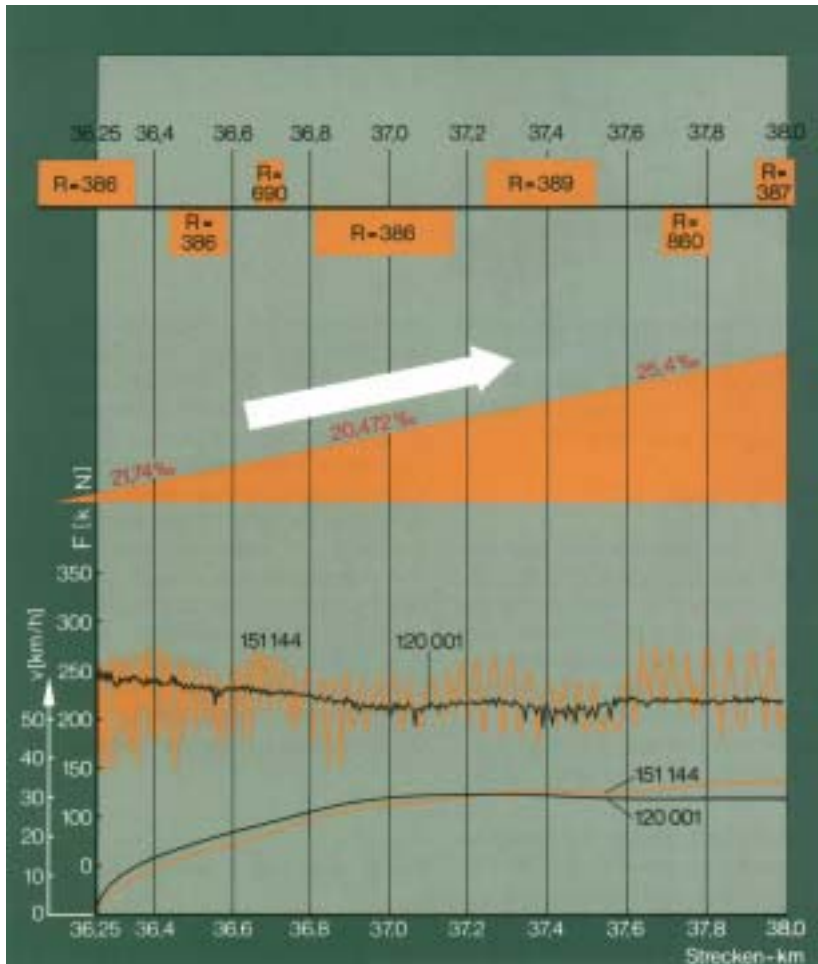
BR 120 001 - 005 Vorserie in Thyristortechnik - Erprobung 1979 -1983 (4 Mio. km)



120 005 - in GTO -Technik (1991)



Umrichter für ein Drehgestell (ABB)



Vergleich zwischen  
der Berganfahrt eines Zuges an  
der Geislinger Steige  
(das „berühmte Oszillogramm“)  
von 1984

1. Lok BR 151  
(6 Achsen, WS-Lok)  
Einsatz von viel Sand und  
Geschick des Lokführers
2. Lok BR 120 001  
nach der Ertüchtigung  
(4 Achsen, Drehstromlok  
mit Thyristorrichter)

Startpunkt der DAT-Lok  
Entwicklung (LEW, EAB) in der  
ehemaligen DDR unter  
Beteiligung mehrerer  
Hochschulen (Rostock, Dresden  
- TU, HfV, Chemnitz, Ilmenau)

VDE

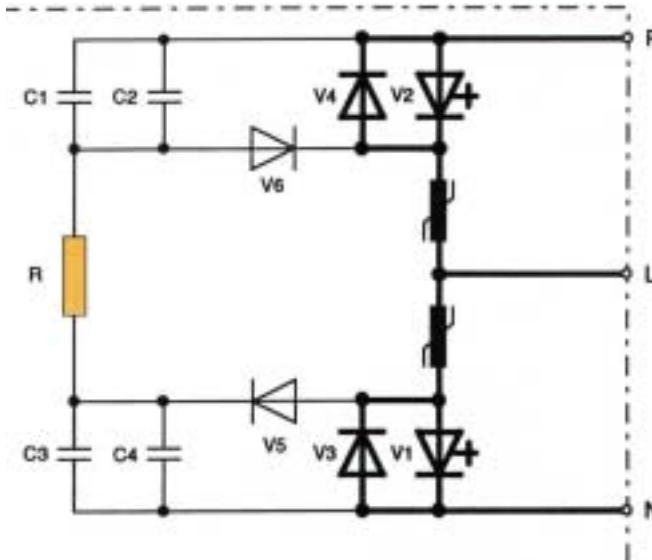
ETI



16 2/3 Hz-DAT-Universallokomotive BR 120 für die DB (ABB, Siemens, AEG) – 1987, ab 1993 mit GTO-UR mit nur 17 Halbleiterventilen, 50% Volumen, 155% Leistung gegenüber der Thyristorausführung ab 1983 (5,6 MW, 290 kNm, 200 km/h)

VDE

ETI



Phasenbaustein eines GTO-Umrichters (1995) - Quelle Siemens AG





Bestandteile der Leistungs- und Informationselektronik BR 120  
(Signalverarbeitungskarten, Drehzahlgeber, GTO-Scheibenzelle,  
optische Ansteuerung) – Quelle: ABB 1991

## Entwicklungen bei der Deutschen Reichsbahn (DR) 1945 - 1990

- **1945 - 1949** Abbau der elektrifizierten Strecken (Reparation an die UdSSR)
- **1953/1955** DDR beginnt erneut mit der Elektrifizierung im Raum Leipzig-Halle (Rückgabe von Ellok und Bahnkraftwerk Muldenstein)
- **1955 - 1970** Elektrifizierung der Hauptlinien der DR (880 km)  
(Entwicklung neuer Lokomotiven für die DR und den Export, LEW Hennigsdorf, 50 Hz-16 2/3 Hz rotierende Umformer SWN)  
→ LEW Ellok zweier Generationen nebeneinander  
211 (1979) und 243 (1982)  
→ Entwicklung von 25 kV/50 Hz Ellok (exBR 251 Rübelandbahn)
- **1970 - 1990** **Entwicklungen und Versuche mit neuen Ellok**  
→ LEW Ellok für 50 Hz Traktion E211(1972)  
→ Pulssteller-S-Bahn Berlin (1979)  
→ Prototyp einer Drehstromlok BR 218 ET "White Lady"  
(LEW 1990, später AEG 1991)  
→ Beiträge der TU Dresden (Simulation, Regelung, Entwurf)

VDE

ETI



16 2/3 Hz-Eilok BR ex242 der DR (NS-Schaltwerk) – 2,74 MW, 100 km/h, 82,5 t (LEW Hennigsdorf) ab 1963 –1976, 292 Exemplare Quelle: Bahn-Galerie.de

VDE

ETI



16 2/3 Hz-Elokk BR ex243 der DR (NS-Schaltwerk) – 3,72 MW, 120 km/h, 82,5 t (LEW Hennigsdorf) ab 1984, Thyristor-Feinsteller; Quelle: Bahn-Galerie.de

VDE

ETI



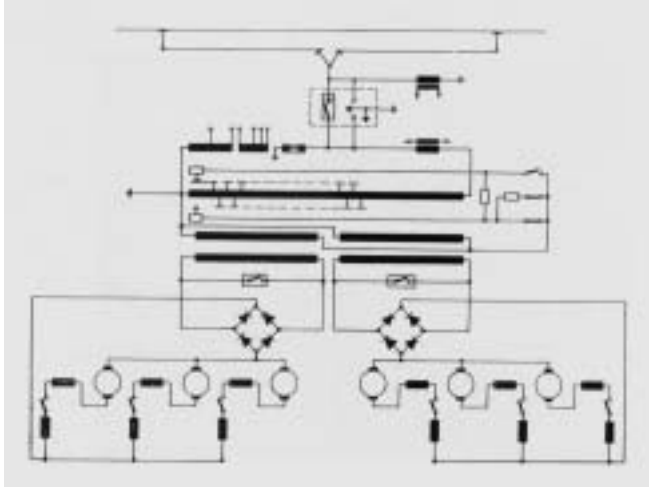
16 2/3 Hz-Schnellzuglok BR ex211 (NS-Schaltwerk) und Universallok BR ex 243 (NS-Schaltwerk und LE-Feinsteller (LEW - DR) ab 1963 bzw. 1984



GS-Pulssteller-S-Bahn BR 485 für Berlin (LEW - DR) ab 1979

VDE

ETI



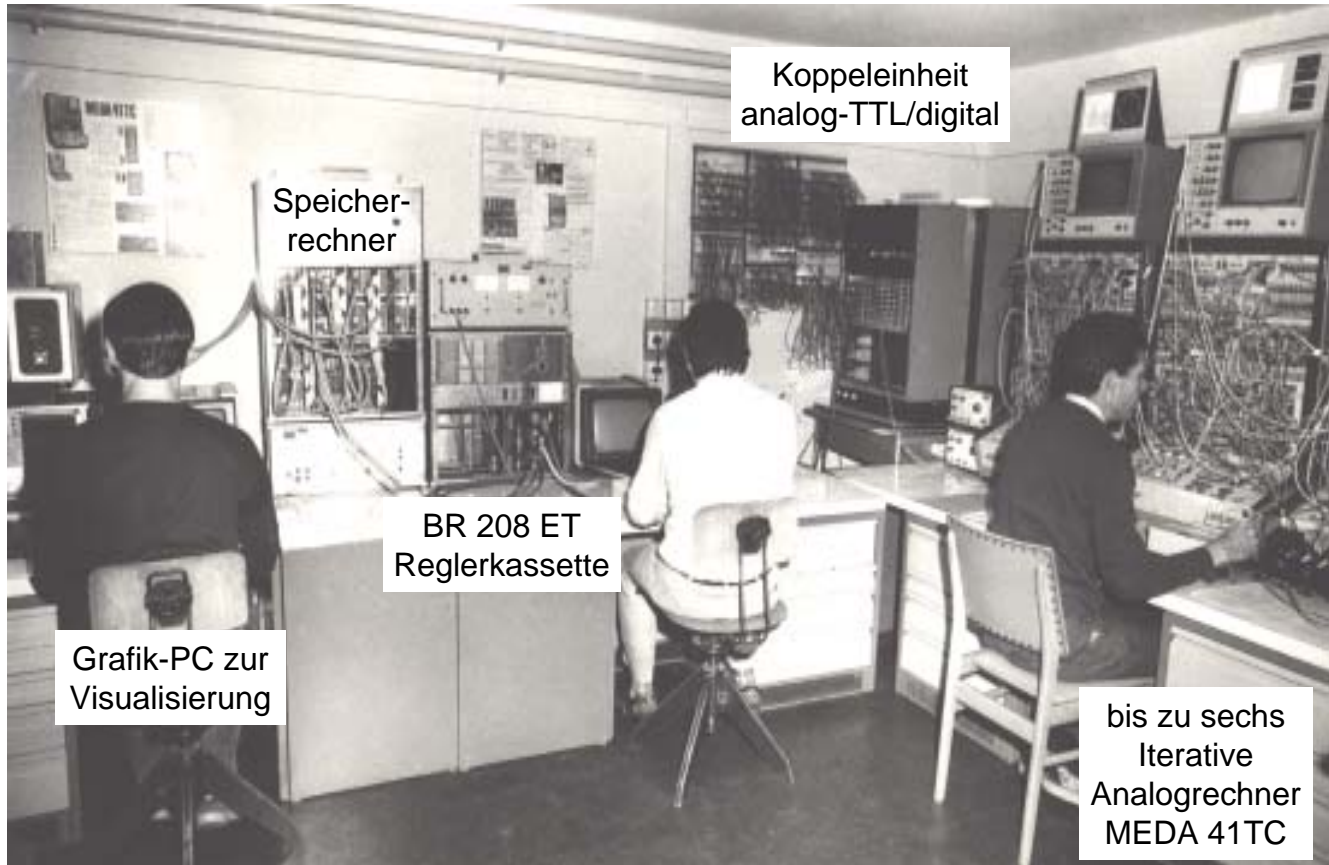
links: BR ex 251 DR 25 kV/50 Hz  
(15 Stck.) für die Rübelandbahn  
(LEW 1972), heute BR 171  
Trafo mit Stufenschaltwerk und  
Dioden-SR

rechts: BR ex E211 DR 25 kV/50 Hz  
(Messemuster für den Export nach  
Osteuropa)



BR 171  
Rübelandbahn  
50 Hz - WS 25 kV  
(LEW - DR)  
ab 1979  
als Versuchsstrecke  
für die Erprobung  
von Ellok für den  
Export ausgerüstet





Koppeleinheit  
analog-TTL/digital

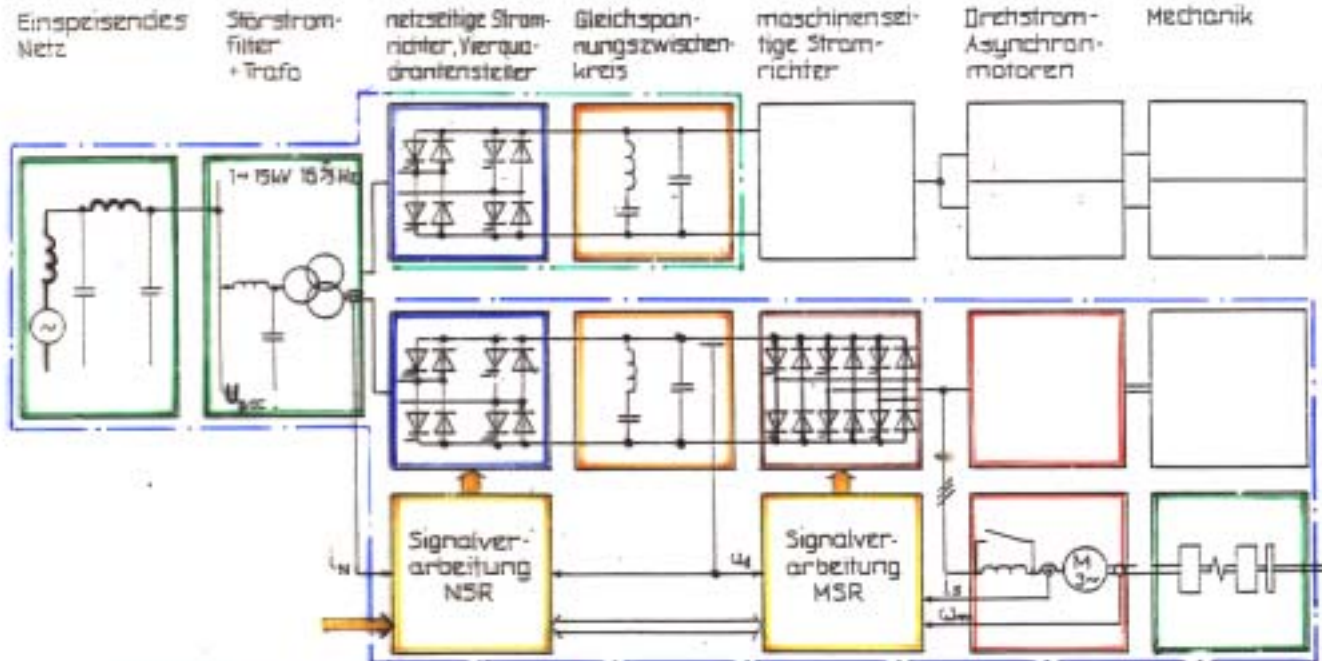
Speicher-  
rechner

BR 208 ET  
Reglerkassette

Grafik-PC zur  
Visualisierung

bis zu sechs  
Iterative  
Analogrechner  
MEDA 41TC

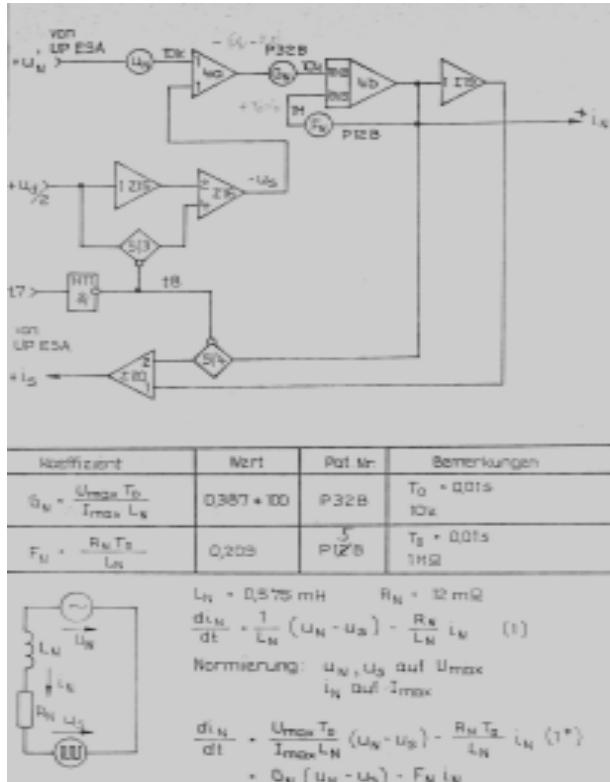
Hybrider Antriebssimulator **HANSI (Hardware in the loop)** - TU Dresden  
im Görgesbau Raum 303 (1988 -1991)



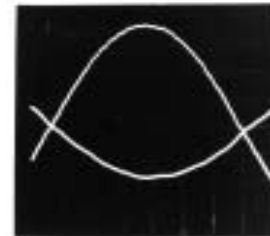
Makrostruktur der DAT-Lok BR208 ET zur Simulation mit HANSI

VDE

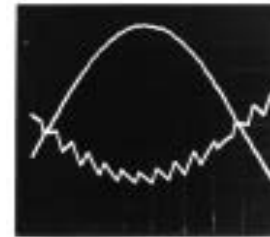
ETI



HANSI analoger Koppelplan NSR

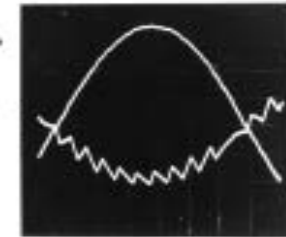


$u_{AP}$  Fahrdradspannung, Netzstrom mit Filter



$i_N$  500 kW generatorisch

Stellereingangsströme



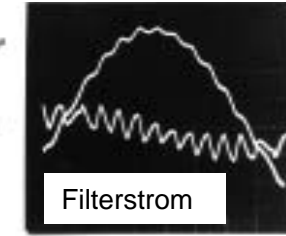
$i_{ET}$

$i_{ET}$

Havariebetrieb mit 1 NSR bei 500 kW motorisch



$i_N$



$i_P$

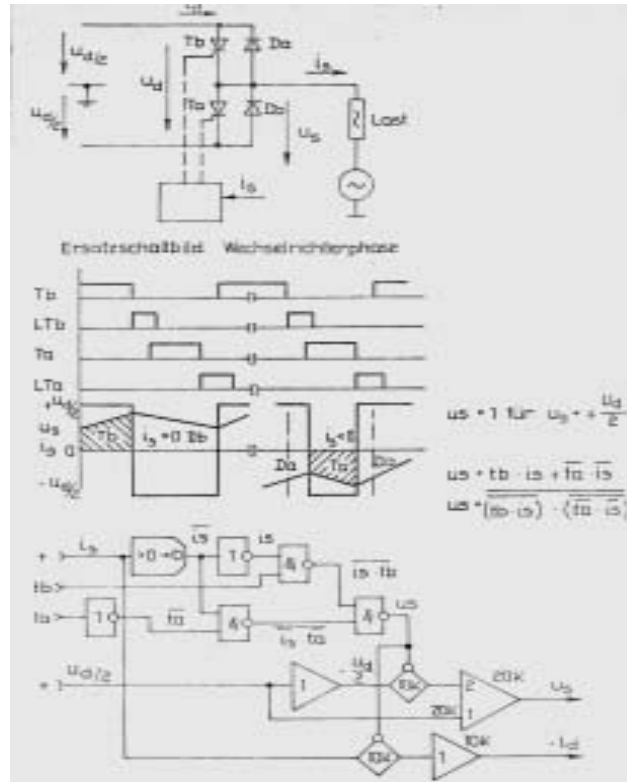
Filterstrom

Zeitfunktionen des 4QS mit Störstromfilter

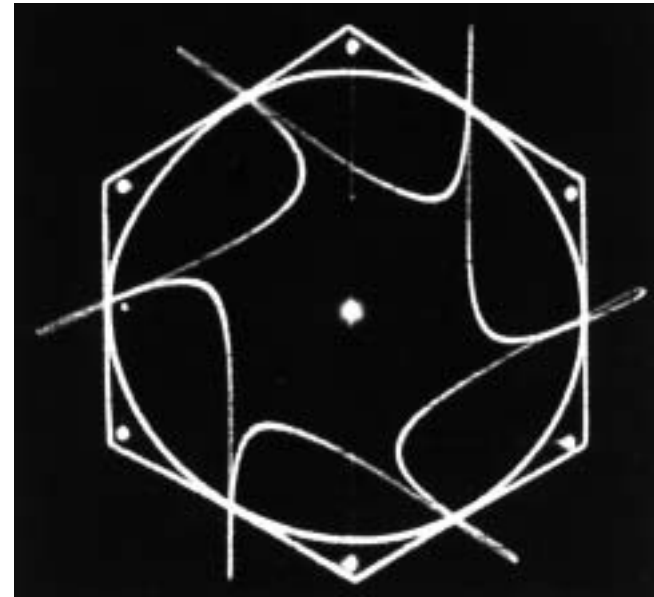
Betriebsverhalten des Netzstromrichters

VDE

ETI



HANSI analoger Koppelplan für einen Wechselrichter-Strangbaustein



Stationärer Betrieb des Fahrmotors am WR bei  $f = 30 \text{ Hz}$  (Raumzeigerdarstellung für Spannung, Flußverkettungen und Strom) (Generatorbetrieb mit Bemessungsmoment)

**Betriebsverhalten des Wechselrichters  
Echtzeitsimulation mit HANSI**



16 2/3 Hz-Erprobungsträger (BR ex243 001) (LEW/AEG/ADtranz)  
ab 1988, ein Drehgestell wurde für DAT-Traktionsantrieb  
(BR 208ET - 2 x 250 kW) ausgerüstet und für Versuchszwecke verwendet  
Quelle: Bahn-Galerie.de

## Wieder eine Deutsche Bahn (Deutsche Bahn AG) 1991 - 2004

- **1990** Wiedervereinigung Deutschlands
- **1990 - 1995** Verbesserung des Personenschnellverkehrs (IC/ICE)  
(neue Orientierung für das ganze Land und auf Berlin,  
Neubaustrecken, Verkehrsprojekt Deutsche Einheit)  
→ ICE 1 ab 1991 (Neubaustrecke Würzburg – Fulda)
- 1995 - 2000** Entwicklung neuer Lokomotiven (ADtranz Hennigsdorf, Siemens)  
→ Europrinter BR 127 u.a. 15 kV/16,7 Hz ab 1992  
→ ICE 2/ICE T ab 1995-2000 (GTO ersetzen Thyristoren)  
→ BR 101/145, 12X (ADtranz Hennigsdorf), Modularisierung  
→ BR 152, Siemens/Krauss Maffei  
→ Doppelstock-Triebwagen BR445, ADtranz, Siemens, DWA  
→ CZ 680 Schnelltriebwagen mit Neigetchnik für die CZ  
(25 kV/50 Hz; 15 kV/16 2/3 Hz; 3 kV DC)
- **2000 - 2004** Entwicklung neuer modular variabler Lokomotiven  
→ BR 189 Einsatz der IGBT-Traktionsumrichter (Siemens) für  
Viersystembetrieb in Europa für Güterverkehr  
→ ICE 3 Mehrsystem-Triebzug für Europa  
→ Ablösung der dezentralen Netzkupplungsumformer



ICE1 (BR 401) -Führerstandsicht  
auf die Neubaustrecke  
Würzburg - Fulda (1996)

Triebkopf:  
2 x 4,8 MW, 280 km/h, 400 kN,  
80 t, elektr. Bremse 4 MW

GTO-Traktionsumrichter





ICE 2 (BR 402) GTO-Ausführung des ICE  
(Siemens – AEG – 1995 -1997)  
Frontansicht mit geöffneter  
Scharfenberg-Kupplung  
Triebkopf: 78 t, 280 km/h, 200 kN, 4,8 MW



Fahrmotor  
1,25 MW / 1790 V / 459 A  
Loktrafo 5,22 MVA





BR 101 DB Schnellzuglok (1997) ADtranz 6,4 MW, 220 km/h, 86,9 t

VDE

ETI



DB-Mehrzweck-Lok BR 145 (ADtranz)  
Baukastensystem (BR 101/BR 145)  
(1997 - 2000 ca. 80 Loks)  
84 t, 140 km/h, 4.2 MW,  $F_{za} = 300 \text{ kN}$



DB-Universal-Elokk-Lok BR 152  
(Siemens) Weiterentwicklung  
Europrintertyp  
(1997 - 2001 ca. 195 Loks)  
86 t, 140 km/h, 6.4 MW,  $F_{za} = 300 \text{ kN}$



BR 185 (ab 2000) – Güterzug-Ellok (ADtranz, Bombardier Transportation)  
4,2 MW, 140 km/h, 84 t,



ADtranz-Testfahrzeug 12X (BR 128) auf Testfahrt (2002)

VDE

ETI



Neicontrol-E<sup>®</sup> elektrische Neigetechnik für den zweiteiligen Diesel-Triebzug (2'B'+B' 2') BR 611 der DB AG ab 1996, 116 t, 2 x 0.54 MW, 160 km/h

VDE

ETI



ICE 3-Triebzug DB (2000-2004) - ca. 63 Züge  
8-teilig, 350 t, 8 MW, 330 km/h,  $F_{za} = 200$  kN, auch als Viersystemtriebzug



Dreiteiliger Doppelstock-Triebzug BR 445 für die DB (Siemens+Adtranz) 2003  
Daten: 180 t, 2.7 MW, 140 km/h,  $F_{za} = 200 \text{ kN}$  – Testfahrt (Quelle: Bahn-Galerie.de)

Studie für CZ 608 -Triebzug in  
Dreisystemtechnik und  
Neigetechnik für die CZ  
(2001)  
7-teilig, 324 t, 4 MW, 230 km/h,



ICE 3 -Triebzug in  
Viersystemtechnik  
für die DB (2000-2001)  
8-teilig, 415 t, 8 MW, 330 km/h





BR 182 DB/1016 ÖBB (Europrinter) Siemens (2001) – Zweisystem-GTO-Lok 16,7 Hz + 50 Hz, 6.4 MW, 86 t, 230 km/h, 300 kN



BR 189 DB Siemens (2003) – Viersystem-Cargo-IGBT-Lok, 140 km/h  
(100 Einheiten für die DB bestellt)      Quelle: Siemens

VDE

ETI



S-Bahn  
BR 423  
(2003)

und ICT  
(2002)



Neubaustrecke  
Frankfurt -Köln (2003)

VDE

ETI



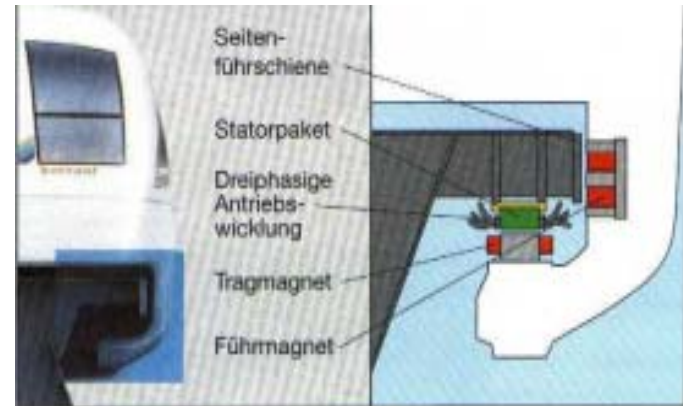
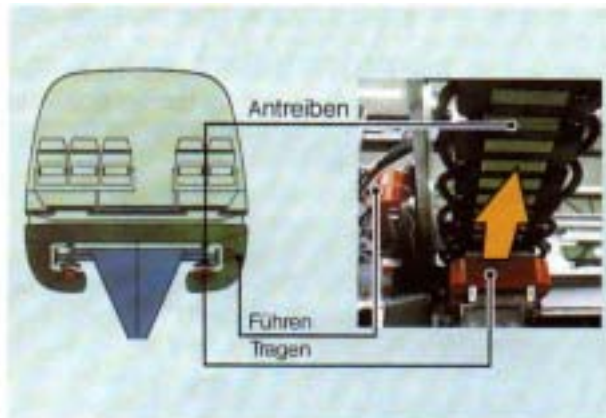
Versuchsstrecke im  
Emsland mit TR08  
(2002)

.... und Betrieb:

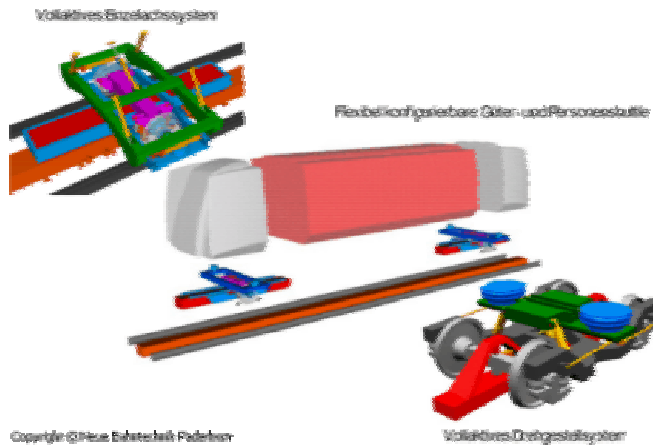
Nachtbetrieb in Shanghai (2004)

Quelle: Transrapid International



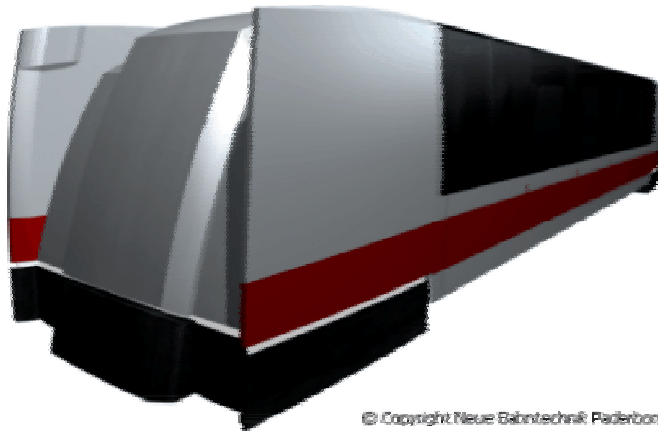
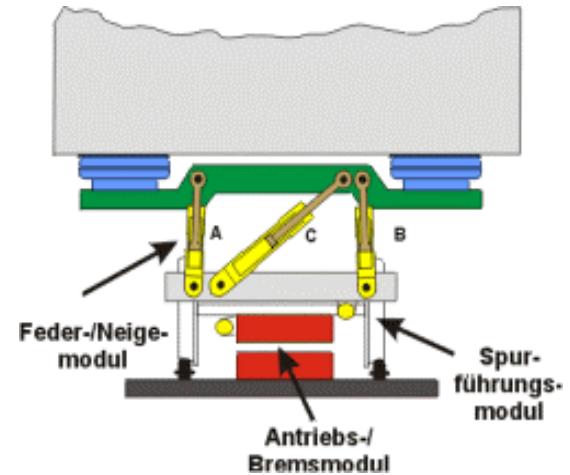


Technik des Transrapid-Langständer-Linearmotor mit Ständer in der Fahrbahn



Copyright © Neue Bahntechnik Paderborn

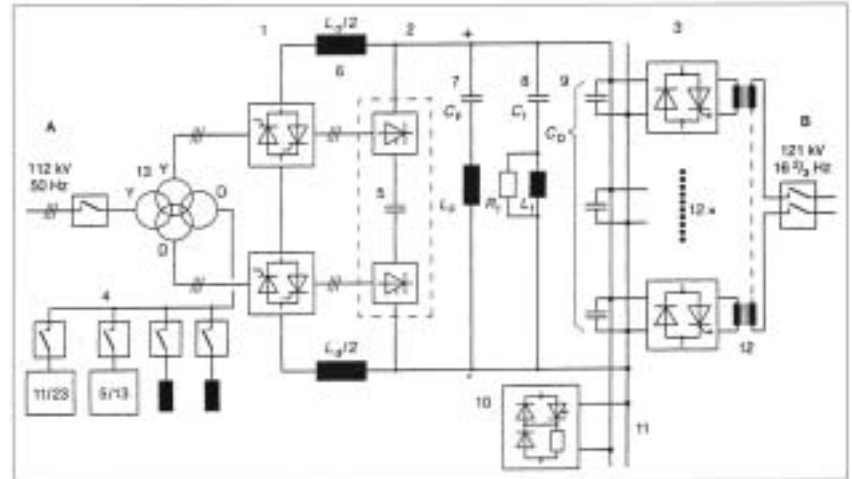
Copyright © Neue Bahntechnik Paderborn



© Copyright Neue Bahntechnik Paderborn

Modulares Fahrzeugkonzepte mit  
spurgeführtem Linearantrieb  
für Einzelachs- und Drehgestell-  
fahrzeuge  
Personen- und Container-Shuttle

Quelle:  
Neue Bahntechnik Paderborn  
(2002)



Statischer 100 MW-GTO-Frequenzumformer 50 Hz zu 16 2/3 Hz für die Bahnstromversorgung der DB AG in Bremen (ADtranz 1996)