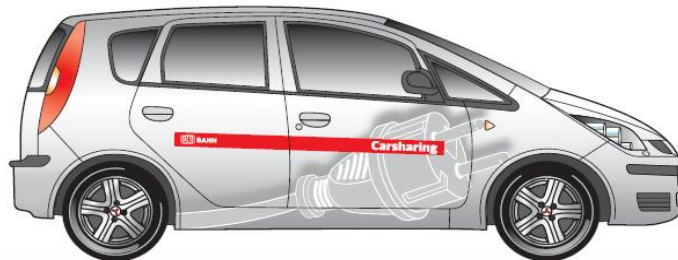




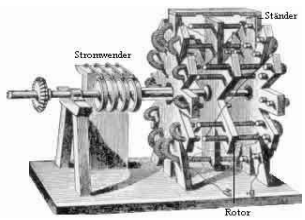
DB AG/Bartłomiej Banaszak



Wer die Zukunft gestalten will, der muss die Vergangenheit kennen und die Gegenwart verstehen



Ingenieure als Impulsgeber bei der Entwicklung der Eisenbahn



1832

Die mit der industriellen Revolution einhergehende explosionsartig steigende Menge an zu befördernden Gütern und das sich verändernde Mobilitätsverhalten der Menschen beflügelte die Entwicklung der Verkehrssysteme

Moritz Hermann von Jacobi

1. Die Anfänge

Die Idee:

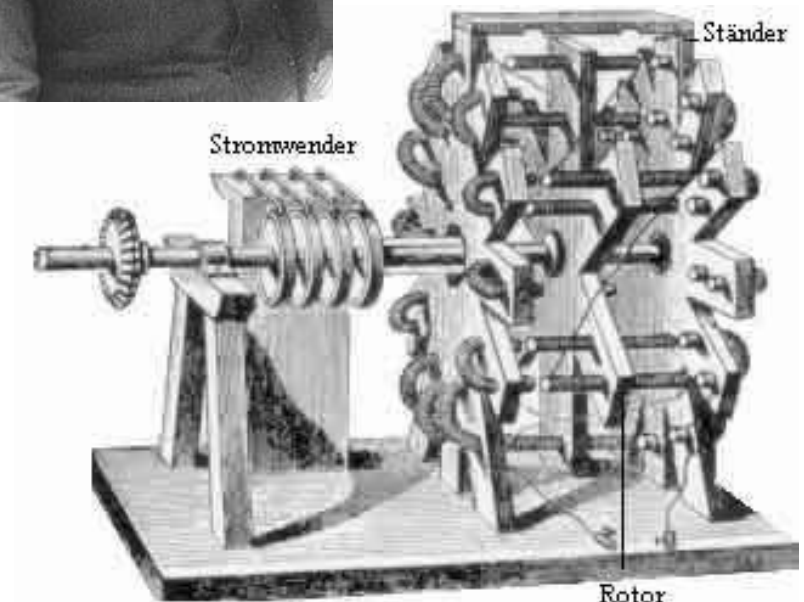
Nutzung des Elektromagnetismus zur

Bewegung von Fahrzeugen

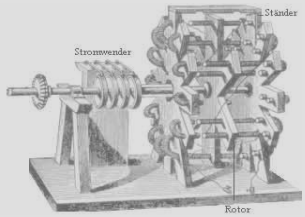
■ 1838 legte er mit einem Boot auf der Newa 7,5 km mit einer Geschwindigkeit von 2,5 km/h zurück

■ sein Motor hatte ursprünglich 200 W Leistung; später
Steigerung auf 700 W

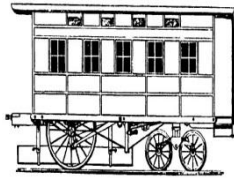
■ Stromquelle war eine Zink-Platin-Batterie



Ingenieure als Impulsgeber bei der Entwicklung der Eisenbahn



1832



1851

Charles Crafton Page

1. Die Anfänge

Die Idee:

**Nutzung des Elektromotors zur Fortbewegung
von Schienenfahrzeugen**

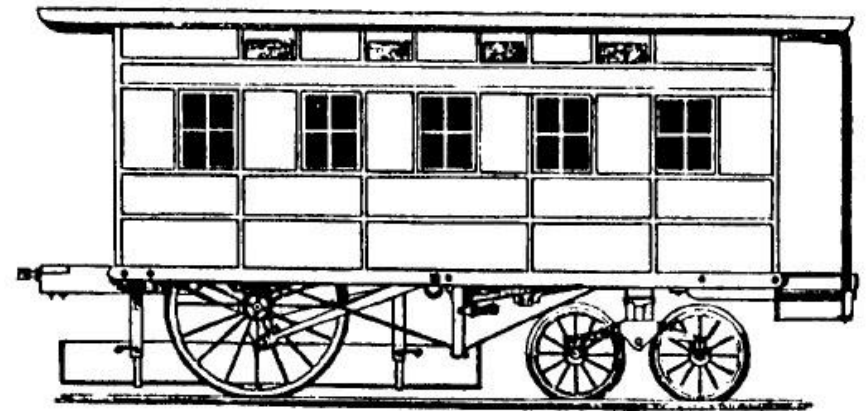
- konstruierte 1838 einen elektromagnetischen Kolbenmotor
- seine 1851 entwickelte Elektrolokomotive erreichte kurzzeitig eine Geschwindigkeit von 31 km/h
- die gewaltige Batterie brachte das Fahrzeug auf stattliche 12 t Gewicht



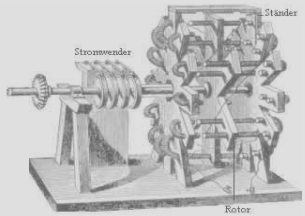
Page Motor



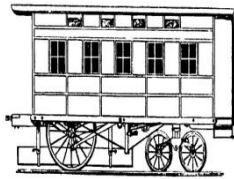
Page Lokomotive



Ingenieure als Impulsgeber bei der Entwicklung der Eisenbahn



1832



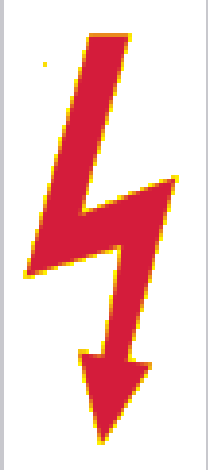
1851



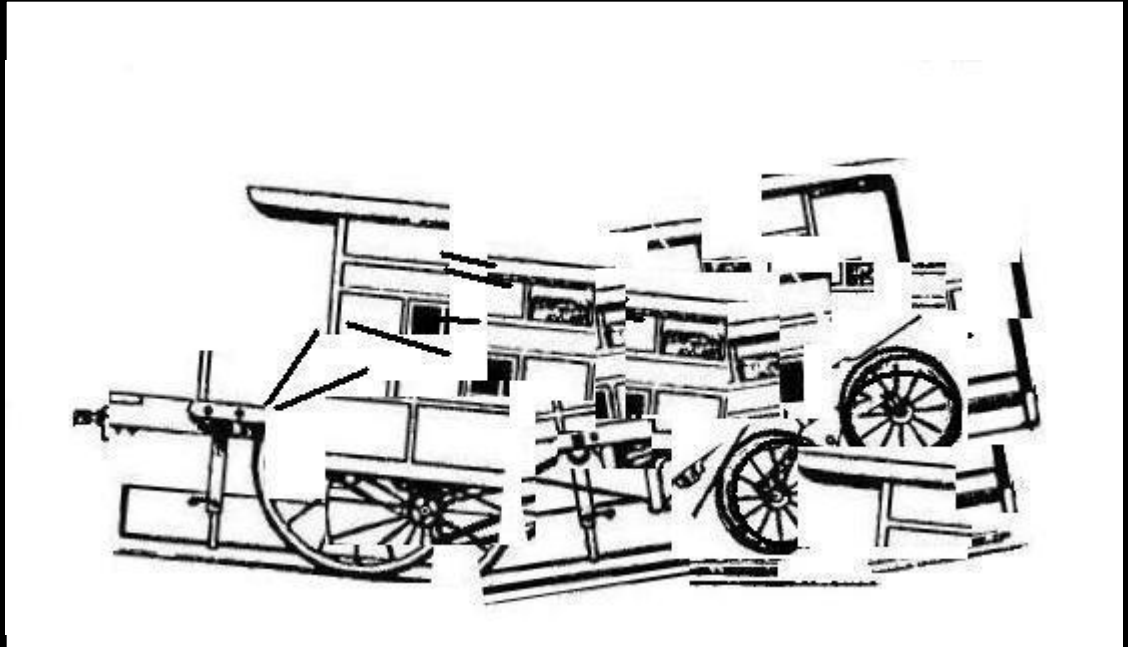
- Zu teuer
- Zu schwer
- Zu geringe Kapazität

Die Frage des besten Antriebes für die junge Eisenbahn entschied vorerst die Dampfmaschine für sich

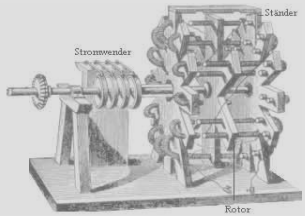
1. Die Anfänge



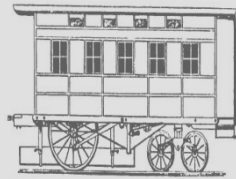
- Zu teuer
- Zu schwer
- Zu geringe Kapazität (Reichweite)



Ingenieure als Impulsgeber bei der Entwicklung der Eisenbahn



1832



1851



1879

Werner von Siemens

1. Die Anfänge

Die Idee:

**Zentrale ortsfeste Erzeugung der
Elektroenergie und Zuführung zum
Fahrzeug**

- 1866 Entwicklung der elektrodynamischen Maschine
- 1879 erste elektrische Lokomotive der Welt zur Gewerbeausstellung in Berlin



Energie zentral erzeugen, dann dem Fahrzeug zuführen

1. Die Anfänge

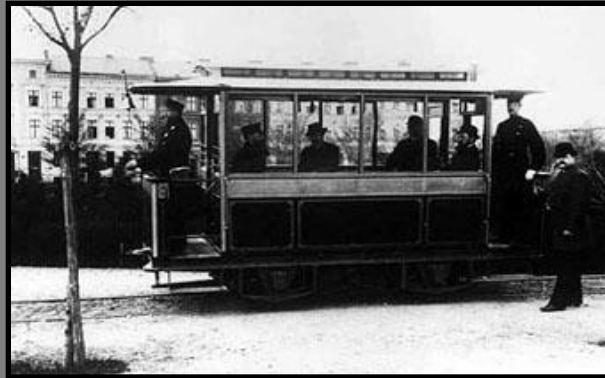
1879 - erste elektrische Lokomotive der Welt; Gewerbeausstellung Berlin



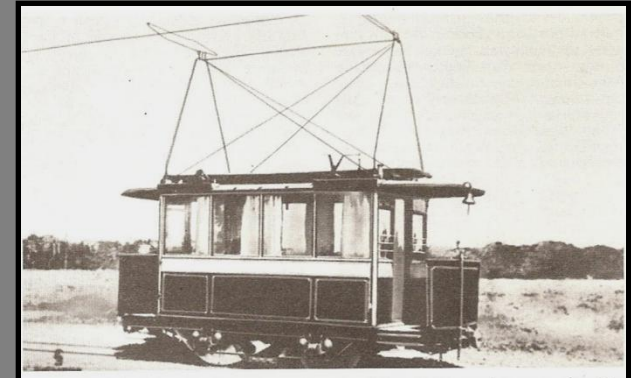
Leistung 3 PS

- Spurweite 490 mm
- Geschwindigkeit 7/ 13 km/h
- Spannung 150V GS
- Fahrtrichtungsänderung mittels Wechselgetriebe
- Antrieb zweipoliger Gleichstrommotor
- 86 398 beförderte Personen (31.05.-30.09.1879)

16. Mai 1881 Beginn des elektrischen Straßenbahnverkehrs. Anhalter Bahnhof Großlichterfelde – Haupt-Kadetten-Anstalt.



- Leistung 5 PS
- Spurweite 1000 mm
- zul. Geschwindigkeit 20 km/h (40 km/h)
- Spannung 180 V GS
- Fahrtrichtungsänderung durch Änderung der Stromrichtung im Anker
- Zuschaltung der Energieversorgung nur während der Fahrt
- 12 Sitz- und 18 Stehplätze



- Gleiches Fahrzeug einige Jahre später, jetzt aber mit Stromabnehmer

Eine Vielzahl verschiedener elektrischer Systeme

1. Die Anfänge



15 kV / 16 Hz Wechselstrom

15 kV / 50 Hz Wechselstrom

750 V / 50 Hz Wechselstrom

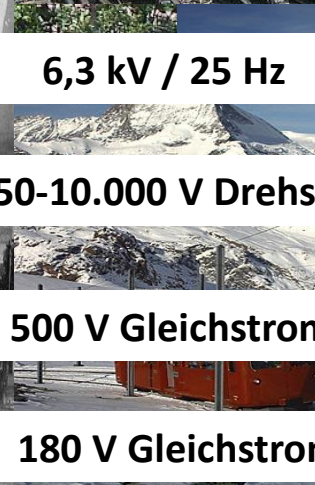
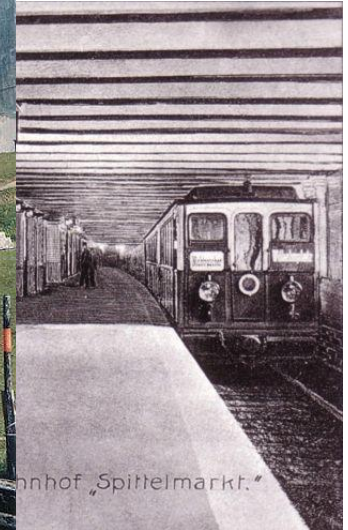
5,5 kV / 16 Hz Wechselstrom

6,3 kV / 25 Hz

750-10.000 V Drehstrom

500 V Gleichstrom

180 V Gleichstrom



Drehstromlokomotiven

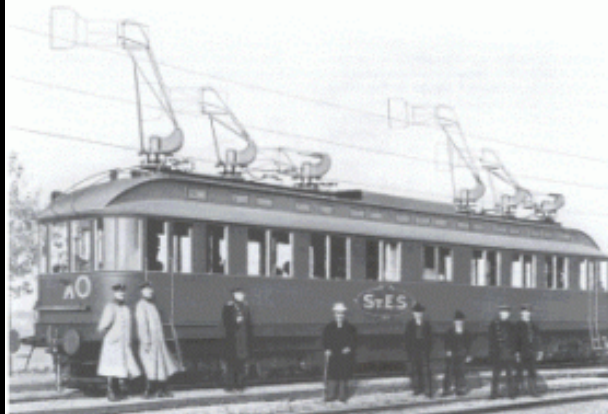
1. Die Anfänge

Drehstrom (Versuchsstadium)

Triebwagen von 1903
Höchstgeschwindigkeit:
210 km/h

Die beiden Versuchstriebwagen, die 1903 über 210 km/h erreichten. Beim AEG-Wagen waren drei Stromabnehmer hintereinander, beim Siemens-Wagen auf einer gemeinsamen Säule übereinander geordnet. (StES - Studiengesellschaft für elektrische Schnellbahnen)

Drehstromlokomotive für Schnellbahnversuche zwischen Marienfelde und Zossen, 1902



27. Okt. 1903
210,2 km/h



23. Okt. 1903
206,7 km/h



Warum $16 \frac{2}{3}$ Hz

1. Die Anfänge

Ingenieurtechnische Herausforderungen an einen elektrischen Zugbetrieb:

- Wie kann eine sichere Energieübertragung erfolgen
- Welches ist das geeignetste Stromsystem
- wie muss ein bahnfester Motor konstruiert sein

Ausgangslage zu Beginn des 20. Jahrhunderts:

- **Drehstrommotoren**
 - ungenügende Regelbarkeit
 - 3-polige Auslegung der Stromabnehmer und der Fahrleitung gestaltet sich äußerst kompliziert

Warum $16 \frac{2}{3}$ Hz

1. Die Anfänge

Gleichspannungsmotor

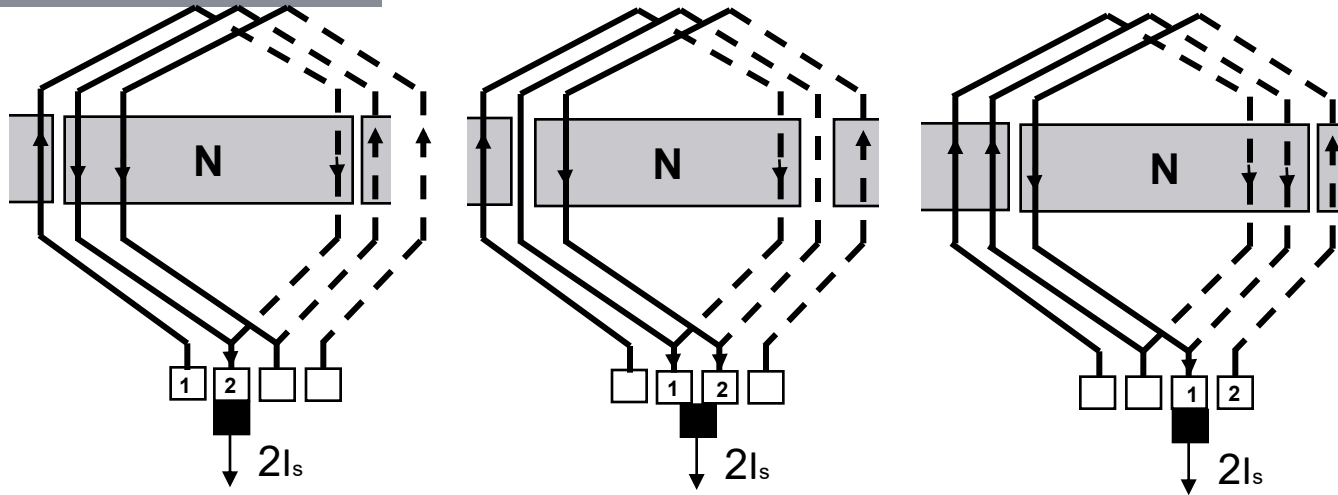
- für Traktion ausgezeichnet geeignete Kennlinien
- damals nur für geringe Spannungen verfügbar
- Gleichspannung ist nicht transformierbar

Wechselspannungsmotoren

- keine geeigneten vorhanden, jedoch ließ sich der so genannte Einphasenreihenschlussmotor bedingt mit Wechselspannung betreiben

Warum $16 \frac{2}{3}$ Hz

1. Die Anfänge



Transformatorische Spannung

- Mit Wechselstromspeisung führen die Hauptpole einen Wechselfluss
- Spannungsinduktion in der kommutierenden Spule: $U_t = 4,44 \cdot \Phi \cdot f \cdot N$
- Kreisstrom fließt über die Bürsten
- Bürstenfeuer / hoher Bürstenverschleiß (Abbrand)

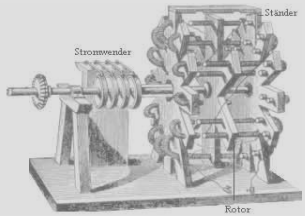
Folgen für die Motorkonstruktion

Maßnahmen zur Kompensation der transformatorischen Spannung

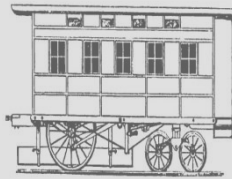
$$U_t = 4,44 \cdot \Phi \cdot \mathbf{f} \cdot N$$

- Geringerer Hauptfluss Φ → viele kleine Hauptpole
- Geringe Windungszahl N → geringe Motorspannung
- Geringe Netzfrequenz \mathbf{f} → $16 \frac{2}{3}$ Hz statt 50 Hz

Ingenieure als Impulsgeber bei der Entwicklung der Eisenbahn



1832



1851



1879



1912

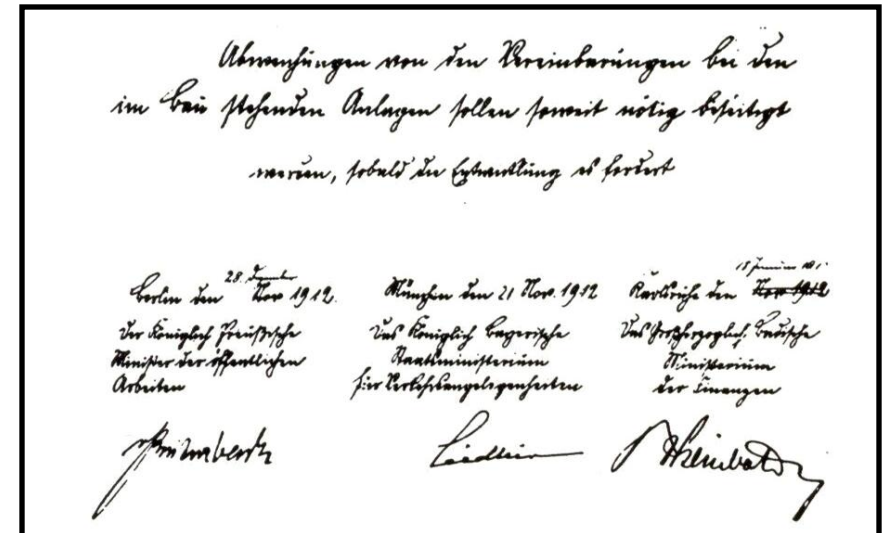
Die Vielzahl der unterschiedlichen Spannungen und Frequenzen behindert eine zusammenhängende Entwicklung des elektrischen Zugbetriebes

Übereinkommen betreffend „Die Ausführung elektrischer Zugförderung“

1. Die Anfänge

Die Idee:

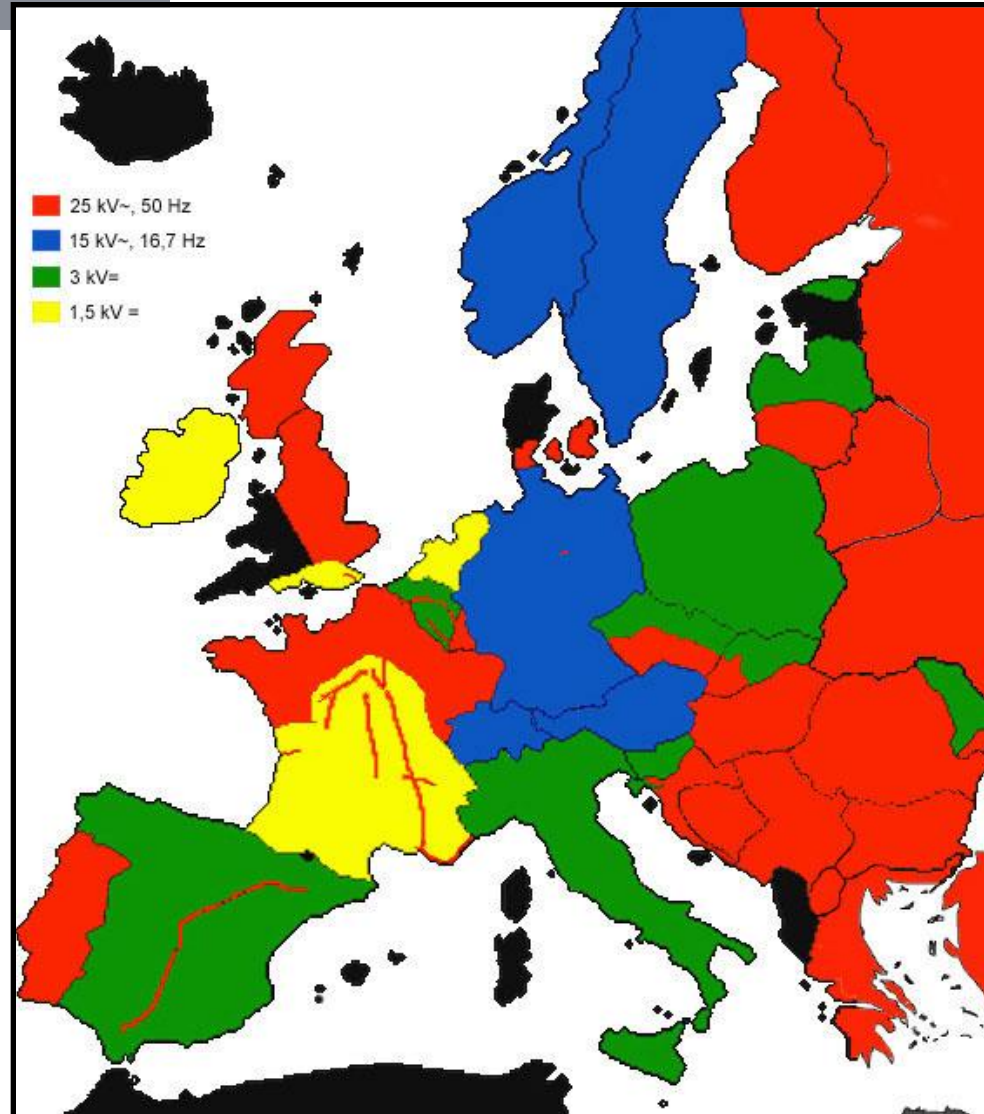
Vereinheitlichung der elektrischen Bahnenergie-
versorgung



Übereinkommen zur Ausführung elektrischer Zugförderung von 1912 zwischen den preussisch-hessischen, den bayrischen und den badischen Staatseisenbahnen .

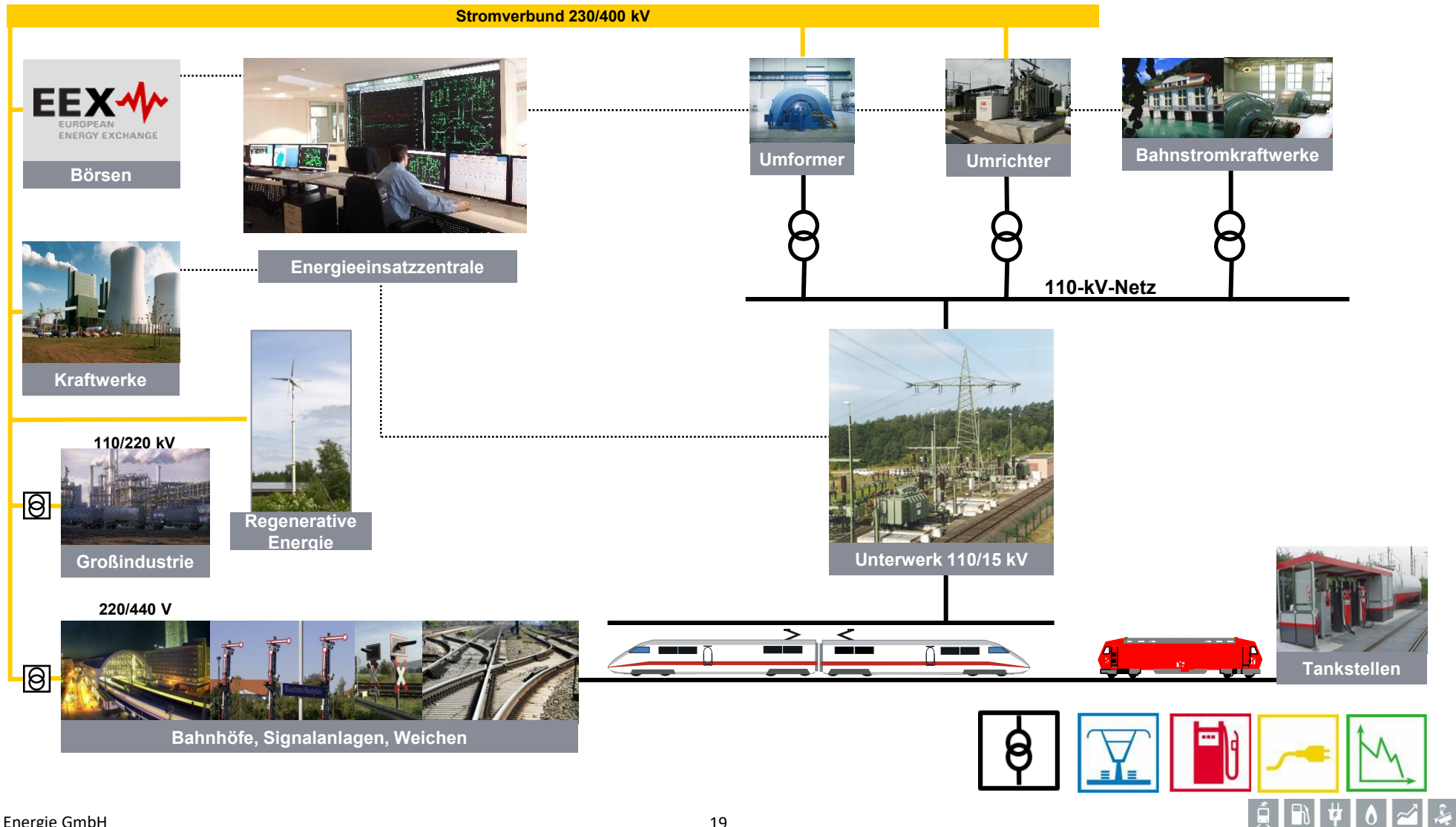
Die Bahnstromsysteme in Europa

2. Die Gegenwart



Energieversorgung der Deutschen Bahn AG

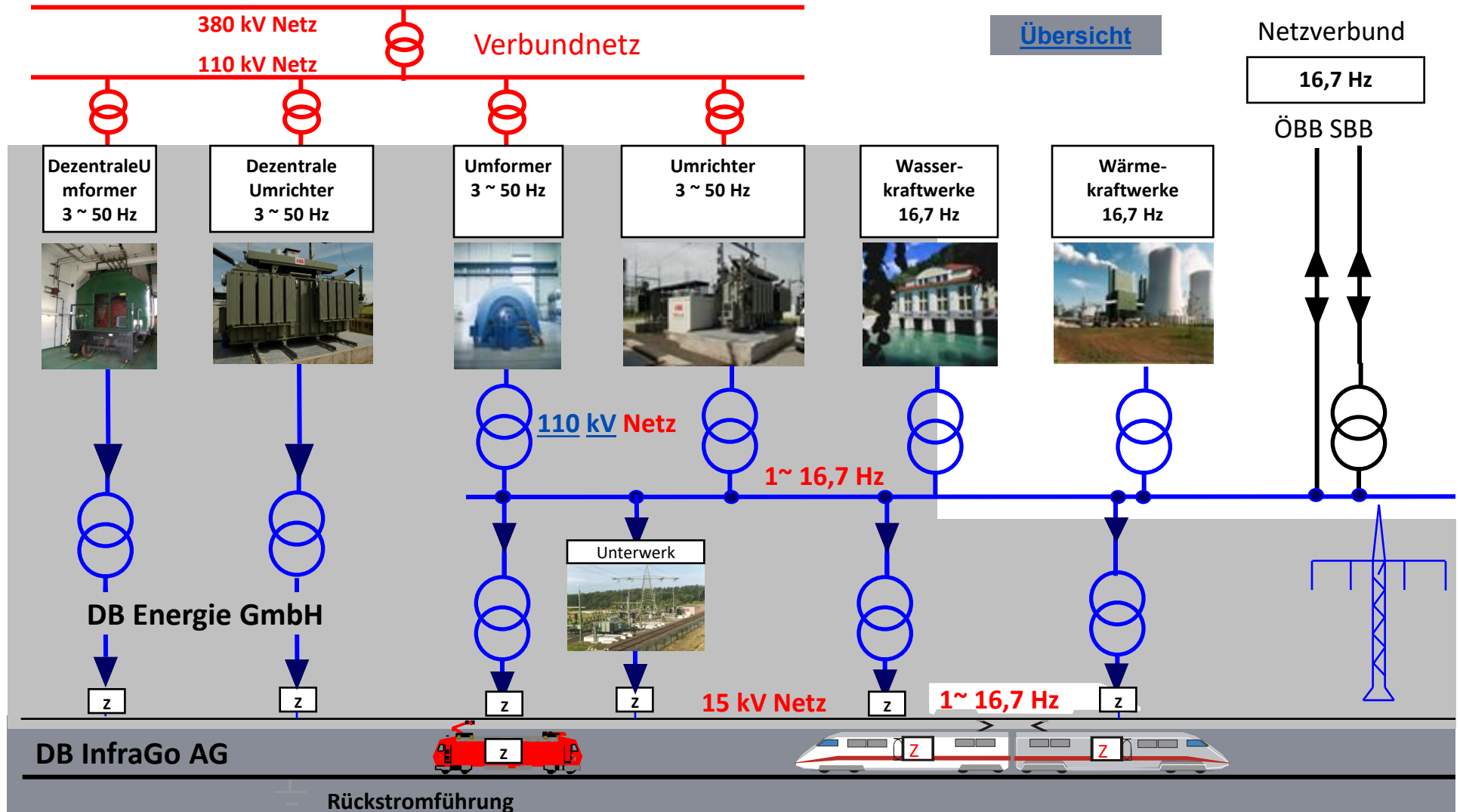
2. Die Gegenwart





16,7-Hz-Bahnstrom – Prozess der Traktionsstromversorgung

2. Die Gegenwart





Umformer im dezentralen Netz

2. Die Gegenwart



Fahrbare Sy-Sy-Umformer dezentraler Umformerwerke

[weiter](#)

[Übersicht](#)



Umformer im dezentralen Netz

2. Die Gegenwart



Dezentrales Umformerwerk

[weiter](#)

[Übersicht](#)



Umformer im dezentralen Netz

2. Die Gegenwart

Umformung der Frequenz von 50 Hz in 16 2/3 Hz in einem Sy-Sy-Umformer:

Anzahl der Polpaare p

Motor: 6 (p_1)

Generator: 2 (p_2)

Ermittlung der Drehzahl des Motors n_1

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p_1} \quad f_1 = 50 \text{ Hz (Netzfrequenz)}$$

$$n_1 = \frac{60 \cdot 50}{6} = \underline{\underline{500}}$$

Ermittlung der Frequenz des Generators

$$n_1 = n_2$$

$$\frac{60 \cdot f_1}{p_1} = \frac{60 \cdot f_2}{p_2} \Rightarrow f_2 = \frac{f_1 \cdot p_2}{p_1} \quad f_2 = \frac{50 \cdot 2}{6} = \underline{\underline{16 \frac{2}{3}}}$$

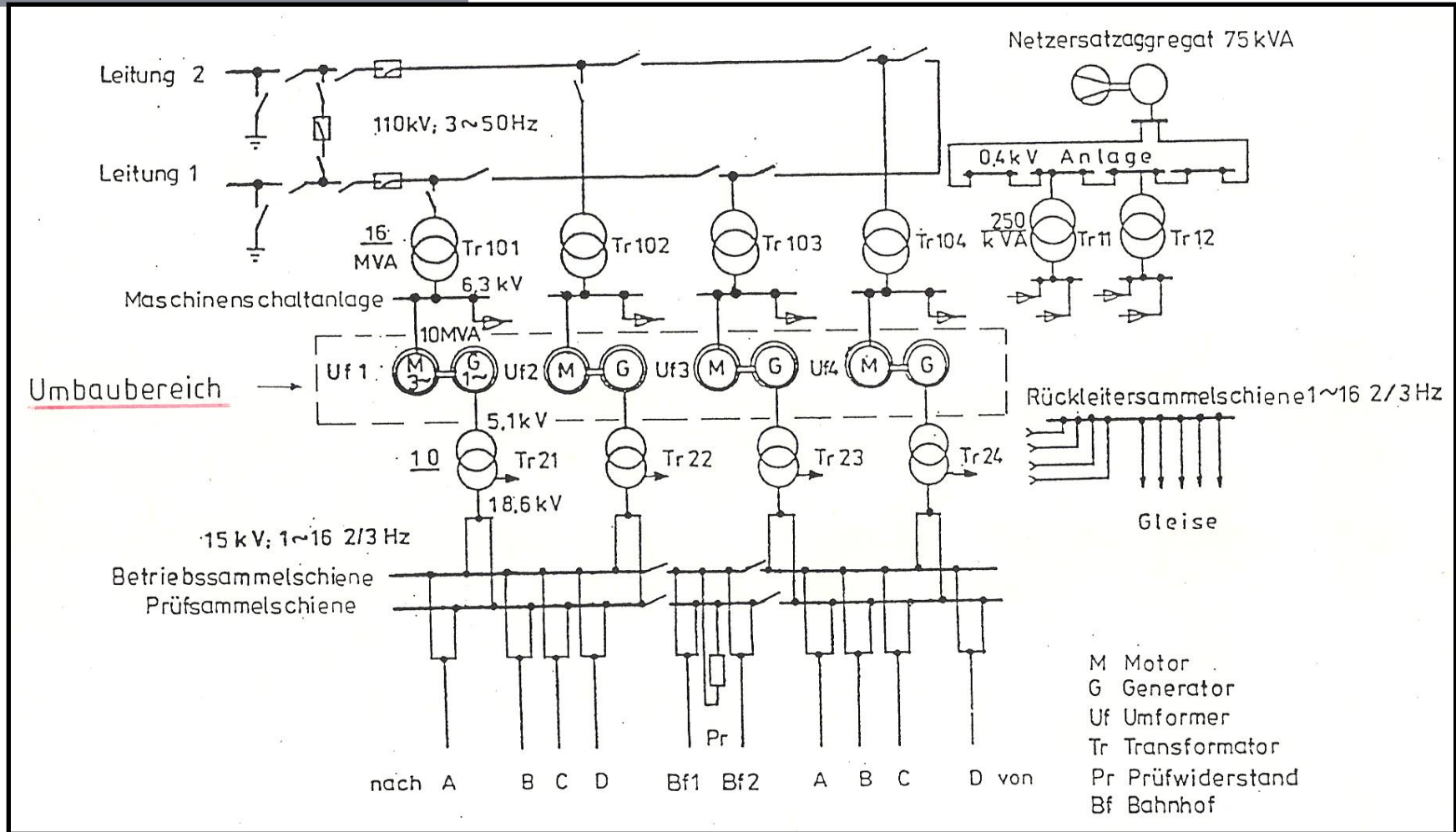
[weiter](#)

[Übersicht](#)



Umformer im dezentralen Netz

2. Die Gegenwart



Grundschaltplan Umformerwerk der 2. Generation

[Übersicht](#)



Wasserkraftwerk im zentralen Netz

2. Die Gegenwart



Turbine und Generator



Turbinenhaus

Übersicht



Wärmeleistung im zentralen Netz

2. Die Gegenwart



Wärmeleistung in Schkopau



[Übersicht](#)



Umformerwerk im zentralen Netz

2. Die Gegenwart



As-Sy-Umformer in zentralen Ufw



[weiter](#)

[Übersicht](#)



Umformerwerk im zentralen Netz

2. Die Gegenwart



Umformerwerk 110kV Schaltanlage



Umformerwerk Karlsruhe





Unterwerk 110 kV/ 15 kV

2. Die Gegenwart



Unterwerk der DB Energie

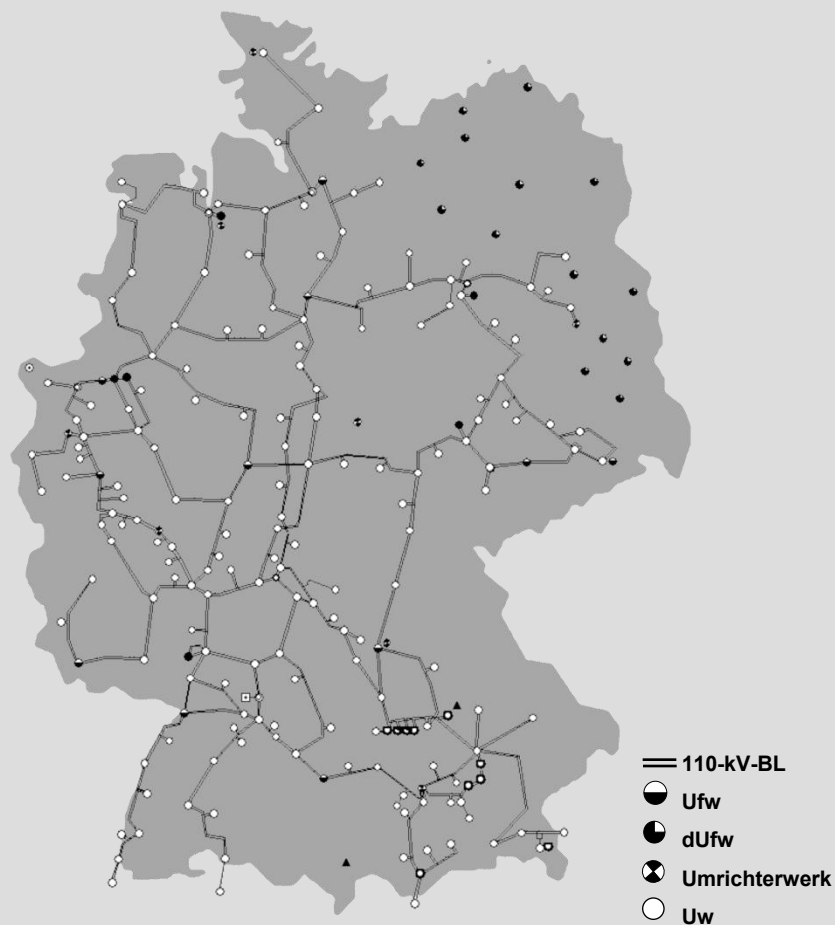
[Übersicht](#)



Infrastruktur für 16,7 Hz Bahnstrom

2. Die Gegenwart

16,7-Hz-Bahnstromnetz



16,7-Hz-Bahnstrom

Stand 12/2024

| | |
|-----------------------------|----------|
| ■ Länge Bahnstromnetz | 7.956 km |
| ■ Kraftwerke | 13 |
| ■ zentrale Umformerwerke | 8 |
| ■ dezentrale Umformerwerke | 3 |
| ■ zentrale Umrichterwerke | 15 |
| ■ dezentrale Umrichterwerke | 14 |
| ■ Unterwerke | 190 |
| ■ Ladeunterwerke | 3 |
| ■ AT-Stationen | 16 |
| ■ Installierte Leistung | 3.249 MW |

Energieabgabe

9,79 TWh/Jahr

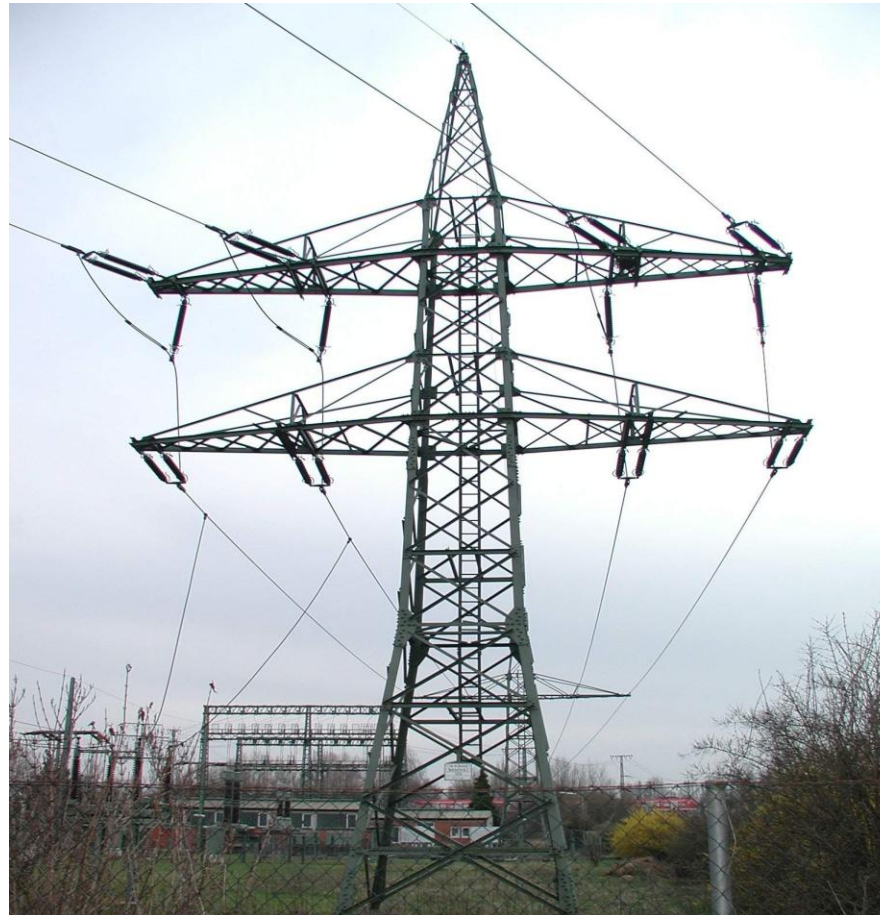
[weiter](#)

[Übersicht](#)



Bahnstromleitungsnetz 110 kV / 16,7 Hz

3. Die Gegenwart



110-kV-Bahnstromleitungsendmast vor einem Unterwerk

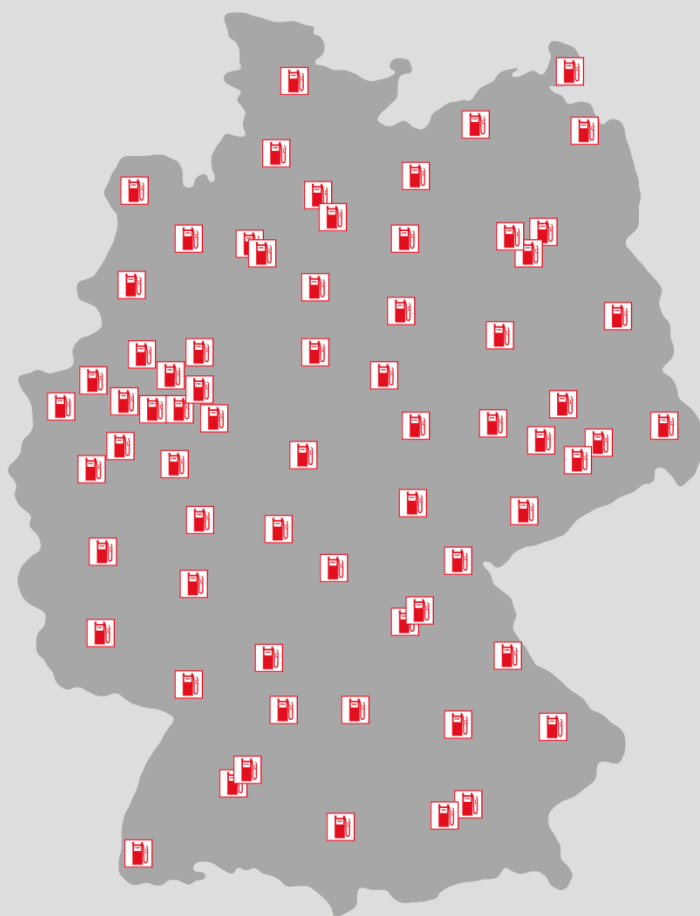
Übersicht



Energieversorgung mit Kraftstoffen - Tankstellennetz

2. Die Gegenwart

Versorgung mit Antriebs- und Betriebsstoffen im gesamten Bundesgebiet



Tankdienste

Stand 12/2024

| | |
|------------------------|-------------------|
| ■ Tankstellen | 173 |
| ■ AdBlue-Abgabestellen | 40 |
| ■ Diesellabgabe | 324,06 Mio. Liter |
| ■ HVO | 22,32 Mio. Liter |

Versorgung der Triebfahrzeuge mit weiteren Betriebsstoffen:

| | |
|-----------|----------------------|
| ■ Heizöl | 2,99 Mio. Liter/Jahr |
| ■ Motoröl | 0,03 Mio. Liter/Jahr |
| ■ AdBlue | 1,87 Mio. Liter/Jahr |
| ■ Sand | |

[weiter](#)

[Übersicht](#)



Energieversorgung mit Kraftstoffen Tankstellennetz

2. Die Gegenwart



DB Energie Tankstelle



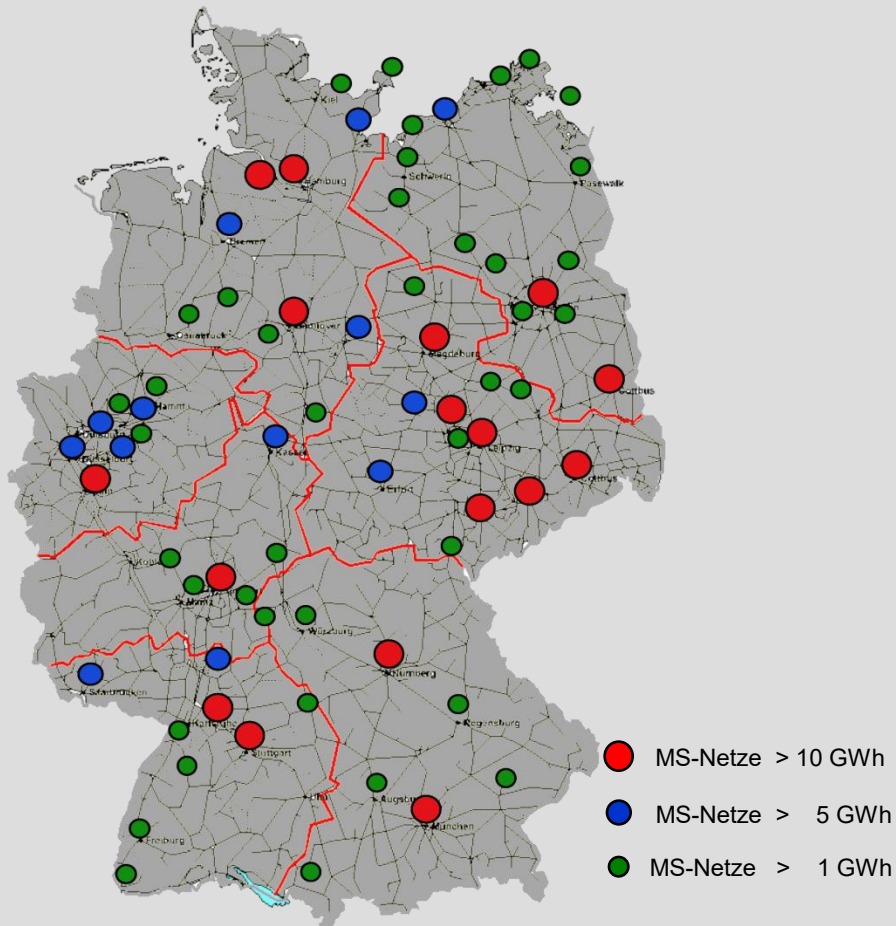
Lokbetankung



Energieversorgung 50 Hz Stromversorgung

2. Die Gegenwart

50-Hz-Bereitstellung



50-Hz-Licht-/Kraftstrom

Stand 12/2024

| | | |
|------------------------|---------------|---|
| ■ Mittelspannungsnetze | 162 | |
| ■ Trafostationen | 1847 | |
| Mittelspannungstrassen | ca. 827 km | – |
| Niederspannungstrassen | ca. 5.000 km | |
| ■ Zugvorheizanlagen | 128 | |
| ■ Energieabgabe | 1,21 TWh/Jahr | |

Gleich-Strom-Versorgung S-Bahn

| | |
|--------------------------|---------|
| ■ Gleichstrom-Unterwerke | 118 |
| ■ Installierte Leistung | 799 MW |
| ■ S-Bahn Kabelnetz | 1011 km |

[weiter](#)

[Übersicht](#)



Energieversorgung 50 Hz Stromversorgung

2. Die Gegenwart



[weiter](#)

[Übersicht](#)



Energieversorgung 50 Hz Stromversorgung

2. Die Gegenwart



Übersicht

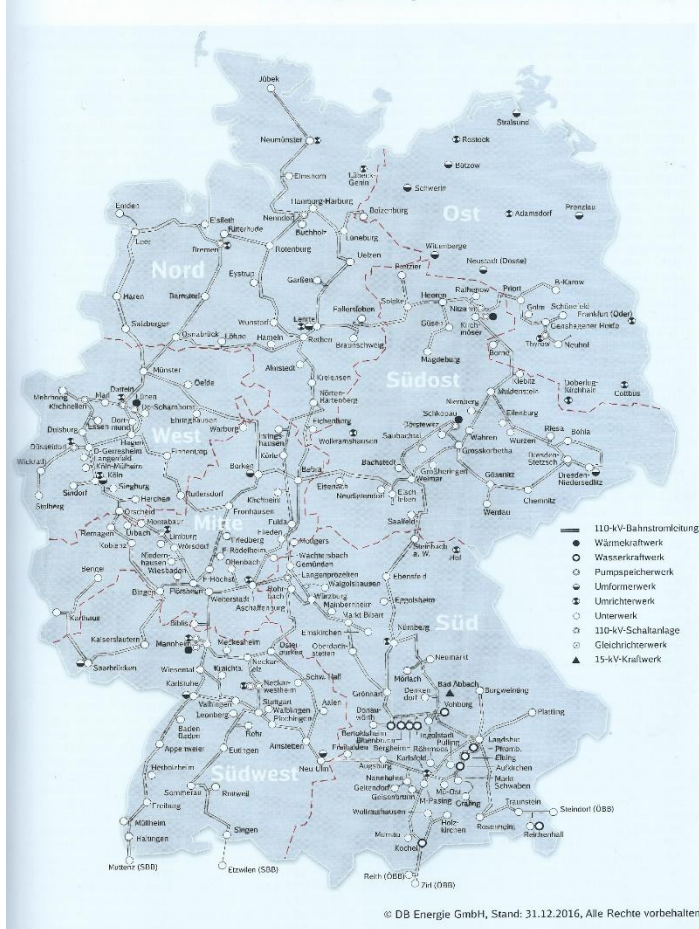


Netzbetriebsführung der Bahnenergieversorgung

2. Die Gegenwart

Zahlen und Fakten zum Bahnbetrieb

1.3.1 Übersichtsplan der Bahnstromleitungen



| | | |
|--|--|---------------|
| ■ 110-kV-Bahnstromleitungsnetz | 7.956 km | Stand 12/2024 |
| ■ Kraft-, Umformer-, Umrichterwerke | 52 | |
| ■ 110-kV-Unterwerke | 190 | |
| ■ 15-kV-Kuppelstellen und -Schaltposten | 233 | |
| ■ Installierte Leistung dezentral | 535 MW | |
| ■ Installierte Leistung zentral | 2.724 MW | |
| ■ Netzverbund mit ÖBB/SBB | 4 (Verbindungen) | |
| ■ Netzbetriebsführung und Kraftwerkseinsatz 110 kV | 1 Hauptschaltleitung 1 Schaltbefehlsstellen | |
| ■ Netzbetriebsführung 15 kV | 7 Zentralschaltstellen | |
| ■ Höchstes Stundenmittel | 1.691 MW | |
| ■ Regelleistung | 400-600 MW | |
| ■ Energieabgabe 16,7 Hz | 9,79 TWh/Jahr | |

[weiter](#)

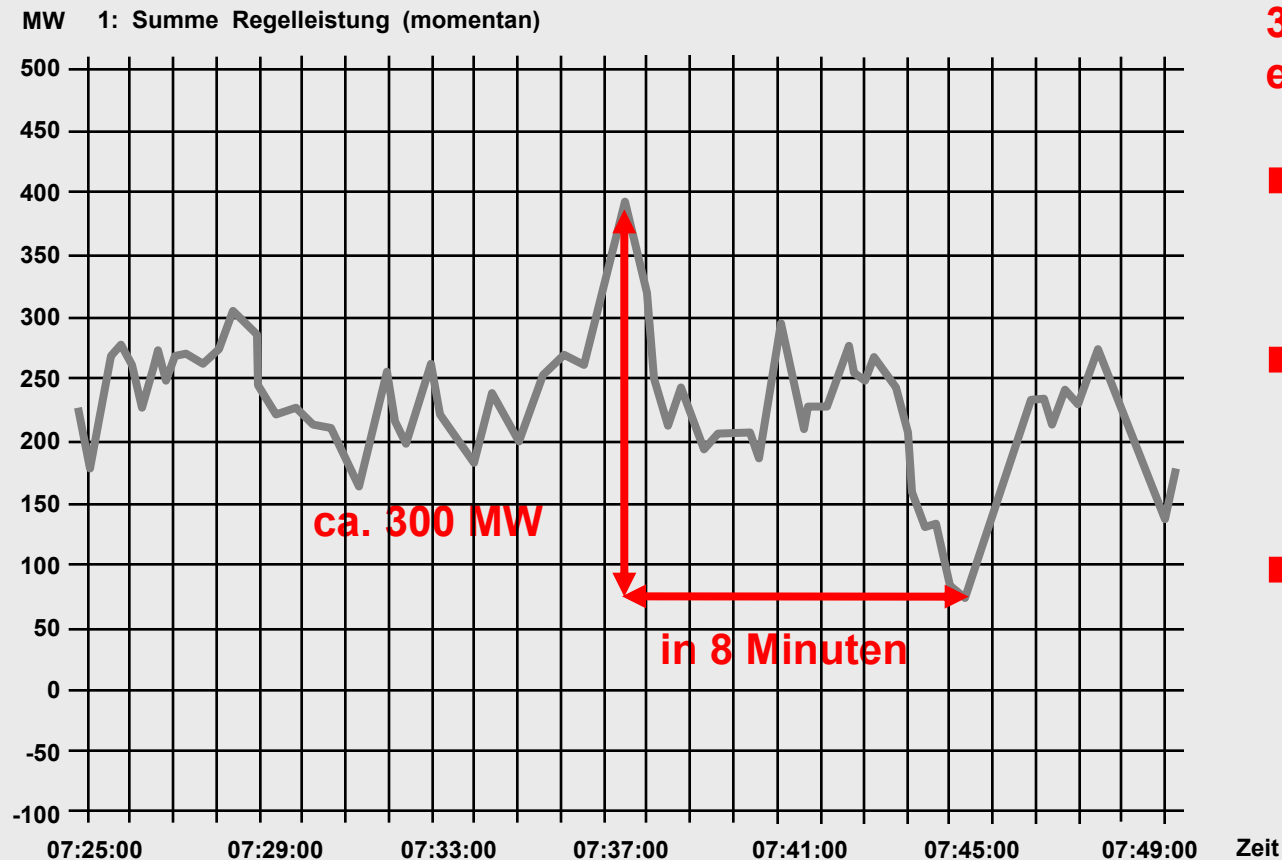
[Übersicht](#)



Netzbetriebsführung der Bahnenergieversorgung

2. Die Gegenwart

Kaum planbare Verbrauchsschwankungen – erhöhte Anforderungen an Energieportfoliomanagement



300 MW Lastschub entsprechen:

- einer Stadt wie Köln mit ca. 1.000.000 Mio. Einwohnern
- in der 2 Mio. Fernsehgeräte zur gleichen Zeit eingeschaltet werden
- oder gleichzeitiges Anfahren von 4.000 Pkw mit je 100 PS

Streik

weiter

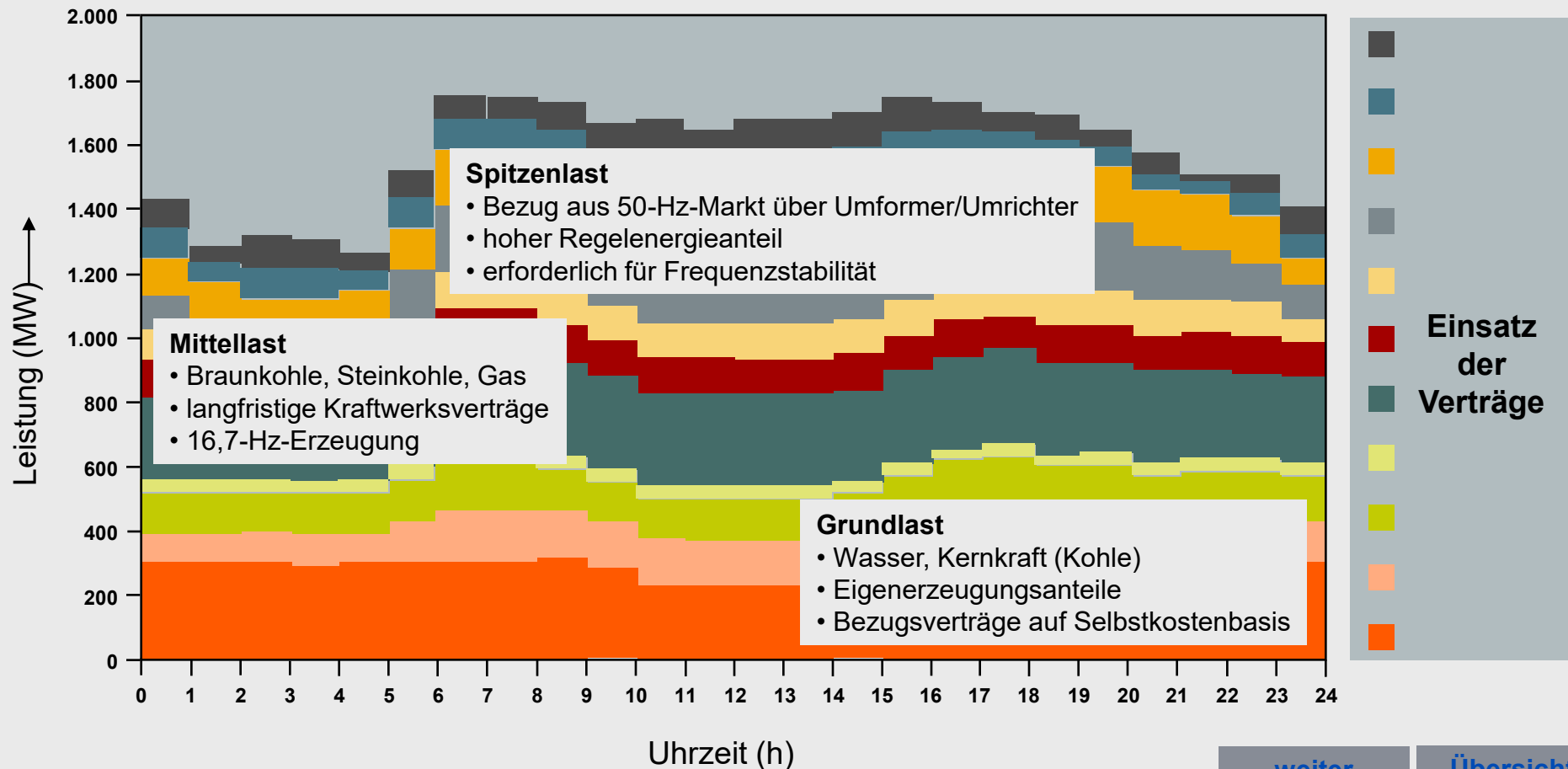
Übersicht



Netzbetriebsführung der Bahnenergieversorgung

3. Die Gegenwart

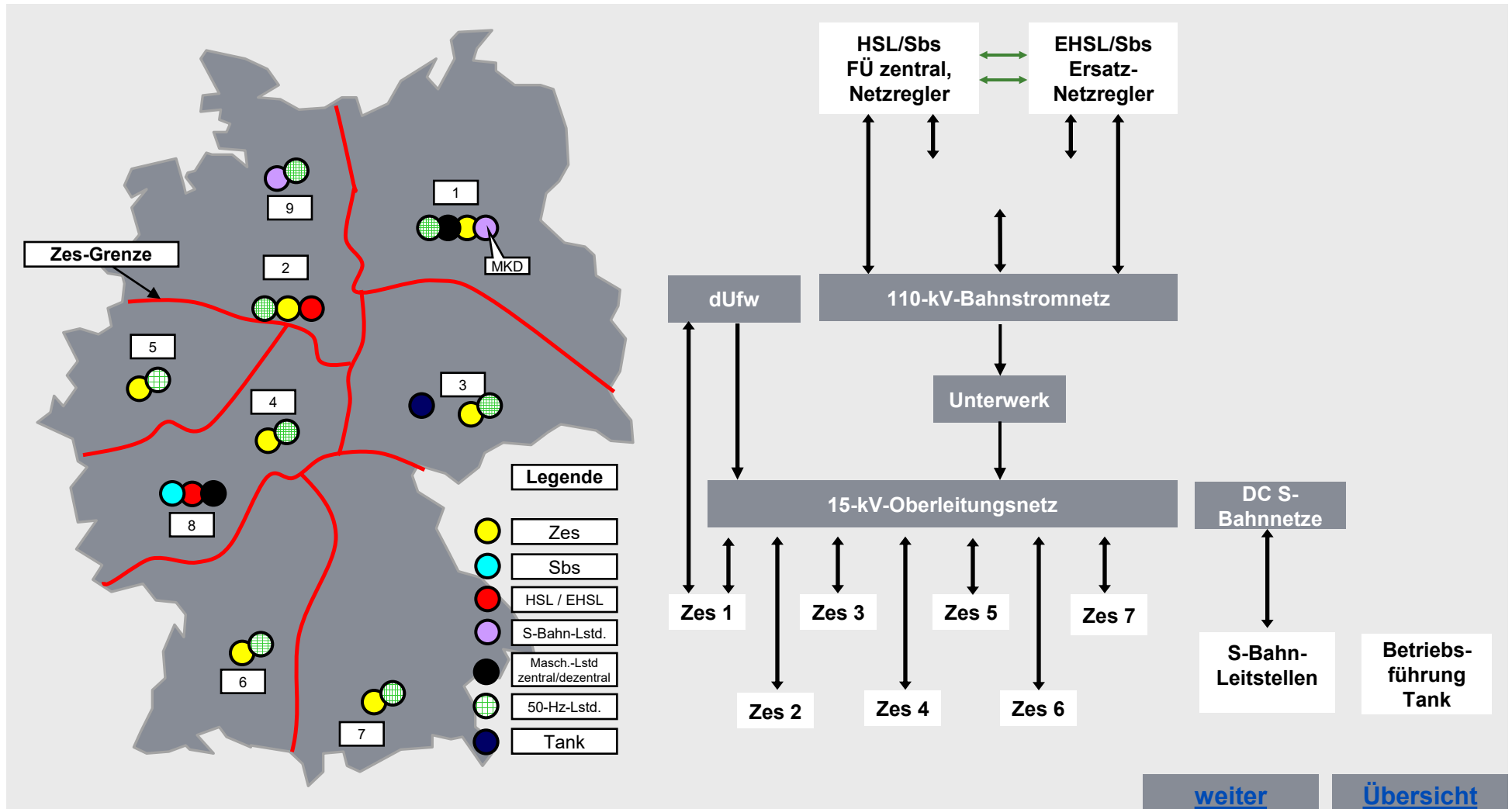
Portfoliooptimierung: Einkauf und Einsatz zum richtigen Zeitpunkt





Netzbetriebsführung der Bahnenergieversorgung

2. Die Gegenwart





Netzbetriebsführung der Bahnenergieversorgung

2. Die Gegenwart



Die Hauptschaltleitung

[weiter](#)

[Übersicht](#)



Netzbetriebsführung der Bahnenergieversorgung

2. Die Gegenwart



Moderne Zes

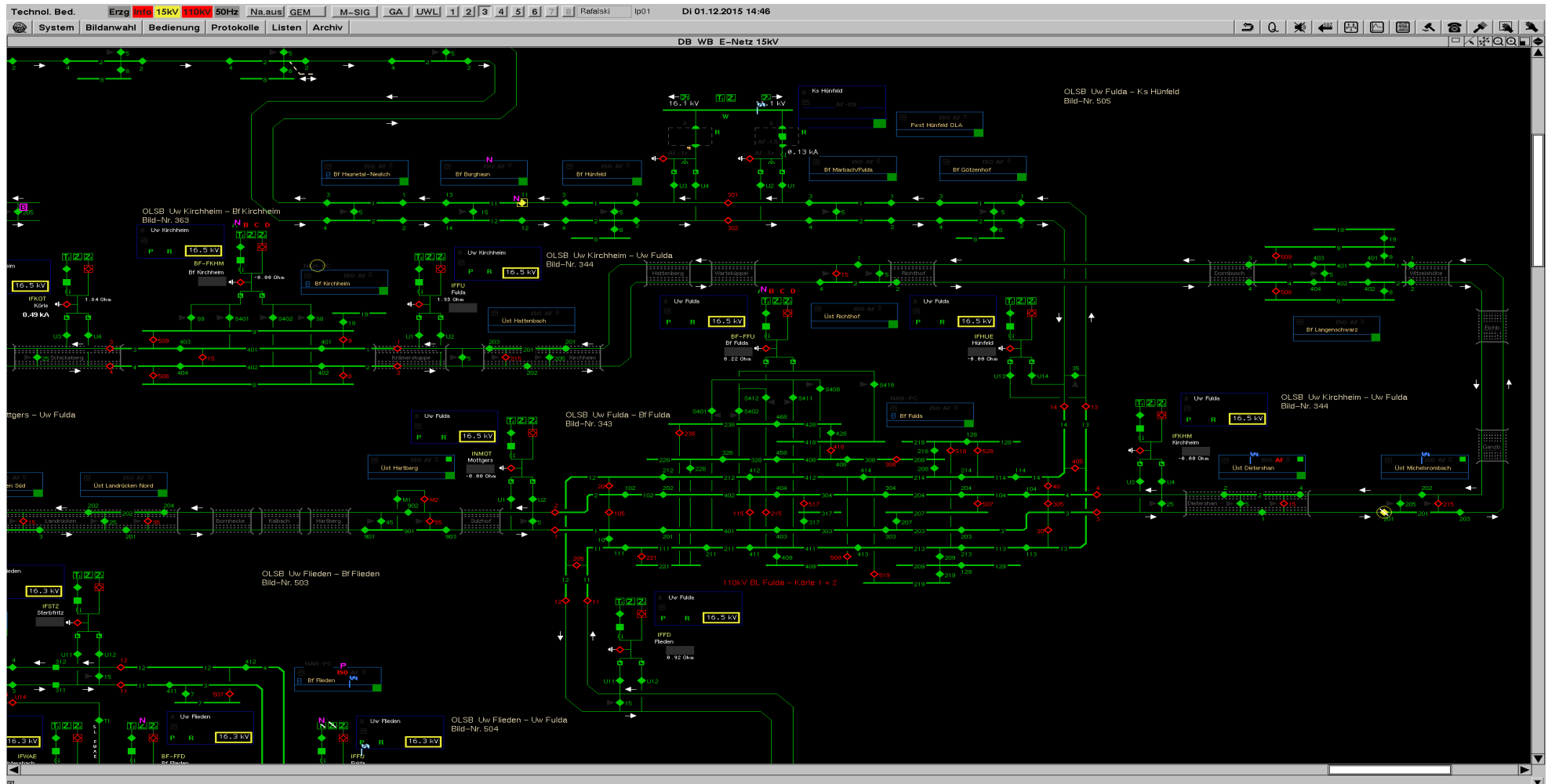
[weiter](#)

[Übersicht](#)



Netzbetriebsführung der Bahnenergieversorgung

2. Die Gegenwart



Übersichtsschaltbild in einer modernen Zes

weiter

[Übersicht](#)





Netzbetriebsführung der Bahnenergieversorgung

2. Die Gegenwart



Betriebsführung Tank

[Übersicht](#)

Grundlagen: Spannungssysteme für Bahnen nach EN 50163

2. Gegenwart- Oberleitungen

| System | U_n [V] | U_{min1} [V] | U_{max1} [V] |
|---------------------|--------------|-------------------|-------------------|
| DC 600 V | 600 | 400 | 720 |
| DC 750 V | 750 | 500 | 900 |
| DC 1,5 kV | 1.500 | 1.000 | 1.800 |
| DC 3,0 kV | 3.000 | 2.000 | 3.600 |
| AC 15 kV 16,7 Hz | 15.000 | 12.000 | 17.250 |
| AC 25 kV 50 (60) Hz | 25.000 | 19.000 | 27.500 |

U_n – Nennspannung, U_{min1} – niedrigste Dauerspannung, U_{max1} – höchste Dauerspannung

weiter

Übersicht

Folie: Dipl.-Ing. Nyascha Thomas Wittemann
TU Dresden

Grundlagen: Zugströme in Abhängigkeit vom Bahnstromsystem

2. Gegenwart- Oberleitungen

| Fahrzeug | Mech. Leistung kW | eta | El. Leistung kW | HiB kW | cos phi | Scheinleistung kVA | Spannung V | Traktionsstrom A |
|---------------------|----------------------|------|--------------------|-----------|---------|-----------------------|---------------|---------------------|
| Lokomotive Standard | 6.400 | 0,88 | 7.273 | 300 | - | 7.573 | 1.500 | 5.048 |
| Lokomotive Standard | 6.400 | 0,88 | 7.273 | 300 | - | 7.573 | 3.000 | 2.524 |
| Lokomotive Standard | 6.400 | 0,83 | 7.711 | 300 | 1,00 | 8.011 | 15.000 | 534 |
| Lokomotive Standard | 6.400 | 0,83 | 7.711 | 300 | 1,00 | 8.011 | 25.000 | 320 |
| ICE 3 (8 Wagen) | 8.000 | 0,88 | 9.091 | 250 | - | 9.341 | 1.500 | 6.227 |
| ICE 3 (8 Wagen) | 8.000 | 0,88 | 9.091 | 250 | - | 9.341 | 3.000 | 3.114 |
| ICE 3 (8 Wagen) | 8.000 | 0,83 | 9.639 | 250 | 1,00 | 9.889 | 15.000 | 659 |
| ICE 3 (8 Wagen) | 8.000 | 0,83 | 9.639 | 250 | 1,00 | 9.889 | 25.000 | 396 |
| 2x ICE 3 (16 Wagen) | 16.000 | 0,88 | 18.182 | 500 | - | 18.682 | 1.500 | 12.455 |
| 2x ICE 3 (16 Wagen) | 16.000 | 0,88 | 18.182 | 500 | - | 18.682 | 3.000 | 6.227 |
| 2x ICE 3 (16 Wagen) | 16.000 | 0,83 | 19.277 | 500 | 1,00 | 19.777 | 15.000 | 1.318 |
| 2x ICE 3 (16 Wagen) | 16.000 | 0,83 | 19.277 | 500 | 1,00 | 19.777 | 25.000 | 791 |

ab Stromwerten > 1000 A pro Stromabnehmer extremer „elektrischer“ Verschleiß
durch Aufschmelzen und Verdampfen der Kontaktbrücken Kupfer – Kohle
(exakt: ab Stromdichten > 500 A / cm² Kontaktfläche)

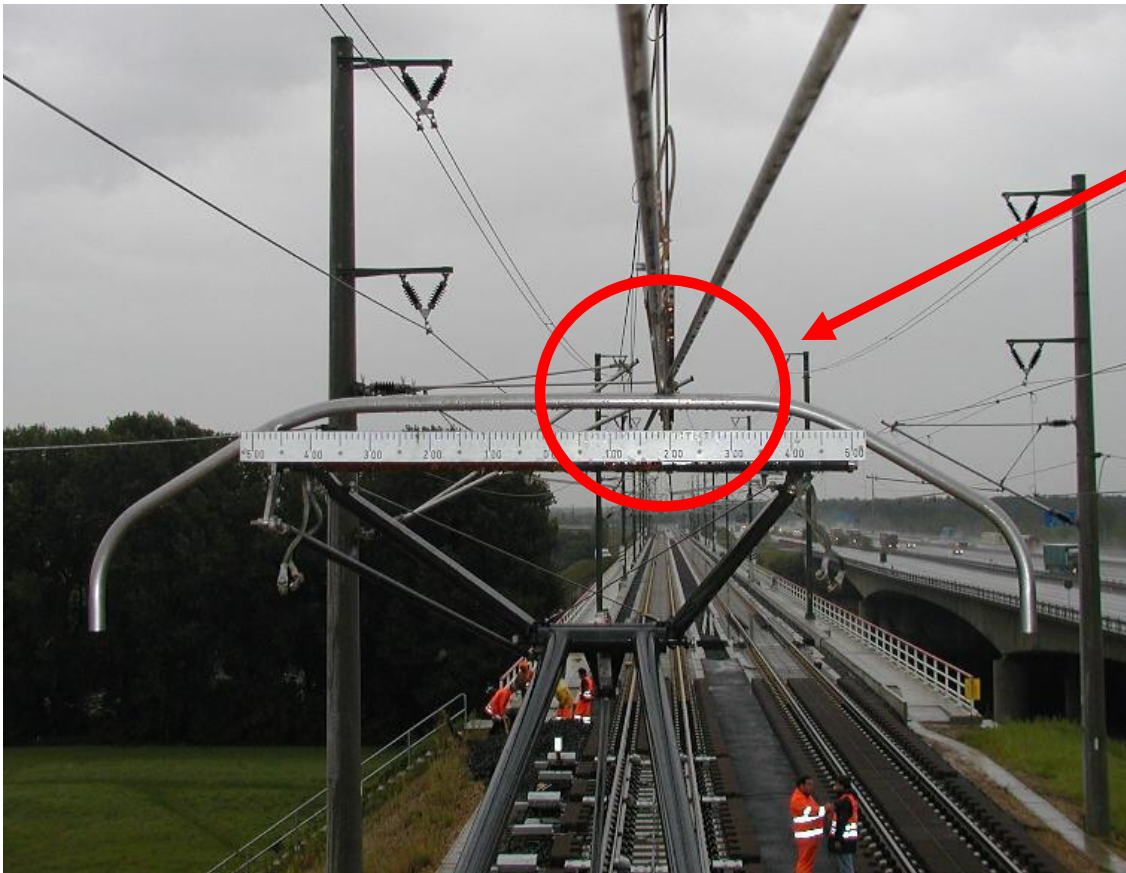
weiter

Übersicht

Folie: Dipl.-Ing. Nyascha Thomas Wittemann
TU Dresden

Grundlagen: Leistungsbereitstellung und -übertragung

2. Gegenwart- Oberleitungen



12 MW

- auf 2 cm²
- bis 350 km/h
- Höhentoleranz 1,5 m
- Seitenlage ± 40 cm
- schwingfähiges System
- auch bei Regen, Wind und Schnee höchste Verfügbarkeitsanforderungen

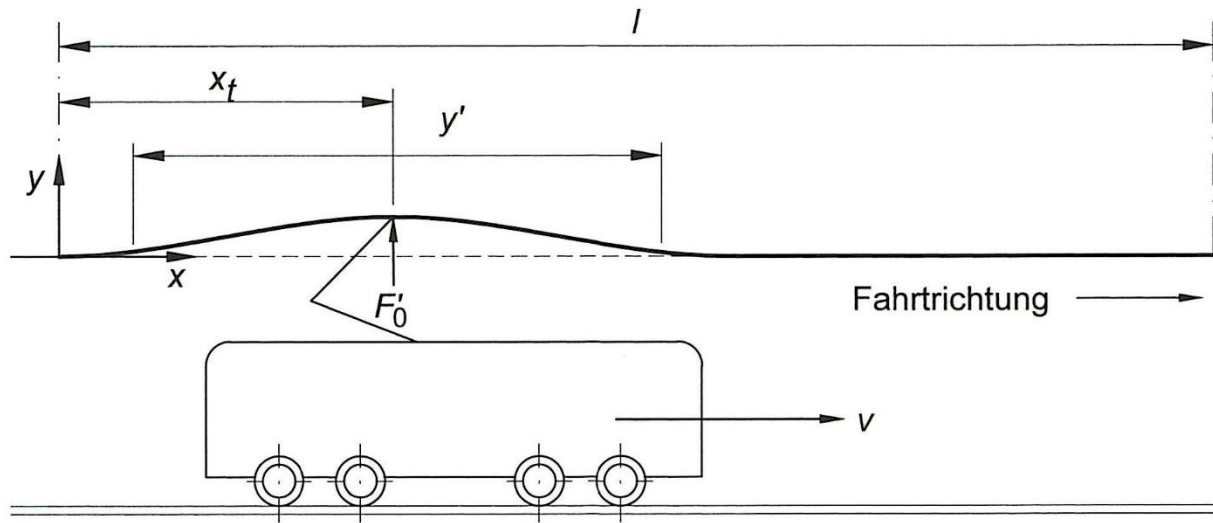
weiter

Übersicht

Folie: Dipl.-Ing. Nyascha Thomas Wittemann
TU Dresden

Zusammenwirken Pantograph - Oberleitung

2. Gegenwart- Oberleitungen



Grundproblem:

Anpresskraft → Anhub des Fahrdrahtes → Wellenausbreitung → Reflexion an Massepunkten →
Rücklauf der reflektierten Wellen → Überlagerung und Schwingung

→ Schwingung des gesamten Kettenwerkes → Rückwirkung auf Stromübertragung

weiter

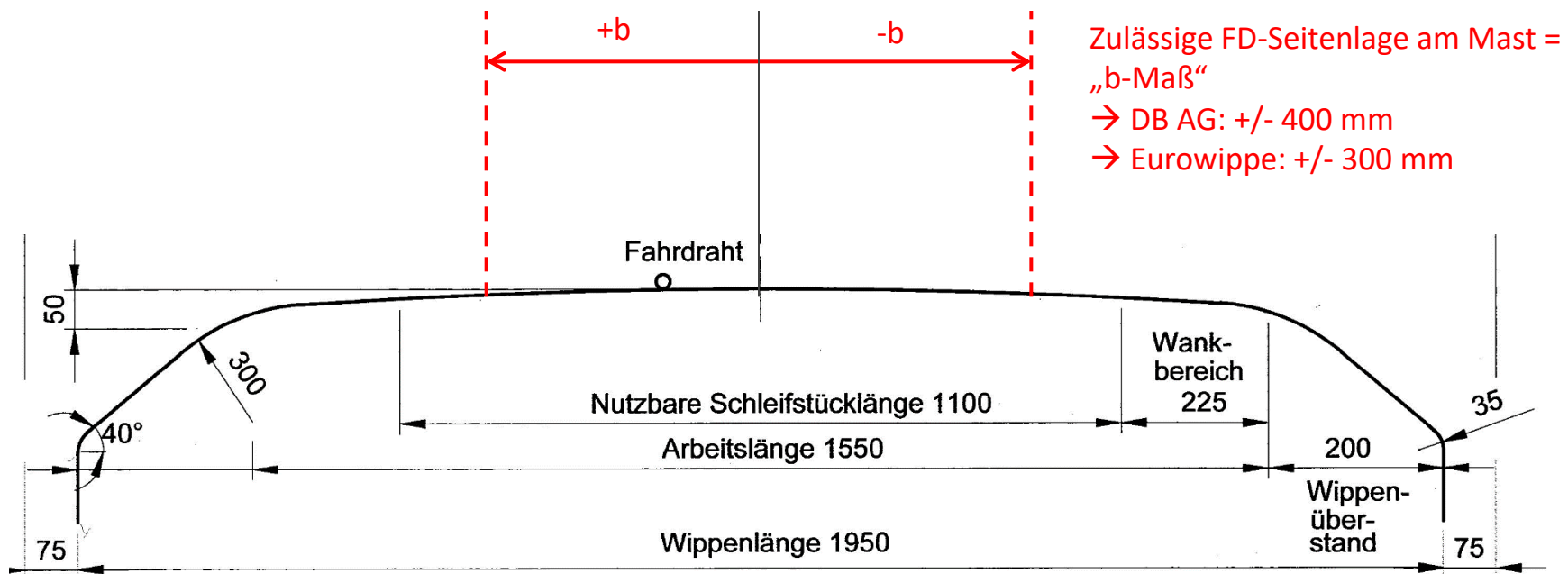
Übersicht

Folie: Dipl.-Ing. Nyascha Thomas Wittemann
TU Dresden

Oberleitungen: Fahrdrahtseitenlage „Zick-Zack“

2. Gegenwart- Oberleitungen

- Gleitkontakt Fahrdraht–Schleifleiste unterliegt Abrieb
→ „Zick-Zack“-Führung des Fahrdrahtes für lange Lebensdauer
- Fahrdraht verläuft zwischen zwei Masten immer gerade
→ Abweichung von Gleismitte bei Kurvenfahrt erfordert Toleranzbereich



weiter

Übersicht

Folie: Dipl.-Ing. Nyascha Thomas Wittemann
TU Dresden

Oberleitungsbauarten in Deutschland

2. Gegenwart- Oberleitungen

Verwendung von Regelbauarten Re (gemäß EBS-Zeichnungswerk)

- abhängig von der Streckenhöchstgeschwindigkeit (Mechanik)
- abhängig von der Streckenbelastung (Strombelastung)

Regelbauarten:

- Re100 für Nebengleise, $v_{\max} = 100 \text{ km/h}$
- **Re200 Standardoberleitung, $v_{\max} = 200 \text{ km/h}$**
- Re200_{mod} für Ausbaustrecken, $v_{\max} = 230 \text{ km/h}$
- **Re250 für HGV-Strecken, $v_{\max} = 280 \text{ km/h}$ (kein Neubau mehr)**
- **Re330 für HGV-Strecken, $v_{\max} = 330 \text{ km/h}$**



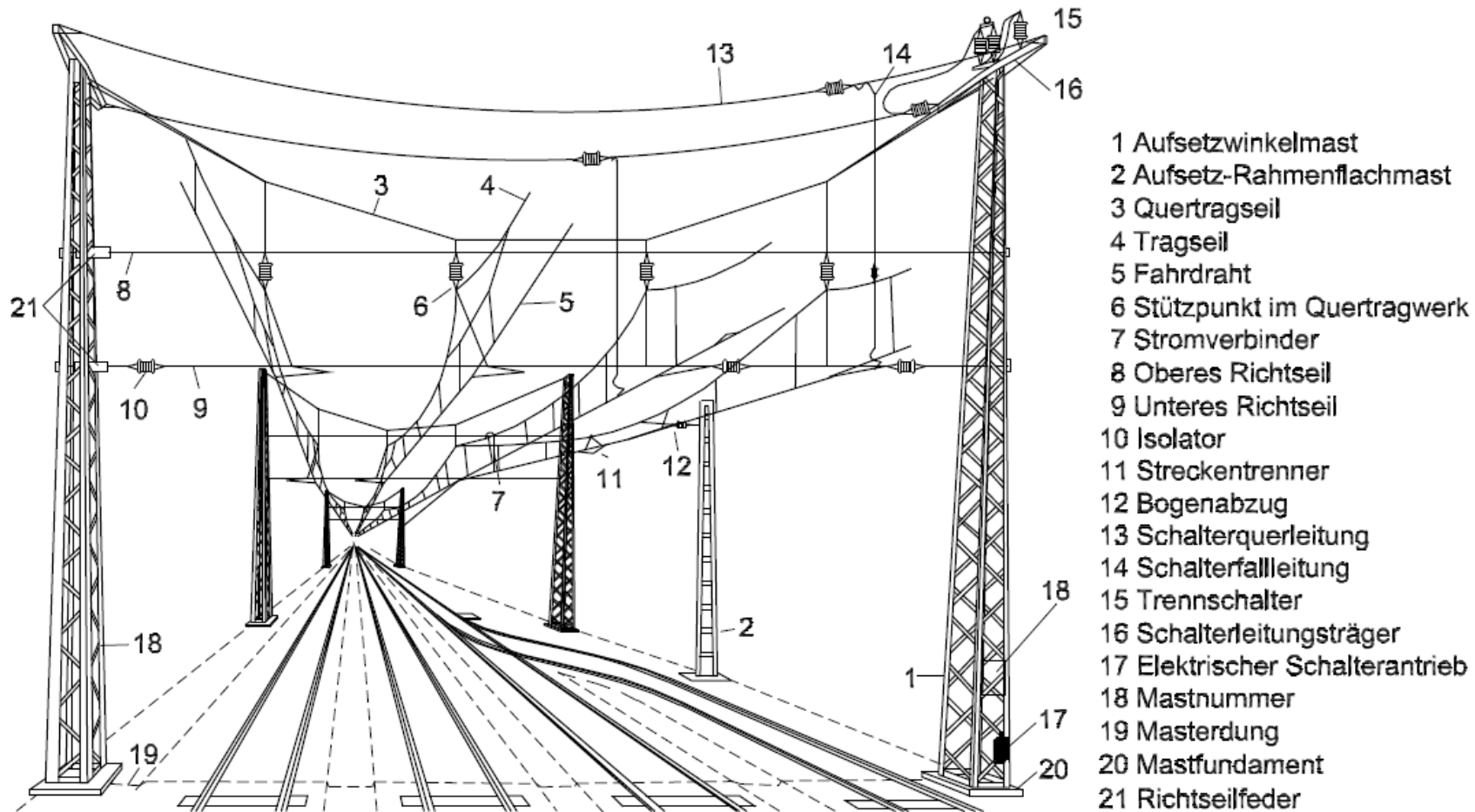
weiter

Übersicht

Folie: Dipl.-Ing. Nyascha Thomas Wittemann
TU Dresden

Oberleitungen an flexiblen Quertragwerken

2. Gegenwart- Oberleitungen



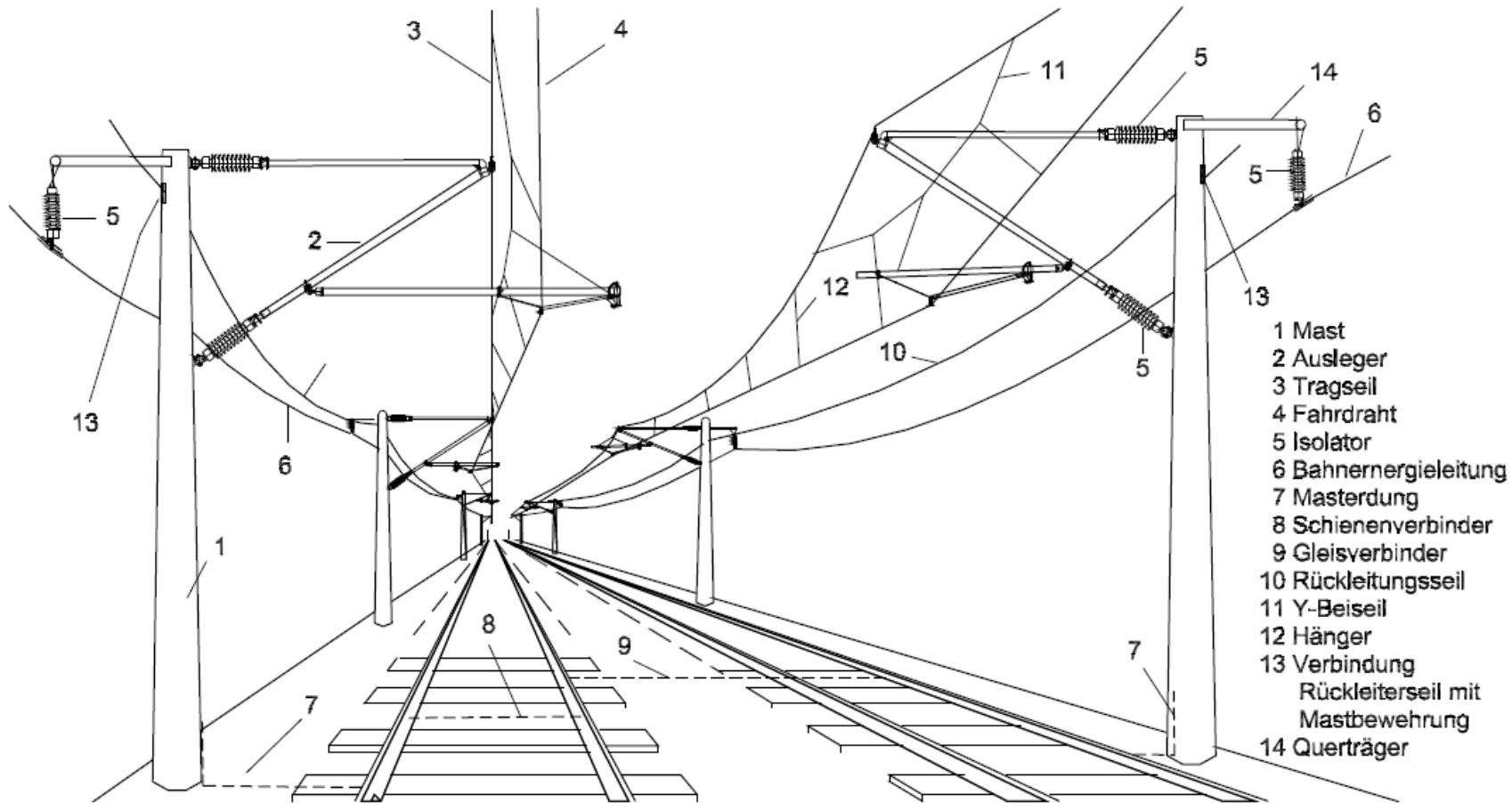
weiter

Übersicht

Abb.: „Energieversorgung elektrischer Bahnen“ Hofmann, Biesenack u.a.

Oberleitungen an Einzelmasten aus Beton

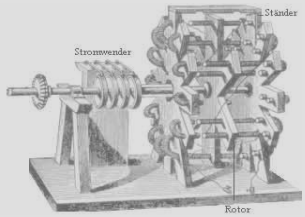
2. Gegenwart- Oberleitungen



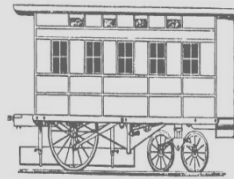
Übersicht

Abb.: „Energieversorgung elektrischer Bahnen“ Hofmann, Biesenack u.a.

Ingenieure als Impulsgeber bei der Entwicklung der Eisenbahn



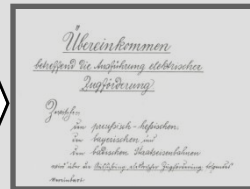
1832



1851



1879



1912



1995

Der Zusammenschluss der beiden deutschen Bahnen erforderte an vielen Stellen Lückenschlüsse auch der sich z.T. unterschiedlich entwickelten Bahnenergieversorgungssysteme. Dazu kam ein steigender Bedarf an Bahnstrom.



Umrichter bei der Bahn

2. Die Gegenwart

Die Idee:

Schaffung einer universellen Möglichkeit der Frequenzumformung ohne rotierende Maschinen

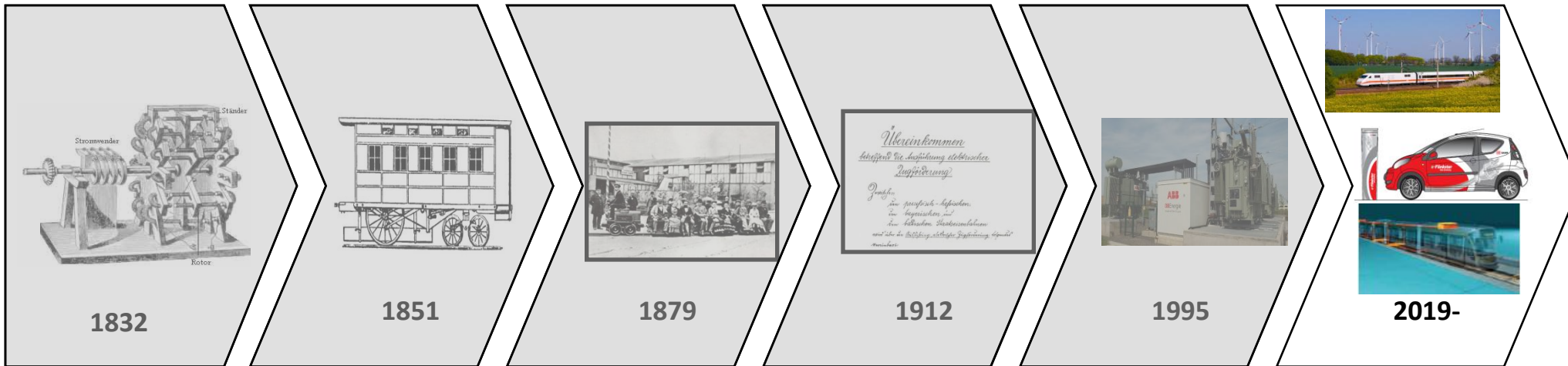
- ➔ wartungsarm aufgrund fehlender rotierender Teile
- ➔ hohe Betriebssicherheit
- ➔ höherer Wirkungsgrad



Übersicht

Ingenieure als Impulsgeber bei der Entwicklung der Eisenbahn

3. Herausforderungen für die Zukunft



Was sind die Herausforderungen der Zukunft:

- Der bewußte Umgang mit Natur, Ressourcen und Klima sind Forderungen, die Bevölkerung und Politik an die Bahn stellen
- Höhere Anforderungen an die Wirtschaftlichkeit des elektrischen Bahnbetriebes
- Steigende Energiepreise; zukünftig sinkende Verfügbarkeit von Elektroenergie; vermehrt Windenergie
- Sich verändernde Ansprüche der Kunden an (individuelle) Mobilität

Nachhaltige Weiterentwicklung der Technik durch Technologiefeldstrategien

3. Herausforderungen für die Zukunft



- **Erhöhung der Verfügbarkeit durch Maschenschließung**
- **Erhöhung der Übertragungskapazität durch Anhebung der Leiterseiltemperaturen**
- **Standardisierung der Komponenten und Orientierung an der öffentlichen Energieversorgung**
- **Einsatz von Umrichtertechnik**
- **Flexibilisierung durch Umrichteranlagen mit bedarfsgerechter Platzierung im 50-Hz-Netz**
- **Einführung international anerkannter IT-Sicherheitsstandards in der Stations- und Netzleittechnik**
- **Standardisierung und Modularisierung in der Schaltanlagentechnik**
- **Vertiefung der Zusammenarbeit mit anderen europäischen Bahnen**
- **Bundesweite Prüfung eines Diesel-Ersatzes durch Wasserstoff**



Oberleitungen: Gibt es heute Alternativen?

3. Herausforderungen für die Zukunft

Kennwerte einer klassischen Oberleitung:

- Kontinuierliche Energieversorgung mit beliebiger Leistung zwischen 0 und P_{\max} jederzeit, überall und bis zu 400 km/h
- Verfügbarkeit: > 99 %
- Lebensdauer: > 50 Jahre
- Wirkungsgrad: > 97 %
- Jederzeit Leistungsaustausch zwischen allen Fahrzeugen des Netzes
- seit über 100 Jahren im Einsatz und ständig optimiert

→ Das müssen alternative Lösungen erreichen oder überbieten können.



weiter

Übersicht

Folie: Dipl.-Ing. Nyascha Thomas Wittemann
TU Dresden

Nachhaltiger Schienenverkehr durch politisches Handeln

3. Herausforderungen für die Zukunft



- **Emissionshandel anpassen:** Alle Verkehrsträger müssen auf Grundlage des Verursacherprinzips einen Beitrag zum Klimaschutz leisten - **Erlöse** aus dem **Emissionshandel** zur **Stärkung** der klimafreundlichen **Schiene** verwenden
- **Mehrfachbelastungen** aus den verschiedenen Klimaschutz-Instrumenten (Ökosteuer, Emissionshandel) **bei der Schiene abbauen: Energiesteuern absenken**
- Schiene von der **Mehrwertsteuer** im grenzüberschreitenden Verkehr analog dem Flugverkehr **befreien**
- **Umwelt- und Sicherheitsvorteile** der Schiene müssen am Markt spürbar werden



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Quellenangabe

Internet/Intranet

1. Wikipedia
2. http://www.leifiphysik.de/web_ph10/geschichte/09emotor/emotor.htm
3. <http://www.sparkmuseum.com/MOTORS.HTM>
4. <http://www.bahnstrom.de/geschichte.htm>
5. <http://www.e94114.de/Eisenbahn/Elektrolokomotiven/Geschichte.htm>
6. <http://www.bahnstatistik.de/GIF/Bahnstrom.jpg>
7. http://www.innoz.de/fileadmin/INNOZ/pdf/publikationen/2010/100914_ERI_de.pdf
8. <http://wiki.bahn-net.db.de>
9. <http://ibk.bahn-net.db.de/starweb/IBK/Login.htm>
10. DB ML AG GMM1 • 290710TE
11. Folien 19-48 mit freundlicher Genehmigung DB Energie GmbH

Literatur/ Zeitschriften:

1. DB Energie Jahresbericht von 2021/2023/2024

Quellenangabe

2. „Fahrleitungen elektrischer Bahnen“ (Kießling, Puschmann, Schmieder) 3. Auflage 2014
Publicis Publishing

3. „Energieversorgung elektrischer Bahnen“ (Biesenack, Hofmann, Schmieder u.a.) 1. Auflage
2006 Teubner Verlag