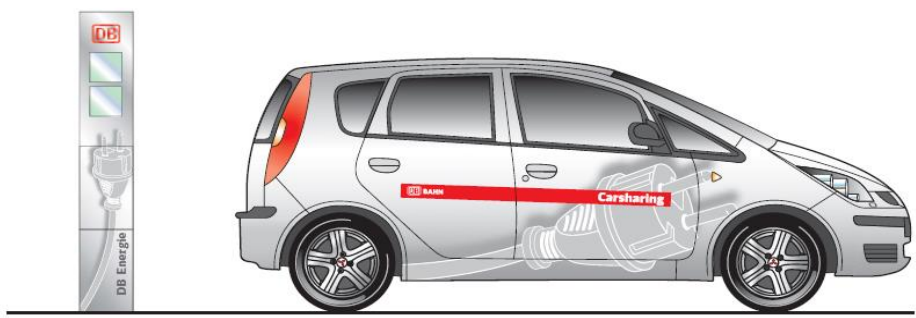




DB AG/Bartłomiej Banaszak

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



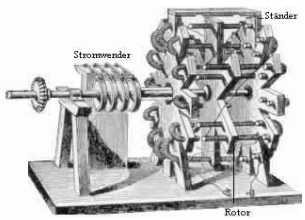
Thomas Groh

DMG-Seminar

Holzgerlingen, 10.05.2023



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

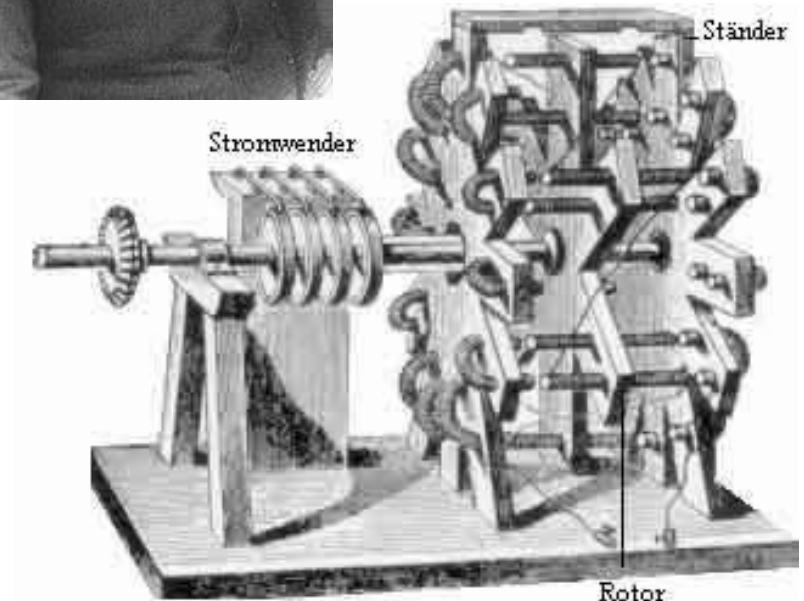
Die Idee:

Nutzung des Elektromagnetismus zur Bewegung von Fahrzeugen

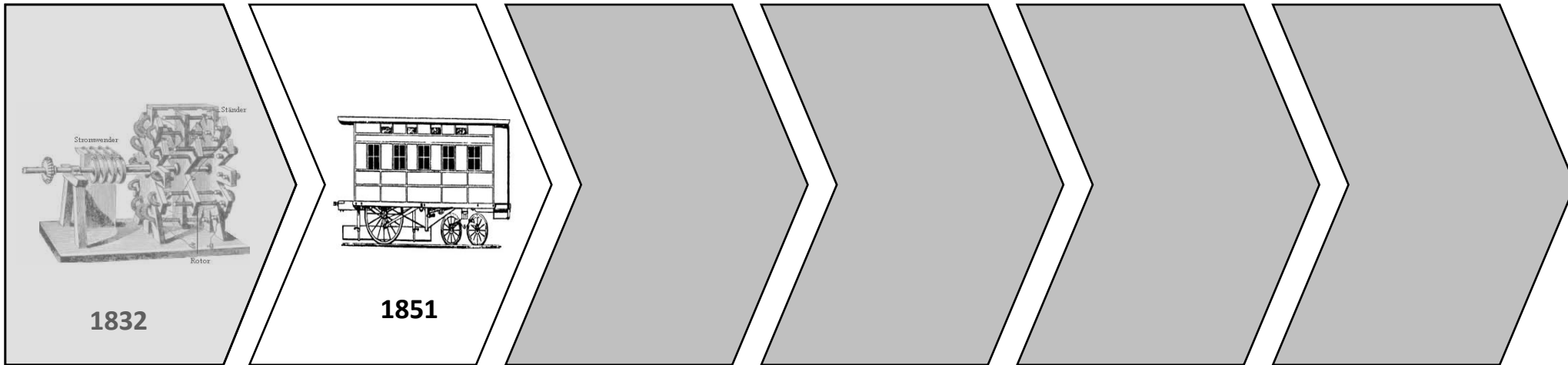
■ 1838 legte er mit einem Boot auf der Newa 7,5 km mit einer Geschwindigkeit von 2,5 km/h zurück

■ 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



Charles Crafton Page

1. Die Anfänge

Die Idee:

**Nutzung des Elektromotors zur Fortbewegung
von Schienenfahrzeugen**

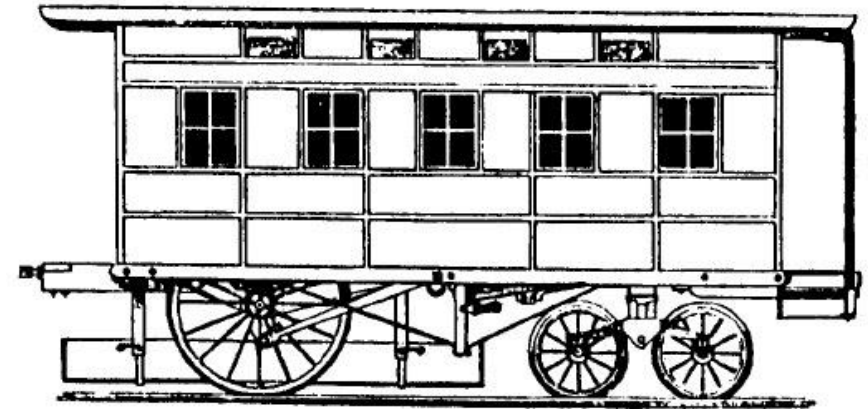
- konstruierte 1838 einen elektromagnetischen Kolbenmotor
- seine 1851 entwickelte Elektrolokomotive erreichte kurzzeitig eine Geschwindigkeit von 31 km/h
- die gewaltige Batterie brachte das Fahrzeug auf stattliche 12 t Gewicht



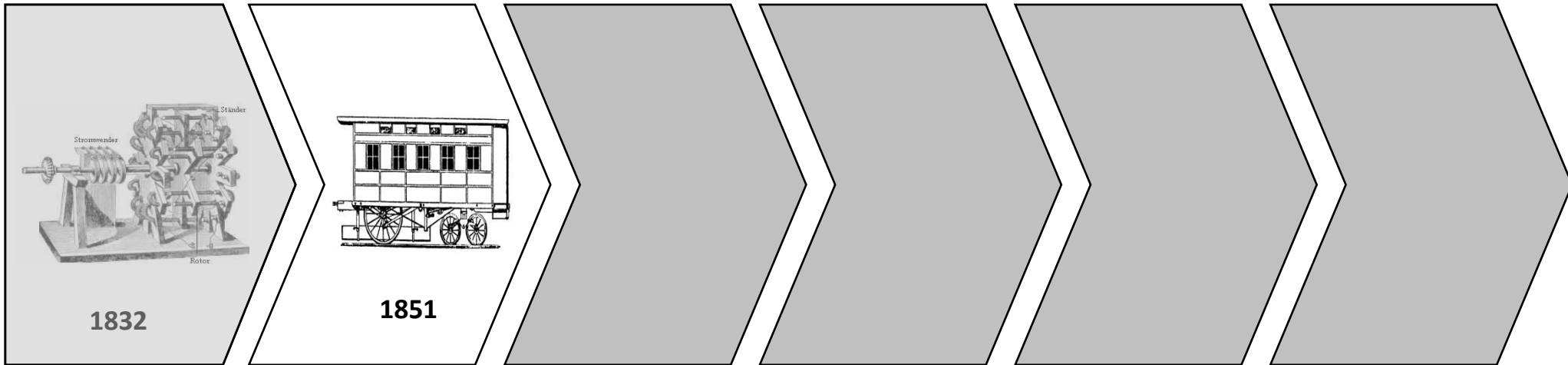
Page Motor



Page Lokomotive



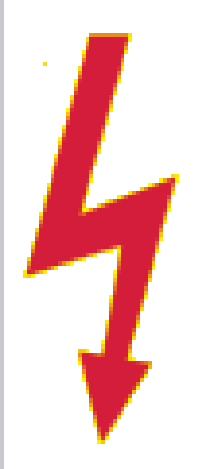
Ingenieure als Impulsgeber bei der Entwicklung der Eisenbahn



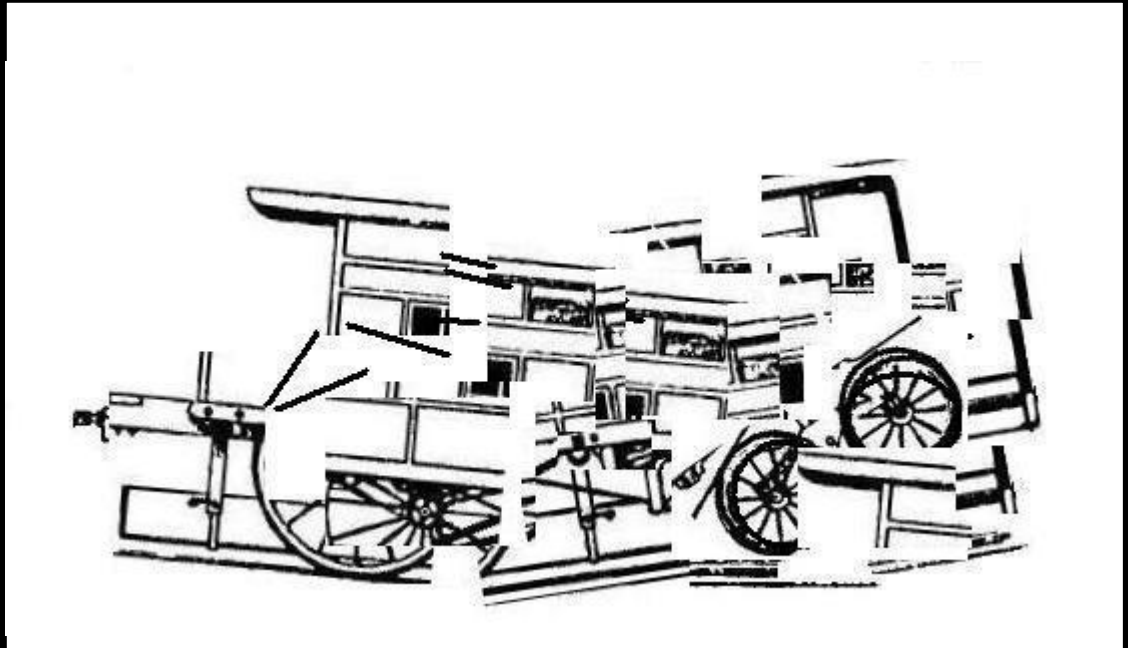
- Zu teuer
- Zu schwer
- Zu geringe Kapazität

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

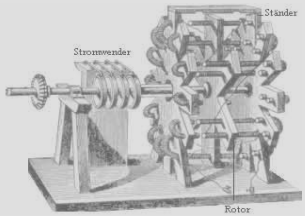
1. Die Anfänge



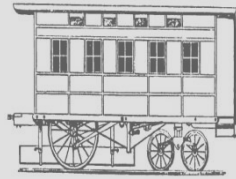
- Zu teuer
- Zu schwer
- Zu geringe Kapazität (Reichweite)



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

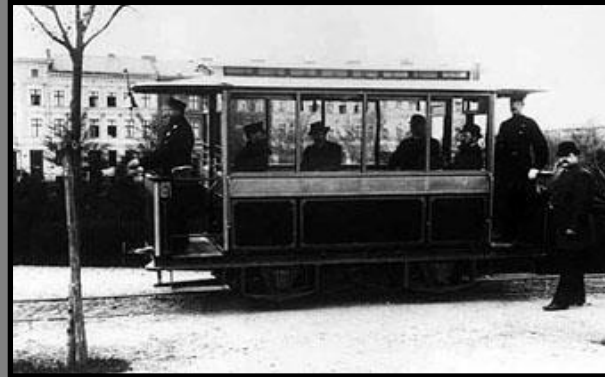
1879 - erste elektrische Lokomotive der Welt; Gewerbeausstellung Berlin



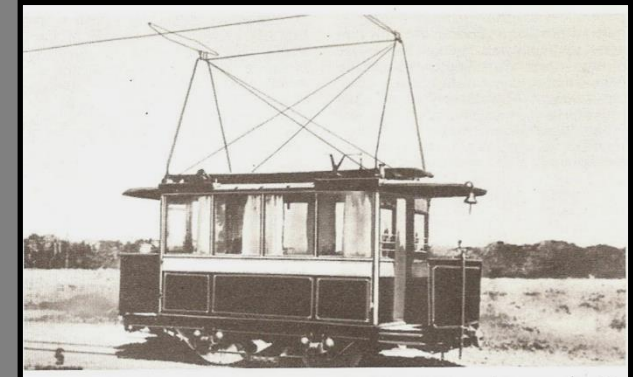
Leistung 3 PS

- 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

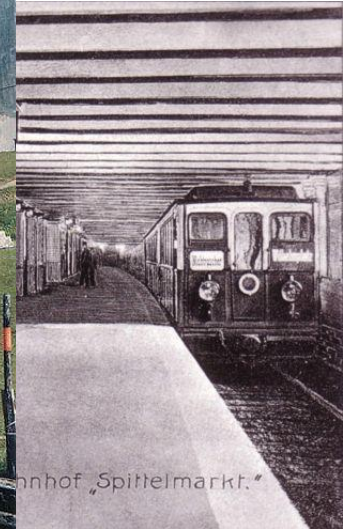


6,3 kV / 25 Hz

750-10.000 V Drehstrom

500 V Gleichstrom

180 V Gleichstrom



Drehstromlokomotiven

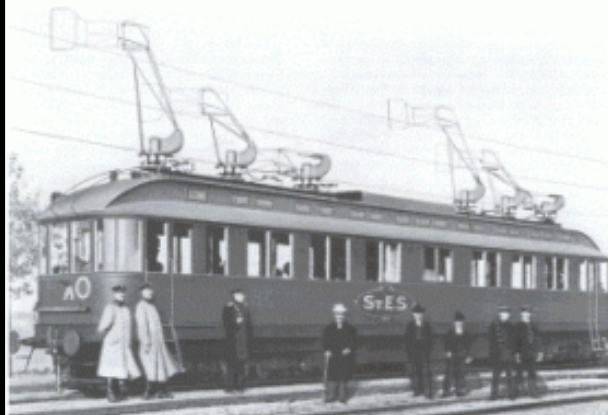
1. Die Anfänge

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

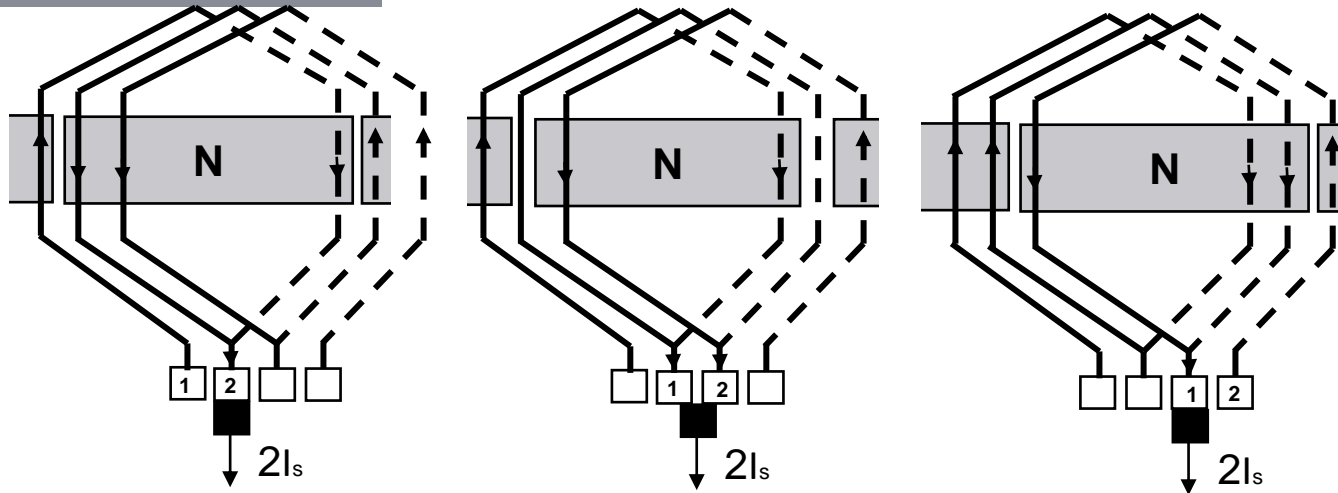
- für Traktion ausgezeichnet geeignete Kennlinien
- damals nur für geringe Spannungen verfügbar
- Gleichspannung ist nicht transformierbar

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)

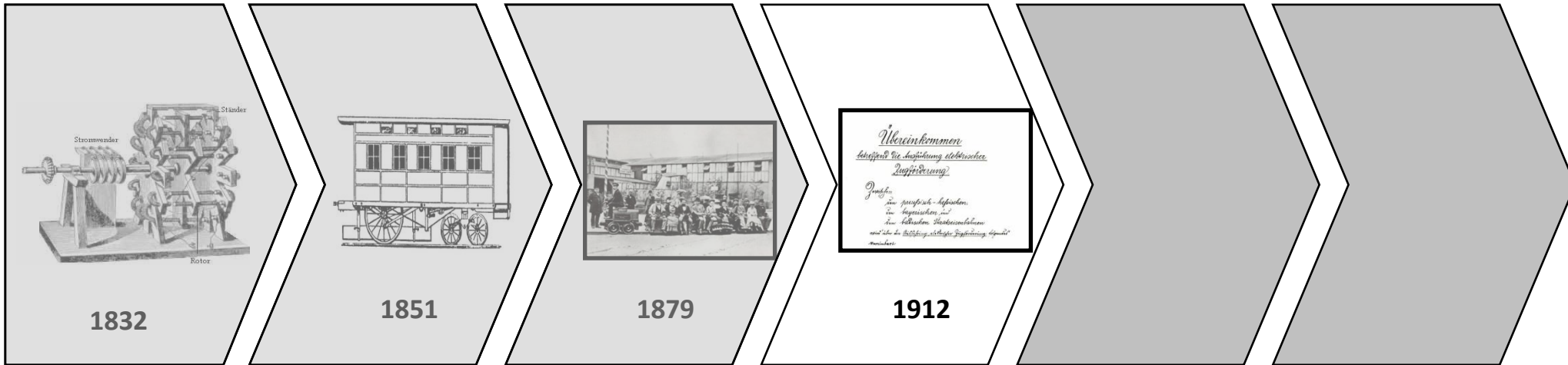
Folgen für die Motorkonstruktion

Maßnahmen zur Kompensation der transformatorischen Spannung

$$U_t = 4,44 \cdot \Phi \cdot f \cdot N$$

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

Ingenieure als Impulsgeber bei der Entwicklung der Eisenbahn



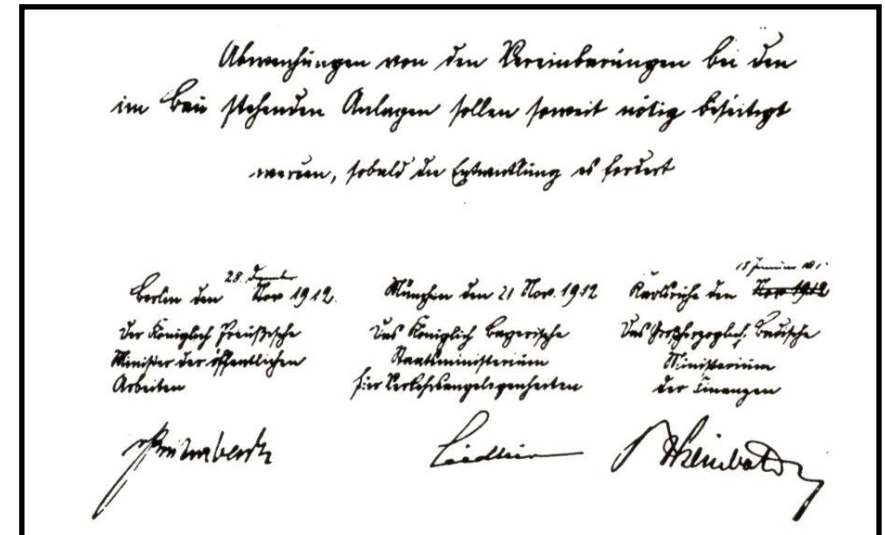
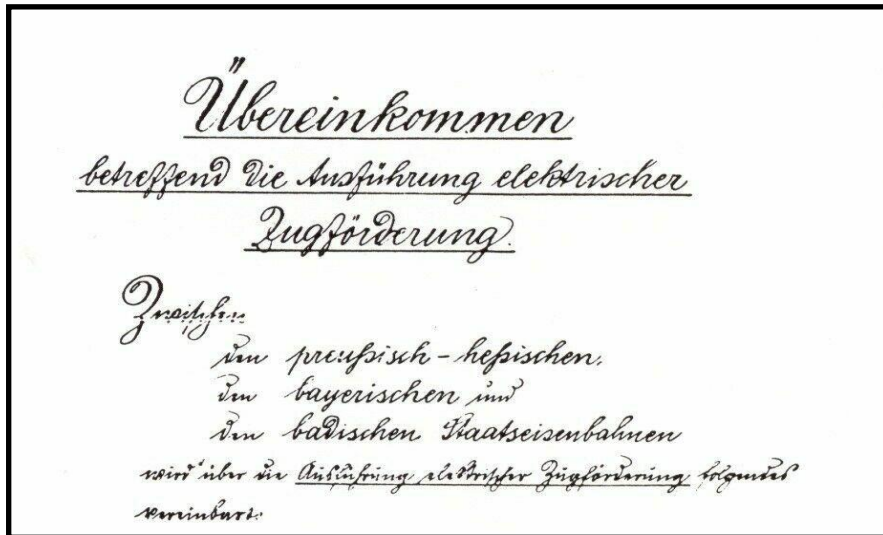
Die Vielzahl der unterschiedlichen Spannungen und Frequenzen behindert eine zusammenhängende Entwicklung des elektrischen Zugbetriebes

Übereinkommen betreffend „Die Ausführung elektrischer Zugförderung“

1. Die Anfänge

Die Idee:

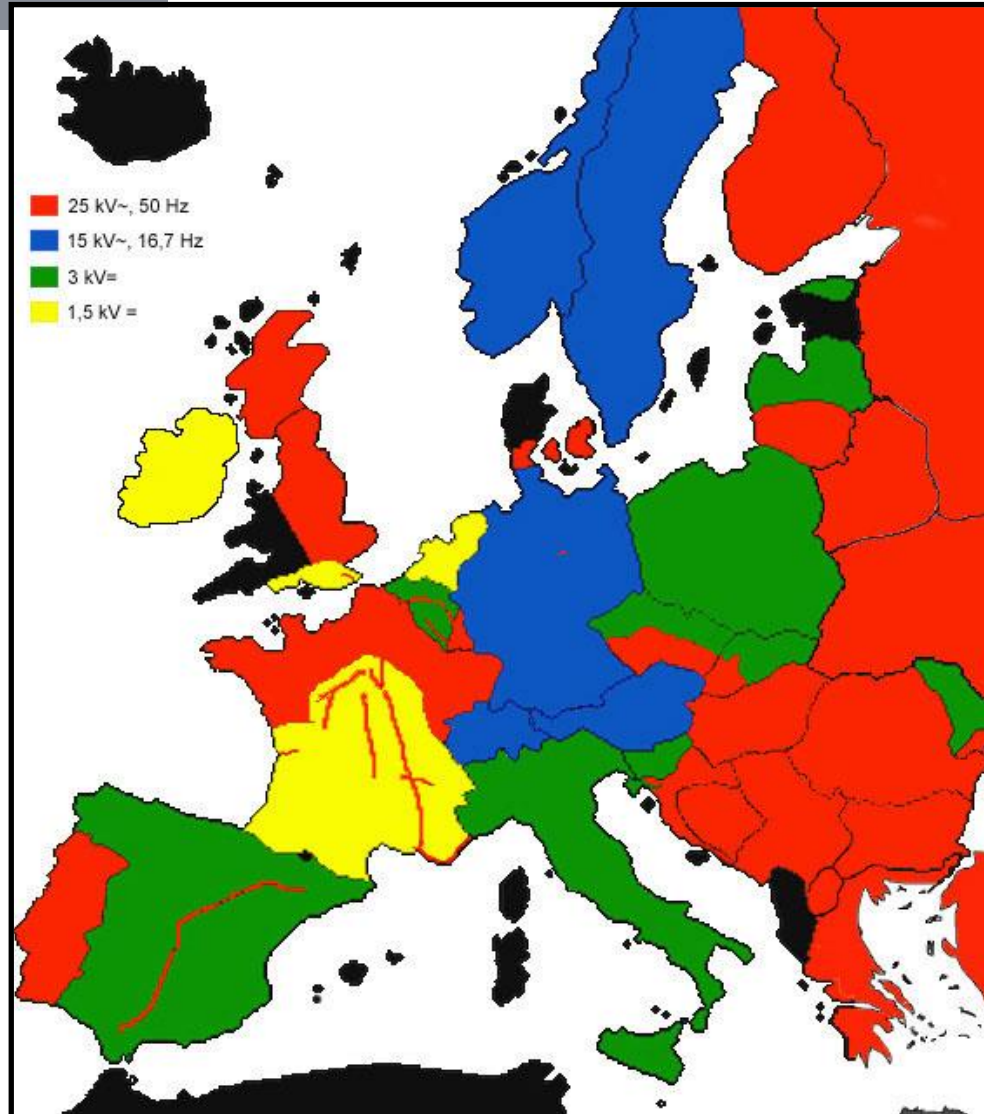
Vereinheitlichung der elektrischen Bahnenergie-
versorgung



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

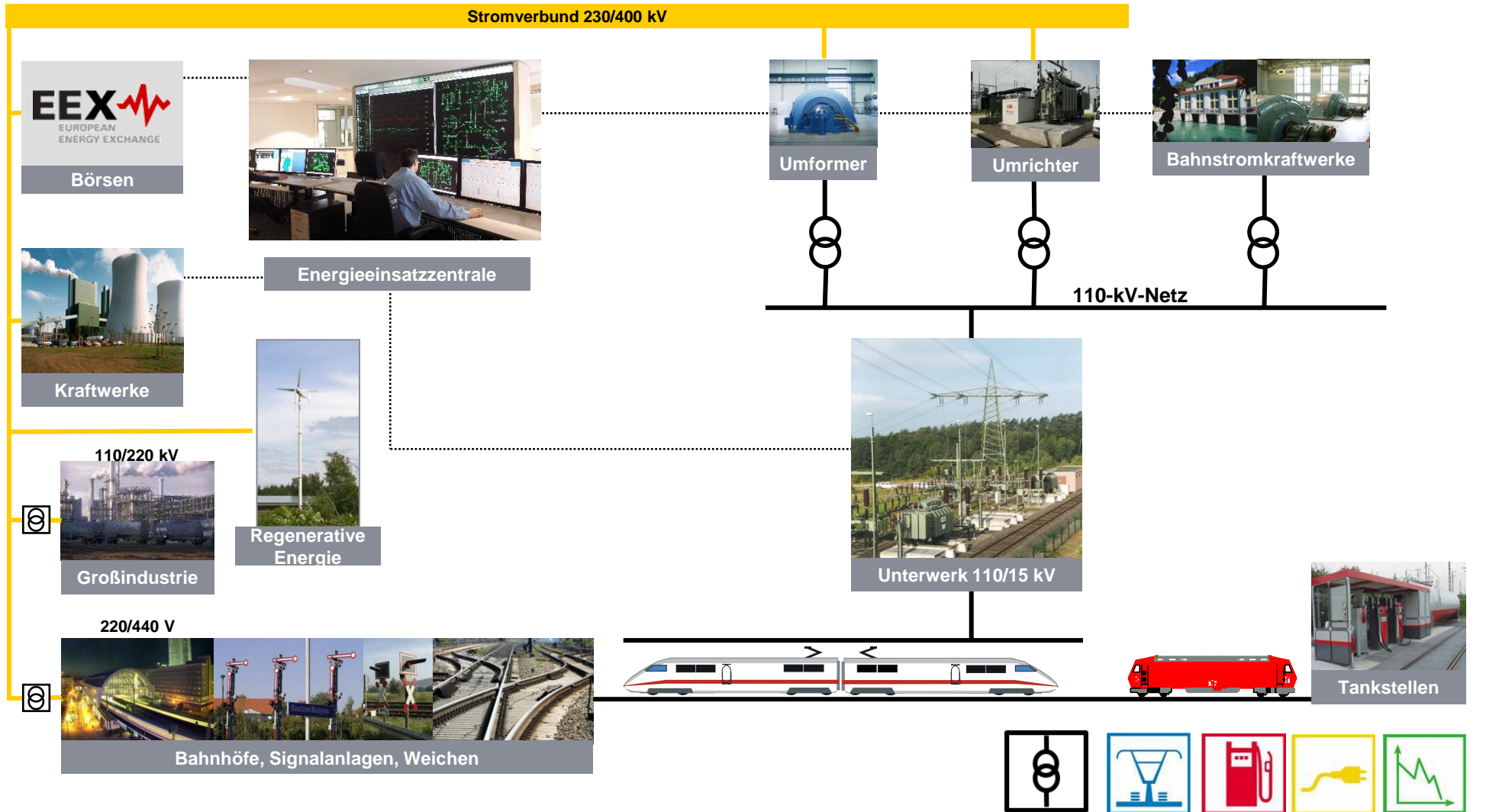
Die Bahnstromsysteme in Europa

2. Die Gegenwart



Energieversorgung der Deutschen Bahn AG

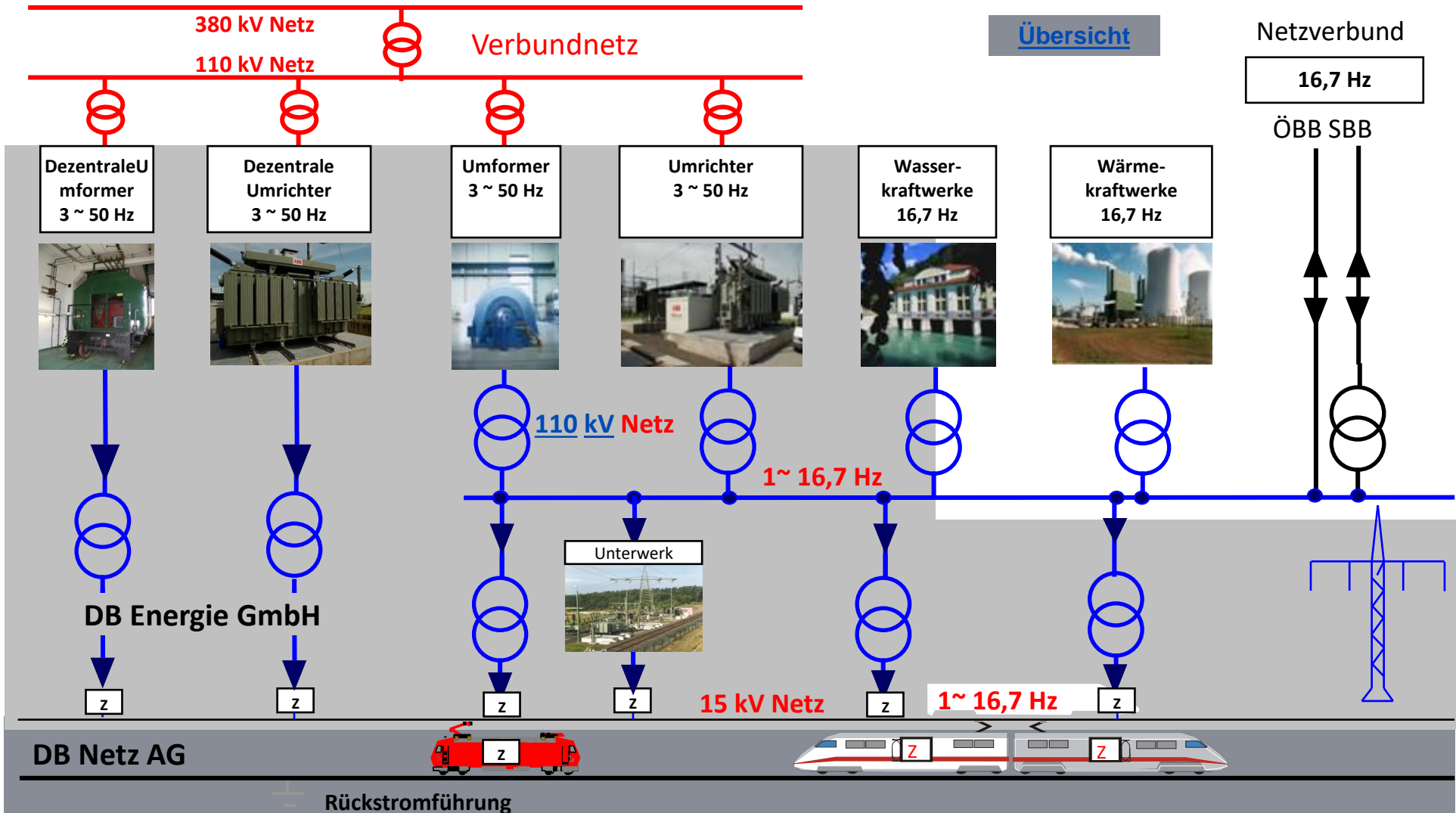
2. Die Gegenwart





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

$$n_1 = n_2$$

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

[weiter](#)

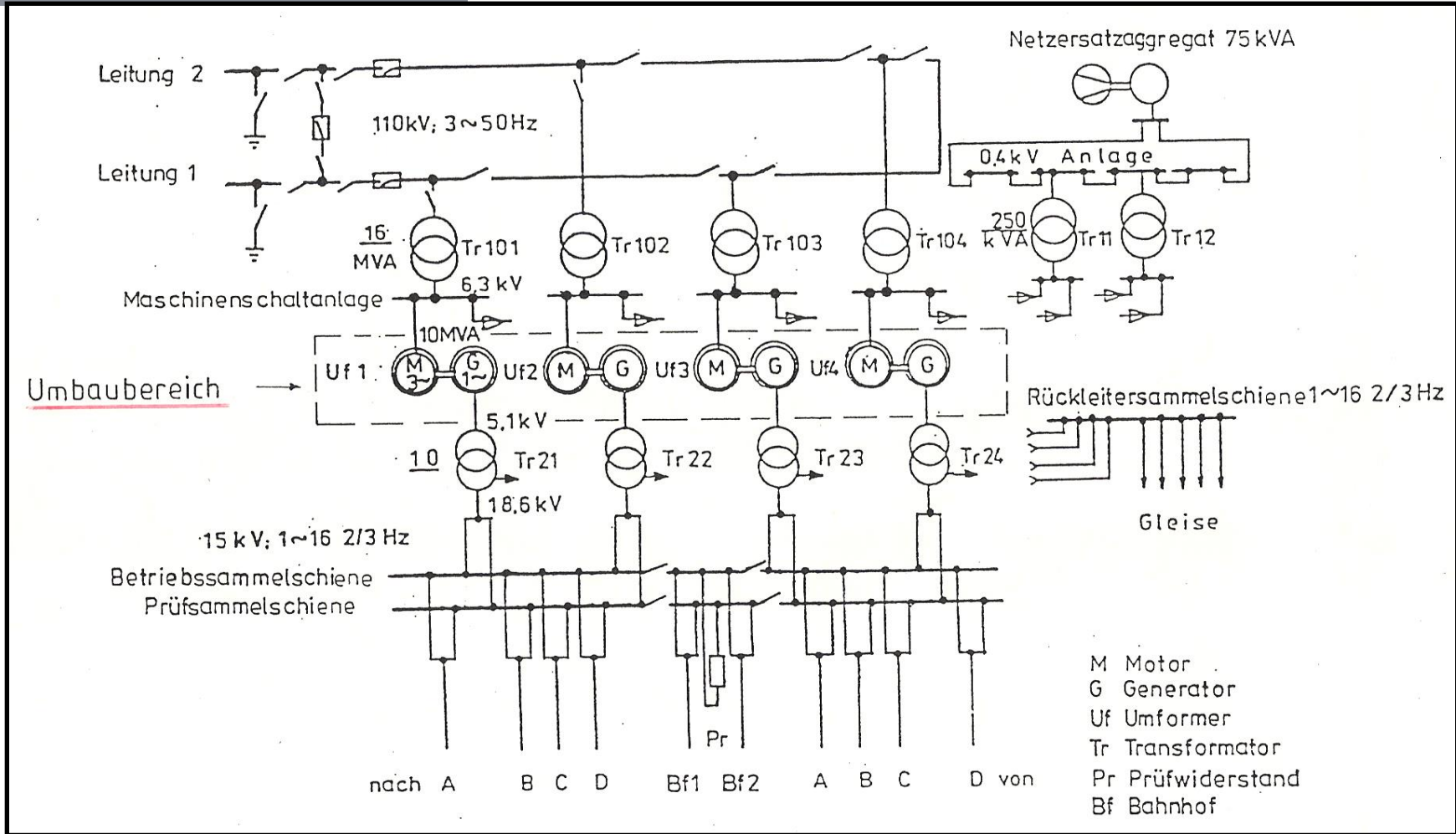
[Übersicht](#)





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

[weiter](#)

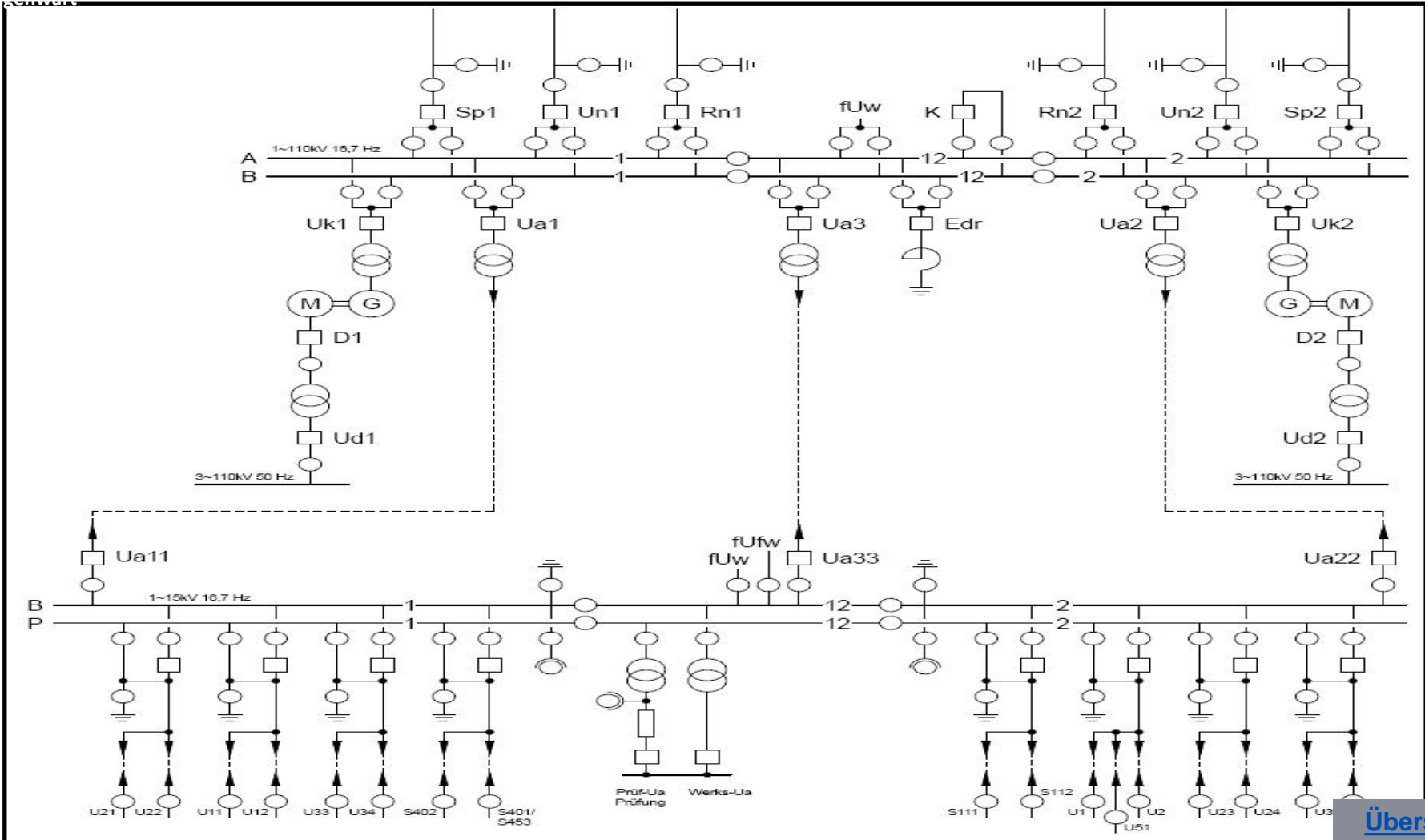
[Übersicht](#)





Umformerwerk im zentralen Netz

2. Die Gegenwart



Übersicht





Unterwerk 110 kV/ 15 kV

2. Die Gegenwart



Unterwerk der DB Energie

[Übersicht](#)



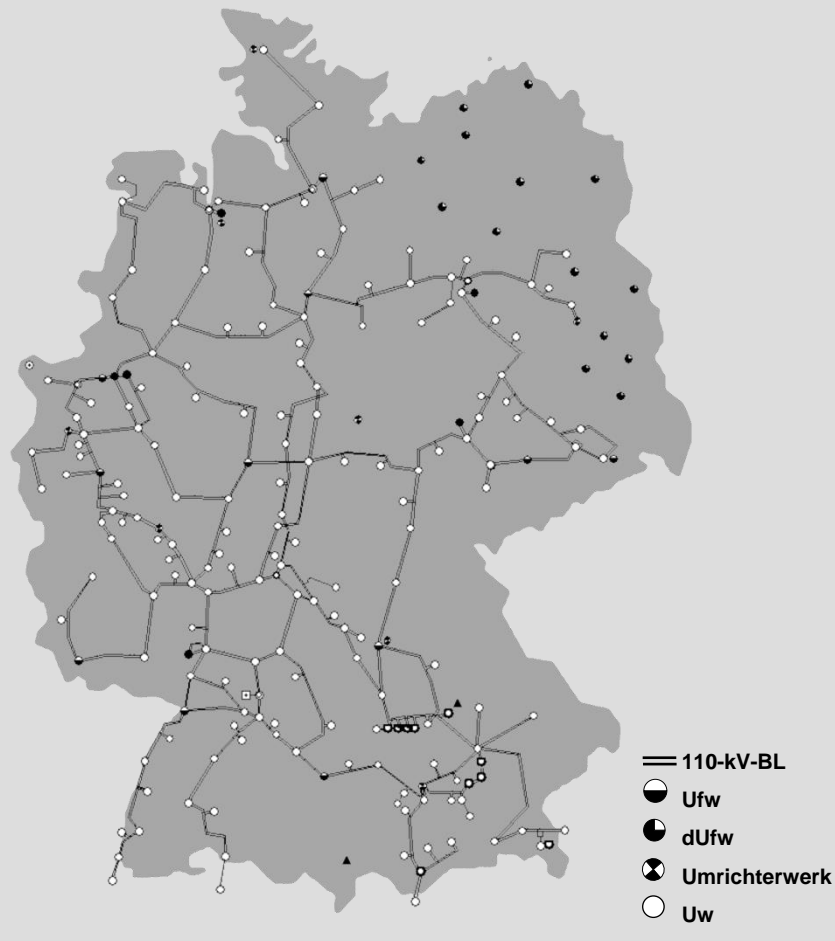


Infrastruktur für 16,7 Hz Bahnstrom

2. Die Gegenwart

16,7-Hz-Bahnstromnetz

Stand 12/2021



16,7-Hz-Bahnstrom

■ Länge Bahnstromnetz	7.936 km
■ Kraftwerke	15
■ zentrale Umformerwerke	8
■ dezentrale Umformerwerke	6
■ zentrale Umrichterwerke	13
■ dezentrale Umrichterwerke	11
■ Unterwerke	187
■ Installierte Leistung	3.193 MW

Energieabgabe

9,54 TWh/Jahr

[weiter](#)

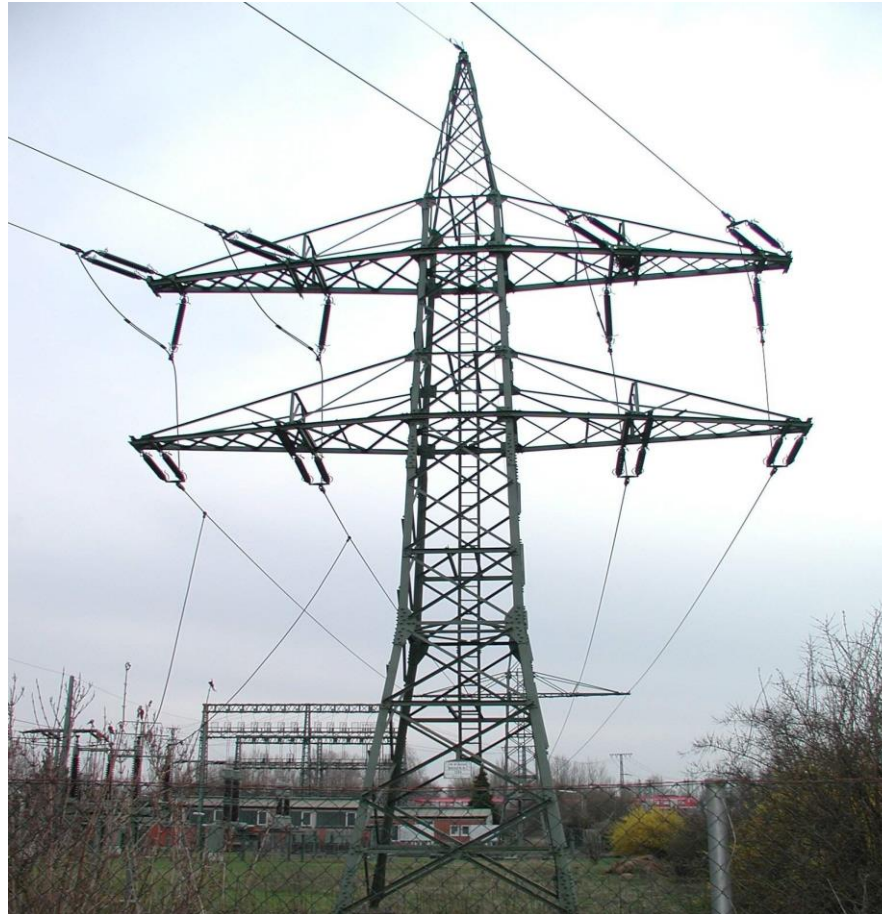
[Übersicht](#)





Bahnstromleitungsnetz 110 kV / 16,7 Hz

3. Die Gegenwart



110-kV-Bahnstromleitungsendmast vor einem Unterwerk

Übersicht



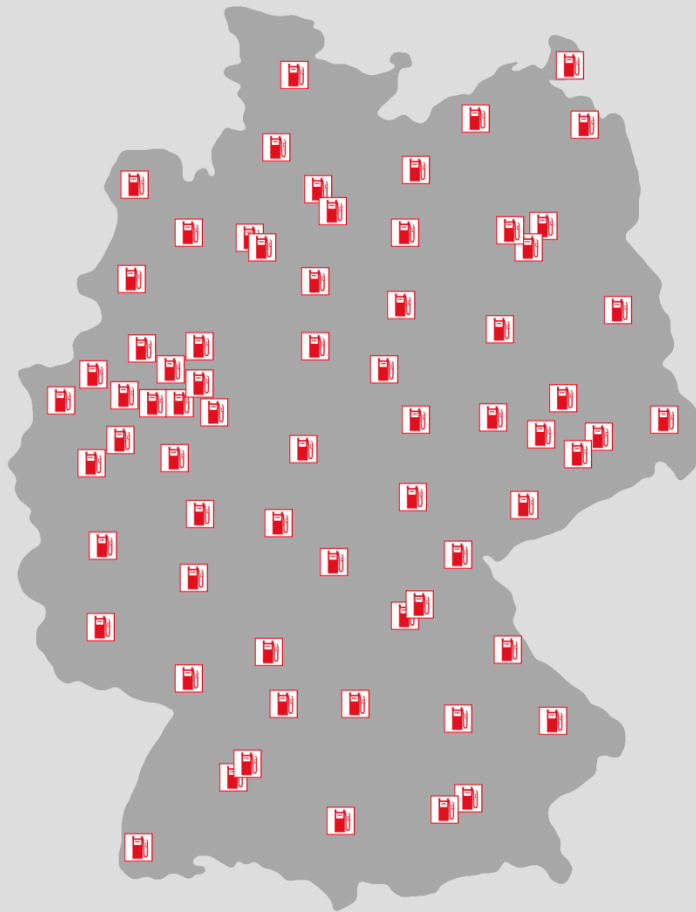


Energieversorgung mit Kraftstoffen - Tankstellennetz

2. Die Gegenwart

Versorgung mit Antriebs- und Betriebsstoffen im gesamten Bundesgebiet

Stand 12/2021



Tankdienste

■ Tankstellen	183
■ AdBlue-Abgabestellen	40
■ Diesellabgabe	385,2 Mio. Liter

Versorgung der Triebfahrzeuge mit weiteren Betriebsstoffen:

■ Heizöl	2,58 Mio. Liter/Jahr
■ Motoröl	0,04 Mio. Liter/Jahr
■ AdBlue	1,47 Mio. Liter/Jahr
■ Sand	

[weiter](#)

[Übersicht](#)



Energieversorgung mit Kraftstoffen Tankstellennetz

2. Die Gegenwart



DB Energie Tankstelle



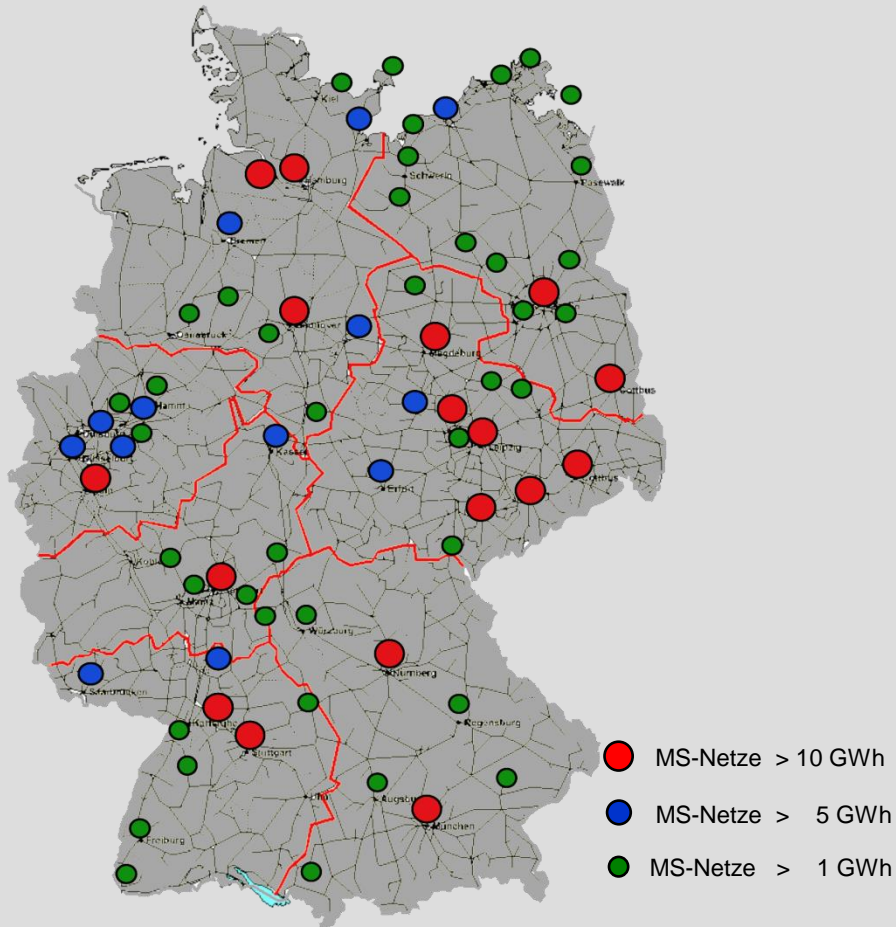
Lokbetankung



Energieversorgung 50 Hz Stromversorgung

2. Die Gegenwart

50-Hz-Bereitstellung



Stand 12/2021

50-Hz-Licht-/Kraftstrom

■ Mittelspannungsnetze	171	
■ Trafostationen	1808	
■ Mittelspannungstrassen	ca. 827 km	–
■ Niederspannungstrassen	ca. 5.000 km	–
■ Zugvorheizanlagen	161	
■ Energieabgabe	1,55 TWh/Jahr	

Gleich-Strom-Versorgung S-Bahn

■ Gleichstrom-Unterwerke	117
■ Installierte Leistung	789 MW
■ S-Bahn Kabelnetz	1002 km

[weiter](#)

[Übersicht](#)





Energieversorgung 50 Hz Stromversorgung

2. Die Gegenwart





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	7.936 km	Stand 12/2021
■ Kraft-, Umformer-, Umrichterwerke	53	
■ 110-kV-Unterwerke	187	
■ 15-kV-Kuppelstellen und -Schaltposten	234	
■ Installierte Leistung dezentral	515 MW	
■ Installierte Leistung zentral	2.679 MW	
■ Netzverbund mit ÖBB/SBB	4 (Verbindungen)	
■ Netzbetriebsführung und Kraftwerkseinsatz 110 kV	1 Hauptschaltleitung 1 Schaltbefehlsstellen	
■ Netzbetriebsführung 15 kV	7 Zentralschaltstellen	
■ Höchstes Stundenmittel	1.759 MW	
■ Regelleistung	400-600 MW	
■ Energieabgabe 16,7 Hz	9,54 TWh/Jahr	

[weiter](#)

[Übersicht](#)

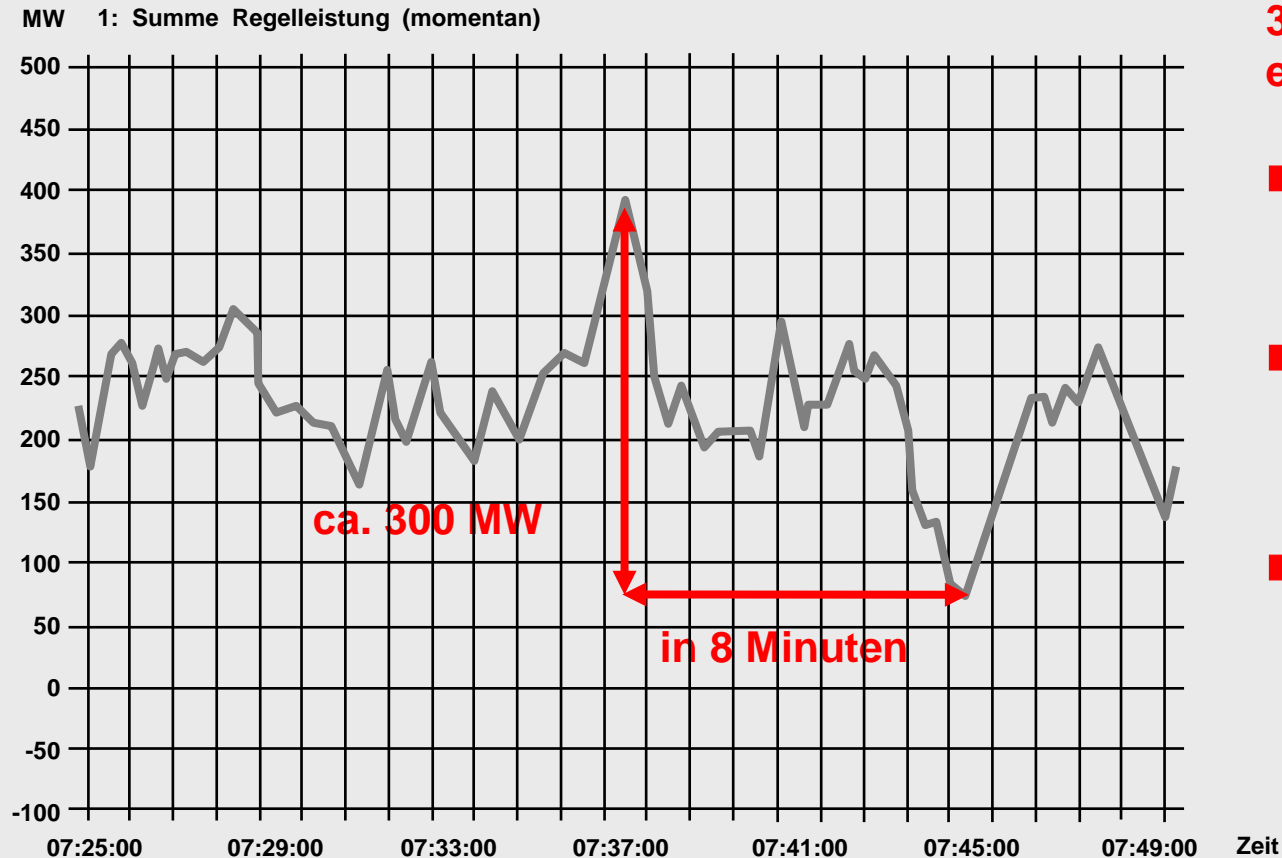




Netzbetriebsführung der Bahnenergieversorgung

2. Die Gegenwart

Kaum planbare Verbrauchsschwankungen – erhöhte Anforderungen an Energieportfoliomangement



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

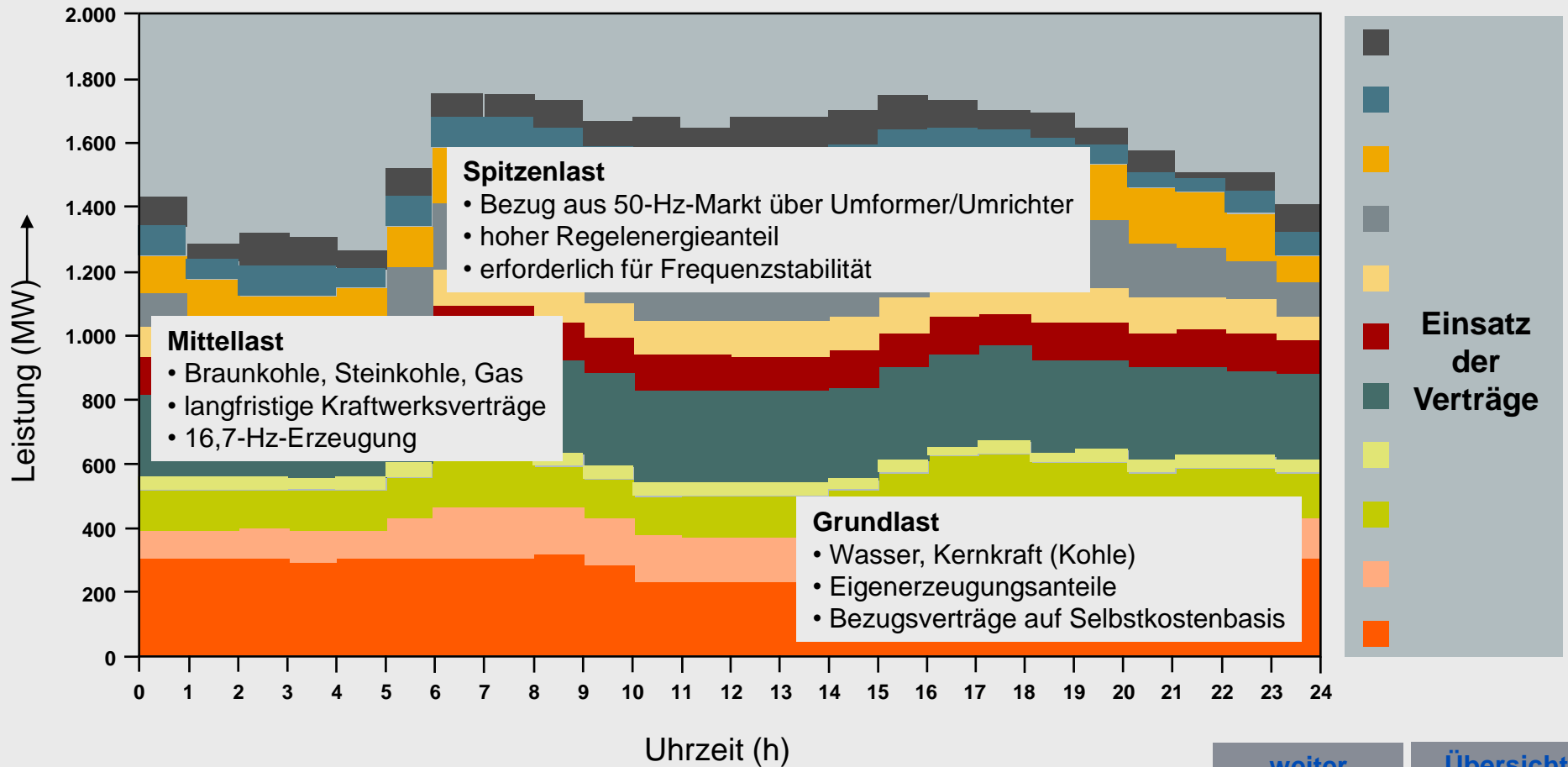




Netzbetriebsführung der Bahnenergieversorgung

3. Die Gegenwart

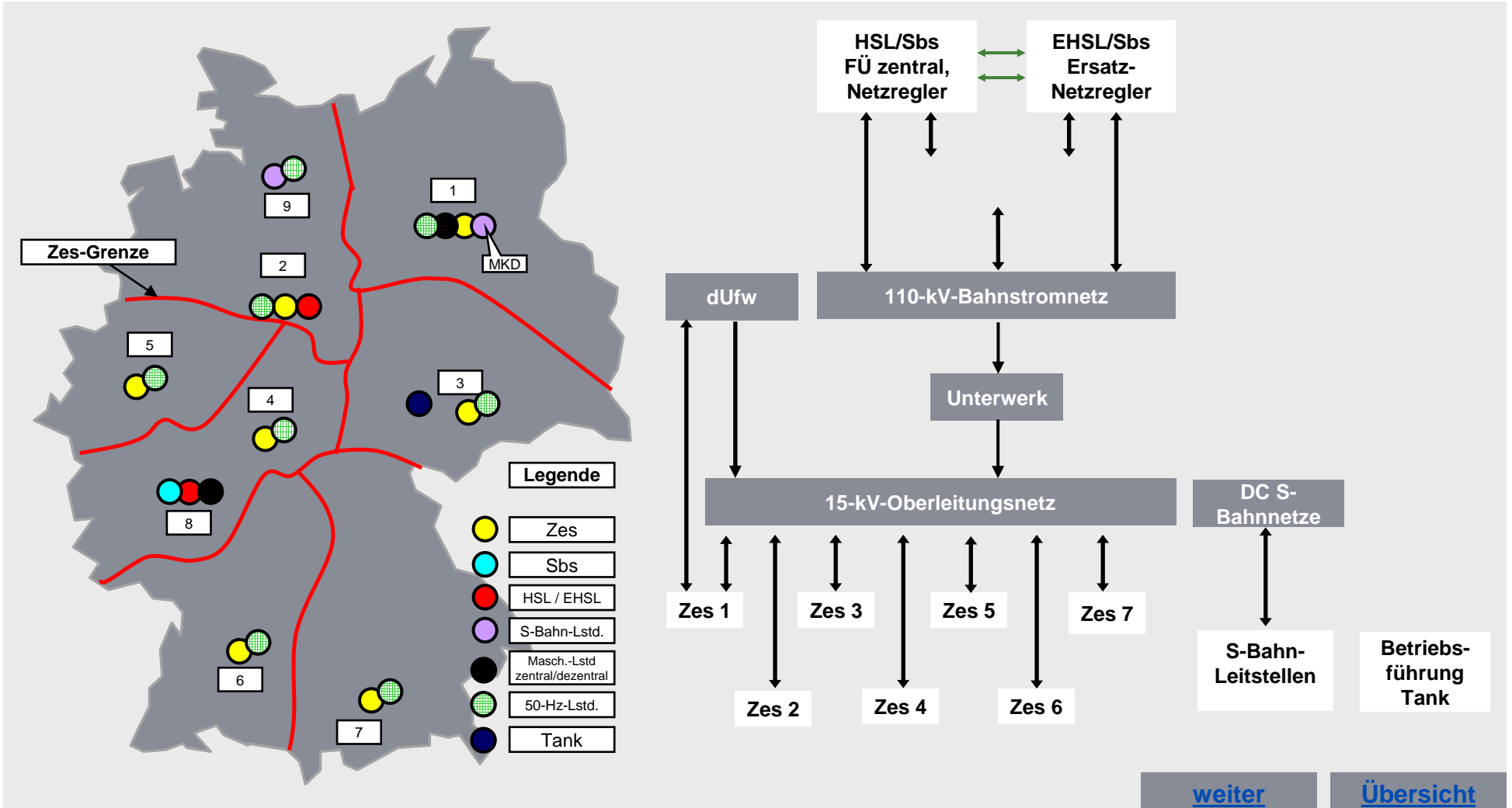
Portfoliooptimierung: Einkauf und Einsatz zum richtigen Zeitpunkt





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](#)

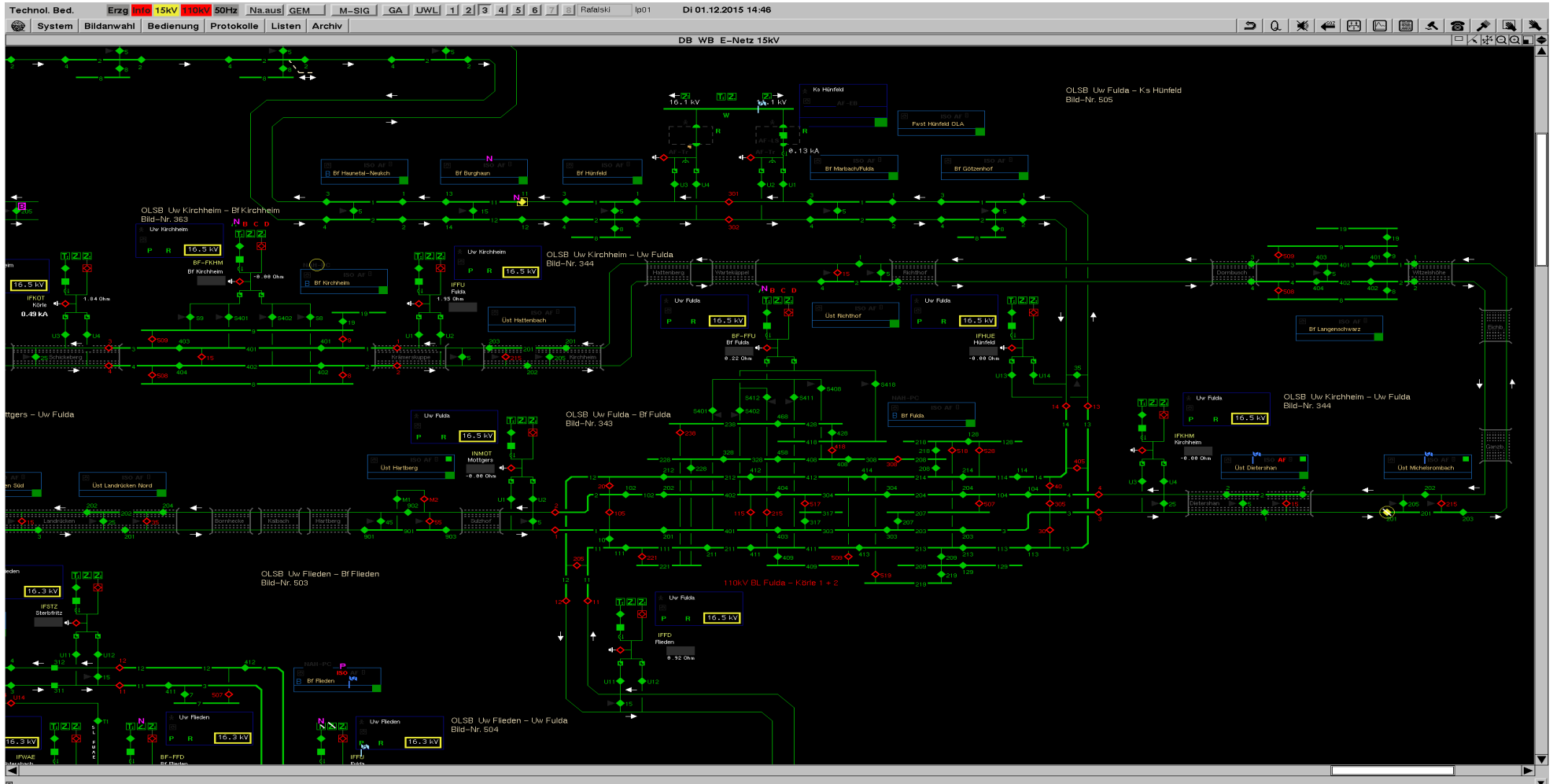
[Übersicht](#)





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

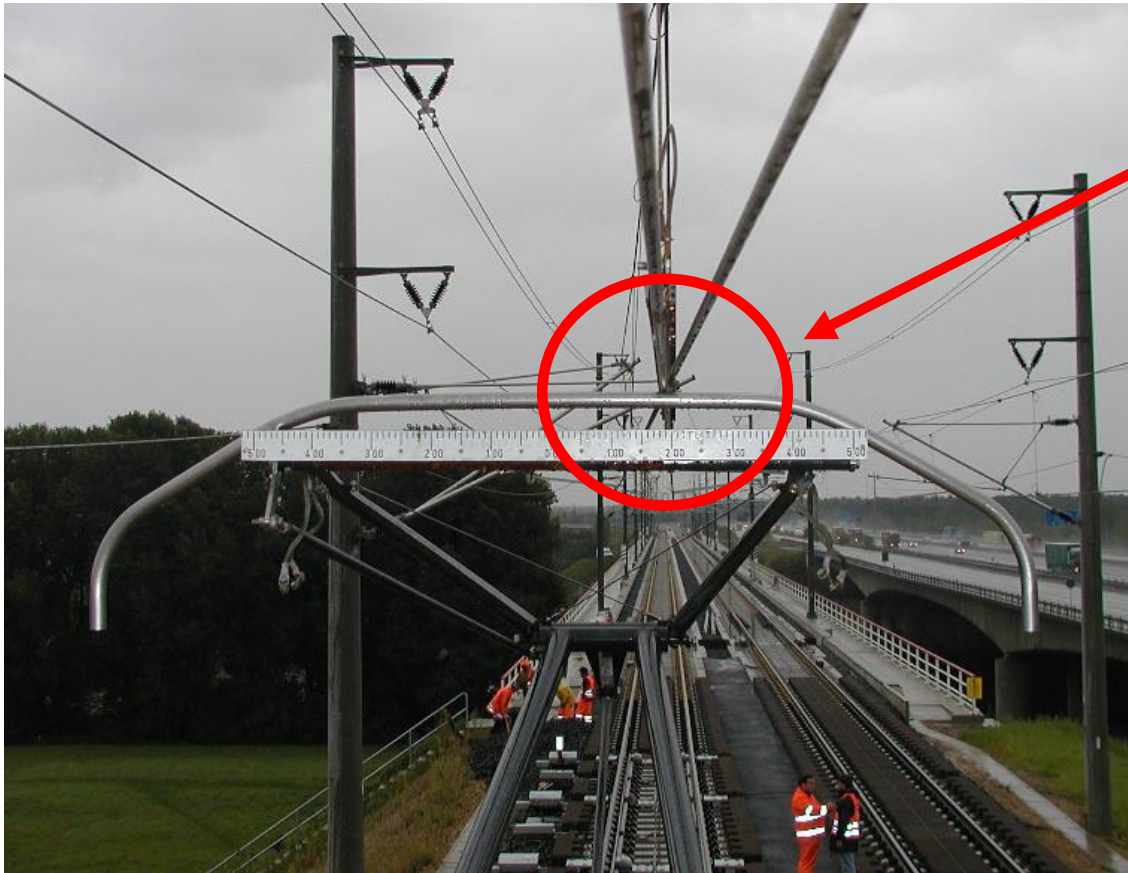
Übersicht

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

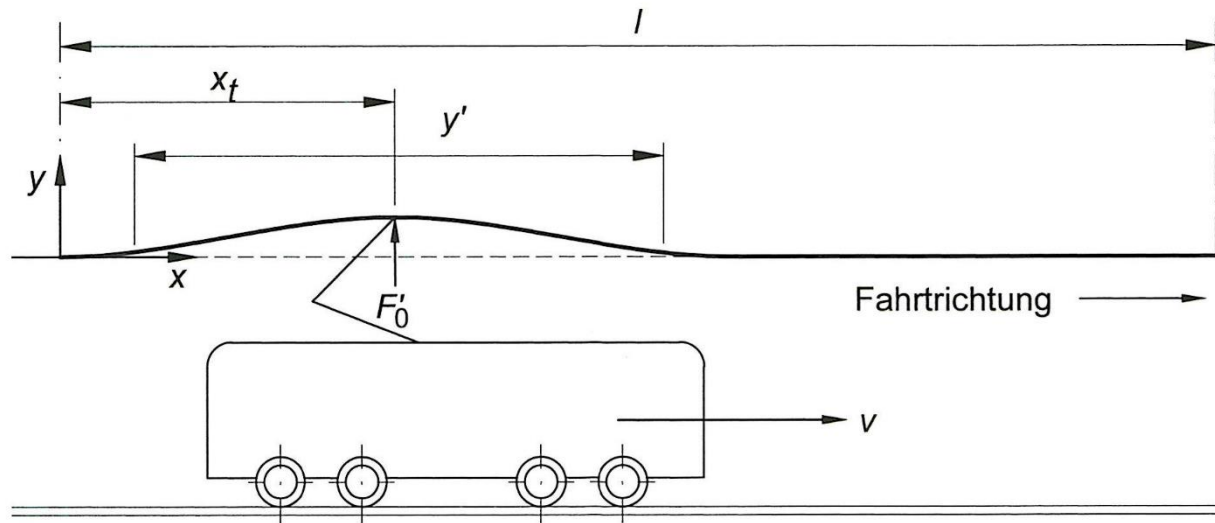
weiter

Übersicht

Folie: Dipl.-Ing. Nyascha Thomas Wittmann
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

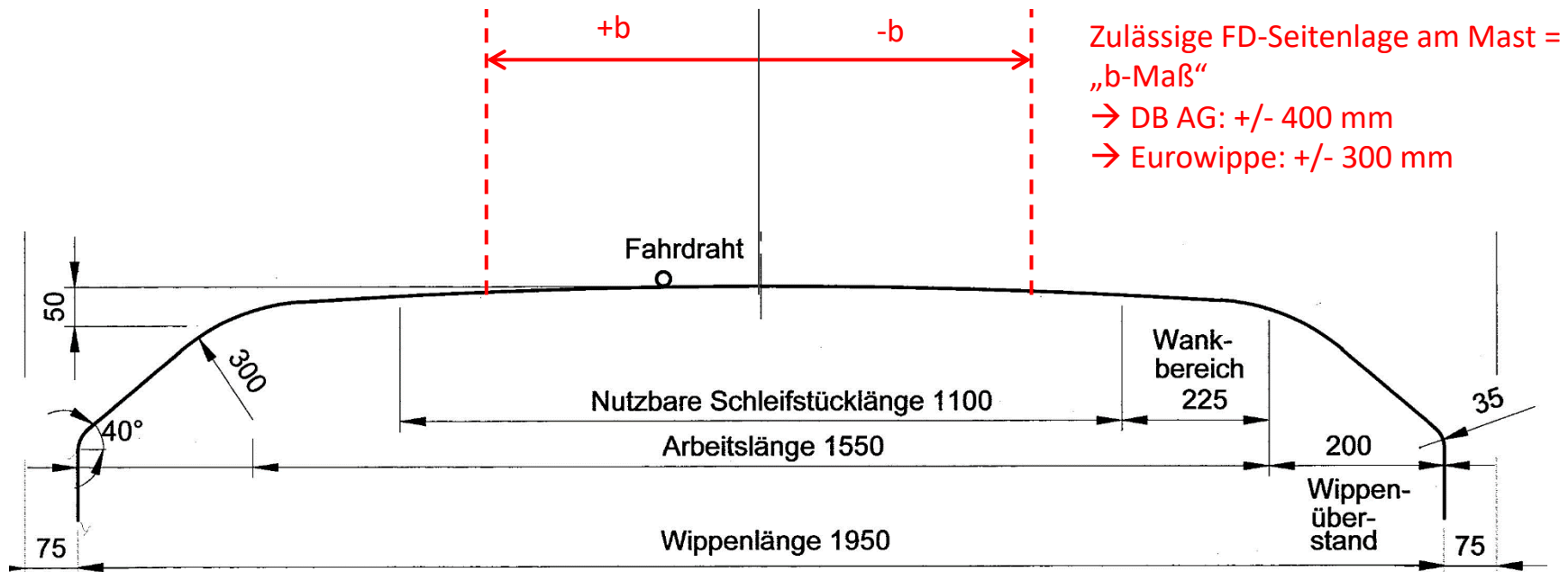
Übersicht

Folie: Dipl.-Ing. Nyascha Thomas Wittmann
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, $v_{\max} = 330 \text{ km/h}$



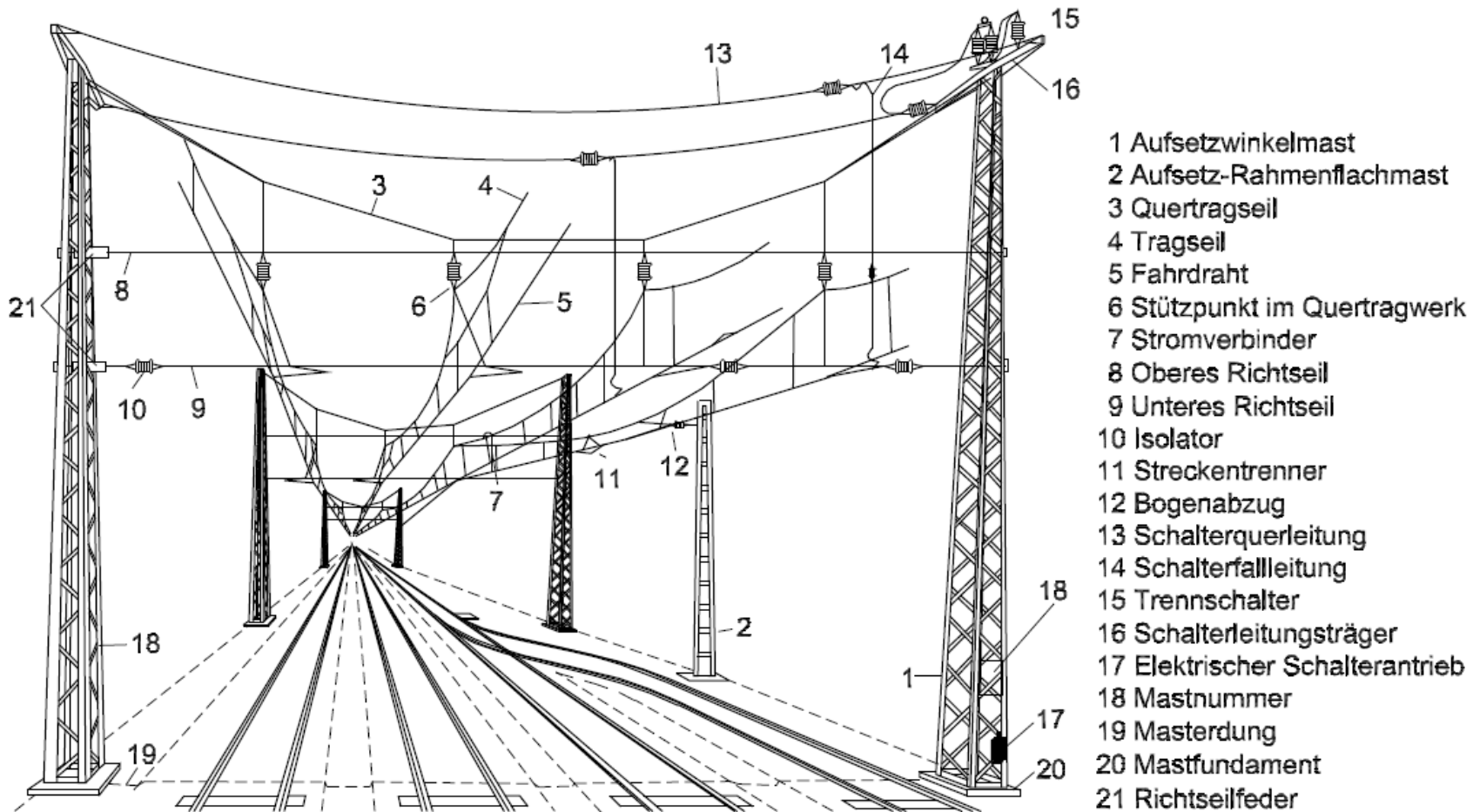
weiter

Übersicht

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

Oberleitungen an flexiblen Quertragwerken

2. Gegenwart- Oberleitungen



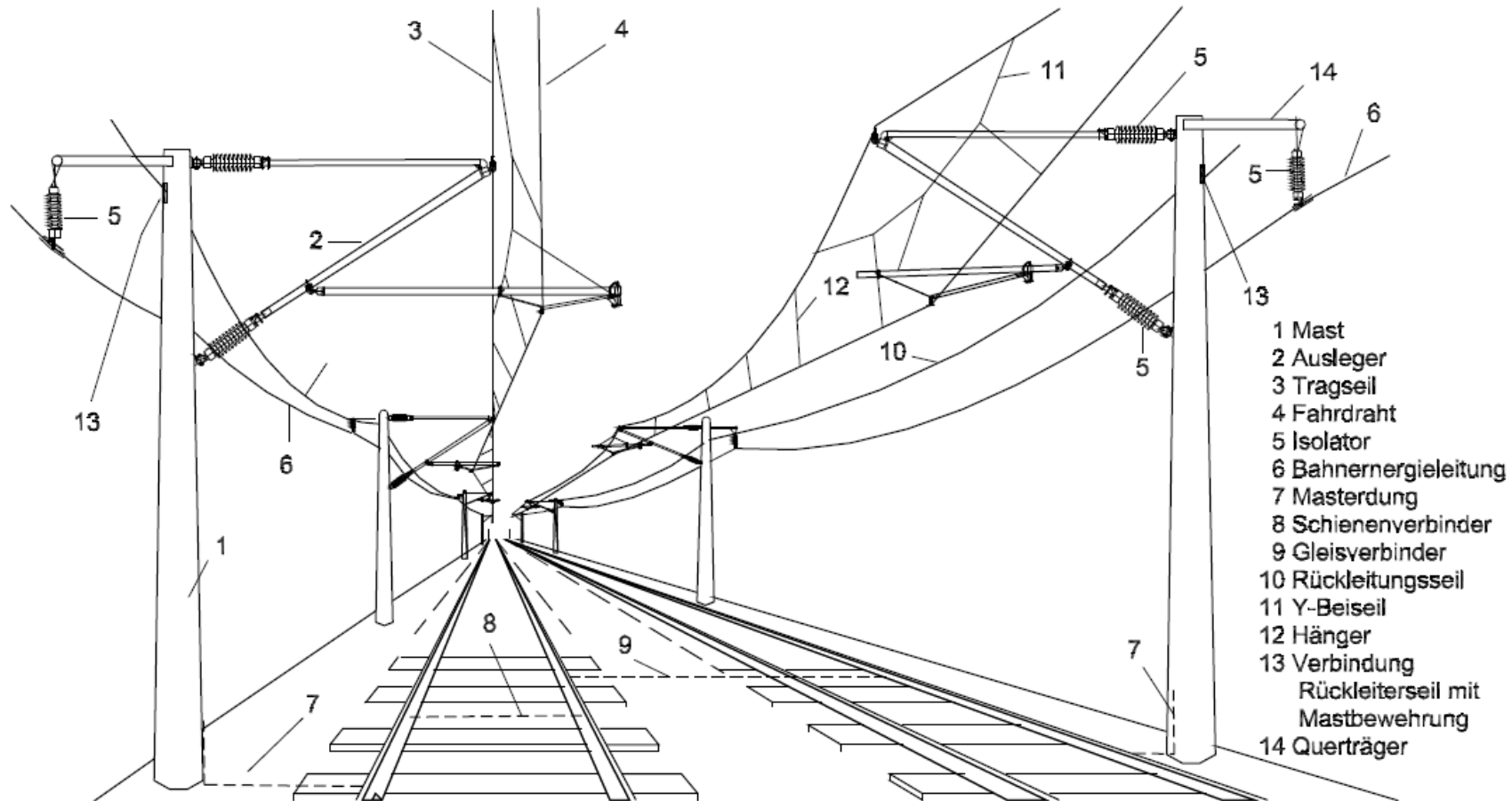
weiter

Übersicht

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

Oberleitungen an Einzelmasten aus Beton

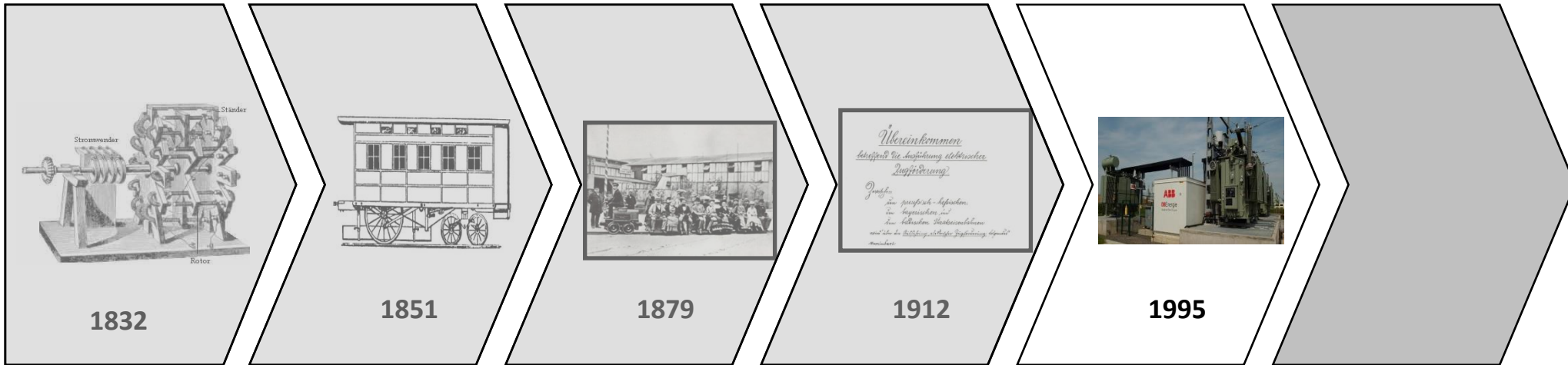
2. Gegenwart- Oberleitungen



Übersicht

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

Ingenieure als Impulsgeber bei der Entwicklung der Eisenbahn



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

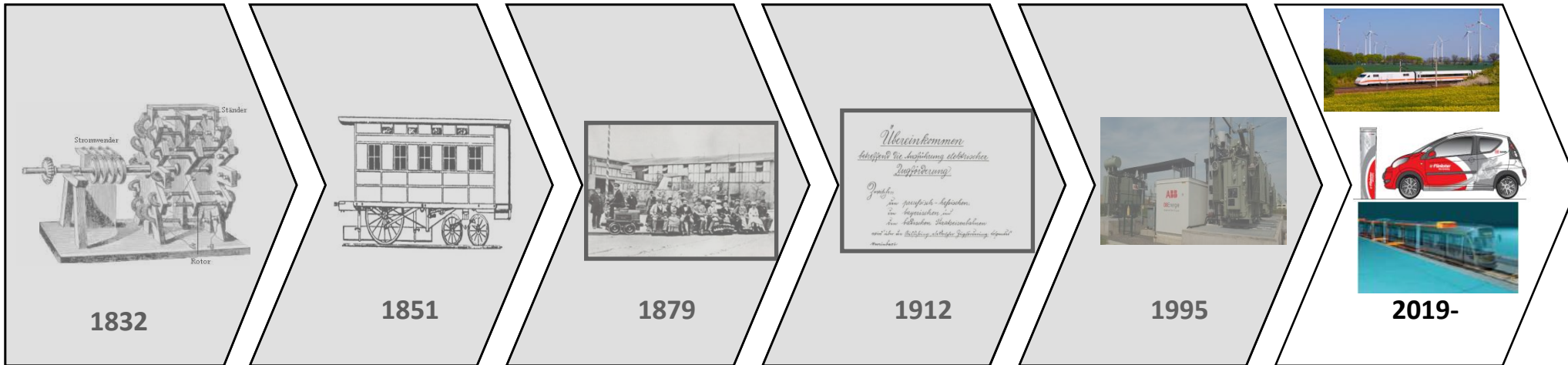
- ➔ wartungsarm aufgrund fehlender rotierender Teile
- ➔ hohe Betriebsicherheit
- ➔ höherer Wirkungsgrad



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 bedarfs-gerechter Platzierung im 50-Hz-Netz**
- **Einführung international anerkannter IT-Sicherheits-standards in der Stations- und Netzleittechnik**
- **Standardisierung und Modularisierung in der Schaltan-lagentechnik**
- **Vertiefung der Zusammenarbeit mit anderen europäischen Bahnen**
- **Bundesweite Prüfung eines Dieseleratzes 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 2015/2016/2017/2018/2020/2021



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