

Bahnenergieversorgung – öffentliche Energieversorgung



Quelle: MEV/Markt Robertz; www.br.de; heruntergeladen am 01.02.2022

Liberalisierung des Bahnstroms, 3. März 2022

Bahnenergieversorgung – öffentliche Energieversorgung



Inhalt:

1. Elektrische Energieversorgung

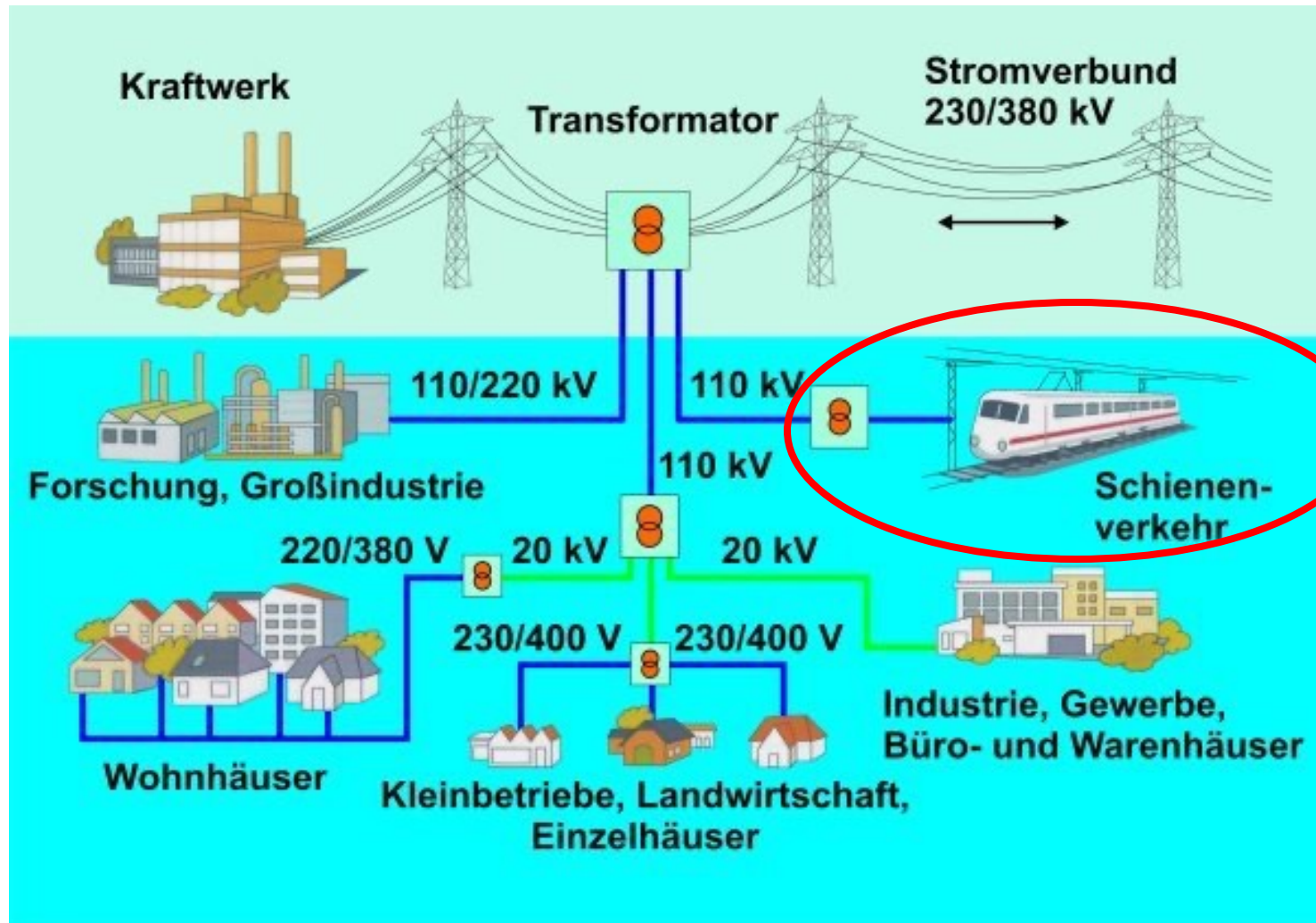
2. Geschichte der Bahnenergieversorgung

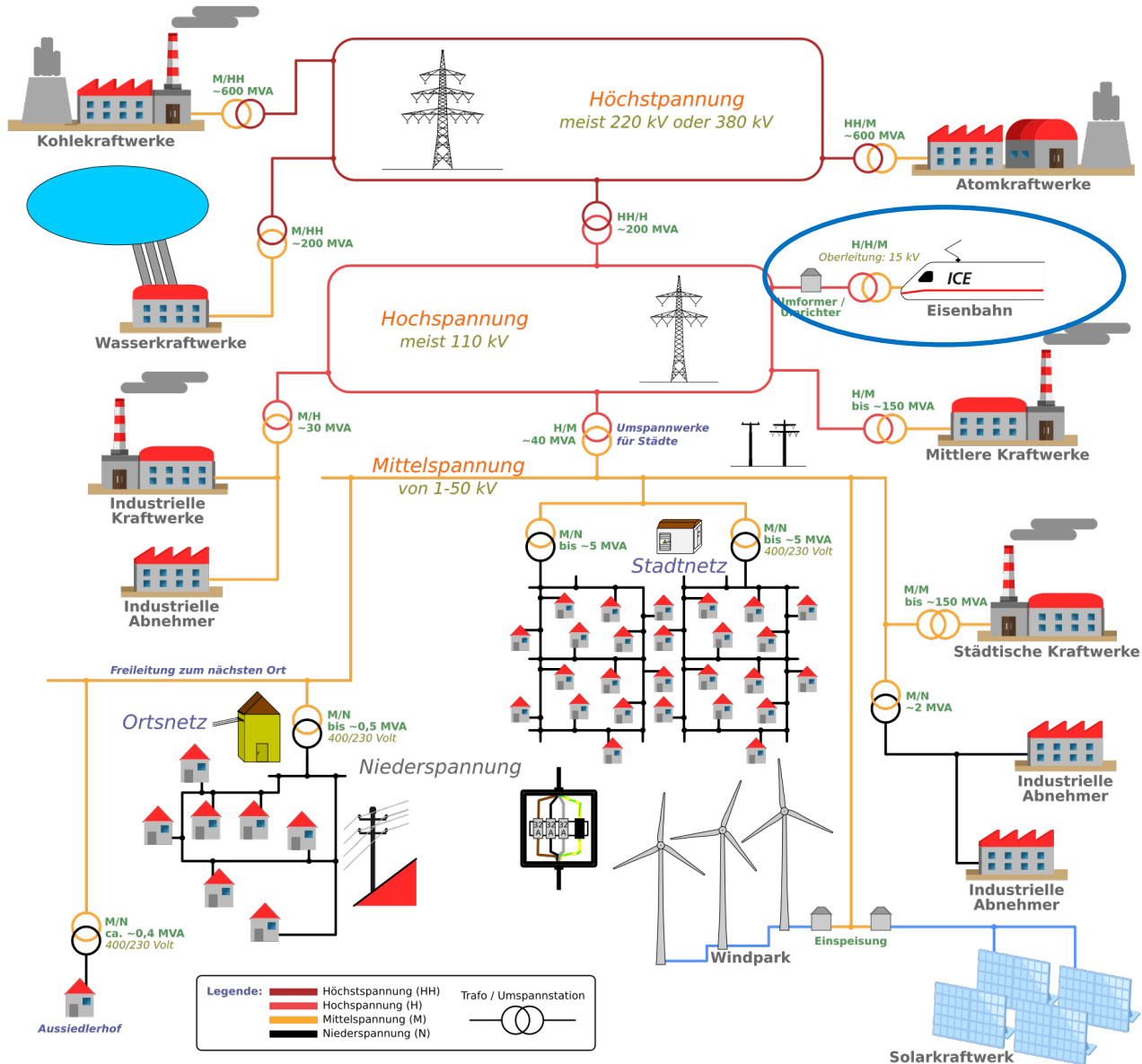
3. Aufbau der Bahnenergieversorgung

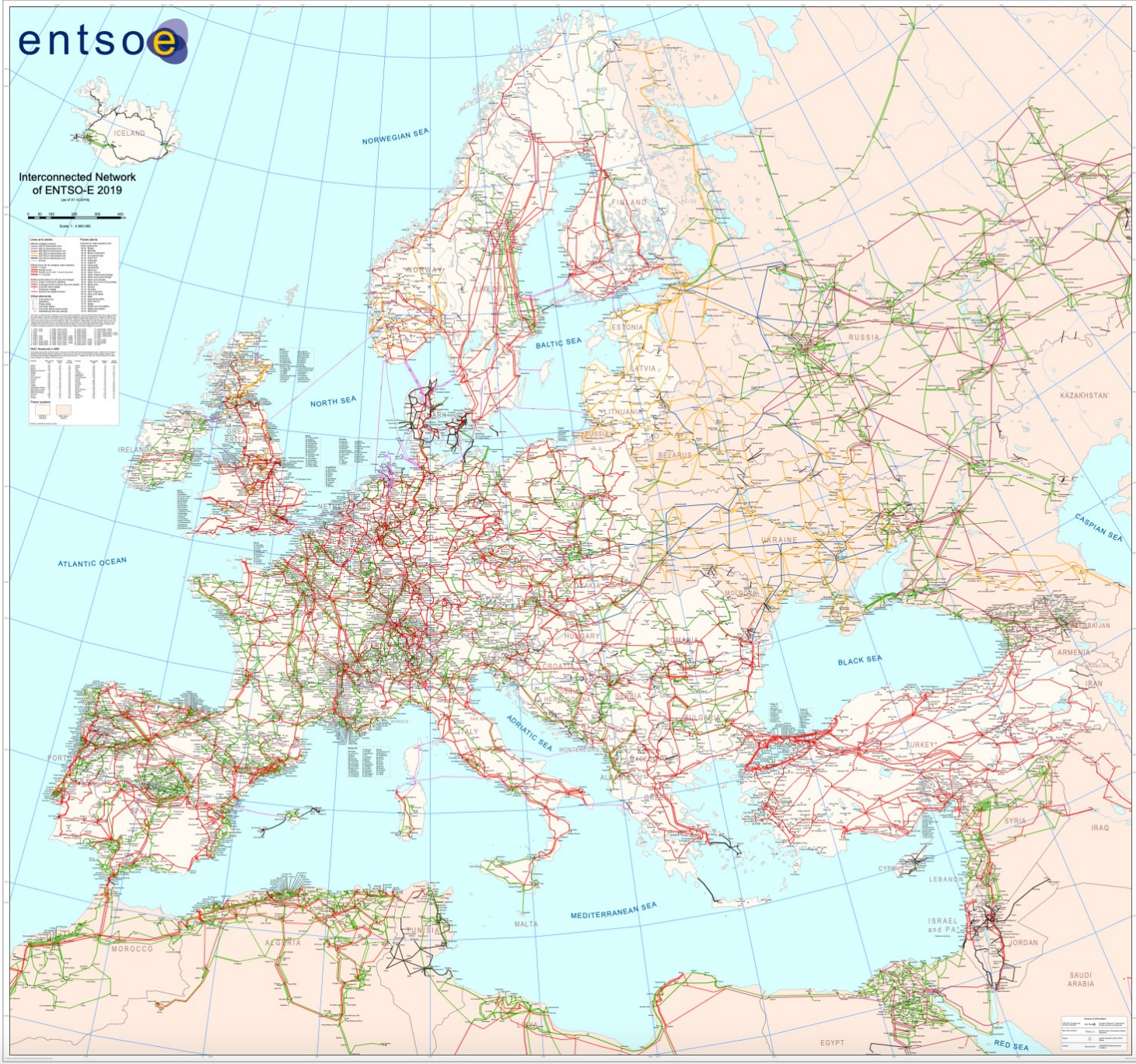
4. Unterschiede von Bahnenergieversorgung und
öffentlicher Energieversorgung

5. Zusammenfassung

Elektrische Energieversorgung oder „Wie kommt der Strom in die Steckdose?“







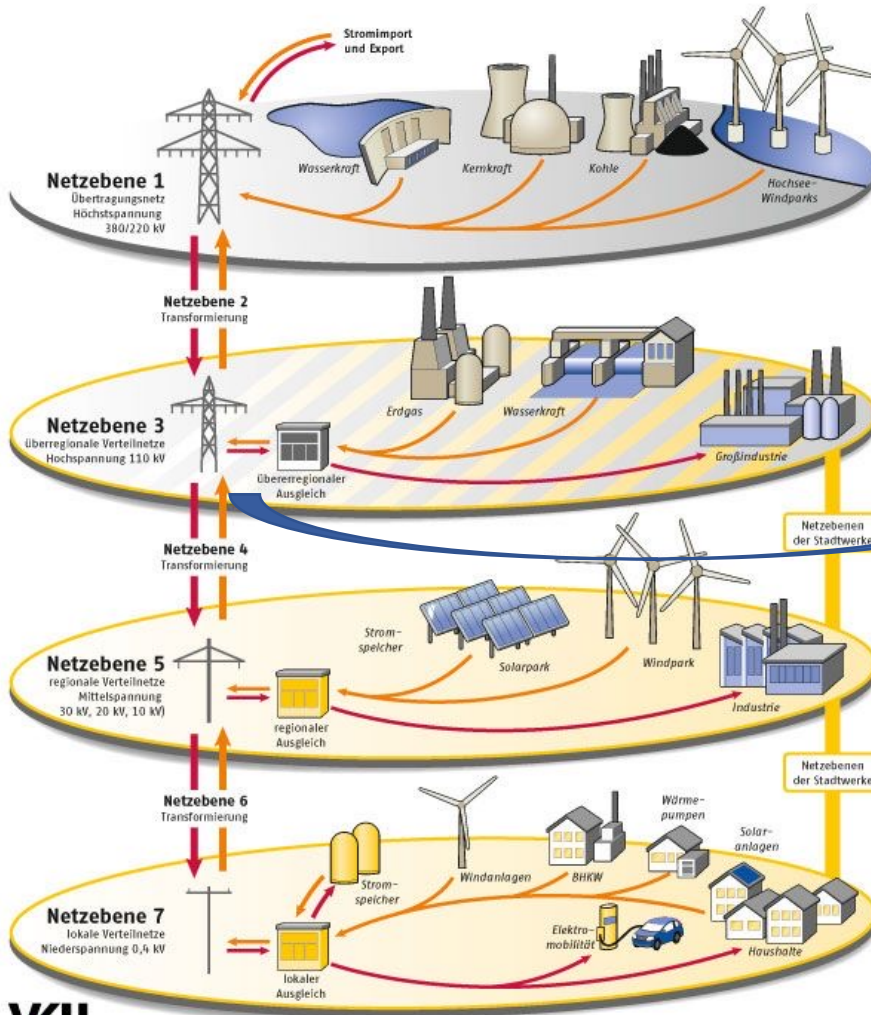
Europäisches Höchstspannungs- netz

Leitungslänge:
485.000 km

Kontinuierliche
Einspeisung mit
Nettoerzeugungs-
kapazität:
1.152.017 MW

Grenzkuppelstellen
zwischen den
Nationalstaaten:
430

Netzebenen und Stromfluss



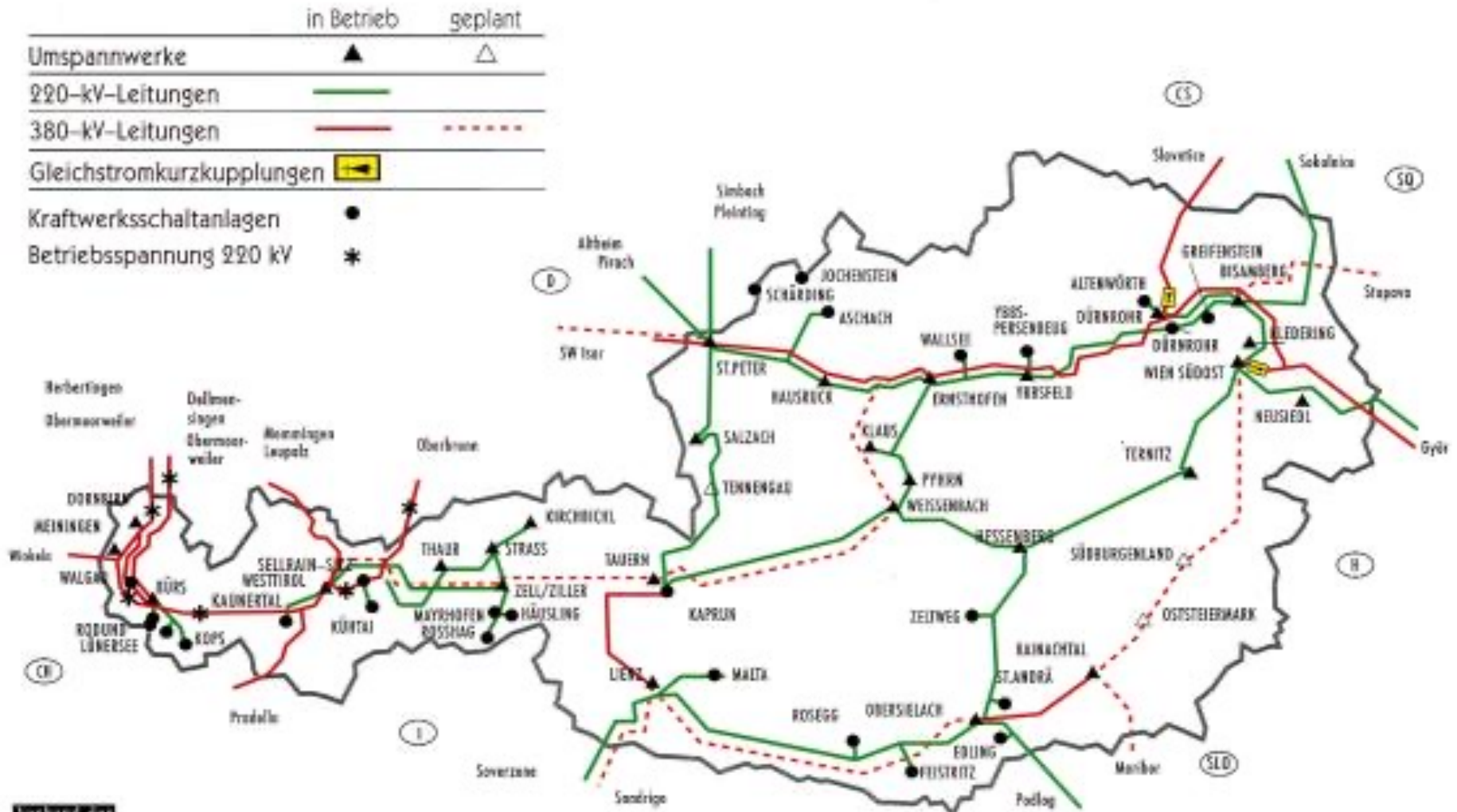
110 kV



15 kV



Höchstspannungsnetz Österreich



Bahnenergieversorgung – öffentliche Energieversorgung



Inhalt:

1. Elektrische Energieversorgung

2. Geschichte der Bahnenergieversorgung

3. Aufbau der Bahnenergieversorgung

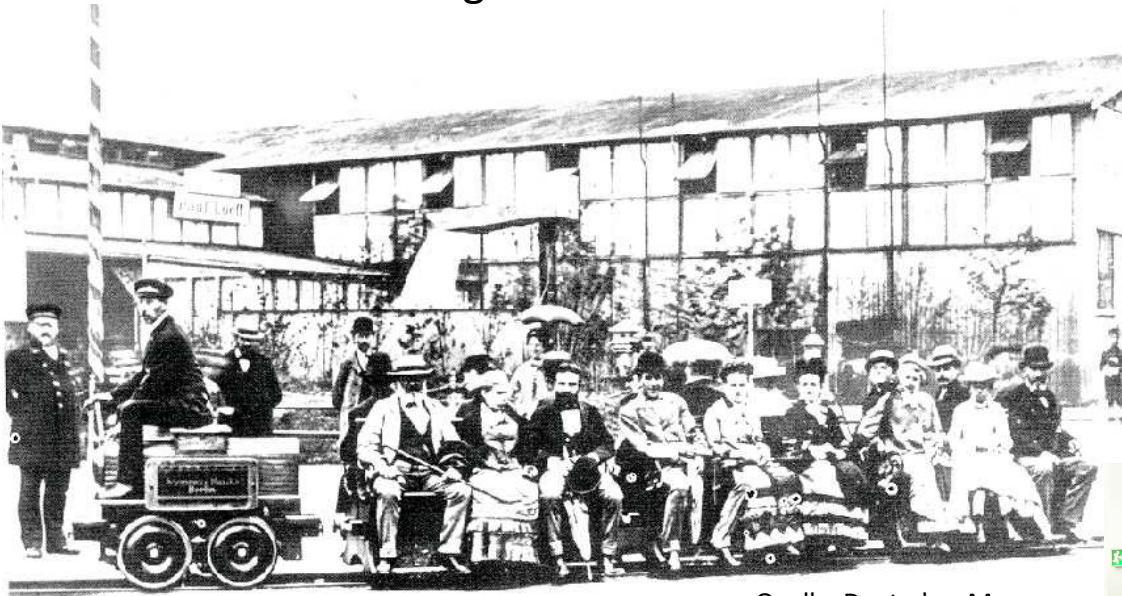
4. Unterschiede von Bahnenergieversorgung und
öffentlicher Energieversorgung

5. Zusammenfassung

Geschichte Bahnenergieversorgung

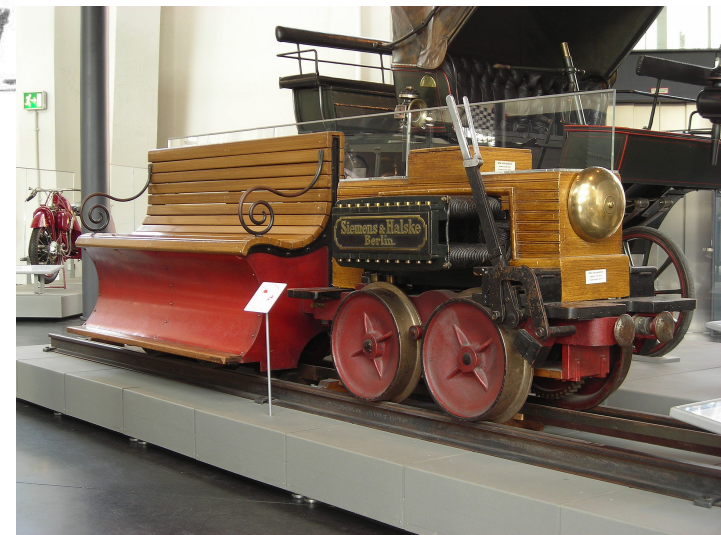
Der Beginn:

Gewerbeausstellung 31. Mai 1879 in Berlin

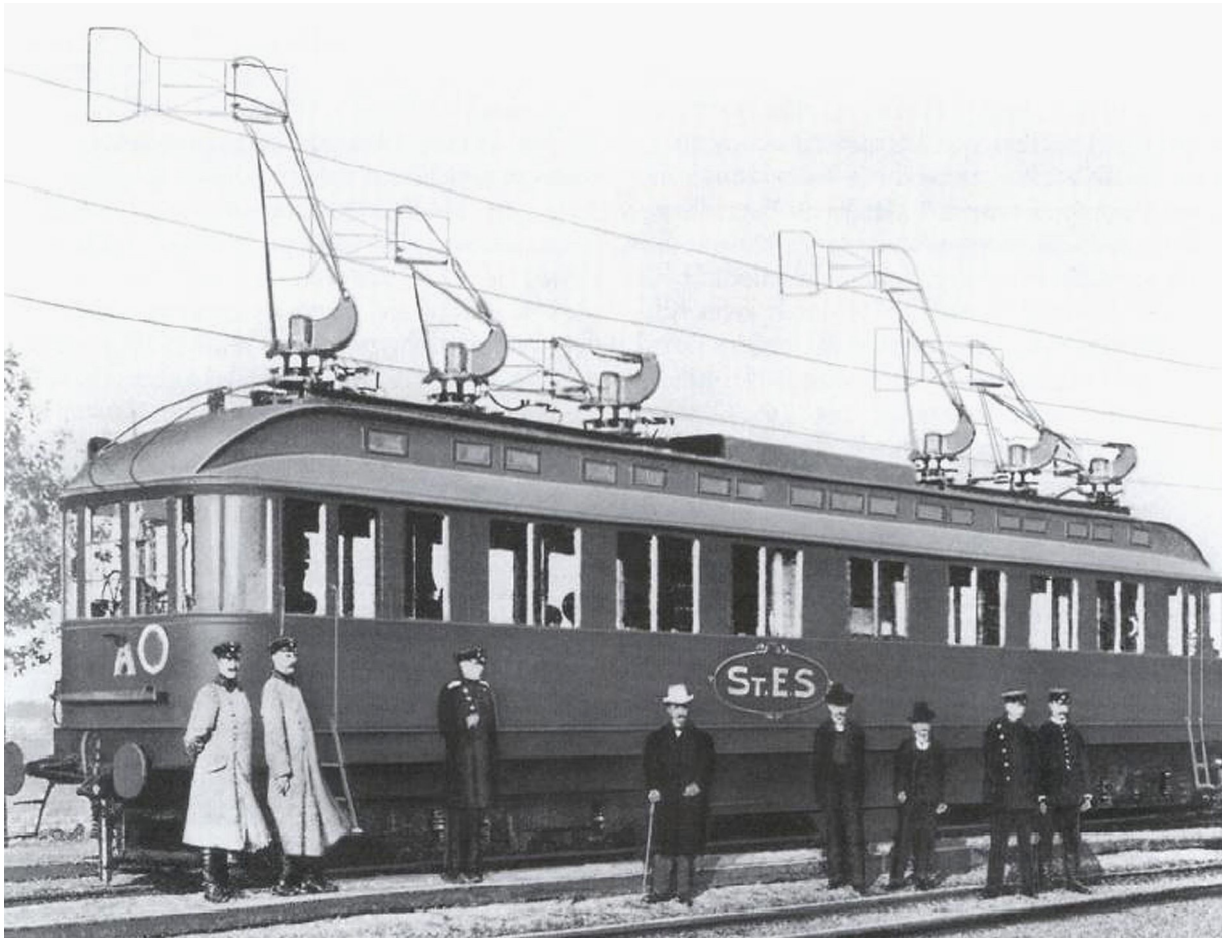


Quelle: Deutsches Museum

300 m Rundkurs
500 mm Spurweite
2,2 kW Leistung
6 km/h Geschwindigkeit



Geschichte Bahnenergieversorgung



1901:

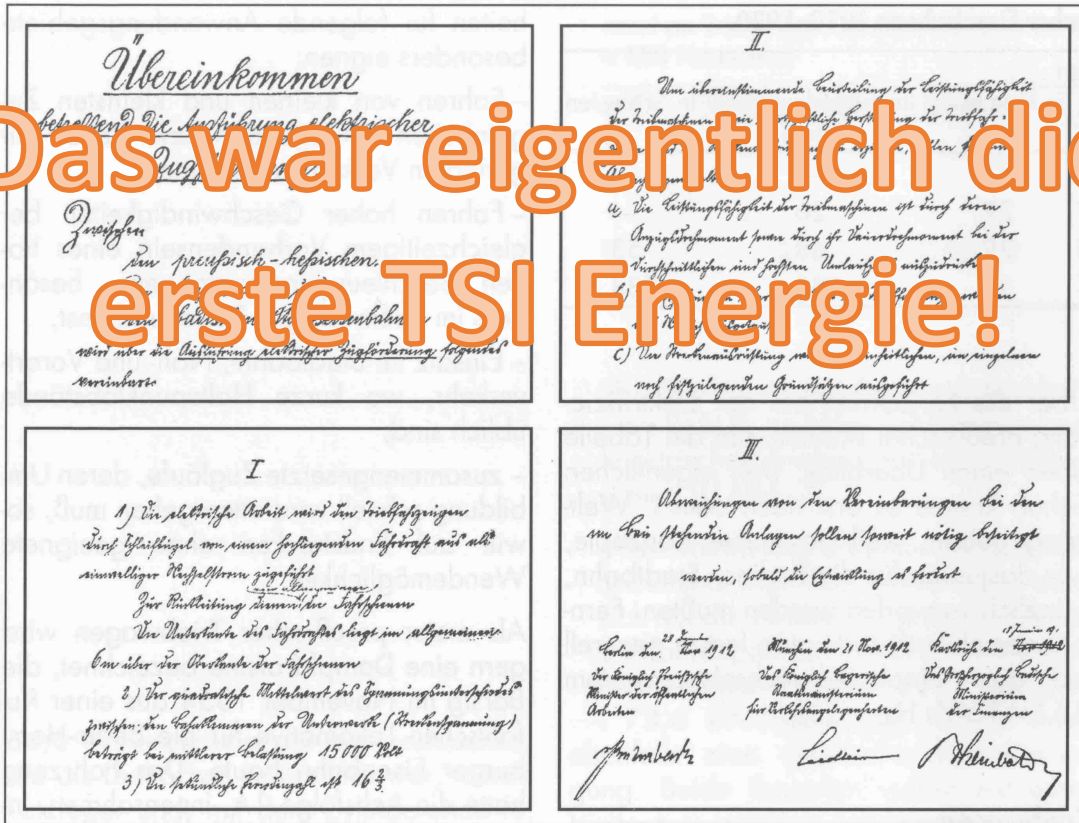
- Erste Versuchsfahrten von Siemens und AEG zwischen Marienfelde und Zossen bei Berlin
- Ausrüstung mit 10 kV und variabler Frequenz Dreiphasen-Fahrleitung für Versuchszwecke

1903:

- Geschwindigkeitsweltrekord 210,2 km/h mit AEG-Versuchstriebwagen
- Bild links: AEG-Triebwagen

Geschichte Bahnenergieversorgung

Das war eigentlich die erste TSI Energie!



Drei deutsche Bahnverwaltungen führten 1912 das BEV-System 15.000 V 16 2/3 Hz ein. Später übernahmen Österreich (BBÖ/ÖBB), Schweiz (SBB), Norwegen (NSB) und Schweden (ST) dieses System

Die Anregung kam durch die österreichische Elektrifizierung von Innsbruck über Garmisch-Partenkirchen nach Reutte (Außerfernbahn). Die damit erste Elektrifizierung in Bayern sollte deshalb gleichzeitig die Harmonisierung in Deutschland durchsetzen. Die Preußen hatten bis dahin 10 kV 15 Hz und Baden noch gar nicht angefangen. Das Dokument wurde übrigens im Umlaufverfahren unterzeichnet von November 1912 bis Januar 1913.

Quelle: <http://www.e94114.de/Eisenbahn/Elektrolokomotiven/Geschichte.htm>; download 01.02.2022

Geschichte Bahnenergieversorgung



Umstellung der Sollfrequenz des Bahnnetzes von $16 \frac{2}{3}$ Hz auf 16,70 Hz:

- 16.10.1995 (12:00 Uhr) – 1 Jahr Versuchsbetrieb
- Die Drehstrom-Synchronmaschinen werden bei geringen Lastschwankungen, also relative steife Frequenz von $16 \frac{2}{3}$ Hz, thermisch stark beansprucht.
- Schlupffrequenz geht wegen der gut geregelten 50-Hz- und $16 \frac{2}{3}$ -Hz-Netze gegen Null → Synchronlauf:
eine der drei Drehstromwicklungen wird von einem erheblichen Gleichstrom durchflossen, was zu einer thermischen Überlastung des Wicklungsstrangs und zur verstärkten und unregelmäßigen Abnutzung der Kohlebürsten und Schleifringe führt.
- Durch Verschiebung des Sollwerts um nur 0,2 % auf eine Sollfrequenz von 16,70 Hz wird das Auftreten von synchronen Betriebszuständen minimiert.

Aber: für dezentrales Netz Deutschland und Netze Schweden und Norwegen, wegen starrer Frequenzkupplung, gilt weiterhin die exakte Sollfrequenz von $16 \frac{2}{3}$ Hz!

Nach EN IEC 60038 ist die Bahnnetzennennfrequenz immer noch $16 \frac{2}{3}$ Hz!

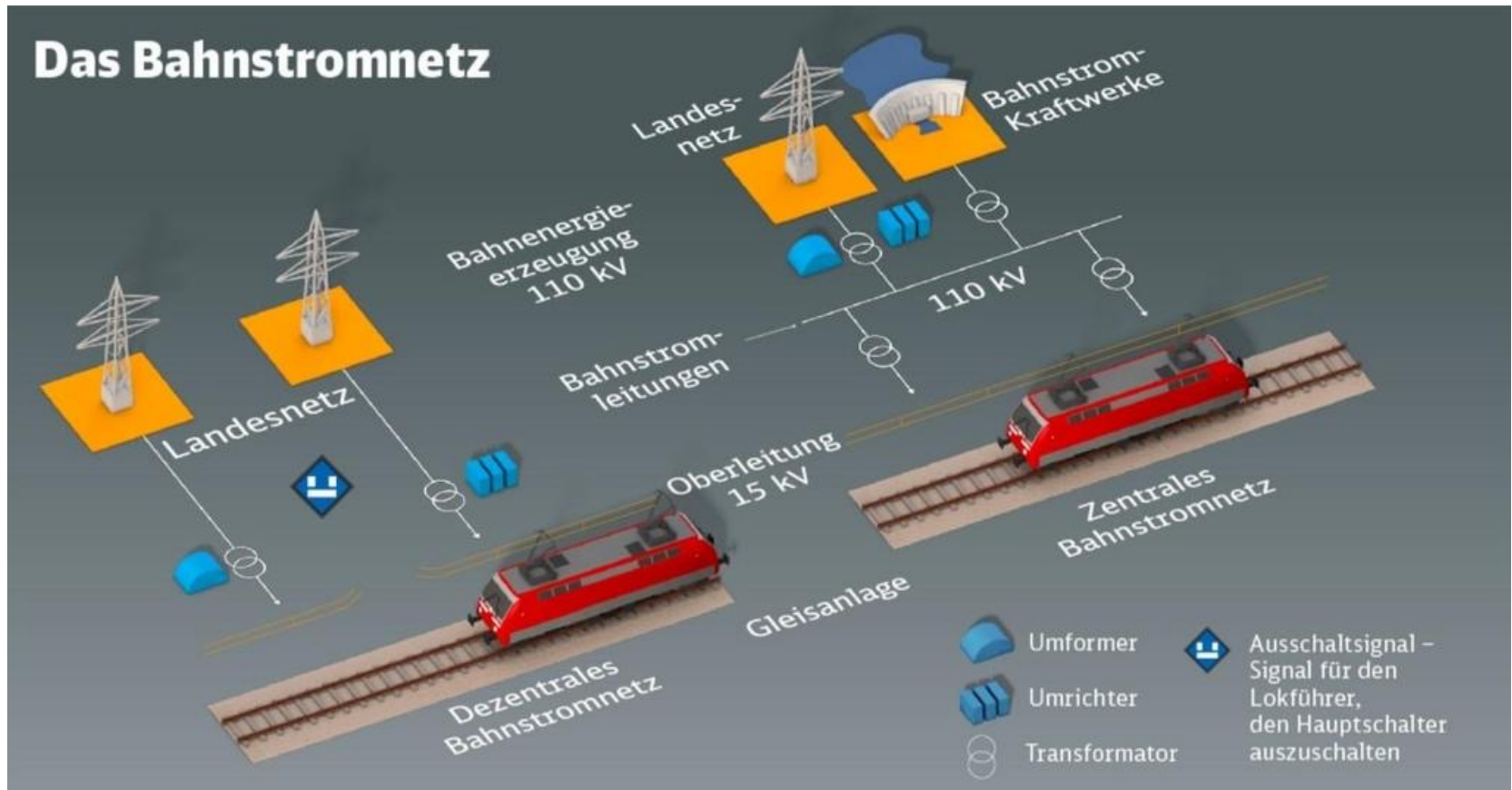
Bahnenergieversorgung – öffentliche Energieversorgung



Inhalt:

1. Elektrische Energieversorgung
2. Geschichte der Bahnenergieversorgung
3. Aufbau der Bahnenergieversorgung
4. Unterschiede von Bahnenergieversorgung und öffentlicher Energieversorgung
5. Zusammenfassung

Aufbau der Bahnenergieversorgung DB Netz AG



Quelle: DB Inside Bahn: Das Bahnstromnetz; www.inside.bahn.de, download 01.02.2022

Liberalisierung des Bahnstroms, 3. März 2022

Quelle: DB Netze: Bahnausbau Nordostbayern;
Themenbereich „Bahnstrm“; download 01.02.2022

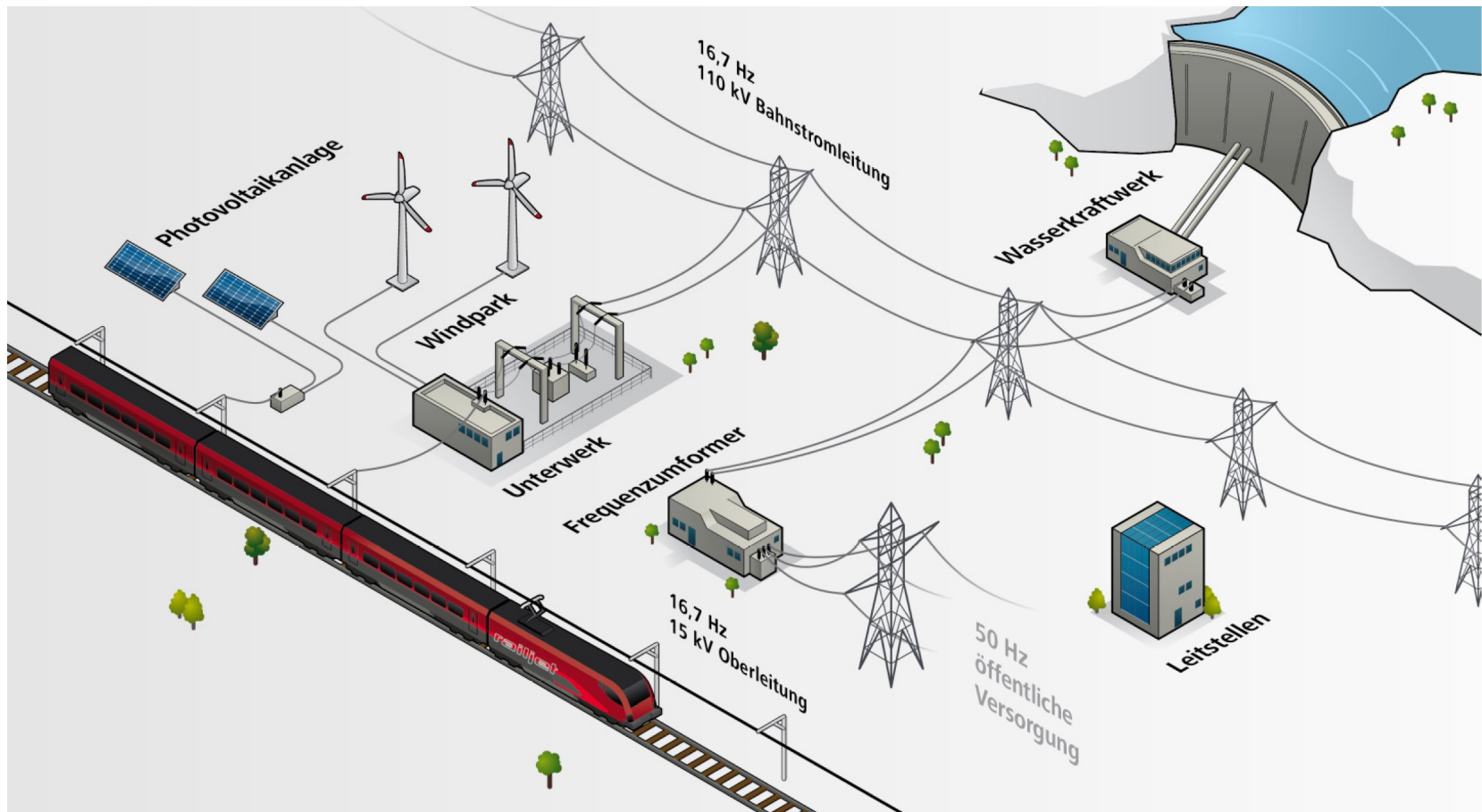


110-kV-Netz der DB Energie GmbH, Einphasen-Wechselstrom, 16,7 Hz



- Länge: ca. 7.800 km
(galvanisch mit ÖBB 110-kV-Netz verbunden, damit größtes galvanisch zusammenhängendes Netz in Europa)
- Masten: circa 25.000
- Frequenzumformer:
 - zentral: 20
 - dezentral: 19
- Unterwerke: 175
- Leitstelle: 1 (FFM)
- Energiebedarf: circa 11 TWh/a

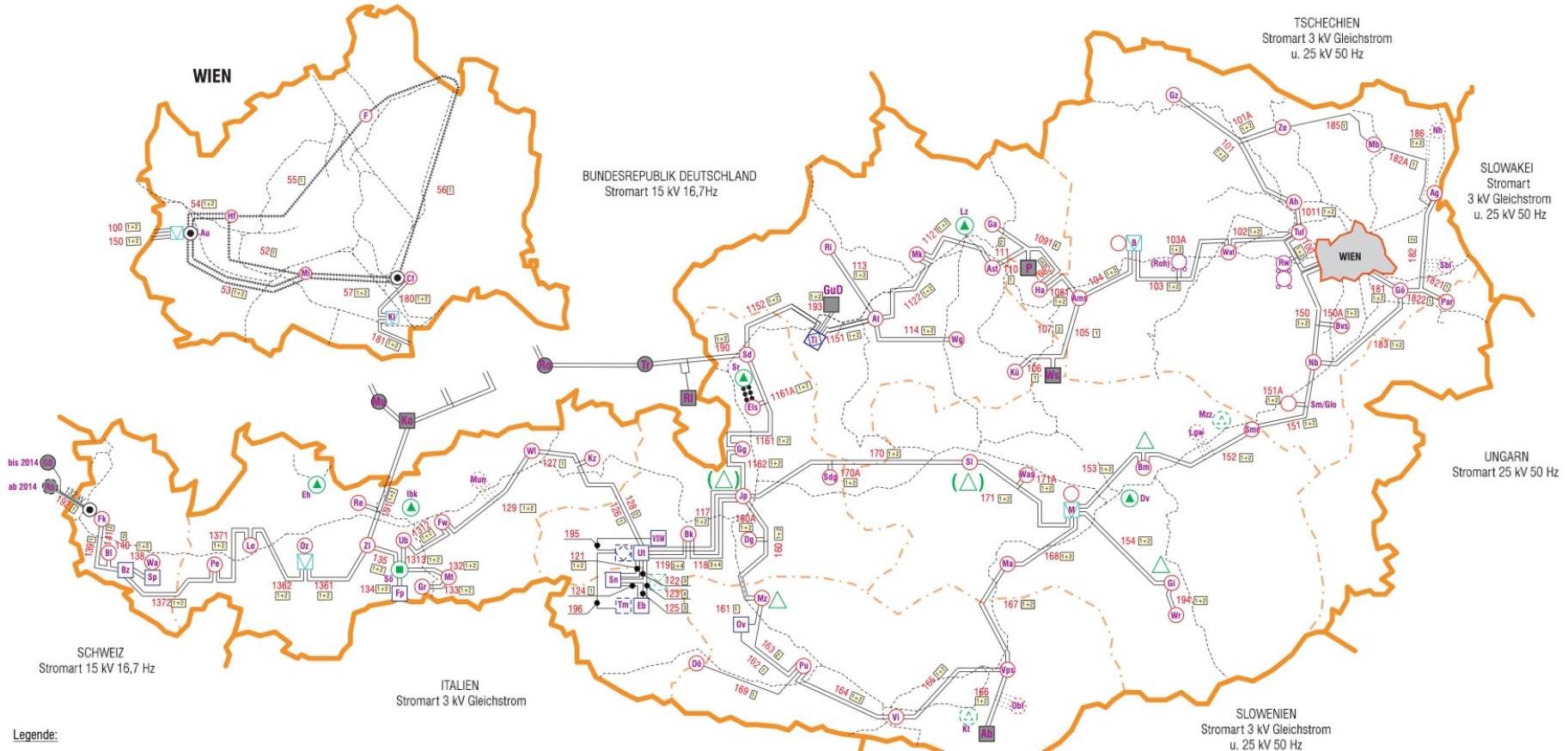
Aufbau Bahnenergieversorgung ÖBB-Infrastruktur AG



Quelle: ÖBB-Infrastruktur AG/BS/TBF: Bahnsysteme, TBF /LV, ÖBB Netz; 2018

Liberalisierung des Bahnstroms, 3. März 2022

ÖBB-Bahnstromleitungsnetz 2AC 55/110 kV 16,7 Hz



Legende:

Ab Annabrücke (ÖDK)	Dö Dölsach	GuD Timelkam (EAG)	Kz Kitzbühel	Ng Neulengbach	Rü Rüthi (SBB)	Tr Traunstein (DB)
Ag Angern	Dv Donawitz	Gz Göggritz	Lav Lavanttal	Nh Hohenau	Rw Rekawinkel	Tuf Tullnerfeld
Ah Absdorf-Hippersdorf	En Enzingerboden	H Hirt	Le Landeck	Obl Oberflöhen	Sd Steindorf	Ub Unterberg
Ams Amstetten	Ebn Eben im Pongau	Ha Haag	Lgw Langenwang	Ov Obervellach	Sdl Schladming	Us Lustenau
Ast Asten	Eh Ehrwald	Hch Hochfilzen	Lz Linz	Oz Ötztal	Sl Selzthal	Ut Uttendorf
At Attnang-Puchheim	El Elsbethen	Hf Hütteldorf	M St. Michael	P St. Pantaleon (EKW)	Slg Schlößberg	Vi Villach
Au Auhof	Fl Floridsdorf	Hi Hieflau	Ma Mariahof	Pa Passau (DB)	Sm/Glo Schläglmühl/Gloggnitz	Vps St. Veit a. d. Gian
B Bergern	Fk Feldkirch	Hz Wien Mitte	Mb Mistelbach	Par Parndorf	Smr Semmering	Vsw Schwarzenbach (Verbund)
Bk Bruck-Fusch	Fp Fulpmes	Ibk Innsbruck	Mi Meidling	Pe Pettneu	Sn Schneideerau	Wa Wald am Arlberg
Bl Bludenz	Fw Fritzens-Wattens	Jb Judenburg	Mk Marchtrenk	Piv Pöblleithen	Sö Schönberga	Wat Wagram
Bm Bruck an der Mur	Ga Gaisbach-Wartberg	Jp St. Johann im Pongau	Mt Matriei	Pu Pusarnitz	Sp Spullersee	Was Wald am Schoberpaß
Bvs Vöslau	Gg Golling	Kch Kirchberg in Tirol	Mu Murnau (DB)	Re Reith	Sr Saizburg-Gnigl	Wag Warberg an der Krems
Bz Braz	Gr Graz	Kl Kledering	Mun Münster	Ri Riedau	Su Stockerau	Wg Wörgl
Cf Simmering	Gö Götzendorf	Ko Kocheil (DB)	Mz Mallnitz	Rl Reichenhall (DB)	Ti Timelkam	Wl Werdorf
Dg Dorfgastein	Gr Gries am Brenner	Kl Klagenfurt	Mzz Müritzschlag	Ro Rosenheim (DB)	Tm Tauerntal	Ws Weyer (EKW)
Dib Deutschlandsberg	Gs Gosau (SBB)	Kü Küpfen	Nb Wr. Neustadt	Roh Rohr		

in Betrieb		geplant	
	Kraftwerk		Umformerwerk
	Umrichterwerk		Pumpwerk
	Unterwerk		Fahrbares Unterwerk
	Netzakupplung		Kuppelstelle
	Schaltposten		Schaltstelle
	Übertragungsleitung 110 kV		Übertragungsleitung 55 kV
	Übertragungsleitung 15 kV		Elektr. Strecken
	Bahnfremdes Kraftwerk		Bahnfremdes Unterwerk
	Kompensationsanlage		

Kurzzeichen in Klammer, wenn die Anschlussstelle nicht ständig mit fLW besetzt ist.

Aufbau Bahnenergieversorgung ÖBB-Infrastruktur AG



- Länge Bahnenergieleitungen 110 / 55 kV: 2133 km Freileitung, 51 km Kabel
- Masten Bahnenergieleitungen 110 / 55 kV: 7125
- Wasserkraftwerke: 10 (8 WKW 16,7 Hz, 2 WKW 50 Hz)
- Frequenzumformer: 7
- Photovoltaikanlagen: 3
- Unterwerke: 62
- Leitstelle: 1 (Innsbruck)
- Eigenerzeugung: ca. 700 GWh
- Energiebedarf: circa 1,7 – 1,9 TWh/a



Quelle: ÖBB-Infrastruktur AG: Bahnstromleitungen, wichtige Informationen; 2021

Liberalisierung des Bahnstroms, 3. März 2022



Dr.-Ing. Thomas Dreßler

Bahnenergieversorgungssysteme

Wechselstrom

einphasig

16,7 Hz, 15 kV



25 Hz, 12 kV

50 Hz, 25 kV



50 Hz, 50 kV

60 Hz, 25 kV



60 Hz, 50 kV

50 Hz, 15 kV

Für das Laden von Energiespeicherfahrzeugen

dreiphasig ¹⁾

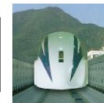
16 ²/₃ Hz, 6 kV

16 ²/₃ Hz, 20 kV

50 Hz ²⁾, 20 kV



50 Hz ²⁾, 66 kV



- 1) Drehstrom
- 2) Am Fahrweg anliegende Frequenz variabel

Gleichstrom

250 V

500V

600 V

750 V



1200 V

1500 V



3000 V

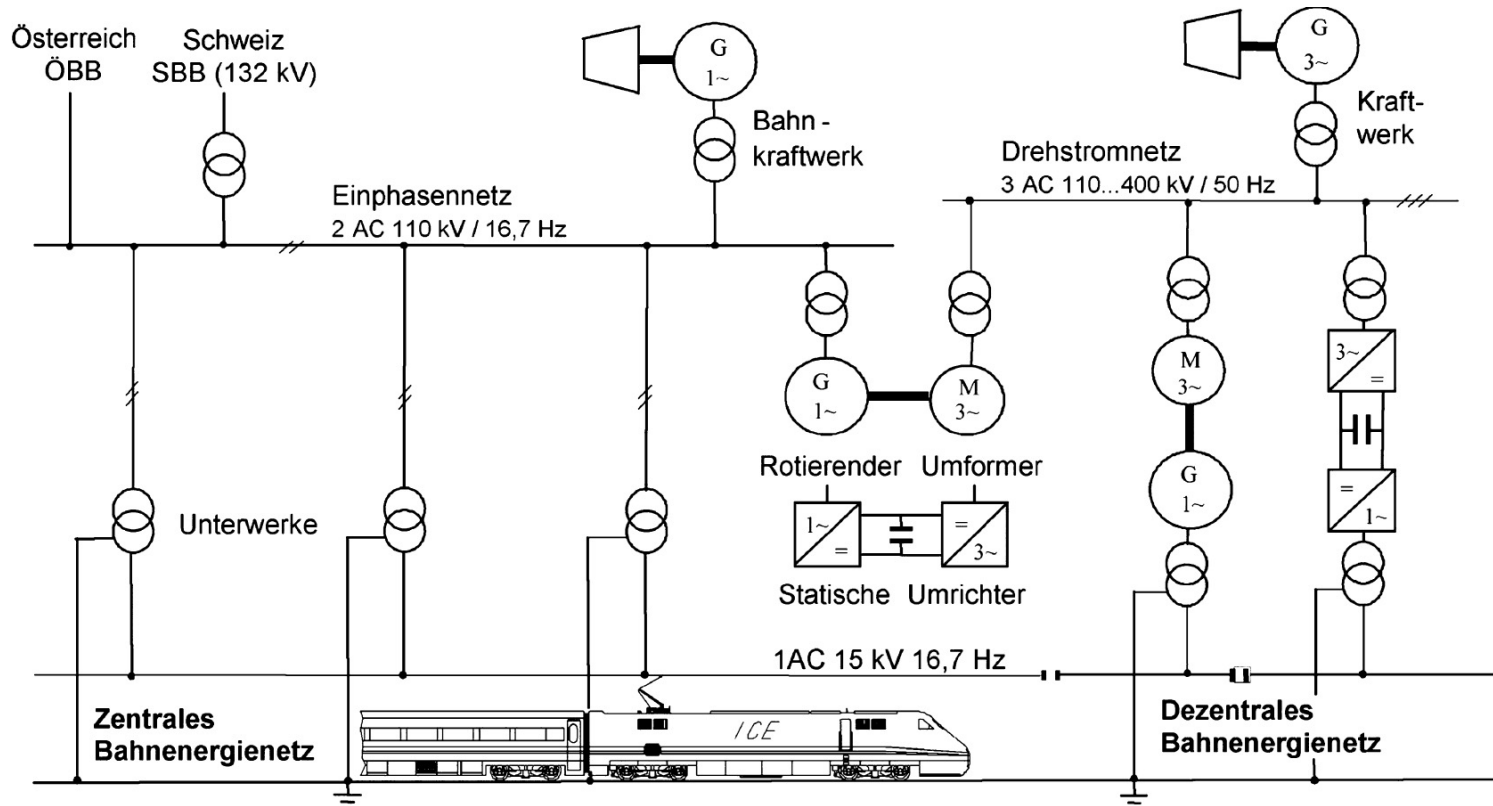


BEV-Systeme Europa



Liberalisierung des Bahnstroms, 3. März 2022

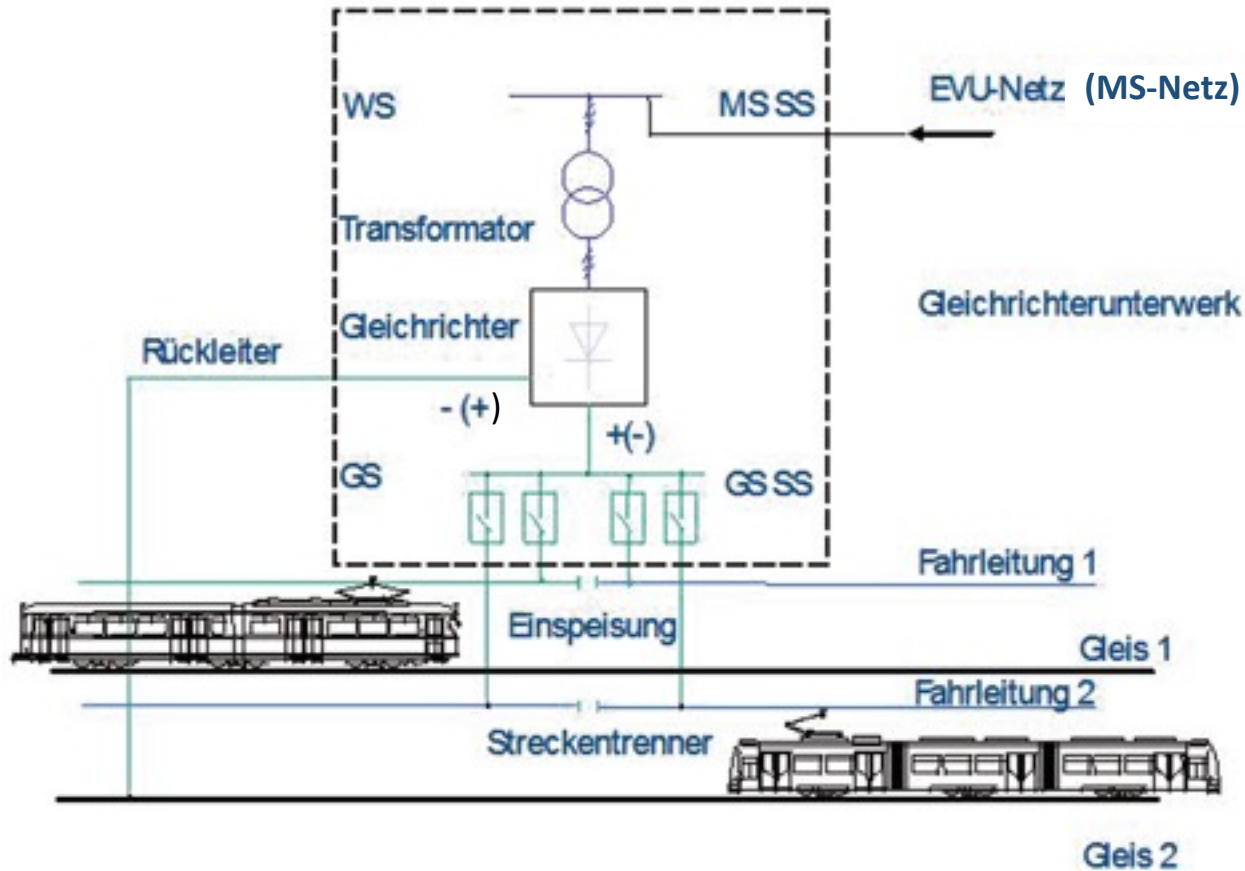
Prinzipieller Aufbau der Vollbahnenergieversorgung



Das Fahrleitungsnetz ist kein Transportnetz, sondern dient der Energiezuführung zu den Triebfahrzeugen. Andere Verbraucher sind nicht vorgesehen und technisch in der Auslegung nicht berücksichtigt.

Liberalisierung des Bahnstroms, 3. März 2022

Prinzipieller Aufbau der Nahverkehrsbahnenergieversorgung



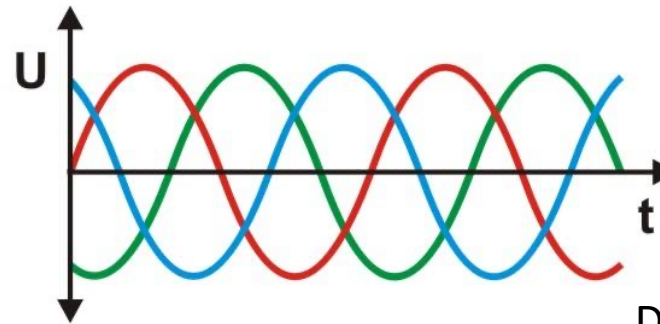
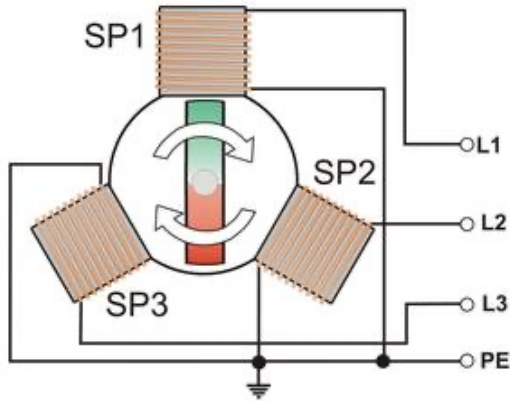
Bahnenergieversorgung – öffentliche Energieversorgung



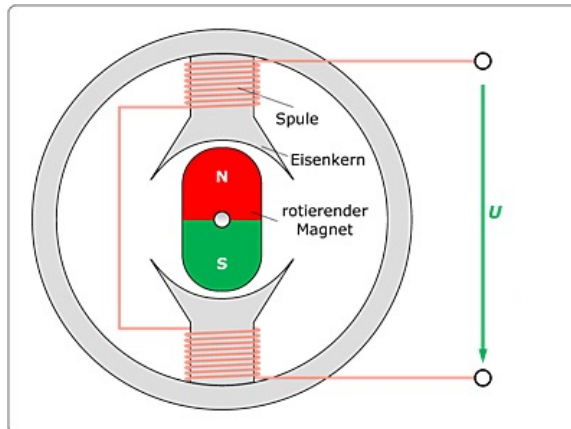
Inhalt:

1. Elektrische Energieversorgung
2. Geschichte der Bahnenergieversorgung
3. Aufbau der Bahnenergieversorgung
4. Unterschiede von Bahnenergieversorgung und öffentlicher Energieversorgung
5. Zusammenfassung

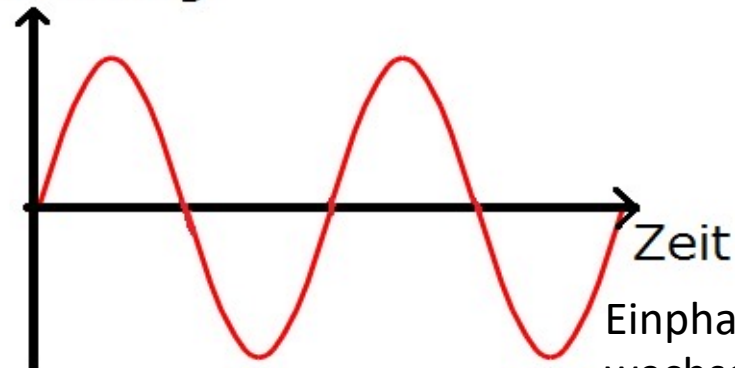
Unterschied Dreiphasen-Drehstrom zu Einphasen-Wechselstrom



Dreiphasen-
wechselfspannung



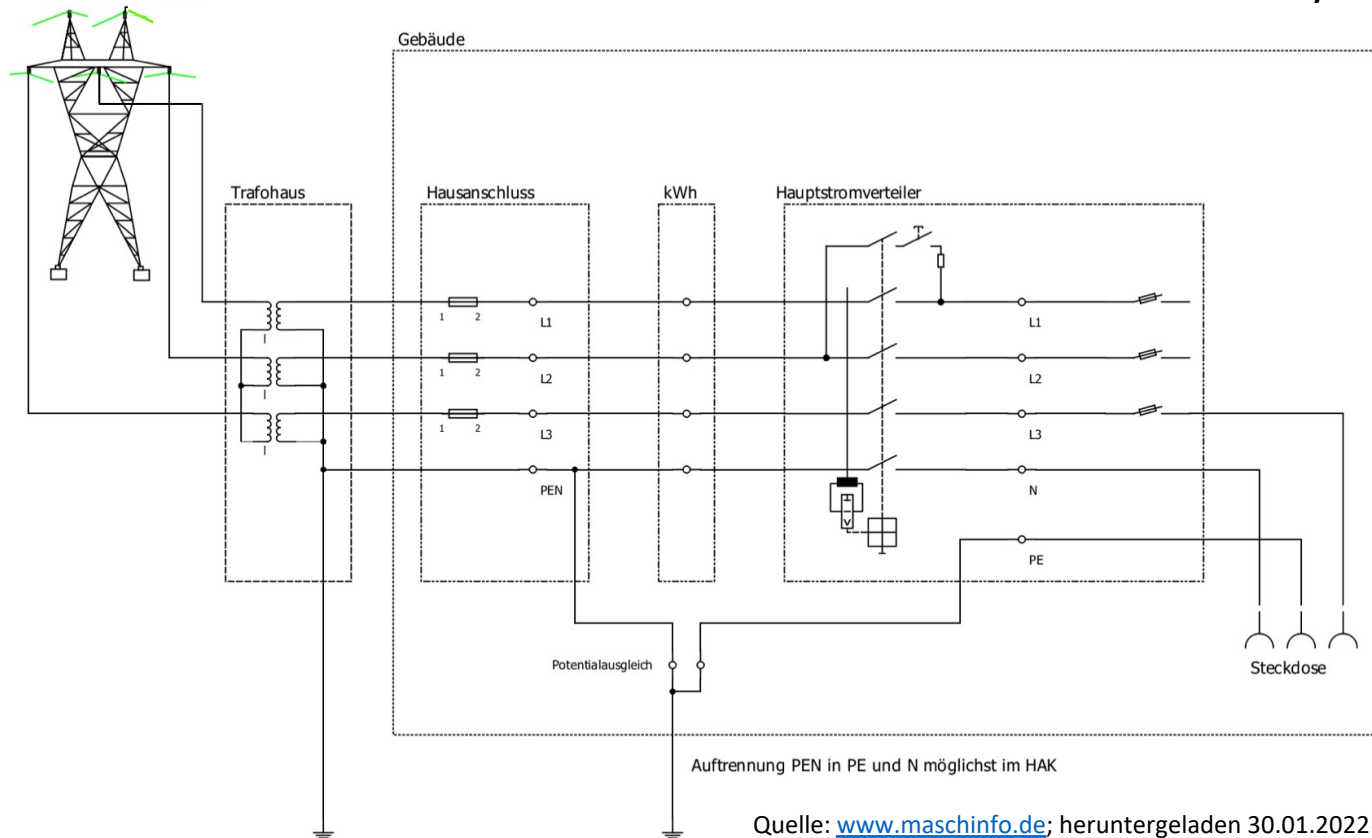
Spannung



Einphasen-
wechselfspannung

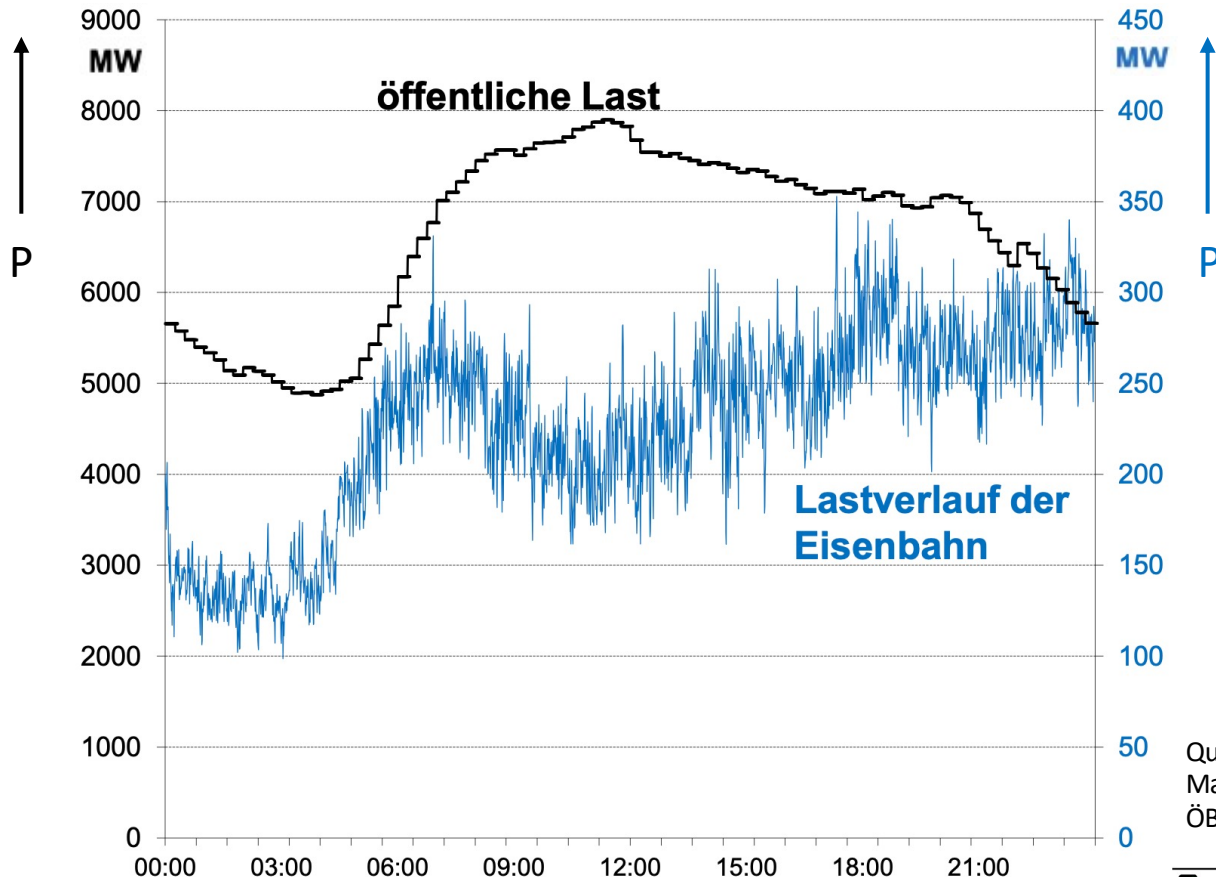
Unterschied Dreiphasen-Drehstrom zu Einphasen-Wechselstrom

TN-C-S System



Quelle: www.maschinfo.de; heruntergeladen 30.01.2022

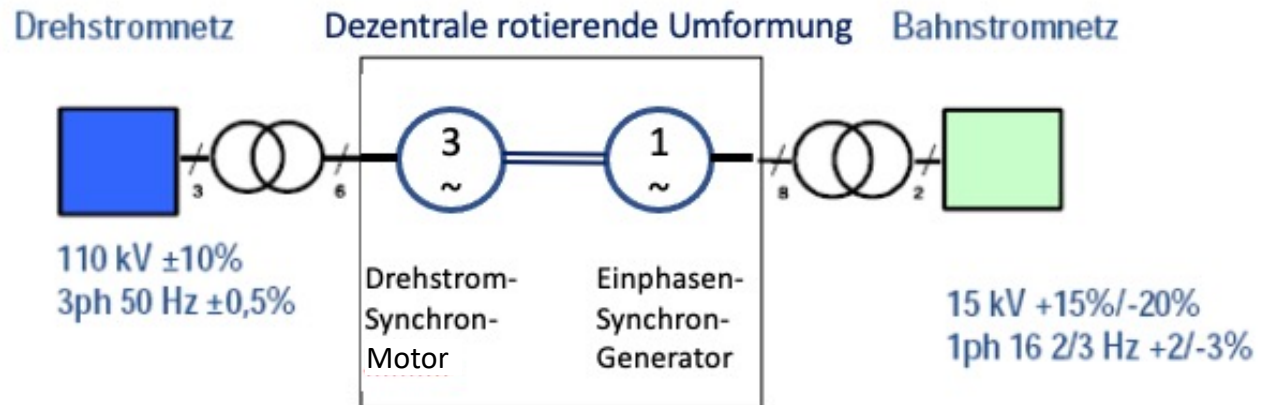
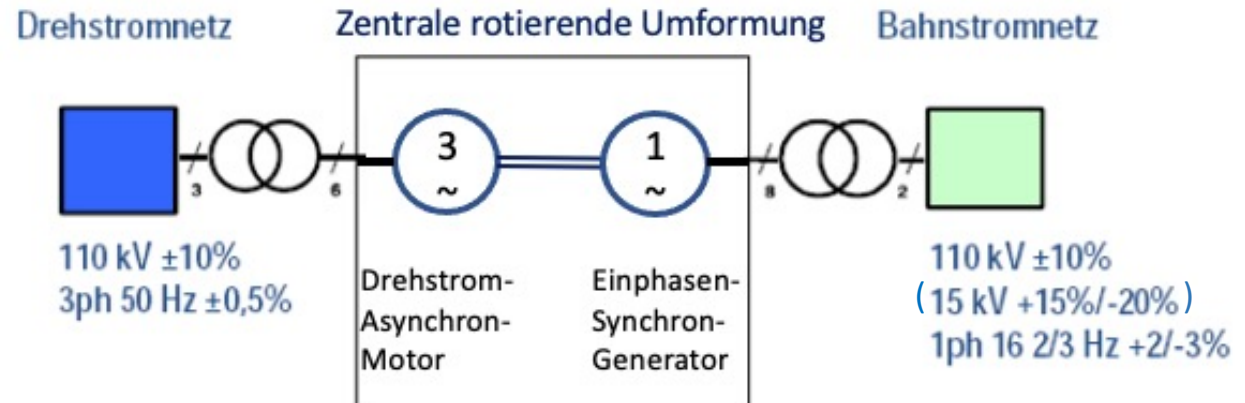
Unterschiedliche Lastgänge öffentliche Energieversorgung - Bahnenergieversorgung



Liberalisierung des Bahnstroms, 3. März 2022

Quelle: ÖBB-InfrastrukturAG, DI Dr. Pluy:
Marktöffnung des Bahnstromnetzes der
ÖBB-INFRA, 2015

Frequenzumformung für die Bahn



Frequenzumformung für die Bahn

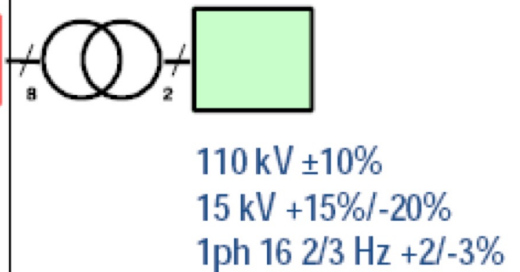
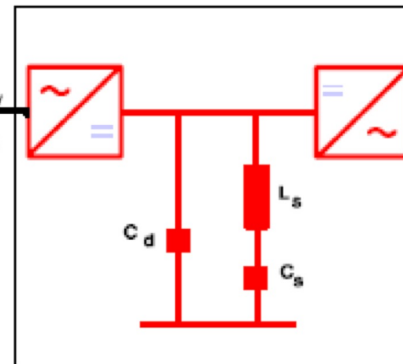
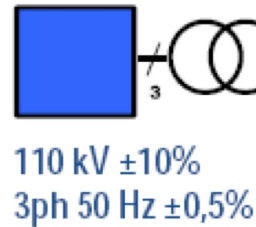
Statische Netzkupplungsumrichter



Drehstromnetz

Statischer Umrichter

Bahnstromnetz



In zentraler und dezentraler BEV möglich.

Elektrizitätswirtschafts- und organisationsgesetz 2022 (EIWOG)



Systemnutzungsentgelte bestimmt sich aus:

- Netznutzungsentgelt
- Netzverlustentgelt
- Netzzutrittsentgelt
- Netzbereitstellungsentgelt
- Systemdienstleistungsentgelt (Regelleistungen)
- Entgelt für Messleistungen
- Entgelt für sonstige Leistungen ggf. dem Entgelt für internationale Transaktionen und für Verträge für den Transport von Energie gem. §113 Abs. 1

Liberalisierung des Bahnstroms, 3. März 2022



Dr.-Ing. Thomas Dreßler

Netzentgelt Bahnstromnetz ÖBB-Infrastruktur AG 2022



Grundlagen für die Festlegung Netzentgelt:

- Frequenzumformer (Umformer- und Umrichterwerke)
- Bahnstromleitungen (110 / 55 kV)
- Energieverluste, bestehend aus
 - Frequenzumformerverluste
 - Frequenzumformerverluste durch rotierende Reserve
 - Bahnstromleitungsverluste, Trafoverluste im Umspannwerk (Unterwerk)
 - Oberleitungsverluste
- Netzkosten des vorgelagerten 50-Hz-Übertragungsnetzes
- Mehrkosten aus der ÖMAG-Zuweisung (Abwicklungsstelle für Ökostrom)
- Netzkosten „Timelkamvertrag“
- Anteilige Kosten für die Zentrale Leitstelle Innsbruck

Netzentgelt Bahnstromnetz ÖBB-Infrastruktur AG 2022



Weitere Grundlagen für die Festlegung Netzentgelt:

- Anteilige Kosten des Geschäftsbereichs
- Blindleistungsvorhaltung
- Erwartete Zusatzkosten (Absatzschwankungen und sonstige Unsicherheiten)
- Kosten für Regulierungsmanagement
- Kosten für Schwarzstartfähigkeit
- Bereitstellung der Systemdienstleistungen, bestehend aus:
 - Anteil Frequenzumformer für Ausfallsicherheit
 - Anteil Kraftwerkseinsatz für die Regelleistung
 - Anteil Kraftwerksreserve für Revisionen Frequenzumformer
 - Anteil Kraftwerkseinsatz für Spannungsvorhaltung Lindau
 - Anteil Kraftwerkseinsatz für Engpassmanagement

Bahnenergieversorgung – öffentliche Energieversorgung



Inhalt:

1. Elektrische Energieversorgung
2. Geschichte der Bahnenergieversorgung
3. Aufbau der Bahnenergieversorgung
4. Unterschiede von Bahnenergieversorgung und öffentlicher Energieversorgung

5. Zusammenfassung

Unterschiede öffentliche Energieversorgung - Bahnenergieversorgung

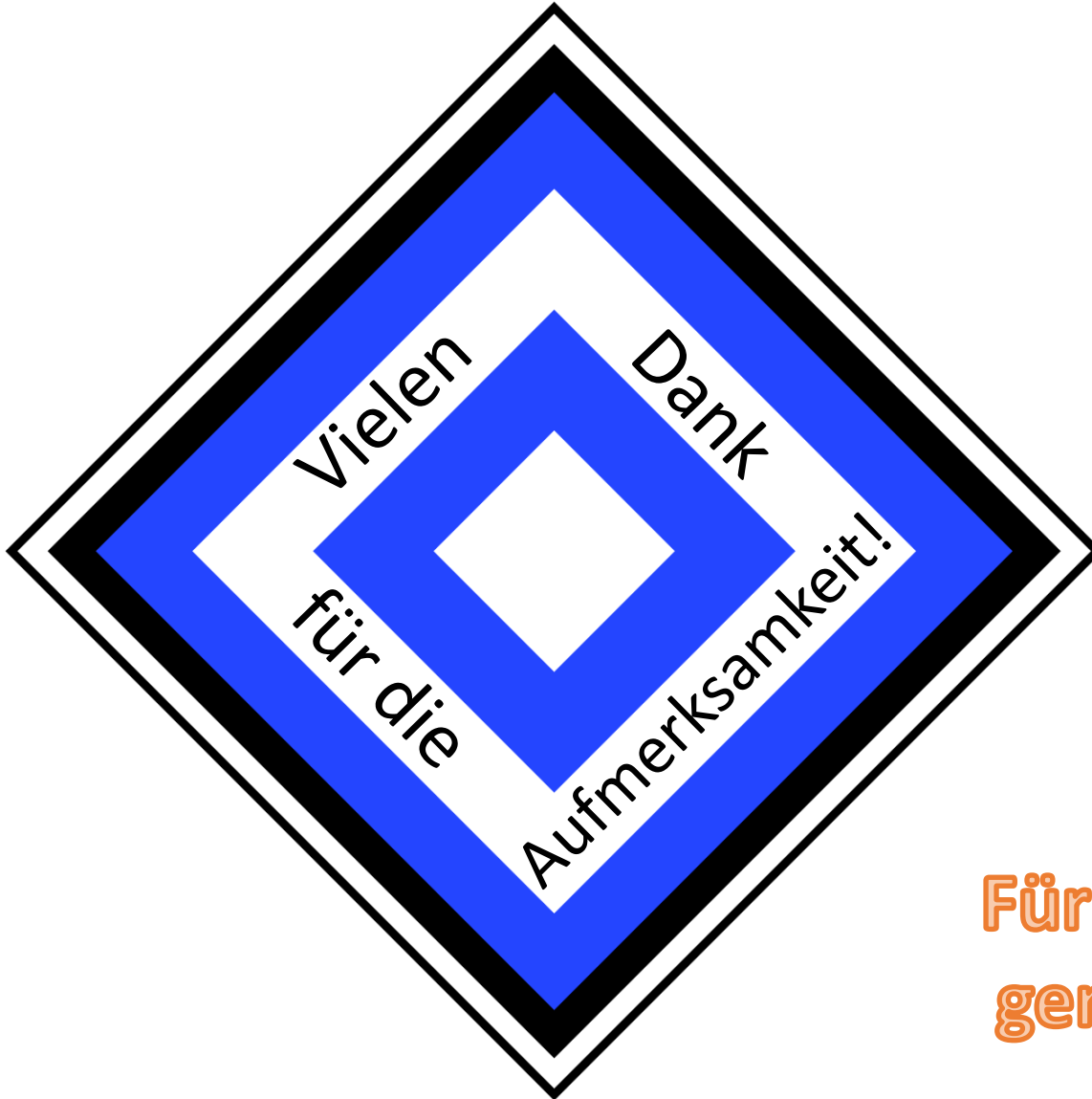


	Öffentliche Energieversorgung	Bahnenergieversorgung 16,7 Hz
Netzgestaltung	Dreiphasen-Drehstrom	Einphasen-Wechselstrom
Rückleitung		Schiene, Erde
Lastschwankungen	gering	sehr groß
Verbraucher	stationär	ortsveränderlich
Einzelverbrauch/Gesamtlast	1:225	1:49
Groß- und Kleinverbraucher	ja	nein
Kurzschlusshäufigkeit	gering	sehr groß
Frequenzumformung	nein	ja
Preisbildung	Messleistungen	Frequenzumformung, Regelleistung

Liberalisierung des Bahnstroms, 3. März 2022



Dr.-Ing. Thomas Dreßler



Für Fragen stehe ich
gern zur Verfügung.