

Elektrifizierungsvarianten für das deutsche Schienennetz



DLR | Institut für Fahrzeugkonzepte
Johannes Pagenkopf

Berlin, 10.11.2022

Agenda

Elektrifizierungsvarianten für das deutsche Schienennetz

- Elektrische Traktion heute
- Geplanter Ausbau der Streckenelektrifizierung
- Forderungen der Fachverbände
- Technische Varianten der (Teil-)Elektrifizierung



Kettenwerksfahrleitungen – Stromsystem und Oberleitung ::
Trackopedia



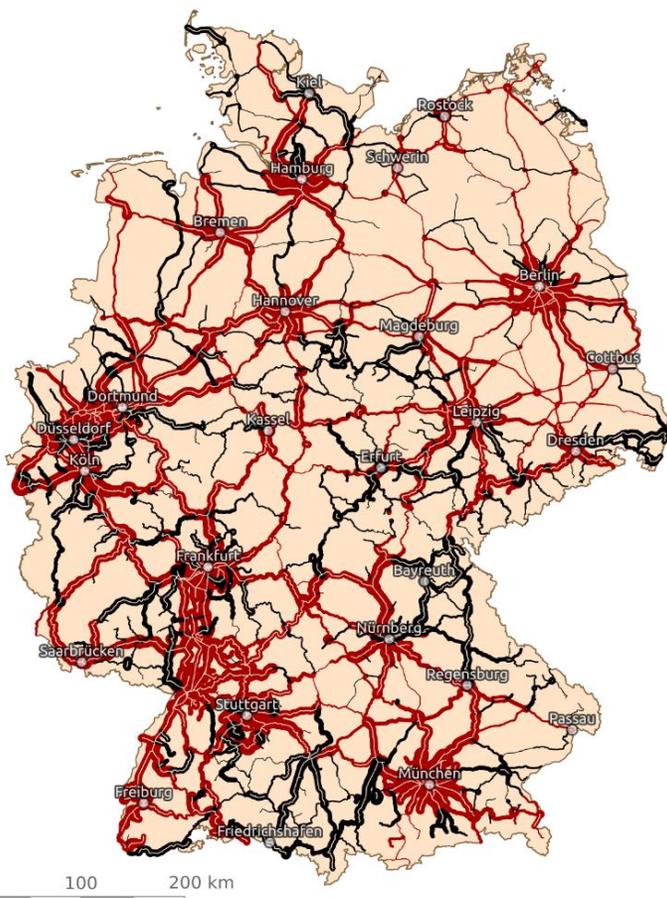
Bild: evb



Stadwerke Tübingen
(swtue.de)



Elektrische Traktion in Deutschland heute

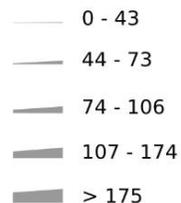


Verkehrsbelastung Schienenpersonennahverkehr 2020

Verkehrsbelastung des SPNV auf Streckenebene in Deutschland 2020. In jedem Intervall gleiche Anzahl an Fahrten.

Verkehrsbelastung

Anzahl tägliche Fahrten, beide Fahrrichtungen



Strecke elektrifiziert

- Ja
- Nein

Datenquellen: Fahrplandaten von gtfs.de
GeoBasis-DE / BKG (2021J) (Daten verändert)
© OpenStreetMap-Mitwirkende
DLR Institut für Fahrzeugkonzepte

62% des bundeseigenen Netzes ist elektrifiziert (55% des gesamten Schienennetzes) Stand: 2022

Elektrische Traktion	SPFV	SPNV	SGV	Gesamt
Betriebsleistung (Zug-km)	97,5 %	63,5 %	90 %	74 %
Verkehrsleistung (Pkm, Tkm)	98 %	83 %	93 %	/

Quelle: [BMDV](#)

Geringe Elektrifizierungsrate bei Nebenstrecken führt (noch) zu hohen Dieselbetriebsleistungen.



Welche Vorteile hat die (Strecken-)Elektrifizierung?

- **Streckenleistungsfähigkeit und Netzwirkungen** ↑
 - Zugkräfte & Beschleunigung ↑
 - Kapazität ↑
 - Betriebsqualität ↑ (Verspätungen) ↓
 - Resilienz Netz ↑ durch mehr durchgehend elektrifizierte Strecken
→ Ermöglicht Umleitungen aller Fahrzeugtypen
- **Emissionen** ↓
 - Lokal schadstofffrei & 100 % CO₂-frei möglich
 - Geringere Lärmemissionen (insb. bei geringen Geschwindigkeiten)
- **Kosten** ↑↓
 - Verringerung Fzg.-Betriebskosten durch Einsatz elektrischer Fahrzeuge¹⁾
 - Investitionen und Instandhaltungskosten OLA



Kettenwerkführungen ... Stromsystem und Oberleitung ... Trackopedia

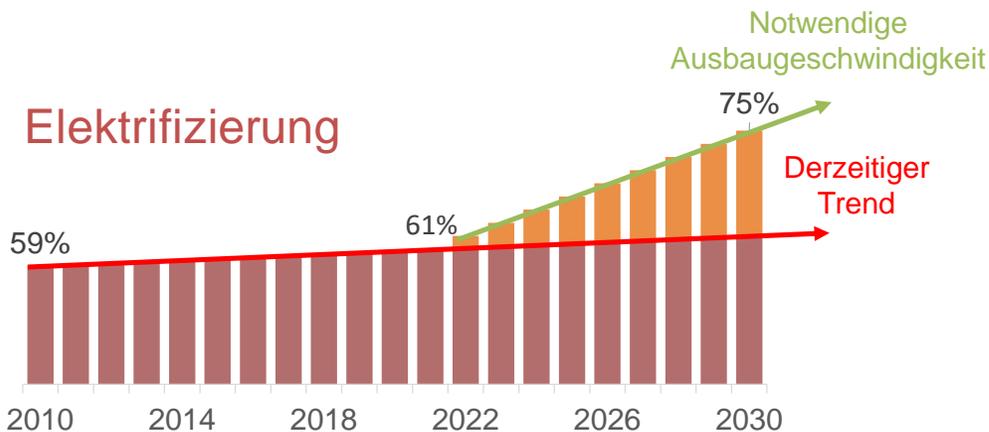
¹⁾ Aktuell wegen extrem hoher Stromkosten insb. im SGV nur eingeschränkt zutreffend.

Streckenelektrifizierung insb. bei hoher Streckenauslastung und Netzwirkung sinnvoll.

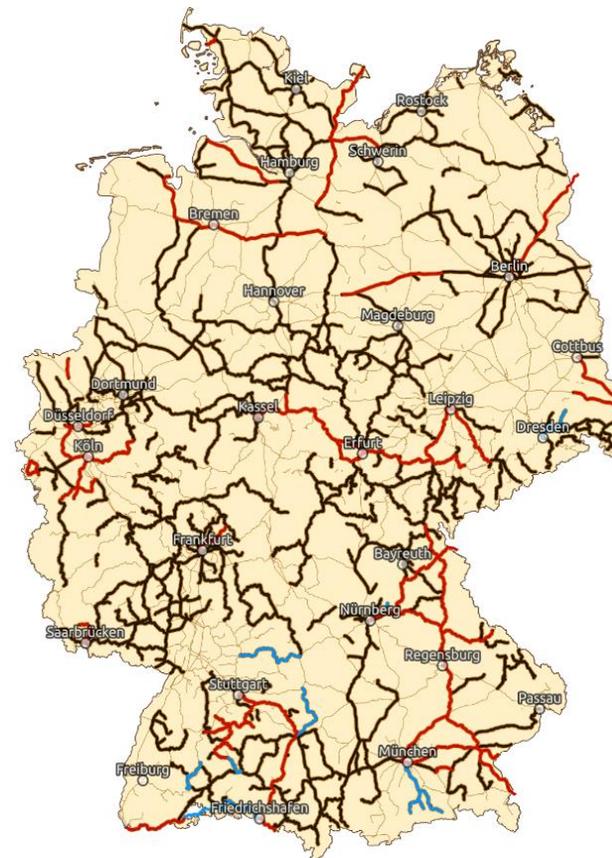


Geplanter Ausbau der Elektrifizierung

- Ziel Bundesregierung: **Ausbau auf 75% bis 2030**
- Damit wären weitere ca. 4.700 km zu elektrifizieren
 - Bundesregierung berichtet von ca. 1100 km bis 2030¹⁾
 - Allianz pro Schiene: 2570 km Aus- und Neubauprojekte des Bundes (u.a. BVWP)²⁾
 - Bundesländer elektrifizieren zusätzl. mit GVFG-Mitteln



Darstellung nach **Allianz pro Schiene** 03/2022, auf Basis von BMDV, DB AG 2021 geschätzt



Elektrifizierungsvorhaben bis 2030

SPNV-Korridore, die wegen Elektrifizierungsvorhaben voraussichtlich bis 2030 von DMU auf EMU umgestellt werden. Datengrundlage: BVWP 2030, Strukturstärkungsgesetz, Ausbauprogramm Elektrische Güterbahn.

Elektrifizierungsvorhaben

- übriges Streckennetz
- Elektrifizierung bis (ca.) 2030
- Elektrifizierung offen, Priorisierung durch Bundesländer

0 100 200 km

Datenquellen: Fahrplandaten von gtfs.de
GeoBasis-DE / BKG (2021J) (Daten verändert)
© OpenStreetMap-Mitwirkende
DLR Institut für Fahrzeugkonzepte

Um 75% zu erreichen, ist Steigerung der Ausbaurrate von bisher 65 km auf 500 km p.a. notw. (*Allianz pro Schiene*)

Elektrifizierung: Forderungen der Fachverbände



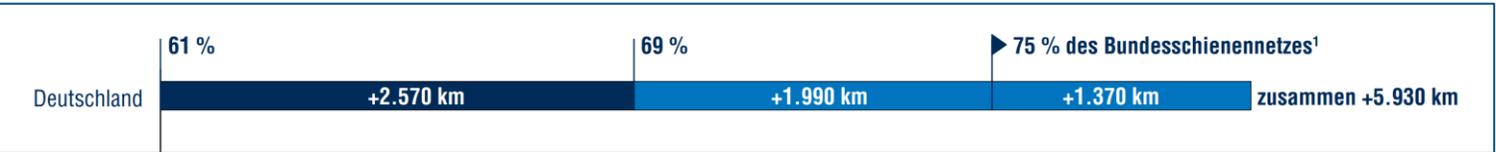
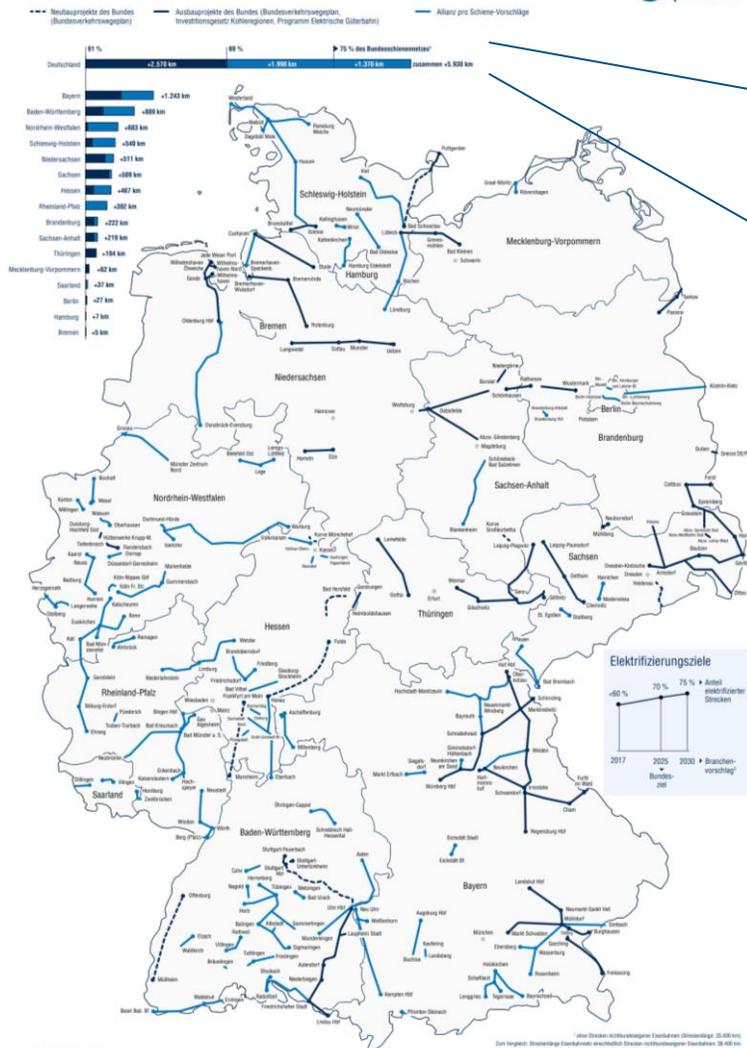
- **Branchen- und Umweltverbände** fordern einen Mix aus:
 - Beschleunigtem Ausbau der Elektrifizierung, auch von Ausweichstrecken, Grenzübergängen & Lückenschlüssen,
 - Vereinfachung Planungsrecht,
 - Erhöhung Finanzmittelausstattung,
 - kostengünstigeren OLA für Nebenstrecken,
 - Förderung alternativer Antriebe im Schienenverkehr (Akku-OL und H2)

- [HG_Papier_Lueckenschluss_Stand_19022020_final.pdf \(duh.de\)](#)
- [210506_VDB_Strategiepapier_Emissionsfreier_Schienenverkehr_Korr._2021-07-05.indd \(bahnindustrie.info\)](#)
- [Elektrifizierung erklärt: Das Schienennetz muss unter Strom stehen \(allianz-pro-schiene.de\)](#)
- [voll-elektrisch_i.pdf \(vdv.de\)](#)
- [Kaum Fortschritte bei Elektrifizierung des Schienennetzes | Allianz pro Schiene \(allianz-pro-schiene.de\)](#)



Elektrifizierungsvorschläge der Allianz pro Schiene

Auf dem Weg zu 75% Strecken elektrifizierung: Vorschläge zur Zielerreichung



- Ausbauprojekte des Bundes (Bundesverkehrswegeplan, Investitionsgesetz Kohleregionen, Programm Elektrische Güterbahn)
- Neubauprojekte des Bundes (Bundesverkehrswegeplan)

Allianz pro Schiene-Vorschläge

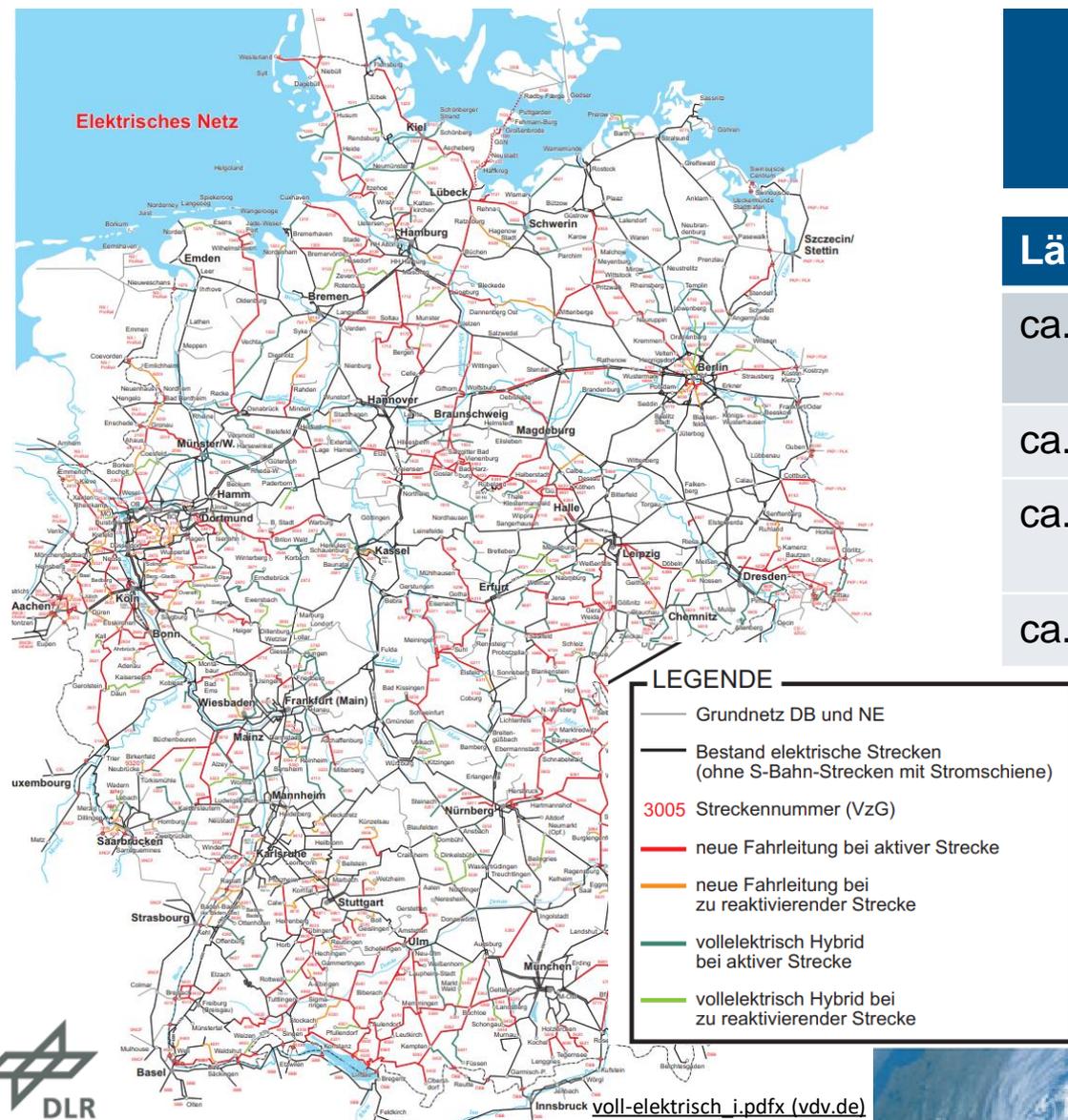
Die Allianz pro Schiene schlägt weitere Elektrifizierungen vor, die über die Vorschläge des Bundes und die 75 % hinausgehen



Quelle: Allianz pro Schiene



Elektrifizierungsvorschläge des VDV



VDV schlägt Mix aus Streckenelektrifizierungen und Hybridbetrieb (BEMU/HEMU) vor

Länge	Maßnahme	Anteil Gesamtnetz
ca. 22000 km ¹⁾	Bestandselektrifizierung (DB + NE-Netz)	55%
ca. 8000 km	Elektrifizierungsvorschläge	20%
ca. 1500 km	Streckenreaktivierung inkl. OLA	<i>neu hinzu kommend</i>
ca. 4250 km	Hybridbetrieb	11%

1) Berechnet auf Grundlage der Länge des DB+NE-Netzes. Die VDV-Studie macht keine Angabe zur Ausgangsstreckenlänge.

→ Ziel: 75 % Elektrifizierungsgrad + 11 % BEMU/HEMU (entspricht 99 % elektrischer Betrieb)

Quelle: voll-elektrisch_i.pdf(x)(vdv.de)

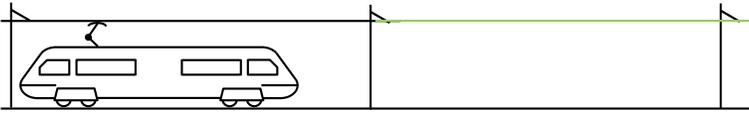
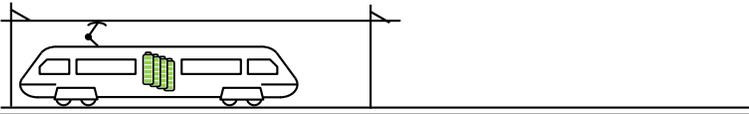
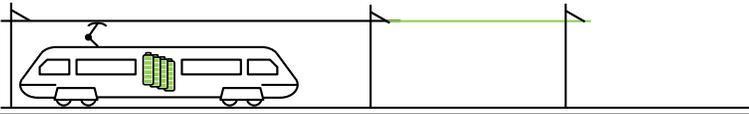
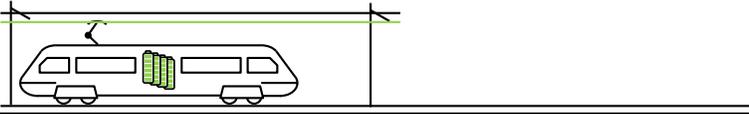
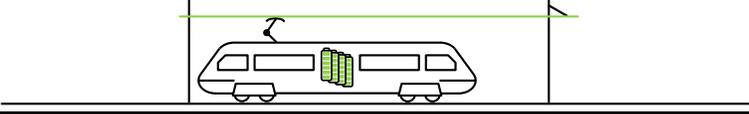


Kosten Streckenelektrifizierung und Umsetzungshürden

- Kosten eingleisige Streckenelektrifizierung: 1,4 bis 3,6 Mio. €/km laut BMDV¹⁾
 - Damit ergäben sich (sehr grob geschätzt) Gesamtkosten von ca. 9,2 bis 23,7 Mrd. €²⁾ für die zu 75% fehlenden 4700 km (*ohne Berücksichtigung aktuell hochdynamischer Kostenentwicklungen*)
- Einfluss u.a. von Topografie, Anpassung Brücken/Tunnel, Lärmschutz
- Kosten enthalten oft weitere Modernisierungsmaßnahmen wie Anpassungen Oberbau, Signaltechnik etc.
- Es gibt eine Reihe von Engpassfaktoren und Hürden für eine schnelle Streckenelektrifizierung
 - Fachkräftemangel (Planung, Errichtung), Auflagen, Genehmigungskapazitäten, langwierige Finanzierungsvereinbarungen, Materialengpässe, Akzeptanz,...
 - Außerdem: Nutzen-Kosten-Erwägungen bei schwach belasteten Nebenstrecken

Ergänzend zum dringend notwendigen Ausbau der Streckenelektrifizierung werden auch Teilelektrifizierungen und Wasserstofftankstellen eine Rolle spielen.

Technische Varianten der Elektrifizierung (OLA / Nachladeeinrichtung)

Fahrzeuge		Elektrifizierungs- variante	Infrastruktur- maßnahmen	Energie- zuführung	Anwendungen / Beschreibung
EMU		Vollelektrifizierung	Ausbau OLA	15 kV, 16,7 Hz	Hohe Auslastung, Umleitungsstrecken
BEMU		Nutzung Bestands- elektrifizierung	Keine	15 kV, 16,7 Hz	
BEMU		Teilelektrifizierung	Verlängerung OLA	15 kV, 16,7 Hz	
BEMU		Teilelektrifizierung	Verstärkung OLA / OLIA	15 kV, 16,7 Hz	Abschnitte mit hohen Leistungsanforderungen
BEMU		Teilelektrifizierung	Errichtung OLIA ¹⁾	15 kV, 16,7 Hz / 15 kV, 50 Hz	
BEMU		Stationäre Energieversorgung	Ladestation / EZVA / Elektrant	15 kV, 50 Hz / 1000 V / 3x400 V	Nachladung Traktionsbatterie bei Abstellung

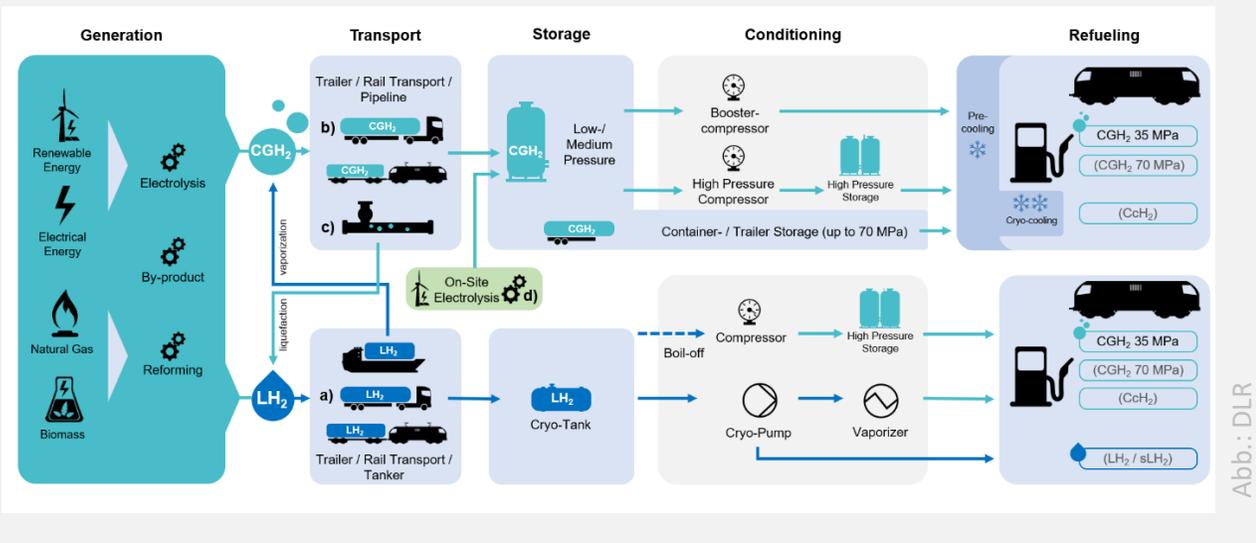
Teilelektrifizierungskonzepte im Verbund mit BEMU können die Variante Vollelektrifizierung ergänzen

Wasserstofftankstellen

Eine weitere Form der (Fahrzeug-)Elektrifizierung

- Brennstoffzellen-Züge (HEMU) stellen eine weitere Elektrifizierungsoption dar
- H2-Tankstellen sind in mehreren Bundesländern in Projektierung, im Aufbau oder in Betrieb

Für Wasserstoff gibt es verschiedene Versorgungs- und Betankungspfade



H2-Schnellbetankung (H2GoesRail)



Foto: Deutsche Bahn AG/Michael Neuhaus
ImmoTrans fokussiert nachhaltige Mobilität - THB

Wasserstofftankstelle in Bremervörde



Bild: evb

Teilelektrifizierung für BEMU

Verschiedene Konzepte sind in Planung oder Umsetzung

Nachladung im Fahrplanbetrieb (auch in Abstellung)

OLIA (15 kV/16,7 Hz)



Ladestation (15 kV/50 Hz)



Nachladung & Erhaltungsladung in der Abstellung

Elektrant (400 V)



Elektrische Zugvorheizanlage (1000 V)



Je nach Anforderung sind verschiedene technische Systeme verfügbar / anpassbar.
Die Auslegung erfordert eine komplexe Systembetrachtung und individuelle Projektierung.

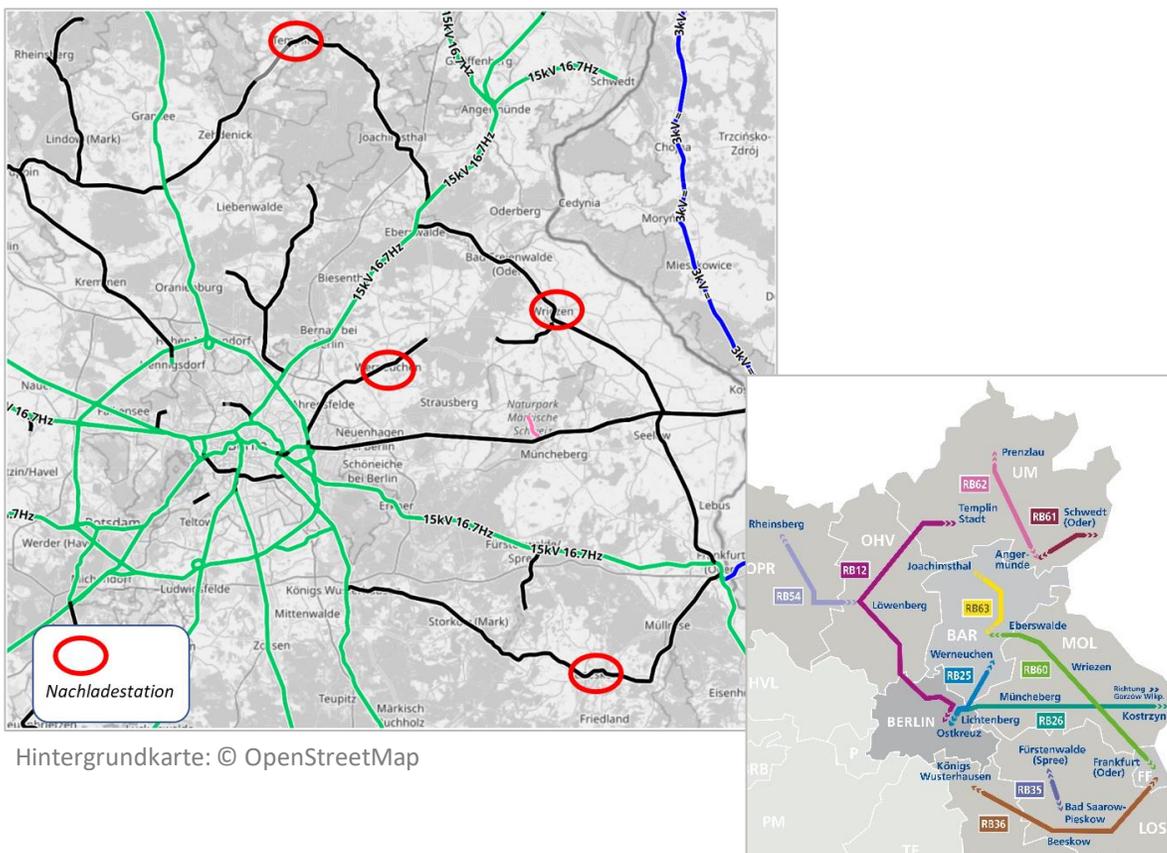
- [BMDV - Kostenvergleich: Streckenelektrifizierungen versus Einsatz alternative Antriebe \(bund.de\)](#)
- [VOLTAP – RAIL POWER CHARGER – weltweit erste Schnellladestation für Batteriezüge \(BEMU\) | Stadtwerke Tübingen \(swtue.de\)](#)
- [PDF-Eurailpress-Kai-Wittig-data.pdf \(dbenergie.de\)](#)
- [ZVH_2018_de \(ast.de\)](#)



Umsetzungsbeispiele Teilelektrifizierung

BEMU-Netz Ostbrandenburg (VBB) – ab 2024

Nachladung in der Abstellung (via Pantograph, 15 kV/50Hz, bis 2x1,2 MVA)

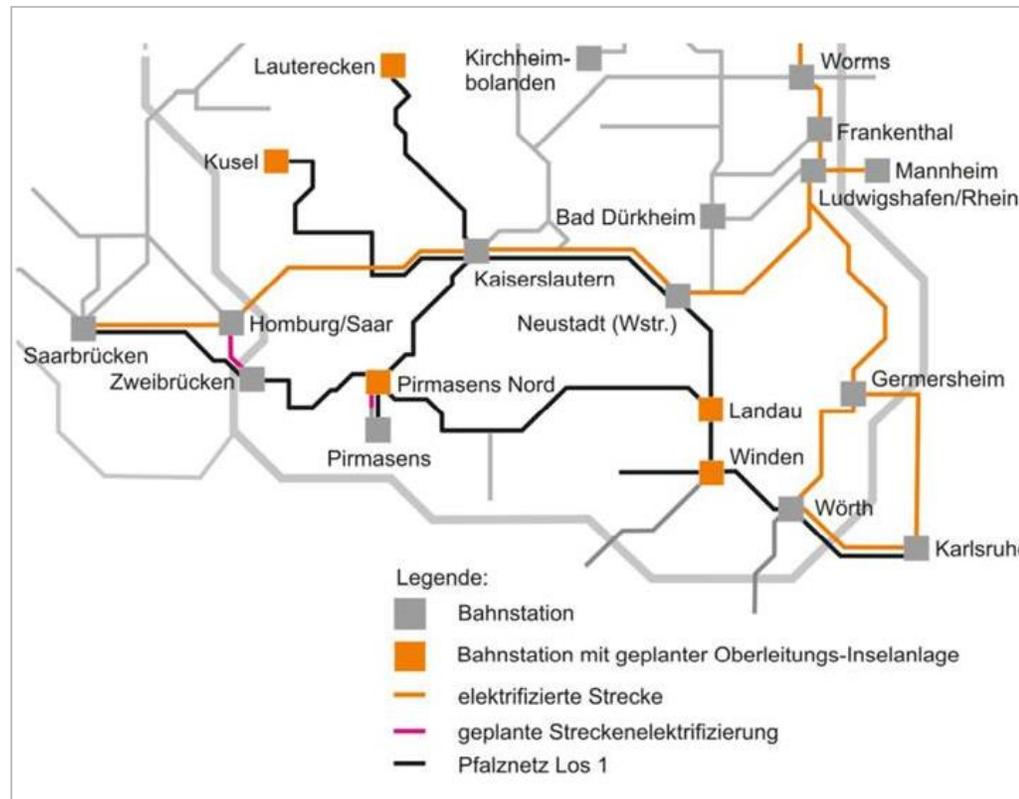


Hintergrundkarte: © OpenStreetMap

NEB - Die Niederbarnimer Eisenbahn

BEMU-Netz Pfalznetz (ZSPNV) – ab 2025

Nachladung im Betrieb (Pantograph) mit OLIA und neuen OLA



Zweckverband SPNV Rheinland-Pfalz Süd

Zusammenfassung

- Geringe Elektrifizierungsrate führt (noch) zu hohen Dieselbetriebsleistungen
- Vollelektrifizierung bei hoher Streckenauslastung und Netzwirkung sinnvoll
- Um 75% Elektrifizierung bis 2030 zu erreichen, ist eine deutlich Steigerung der Ausbaurrate notw.
- Verbände haben dafür konkrete Vorschläge unterbreitet
- Teilelektrifizierungen (Akku-ET) und H2-Tankstellen (BZ-Züge) ergänzen weitere Streckenelektrifizierung
- Für leistungsfähiges Streckennetz ist aber weiterer deutlicher Ausbau der Elektrifizierung erforderlich



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)

Institut für Fahrzeugkonzepte | Rutherfordstraße 2 | 12489 Berlin

Johannes Pagenkopf | Fahrzeugsysteme und Technologiebewertung

Tel. 030 67055-7957 | johannes.pagenkopf@dlr.de

www.DLR.de/FK

