Furrer+Frey®
baut Fahrleitungen

swt.
Stadtwerke Tübingen

Eisenbahnwesen-Seminar

Nachladung eines BEMU mit AC 15 kV 50 Hz

Dr.-Ing. Felix Dschung

03. Januar 2022

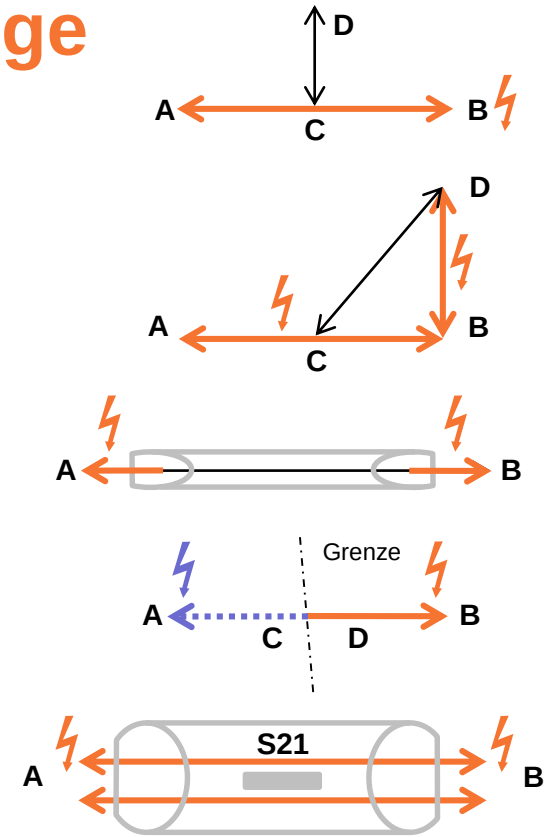
Gliederung

1. Anwendungsfälle für Batteriezüge
2. Auflademöglichkeiten für BEMU
3. Besonderheiten einer Ladestation
4. Bahnspannungssystem
5. Belastung des vorgelagerten Netzes
6. Konzeptionierung der Ladestation
7. Bau der Ladestation am Gleis
8. Ausblick
9. Zusammenfassung

1. Anwendungsfälle für Batteriezüge

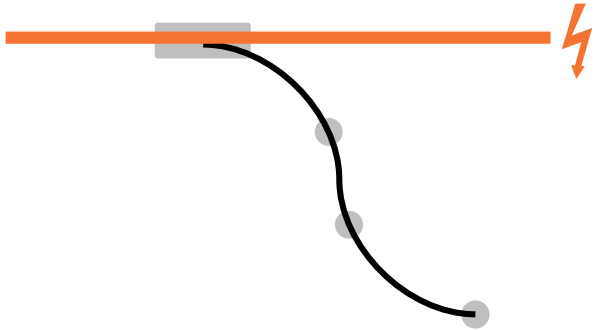
Es können folgende Fälle unterschieden werden:

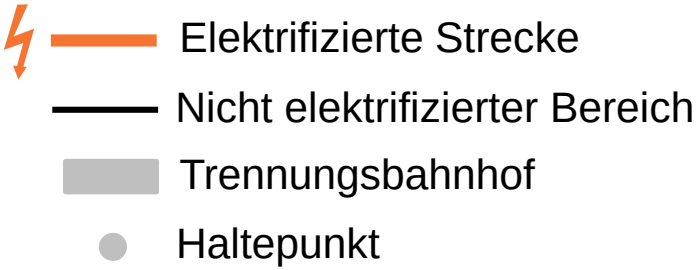
1. Nicht elektrifizierte Stichstrecke C–D
2. Nicht elektrifizierte Verbindungsstrecke C–D
3. Nicht elektrifizierbare Tunnel
   - Elektrifizierung selten wirtschaftlich nicht darstellbar
4. Kleiner grenzüberschreitender Verkehr (A–D oder C–B) ohne Mehrsystemfahrzeuge
5. Tunnelbahnhöfe für Diesel-Fahrzeuge wegen Abgasemissionen gesperrt



2. Auflademöglichkeiten für BEMU

Stichstrecke: Ausgangslage





→ Der Akkuzug muss ausreichend Kapazität für die Hin- und Rückleistung haben.

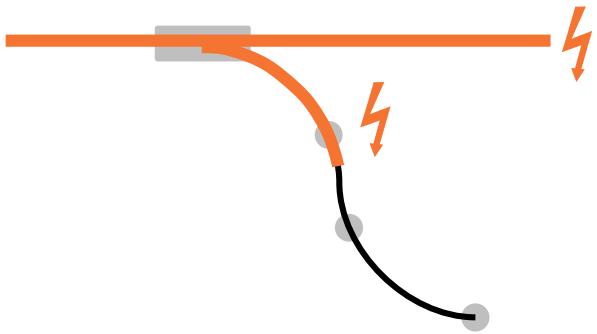
→ Was kann getan werden, wenn

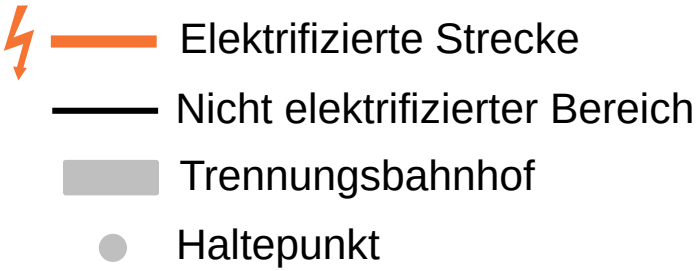
a) die Reichweite nicht ausreicht?
b) das Fahrzeug zu schwer wird?

} ➡ Voll- oder Teilelektrifizierung

2. Auflademöglichkeiten für BEMU

Option 1a: Verlängerung der Oberleitung



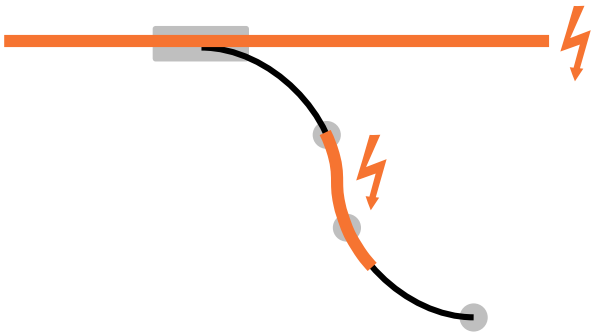


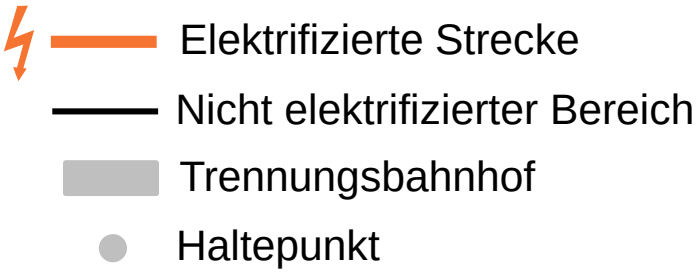
→ Elektrische Fahrzeuge ohne Akku können Strecke bis zum Ende der Fahrleitung benutzen.

→ Zusätzliche Einspeisung nach Bedarf

2. Auflademöglichkeiten für BEMU

Option 1b: Oberleitungs-Inselanlage (OLIA)





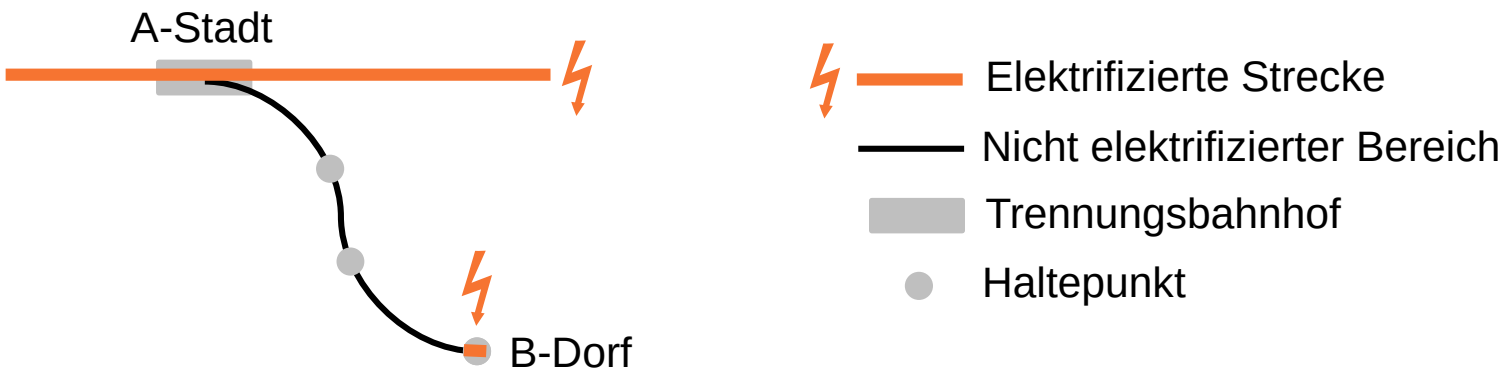
→ OLIA kann nur von BEMU erreicht werden

→ Laden der Akkus während der Fahrt möglich

→ Zusätzliche Einspeisung zwingend erforderlich!

2. Auflademöglichkeiten für BEMU

Option 2: Ladestation bzw. Stromtankstelle für stationäres Aufladen



→ „Minimalinvasiver Eingriff“

→ Nutzung nur durch BEMU, Einspeisung zwingend erforderlich

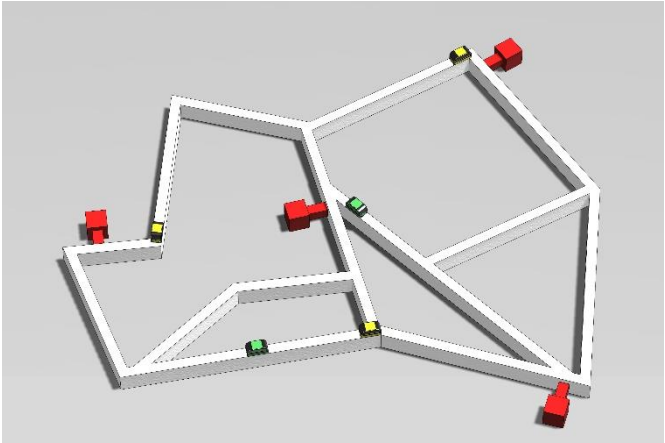
→ Aufladung während des mehrminütigen Stillstands am Endhaltepunkt

→ Energietransfer vom Land auf das stillstehende Fahrzeug → Definition Tankstelle

3. Besonderheiten einer Ladestation

Situation «Klassisches Fahrleitungssystem»

- Ausgangslage



→ Kosten, die auf der Infrastrukturseite entstehen, sind **nicht** fahrzeugspezifisch zuordenbar.

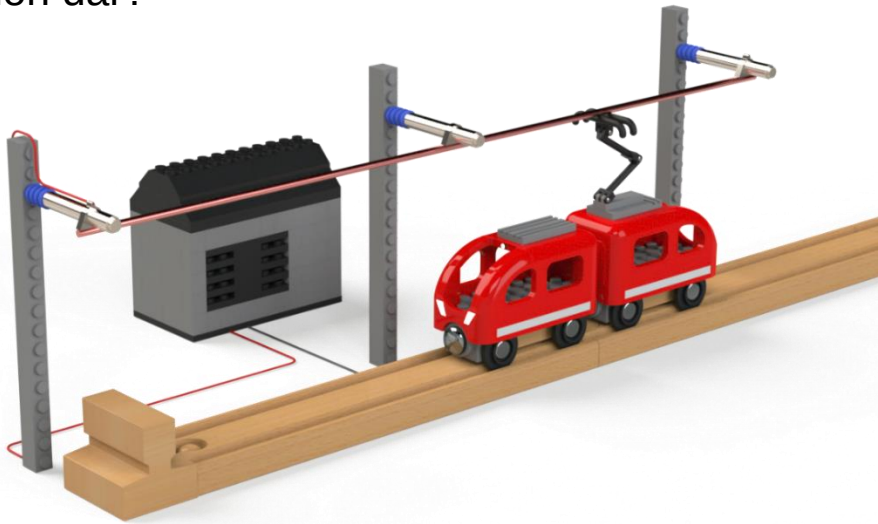
→ «Prinzip Kupferplatte»

→ Bildung virtuellen Verbraucher zur Abrechnung

3. Besonderheiten einer Ladestation

Situation an einer Ladestation bzw. «Stromtankstelle»

- Wie stellt sich die Situation an einer Ladestation dar?

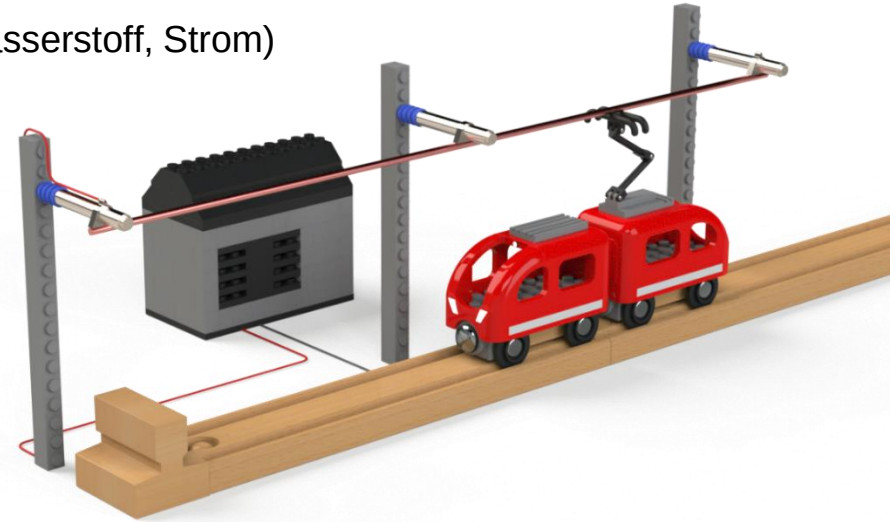


  - Fahrzeug steht und mutiert zum stationären Verbraucher
  - Infrastrukturseitige Kosten sehr wohl zuordenbar

3. Besonderheiten einer Ladestation

Charakteristische Eigenschaften einer Stromtankstelle

- Ladestation stellt **keine** klassische Streckenelektrifizierung dar
- Abstrakte Definition einer Tankstelle
  - Einrichtung, bei der ein **Energietransfer vom Land auf das stillstehende Fahrzeug** stattfindet.
  - Energieform ist nachrangig (Diesel, Erdgas, Wasserstoff, Strom)
- Ladestation ist Serviceeinrichtung
- Implikationen:
  a) Finanzierung (Investitionskosten)
  b) Eigentümerschaft
  c) Abrechnungswesen
- Gleichzeitig
  - Wahrung des bekannten Sicherheitsniveaus



3. Besonderheiten einer Ladestation

Mögliches Abrechnungsmodell

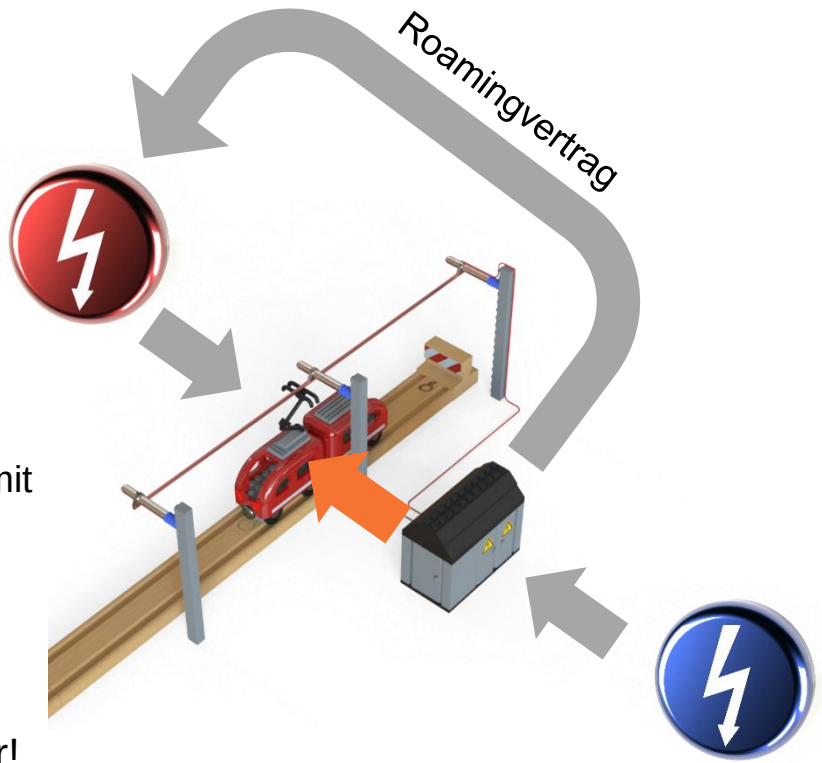
Half-Roaming

- Betreiber Ladestation wählt Energieversorgungsunternehmen aus, welches die Ladestation versorgt
- Betreiber Ladestation verrechnet
  - Energie

  mit Energieversorger des Eisenbahnverkehrsunternehmens
- Energieversorger des Eisenbahnverkehrsunternehmens verrechnet mit seinem Kunden
- Betreiber Ladestation verrechnet
  - Nutzung der Ladeinfrastruktur

  direkt mit Eisenbahnverkehrsunternehmen bzw. Drittem (Aufgabenträger)

→ Abrechnungsmodell auch auf EZVA übertragbar!



4. Bahnspannungssystem

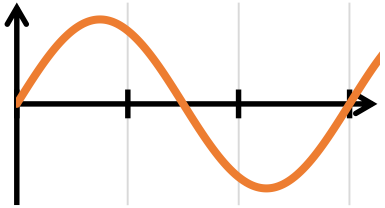
AC 15 kV 50 Hz

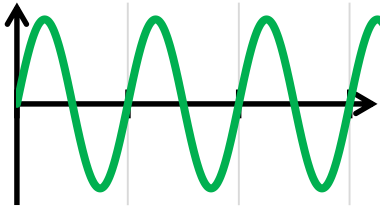
- Fahrzeuge können auch mit einer Frequenz von 50 Hz betrieben werden.

16,7 Hz

Welche Frequenz?

50 Hz





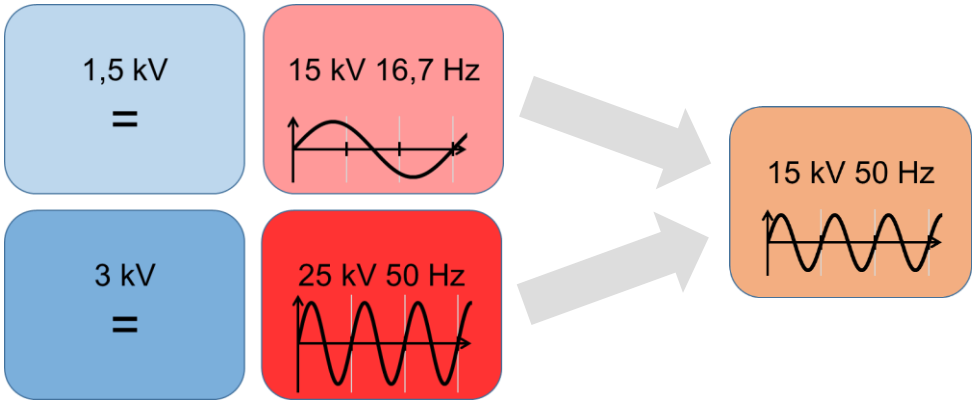
- Umrichter zwingend erforderlich

- Teilweiser Verzicht auf Umrichter (Symmetrierumrichter)
- Vollständiger Verzicht auf Umrichter (reine Trafolösung)

4. Bahnspannungssystem

AC 15 kV 50 Hz

- Aktuell sind folgende Bahnspannungssysteme etabliert



Einführung eines neuen Bahnspannungssystems zweckmäßig

- Motivation : Heben von Kostenvorteilen
- Standardisierung : TC9X/SC9XC/SG25

5. Belastung des vorgelagerten Netzes

Herausforderung Spannungsunsymmetrie

- ACHTUNG!
  - 16,7 Hz Umrichter erforderlich
  - 50 Hz ≠ kein Umrichter

- Im Hinblick auf die zulässige Unsymmetrie können auch Umrichter bei 50 Hz erforderlich sein.
- Das volle Kostensenkungspotenzial der Ladeinfrastruktur kann nur durch den vollständigen Verzicht auf landseitige Umrichter erreicht werden.
- Ein Zug kann in den meisten Fällen mit bis zu 1,2 MW versorgt werden

5. Belastung des vorgelagerten Netzes

Herausforderung Spannungsunsymmetrie

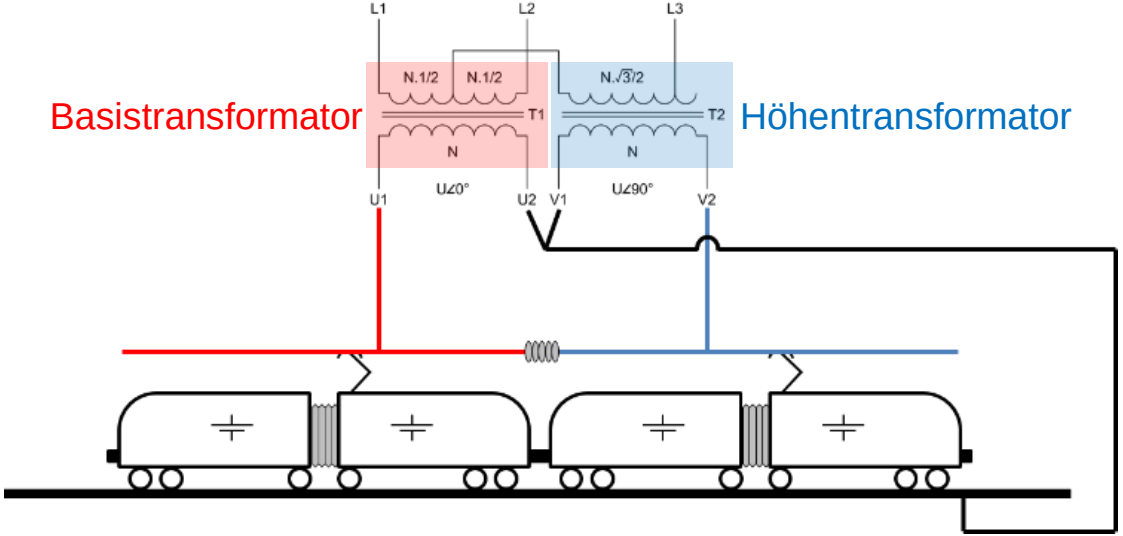
- Eine Doppeltraktion!!! → Bis zu 2,4 MW Ladeleistung

  → Diese Leistung kann in der Regel nicht einphasig aus dem Mittelspannungsnetz gezogen werden!

6. Konzeptionierung der Ladestation

Umrichterfreie Lösung

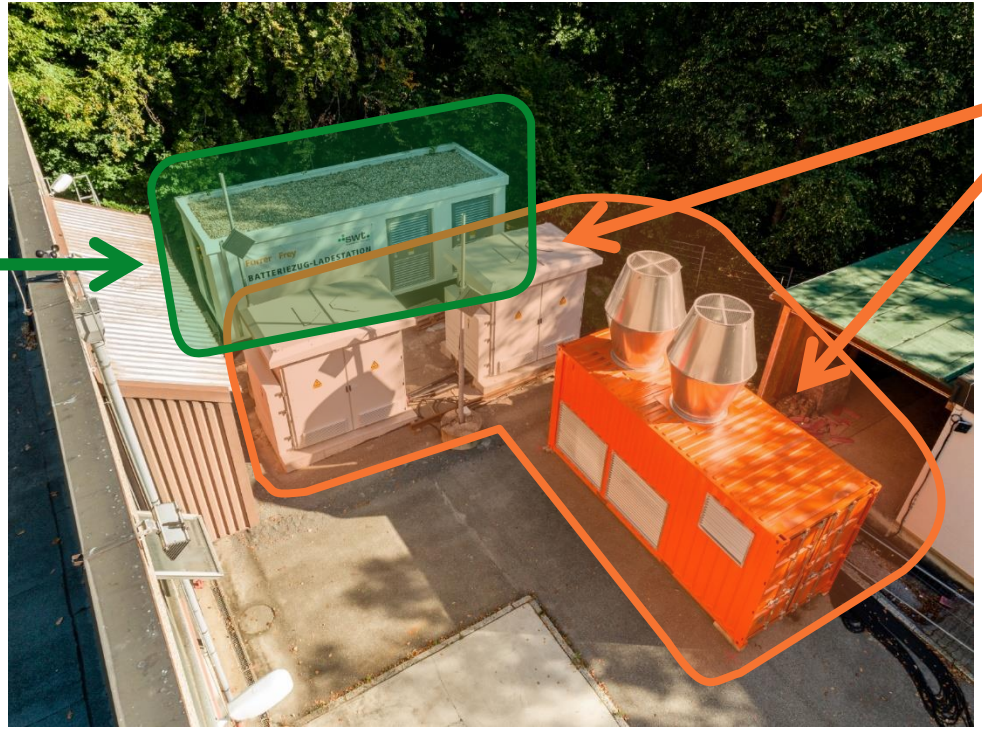
- Transformatorstation mit Scott-Trafo
  - Aufteilung der Oberleitungsanlage in zwei Sektoren
  - Bei Doppeltraktion und gleichem Leistungsbezug beider Zugteile perfekte Symmetrie im 3~Netz
  - Ausnutzung des Stillstands der Fahrzeuge



6. Konzeptionierung der Ladestation

Aufbau der Testinstallation in Tübingen

Zugladestation

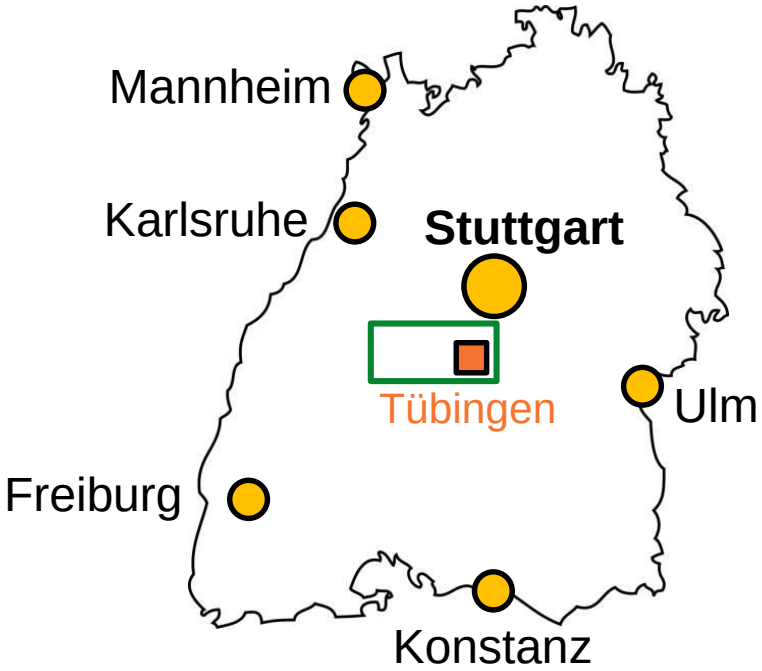


Last:

- Transformatoren
- Widerstand (max. 1 MW)

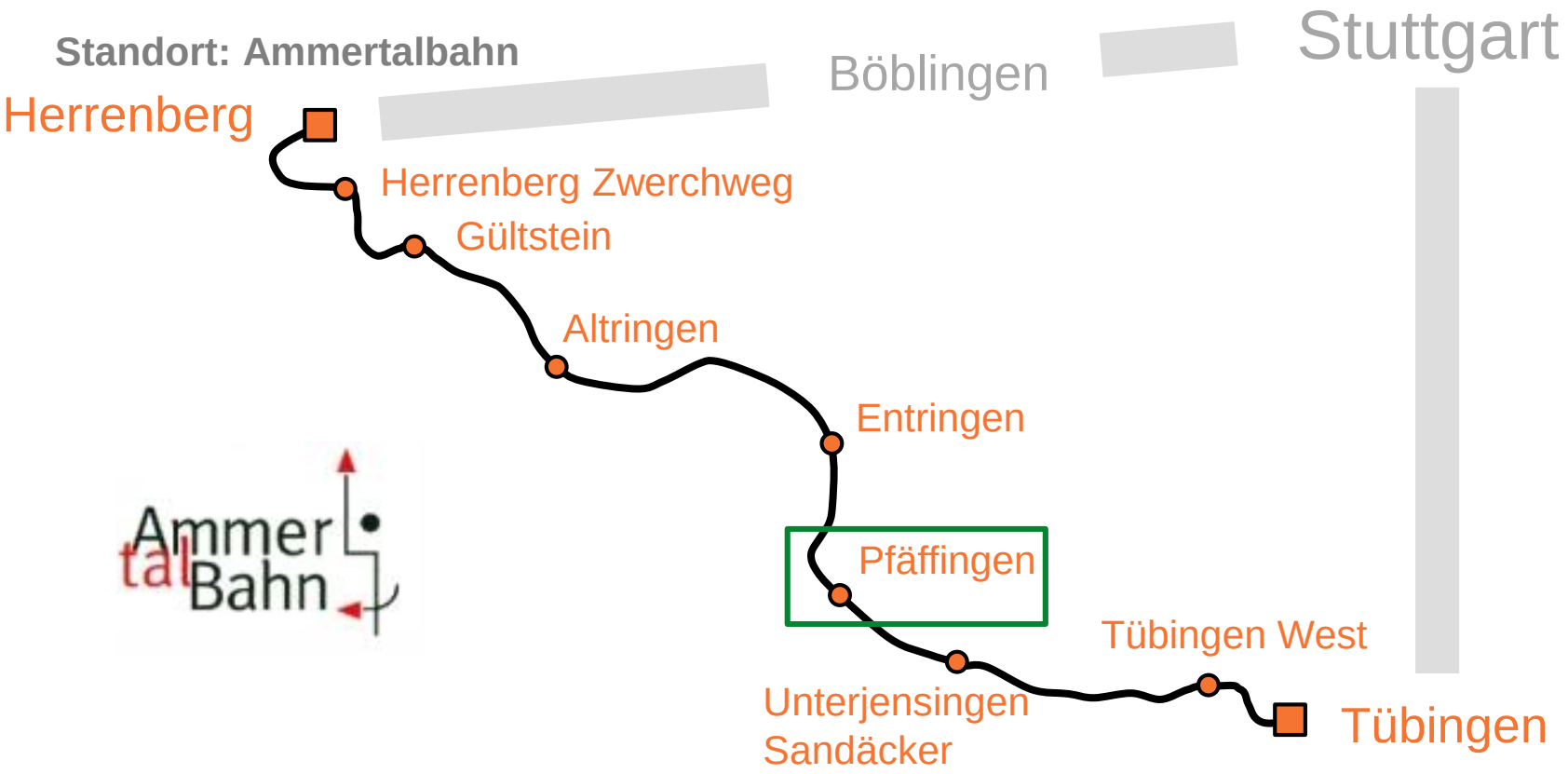
7. Bau der Ladestation am Gleis

Standort: Ammertalbahn



7. Bau der Ladestation am Gleis

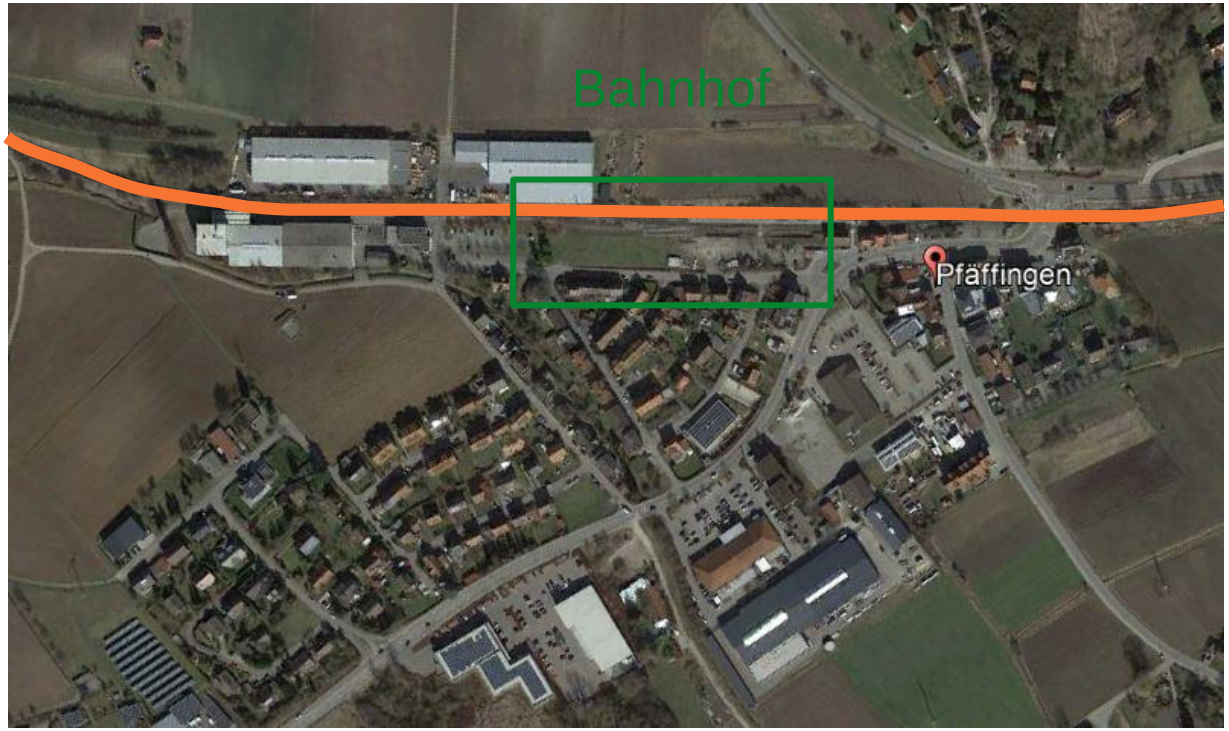
Standort: Ammertalbahn



7. Bau der Ladestation am Gleis

Standort: Ammertalbahn, Bahnhof Pfäffingen

Herrenberg

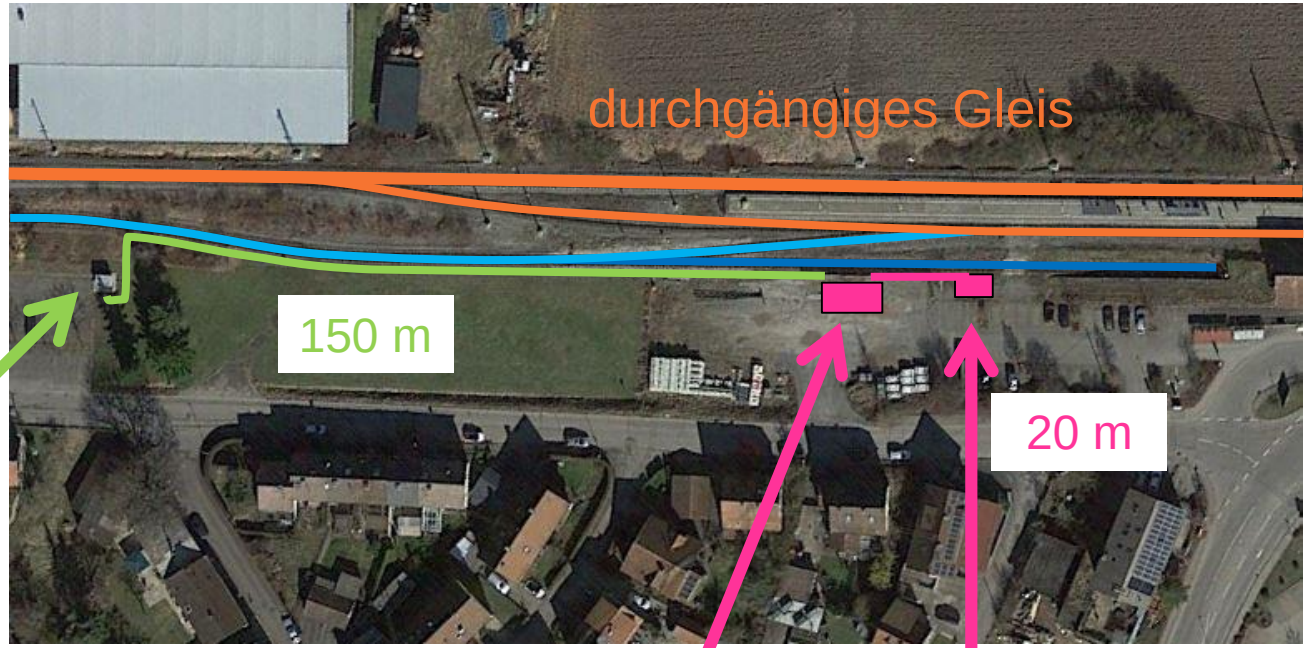


Tübingen

Ammer tal Bahn

7. Bau der Ladestation am Gleis

Standort: Ammertalbahn, Bahnhof Pfäffingen



Herren-
berg

Gleisanschluss
(nicht mehr
verwendet)

3~
20 kV

Tübingen

Ausweichgleis

Güterrampe
(nicht mehr
verwendet)

Ladestation

Oberleitungsanlage

7. Bau der Ladestation am Gleis

Aufgebaute Ladestation «Voltap»

7. Bau der Ladestation am Gleis

Aufladung des ersten BEMU

8. Ausblick

Blick in die Zukunft

- Anwendung von Ladestationen
  - Schnellladestationen entlang oder am Ende einer Linie
  - „Langsamladestationen“ in Abstellbereichen
  - Umfeld von Werkstätten
  - Rangierdienst
- Trends:
  - Leistungsfähigkeit der Akkutechnik wird sich verbessern
  - Kosten für Traktionsakkus werden tendenziell sinken

Schlussfolgerungen

→ In mittelfristiger Zukunft eher weniger als mehr Ladeinfrastruktur erforderlich

→ In vielen Fällen sinnvoll, Abschreibedauer der Ladeinfrastruktur in Größenordnung der Fahrzeuglebensdauer zu begrenzen
  - Vermeidung von Sonderabschreibungen, Rückzahlung von Förderungen
  - Zu lange Abschreibedauern beschränken den Gestaltungsspielraum zukünftiger Generationen

9. Zusammenfassung

1. BEMUs werden auf vielen Strecken mit Diesel betriebene Züge ablösen
2. Ladestation «VOLTAP» entwickelt, um BEMU aufzuladen
3. Ladestationen sind Serviceeinrichtungen
4. Neues Bahnspannungssystem **AC 15 kV 50 Hz** bereits im Normungsprozess
5. Erster BEMU am 12. Oktober 2021 aufgeladen

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!