



Oberleitungsfreier Betrieb einer Straßenbahn – Topologie und Betriebskonzept

Frank Becker, André Dämmig, Markus
Klohr, Christian Hufenbach

Date: 04.04.2016

AGENDA

1

Vorteile des oberleitungsfreien Betriebs (CFO)

2

Fahrzeugkonfiguration und Streckencharakteristik

3

CFO spezifische Komponenten an Fahrzeug und Strecke

4

Umrüstung eines Bestandfahrzeugs

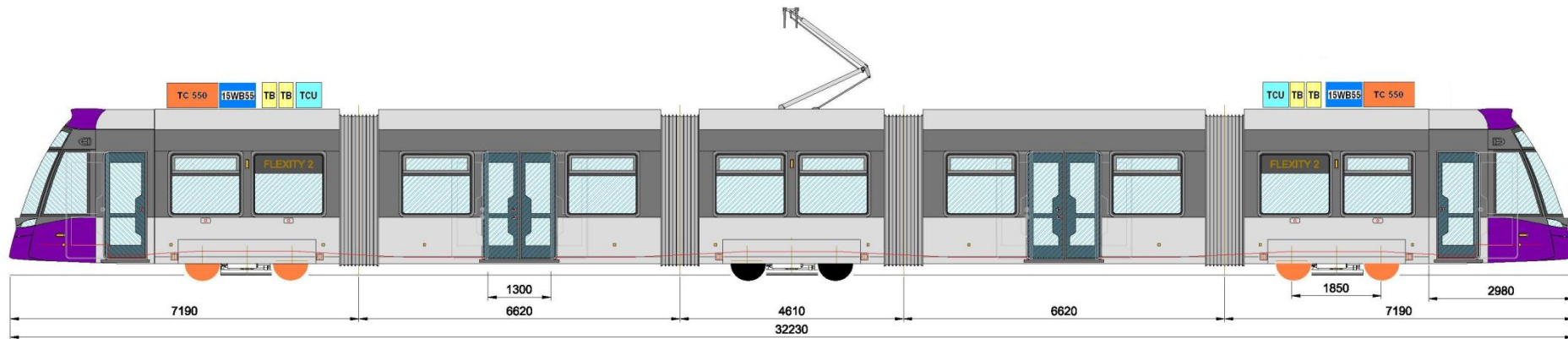


Vorteile des oberleitungsfreien Betriebs



Fahrzeugkonfiguration und Streckencharakteristik

Nanjing Fahrzeug



- Anforderungen:
 - Vollständig oberleitungsfreier Betrieb zwischen den Haltestellen
 - Nachladen in jeder Haltestelle über den Pantographen
 - Nachladen sowohl im Fahren als auch im Stillstand
 - Pantograph wird automatisch gehoben und gesenkt, keine Bedienhandlung durch den Fahrer erforderlich
- 5-teiliges Niederflurfahrzeug der *FLEXITY 2* Serie:
 - Nennspeisespannung: 750 V
 - Fahrzeugkapazität: 300 Personen
 - Max. Beschleunigung: $1,2 \text{ m/s}^2$
 - Max. Verzögerung (Betriebsbremsung): -1.3 m/s^2
 - Höchstgeschwindigkeit: 70 km/h

Fahrzeugkonfiguration und Streckencharakteristik Nanjing (China), Hexi und Qilin Line

| | Hexi | Qilin |
|---|---|----------------------|
| Konfiguration | Catenary Free Operation | |
| Fahrzeugtyp und Stückzahl | 8 x <i>FLEXITY 2</i> | 7 x <i>FLEXITY 2</i> |
| Länge der Strecke Davon CFO | 7,65 km Zirka 90% | 8,85 km Zirka 90% |
| Stationen Ladepunkte | 13 13 | 14 14 |
| Max. Abstand zwischen den Ladepunkten | 700 m | 1380 m |
| Fahrzeit (hin und zurück) | Zirka 60 min | Zirka 58 min |
| Installierte Energiespeicher kapazität | 2x 49 kWh Li-Ion Batterie | |
| Ladetechnik | 90 m Fahrdrat in Haltestelle + Bremsenergierückgewinnung | |



CFO spezifische Komponenten an Fahrzeug und Strecke

Pneumatisch betätigter Pantograph

- Druckluft betätigter Pantograph. Gleiche Lebensdauer wie für Fahrzeuge ohne CFO Technik
- Variabler Anpressdruck, um Stromtragfähigkeit im Stillstand zu erhöhen.



CFO spezifische Komponenten an Fahrzeug und Strecke

Traktionsbatterie mit Kühleinheit

PRIMOVE Traktionsbatterie System Rail TB 50

| | Rail 50 Zwei Einheiten à 24,5 kWh |
|--------------------------|---|
| Energieinhalt | 24,5 kWh |
| Nennspannung | 533 V |
| Nennkapazität (1C, 25°C) | 46 Ah |

Thermal Conditioning Unit

- Kühlung/ Heizung der Batterie für optimale Performance und lange Lebensdauer

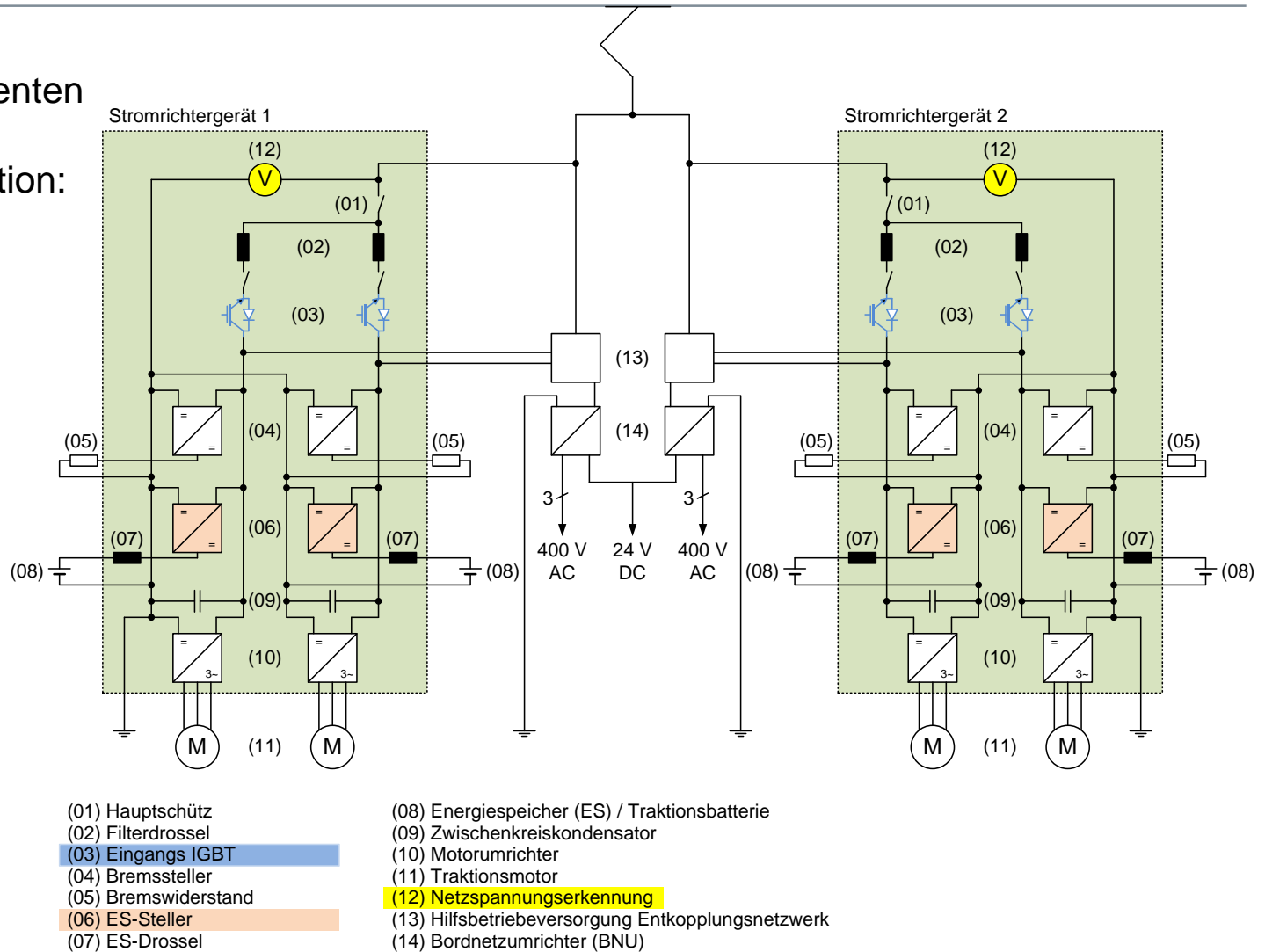
Batteriesystem (rechts)
Thermal Conditioning Unit
(TCU) (links)



CFO spezifische Komponenten an Fahrzeug und Strecke

Integration in das Antriebssystem

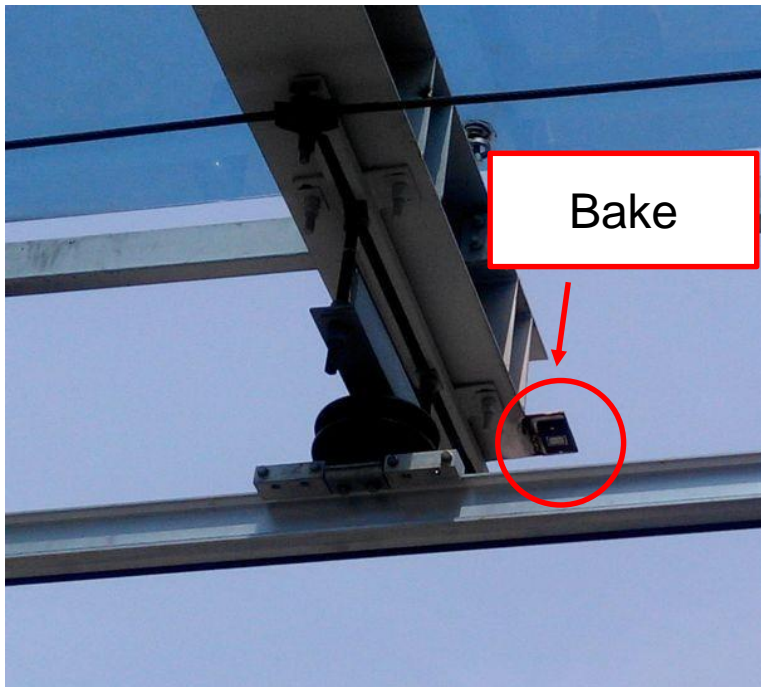
- Hauptkomponenten und Systemintegration:



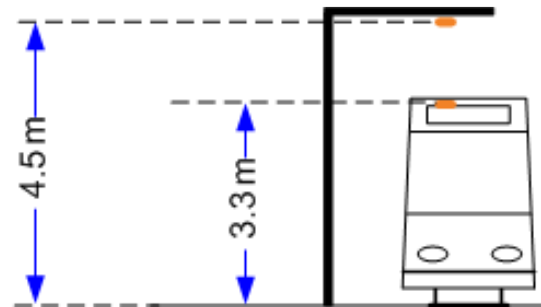
CFO spezifische Komponenten an Fahrzeug und Strecke

Baken System

- Beginn und Ende des Fahrdrachts über Baken
- Bakenempfänger auf Fahrzeugdach (Ausrichtung nach oben)
- Empfangsbereich: bis zu 6 m
- Abmessungen: 310 x 200 x 61 mm



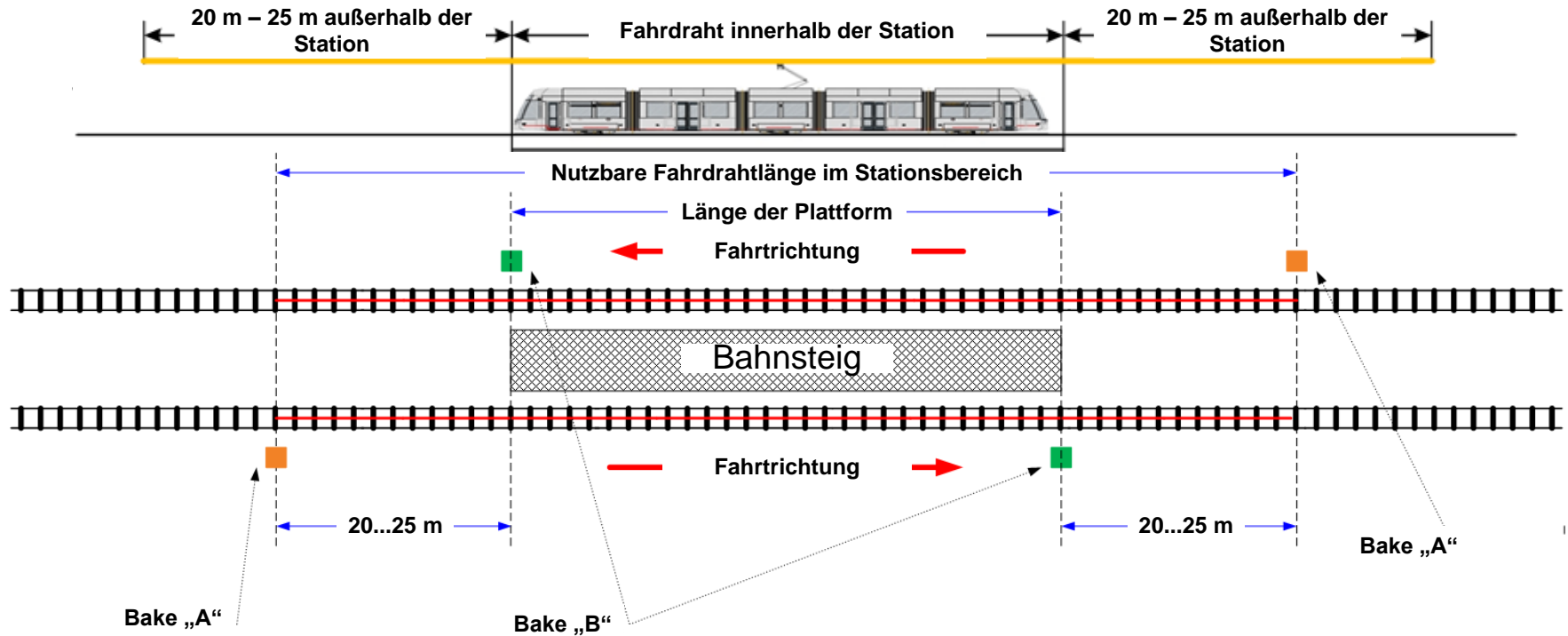
- Baken Empfänger auf dem Fahrzeug



- Anordnung Sender und Empfänger

Übergang CFO ↔ Oberleitungsbetrieb

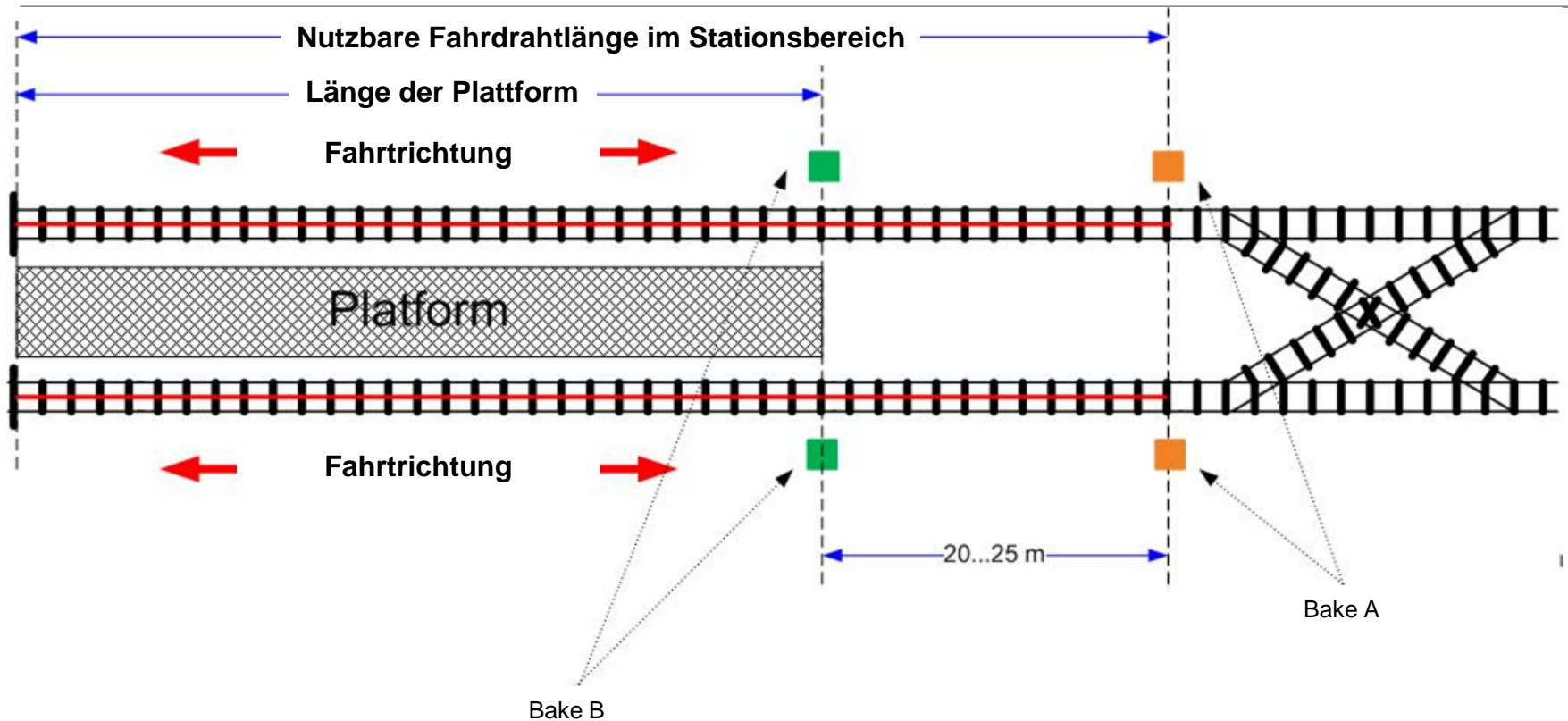
Anordnung der Tags



- Zeitpunkt zum Heben/Senken des Pantographen abhängig von Fahrzeuggeschwindigkeit, Beschleunigung und verfügbare Fahrdrahtlänge
- Anpressdruck des Pantographen wird bei Fahrzeugstillstand erhöht
- Ladestrom wird abhängig von der erwarteten Haltedauer optimiert

Übergang CFO ↔ Oberleitungsbetrieb

Anordnung der Tags in der Endhaltestelle



- Bei Einfahrt in Endhaltestelle: Bake B wird ignoriert
- Bei Ausfahrt aus der Endhaltestelle: Bake A wird ignoriert
- Endhaltestelle wird über die Ermittlung des Abstands zwischen den Tags erkannt

Übergang CFO ↔ Oberleitungsbetrieb

Ablauf eines dynamischen Nachlagevorgangs (Animation)



1. Einfahrt in die Haltestelle im CFO

- Zirka 30 km/h (Station Limit)
- Tram erkennt Tag A, der den Beginn des Fahrdrabts markiert

2. Pantograph wird gehoben

- Das Nachladen beginnt schon im Fahren

3. Erreichen des Haltepunkts

- Fortsetzung des Laden, Ladestrom wird auf 500 A begrenzt

4. Haltevorgang

- Fahrgastwechsel

5. Tram fährt an

- Das Laden wird fortgesetzt und das Fahrzeug mit der Energie aus dem Fahrdrabt beschleunigt
- Tag B, der das Ende des Fahrdrabts ankündigt wird erkannt

6. Pantograph wird gesenkt

- Ladevorgang wird beendet

7. Weiterfahrt im CFO

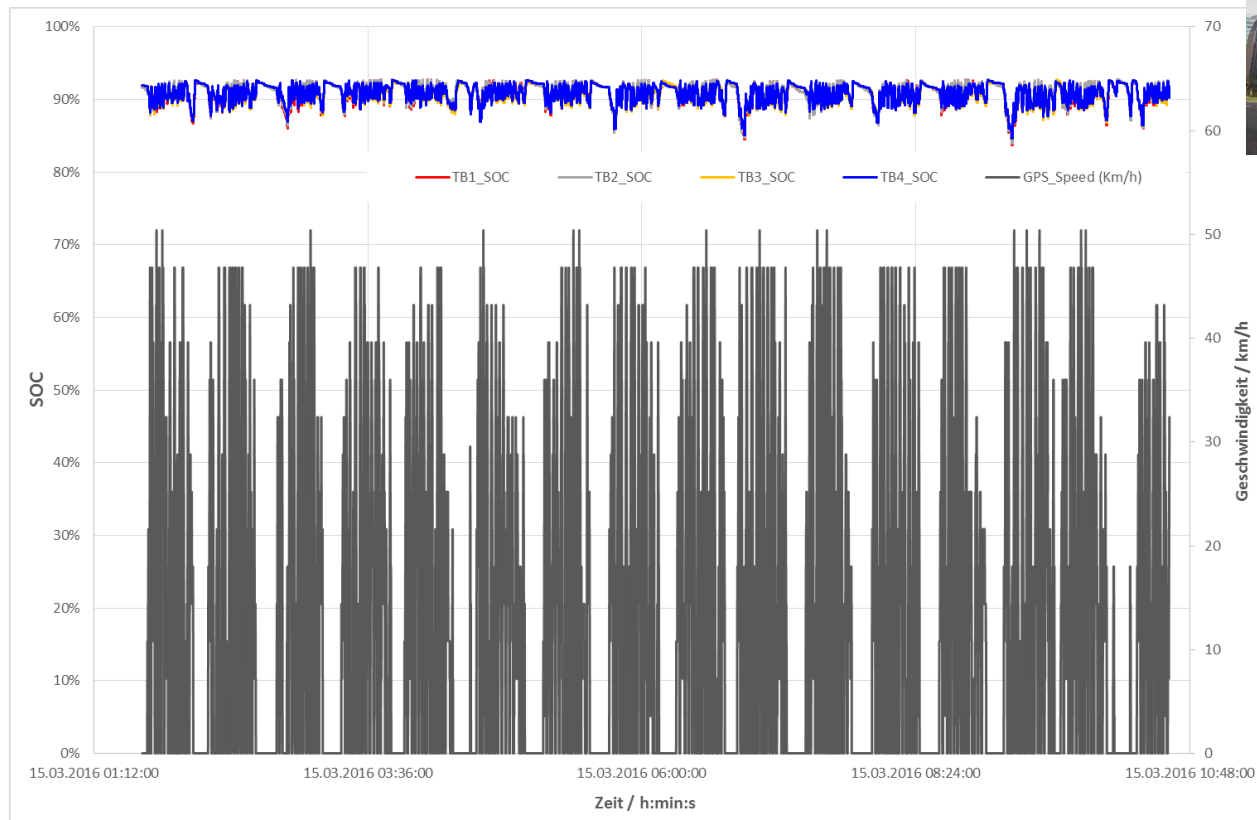
- Fahrzeug fährt bis zum nächsten Ladepunkt im fahrdrabtlosen Betrieb

Nanjing, Hexi und Qilin Line (China)

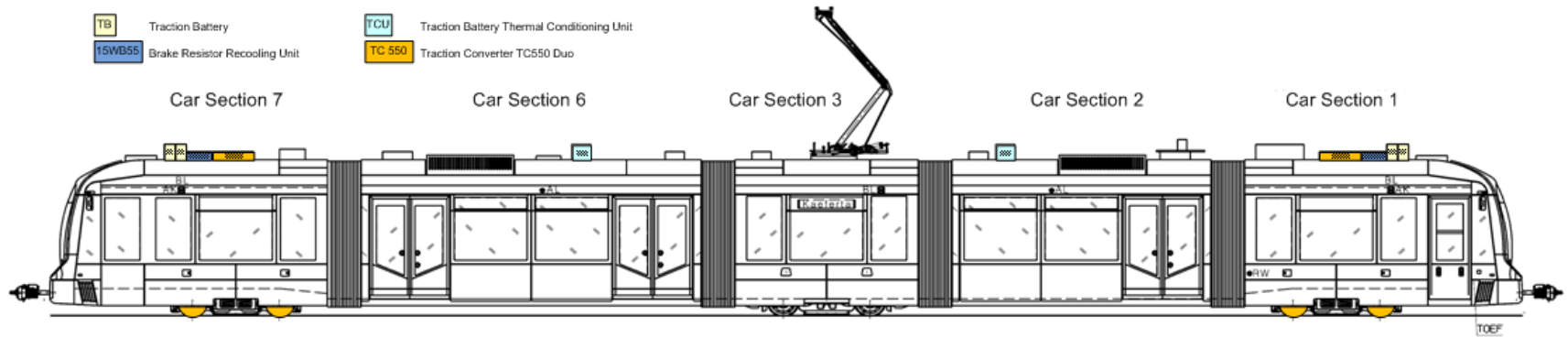
Beispiel 9h Fahrgastbetrieb

Seit August 14.08.2014 Fahrgastbetrieb mit 6 Fahrzeugen

- 350 tkm (stand Februar 2016), keine Antriebsausfälle
- Betrieb auf Hexi, zweite Linie noch im Bau



Umrüstung eines Bestandsfahrzeug



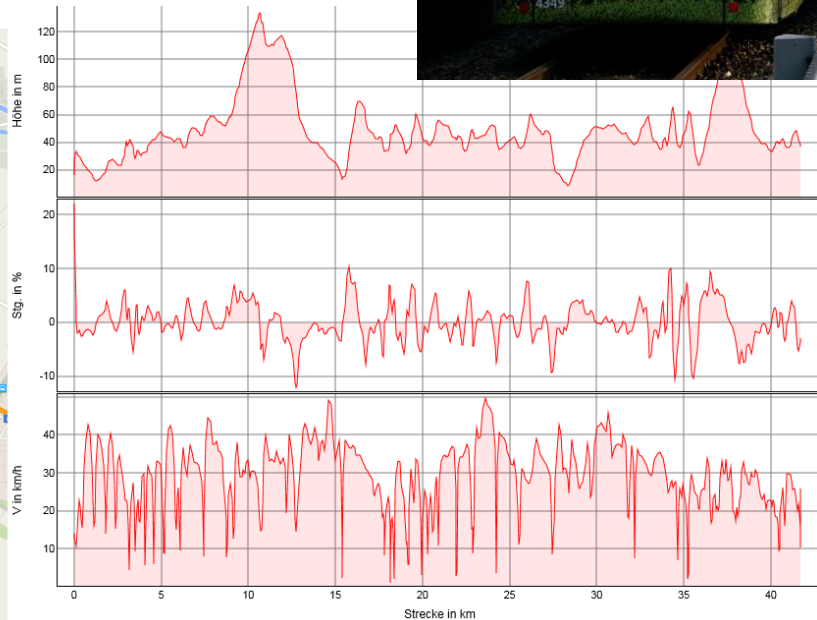
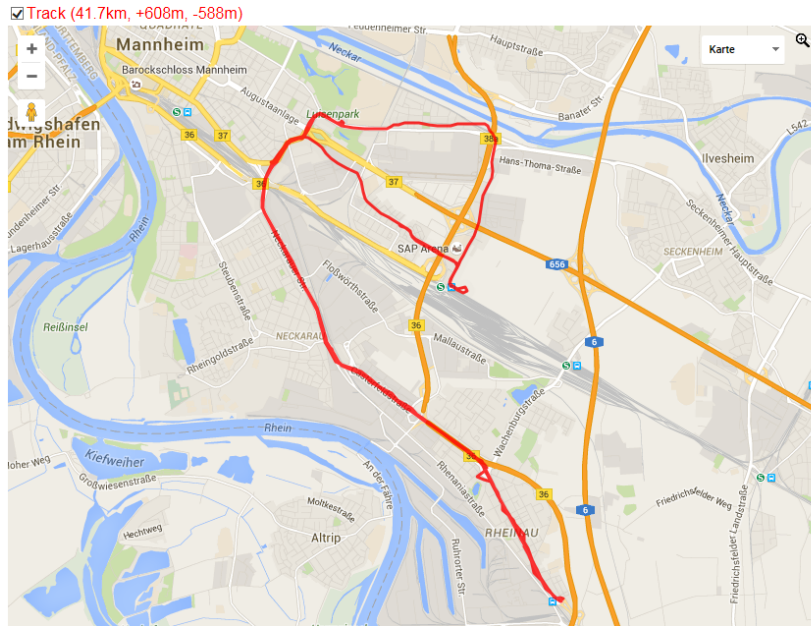
- Bestandsfahrzeug Variobahn des Typs „Rhein-Neckar“ umgerüstet
- Energy Saver durch Batteriespeicher ersetzt
- Stromrichter durch modifizierten „Nanjing“ Stromrichter ersetzt (negative Polarität am Fahrdraht)
- Wird von der RNV als Fahrschul- und Demonstratorfahrzeug eingesetzt



Umrüstung eines Bestandsfahrzeug Demonstrationsfahrzeug RNV CFO - Rekordfahrt

Fahrt tagsüber im Stadtgebiet

- Leeres Fahrzeug
- 41.6 km ausschließlicher Betrieb aus der Traktionsbatterie
- Durchschnittsgeschwindigkeit 25 km/h



- Integration des *PRIMOVE* Traktionsbatteriesystems in das Antriebssystem einer Straßenbahn der *FLEXITY 2* Familie
- Konzept für eine vollautomatische Steuerung der Betriebsartenwechsel (Oberleitungsbetrieb \leftrightarrow oberleitungsfreier Betrieb) wurde entwickelt
- Der Übergang erfolgt im Fahrbetrieb ohne Einbußen des Fahrkomforts oder der Sicherheit
- Energiemanagement ist erforderlich, um die kalkulierte Lebensdauer des Energiespeichers zu erreichen
- System ist im Passagierbetrieb seit August 2014
- Leistungsfähigkeit der CFO Technik wurde durch Rekordfahrt demonstriert

BOMBARDIER

the evolution of mobility