



# 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

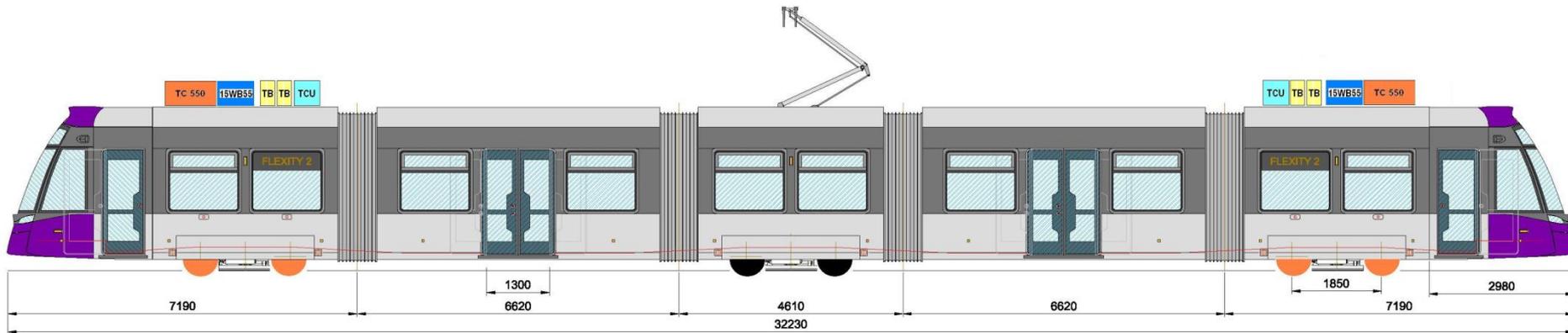
Umrüstung eines Bestandfahrzeugs

# Vorteile des oberleitungsfreien Betriebs



# Fahrzeugkonfiguration und Streckencharakteristik

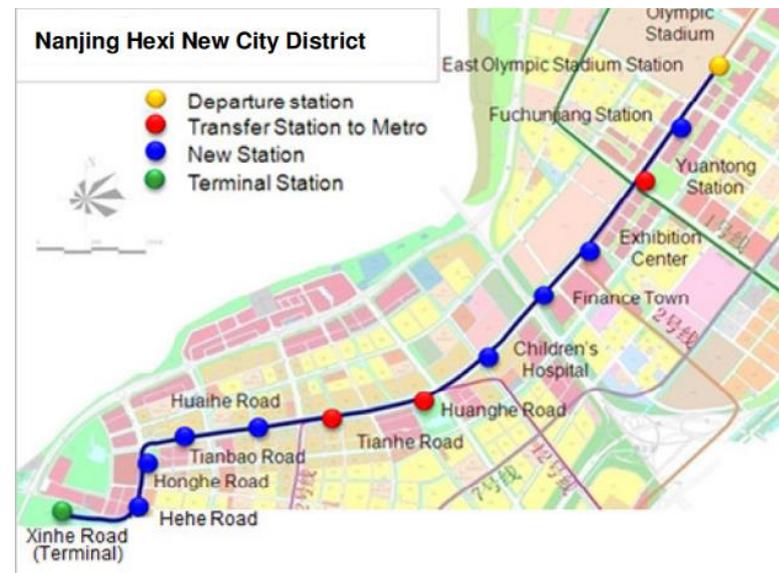
## Nanjing Fahrzeug



- 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 m/s<sup>2</sup>
  - Max. Verzögerung (Betriebsbremsung): -1.3 m/s<sup>2</sup>
  - Höchstgeschwindigkeit: 70 km/h

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

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

	<b>Rail 50</b> Zwei Einheiten à 24,5 kWh
Energieinhalt	24,5 kWh
Nennspannung	533 V
Nennkapazität (1C, 25°C)	46 Ah

### Thermal Conditioning Unit

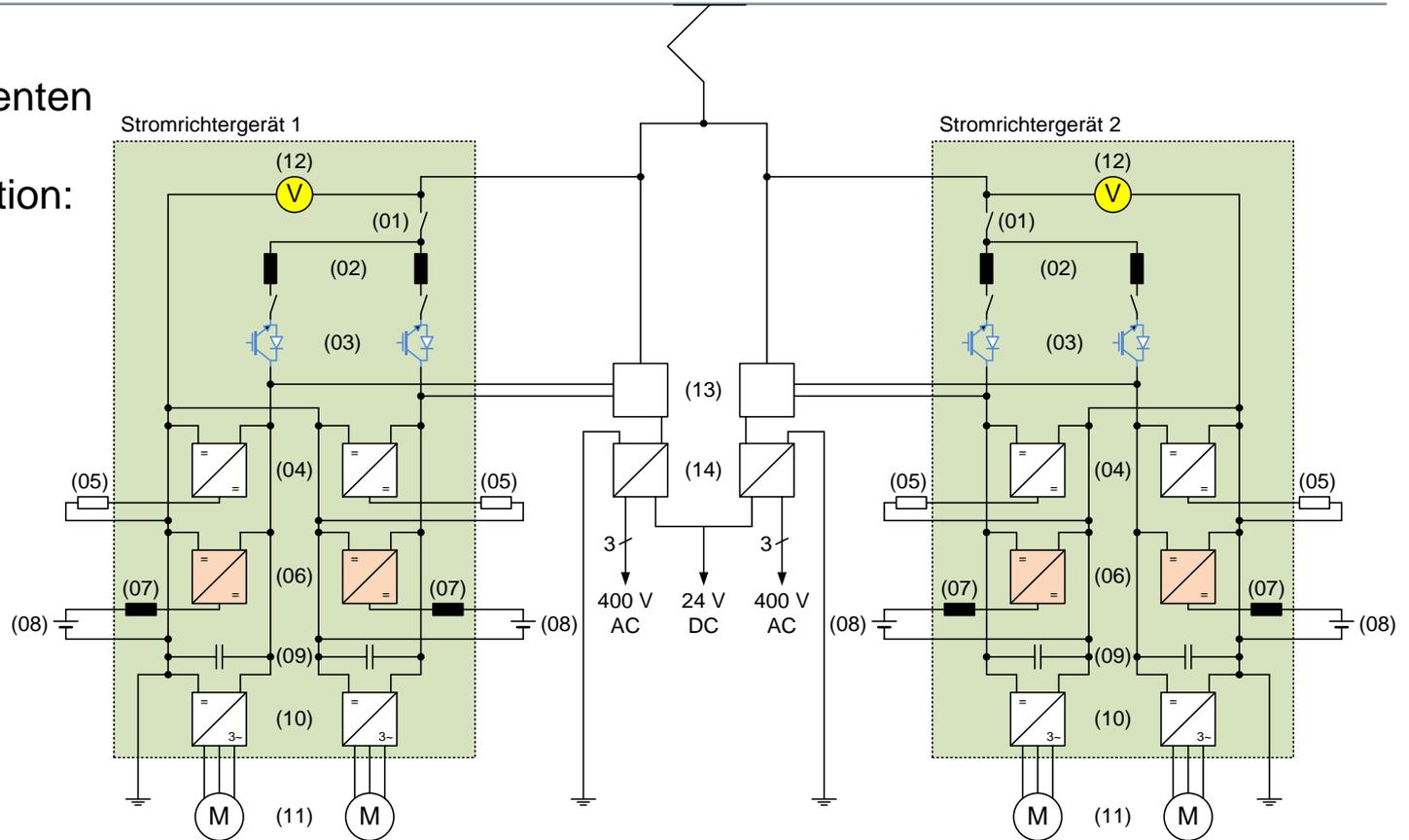
- Kühlung/ Heizung der Batterie für optimale Performance und lange Lebensdauer

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



# CFO spezifische Komponenten an Fahrzeug und Strecke Integration in das Antriebssystem

- Hauptkomponenten und Systemintegration:

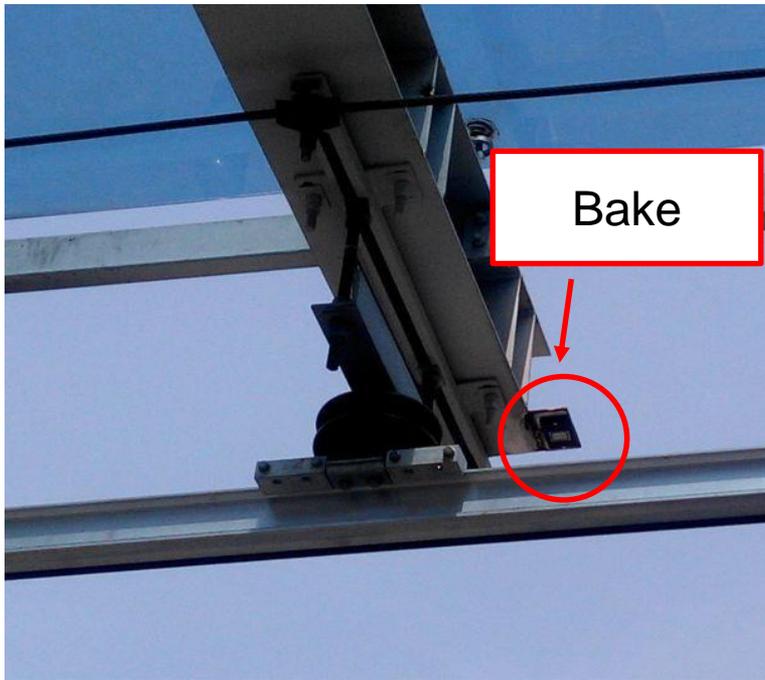


- |                      |   |
|----------------------|---|
| (01) Hauptschütz     | (08) Energiespeicher (ES) / Traktionsbatterie     |
| (02) Filterdrossel   | (09) Zwischenkreiskondensator                     |
| (03) Eingang IGBT    | (10) Motorumrichter                               |
| (04) Bremssteller    | (11) Traktionsmotor                               |
| (05) Bremswiderstand | (12) Netzspannungserkennung                       |
| (06) ES-Steller      | (13) Hilfsbetriebeversorgung Entkopplungsnetzwerk |
| (07) ES-Drossel      | (14) Bordnetzumrichter (BNU)                      |

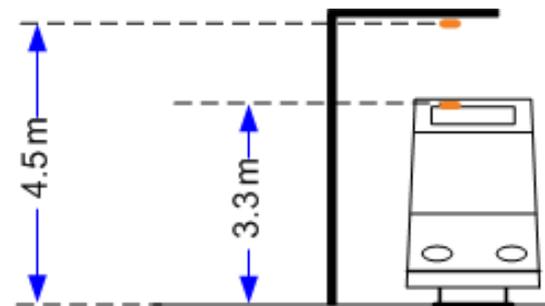
# CFO spezifische Komponenten an Fahrzeug und Strecke

## 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



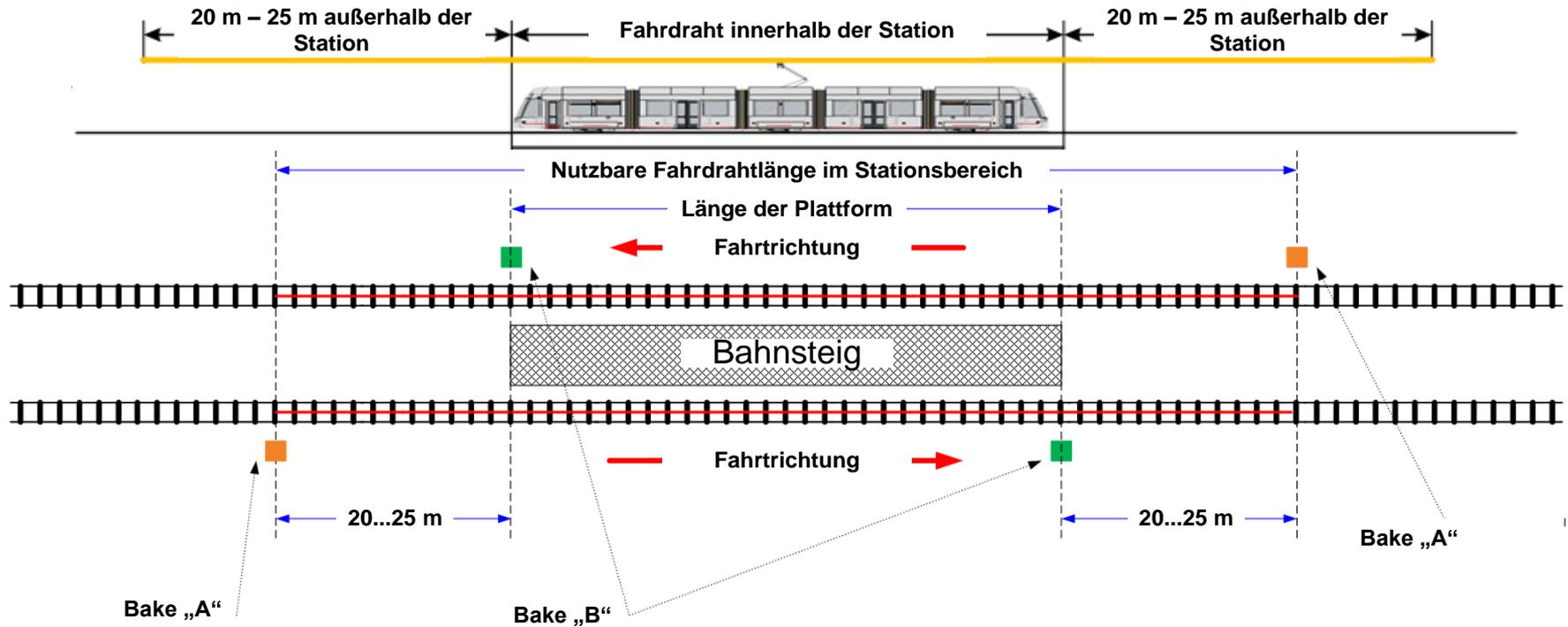
- Baken Empfänger auf dem Fahrzeug



- Anordnung Sender und Empfänger

# Übergang CFO ↔ Oberleitungsbetrieb

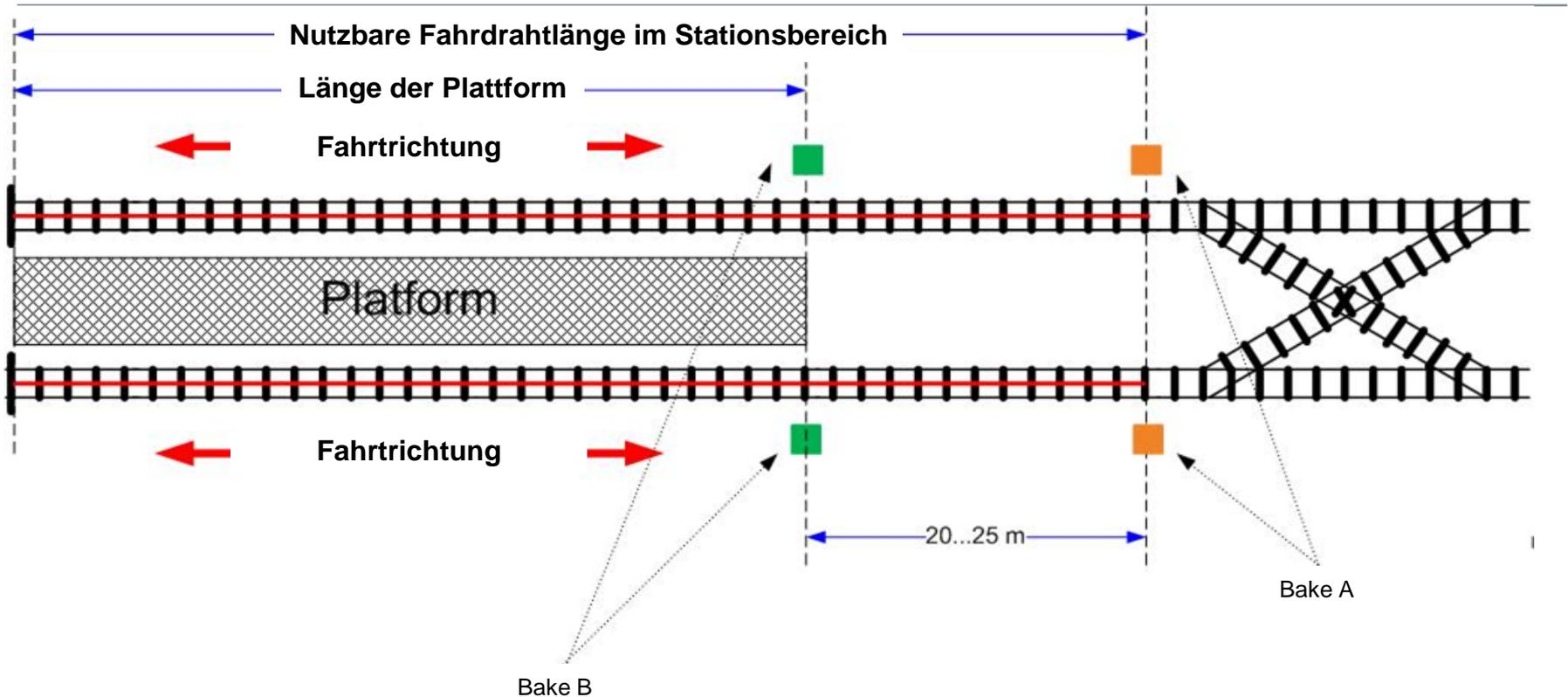
## Anordnung der Tags



- Zeitpunkt zum Heben/Senken des Pantographen abhängig von Fahrzeuggeschwindigkeit, Beschleunigung und verfügbare Fahrdrähtlänge
- 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 Fahrdrahts 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 Fahrdraht beschleunigt
- Tag B, der das Ende des Fahrdrahts ankündigt wird erkannt

### 6. Pantograph wird gesenkt

- Ladevorgang wird beendet

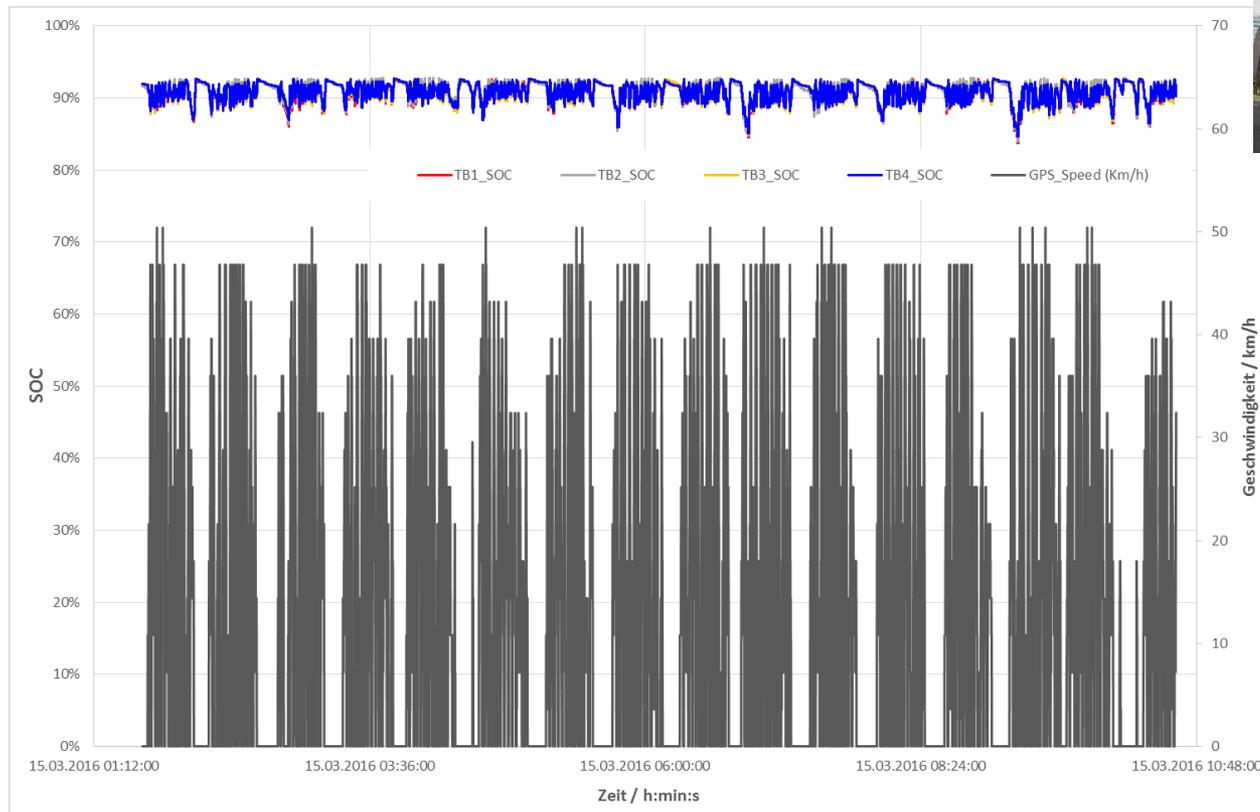
### 7. Weiterfahrt im CFO

- Fahrzeug fährt bis zum nächsten Ladepunkt im fahrdrahtlosen Betrieb

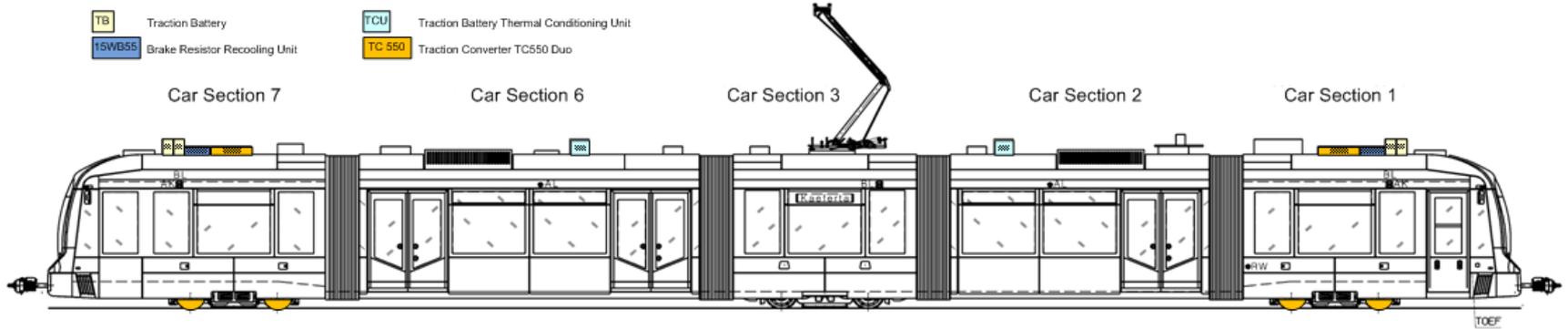
# Nanjing, Hexi und Qilin Line (China) Beispiel 9h Fahrgastbetrieb

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



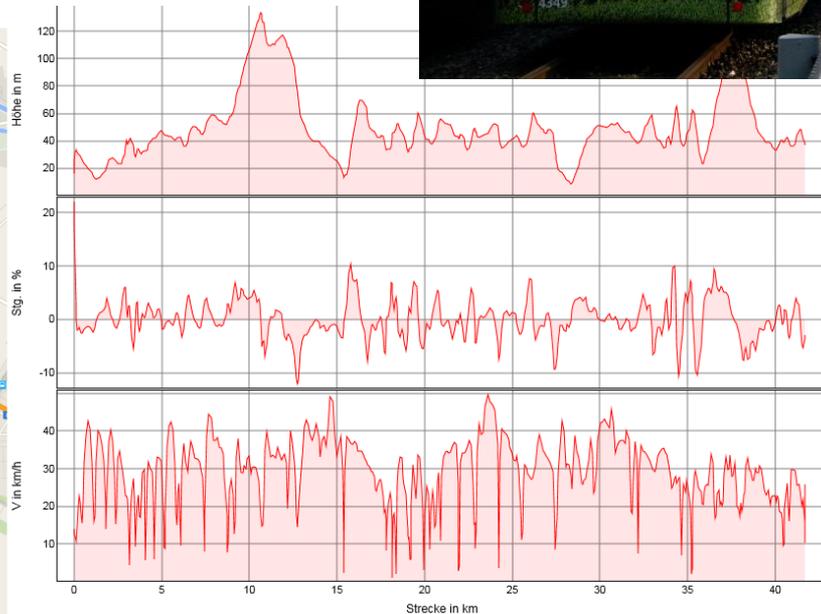
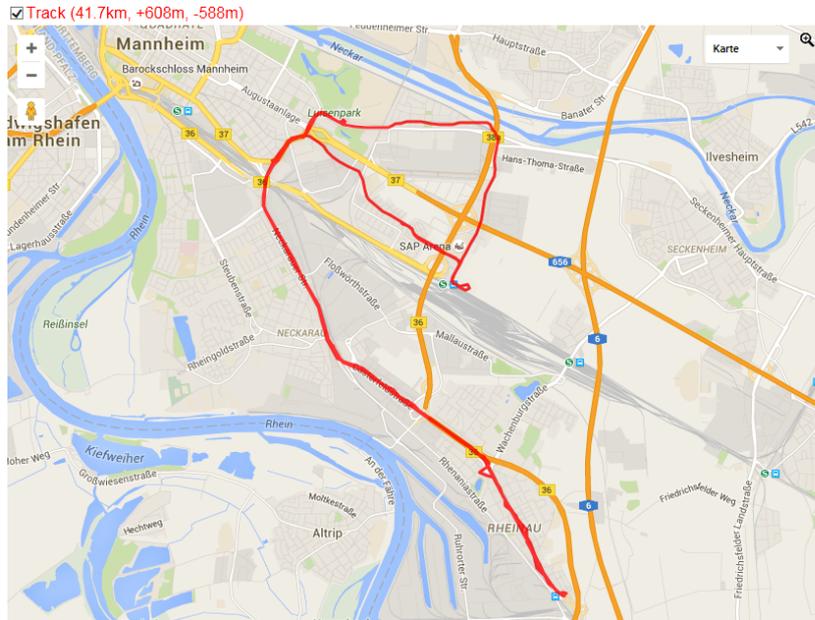
- Bestandsfahrzeug Variobahn des Typs „Rhein-Neckar“ umgerüstet
- Energy Saver durch Batteriespeicher ersetzt
- Stromrichter durch modifizierten „Nanjing“ Stromrichter ersetzt (negative Polarität am Fahrdraht)
- Wird von der RNV als Fahrschul- und Demonstratorfahrzeug eingesetzt



# 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



# Zusammenfassung

---

- 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