



Wenn die Spannung steigt:

Die 750-Volt-Umstellung

Berliner Verkehrsbetriebe (BVG)
Bereich Straßenbahn (BS)
Andreas Below
Torsten Meise

Fragen & Hinweise bitte an:
aaron.kaffler@tu-berlin.de

3. Juli 2023



Neue Systemspannung für das

Straßenbahnnetz der BVG

Tram



Fragen bitte an:
aaron.kaffler@tu-berlin.de



Erhöhung der Spannung um **25 %**
von **600 V** auf **750 V**

381

Fahrzeuge
GT6 + Flexity

61

Gleichrichter-
werke

139

Trafos im
gesamten Netz

>75

beteiligte
Mitarbeiter*innen

Gründe für die Erhöhung

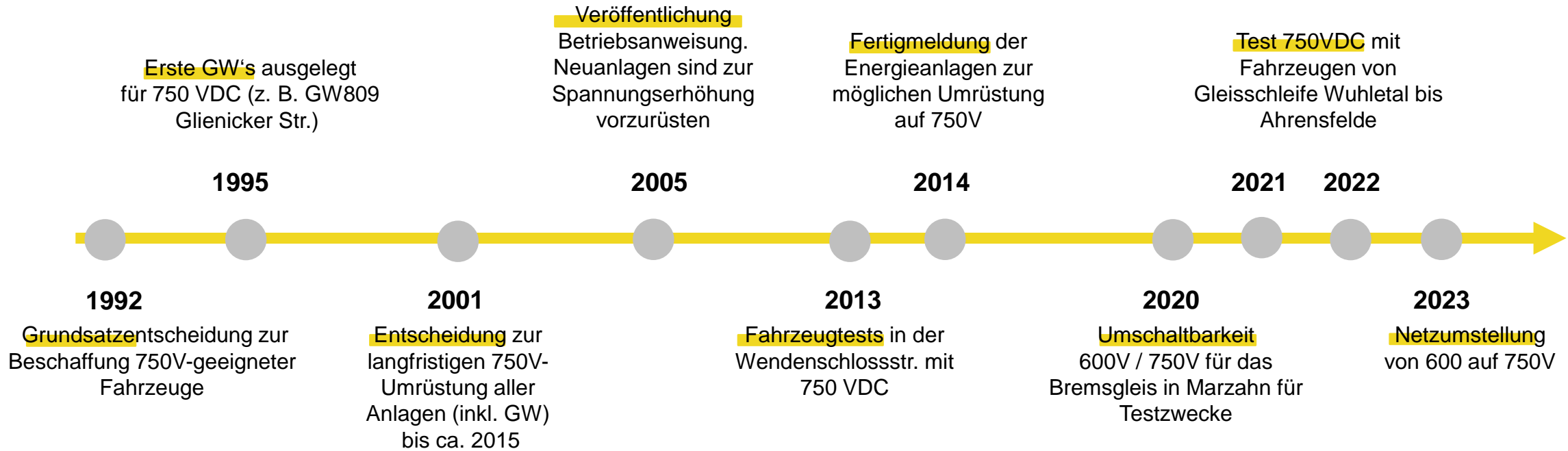
der Fahrspannung

- **Stabilisierung** der Spannung im Fahrleitungsnetz
- **Senkung der Übertragungsverluste**, die eine Energieeinsparung bei der Fahrstromversorgung zur Folge hat
- **größerer Unterschied** zwischen den maximalen Betriebsströmen und den minimalen Kurzschlussströmen (Erhöhung Zuverlässigkeit)

Die erhöhte Fahrspannung wirkt sich auch positiv auf die Angebotsplanung auf:

- **Dichtere Taktfolge**
- **Größere Fahrzeuge**
- **Besserer Fahrgastkomfort (z.B. Klimatisierung)**

Der Weg zur Umstellung





Rahmenbedingungen

& Herausforderungen

Rahmenbedingungen

- Mit 197 km Streckenlänge das drittgrößte Straßenbahnnetz der Welt
- Umstellung sollte ohne spürbare Komforteinschränkungen für die Fahrgäste erfolgen (kein reduzierter Fahrplan, kein SEV)

Resultierende Herausforderungen

- Umstellung im laufenden Fahrbetrieb (Nebenverkehrszeit)
- Umstellung des Netzes in Etappen
- Übergangszeit mit Mischbetrieb 600 V & 750 V

Fahrzeugtechnische Vorbereitung

Ermittlung notwendiger fahrzeugseitiger Anpassungen

- Erprobung der Fahrzeuge auf den Betriebshöfen und im Streckennetz unter 750 V
- Erprobung des Mischbetriebs, wichtig für Umstellphase
- Umsetzung bekannter notwendiger technischer Änderungen für 750 V:
 - Netzspannungserkennung
 - Heizelemente
 - Vorladung der Antriebe

Zu berücksichtigende Fahrzeugtypen

Karten-
Technik
GT6-94
GT6-96
GT6-98
GT6-99



„Softwarebasierte“
Antriebssteuerung

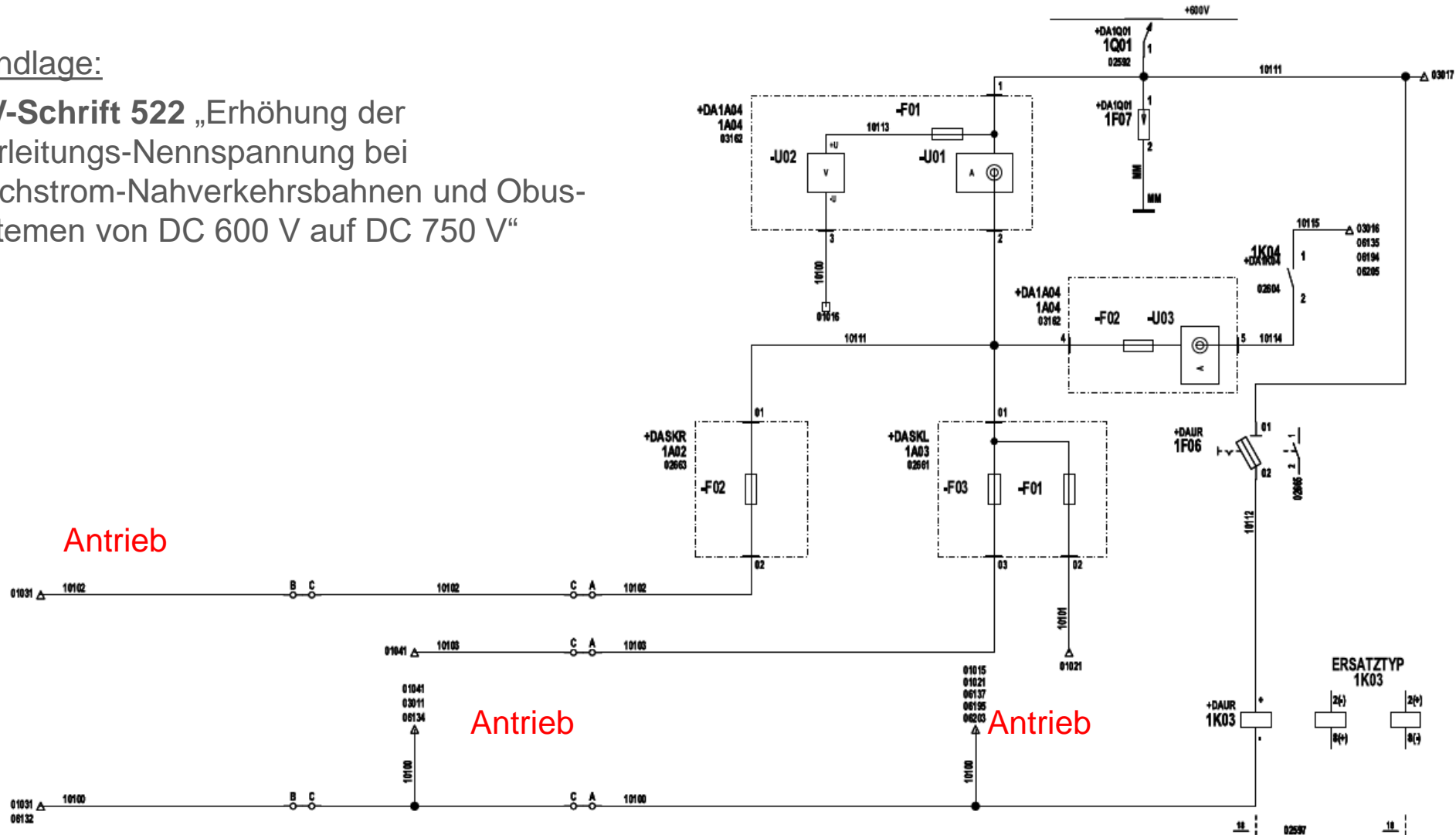
GT6U-94
GT6U-96
Flexity
SF60



Angeschlossene Komponenten an Fahrleitungsspannung

Grundlage:

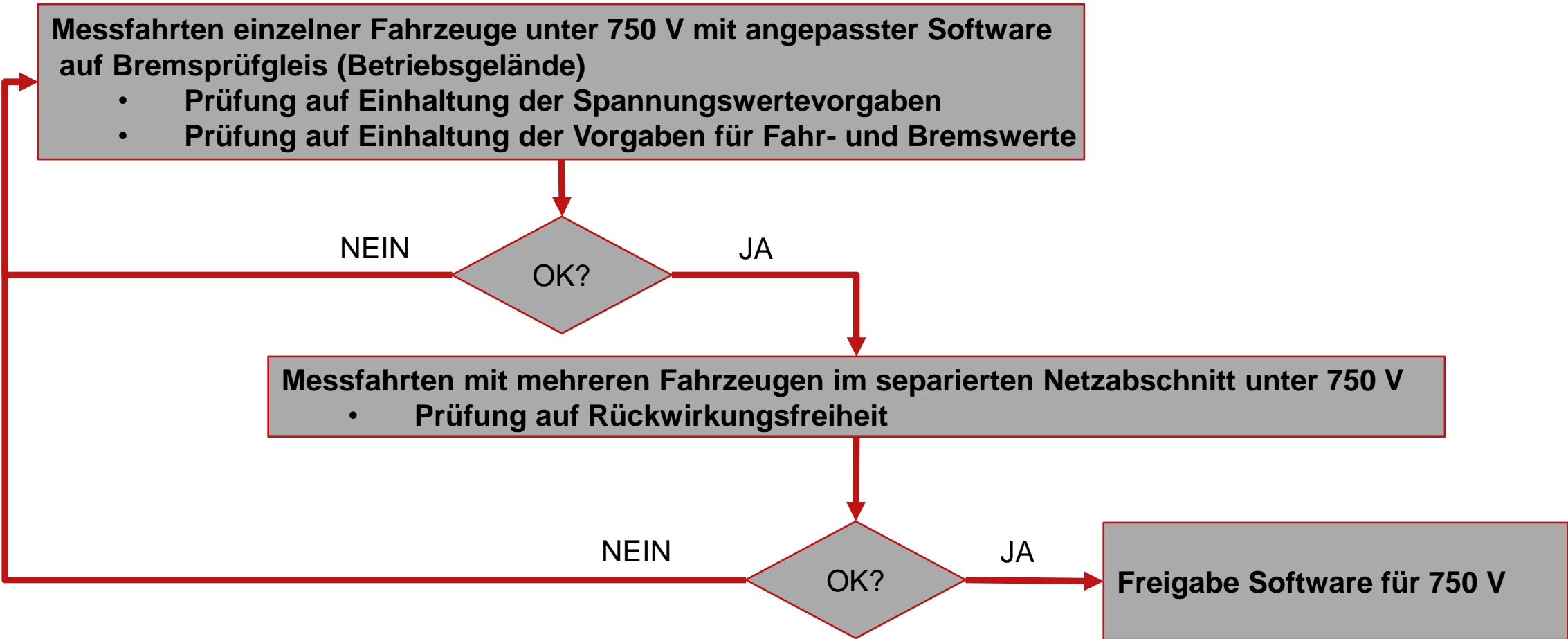
VDV-Schrift 522 „Erhöhung der Fahrleitungs-Nennspannung bei Gleichstrom-Nahverkehrsbahnen und Obus-Systemen von DC 600 V auf DC 750 V“



Relevante Systemkomponenten für 750 VDC

Komponenten		GT6	GT6U	Flexity	SF60
Fahrzeugelektrik	Kabel, Leitungen	OK	OK	OK	OK
	Überspannungsschutz	OK	OK	OK	OK
	Stromabnehmer	OK	OK	OK	OK
	Rückleiter	OK	OK	OK	OK
Antrieb	Allgemeine Steuerung, Vorladung	NOK	NOK	OK	OK
	Schaltkomponenten, Kondensatoren, Motore	OK	OK	OK	OK
	Software (ggf. 750-V-Erkennungs-Parameter)	NOK	NOK	(N)OK	NOK
Bordnetzumrichter	Steuerung	OK	OK	OK	OK
	Schaltkomponenten, Kondensatoren, Filter	OK	OK	OK	OK
Hilfsbetriebe	Speisung erfolgt durch Bordnetzumrichter (Beleuchtung, Türen, Sandstreuer u. ä.)	OK	OK	OK	OK
Heizung, Klima	Steuerung, Lüfter, Motoren – über Bordnetz	OK	OK	OK	OK
	Heizelemente (Widerstände)	NOK	NOK	OK	OK

Anpassung der Fahrzeugsoftware für 750-V-Betrieb



Gleichstrom-Bahnsysteme nach DIN EN 50163

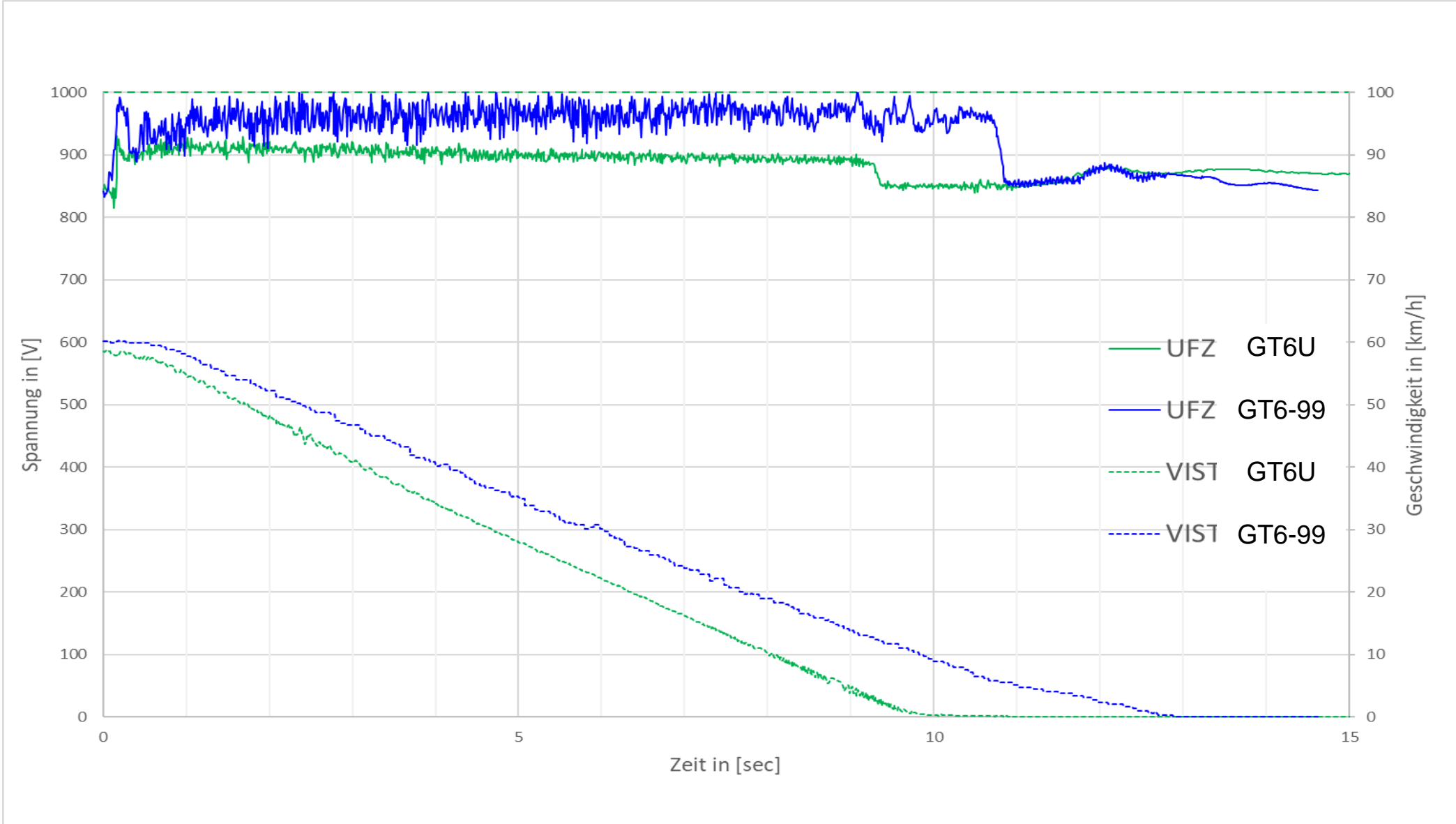
U_n	U_{min2}	U_{min1}	U_{max1}	U_{max2}
[V]	[V]	[V]	[V]	[V]
600	400	400	720	800
750	500	500	900	1000
1500	1.000	1.000	1.800	1.950

Legende:

- U_n Fahrleitungs-Nennspannung
- U_{min2} Niedrigste nichtpermanente Spannung
- U_{min1} Niedrigste Dauerspannung
- U_{max1} Höchste Dauerspannung
- U_{max2} Höchste nichtpermanente Spannung

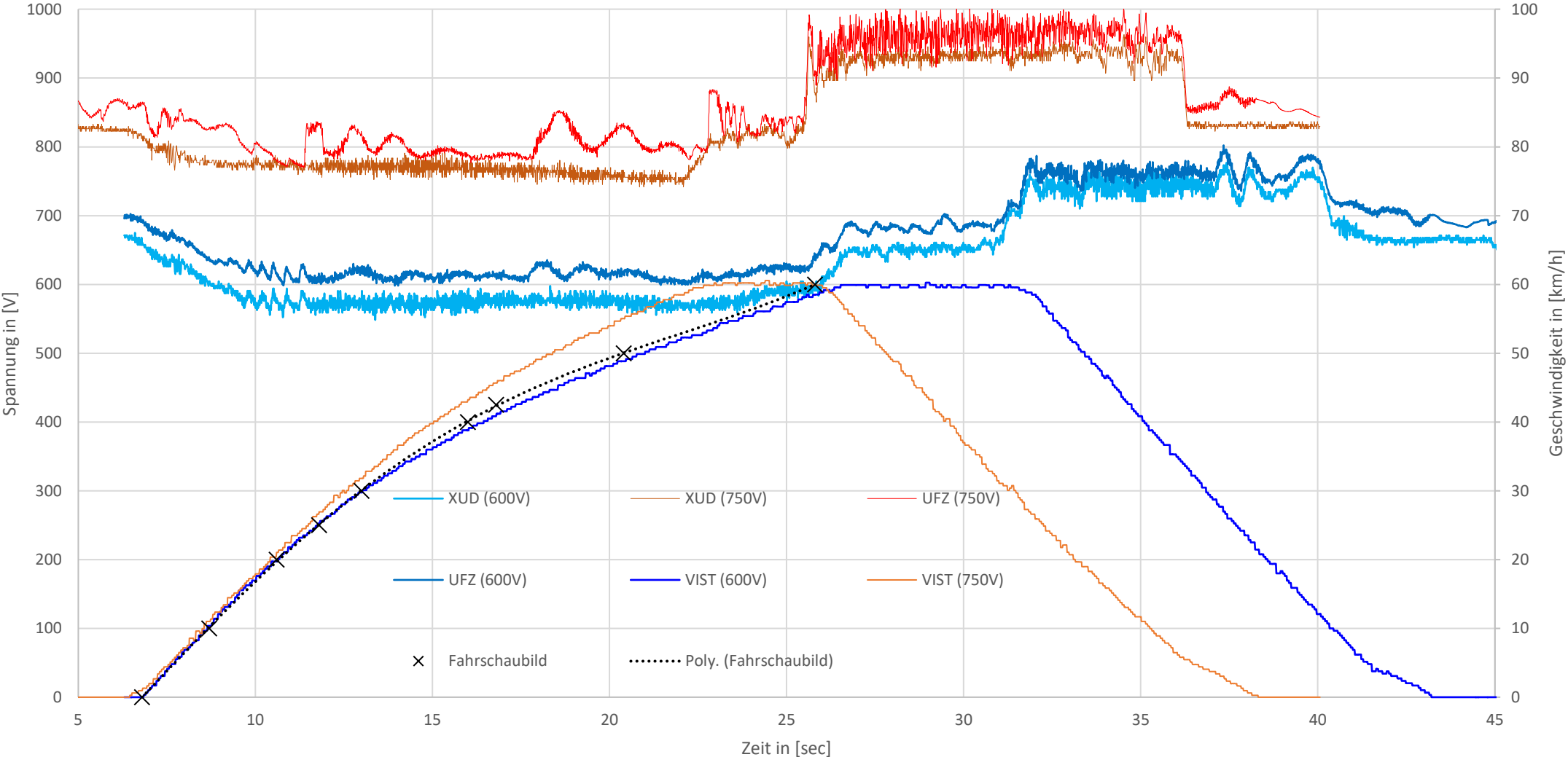
Tabelle 1: Nennspannungen und ihre zulässigen Grenzen bezüglich Werten und Dauer
 (Quelle: Auszug aus DIN EN 50163:2005-07, Tabelle 1)

GT6U vs. GT6-99, Vergleich erste SW für 750-V-Betrieb



Vergleich GT6-99 bei 600 V und 750 V Nennspannung

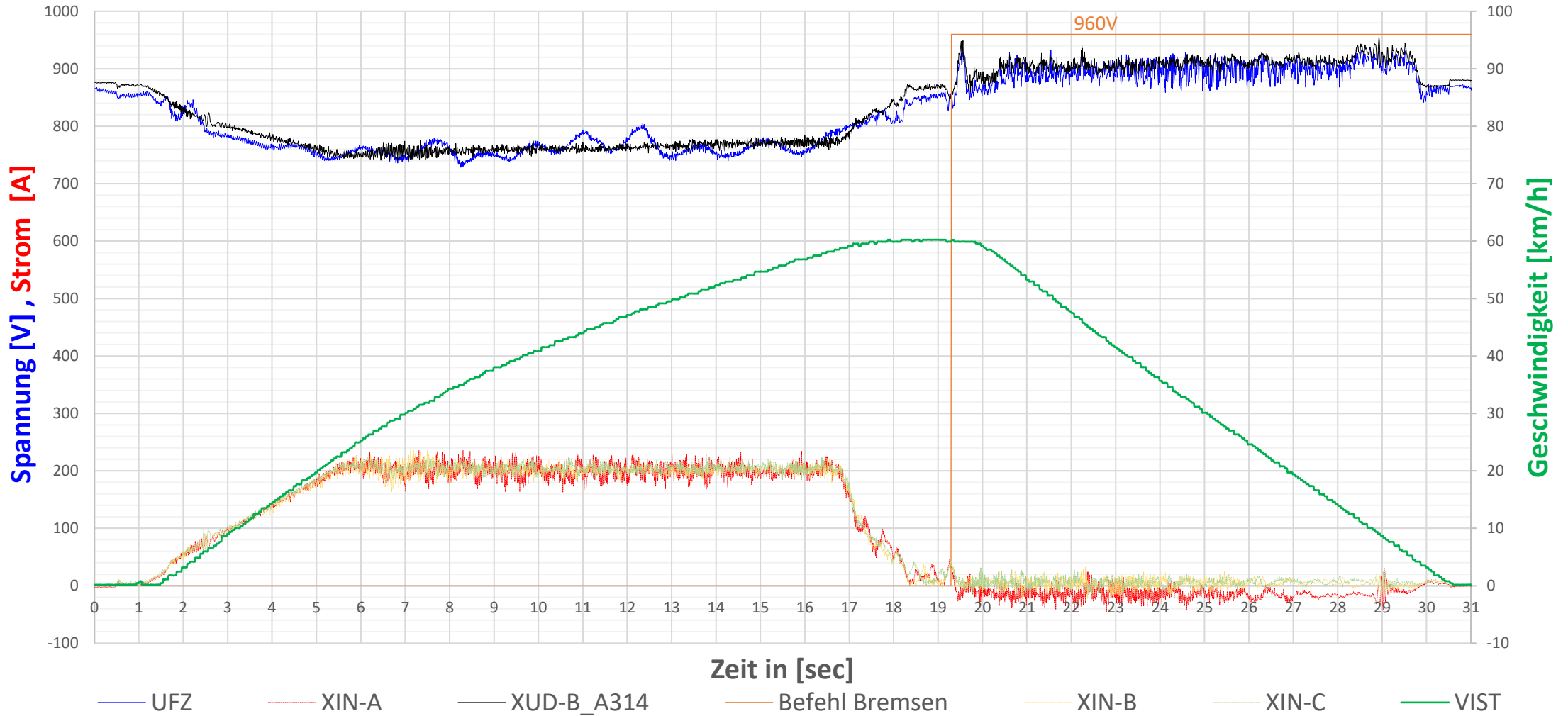
Messfahrt einer GT6-99 am 17.06.2020





Verhalten 750 V nach Kalibrierung und angepasster ASG-SW

GT6-99, 750V "0..60..0 km/h" mit ASG v1.4E + A309 & A314 kalibriert
--> ohne Ausfall DBU --> Einhaltung U_max f. DBU = 960V



Herausforderung: 600 V und 750 V im Mischbetrieb

Wie erkennt man, in welchem Netz (600/750 V) man ist?

- Rückspeisungen verfälschen die Erkennung (Überlappung Spannungsbereiche)
 - Hinweistafeln/Trenner – zu unsicher und aufwendig
- Automatische Netzerkennung und händisches Umschalten sind ungeeignet



GT6-94/96/98/99 (Karten-Technik) und SF60

- nur reiner Betrieb unter 600 V oder 750 V getestet
 - Übergangssoftware nur sehr umständlich umsetzbar
- **Ungeeignet** für Mischbetrieb



GT6U (Software)

- Schnelle Anpassung Schaltschwellen durch andere Software möglich
 - Hardware benötigt keine weitere Anpassung bei Mischbetrieb
- **Geeignet** für Mischbetrieb (vorbereitend zur Umstellung Abschaltung Rückspeisung)



Flexity (Software)

- Software geeignet für beide Spannungsbereiche
 - Setzen der Software in 750-V-Modus
- **Geeignet** für den Mischbetrieb

Fahrzeugtechnische Vorbereitung

Ermittlung notwendiger fahrzeugseitiger Anpassungen



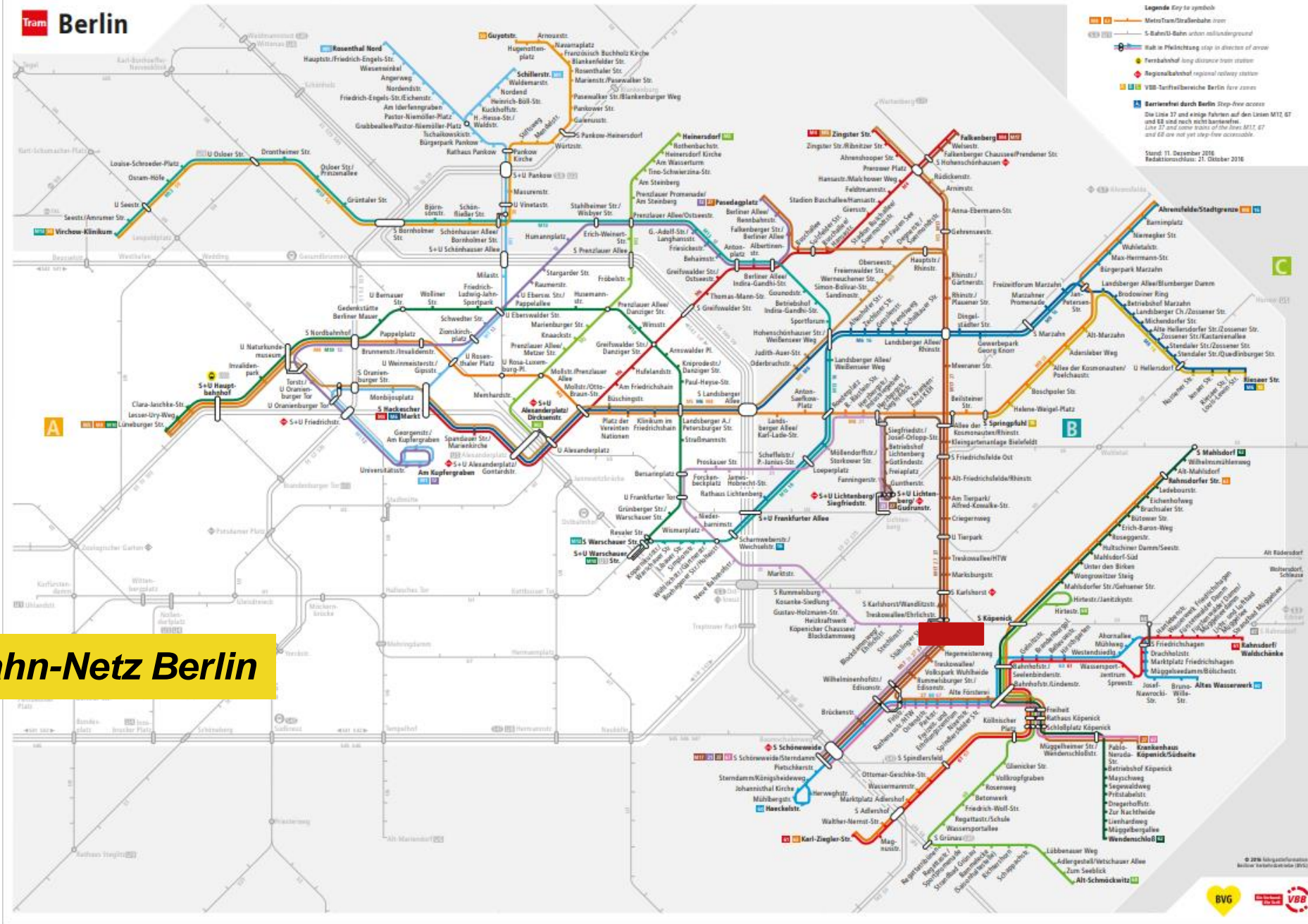
- Erprobung der Fahrzeuge auf den Betriebshöfen und im Streckennetz unter 750 V
- Erprobung des Mischbetriebs, wichtig für Umstellphase
- Umsetzung bekannter notwendiger technischer Änderungen für 750 V:
 - Netzspannungserkennung
 - Heizelemente
 - Vorladung der Antriebe

Ergebnisse

- Definierte Softwarestände, Hardwareanpassungen für alle Fahrzeugtypen
- GT6 mit AEG-Steuerung (GT6-94/96/98/99) können **nicht** im Mischbetrieb fahren
- GT6U und Flexity können im Mischbetrieb gefahren werden

Schlussfolgerungen

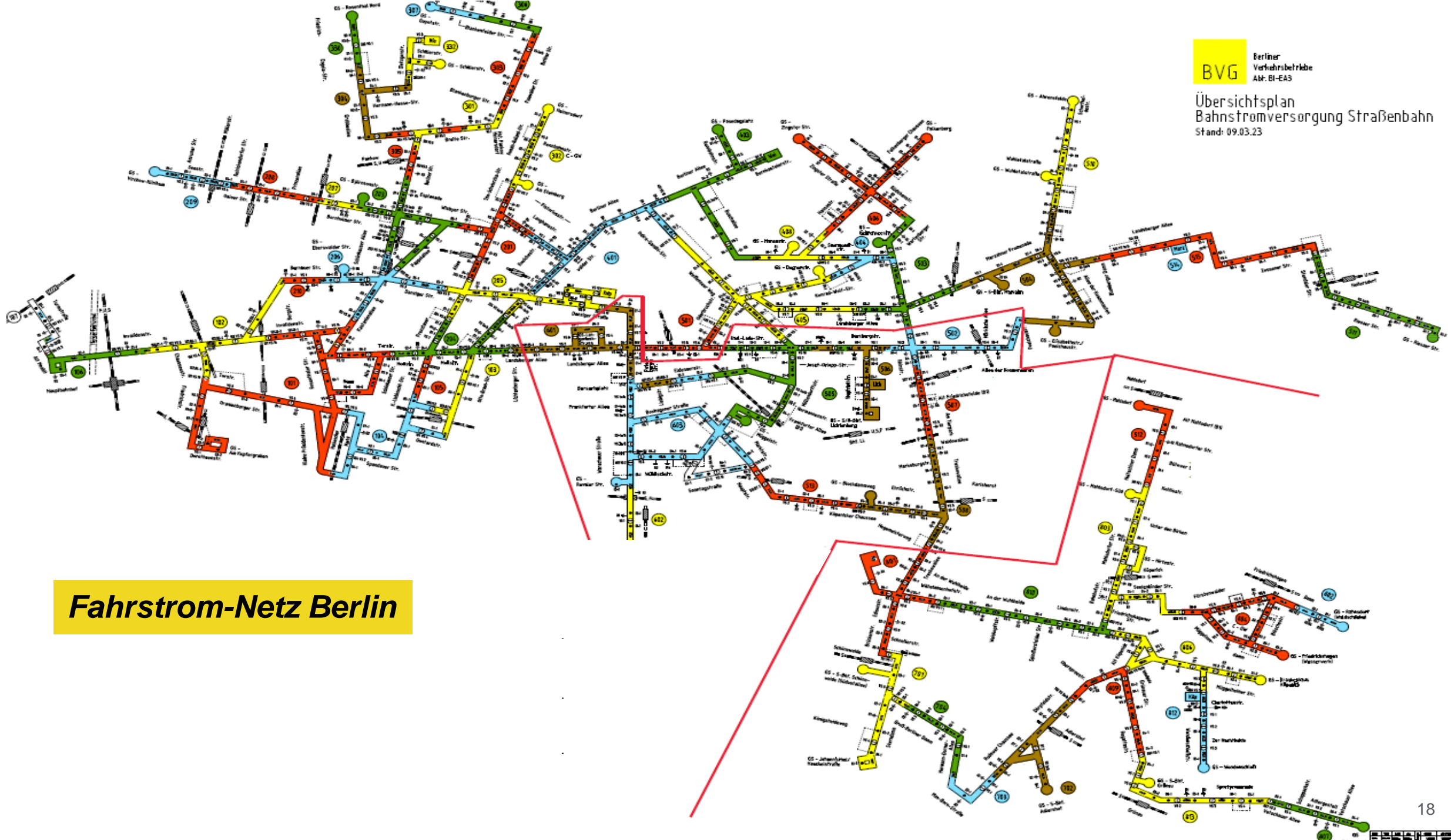
- Separation von GT6 mit Kartentechnik während der Umstellphase
- **Definition des Umstellszenarios**



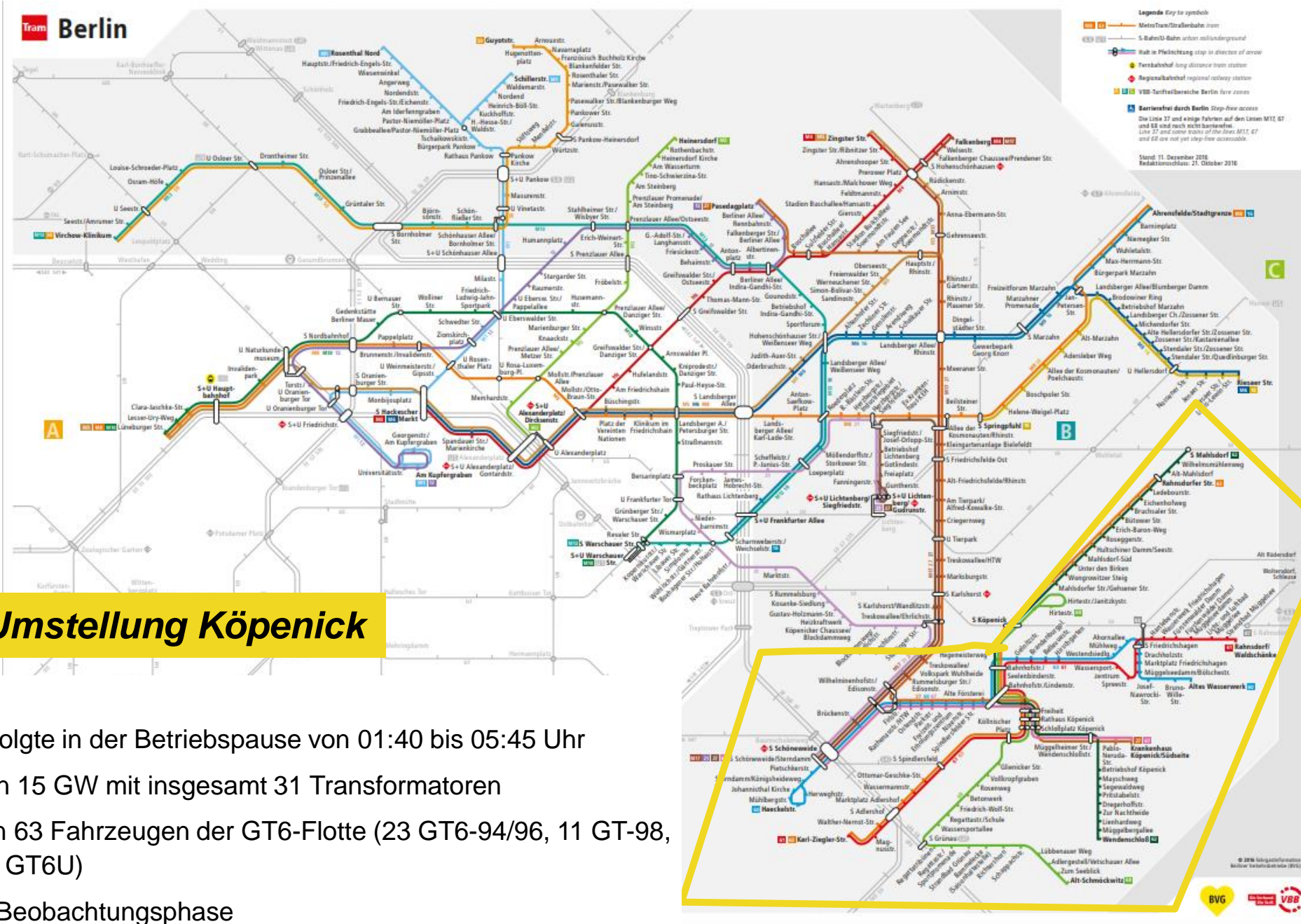
- Legende Key to symbols**
- Metro/Tram/Straßenbahn line
 - S-Bahn/Ü-Bahn urban rail underground
 - Rail in Pflichtenstellung (stop in direction of arrow)
 - Fernbahnhof long distance train station
 - Regionalbahnhof regional railway station
 - VBB-Tarifbereich Berlin fare zones
 - Barrierefrei durch Berlin Step-free access: Die Linie 27 und einige Fahrten auf den Linien M12, 67 und 68 sind noch nicht barrierefrei. Linie 27 und some parts of the lines M12, 67 and 68 are not yet step-free accessible.
- Stand: 11. Dezember 2016
Reaktionschluss: 21. Oktober 2016



Straßenbahn-Netz Berlin



Fahrstrom-Netz Berlin



Phase 1: Umstellung Köpenick

11./12.03.23:

- Umstellung erfolgte in der Betriebspause von 01:40 bis 05:45 Uhr
- Umstellung von 15 GW mit insgesamt 31 Transformatoren
- Umrüstung von 63 Fahrzeugen der GT6-Flotte (23 GT6-94/96, 11 GT-98, 19 GT6-99, 10 GT6U)
- Anschließend Beobachtungsphase



Phase 2: Umstellung Ring Hauptnetz

01./02.04.23:

- Umstellung erfolgte im Nachtbetrieb zwischen 01:00 und 05:00 Uhr
- Umstellung von 9 GW mit insgesamt 24 Transformatoren
- Linien 21 und 37 (GT6-98/99) inkl. Hof Lichtenberg damit unter 750 V
- Umrüstung der 231 Flexity- Fahrzeuge und der noch nicht umgerüsteten GT6

→ Beginn des Mischbetriebs





Phase 3: Umstellung Hauptnetz

03./14.04.23:

- Schrittweise Umrüstung von 37 GW in 6 Nachteinsätzen
- Umstellung jeweils von 22:00 Uhr bis 05:00 Uhr
- Mit dem letzten GW am 14.04.23 war das Gesamtnetz auf 750V umgestellt



Vielen Dank für

Ihre Aufmerksamkeit

Torsten Meise
Abteilungsleitung Fahrzeuge

Andreas Below
Fachgebietsingenieur E-Technik

Bereich Straßenbahn

Fragen bitte an:
aaron.kaffler@tu-berlin.de