Brenner Basistunnel

Konzepte der Bahnenergie-versorgung

Dipl.-Ing. Ronny Arlt, SIGNON Deutschland GmbH, Senior

Prof. Dr.-Ing. habil Gerhard Hofmann, SIGNON Deutschland GmbH, Principal

Gliederung

I. Einführung

II. Frühere Planungsphasen

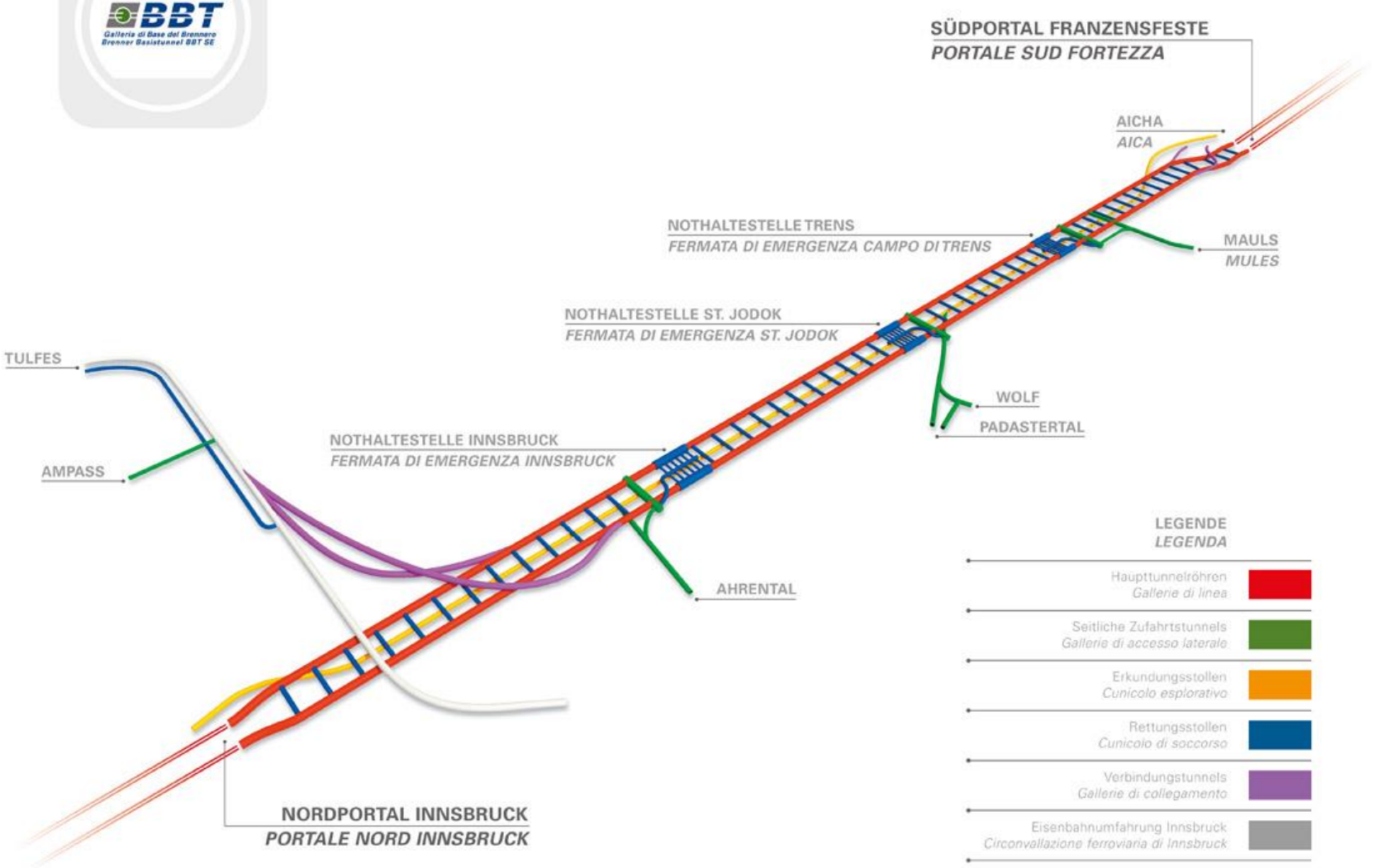
III. Versorgungskonzept mit AC 25 kV 50 Hz

IV. Speisevarianten in AC 15 kV 16,7 Hz

V. Technischer Variantenvergleich

I. Einführung

I. Einführung



I. Einführung

BBT-Eckdaten:

- Bestandteil des TEN-T-Kernnetzkorridors SCAN-MED
- Längen:
  - 64 km – Portal Tulfes bis Portal Franzensfeste
  - 55 km – Portal Innsbruck bis Portal Franzensfeste
- Querschläge alle 333 m
- Maximale Gebirgsüberlagerung: 1.720 m
- Entwurfsgeschwindigkeiten:
  - 160 km/h für Güterverkehr
  - 250 km/h für Personenverkehr
- Längsneigung: 4..7 ‰

Ausrüstungsgrundsätze:

- Zugsicherungssystem: ETCS Level 2
- Bahnenergieversorgung gemäß TSI ENE:
  - AC 15 kV 16,7 Hz
  - AC 25 kV 50 Hz

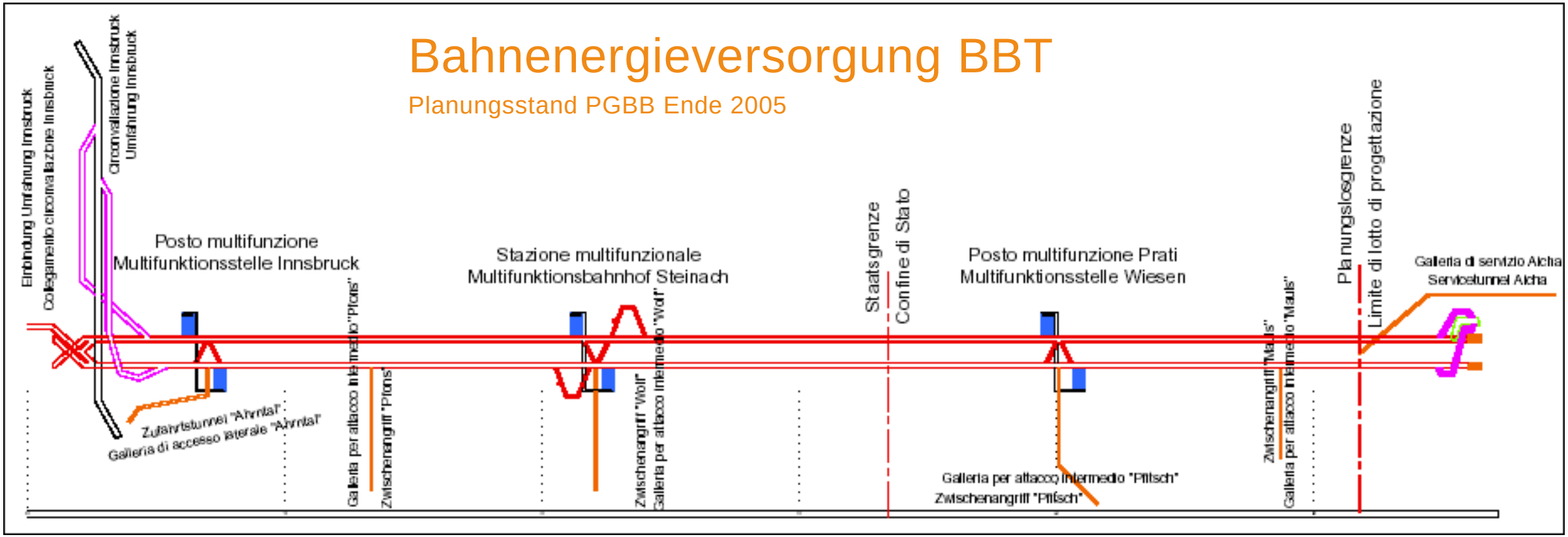
II. Frühere Planungsphasen

Projektgemeinschaft BRENNER BASISTUNNEL
Progettazione GALLERIA di BASE del BRENNERO

Bahnenergieversorgungssystem für den Brenner Basistunnel 2006

Sistema di approvvigionamento energetico della Galleria di Base del Brennero

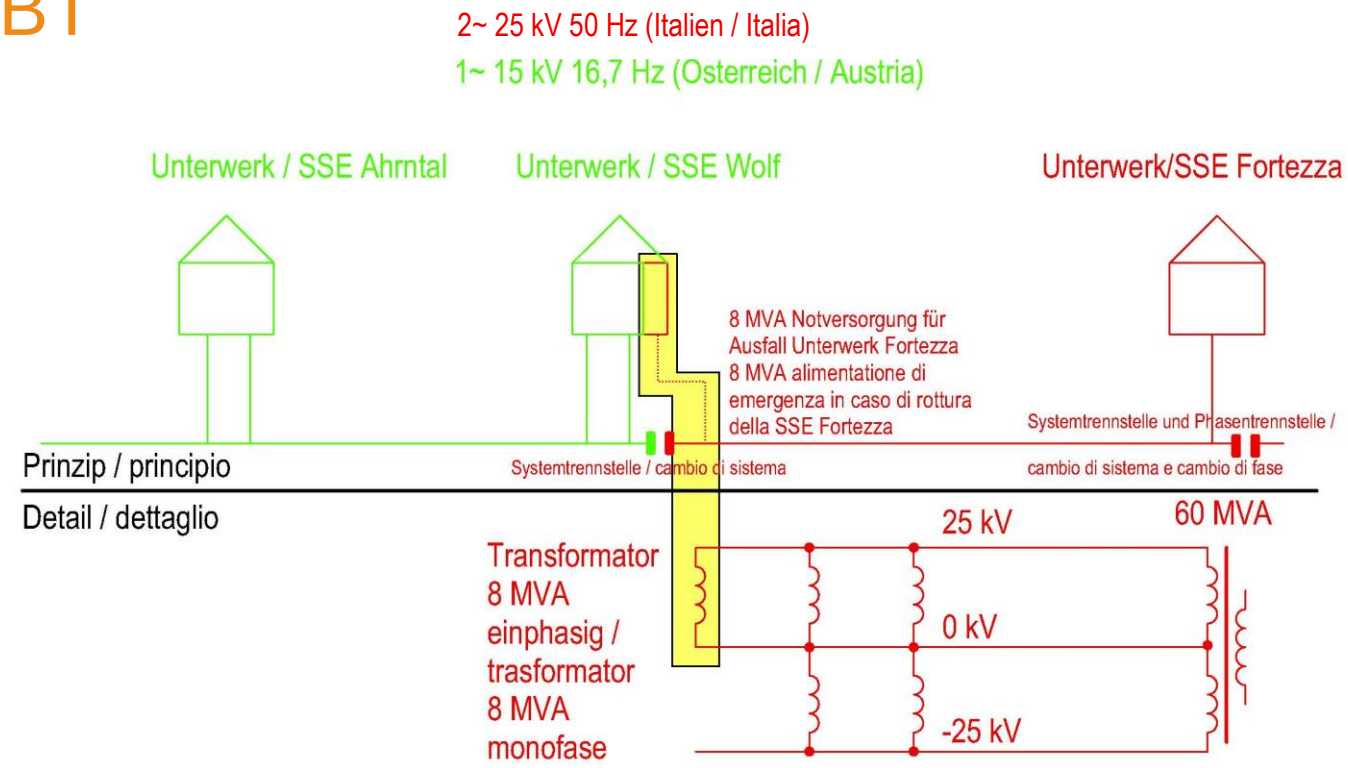
II. Frühere Planungsphasen



Variante A: 15 kV 16,7 Hz / 25 kV 50 Hz

Bahnenergieversorgung BBT

Versorgung des Tunnels mit 15 kV 16,7 Hz und 25 kV 50 Hz



Variante A: 15 kV 16,7 Hz / 25 kV 50 Hz

Brenner Basis-Tunnel: Eurostromabnehmer 1 600 mm; Umfahrung Innsbruck Pantograph 1 950 mm.

Positionierung aller erforderlichen System-Wechsel (SW) und Phasen-Wechsel (PW)

- SW 15 kV 16,7 Hz – 25 kV 50 Hz in beiden Tunnelröhren ca. 2 km südlich MFS Steinach
- SW im Bahnhof Franzensfeste 25 kV 50 Hz – 3 kV d. c.
- PW im Bahnhof Franzensfeste 25 kV 50 Hz – 25 kV 50 Hz (unterschiedliche Phasenlagen Speisung BBT und Strecke Süd)

Art und Standorte der erforderlichen Unterwerke UW / Umrichterwerke

- Erweiterung des bestehenden UW Unterberg 16,7 Hz
- Neubau 16,7-Hz-UW Wolf
- Neubau Notspeisung UW 25 kV 50 Hz Wolf
- Erweiterung 50-Hz-UW Franzensfeste, das die Hochgeschwindigkeitsstrecke Süd speisen wird

Erforderliche Neubau-Freileitungen

- ca. 750 m Anschluss 16,7-Hz-UW Wolf an bestehende 16,7 Hz Hochspannungsleitung
- ca. 2000 m Kabelanschluss 50-Hz-Notspeisung UW Wolf an Bestands-50-Hz-Mittelspannungsnetz
- ca. 500 m Kabelanschluss an die Hochspannungsleitung 130 kV 50 Hz in Franzensfeste

Variante A: 15 kV 16,7 Hz / 25 kV 50 Hz

Platzbedarf

- zwei UW in Wolf: 15 kV 16,7 Hz und 25 kV 50 Hz

Sicherheit

- SW im Brenner Basistunnel weit weg von Innsbruck oder Fortezza
- zwei Autotransformatorenstandorte
- Maximale Leiter-Erde-Spannung im Normalbetrieb 27,5 kV bis ungefähr in der Mitte des Tunnels

Gestaltung der Fahrleitungsanlagen – zwei Bauweisen:

- im 15 kV 16,7 Hz-Bereich TSI zugelassene FL, Kulissen-Abspannungen auf dem Instandhaltungsgang; Äquipotentialfeeder
- im 25 kV 50 Hz-Bereich TSI-zertifizierte FL-Bauweise, Abspannungen in den Querschlägen, Negativfeeder erforderlich

Versorgung aus dem übergeordneten Netz

- 16,7-Hz-UW Unterberg: Netzknoten im 16,7 Hz-Hochspannungsnetz der ÖBB, Anbindung aus Vorarlberg und aus dem oberen Inntal und Speisung in Richtung Gries am Brenner
- 16,7-Hz-UW Wolf: Anbindung an 16,7-Hz-ÖBB-Hochspannungsleitung Unterberg – Gries am Brenner
- 50-Hz-Notspeise-UW Wolf: Anbindung an 50 Hz Mittelspannungsnetz der TIWAG
- 50-Hz-UW Franzensfeste: Anbindung an das 50 Hz Hochspannungsnetz in Franzensfeste

Variante A: 15 kV 16,7 Hz / 25 kV 50 Hz

Einhaltung der Versorgungsparameter nach TSI - NORMALBETRIEB

- wird eingehalten

Einhaltung der Versorgungsparameter nach TSI – AUSSERORDENTLICHER BETRIEB

- Die Parameter werden nur zum Teil eingehalten

Versorgungszuverlässigkeit / Verfügbarkeit / RAM Parameter

- hoch im Bereich 16,7 Hz, niedrig im Bereich 50 Hz:
- durchgängige zweiseitige Speisung zwischen Bf./Umfahrung Innsbruck und Steinach
- einseitige Speisung mit 2*25 kV 50 Hz von Franzensfeste nach Steinach
- bei Ausfall von Franzensfeste Notspeisung begrenzt auf 8 MW

Mögliche Probleme hinsichtlich der Genehmigung

- Auf europäischer Ebene wird von zwei verschiedenen Traktionssystemen in einem Tunnel abgeraten

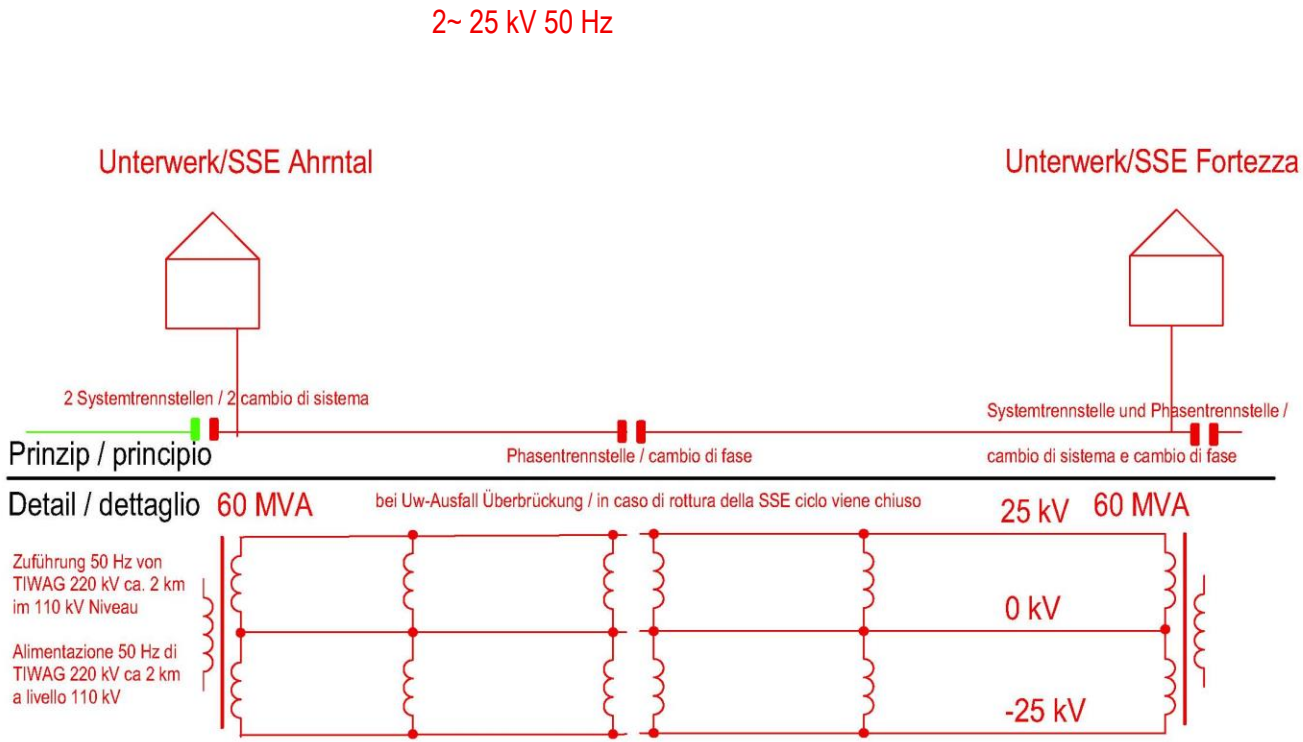
Instandhaltbarkeit - höhere Betreiberaufwendungen aufgrund von zwei Systemen

- im 16,7 Hz Bereich einpolige Anlage
- im 50 Hz Bereich zweipolige Anlage

Variante B: 25 kV 50 Hz

Bahnenergieversorgung BBT

Versorgung des Tunnels mit 25 kV 50 Hz



Variante B: 25 kV 50 Hz

Positionierung aller erforderlichen System-Wechsel (SW) und Phasen-Wechsel (PW)

- SW 15 kV 16,7 Hz – 25 kV 50 Hz in beiden Verbindungsröhren Umfahrung Innsbruck – MFB Innsbruck
- SW 15 kV 16,7 Hz – 25 kV 50 Hz in den Tunnelröhren Bf Innsbruck – MFB Innsbruck
- SW Bahnhof Franzensfeste 25 kV 50 Hz – 3 kV d. c.
- PW 25 kV 50 Hz – 25 kV 50 Hz in beiden Tunnelröhren ca. 2 km südlich MFB Steinach (unterschiedliche Phasenlagen der österreichischen und italienischen Hochspannungsnetze)
- PW im Bahnhof Franzensfeste 25 kV 50 Hz – 25 kV 50 Hz (unterschiedliche Phasenlagen Speisung BBT und Strecke Süd)

Art und Standorte der erforderlichen Unterwerke UW / Umrichterwerke

- Neubau 50 Hz-Unterwerk Ahrntal (halbe Leistung, da nur einseitig nach Süden gespeist wird, nach Norden nur 7 km)
- Erweiterung 50 Hz -UW Franzensfeste, das die Strecke Richtung Verona speisen wird identisch mit Variante A

Erforderliche Neubau-Freileitungen

- ca. 2 000 m Neubau eines Hochspannungskabels 110 kV 50 Hz zum 50 Hz UW Ahrntal
- ca. 500 m Kabelanschluss an die Hochspannungsleitung 130 kV, 50 Hz in Franzensfeste

Platzbedarf

- ein 50 Hz Unterwerksstandort in Ahrntal

Variante B: 25 kV 50 Hz

Sicherheit

- drei Autotransformatorenstandorte
- Maximale Leiter-Erde Spannung im Normalbetrieb 27,5 kV

Gestaltung der Anlagen der Fahrleitung

- Verwendung einer TSI-zertifizierten FL-Bauweise, Abspannungen in den Querschlägen, Negativfeeder erforderlich

Versorgung aus dem übergeordneten Netz

- 50-Hz-UW Ahrntal: Anbindung an 50 Hz TIWAG Hochspannungsleitung
- 50-Hz-UW Franzensfeste: Anbindung an das 50 Hz Hochspannungsnetz in Franzensfeste = Variante A

Variante B: 25 kV 50 Hz

Einhaltung der Versorgungsparameter nach TSI – NORMALBETRIEB

- wird eingehalten

Einhaltung der Versorgungsparameter nach TSI – AUßERORDENTLICHER BETRIEB

- wird eingehalten: Fahrleitungsspannung nie unter 19 kV, auch bei UW-Ausfall. Weiterer Autotransformator in Mauls kann Situation verbessern.

Versorgungszuverlässigkeit / Verfügbarkeit / RAM Parameter

- Für Versorgungszuverlässigkeit und Verfügbarkeit sind die charakteristischen Parameter erfüllt.

Instandhaltbarkeit

- zweipolige Anlage mit Negativ-Feeder

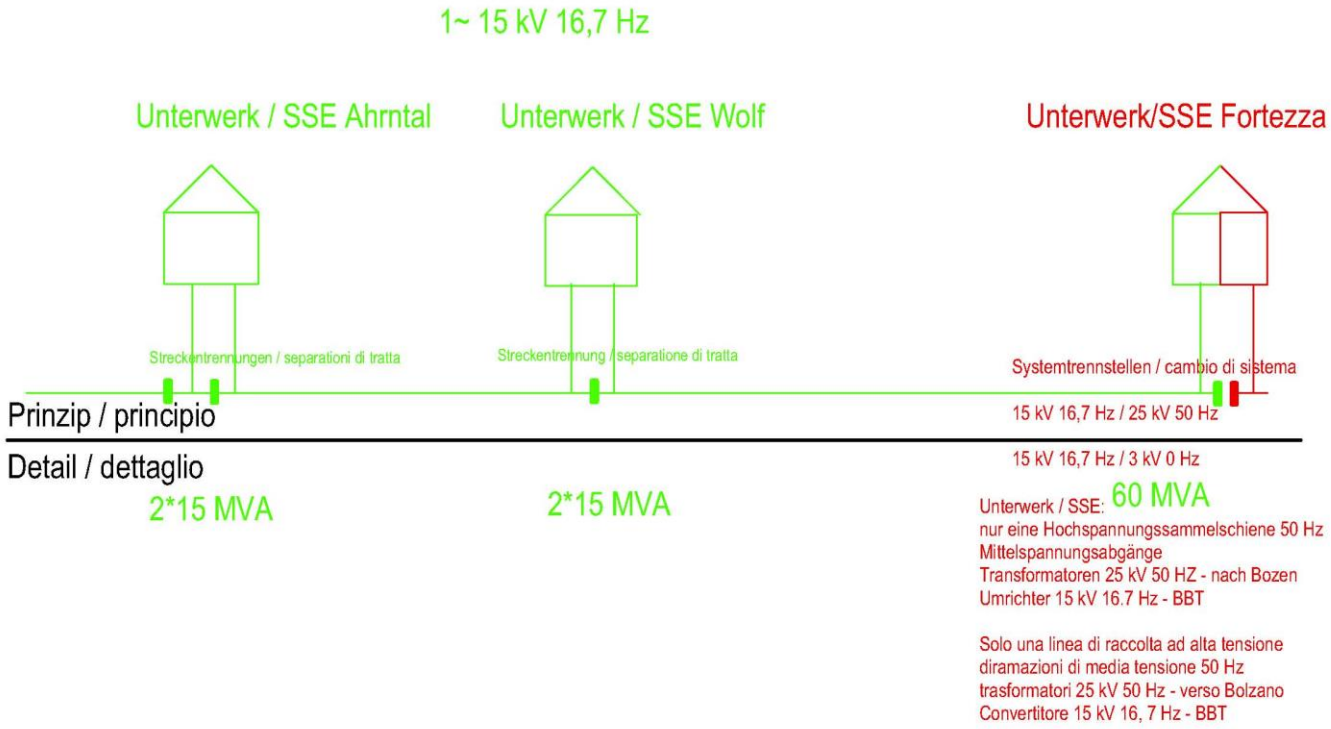
Mögliche Probleme hinsichtlich der Genehmigung

- Genehmigung seitens ÖBB nicht besprochen

Variante C: 15 kV 16,7 Hz

Bahnenergieversorgung BBT

Versorgung des Tunnels mit 15 kV 16,7 Hz



Variante C: 15 kV 16,7 Hz

Positionierung aller erforderlichen System-Wechsel (SW) und Phasen-Wechsel (PW)

- SW im Bahnhof Franzensfeste 15 kV 16,7 Hz – 3 kV d.c.
- SW im Bahnhof Franzensfeste 15 kV 16,7 Hz – 25 kV 50 Hz

Art und Standorte der erforderlichen Unterwerke UW / Umrichterwerke

- Erweiterung des bestehenden UW Unterberg 16,7 Hz
- Neubau 16,7-Hz-UW Wolf
- Erweiterung 50-Hz-UW Franzensfeste, das die Strecke nach Verona speisen wird, um 50-Hz/16,7-Hz-Umrichterwerk (läuft phasensynchron zum ÖBB-Netz über LWL)

Erforderliche Neubau-Leitungen

- ca. 750 m Anschluss 16,7-Hz-UW Wolf an bestehende 16,7-Hz-Hochspannungsleitung
- ca. 500 m Kabelanschluss an die Hochspannungsleitung 130 kV 50 Hz in Franzensfeste

Platzbedarf

- In Fortezza ist ein doppelter Platzbedarf (25 kV Unterwerk und 15 kV Umrichterwerk (im Freien kein Platz, nur im Berg situierbar)

Variante C: 15 kV 16,7 Hz

Gestaltung der Anlagen der Fahrleitung

- Verwendung einer TSI zugelassenen FL für TSI-Neubaustrecken, Kulissen-Abspannungen jeweils auf dem Instandhaltungsgang; Äquipotentialfeeder mit der FL

Sicherheit

- Maximale Leiter-Erde-Spannung 17,25 kV

Versorgung aus dem übergeordneten Netz

- 16,7-Hz-UW Unterberg: Netzknoten im 16,7 Hz-Hochspannungsnetz der ÖBB, Anbindung aus Vorarlberg und aus dem oberen Inntal und Speisung in Richtung Gries am Brenner
- 16,7-Hz-UW Wolf: Anbindung an 16,7-Hz-ÖBB-Hochspannungsleitung Unterberg – Gries am Brenner
- 50-Hz/16,7-Hz-UW/Umrichterwerk Franzensfeste: Anbindung an das 50-Hz-Hochspannungsnetz in Franzensfeste

Einhaltung der Versorgungsparameter nach TSI – NORMALBETRIEB

- wird eingehalten

Einhaltung der Versorgungsparameter nach TSI – AUßERORDENTLICHER BETRIEB

- Die Parameter werden eingehalten: Die Spannung des Fahrdrahtes fällt nicht unter 12 kV, auch nicht wenn ein UW ausfällt.

Variante C: 15 kV 16,7 Hz

Versorgungszuverlässigkeit / Verfügbarkeit / RAM Parameter

- Für Versorgungszuverlässigkeit und Verfügbarkeit sind die charakteristischen Parameter erfüllt

Mögliche Probleme hinsichtlich der Genehmigung

- Untwerwerk und Umrichterwerk in Franzensfeste
- Genehmigung seitens RFI schwierig: keine Beispiele eines Bahnhofes mit 3 UW mit drei Spannungen (25 kV – 15 kV – 3 kV) und drei Frequenzen (50 Hz - 16,7 Hz - d.c.)
- Damit im Zusammenhang stehende Probleme der elektromagnetischen Verträglichkeit sind zu lösen.

Instandhaltbarkeit

- einpolige Anlage (mit Äquipotentialfeeder mit der Oberleitung)
- weniger Anlagen auf der Strecke

Alle Varianten

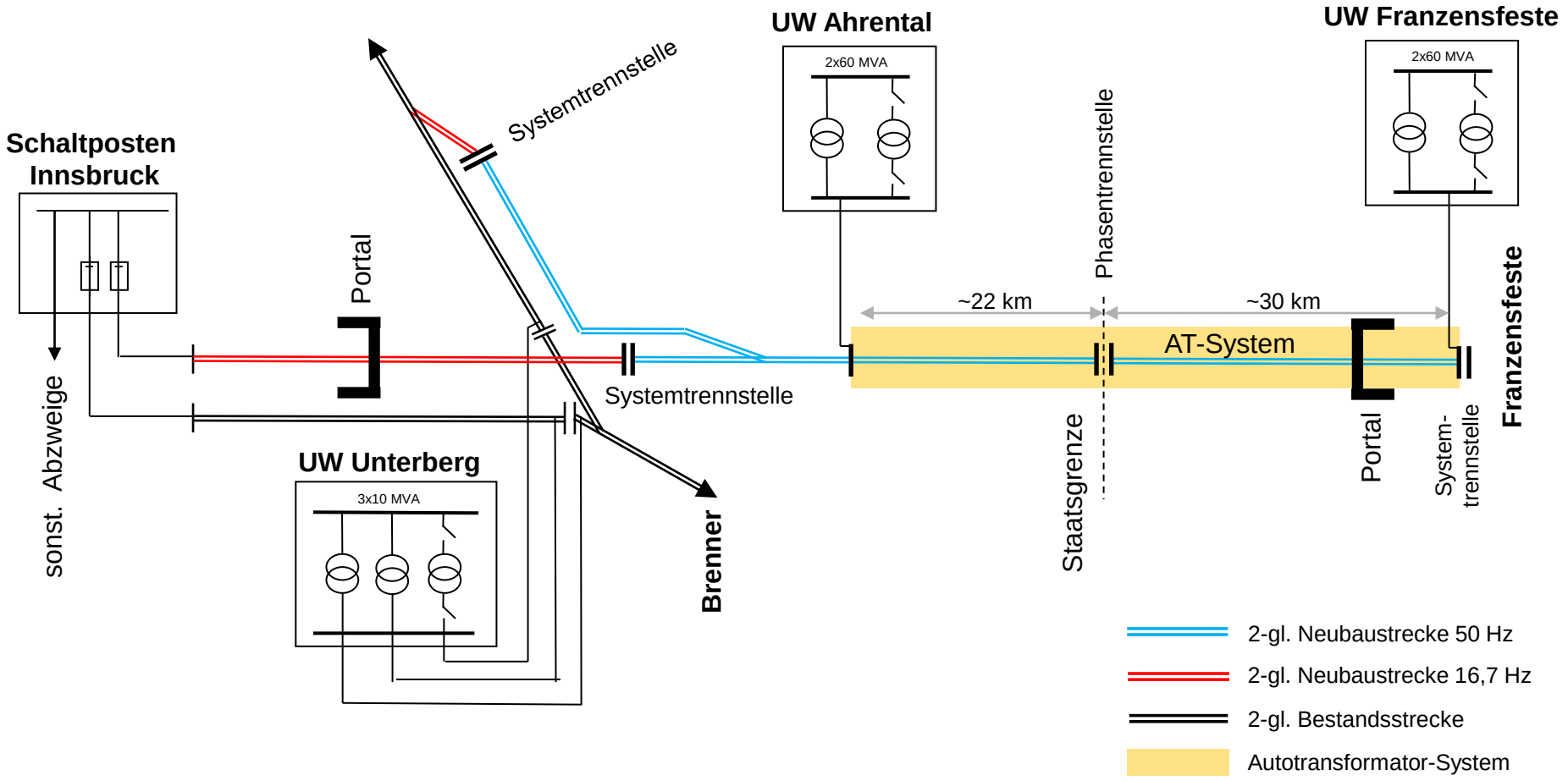
Die Baukosten (Preisniveau 2006) für die Bahnenergieversorgungsanlage ohne Fahrleitung sind im Wesentlichen gleich (± 2 Mio €).

Kostenermittlung in Mio €	A kombinierte Variante			B 25 kV 50 Hz			C 15 kV 16,7 Hz		
	Zahl	Einzelpreis	Gesamtpreis	Zahl	Einzelpreis	Gesamtpreis	Zahl	Einzelpreis	Gesamtpreis
Unterwerk /SSE Fortezza	1	4,00 Mio €	4,00 Mio €	1	4,00 Mio €	4,00 Mio €	0	4,00 Mio €	0,00 Mio €
Umrichterwerk / statione conversione Fortezza	0	8,00 Mio €	0,00 Mio €	0	8,00 Mio €	0,00 Mio €	1	8,00 Mio €	8,00 Mio €
Unterwerk /SSE Wolf	1	2,50 Mio €	2,50 Mio €	0	2,50 Mio €	0,00 Mio €	1	2,50 Mio €	2,50 Mio €
Notfalluntwerk Wolf/ SSE emergenca Wolf	1	1,00 Mio €	1,00 Mio €	0	1,00 Mio €	0,00 Mio €	0	1,00 Mio €	0,00 Mio €
Unterwerk 16,7 Hz / SSE 16,7 Hz Ahrntal-Unterberg	1	2,50 Mio €	2,50 Mio €	0	2,50 Mio €	0,00 Mio €	1	2,50 Mio €	2,50 Mio €
Unterwerk 50 Hz / SSE 50 Hz Ahrntal-Unterberg	0	4,00 Mio €	0,00 Mio €	1	4,00 Mio €	4,00 Mio €	0	4,00 Mio €	0,00 Mio €
(Baukosten TIWAG/costi di constructa TIWAG)	0	2,00 Mio €	0,00 Mio €	1	2,00 Mio €	2,00 Mio €	0	2,00 Mio €	0,00 Mio €
Autotrafostationen / posti di parallelo	2	1,00 Mio €	2,00 Mio €	4	1,00 Mio €	4,00 Mio €	0	1,00 Mio €	0,00 Mio €
Systemtrennstellen / cambio di sistema	2	0,50 Mio €	1,00 Mio €	3	0,50 Mio €	1,50 Mio €	2	0,50 Mio €	1,00 Mio €
Phasentrennstellen / cambio di fase	1	0,50 Mio €	0,50 Mio €	2	0,50 Mio €	1,00 Mio €	0	0,50 Mio €	0,00 Mio €
Fahrleitung				identisch					
Summe			13,50 Mio €			16,50 Mio €			14,00 Mio €

Eine vollständige Speisung des BBT ist mit den Bahnenergieversorgungssystemen 15 kV 16,7 Hz und 25 kV 50 Hz möglich. Im normalen Betriebszustand erfüllen beide Systeme die Anforderungen der TSI Energie.

III. Versorgungskonzept AC 25 kV 50 Hz

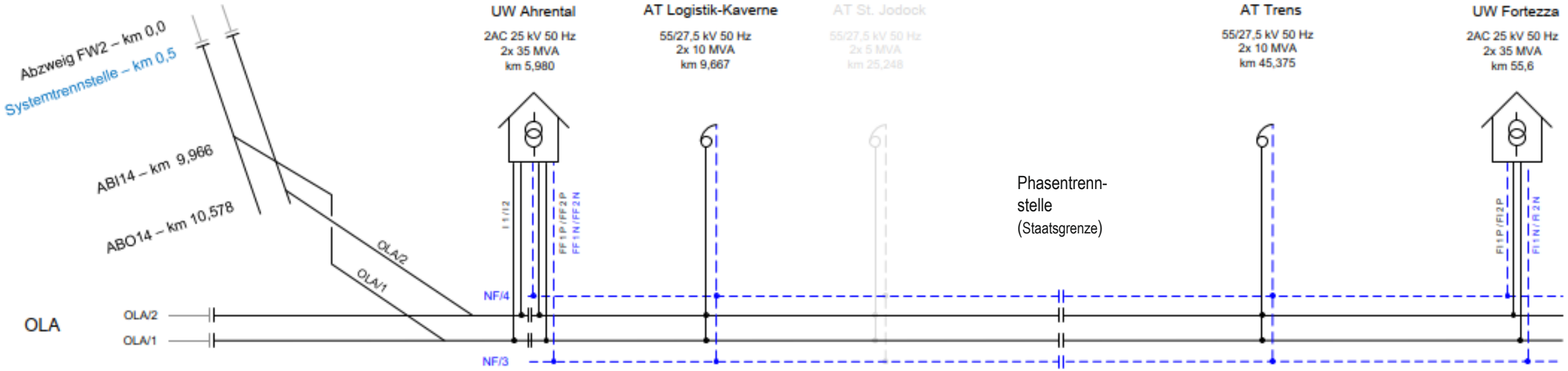
III. Versorgungskonzept mit AC 25 kV 50 Hz (2014 – Update Variante B)



Anforderungen/Ziele:

1. DSS-Einsatz im BBT
2. Verminderung erforderlicher ATS-Standorte bei:
   - Auslegungs-FPL
   - 5-min-Güterzugtakt-FPL
3. Welcher Zugfolgeabstand ist bei 25-kV-Mindestkonfiguration (2.) erreichbar?

III. Versorgungskonzept mit AC 25 kV 50 Hz (2014 – Update Variante B)



Ergebnisse:

- Bestimmung notwendiger ATS-Standorte, Dimensionierung (Bemessungswerte)
- Erfüllung Spannungshaltung (gemäß EN 50163 und EN 50388) bei DSS-Einsatz
- Erfüllung der Fahrpläne

IV. Speisevarianten AC 15 kV 16,7 Hz

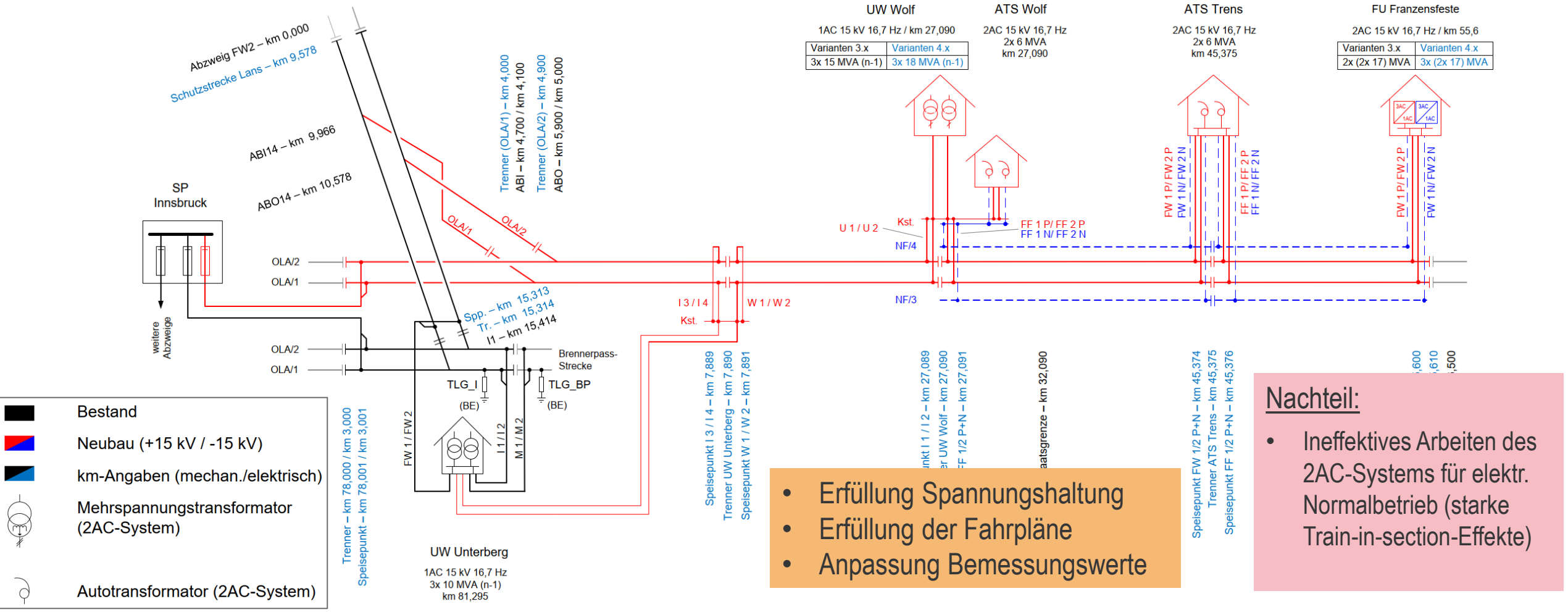
IV. Speisevarianten in AC 15 kV 16,7 Hz (DSS)

Speise-variante	Spannungssystem	Ausstattung (BEVA) in		
		Wolf	Trens	Franzensfeste
1	2AC 15 kV 16,7 Hz	1AC-UW + ATS	-	2AC-FU
2	2AC 15 kV 16,7 Hz	2AC-UW	-	2AC-FU
3	2AC 15 kV 16,7 Hz	1AC-UW + ATS	ATS	2AC-FU
4	1AC 15 kV 16,7 Hz	1AC-UW	-	1AC-FU

Fachtechnische Beurteilung der Varianten auf Basis der BBT-Rahmenbedingungen und technischen Anforderungen für die elektrisch relevanten Betriebsfälle mittels *SIGNON WEBAnet*:

- Überprüfung Spannungshaltung (gemäß EN 50163 und EN 50388)
- Überprüfung der Fahrzeiten-/pläne (jeweils unter Einhaltung der Regelfahrzeitzuschläge)
- Überprüfung der Bestandsanlagen (Bemessungswerte)

IV. Speisevariante 3: 2AC 15 kV 16,7 Hz – mit ATS Trens

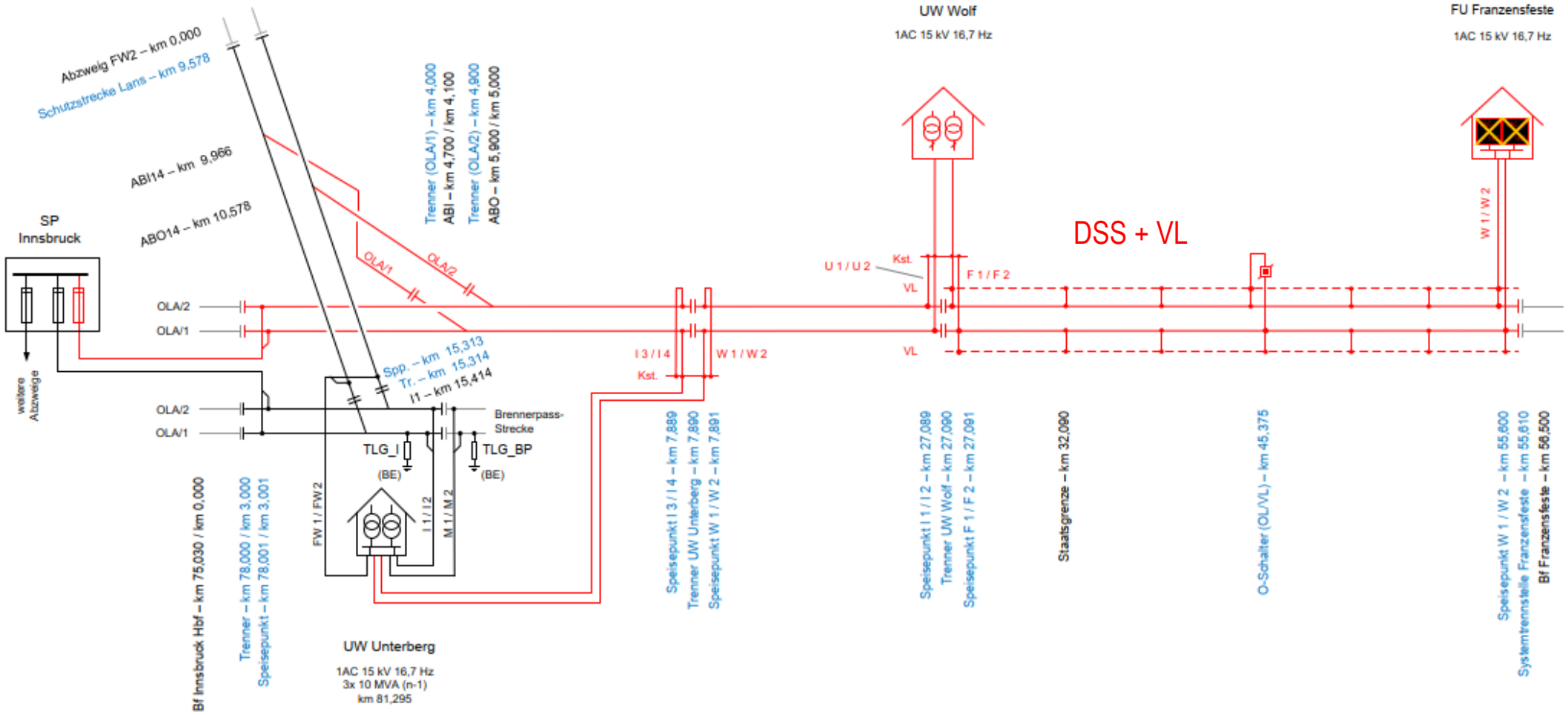


- Erfüllung Spannungshaltung
- Erfüllung der Fahrpläne
- Anpassung Bemessungswerte

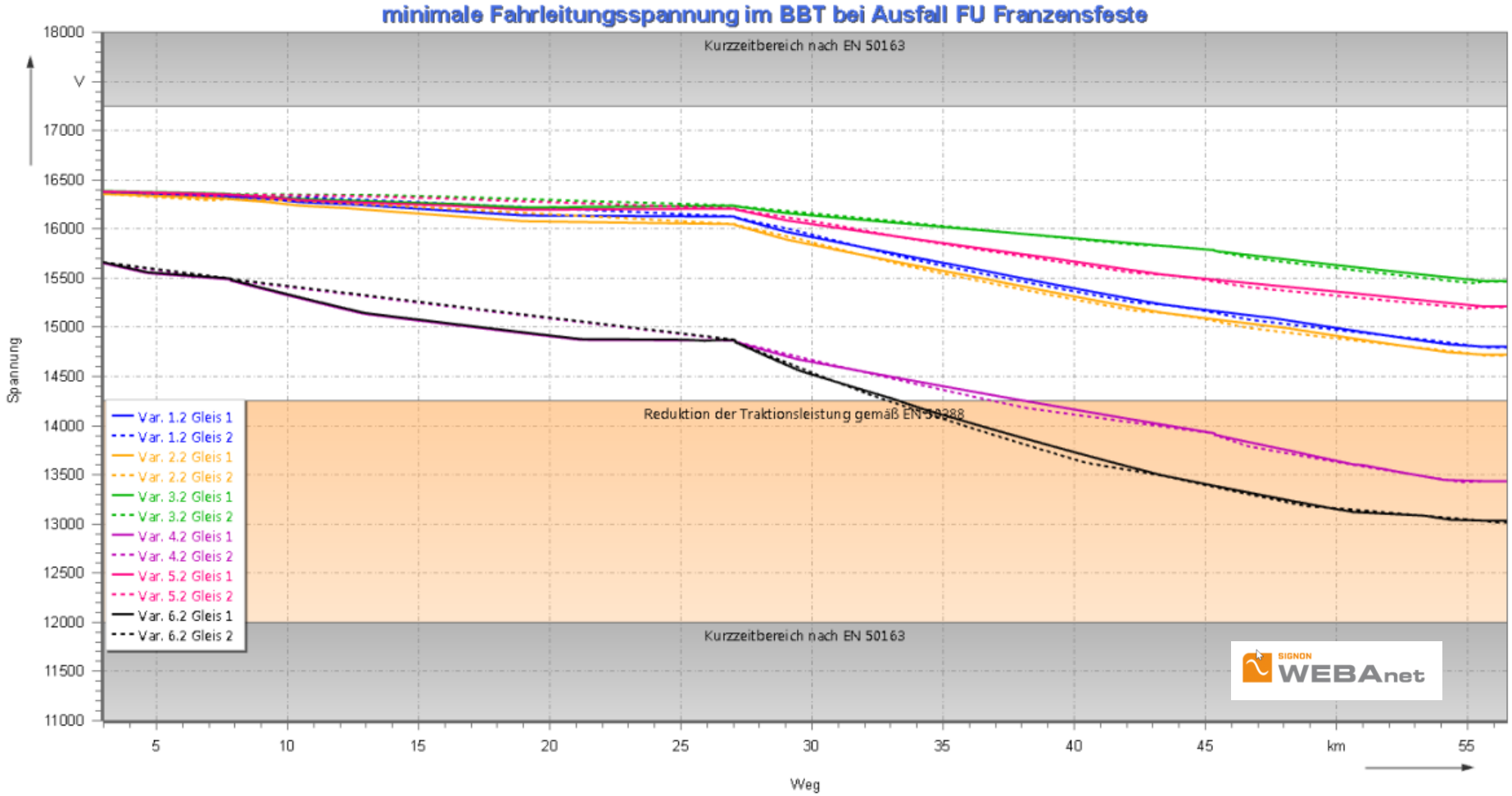
Nachteil:

- Ineffektives Arbeiten des 2AC-Systems für elektr. Normalbetrieb (starke Train-in-section-Effekte)

IV. Speisevariante 4: 1AC 15 kV 16,7 Hz (mit VL)



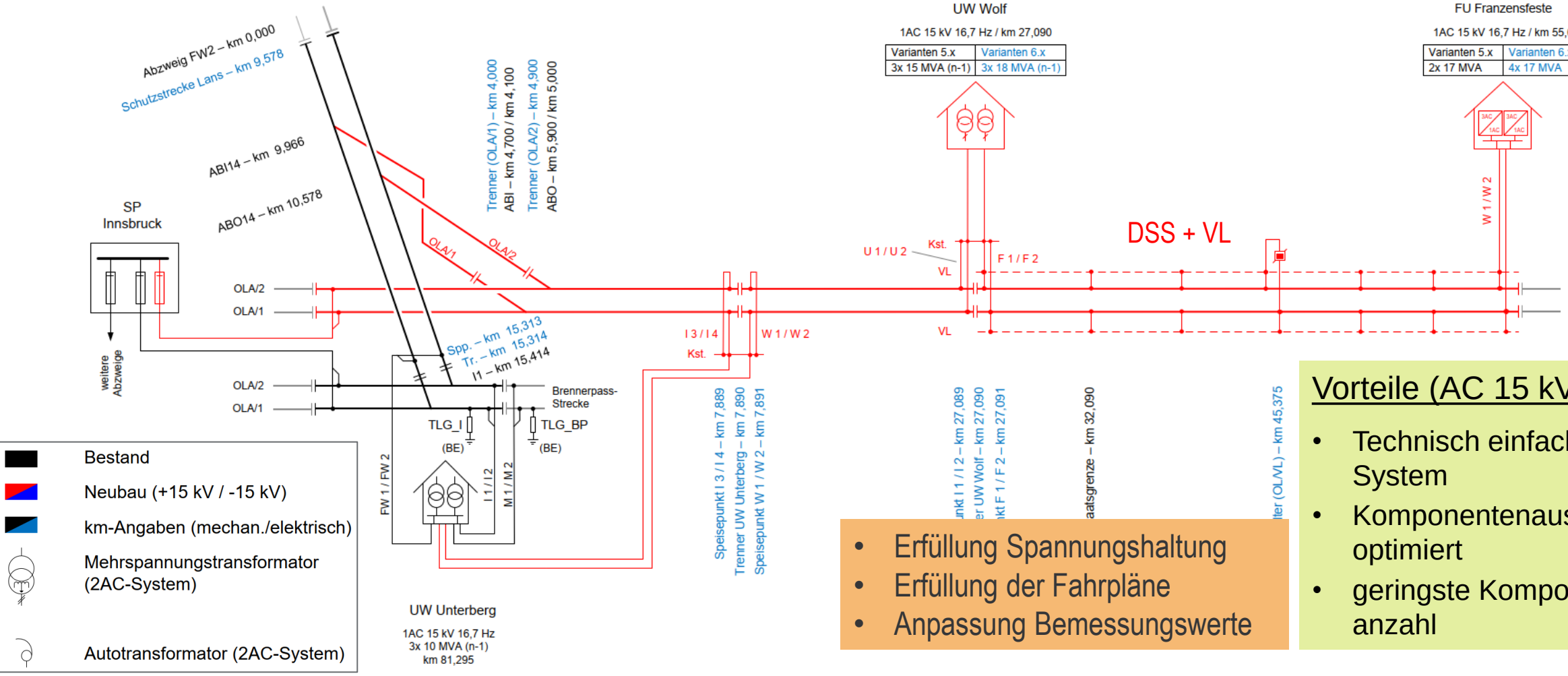
IV. Speisevariante 4: 1AC 15 kV 16,7 Hz (mit VL)



Ausfallvarianten des FU Fortezza (Varianten x.2):

- 3.2 – Speisevariante 3 (2AC) mit Auslegungs-FPL
- 4.2 – Speisevariante 3 (2AC) mit 5-min-Güterzugtakt-FPL
- 5.2 – Speisevariante 4 mit Auslegungs-FPL
- 6.2 – Speisevariante 4 mit 5-min-Güterzugtakt-FPL

IV. Speisevariante 4: 1AC 15 kV 16,7 Hz (mit VL)



- Erfüllung Spannungshaltung
- Erfüllung der Fahrpläne
- Anpassung Bemessungswerte

Vorteile (AC 15 kV):

- Technisch einfachstes System
- Komponentenauslastung optimiert
- geringste Komponenten-anzahl

V. Technischer Variantenvergleich

V. Technischer Vergleich AC 15 kV 16,7 Hz – AC 25 kV 50 Hz

Aspekt (bez. auf BEV)	**1AC 15 kV 16,7 Hz**	**2AC 25 kV 50 Hz**
Zuverlässigkeit	Höher, da geringere Gesamtausfallrate (durch geringere Komponentenanzahl als im 2AC-System)	Geringer, da höhere Gesamtausfallrate (mehr Komponenten als im 1AC-System)
Verfügbarkeit	Höher (durch Versorgung aus dem zentralen ÖBB-Netz und starke Vermaschung im Knoten Innsbruck)	Geringer (Speisung aus dem Landesnetz, keine Ersatz-Unterwerke außerhalb des BBT zur Lastüber-nahme vorhanden)
Instandhaltungs-aufwand	Geringer (Systemkomponenten der ÖBB einsetzbar)	Höher (neue Systemkomponenten einzusetzen)
Sicherheit (Elektrosicherheit)	Einheitliches 16,7-Hz-Erdungssystem	Zwei Erdungssysteme erforderlich daher Zusatzaufwand im Knoten Innsbruck

V. Technischer Vergleich

Ceneri-Basis-Tunnel, Oströhre

Foto: Gerhard Hofmann

1AC 15 kV 16,7 Hz

Technische Vorzugsvariante der BBT-Bahnenergieversorgung

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Prof. Gerhard Hofmann

Ronny Arlt