

ESÖV 2050

Wechselrichter Bavaria

Rückspeisung von Fahrstrom ins Mittelspannungsnetz des EVU

14. Januar 2020

Roland Steingruber, Leiter Infrastruktur

Patrick Hunziker, Firma Eltrend GmbH / 5040 Schöftland



Übersicht

Die Appenzeller Bahnen

Rahmenbedingungen

Fahrzeuge

Fahrstromversorgung

Mittelspannungsnetz EWSG

Studie Enotrac

Lösungsansätze

Variantenentscheid

Ausschreibung

Technische Spezifikationen

Bau und Inbetriebnahme

Erste Erfahrungen

Finanzierung

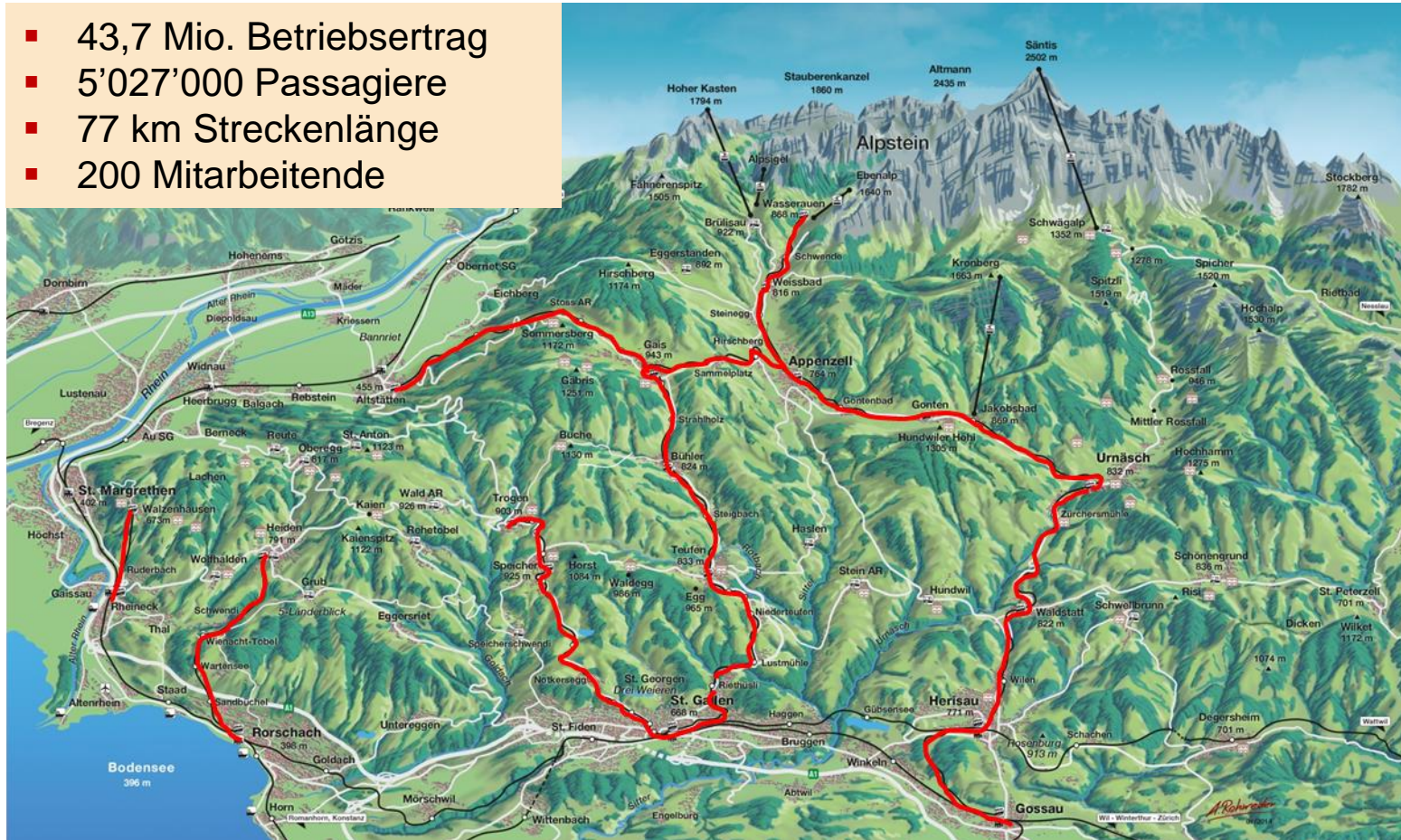


Die Appenzeller Bahnen



Die Appenzeller Bahnen Vom Bodensee zum Alpstein

- 43,7 Mio. Betriebsertrag
- 5'027'000 Passagiere
- 77 km Streckenlänge
- 200 Mitarbeitende





Geschichte aus 7 Gesellschaften wird eine Bahn

1875 – 2006

Schweizerische Localbahn

Appenzeller Strassenbahn

Säntisbahn

Altstätten-Gais Bahn

Trogenerbahn

Rorschach-Heiden-Bergbahn

Bergbahn Rheineck-Walzenhausen



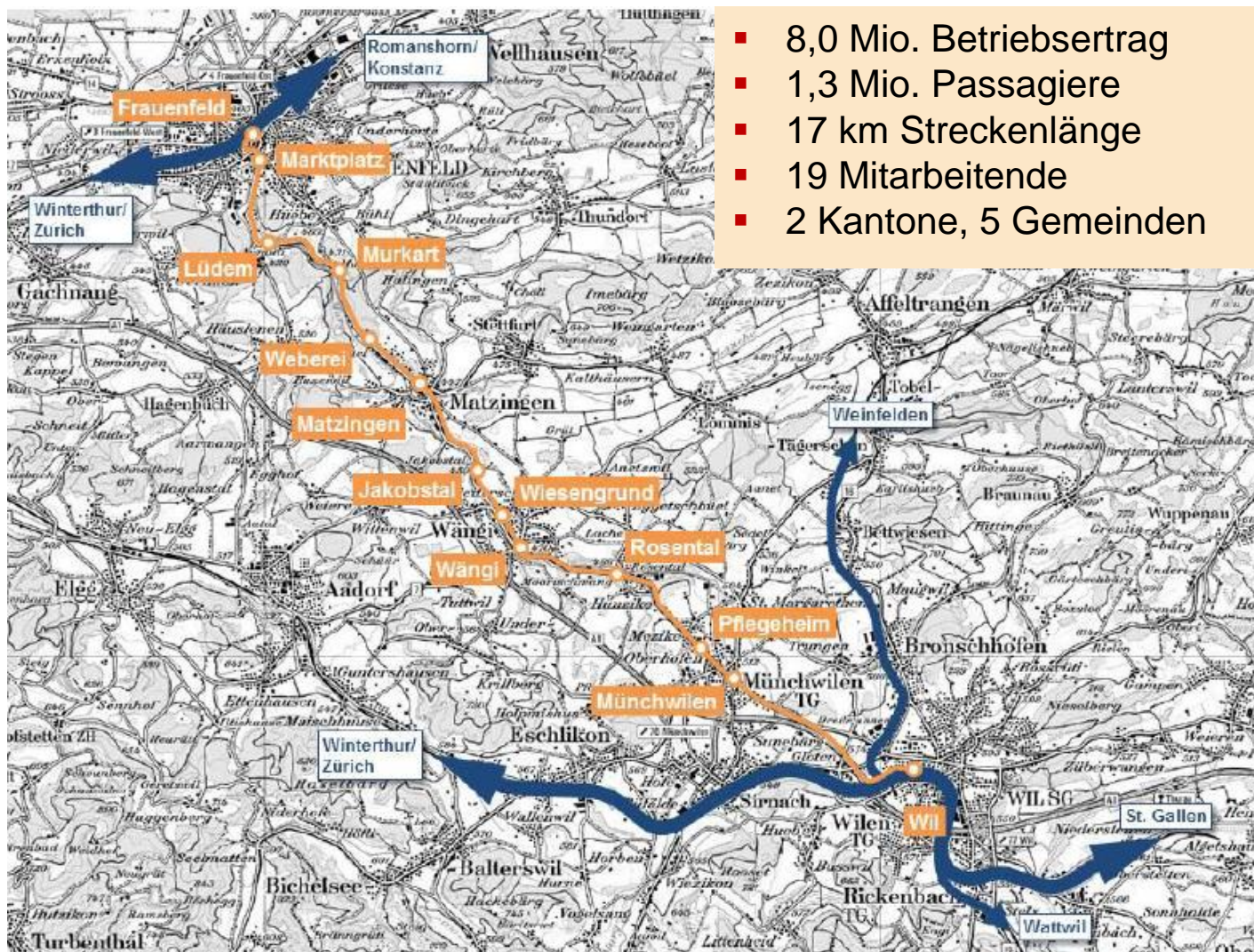
**Appenzeller Bahnen
seit 2006**



Unterschiedliche technische Konzepte

	Gossau	Trogen	Altstätten	Rorschach	Rheineck	Frauenfeld
	Wasserauen	Appenzell	Gais	Heiden	Walzenhausen	Wil
Spurbreite	1'000	1'000	1'000	1'435	1'200	1'000
Spannung	1'500	1500 / 600	1'500	15'000	600	1'200
max. Steigung	37 ‰	80 ‰	160 ‰	94 ‰	253 ‰	46 ‰
min. Kurvenradius	90m	30m	28m	150m	160m	40m
Zahnstange			X	X	X	

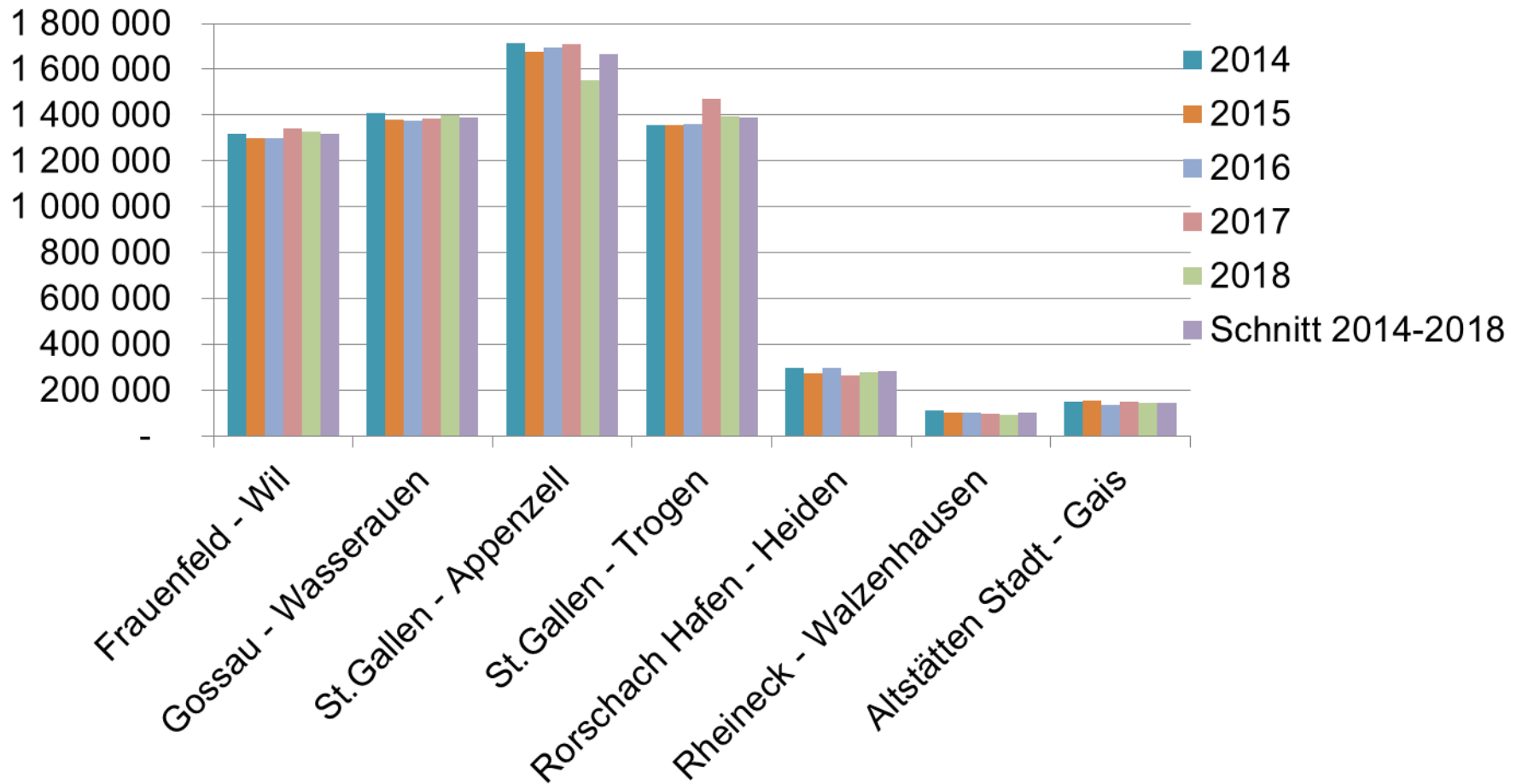
FWB: 2 Kantone, 5 Gemeinden





Die Appenzeller Bahnen

Kennzahlen (Passagiere / Jahr)



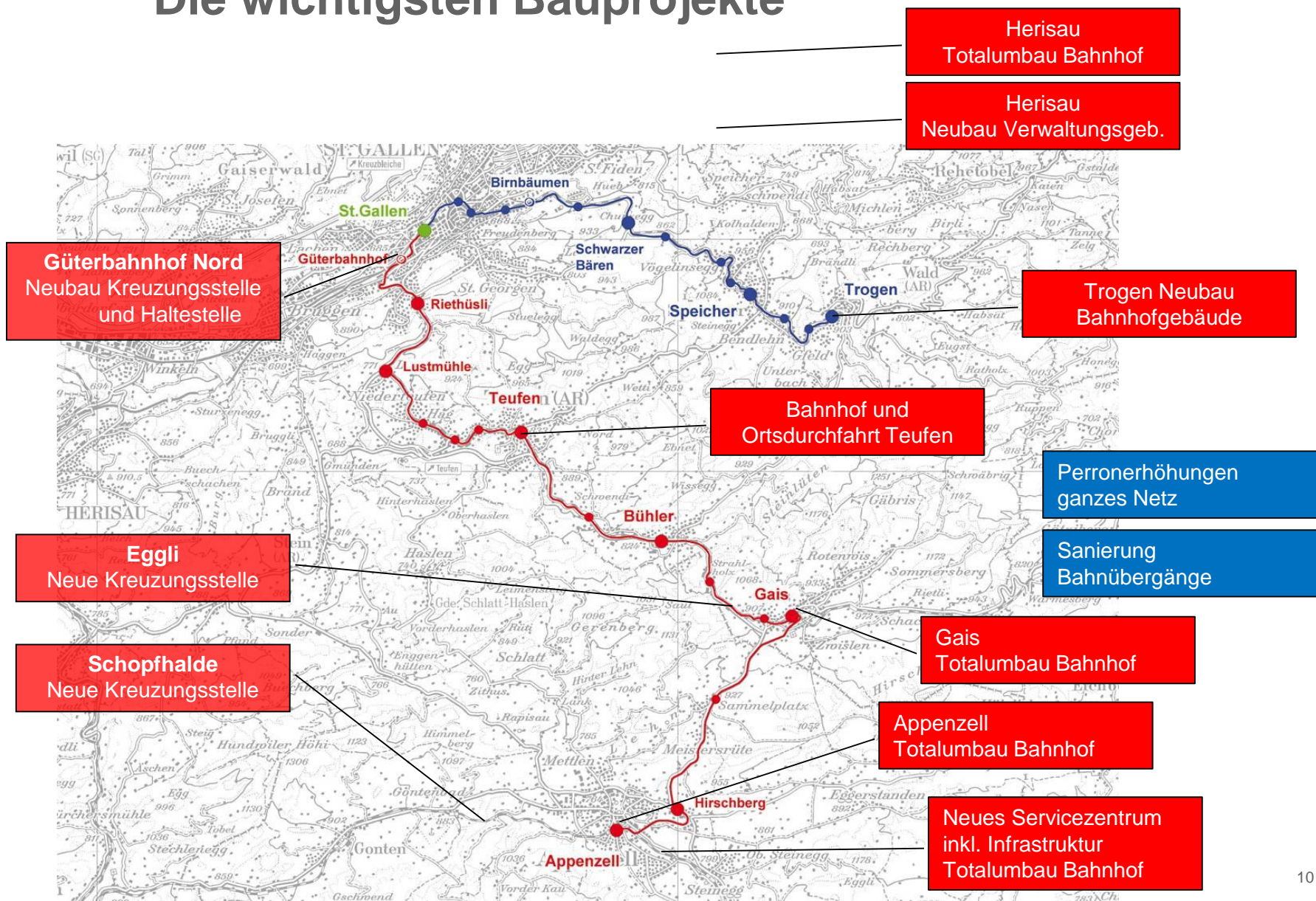


Geschichte => Gegenwart

Vom Dampf zur modernen Regionalbahn



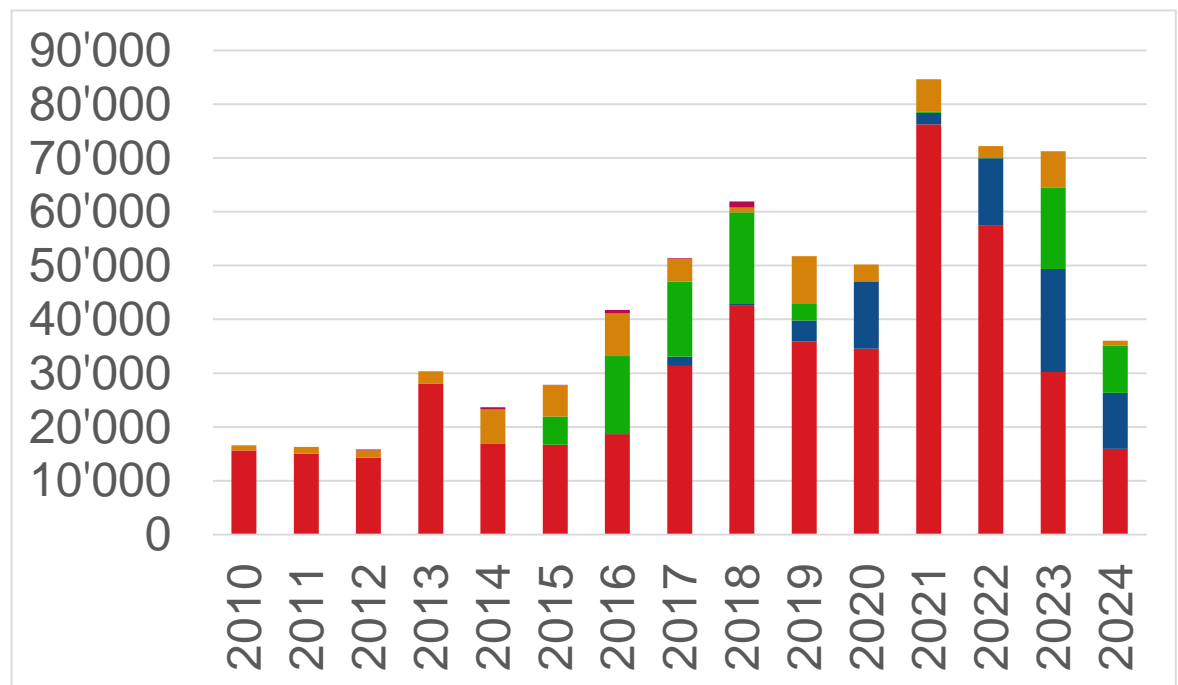
Umfassende Erneuerung Die wichtigsten Bauprojekte



Umfassende Erneuerung der Bahn

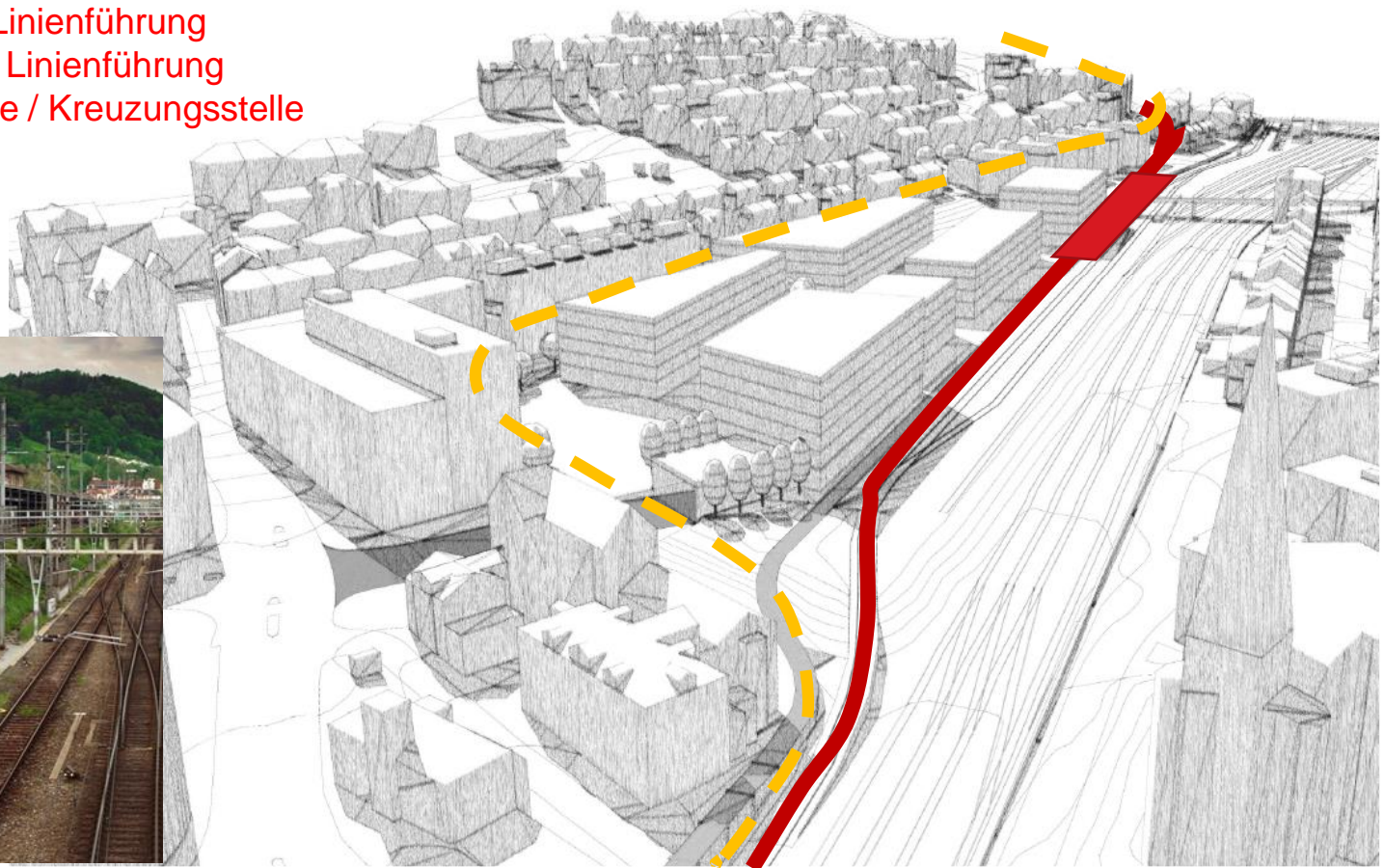
- Massive Erneuerung der Infrastrukturen auf dem ganzen Netz
- Umsetzung Behindertengleichstellungsgesetz, Bahnübergänge
- Nahezu komplette Ersatzbeschaffung der Fahrzeugflotte
- Schliessung der Werkstätten Speicher, Gais und Herisau und Neubau in Appenzell

Investitionsvolumen
Infrastruktur in TCHF



Umfassende Erneuerung Güterbahnhof: neue Linienführung

- Aktuelle Linienführung
- Geplante Linienführung
- Haltestelle / Kreuzungsstelle

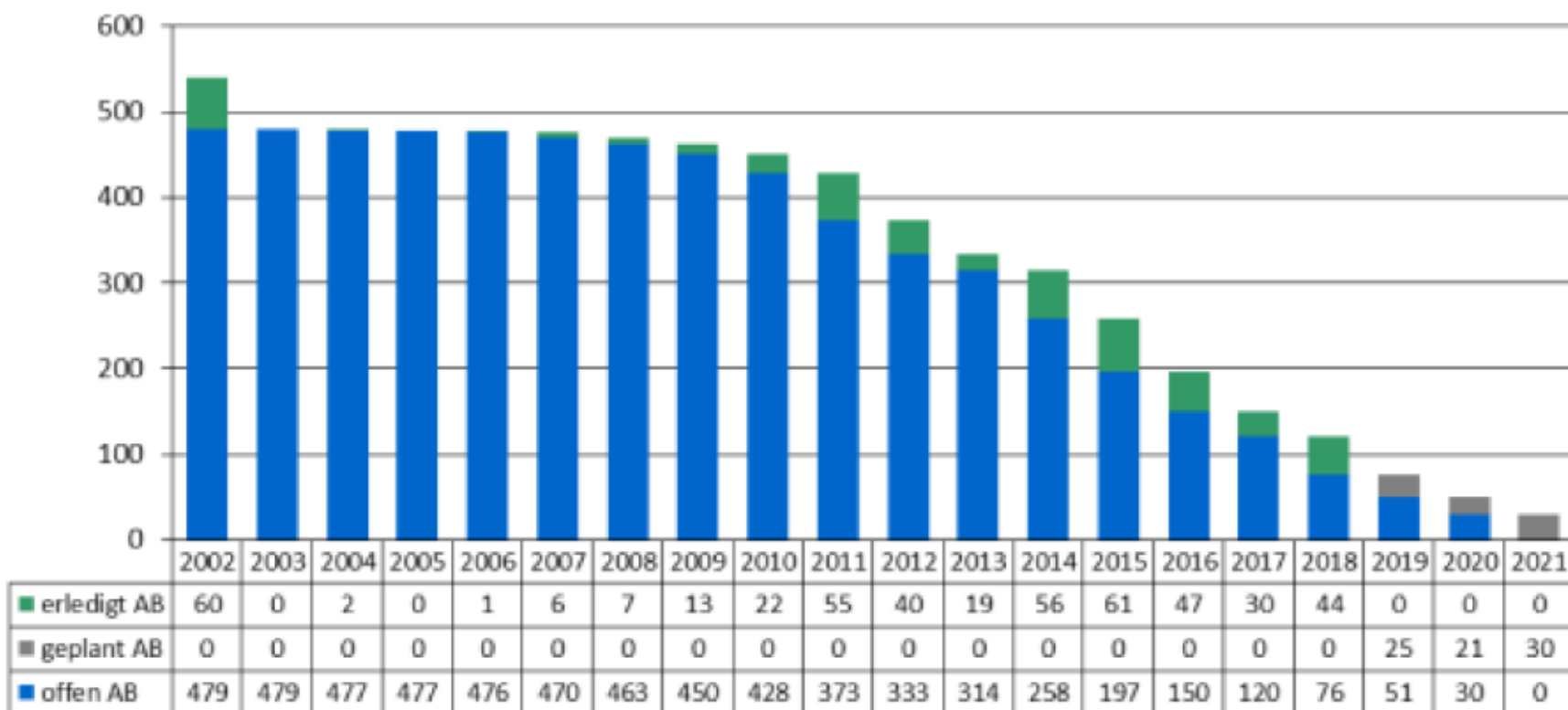


Servicezentrum Appenzell

- Inbetriebnahme Ende 2022
- Ersatz für Werkstätten Gais, Herisau und Speicher
- Beinhaltet Dienste Infrastruktur, Rollmaterial und Reinigung



Sanierung Bahnübergänge



11 Tango und 5 Walzer



Rahmenbedingungen Fahrzeuge (Tango)

Parameter	Wert	Einheit	Quelle	Annahme in Vorgängerstudie [16]
Spurweite	1000	[mm]	[6]	1000 mm
Länge über Kupplung	52.622	[m]	[6]	50 m
Leergewicht (Tara)	77.5	[t]	[6]	58.0 t
Nutzlast	23.8	[t]	[6]	20.0 t
Gesamtgewicht	101.3	[t]	[6]	78.0 t
rotierende Masse	12	[%]	Annahme	12 %
Maximale Geschwindigkeit	80	[km/h]	[6]	80 km/h

Parameter	Wert	Einheit	Quelle
Nennspannung	1500	[V]	
minimale Spannung	1000	[V]	[13]
maximale Spannung	1950	[V]	[13]
Spitzenleistung Antrieb	1200	[kW]	[6]
Spitzenstrom Antrieb	800	[A]	[3]
Maximale elektrische Bremsleistung	1800	[kW]	[6]
Spitzenstrom Bremsen	1000	[A]	[3]

Parameter für 1500 V System



Rahmenbedingungen: Räumliche Verhältnisse

- Idealer Standort gegeben durch Netzstudie
- Beiträge der Stadt St. Gallen legen eine Umsetzung auf Stadtgebiet nahe
- Gleichrichter Bavaria wurde 2012 umfassend saniert
- Jedoch sehr enge Platzverhältnisse die keinen zweiten Trafo zulassen
- Die räumlichen Verhältnisse schränken die Anbieter in der Lösung ein

Rahmenbedingungen: Mittelspannungsnetz sgsw

Daten Mittelspannungsnetz am Verknüpfungspunkt:

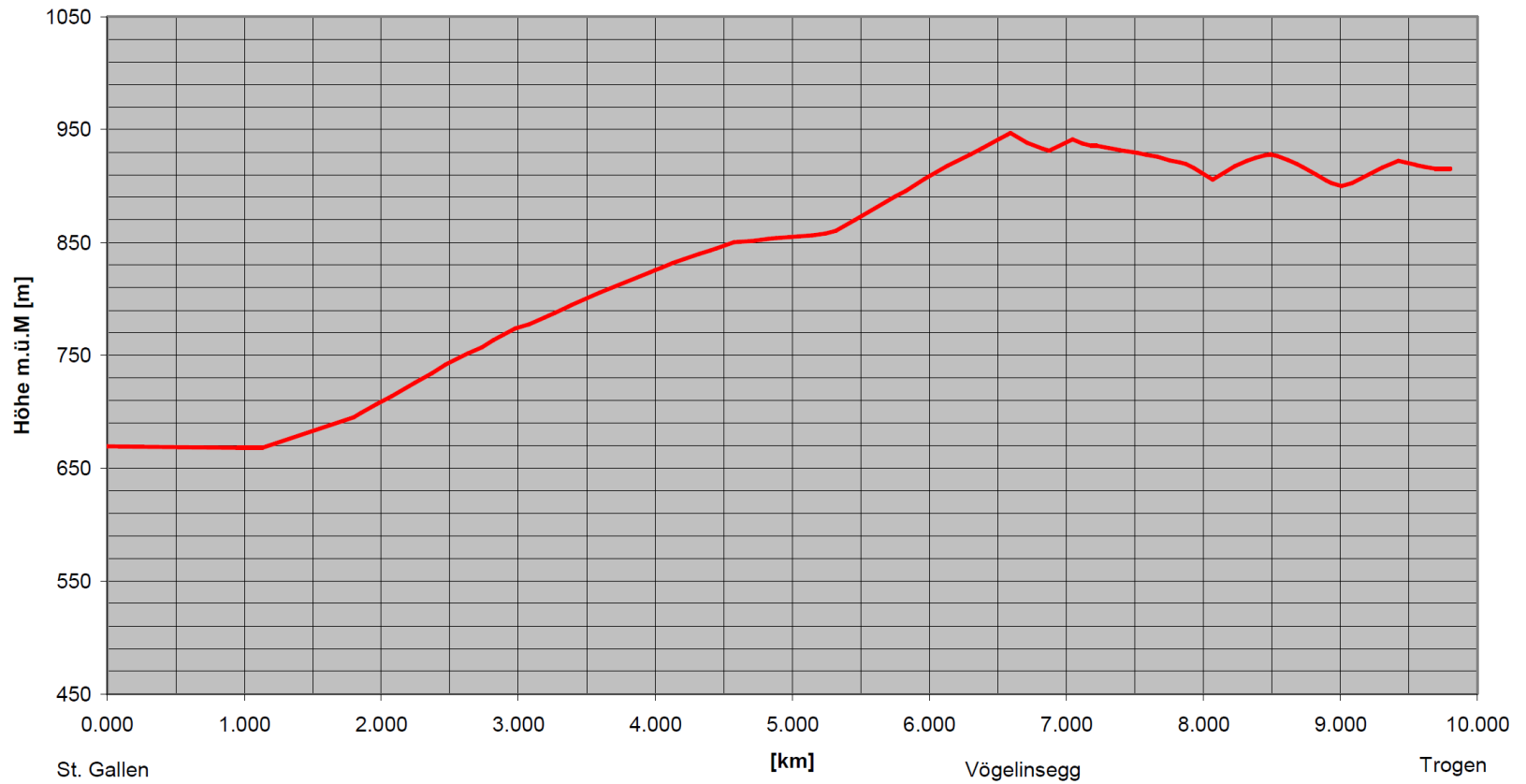
Parameter	Wert	Kommentare
Frequenz	50 Hz	
Nennspannung	10 kV	
Kurzschlussleistung	124 bis 214 MVA	Je nach Netzkopplung / Schaltzustand

Netzanschlussbewilligung für Wechselrichter mit Auflagen:

- Einhaltung und Monitoring Netzurückwirkungen
- Nachweis in Bezug auf Schutz der Eigenerzeugungsanlage (NA-Schutz)

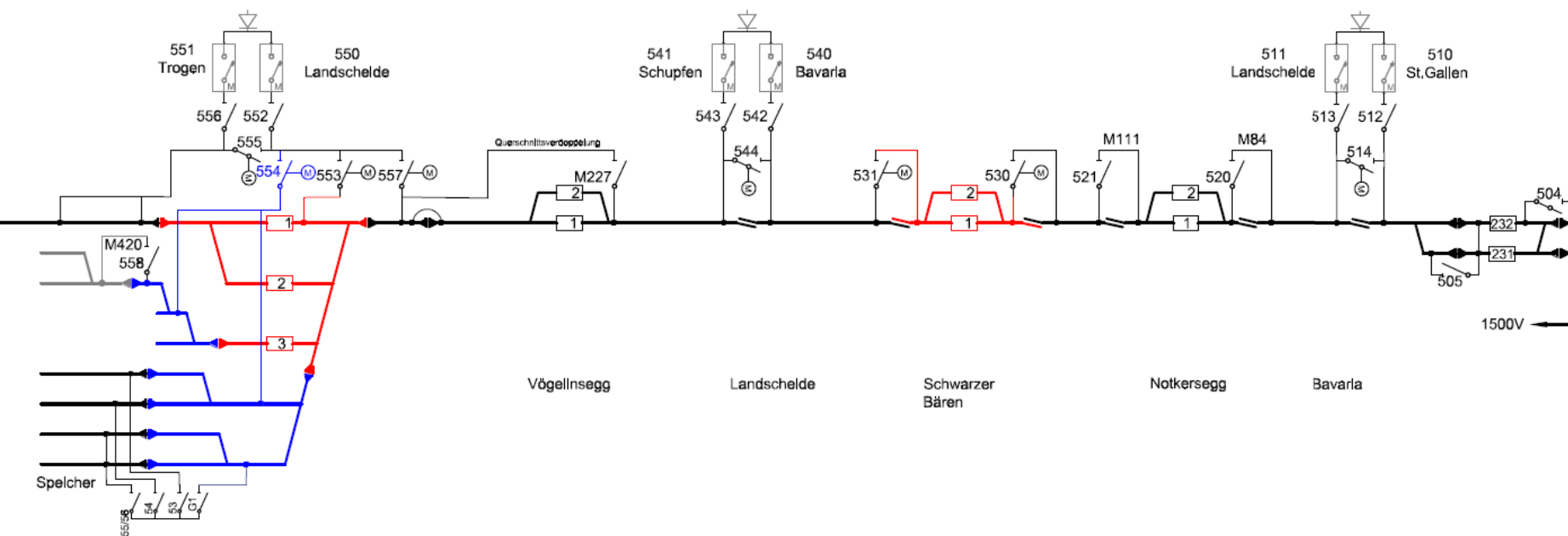
Rahmenbedingungen Fahrstromversorgung

Höhenprofil St. Gallen - Trogen



Rahmenbedingungen Fahrstromversorgung

3 Gleichrichter: S_n 1100 kVA, I_n 733 A, Z_Q 0.096 Ω





Studie Enotrac

Netzstudie Enotrac 2013 (FABEL)

Prüfung verschiedener Varianten

- Speicher auf Fahrzeug
- Stationärer Speicher
- Rotierender Speicher
- Wechselrichter

→ Empfehlung Wechselrichter oder stationärer Speicher

Bestellung neue Fahrzeuge 2014 / Überarbeitung Fahrplan

Überarbeitung Netzstudie Enotrac April 2015 (FABEL)

- Nur noch Wechselrichter und rotierender Speicher geprüft

Rotierende Masse als Speicher



Skalierbarer Superschwungradspeicher



Wechselrichter
zur Rückspeisung
ins Mittelspannungsnetz

Supercaps auf dem Fz.



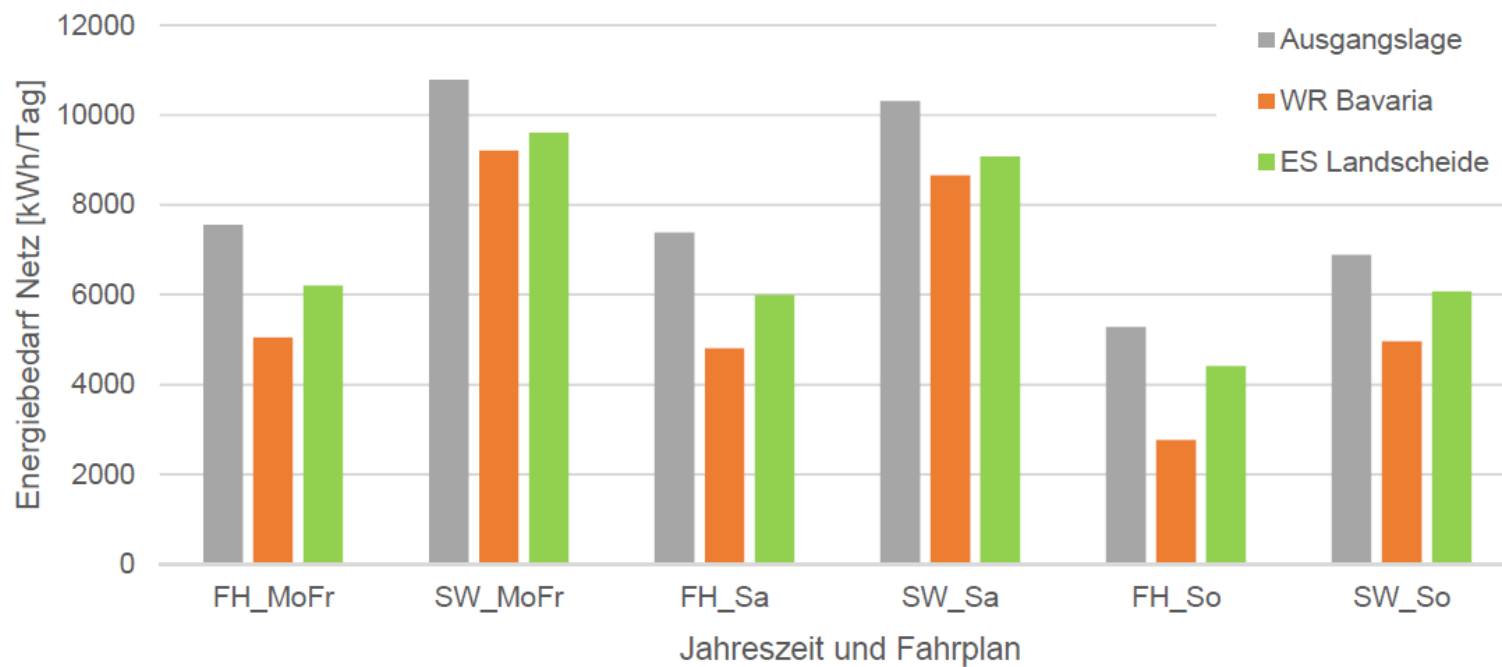
Beispiel Metro Paris Linie T3

Stationäre Supercaps



Studie Enotrac: Resultate

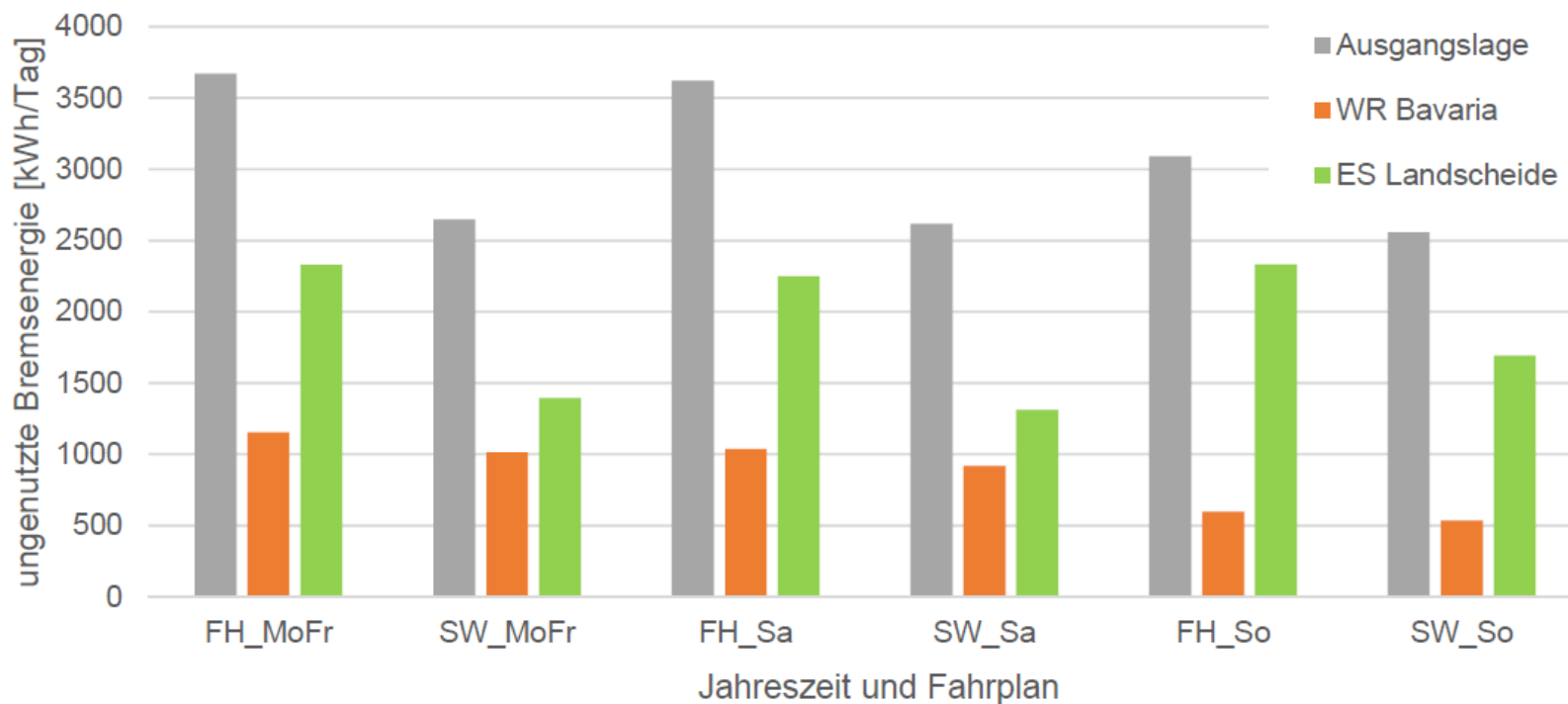
Energieverbrauch pro Tag



FH = Frühling/Herbst; SW = Sommer/Winter

Studie Enotrac: Resultate

Ungenutzte Bremsenergie



FH = Frühling/Herbst; SW = Sommer/Winter

Studie Enotrac: Resultate

Berechnungsgrundlagen:

Parameter	WR Bavaria	ES Landscheide
Anschaffungs-, Installations- und Integrationskosten [1000 CHF]	450	420
Wartungskosten [1000 CHF/Jahr]	5	5
Jährliche Energieersparnis [MWh]	757	442
Energiepreis [CHF/kWh]	0.065	0.091
Jährliche Ersparnisse (nicht diskontiert) [1000 CHF/Jahr]	44.21	35.22
Anstieg Energiepreis [%/Jahr]	1	1
Diskontierung [%]	5	5
Abschreibungsdauer / Nutzung [Jahre]	25	20

Studie Enotrac: Resultate

Resultate:

- erwarteter Verbrauch 2020: 3'200 MWh/a
- erwartete Einsparung mit Energiespeicher 442 MWh/a
- erwartete Einsparung mit Wechselrichter 757 MWh/a
- Der Wechselrichter weist mit 13a eine kürzere Amortisationszeit auf (Energiespeicher 16a)
- Der Wechselrichter ist weniger sensitiv auf Änderungen von Strompreis usw.
- Ein grösserer Speicher könnte den Wirkungsgrad verbessern
- Der Wechselrichter weist eine höhere Lebensdauer auf

→ Empfehlung zum Einbau eines Wechselrichters

Variantenentscheid

	Wechselrichter	Stat. Supercab	Fz. Supercab	Rot. Speicher
Techn. ausgereift	+	+	+	--
Komplexität	+	++	++	+++
Wirkungsgrad Gesamtsystem	-	+	+	--
Payback	-	--	---	-
Anlagekosten	+	--	---	+
LCC	+	--	---	-
Lebenserwartung	+	-	-	-



Variantenentscheid

Entscheid zugunsten Wechselrichter aufgrund:

- Abwägung der Vor- und Nachteile
- Platzbedarf (Realisierbarkeit)
- Technische Risiken
- Anlagekosten
- LCC

Technische Spezifikationen der Anlage

Grundlegende Anforderungen

Technische Daten:

- Nennspannung (EN50163) 1500V
- Nennleistung (DC) 500kW
- Überlastbarkeit
500kW dauernd
1000kW 600s
1500kW 60s

Schaltung:

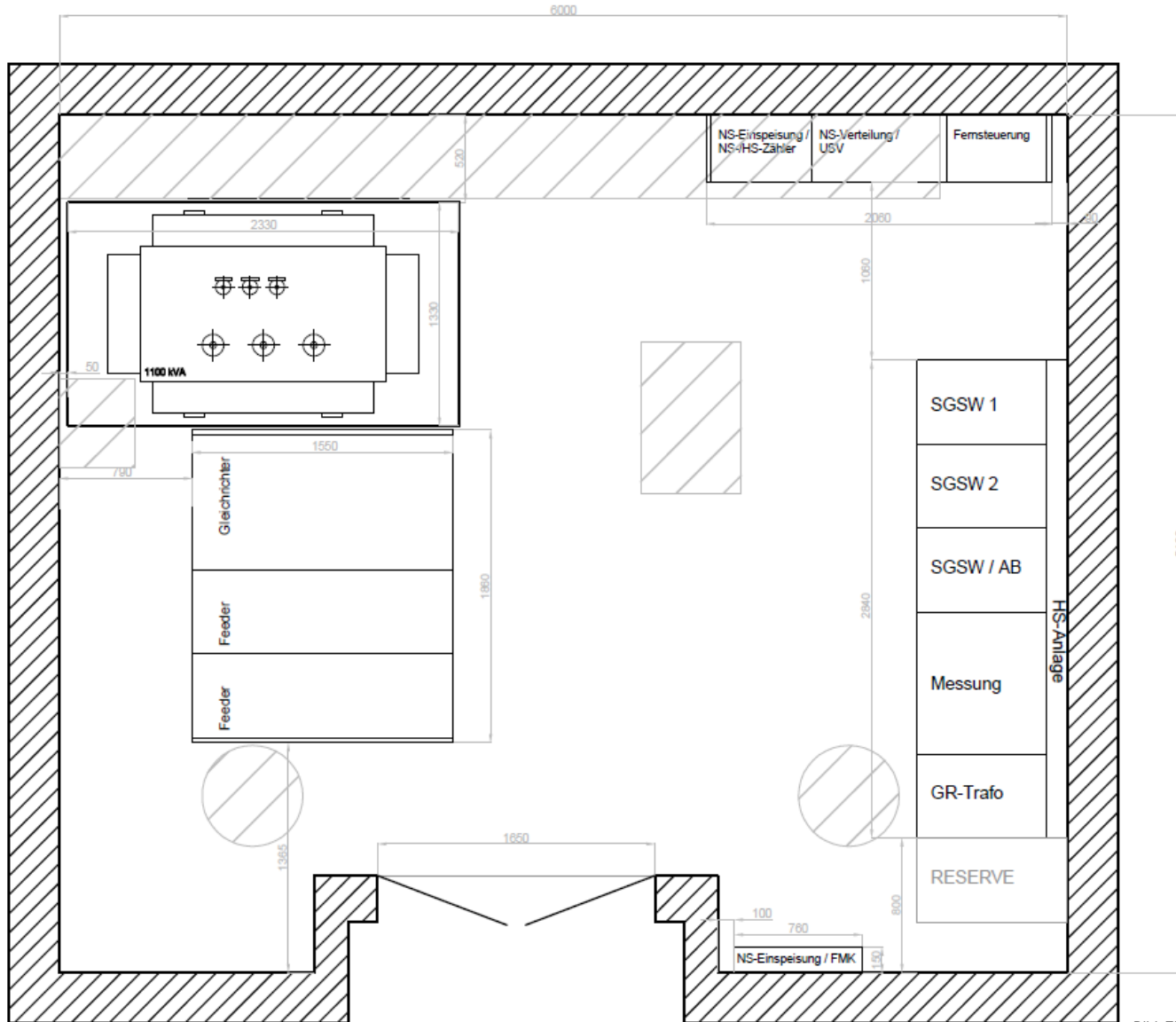
- Umrichter in IGBT Technik
- Umrichter in 12-pulsiger Schaltung
- Direkter Anschluss an DC-Sammelschiene des Gleichrichters
(Schutz DC-Einspeisung in Wechselrichter realisiert)

Umgebungsbedingungen:

- Realisierung in bestehendem Raum

Technische Spezifikationen der Anlage

Platzverhältnisse



Ausschreibung

Ausschreibung

- Ausschreibung im offenen Verfahren
- Funktionale Ausschreibung

Grundlagen

- Systembeschreibung
 - Mittelspannungsnetz sgsw
 - Netz Traktionsstromversorgung
 - Fahrzeuge
 - Resultate Energiestudie
- Funktionale Anforderungen
- Umgebungsbedingungen

Zuschlagskriterien

- Preis (40%)
- Technik und Qualität (30%)
- Wartung und Unterhalt (20%)
- Schlüsselpersonen (10%)

Ausschreibung

Angebote

- Sécheron SA, CH-Satigny (4 Varianten)
- sf elektro-engineering AG, CH-Flums
- Simatex AG, CH-Wängi

Lösungsansätze

Unterschiedliche Lösungsansätze der Anbieter in Bezug auf:

- Beibehaltung bestehender Anlagen
- Aufstellung der Anlagen im Raum
- Kühlung der Halbleiter

Auswertung

- Lösung eines Anbieters kann nicht in bestehendem Raum realisiert werden > Ausschluss von der Vergabe
- Somit zwei Angebote in der Auswertung
- Vergabe an das wirtschaftlich günstigste Angebot
 - Simatex AG, CH-Wängi

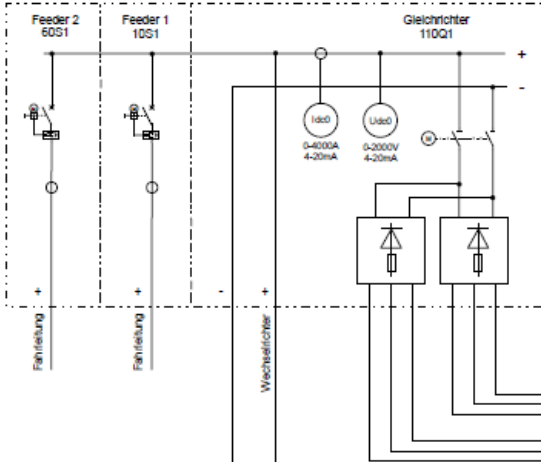
Technische Lösungen

- 12-pulsiger IGBT Wechselrichter
- Forcierte Luftkühlung der Halbleiter
- Beibehaltung des bestehenden Transformators
- DC-Leistungsschalter und Schutz an der Einspeisung WR
- Vorwiegend Einsatz von Industriekomponenten
 - Steuerung / Regelung
 - Messwerterfassung
 - Halbleiterelemente
- Kompakte Bauweise in Reihenschaltschränken Tiefe 800mm

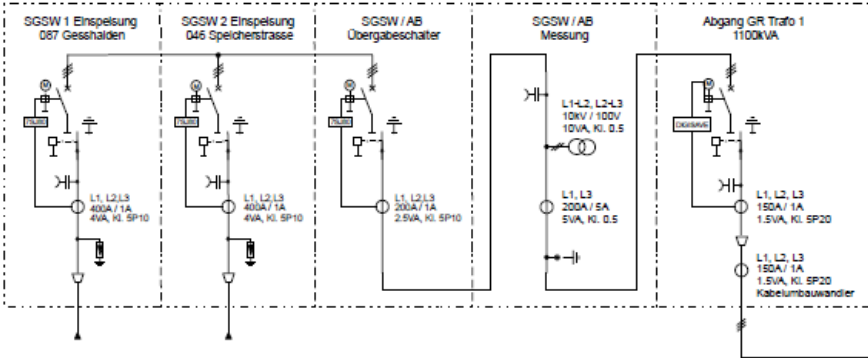
Ausführung

Prinzipschema

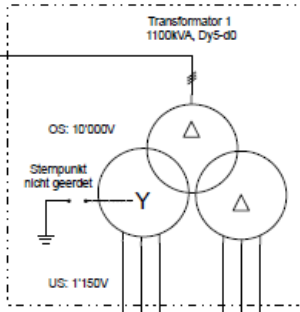
Gleichspannungsschaltanlage 1500VDC (Hersteller: ELECA, Baujahr 2012)



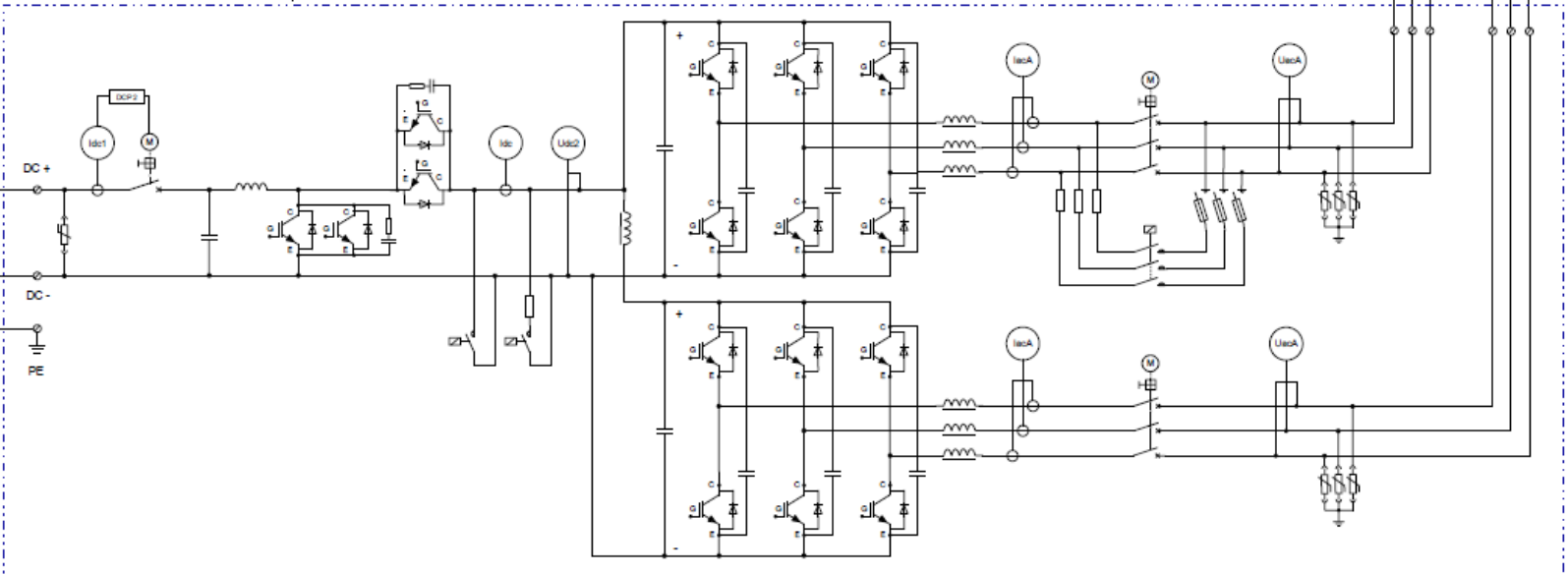
Hochspannungsschaltanlage 10kV, 50Hz (Hersteller: Siemens, Baujahr 2012)



Dreiwickler-Öltransformator (Hersteller: Südtrafa)



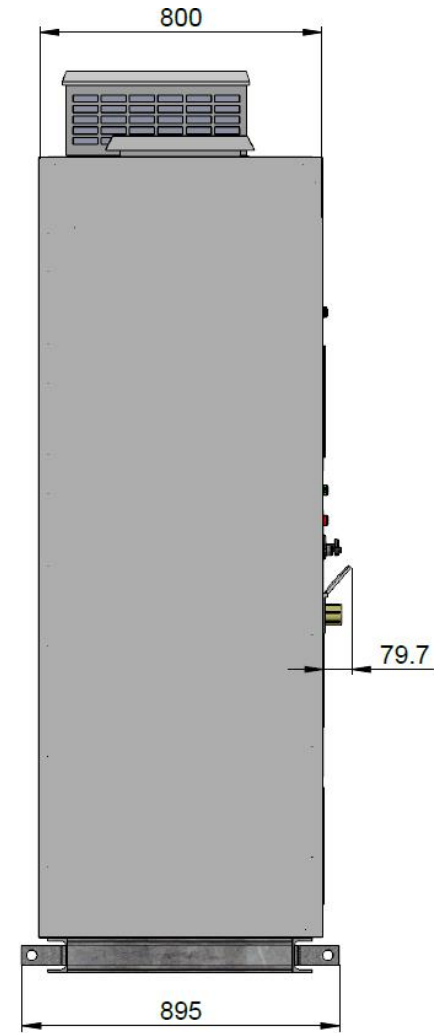
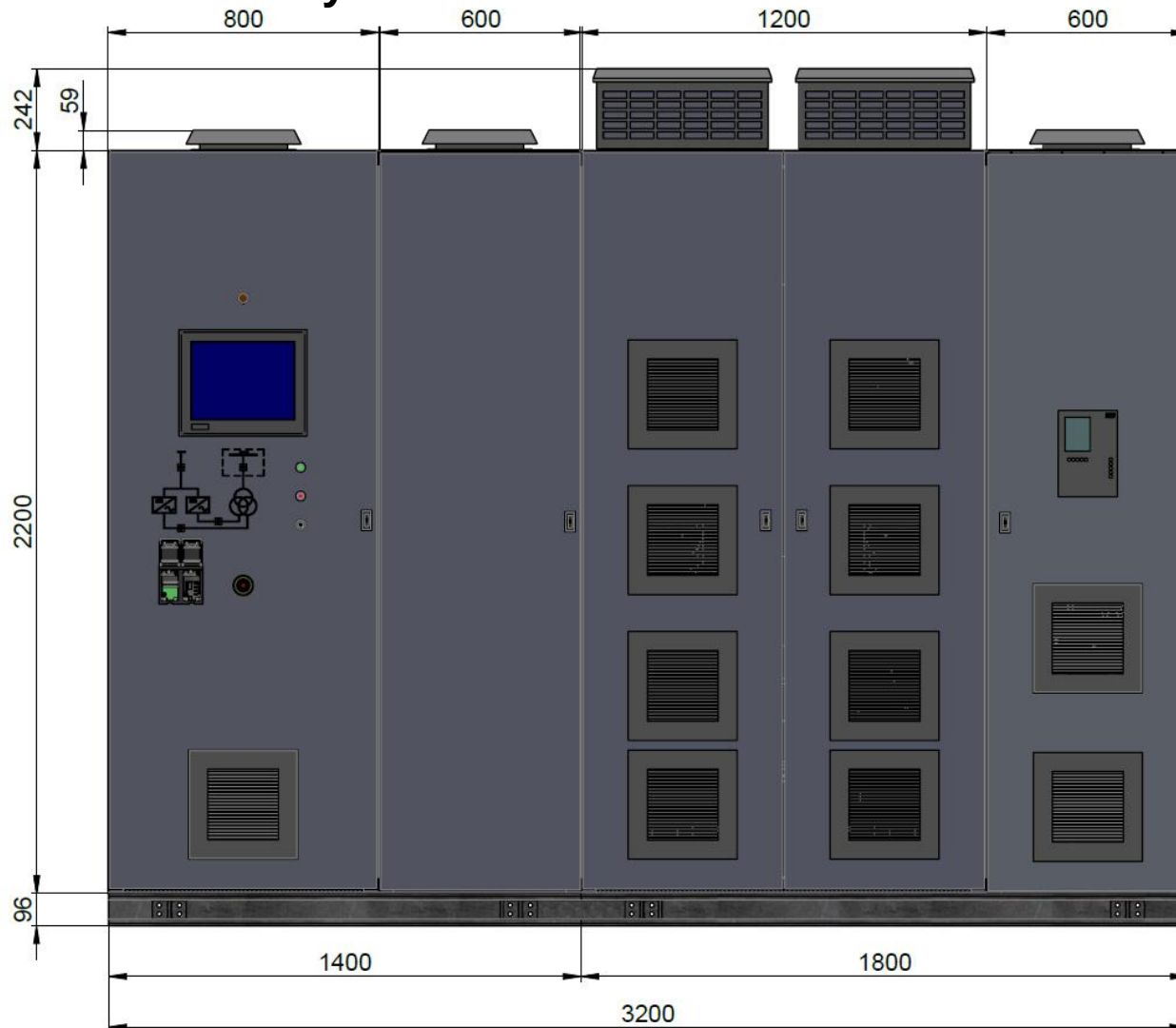
ERS Wechselrichter, IGBT, 12-pulsig, (Hersteller: Simatex AG)

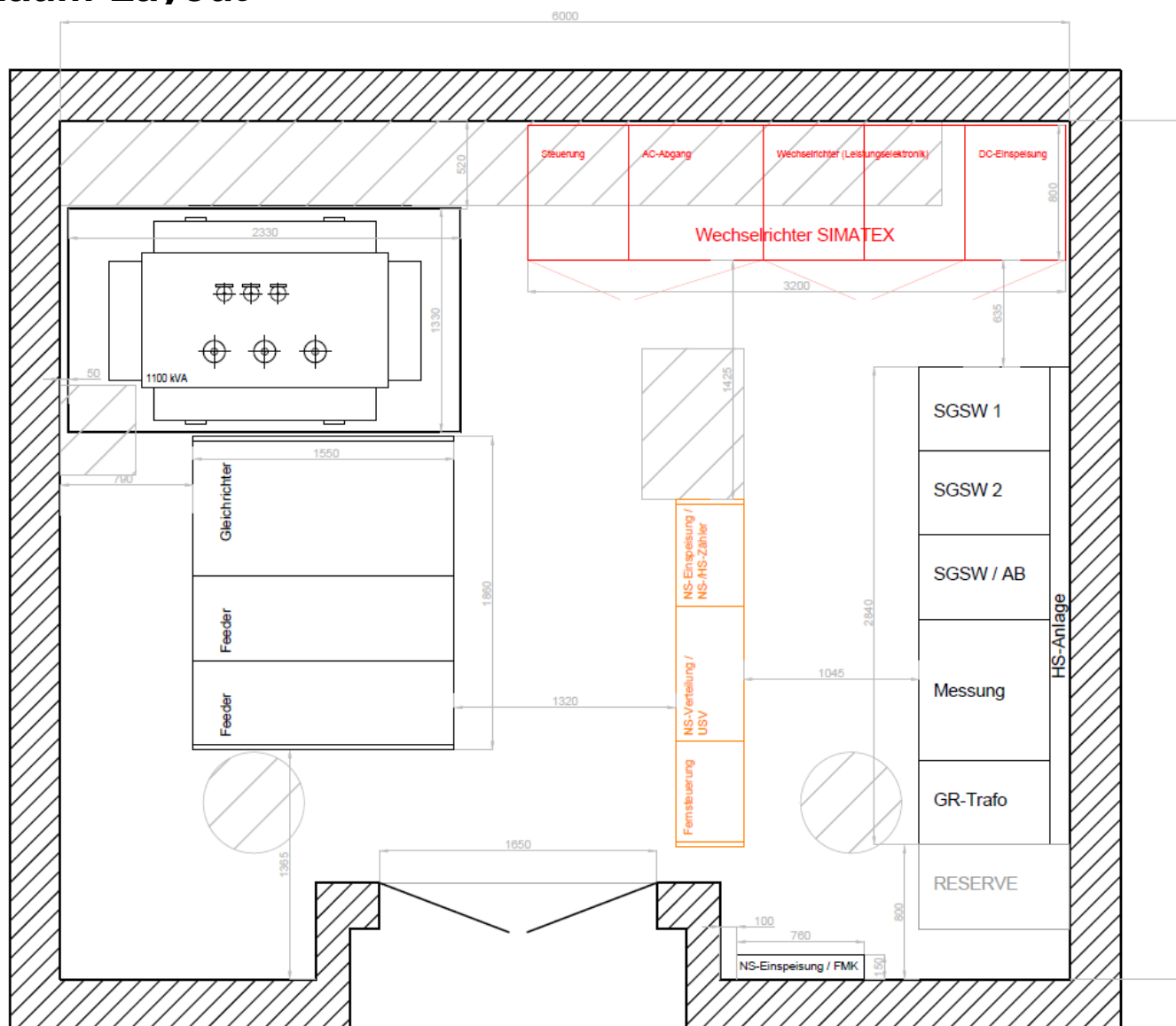




Ausführung

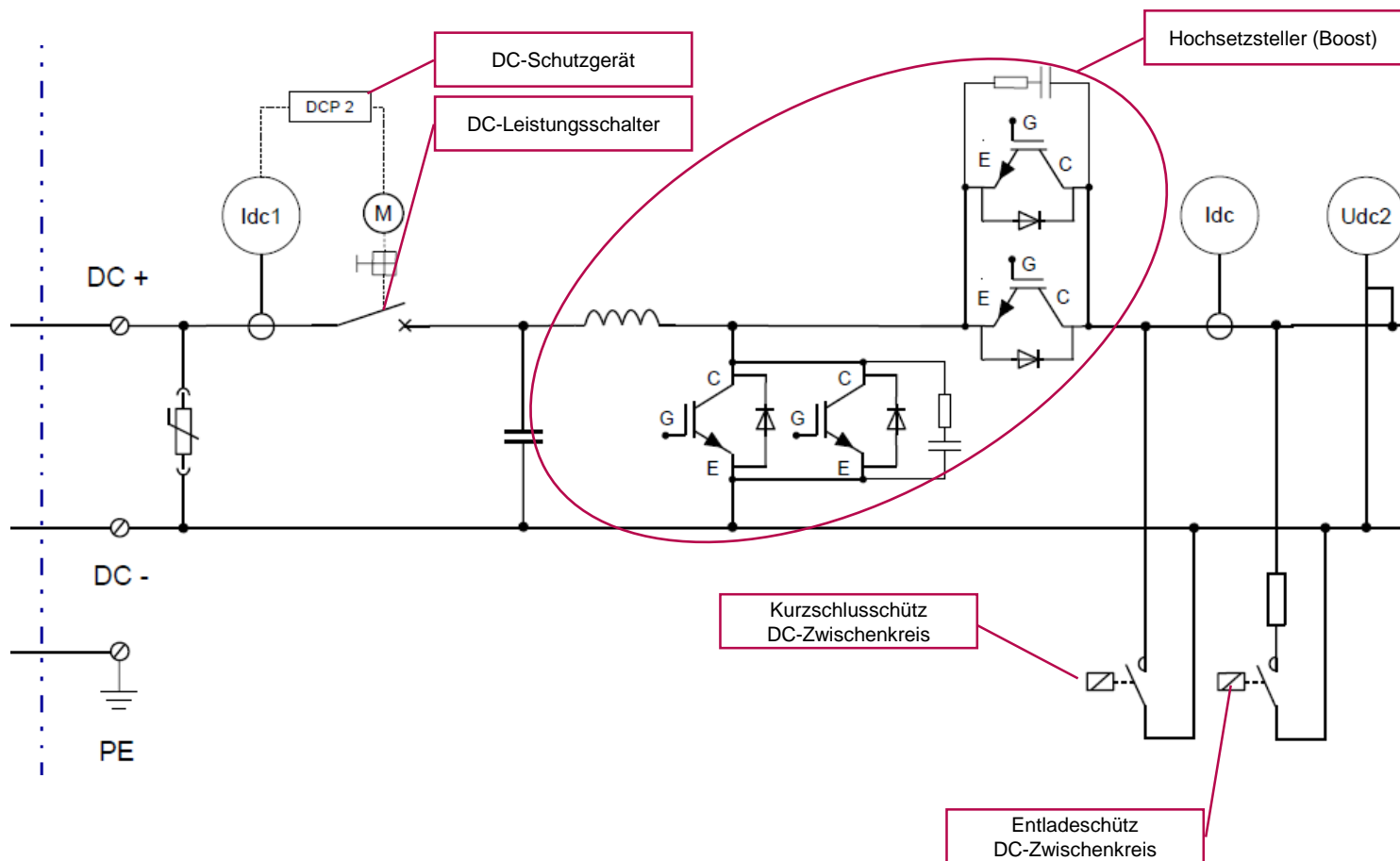
Layout Wechselrichter





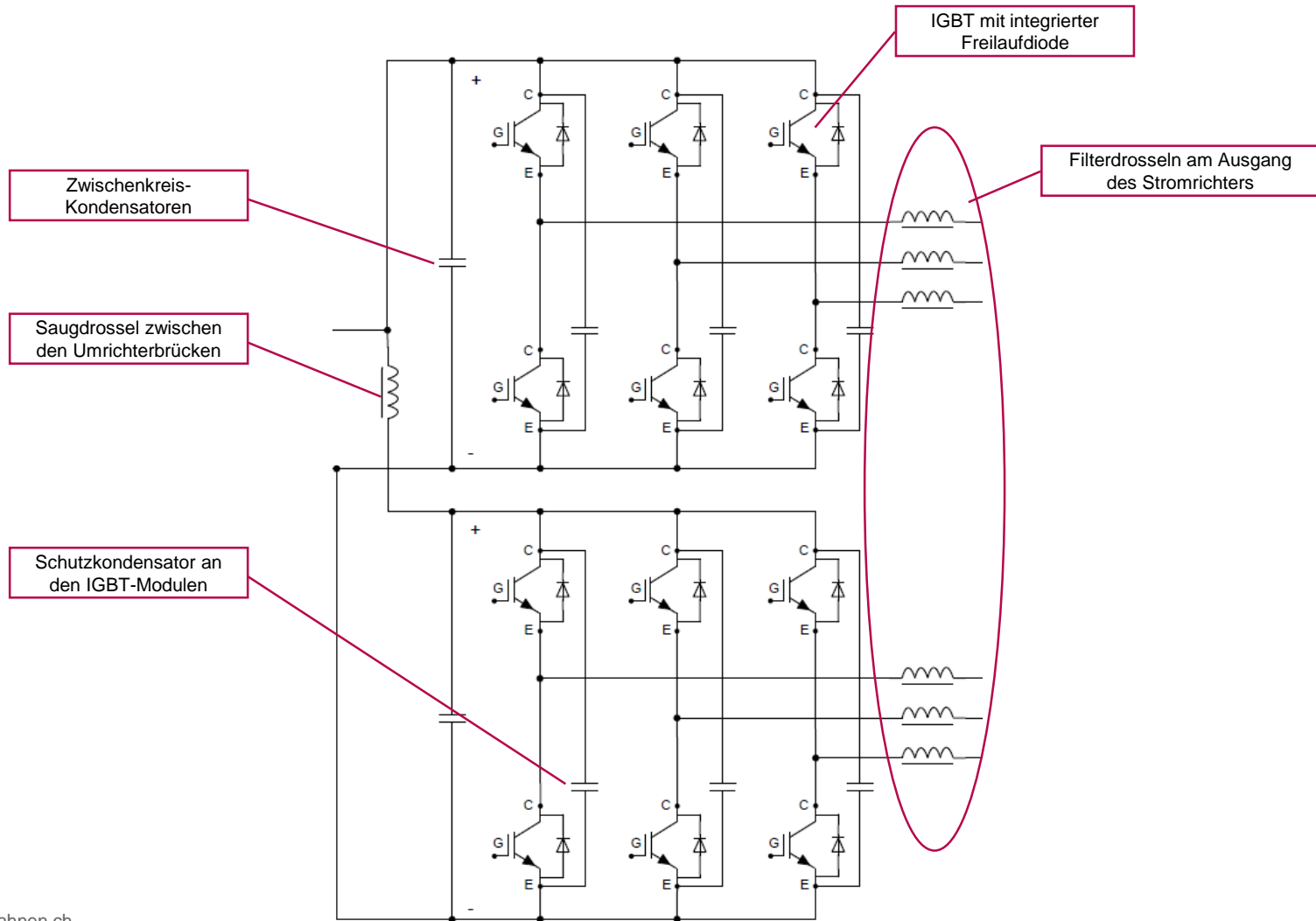
Ausführung

DC-Eingangsfeld



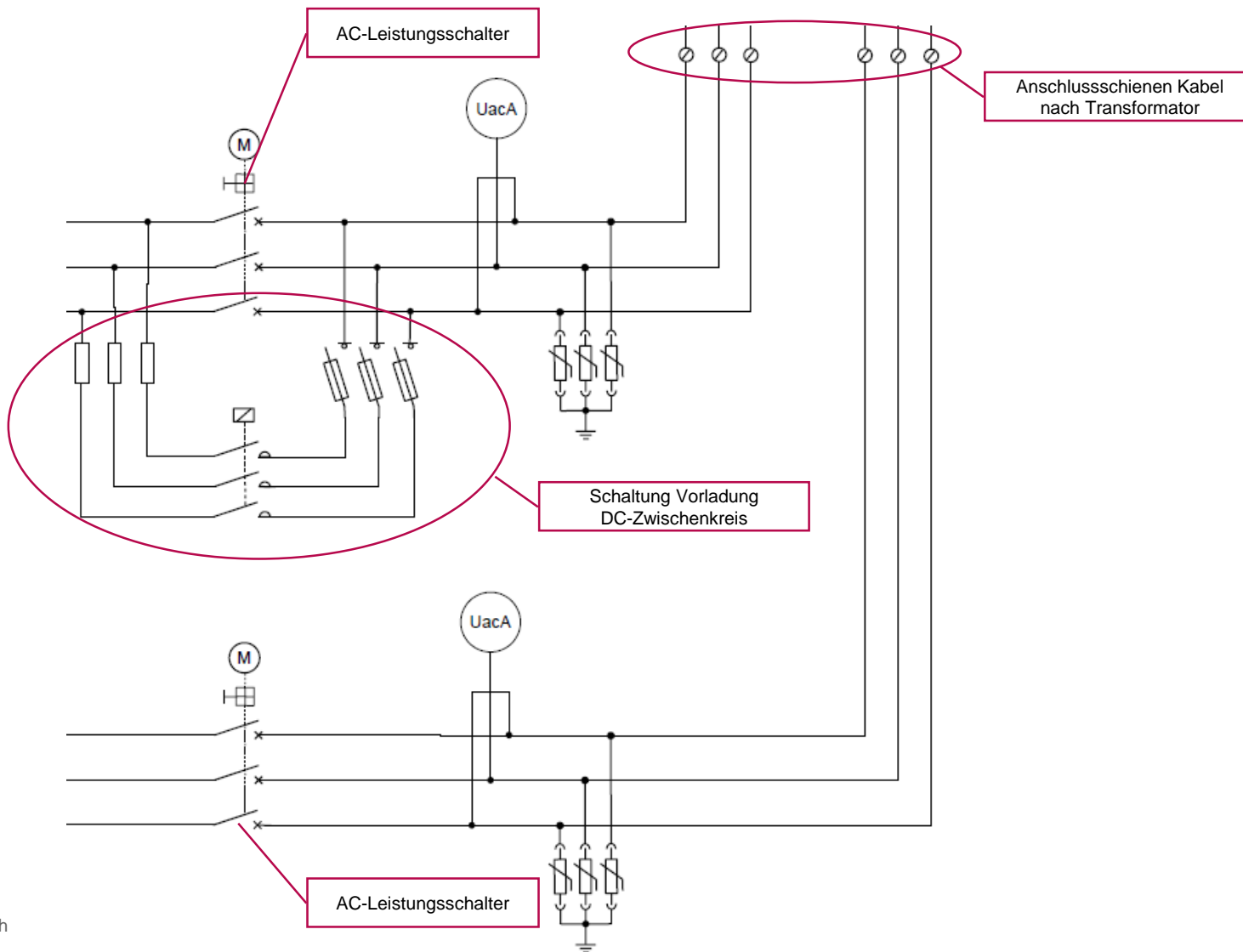
Ausführung

Stromrichterfeld



Ausführung

AC-Abgangsfeld

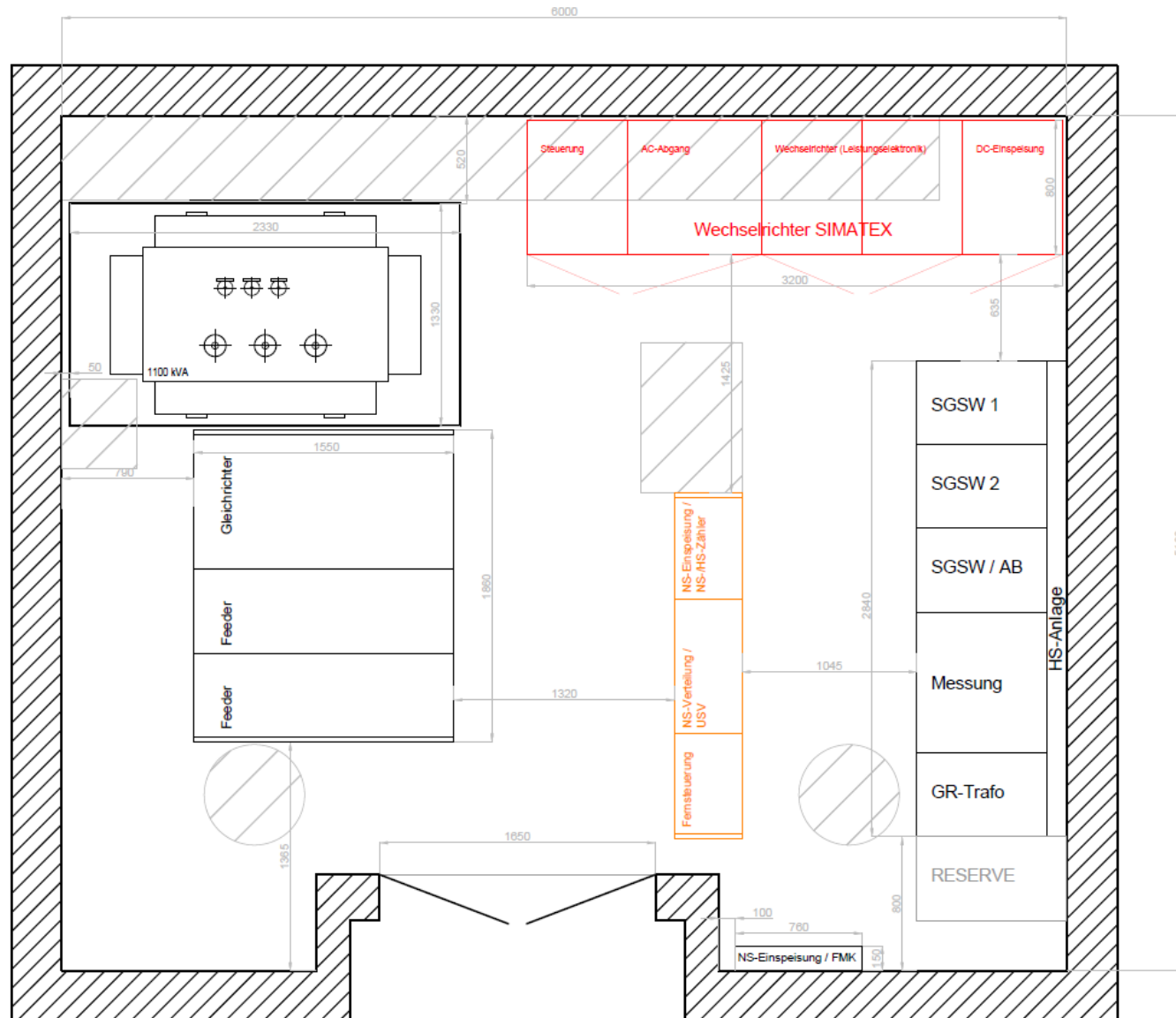


Regelung Wechselrichter

- Realisierung einer Vektorregelung
- Realisierung von Rampenfunktionen für den Anstieg der Rückspeiseleistung
- Monitoring der Netzurückwirkungen auf der MS-AC-Seite und Funktion zur Leistungsreduktion bei Überschreiten der Grenzwerte

Bau

Raum-Layout



Massnahmen bestehende Anlagen

- Verschiebung Niederspannungsverteilung
- Anpassung DC-Sammelschienen Gleichrichter
- Anpassungen Hilfsspeisungen
- Anpassungen Fernwirkanlage

Montage Wechselrichteranlage

- Montage Wechselrichter
- Verkabelung DC-Einspeisung
- Verkabelung AC-Abgang
- Verkabelung Hilfsspeisungen / Anbindung Fernwirkanlage

Herausforderungen

- Einbringung Wechselrichter (Einzelteile bis 1100kg)
- Platzverhältnisse

Etappierung Montage

- Verschiebung Niederspannungsverteilung KW29/30 2019
(Sommerferien, Abschaltung Gleichrichteranlage)
- Einbau Wechselrichteranlage KW45-47 2019
(ohne Abschaltung Gleichrichteranlage)
- Anschluss Wechselrichter AC- und DC-Kabel KW49 (Nachtschicht)
- Start Inbetriebnahme am 09.12.2019

Herausforderungen

- Keine Abschaltungen der AC- und DC-Kabel während den Betriebszeiten möglich
 - Kein Zugang zum Leistungskreis des Wechselrichters
- Keine Beeinflussung der Bahnstromversorgung / des Betriebs durch die Inbetriebnahme zulässig

Erste Erkenntnisse

- Der Trafo weist eine andere Schaltgruppe auf als auf dem Typenschild vermerkt (Drehung der Phasensysteme um 180°)
 - Über Software des Wechselrichters korrigiert
- Regelung fängt bei kleinen Rückspeiseleistungen an zu Schwingen
 - Neudefinition der Regelalgorithmen in Arbeit
- Bei Parallelbetrieb Gleichrichter und Wechselrichter treten ab einer Rückspeiseleistung von ca. 100kW Kreisströme auf
 - Wurde bereits in den Simulationen erkannt

Weitere Schritte

Vermeidung von Kreisströmen

Definition / Simulation Massnahmen unter Berücksichtigung von:

- Zuverlässigkeit / Verfügbarkeit der Anlage
- Wirkungsgrad
- Netzurückwirkungen

Optimierung Regelung

Optimierung der Regelung in Bezug auf:

- Schwingungsverhalten bei niedrigen Rückspeiseleistungen
- Netzurückwirkungen
- Gegenseitige Beeinflussungen mit dem Rollmaterial

Probetrieb

6 Monate Probetrieb mit Monitoring von:

- Ausfällen / Störungen / Betriebseinschränkungen
- Wirkungsgrad / Anteil genutzte Bremsenergie
- Netzurückwirkungen

Allgemein

- Die Anlage ist grundsätzlich funktionstüchtig aber nicht betriebsbereit
- Für die zu klärenden technischen Punkte sind Lösungsansätze vorhanden
- Die Definition und Optimierung der Regelung des Wechselrichters ist nur durch Betriebserfahrungen im Netz möglich

Ausblick

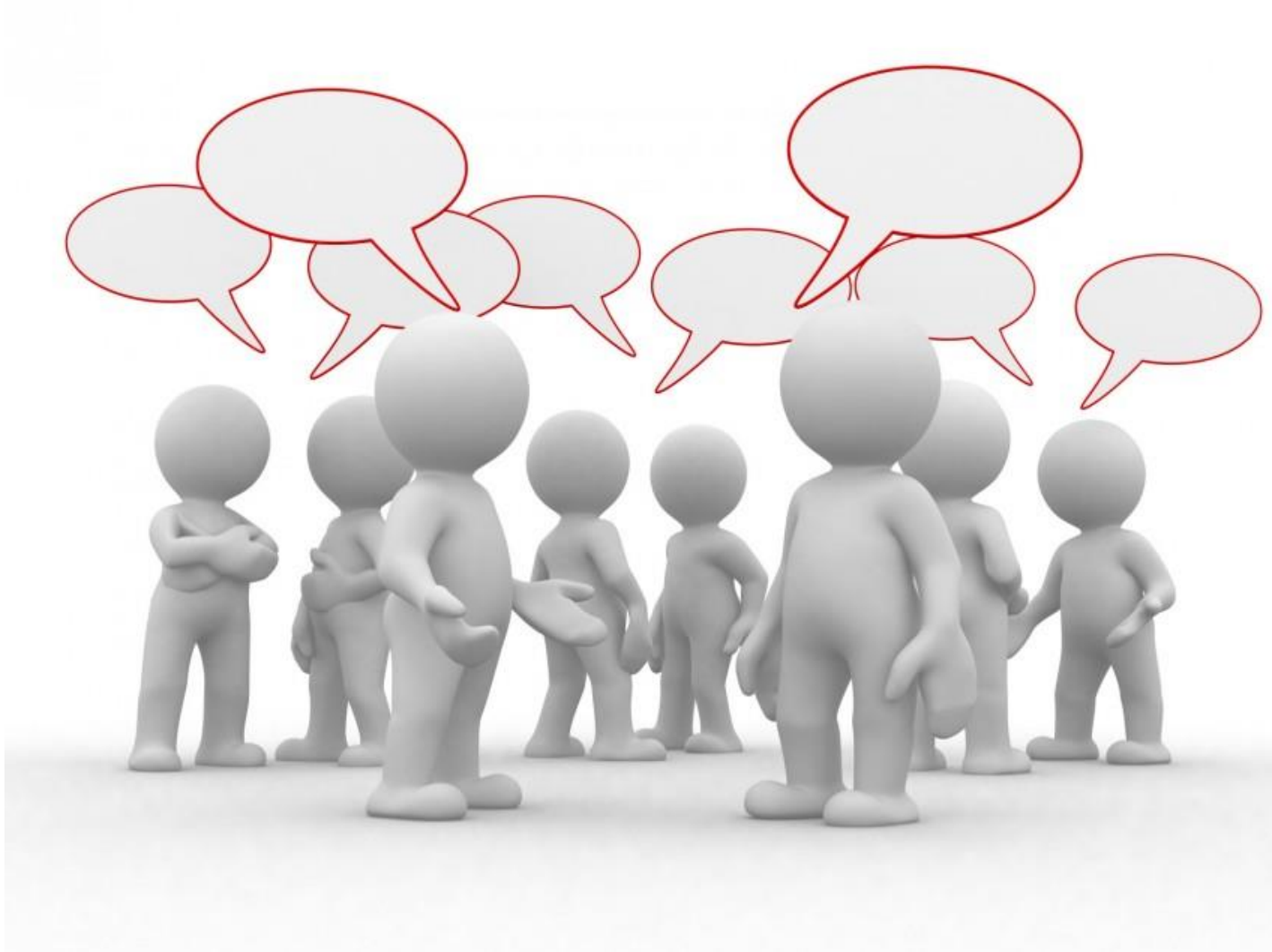
- Umsetzung Vermeidung Kreisströme / Optimierung Regelung
 - Bis Ende Februar 2020
- Probetrieb
 - März – August 2020
- Auswertung Probetrieb / Optimierung / Projektabschluss
 - September – Dezember 2020

Finanzierung

01.05.2012 Förderung Netzstudie Stadt St. Gallen mit CHF 20'000
19.01.2015 Interessensbekundung ESÖV 2050
10.04.2017 Vertrag ESV 2050 unterzeichnet; Beitrag CHF 300'000
36.8% von CHF 815'000

Investitionskosten	
Netzstudie inkl. Vorabklärungen	CHF 65'000
Wechselrichter: Simatex (inkl. Engineering)	CHF 400'000
Projektierung: Eltrend (inkl. Ausschreibung)	CHF 50'000
Montage/Anpassung best. Anlage: RhV	CHF 35'000
Probetrieb, Optimierung, Dokumentation	CHF 110'000
Total:	CHF 660'000

Fragen?





Reserve