

SETP 2050

Onduleur Bavaria

Récupération du courant de traction dans le réseau à moyenne tension de notre entreprise ferroviaire

14 janvier 2020

Roland Steingruber, chef Infrastructures

Patrick Hunziker, entreprise Eltrend GmbH / 5040 Schöftland



Sommaire

Les Appenzeller Bahnen

Conditions-cadres

- Rames

- Approvisionnement électrique

- Réseau à moyenne tension EWSG

Étude Enotrac

- Solutions envisageables

Comparaison des variantes

Appel d'offres

Spécifications techniques

Construction et mise en service

Premières expériences

Financement

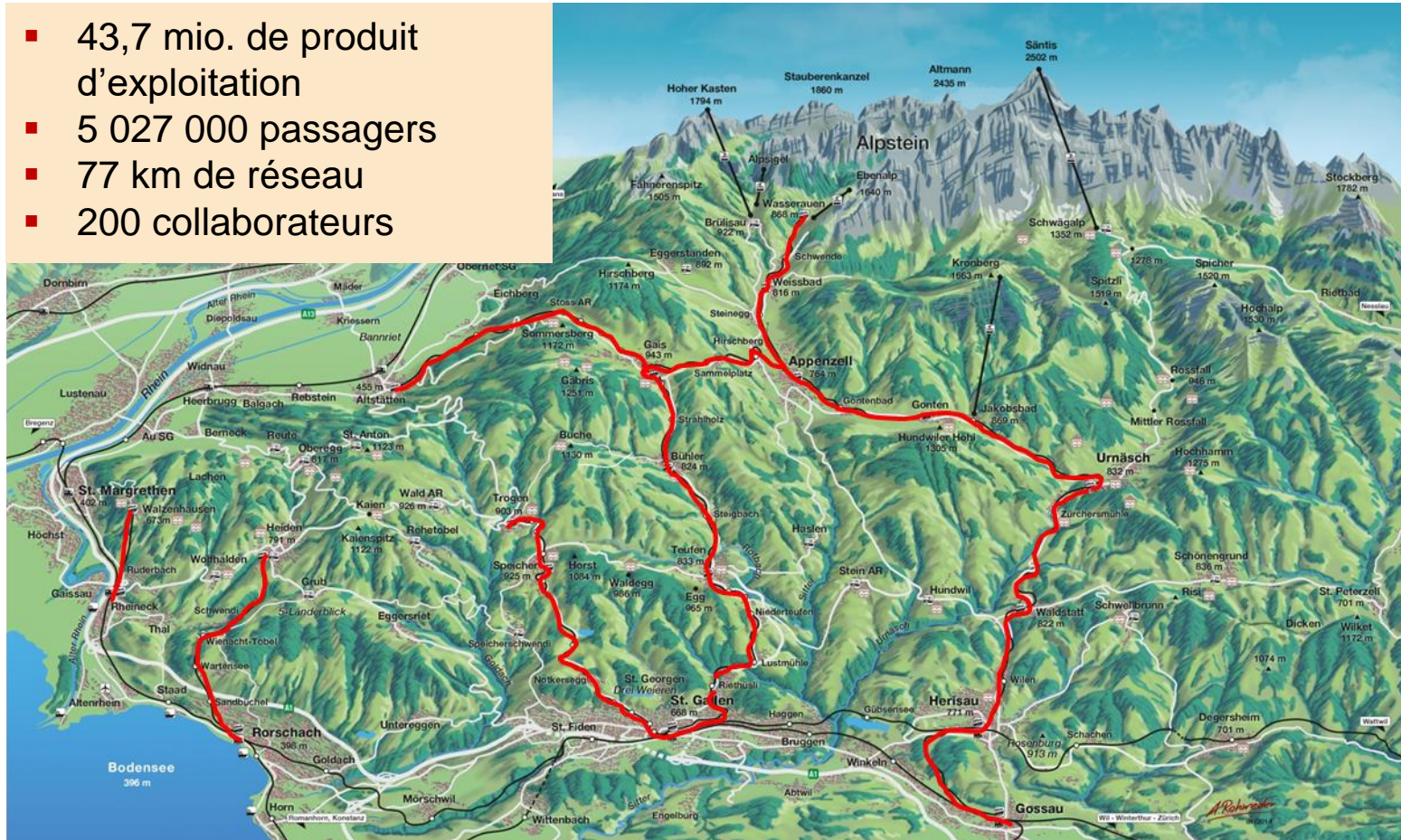


Les Appenzeller Bahnen



Les Appenzeller Bahnen Du lac de Constance à l'Alpstein

- 43,7 mio. de produit d'exploitation
- 5 027 000 passagers
- 77 km de réseau
- 200 collaborateurs





Histoire Sept sociétés, un chemin de fer

1875 – 2006

Schweizerische Localbahn

Appenzeller Strassenbahn

Säntisbahn

Altstätten-Gais Bahn

Trogenerbahn

Rorschach-Heiden-Bergbahn

Bergbahn Rheineck-Walzenhausen



**Appenzeller Bahnen
depuis 2006**



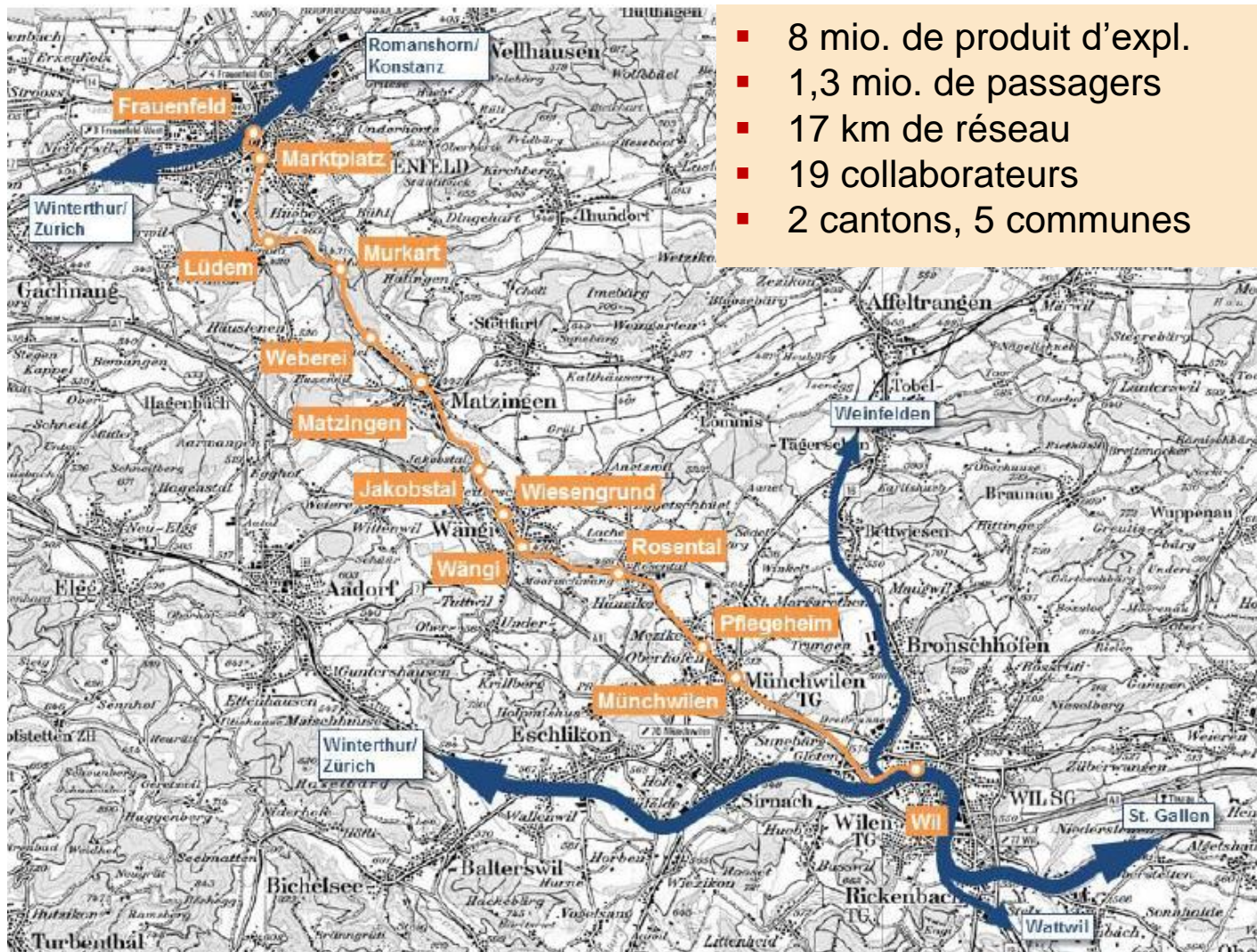


Passé et présent

Des concepts techniques différents

	Gossau	Trogen	Altstätten	Rorschach	Rheineck	Frauenfeld
	Wasserauen	Appenzell	Gais	Heiden	Walzenhausen	Wil
Écartement	1'000	1'000	1'000	1'435	1'200	1'000
Tension	1'500	1500 / 600	1'500	15'000	600	1'200
Pente max.	37 ‰	80 ‰	160 ‰	94 ‰	253 ‰	46 ‰
Rayon min. (virage)	90 m	30 m	28 m	150 m	160 m	40 m
Crémaillère			X	X	X	

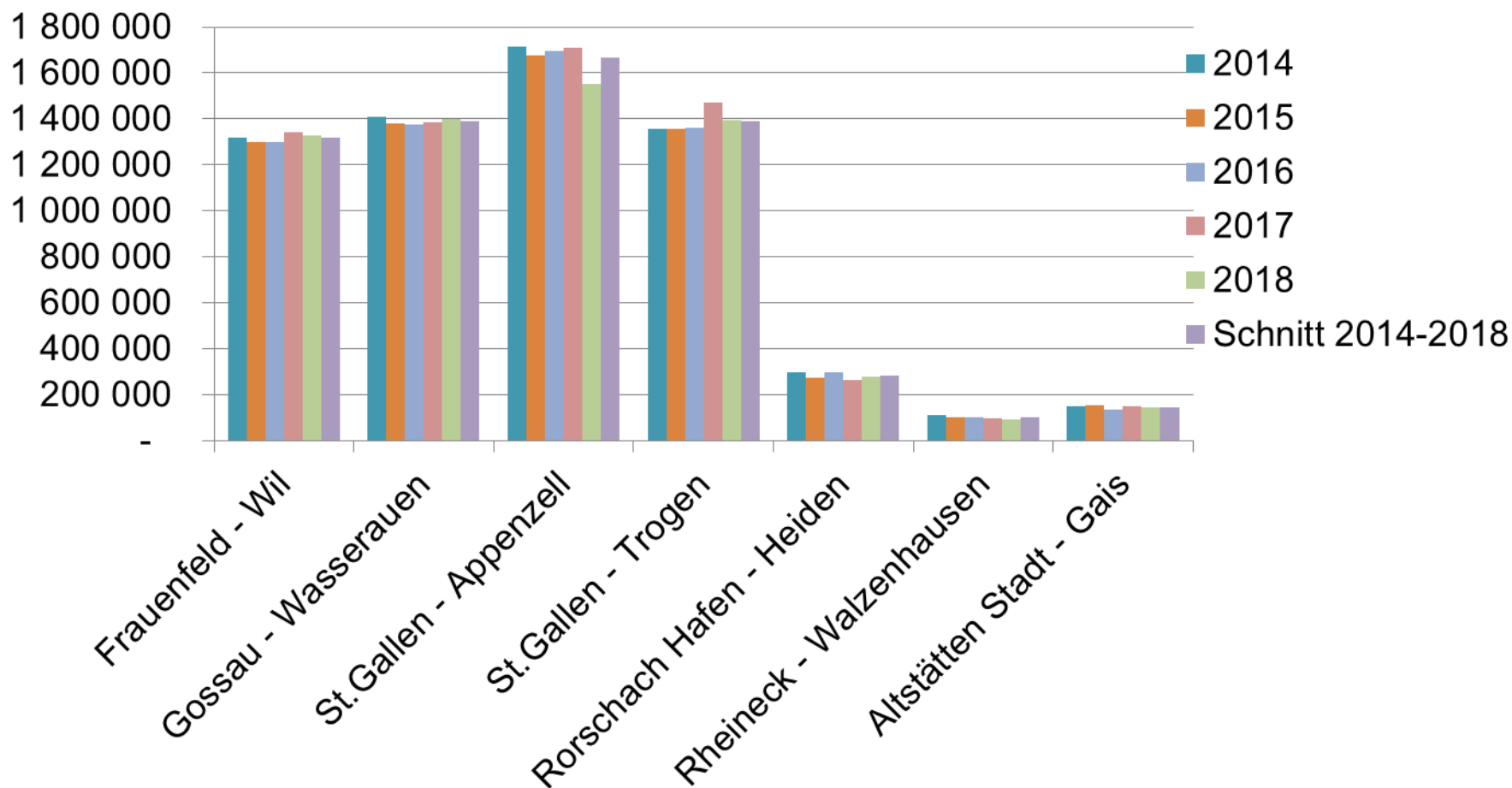
FWB: 2 cantons, 5 communes





Les Appenzeller Bahnen

Chiffres (passagers/année)





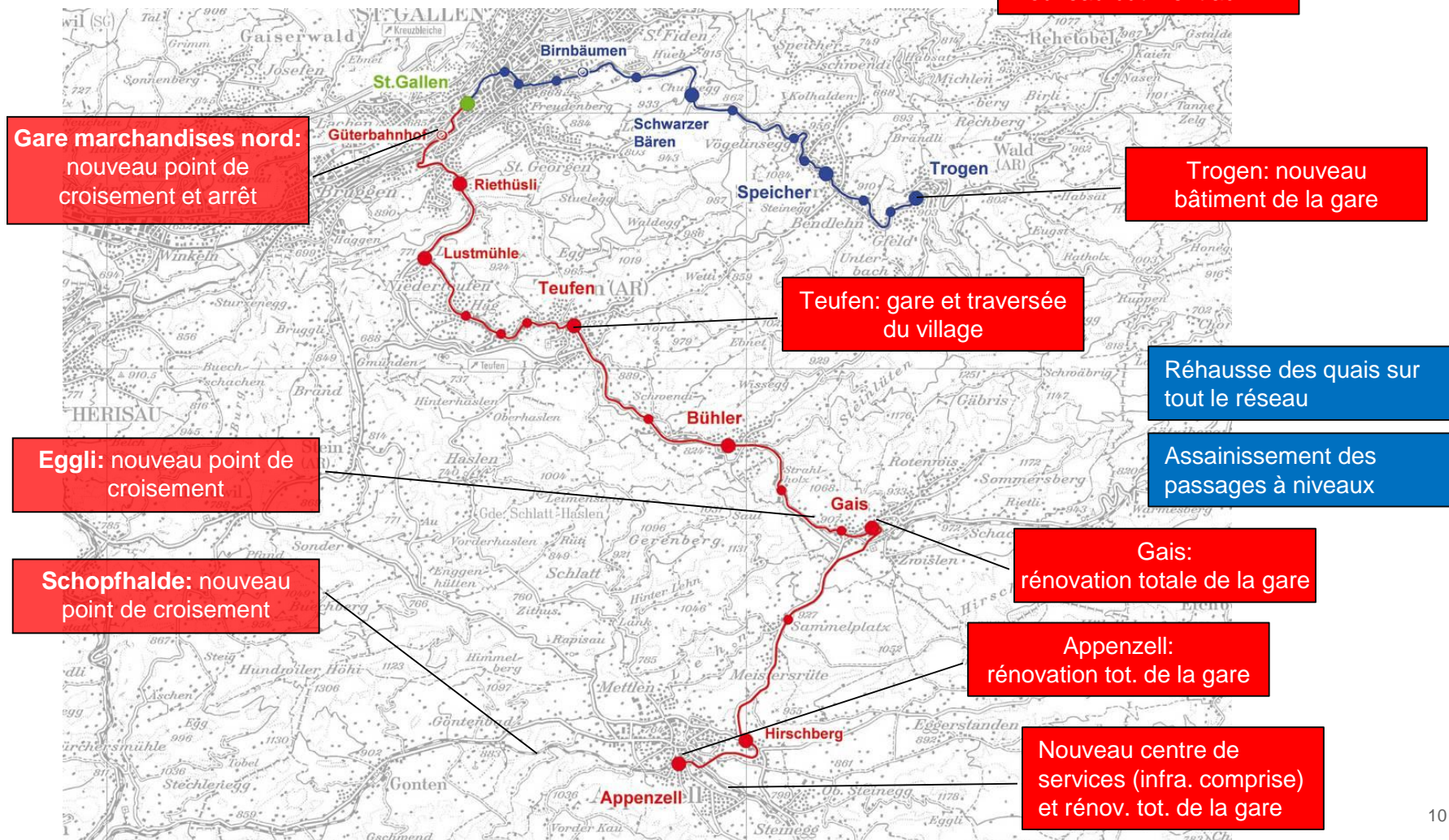
Passé > présent

De la vapeur au train régional moderne



Modernisation globale

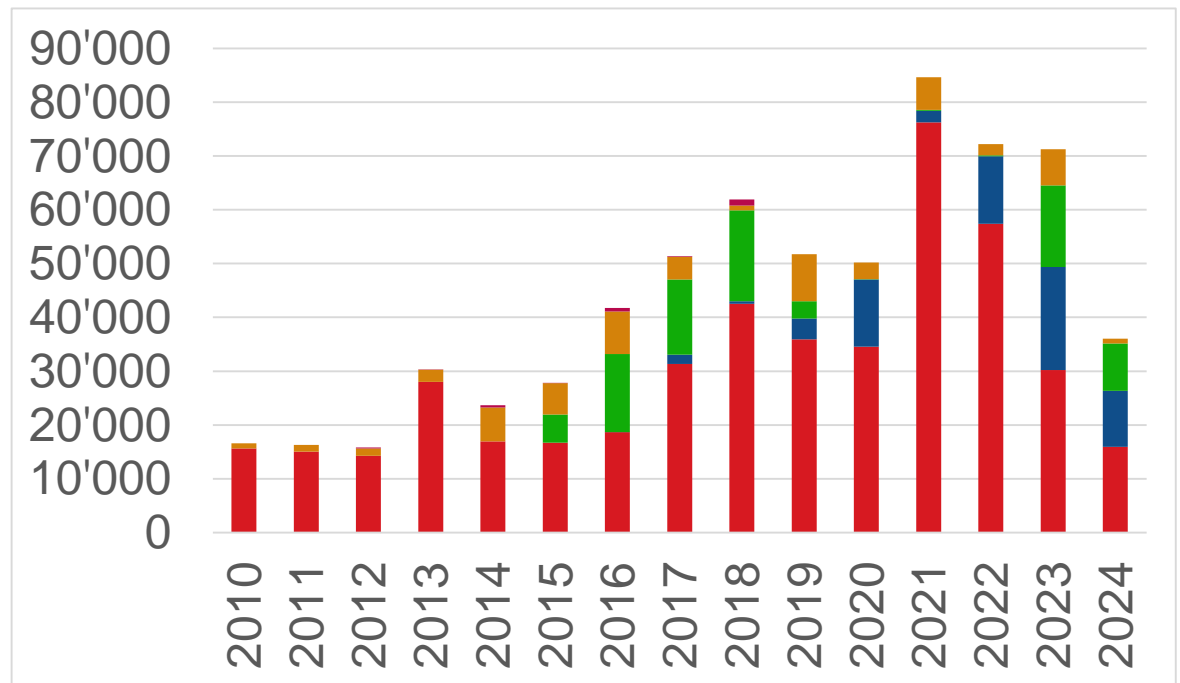
Les principaux projets






Modernisation globale des chemins de fer

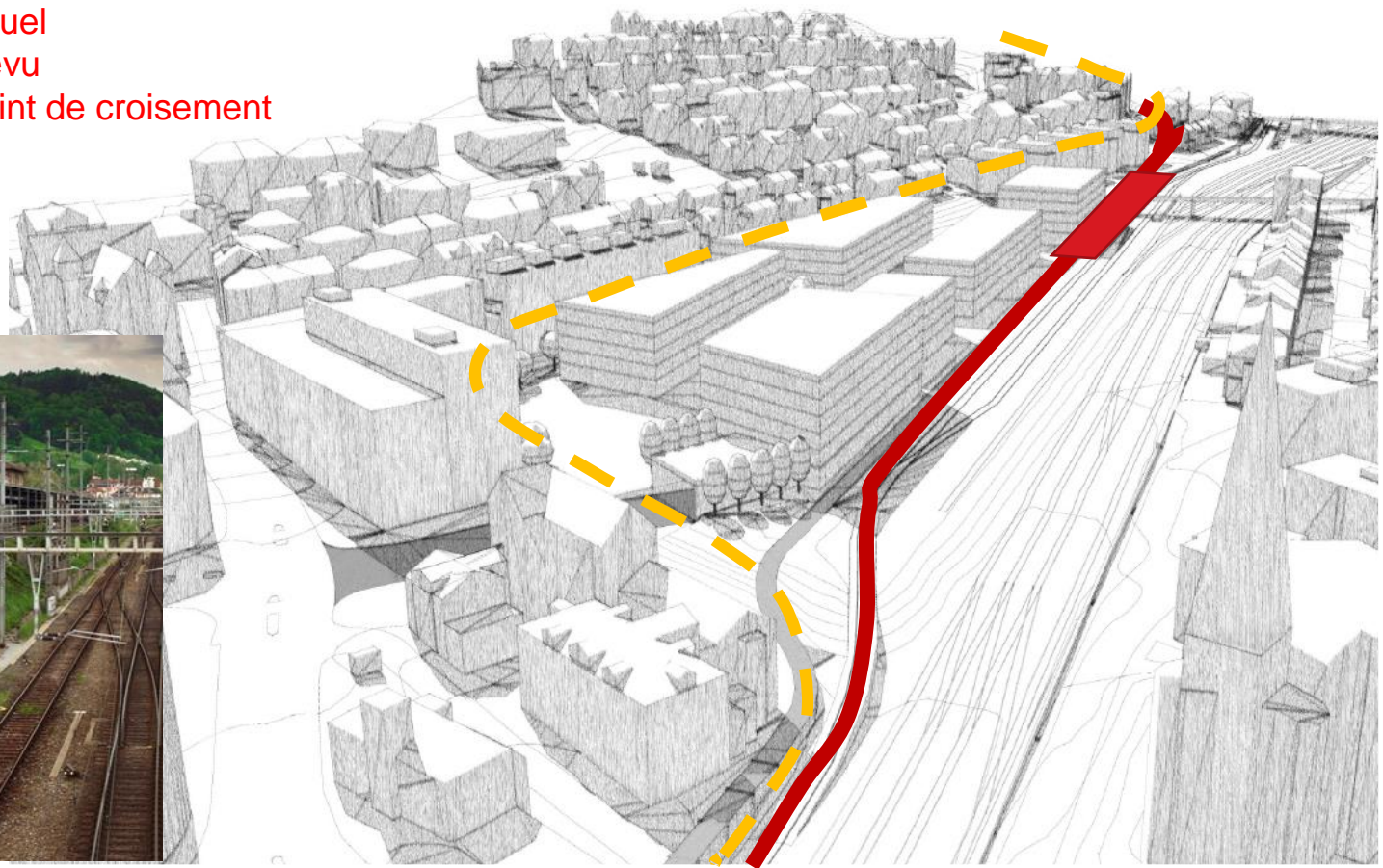
- Modernisation massive des infrastructures sur tout le réseau
- Mise en œuvre de la LHand, passages à niveaux
- Remplacement quasi complet de la flotte des véhicules
- Fermeture des ateliers de Speicher, Gais et Herisau, construction à Appenzell

Volume
d'investissement dans
l'infrastructure en
milliers de francs



Gare marchandises: nouveau tracé

-  Tracé actuel
-  Tracé prévu
-  Arrêt / point de croisement

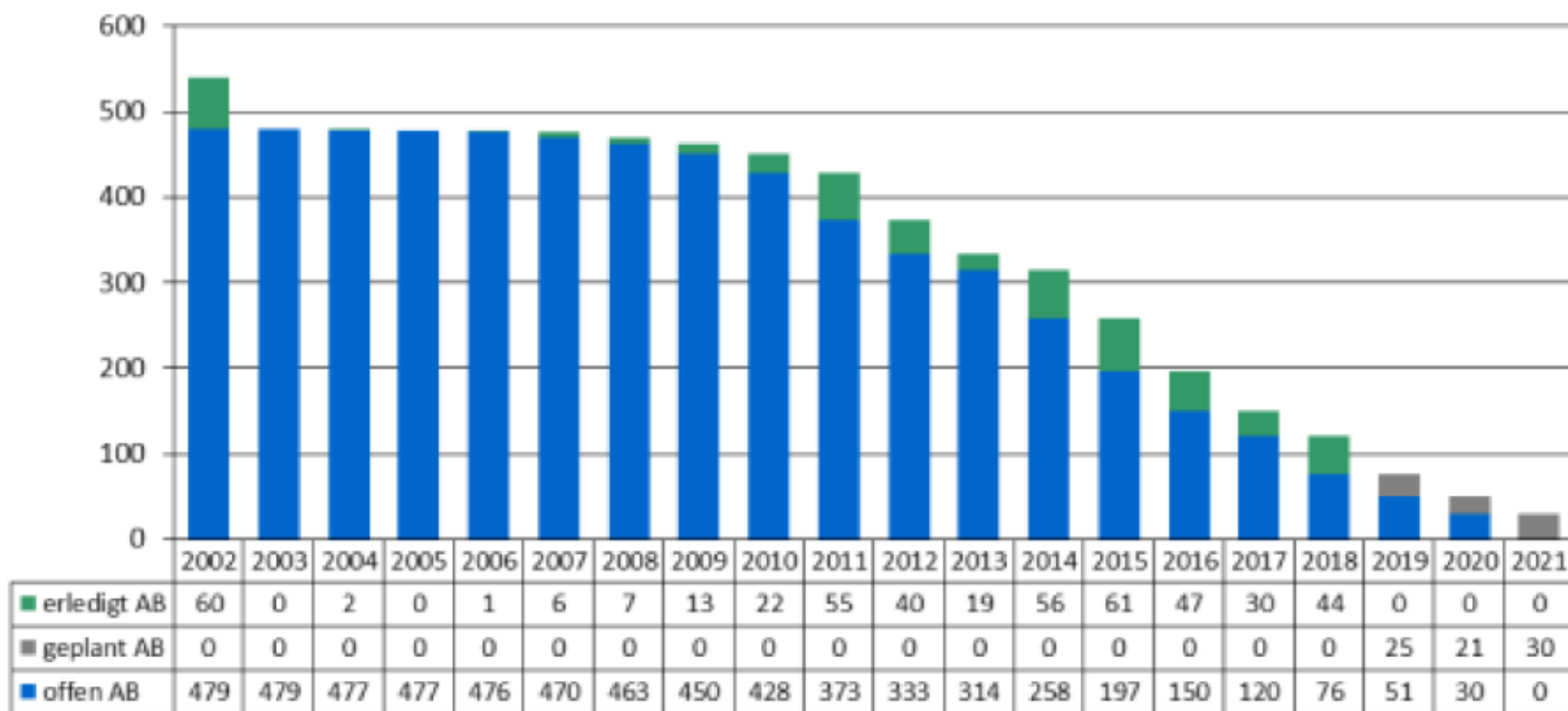


Centre de services d'Appenzell

- Mise en service à la fin 2022
- Remplace les ateliers de Gais, Herisau et Speicher
- Comprend les services Infrastructure, Matériel roulant et Nettoyage



Assainissement des passages à niveaux



11 Tango et 5 Walzer



Caractéristiques des rames (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]

Paramètres pour le système 1500 V



Conditions-cadres: Topographie

- Emplacement idéal donné selon une étude du réseau
- Contributions de la ville de St-Gall invitant à se rapprocher de la ville
- Poste de redressement Bavaria entièrement assaini en 2012
- Pourtant pas de place pour un deuxième transformateur
- La topographie pose de nombreuses contraintes aux prestataires

Conditions-cadres: Réseau à moyenne tension SGSW

Réseau à moyenne tension au point de raccordement:

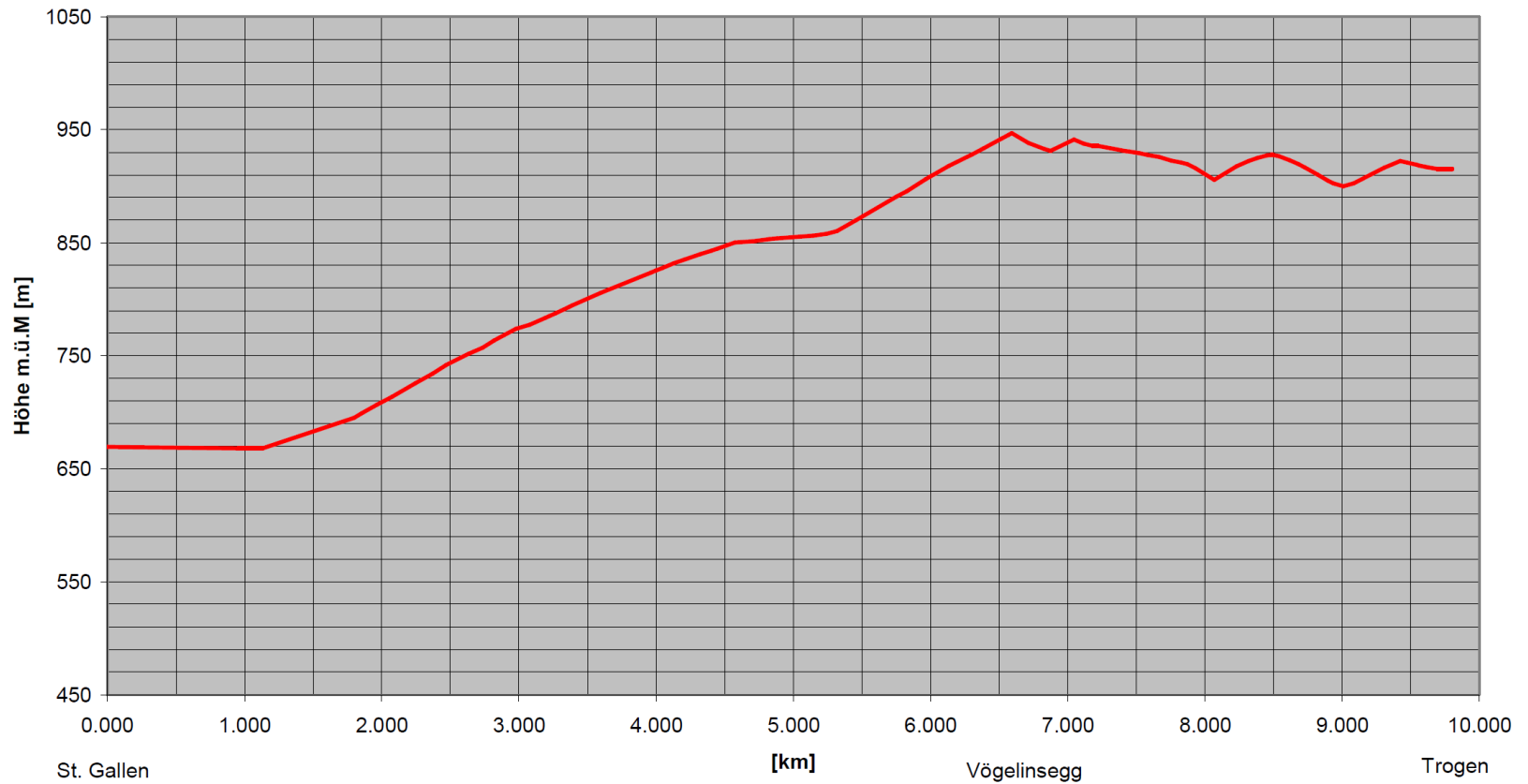
Paramètre	Valeur	Commentaire
Fréquence	50 Hz	
Valeur nominale	10 kV	
Puissance de court-circuit	124 à 214 MVA	Selon le couplage / le circuit

Autorisation de raccordement au réseau pour les onduleurs avec des exigences:

- Respect et contrôle des perturbations
- Preuve relative à la protection de l'installation autoproductrice (protection du réseau et de l'installation)

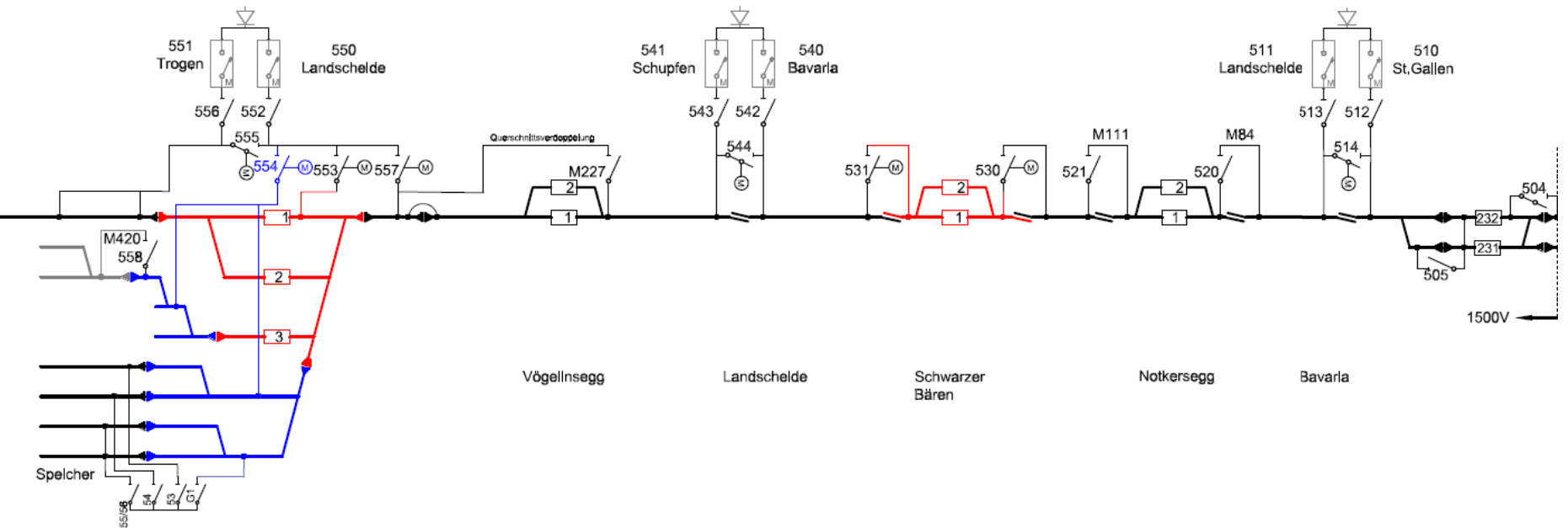
Conditions-cadres: Approvisionnement en courant de traction

Höhenprofil St. Gallen - Trogen



Conditions-cadres: Approvisionnement en courant de traction

3 postes de redressement: S_n 1100 kVA, I_n 733 A, Z_Q 0.096 Ω



Étude du réseau Enotrac 2013 (FABEL)

Examen de différentes variantes

- Accumulateur sur le véhicule
- Accumulateur stationnaire
- Accumulateur rotatif
- Onduleur

→ Recommandation en faveur de l'onduleur ou de l'accumulateur stationnaire

Commande de nouveaux véhicules en 2014 / Révision de l'horaire

Révision de l'étude du réseau Enotrac en avril 2015 (FABEL)

- Examiné uniquement onduleur et accumulateur rotatif

Étude Enotrac: solutions envisageables

Masse rotative comme accumulateur



Supercaps sur le véhicule



Exemple: ligne T3 du métro parisien

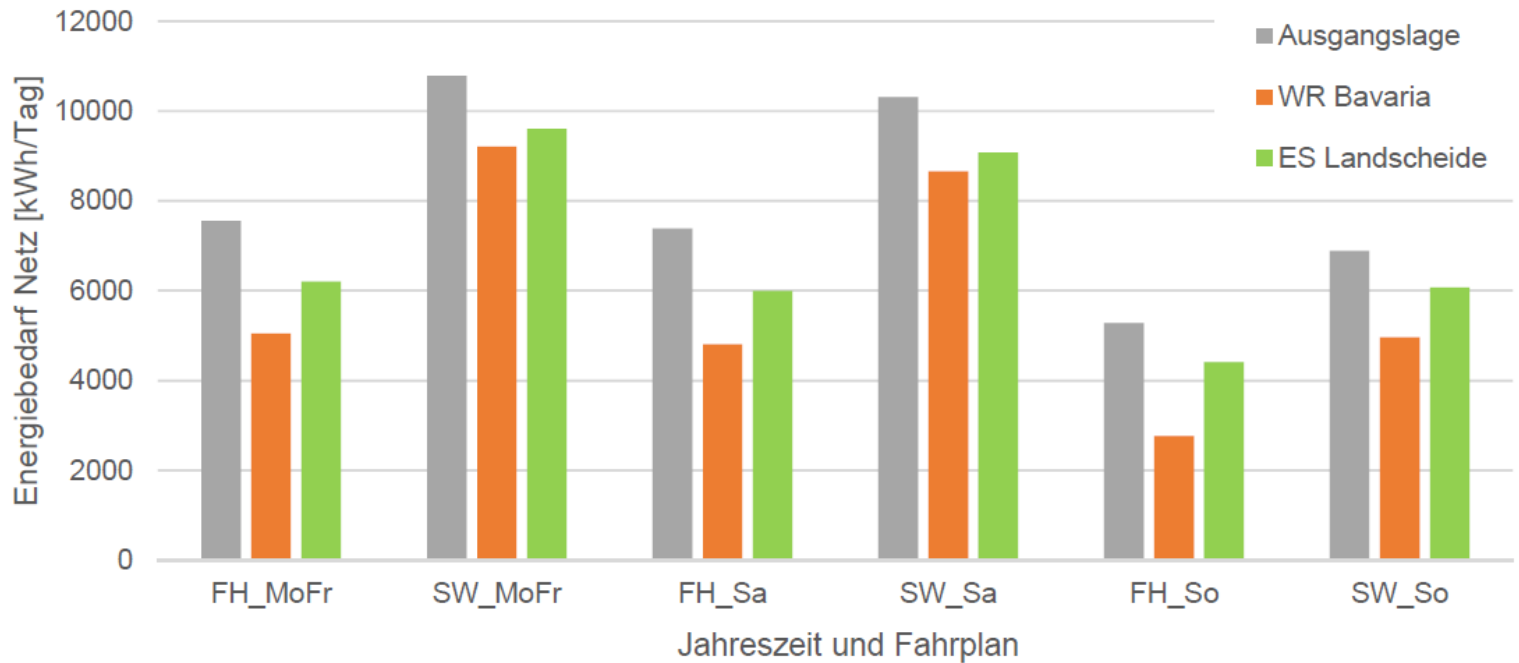
Supercaps stationnaires



Onduleur
pour récupérer le courant
dans le réseau à moyenne
tension

Étude Enotrac: résultats

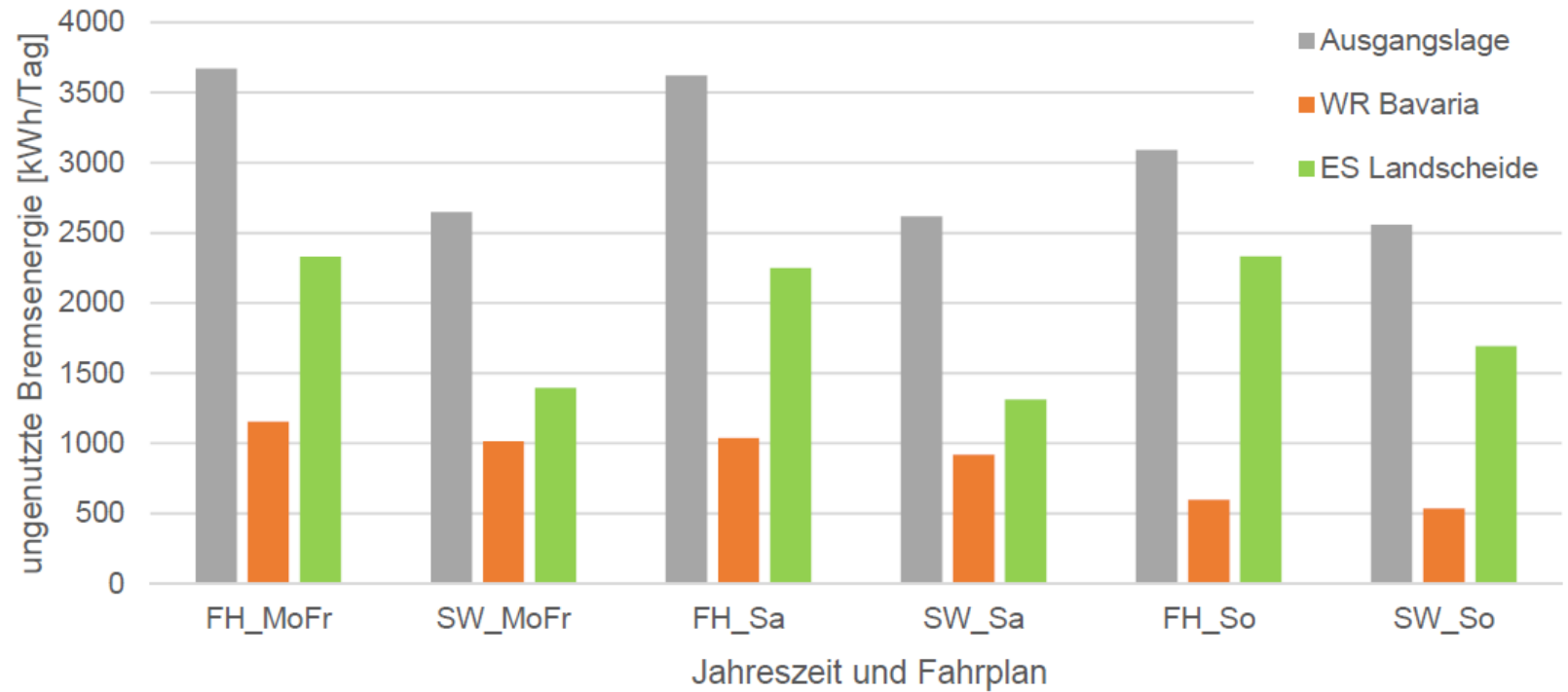
Consommation d'énergie par jour



FH = printemps/automne; SW = été/hiver

Étude Enotrac: résultats

Énergie de freinage non utilisée



FH = printemps/automne; SW = été/hiver

Étude Enotrac: résultats

Bases de calcul:

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

Étude Enotrac: résultats

Résultats:

- Consommation 2020 attendue: 3200 MWh/an
- Économie attendue avec un accumulateur: 442 MWh/an
- Économie attendue avec un onduleur: 757 MWh/an
- L'onduleur est plus vite rentabilisé (13 ans contre 16 pour l'accumulateur)
- L'onduleur est moins sensible aux variations du prix du courant
- Un accumulateur de plus grande taille pourrait améliorer le taux d'efficacité
- L'onduleur a une plus longue durée de vie

→ Recommandation en faveur de l'onduleur

Comparaison des variantes

	Onduleur	Supercab statio.	Supercab sur le véhicule	Accumulateur rotatif
Maturité technique	+	+	+	--
Complexité	+	++	++	+++
Efficacité de l'ensemble du système	-	+	+	--
Rendement	-	--	---	-
Frais d'installation	+	--	---	+
LCC	+	--	---	-
Durée de vie attendue	+	-	-	-

Décision

Décision en faveur de l'onduleur. Arguments:

- Pesée des avantages et inconvénients
- Besoin de place (faisabilité)
- Risques techniques
- Coûts d'installation
- LCC

Spécifications techniques

Exigences essentielles

Données techniques:

- Tension nominale (EN50163) 1500 V
- Puissance nominale (DC) 500 kW
- Capacité de surcharge
500 kW sur la durée
1000 kW sur 600 s
1500 kW sur 60 s

Montage:

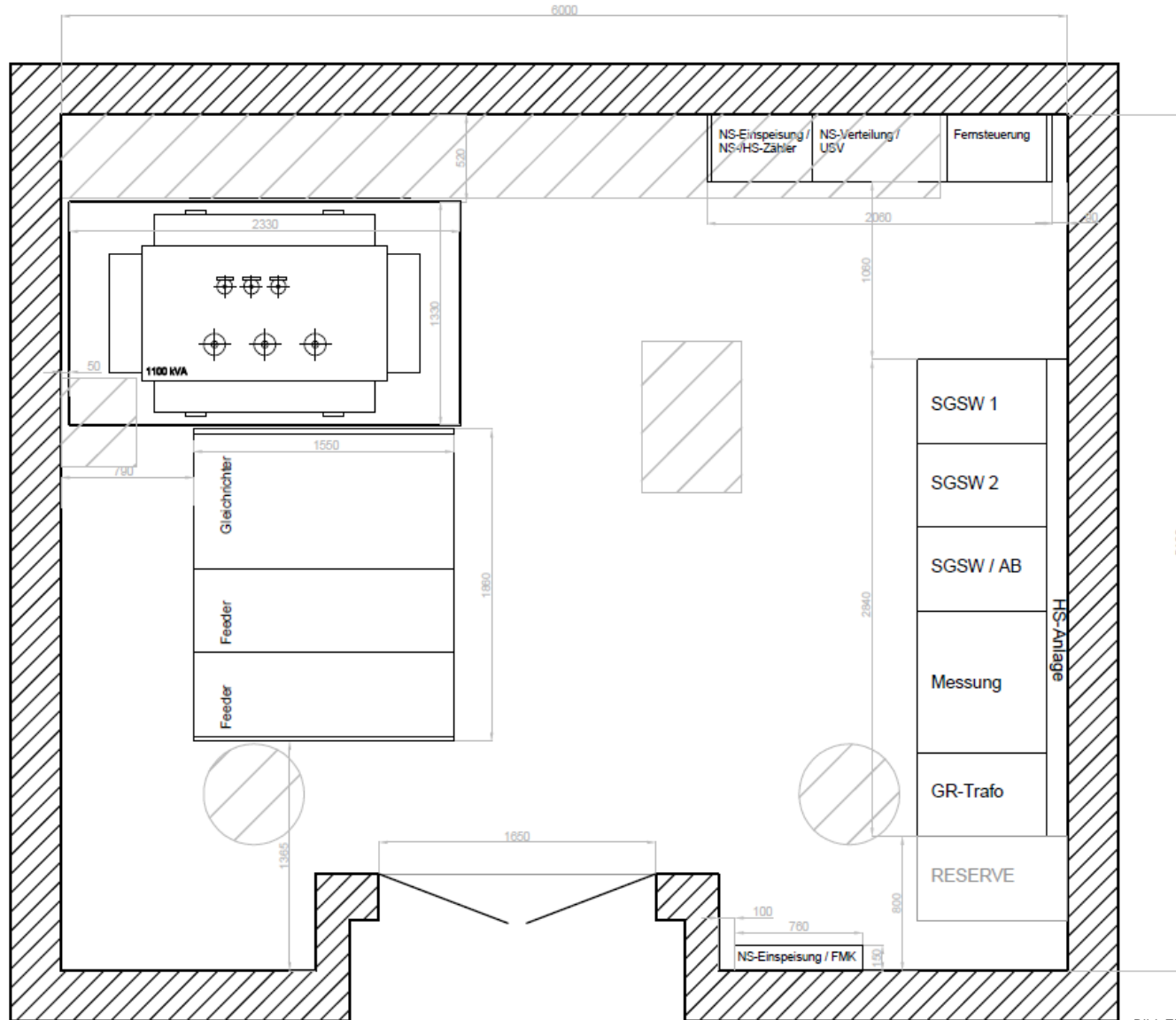
- Convertisseur en IGBT
- Convertisseur à 12 impulsions
- Raccordement direct au jeu de barres DC du poste de redressement (protection alimentation DC réalisée dans l'onduleur)

Environnement:

- Réalisation dans la salle existante

Spécifications techniques

Organisation de la salle



Appel d'offres

Appel d'offres

- Appel d'offres selon un processus ouvert
- Appel d'offres fonctionnel

Bases

- Description du système
 - Réseau à moyenne tension SGSW
 - Réseau d'approvisionnement du courant de traction
 - Véhicules
 - Résultats de l'étude énergétique
- Exigences fonctionnelles
- Conditions de l'environnement (salle)

Critères d'attribution

- Prix (40 %)
- Technique et qualité (30 %)
- Maintenance et entretien (20 %)
- Personnes-clés (10 %)

Appel d'offres

Offres

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

Solutions proposées

Différentes solutions proposées par les prestataires relativement à:

- Conservation des installations existantes
- Organisation des installations dans la salle
- Refroidissement des semi-conducteurs

Évaluation

- Une des solutions ne peut pas être réalisée dans la salle existante
> prestataire retiré de la sélection
- Donc deux offres à évaluer
- Octroi à l'offre la meilleur marché
 - Simatex AG, Wängi

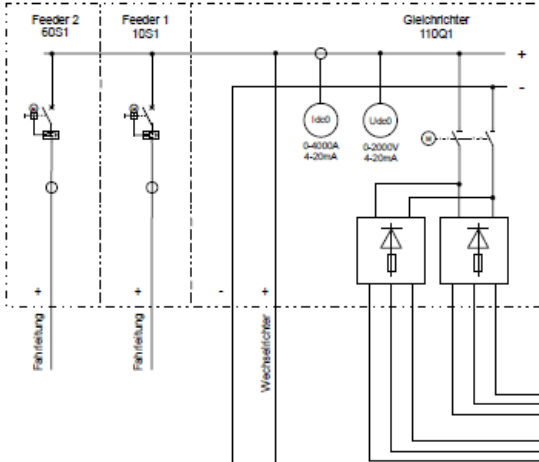
Solutions techniques

- Onduleur IGBT à 12 impulsions
- Ventilation forcée des semi-conducteurs
- Transformateur existant conservé
- Circuit DC et protection de l'alimentation WR
- Utilisation principale de composants industriels
 - Commandes, réglage
 - Saisie des valeurs de mesure
 - Éléments semi-conducteurs
- Construction compacte dans un alignement d'armoires électriques d'une profondeur de 800 mm

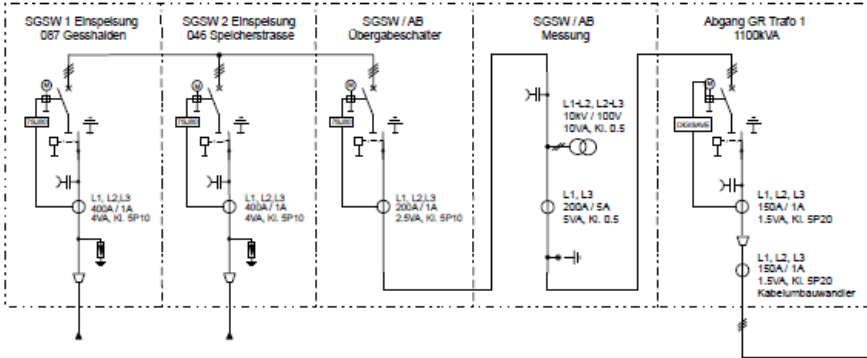
Exécution

Schéma de principe

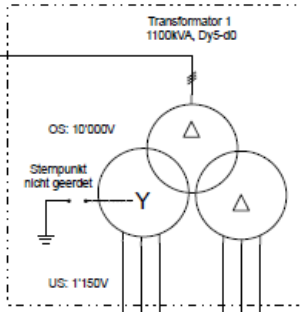
Gleichspannungsschaltanlage 1500VDC (Hersteller: ELECA, Baujahr 2012)



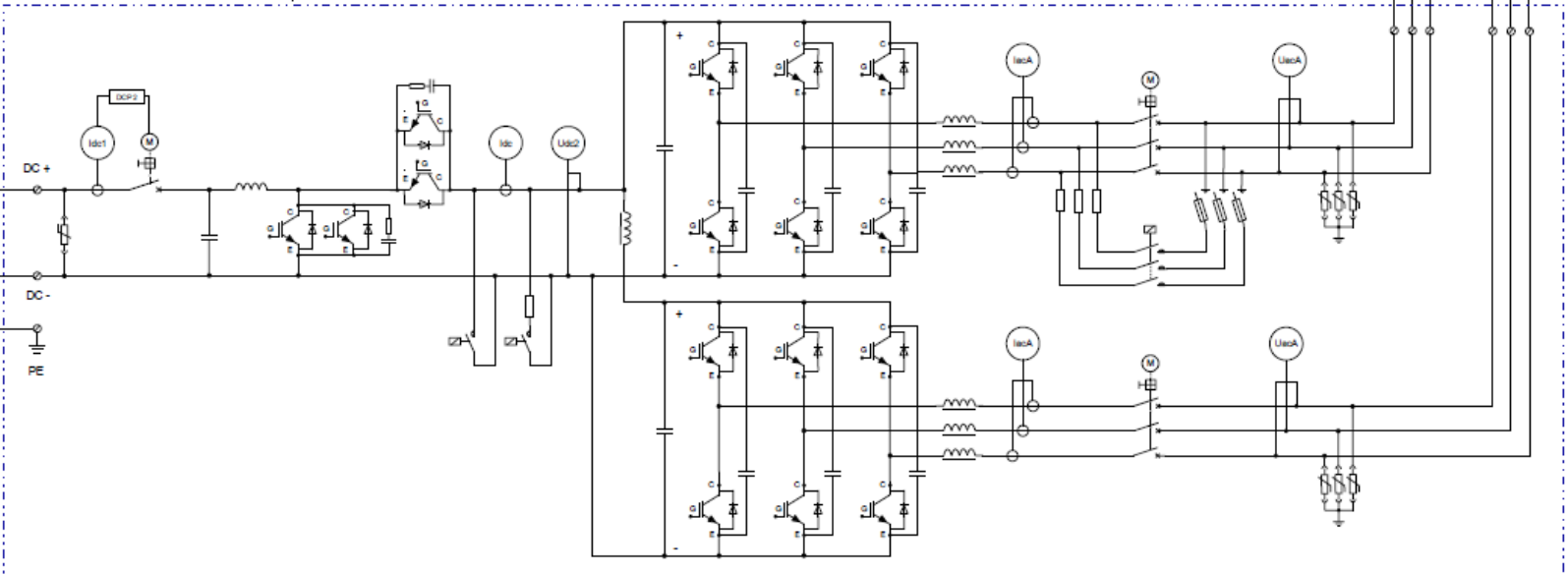
Hochspannungsschaltanlage 10kV, 50Hz (Hersteller: Siemens, Baujahr 2012)



Dreiwickler-Öltransformator (Hersteller: Südtrafa)



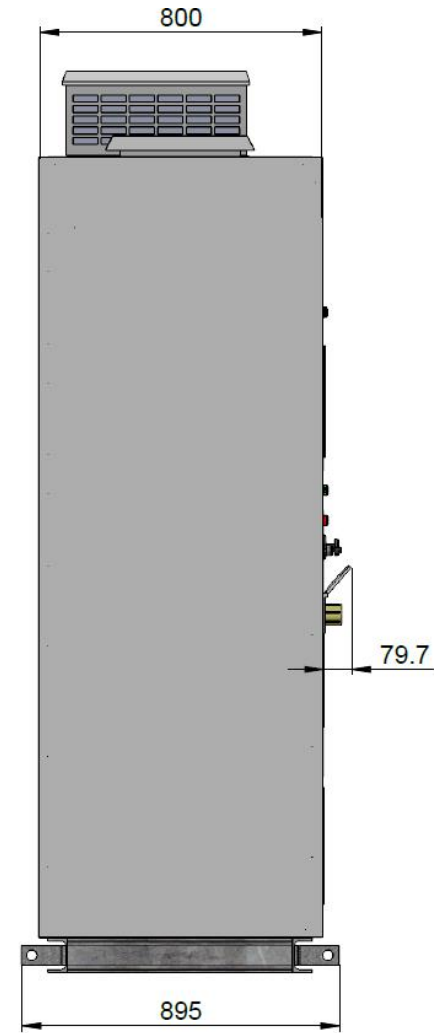
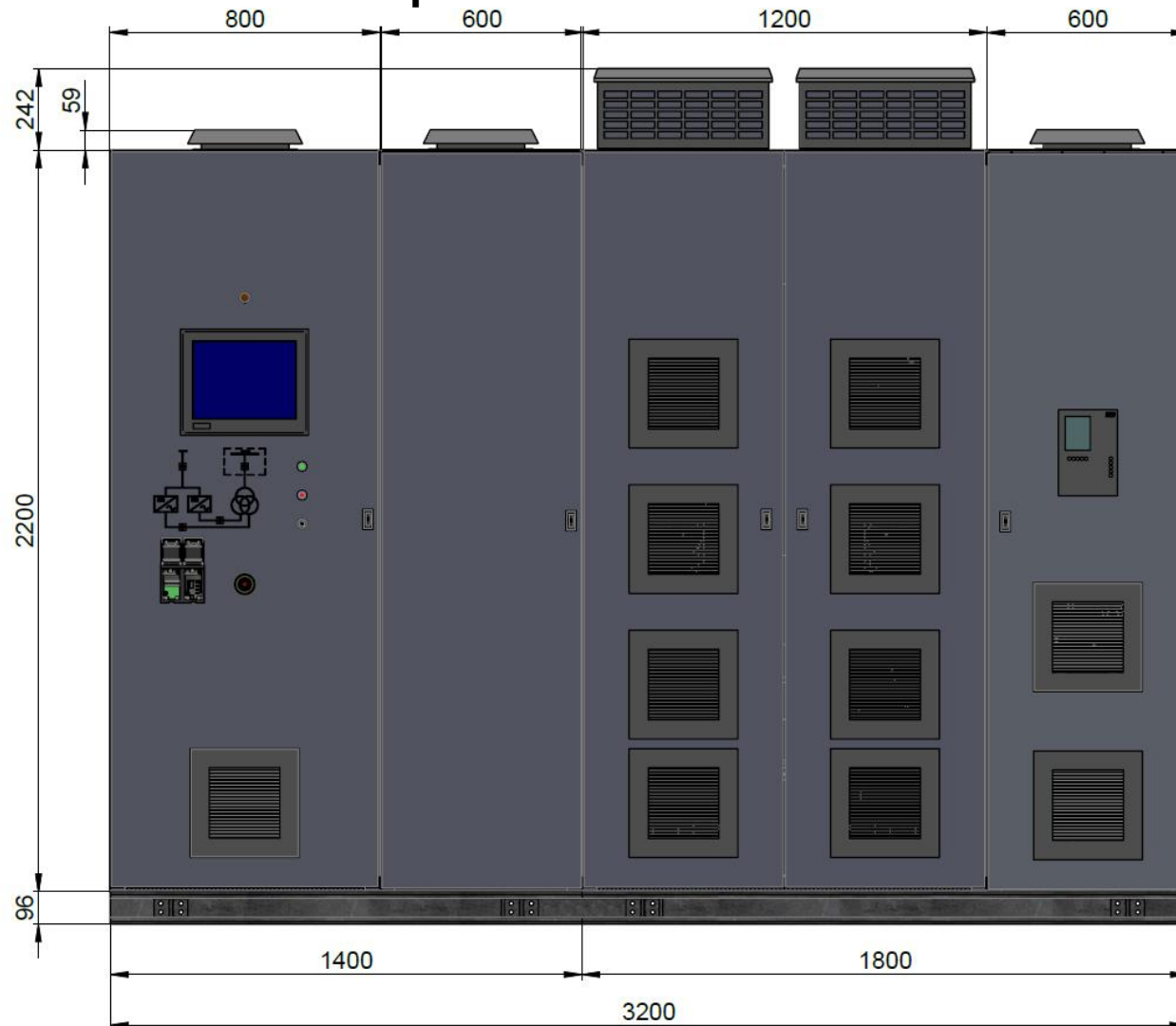
ERS Wechselrichter, IGBT, 12-pulsig, (Hersteller: Simatex AG)





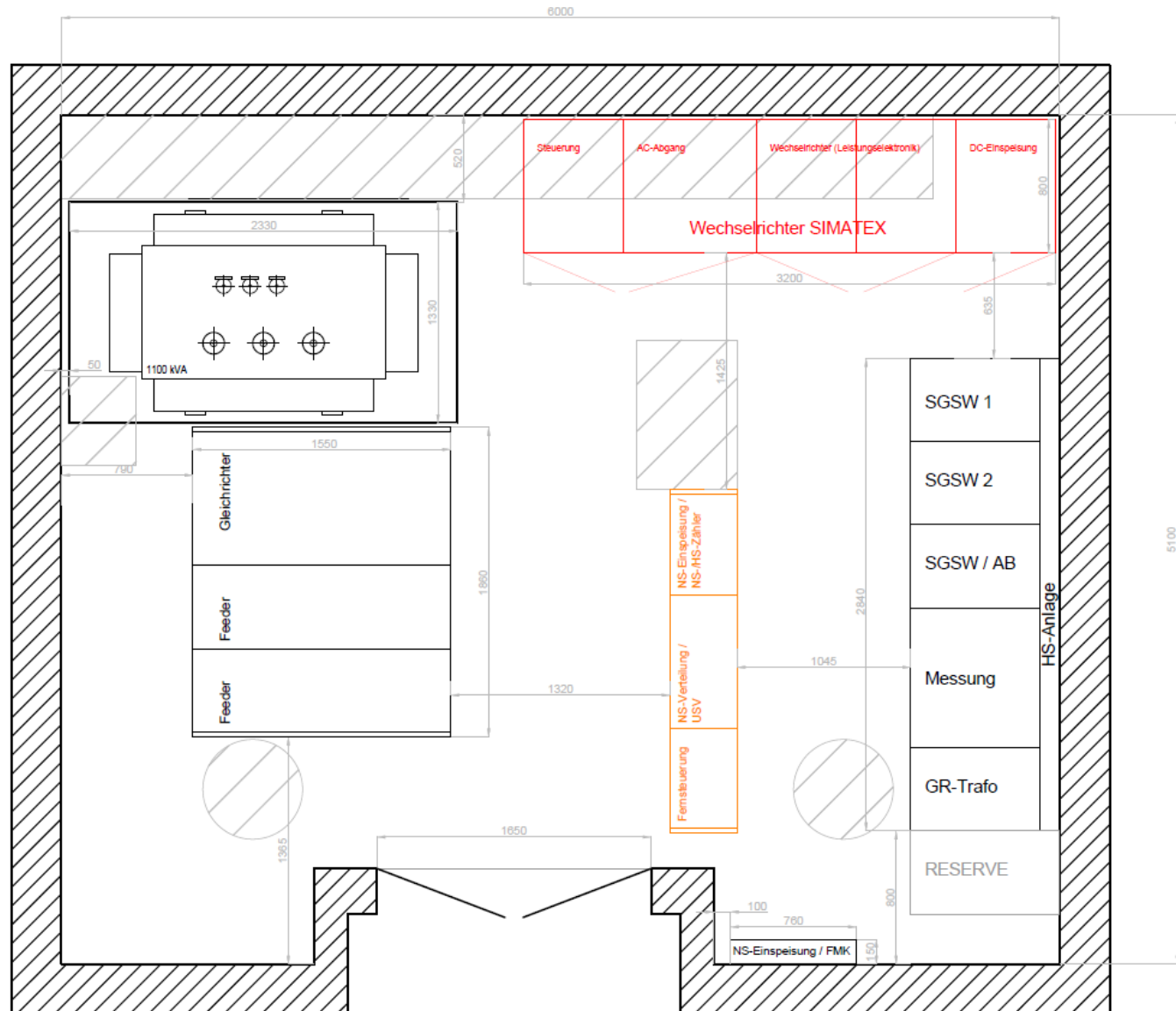
Exécution

Conception de l'onduleur



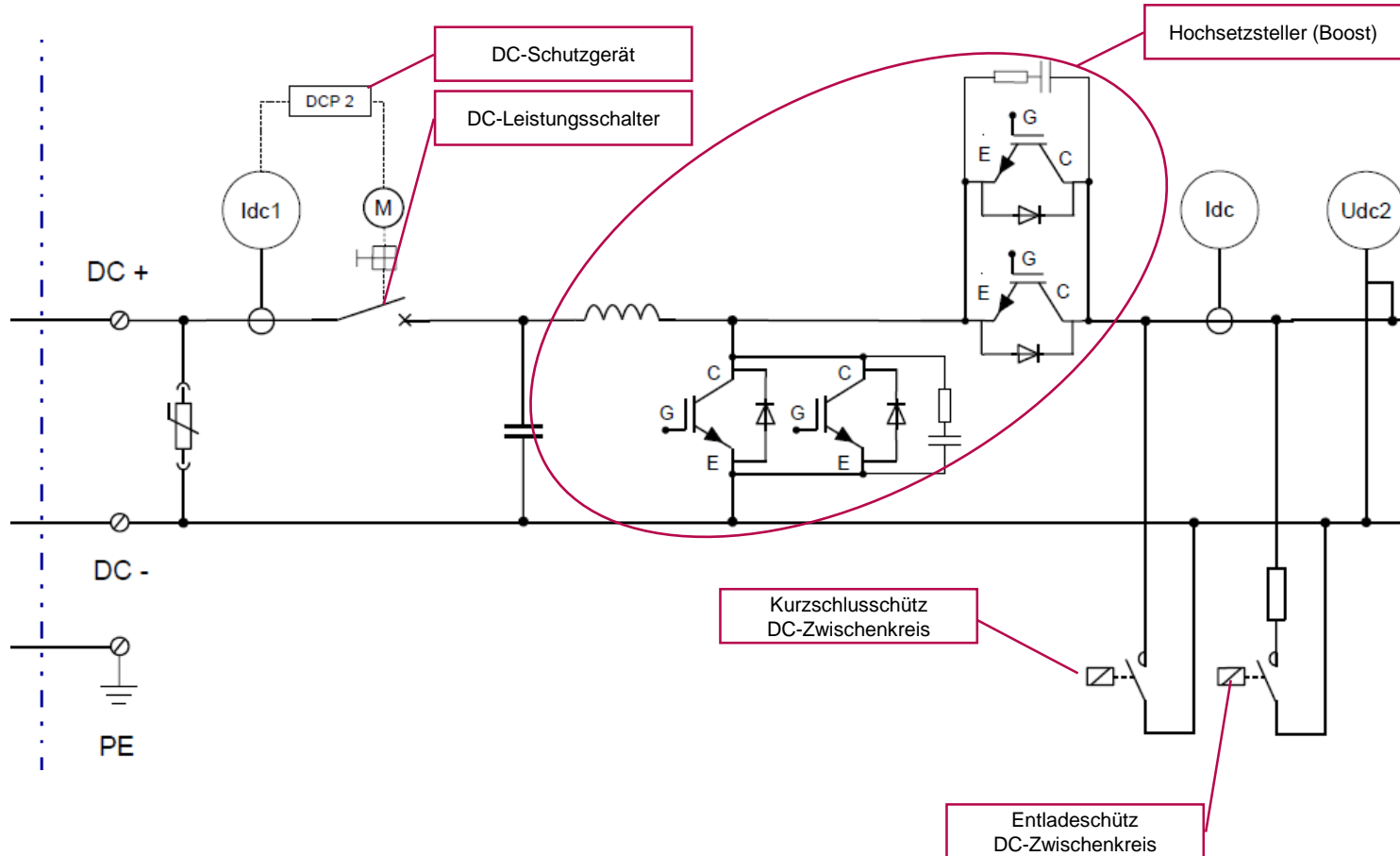
Exécution

Organisation de la salle



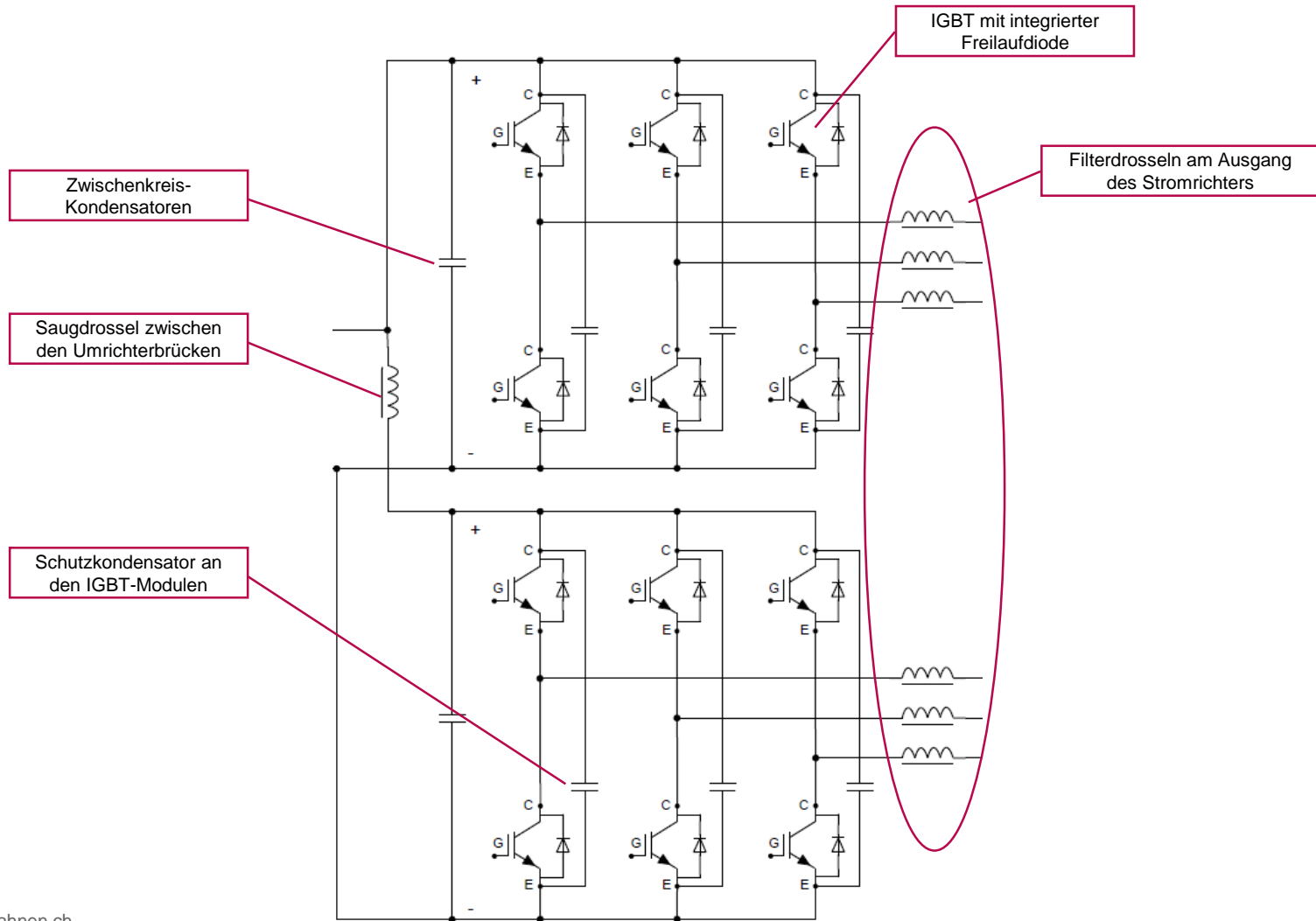
Exécution

DC-Eingangsfeld



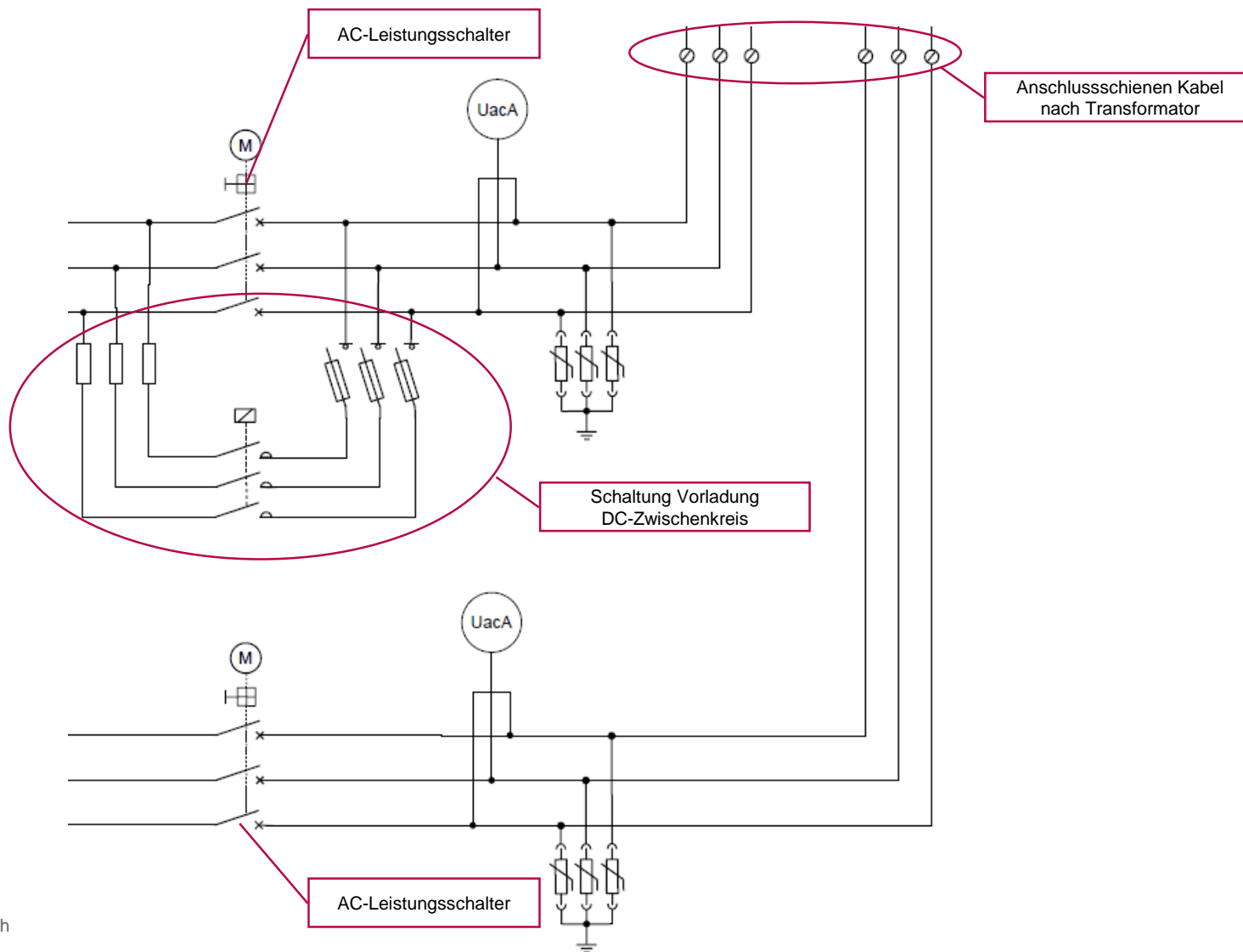
Exécution

Stromrichterfeld



Exécution

AC-Abgangsfeld

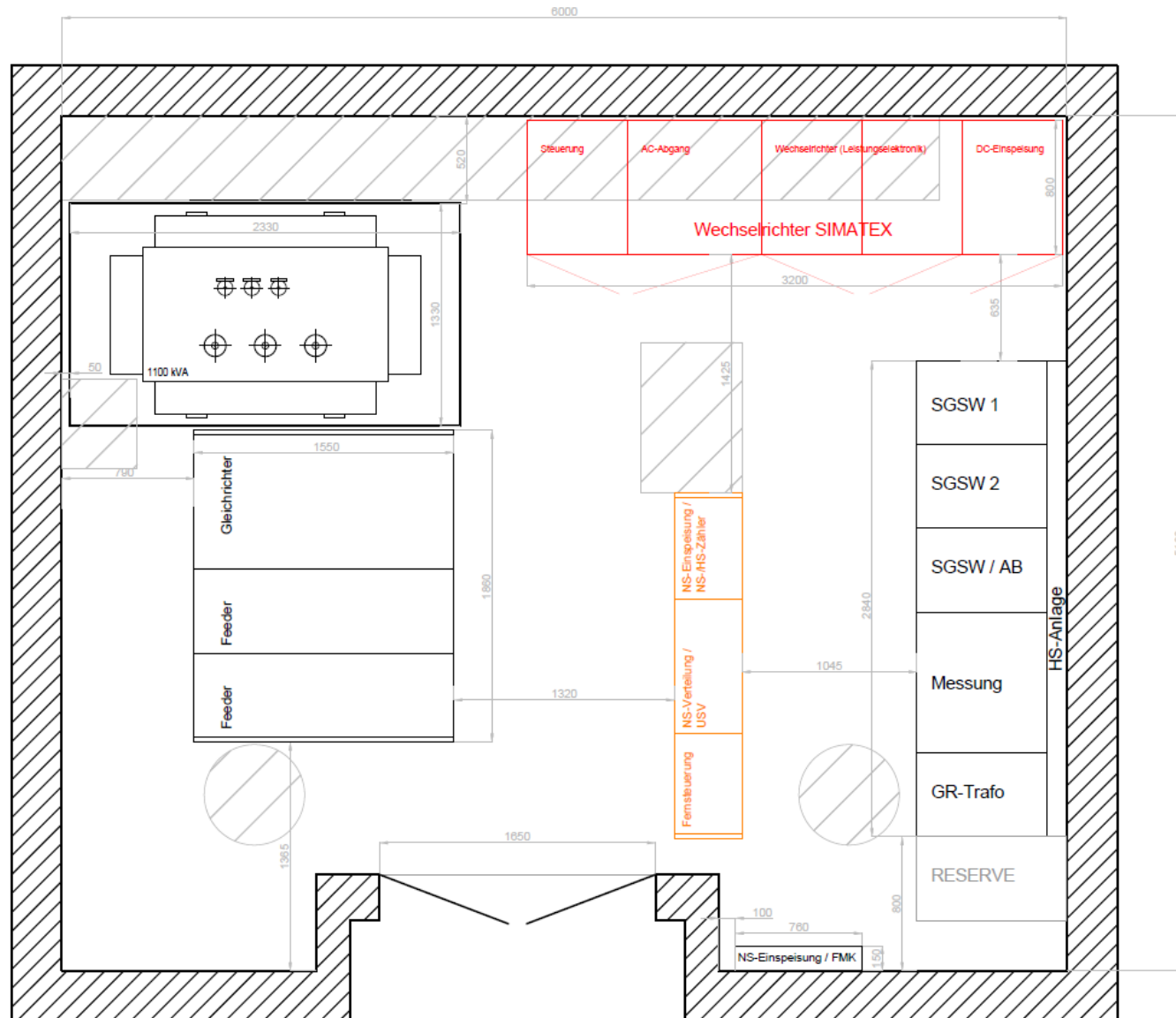


Régulation de l'onduleur

- Réalisation d'une régulation vectorielle
- Réalisation de fonctions de rampe pour augmenter la puissance
- Monitoring des perturbations du côté MS-AC et fonction permettant de réduire la puissance en cas de dépassement des valeurs-cibles

Construction

Organisation de la salle



Mesures concernant les installations existantes

- Déplacer la distribution basse tension
- Adapter les jeux de barres DC du poste de redressement
- Adapter les auxiliaires
- Adapter l'installation de télécommande

Montage de l'onduleur

- Monter l'onduleur
- Câbler l'alimentation DC
- Câbler la sortie DC
- Câbler les auxiliaires / rattacher l'installation de télécommande

Défis

- Transporter l'onduleur (certaines pièces pesaient 1100 kg)
- Place dans la salle

Étapes du montage

- Déplacer la distribution basse tension, semaines 29-30 2019 (vacances d'été, coupure du poste de redressement)
- Monter l'installation de l'onduleur, sem. 45-47 2019 (sans couper le poste de redressement)
- Raccorder l'onduleur, câblage AC et DC, sem. 49 (de nuit)
- Mise en service le 9 décembre 2019

Mise en service

Défis

- Impossible de couper les câbles AC et DC pendant les heures d'exploitation
 - Pas d'accès au cercle de puissance de l'onduleur
- Ne pas influencer l'approvisionnement en courant de traction et l'exploitation par la mise en service

Premières observations

- Le transformateur indiquait un autre symbole de couplage que celui de la plaquette signalétique (système phasé tourné de 180°)
 - corrigé via le logiciel de l'onduleur
- La régulation commence à osciller à faible puissance
 - redéfinition des algorithmes en cours
- Lors de l'exploitation parallèle du poste de redressement et de l'onduleur, des courants circulaires apparaissent à partir d'une puissance d'env. 100 kW
 - déjà repéré lors des simulations

Prochaines étapes

Éviter les courants circulaires

Définir / simuler des mesures en tenant compte:

- de la fiabilité / la disponibilité de l'installation
- du taux d'efficacité
- des perturbations

Optimiser la régulation

Optimiser la régulation relativement:

- aux oscillations à faible puissance
- aux perturbations
- aux influences mutuelles avec le matériel roulant

Test

6 mois d'exploitation test en surveillant:

- les pannes, les dérangements et les restrictions d'exploitation
- le taux d'efficacité / la part d'énergie de freinage utilisée
- les perturbations

Conclusion intermédiaire

Généralités

- L'installation fonctionne mais n'est pas prête pour l'exploitation
- Des solutions existent pour clarifier les points techniques
- La définition et l'optimisation de la régulation de l'onduleur ne sont possibles qu'en expérimentant l'exploitation du réseau

Perspectives

- Éviter les courants circulaires et optimiser la régulation
 - d'ici fin février 2020
- Exploitation test
 - mars à août 2020
- Évaluation de la phase de test, optimisations, clôture du projet
 - septembre à décembre 2020

Financement

01.05.2012 Soutien de l'étude de réseau par la ville de St-Gall à hauteur de 20 000 francs

19.01.2015 Manifestation d'intérêt SETP 2050

10.04.2017 Signature du contrat ESV 2050; contribution de 300 000 francs
36,8 % de 815 000 francs

Coûts d'investissement	
Étude de réseau, y c. clarifications préliminaires	CHF 65 000
Onduleur: Simatex (y c. ingénierie)	CHF 400 000
Projet: Eltrend (y c. appel d'offres)	CHF 50 000
Montage/adaptation des inst. existantes: RhV	CHF 35 000
Test, optimisation, documentation	CHF 110 000
Total:	CHF 660 000

Des questions?





Réserve