

UW Wassen / Freiluftschaltanlage

Projekt	UW Wassen
Phase	Variantenstudie
Projekt-Nr.	4552
Km	
Bauherrschaft	SBB AG
Kanton(e)	Uri
Gemeinde(n)	Gurtellen
Version / Erst. Datum	1.1 / 19.07.19



Variantenstudie

Auftraggeber	I-EN-PJN-GPE-BUT	Kurt Wermelinger	Datum/Unterschrift.	_____
Projektleiter	AF Consult	Martin Haller	Datum/Unterschrift.	_____
Berichtverfasser	AF Consult	Steffen Gauder	Datum/Unterschrift.	_____

Impressum

	Name / Vorname	Organisation
Auftraggeber	Wermelinger Kurt	SBB AG
Verfasser	Haller Martin	AF Consult Switzerland AG
Mitverfasser	x	x
Erweitertes Projektteam	x	x
Verteiler	Auftraggeber	SBB
	Mitverfasser	AF Consult Switzerland AG

Revisionen

Version	Datum	Autor	Bemerkungen
0.1	23.05.19	GAS	Entwurf
0.2	18.06.19	HAL	Entwurf überarbeitet
1.0	02.07.19	HAL	Definition Ausfallzeit
1.1	19.07.19	HAL	Einarbeitung Kommentare SBB

Inhaltsverzeichnis

1.	Management Summary	4
2.	Projektübersicht	6
2.1.	Situation	8
3.	Aufgabenstellung und Zielsetzung	9
3.1.	Abgrenzungen und Annahmen	11
4.	Variantenstudie	12
4.1.	Variante 0: Erweiterung der bestehenden Anlage mit einem Feld	12
4.2.	Variante 1: Erweiterung der bestehenden Anlage mit einem Feld nach SBB-Standard	16
4.3.	Variante 2: Umsetzung SBB-Standard	18
5.	Umwelt	26
6.	Kosten	27
7.	Variantenvergleich	28
8.	Empfehlung	29
9.	Ausblick	30
	Abkürzungen	32
	Anhang	33

1. Management Summary

SBB Energie plant die heutige 50Hz-Maschinengruppe, MG1 des Kraftwerks Wassen bis ins Frühjahr 2024 mit einer Bahnstrommaschinengruppe zu ersetzen. Mit dem Umbau der MG1 ist das SBB Unterwerk Wassen für die Anbindung der neuen Maschinengruppe zu erweitern. Für die Erweiterung des UW Wassen hat SBB Energie eine Variantenstudie in Auftrag gegeben. Dabei wurden folgende Umbauvarianten geprüft:

- Erweiterung der bestehenden FSA mit einem zusätzlichen Feld (Basisvariante)
- Umsetzung des UW-Standards (EN-36-910) der SBB mit einer Einfachsammeleisenbahn und mit einem zusätzlichen Anschlussfeld
- Ausbau der Schaltanlage gemäss dem UW-Standard der SBB (EN-36-910) mit Doppelsammeleisenbahn und zusätzlichem Anschlussfeld

Für die einzelnen Umbauvarianten wurden die möglichen Technologien AIS-Komponenten, Hybrid-Module, sowie GIL- und GIS-Anlagen, wo sinnvoll, miteinander verglichen (Untervarianten).

Bei der Kostenzusammenstellung wurde bei den Varianten, welche einen Totalumbau der Schaltanlage erfordern, auch alle Primärkomponenten erneuert. Die Erneuerung der Sekundärtechnik für alle Felder wurde bei allen Umbauvarianten eingerechnet.

Die Hauptkriterien für die Beurteilung der Varianten sind:

- kurze Ausfallzeit der Produktion und somit möglichst kurze Umbaudauer
- Sicherstellung der Energieableitung
- Wirtschaftlichkeit resp. SBB Standards

Beim Variantenvergleich mit entsprechender Gewichtung einer möglichst kurzen Ausfallzeit der Produktion, geringen Ausschaltzeiten der Leitungen und risikofreien Umbau erreicht die Variante «Erweiterung des bestehenden Anlagenlayouts mit einem abgesetzten Feld» die beste Bewertung (Anhang 2). Diese Variante weist ebenfalls sehr tiefe Umbaukosten aus, erfüllt aber den SBB-Standard für die Anbindung von Produktionseinheiten nicht. Betrachtet man das Alter der Primärkomponenten, dann steht bei dieser Variante in den nächsten 15–20 Jahren die Erneuerung der restlichen Anlage an.

Bei einer kompletten Erneuerung der Anlage unter Berücksichtigung der SBB-Standards liegen die Varianten «Einfach-SS AIS», die «Doppel-SS AIS» und die «abgesetzte GIS-Anlage» gleich auf (Tabelle 2). Wird der Einsatz von SF6-Gas dabei nur minimal gewichtet und die Ausfallzeit der Energieableitung hoch gewichtet, so liegt die abgesetzte GIS-Anlage vorn. Bei einer entsprechenden Handhabung ist das Risiko eines SF6-Gasverlustes gering. Ebenfalls versuchen die Hersteller, das SF6 durch andere «Isoliermittel» zu ersetzen. Wobei solche Entwicklungen vor allem für Equipment im 50-Hz-Bereich stattfinden.

Für die Variante «Erweiterung mit abgesetzten Feld» ist mit Kosten von 1925 kCHF und für die Variante «abgesetzte GIS-Anlage» von 5750 kCHF zu rechnen.

Die Ausfallzeit der FSA liegt bei der Variante «abgesetzte GIS» bei 2,5 Monaten und bei der Variante «abgesetztes Feld AIS» bei 5 Monaten (Umbau Sekundärtechnik). Während dieser Zeit kann keine Energie über die 132 kV Leitungen abtransportiert werden.

2. Projektübersicht

Die Anlage UW Wassen liegt auf einem Plateau neben der Reuss und ist über eine Strasse mit Zufahrt ab dem Kraftwerkareal erreichbar.



Abbildung 01: Luftaufnahme des Unterwerks aus Karten von Swisstopo

Die Freiluftschaltanlage (FSA) umfasst ein 132-kV-Schaltanlage der SBB AG und eine 50-kV-Schaltanlage der CKW. Durch den Wegfall des CKW-Generators wird das 50-kV-Generatorfeld zurückgebaut. Dieser Umbau findet vor dem Umbau der 132-kV-FSA der SBB AG statt.

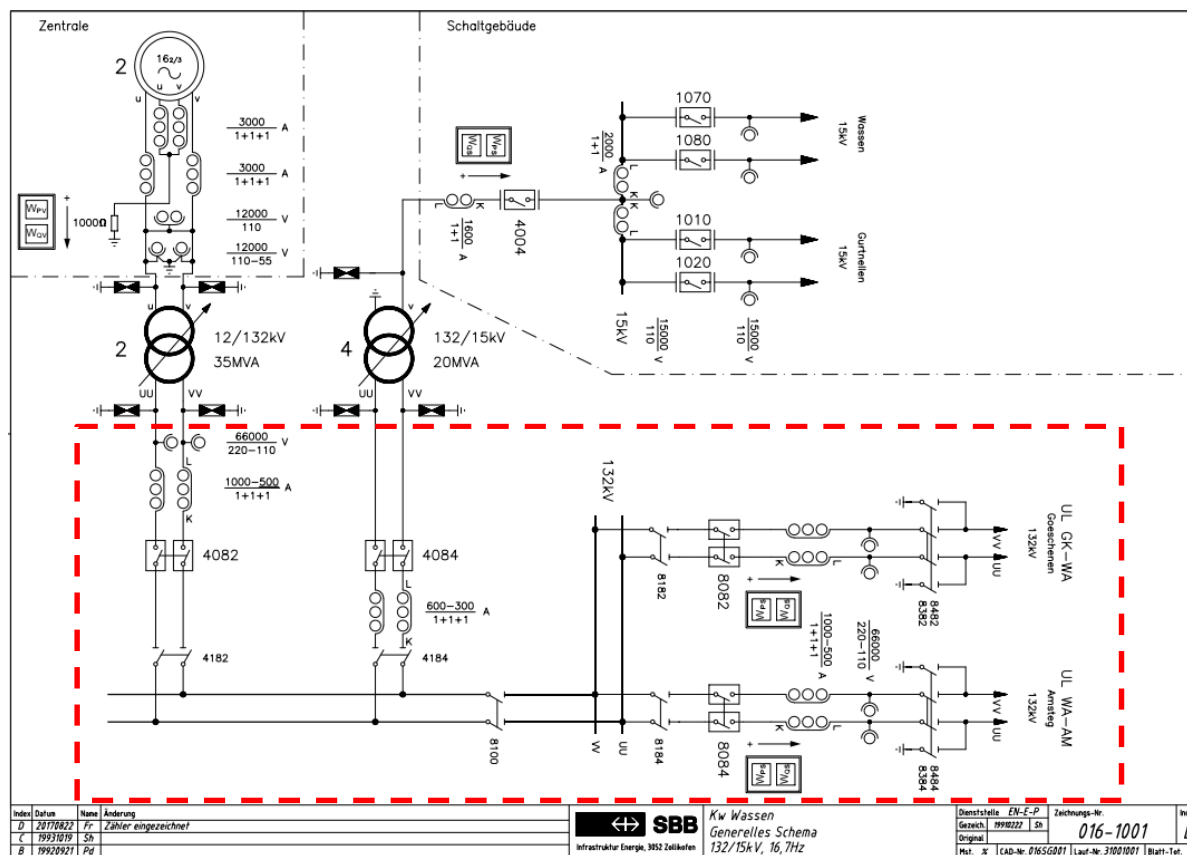


Abbildung 02: Generelles Schema Freiluftschaltanlage mit KW Wassen

Die Studie umfasst nur den UW-Teil (rot markiert).

2.1. Situation

Die Anlage UW Wassen besteht aus der 132-kV-FSA (rot umrandet). Darin enthalten sind die 50-kV-Felder der EWA (in oranger Farbe), welche nach dem Umbau weiter betrieben werden. Das bestehende 50-kV-Genofeld (violette Farbe) wird nicht mehr weiter benötigt und wird vor dem Umbau der 132-kV-FSA zurückgebaut.

Mit grüner Farbe wurden die Reserveflächen markiert, welche bei einer Umbaulösung in Anspruch genommen werden können.

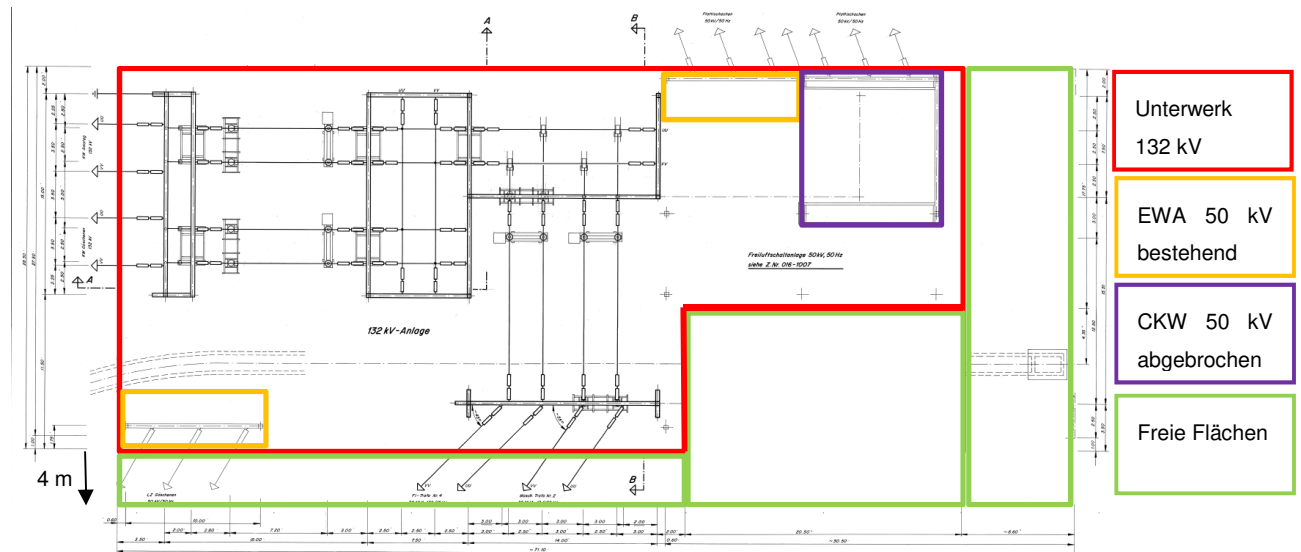


Abbildung 03: KW WASEN Freiluftschaltanlage 132 kV Grundriss 20.03.1992

Abmessungen:

Gesamte verfügbare Fläche (alle Farben): 32,5 (28.5 + 4) m x 71,1 m

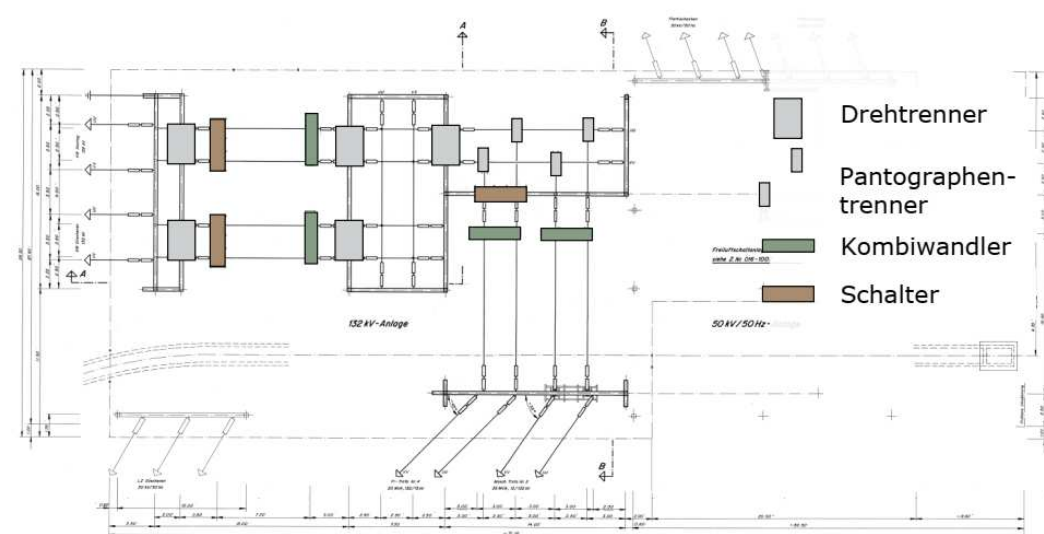


Abbildung 04: Komponentenübersicht der bestehenden FSA

3. Aufgabenstellung und Zielsetzung

SBB Energie plant, die heutige 50-Hz-Maschinengruppe, MG1 des Kraftwerks Wassen bis ins Frühjahr 2024 mit einer Bahnstrommaschinengruppe zu ersetzen.

Mit dem Umbau der MG1 ist das SBB-Unterwerk Wassen für die Anbindung der neuen Maschinen-
gruppe zu erweitern. Der Rückbau der heutigen 50-Hz-Schaltanlage und die Anbindung an das CKW-
Netz schaffen Platz für die notwendige Erweiterung.

Im Rahmen der Studie sind für die UW-Erweiterung die folgenden Varianten zu untersuchen:

Variante 0: Erweiterung der bestehenden FSA mit einem zusätzlichen Feld

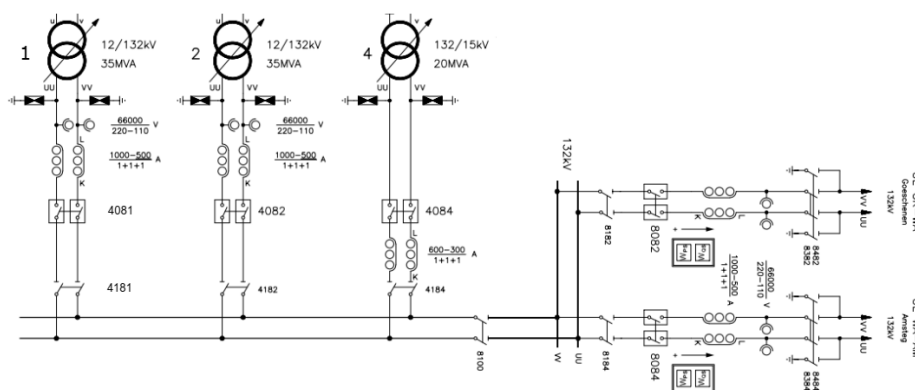


Abbildung 05: Einpolschema für UW Wassen der Varianten 0

Variante 1: Umsetzung des UW-Standards (EN-36-910) der SBB mit einer Einfachsammeleischiene und mit einem zusätzlichen Anschlussfeld

A.4 bB-Werk mit H5-Schaltung (132kV) ohne Redundanz auf 15kV-Seite

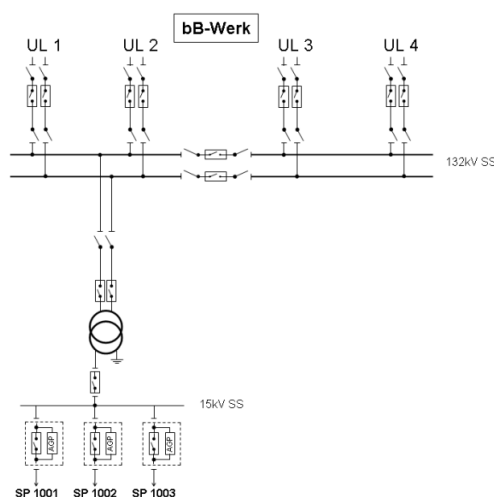


Abbildung 4: bB-Werk mit H5-Schaltung (132kV) ohne Redundanz auf 15kV-Seite

Abbildung 06: Generelles Schema für die Variante 1

Variante 2: Ausbau der Schaltanlage gemäss dem UW-Standard der SBB (EN-36-910) mit Doppelsammelschiene und zusätzlichem Anschlussfeld

A.2 aB-Werk mit 132kV-Doppel-SS, keine Redundanz auf 15kV-Seite

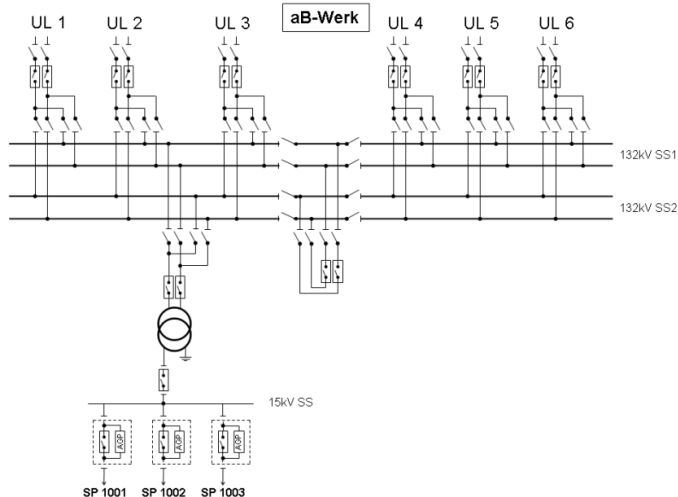


Abbildung 2: aB-Werk mit 132kV-Doppel-SS, keine Redundanz auf 15kV-Seite

Abbildung 07: Generelles Schema für die Variante 2

Das Variantenstudium soll als Grundlage für den definitiven Variantenentscheid dienen. Am Standort UW Wassen sind folgende Arbeiten für die Primärtechnik vorgesehen:

- Studium der vorhandenen Unterlagen und Begehungen der Örtlichkeiten
- Erarbeitung und Darstellung (Skizze) eines generellen Schemas für jede Variante
- Anpassung des bestehenden Layout-Plans (Skizzierung der Erweiterungen resp. Rückbauten)
- Prüfung der Machbarkeit jeder Variante respektive Untervariante und den weiteren erforderlichen Anpassungen am bestehenden Unterwerk unter Berücksichtigung der Sicherheitsabstände und der vorhandenen Kabelkanäle. Dabei werden nur die primärtechnischen Anpassungen berücksichtigt (Anordnung). Die Sekundärtechnik und der Eigenbedarf werden nicht betrachtet. Sollte keine der erwähnten Varianten realisierbar sein, werden Untervarianten im Rahmen der Kategorien im Vorgabedokument EN-36-910 betrachtet.
- Kostenschätzung für jede Variante respektive Untervariante mit Schätzgenauigkeit von $\pm 20\%$, inkl. Kosten für den Rückbau der 50-Hz-Schaltanlage (ohne Entsorgung und Abklärungen allfälliger Schadstoffbelastungen)
- Angaben zum Bauablauf und zur Bauzeit für jede Variante respektive Untervariante. Der Zeitablauf wird ab abgeschlossenem Rückbau der 50-Hz-Anlage betrachtet.
- Variantenvergleich mit Vor- und Nachteilen jeder Variante respektive Untervariante
- Chancen und Risiken jeder Variante respektive Untervariante
- Empfehlung für die Variantenwahl mit Begründung
- Dokumentation des Variantenstudiums in einen Kurzbericht

3.1. Abgrenzungen und Annahmen

- Die Planung, Ausschreibung und Implementation der Sekundärtechnik, des Eigenbedarfs, wie auch der Leitungsführung sind nicht Teil des angefragten Leistungsumfanges von AFC.
- Der Rückbau des 50-kV-Schaltfelds der CKW wird in der Analyse nicht berücksichtigt.
- Grundstück und Umzäunung:
Es wird davon ausgegangen, dass das gesamte Grundstück und die angrenzenden freien Flächen gemäss Abbildung 3 im Besitz der SBB AG sind.
In Bezug auf die Umzäunung wird davon ausgegangen, dass die bestehende Umzäunung beibehalten wird, sofern die Anlage innerhalb der UW-Fläche Platz hat. Es werden lediglich Erweiterungen je nach Bedarf durch neue Anlagenteile vorgesehen.
- Gewässerschutz:
Mindestabstände für Bauten in Flussnähe (Bau GIS-Gebäude auf freiem Platz) ist grundsätzlich 6 m.
- Auslegung der Hochgerüste:
Es wird davon ausgegangen, dass die Gerüste und Fundamente auf 80 Jahre ausgelegt sind und entsprechend unterhalten wurden (Anstriche, Korrosionsschutz). Es wird empfohlen, Berechnungen zu Verstärkungen oder Erweiterungen von Gerüsten im Bauprojekt durchzuführen.
- Eigenbedarf:
Es wird bei den AIS- und Hybrid/GIL-Varianten davon ausgegangen, dass die bestehenden Anlagen entsprechend Kapazität haben und erweiterbar sind. Bei den Varianten zu GIS-Anlagen wurde eine eigene EB-Anlage mit Versorgung aus dem KW eingerechnet.
- Ausfallzeit:
Während dieser Zeit kann keine Energie über die 132 kV Leitungen abtransportiert werden.
- Provisorien:
Für den Umbau werden keine Provisorien vorgesehen resp. eingerechnet. Die Ausfallzeit könnte u.U. mittels Provisorien resp. einem Abgleich mit dem Kraftwerksprojekt minimiert werden. Eine Optimierung der Ausfallzeit der verschiedenen Varianten müsste in einem Vorprojekt untersucht werden.
- Generell ist die Anlage um die 30 Jahre alt und wird bis zum Umbau das Alter von etwa 35 Jahren aufweisen. Bei der Lebensdauer von Primärkomponenten wird generell von 40 Jahren ausgegangen. Daraus folgt, dass bei jeder betrachteten Variante die primärtechnischen Komponenten ersetzt werden. Diese Annahme basiert nur auf dem Alter der Komponenten. Es wurde keine Zustandsanalyse durchgeführt.
- Da die Leittechnik generell alle 15–20 Jahre ersetzt wird, wird auch hier bei allen Varianten von einer Gesamterneuerung der Leittechnik ausgegangen. Beim Ersatz der Leittechnik und der Eigenbedarfsversorgung können auch Synergien mit dem MG-Umbauprojekt ausgenutzt werden.
- Da Anpassungen an den Leitungen Amsteg und Göschenen neue Bewilligungsverfahren nachziehen würde, werden an die Einführung dieser Leitungen und das bestehenden Portal belassen.
- Ein Ersatz der Aussenbeleuchtung wird in dieser Studie nicht betrachtet.
- Bei den AIS-Varianten wird davon ausgegangen, dass der heutige Stand beibehalten wird und keine Relais Häuser neu erstellt werden.

4. Variantenstudie

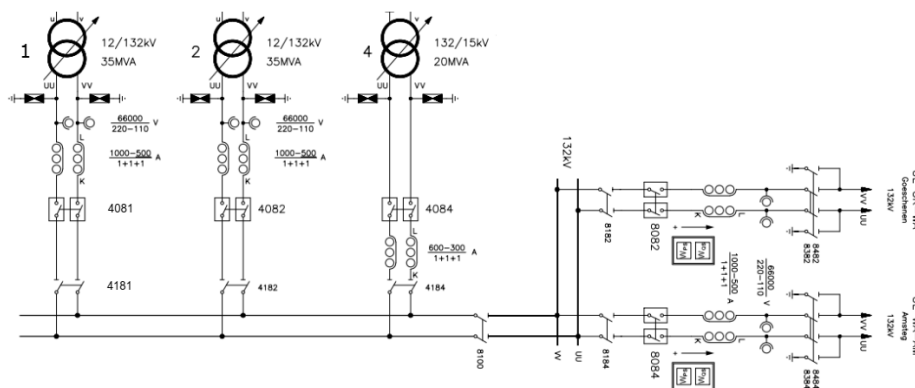
Zu berücksichtigende Daten bei der Auslegung der Schaltanlage/Varianten sind:

- Lage der Schaltanlage: 820 m ü. M. (gemäss Swisstopo)
- Gemäss den Dokumenten EN Minimalabstände und SBB-EN 20-001 gelten folgende Mindestabstände:
 - Nennspannung/max. Betriebsspannung 132 kV / 148 kV
 - Blitzstosshaltespannung 750 kV
 - Phase – Erde (ohne/mit Wind +75%) mind. 1210 mm / 2118 mm
 - Phase – Phase (ohne/mit Wind +75%) mind. 2500 mm / 4375 mm
 - Boden – spannungsführende Teile mind. 3570 mm
 - Boden – unterer Isolatorfuss mind. 2250 mm
 - Abschränkung – spannungsführende Teile horizontal mind. 2920 mm
 - Abschränkung – spannungsführende Teile vertikal 6000 mm
 - Umzäunungshöhe: 250 cm (200 cm + 50 cm Übersteigenschutz 45°-Winkel)

4.1. Variante 0: Erweiterung der bestehenden Anlage mit einem Feld

Die einfachste Erweiterung ist der zusätzliche Anbau eines Feldes für den neuen Anschluss an den Generator 1.

Die Abbildung 08 zeigt das generelle Schema mit dem zusätzlichen Generatorfeld (Geno 1) als Erweiterung der bestehenden Anlage.



Die geplante Erweiterung ist in der Abbildung 09 dargestellt (rot markierter Bereich). Diese Variante benötigt:

- die Erweiterung der bestehenden Gerüste
- eine zusätzliche Verseilung zum Kraftwerk
- die Grundausrüstung von einem FSA-Feld

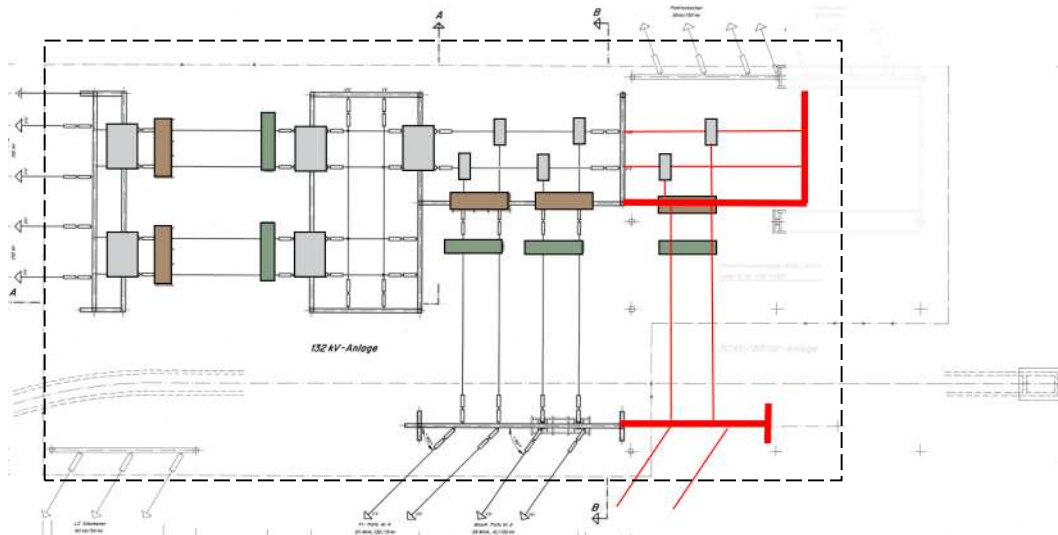


Abbildung 09: Variante 0 mit Felderweiterung an bestehender Anlage

Eine mögliche Etappierung des Umbaus ist nachfolgend aufgezeigt.

Terminplanung:

Ausgangslage ist, dass das 50-kV-Feld demontiert und rückgebaut ist.

Etappe 1:

Schritt 1 (1 Mt.)	Montage Gerüste und Fundamente (Trafofelder ausser Betrieb → Erneuerung)
Schritt 2 (1 Mt.) (Parallel)	Erneuerung der Trafofelder
Schritt 3 (0,5 Mt.)	Montage der Primärkomponenten und parallel Verseilung zum KW (Trafofelder ausser Betrieb → Erneuerung)
Schritt 4 (1,5 Mt.)	Sekundärverkabelung und Erneuerung der Leittechnik
Schritt 5 (1.5 Mt.) (Parallel)	Integration der Trafofelder in die Leittechnik
Schritt 6 (0.5)	IBS der Trafofelder

Etappe 2: (2,5 Mt.)	Schrittweise Erneuerung der Leitungsfelder und Integration in die Leittechnik (Gesamtanlage ausser Betrieb)
-------------------------------	--

Gesamtumbauzeit: 6 Monate (Mt.)

Keine Produktionsableitung über 6 Monate, sofern die Gesamtanlage in einem Zug erneuert wird.

Diese 6 Monate umfassen den 1:1 Ersatz aller Primärgeräte und die Anbindung und Montage einer neuen Sekundärtechnik. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Gerüste und die Kabelschutzrohre weiterverwendet werden können.

Der Ersatz der Primärkomponenten der bestehenden Trafofelder kann parallel zum Bau des neuen Feldes erfolgen.

Vorteile:

Die Vorteile sind der geringe Änderungsbedarf und die Weiterverwendung der bestehenden Gerüste und Fundamente. Die Freileitungen könnten während den ersten 3.5 Monaten in Betrieb bleiben. Die AIS-Bauweise ermöglicht bei Havarien direkter Ersatz.

Nachteile:

Das UW-Anlagenkonzept der SBB wird nicht umgesetzt, da die Leitungsfelder auf einer Seite der Längstrennung und die Geno-/Trafofelder auf der anderen Seite angeordnet sind. Möglich ist ein Konflikt mit der 50-kV-Leitung der EWA. Während der Erweiterung der Anlage müssen die EWA-Leitung und die beiden Kraftwerksanschlüsse ausser Betrieb sein. Der Betrieb der Freileitungen muss mit entsprechenden Abschränkungen und Sicherheitsbegleitungen überwacht werden. Im Weiteren liegen die drei Genofelder nahe beieinander, was für den späteren Unterhalt zum Teil gleichzeitige Ausschaltungen erfordert.

Das Projekt wurde ursprünglich mit dieser Variante «genehmigt». Sie gilt in dieser Studie als Referenz.

Sollte die bestehende Anlage während des Umbaus möglichst lange im Betrieb bleiben, kann eine Erweiterung gemäss Abbildung 10 realisiert werden. Diese Variante wird im Folgenden als Untervariante 0.1 geführt.

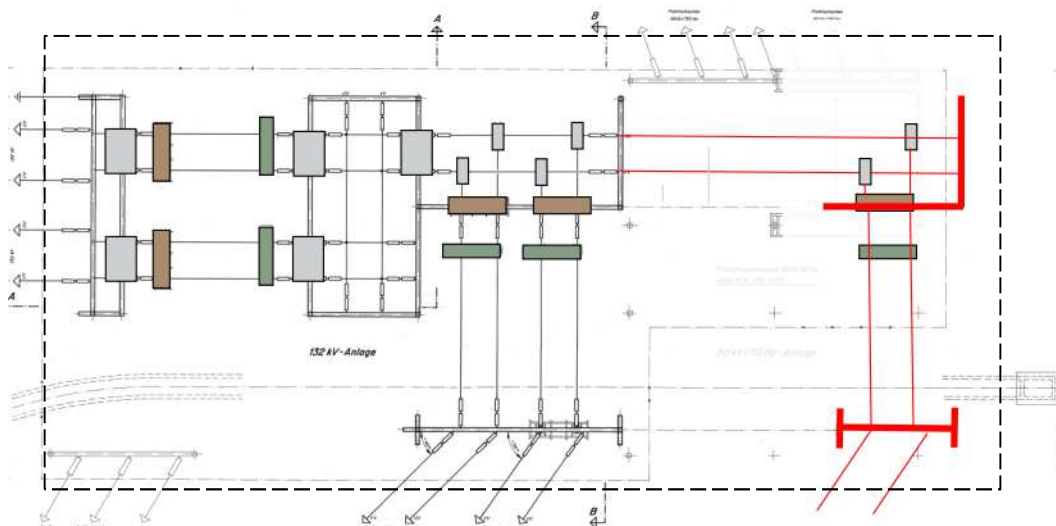


Abbildung 10: Untervariante 0.1 Felderweiterung mit abgesetztem Zusatzfeld

Terminplanung:

Ausgangslage ist, dass das 50-kV-Feld demontiert und rückgebaut ist.

Etappe 1:

- Schritt 1 (1 Mt.) Montage Gerüste und Fundamente (Gesamtanlage im Betrieb)
- Schritt 2 (0,5 Mt.) Montage der Primärkomponenten und Verseilung zum KW
- Schritt 3 (1,5 Mt.) Sekundärverkabelung und Erneuerung der Leittechnik
- Schritt 4 (0,5 Mt.) Verseilung mit der bestehenden Anlage (Trafofelder ausser Betrieb)

Etappe 2:

- Schritt 1 (2,5 Mt.) Trafofelder ausser Betrieb für Erneuerung und Integration in die Leittechnik

Etappe 3:

- Schritt 1 (2,5 Mt.) Leitungsfelder ausser Betrieb für Erneuerung und Integration in die LT

Gesamtumbauzeit: 8,5 Monate (Mt.)

Keine Produktionsableitung über 5 Monate, sofern die Gesamtanlage erneuert wird.

Vorteile:

Die Vorteile sind der geringe Änderungsbedarf und die Weiterverwendung der bestehenden Gerüste und Fundamente. Während des Aufbaus der neuen Anlage können die bestehenden Anlageteile in Betrieb bleiben. Erst bei der Verseilung des neuen Feldes mit der bestehenden Anlage müssten die Kraftwerksfelder ausgeschaltet werden. Durch den Abstand zur EWA-Leitung werden Konflikte vermieden und Revisionen an den beiden Anlagen können besser abgestimmt werden. Die AIS-Bauweise ermöglicht bei Havarien direkter Ersatz und der Abstand der beiden Genofelder ermöglicht unabhängige Wartungen an den Feldern.

Nachteile:

Das UW-Anlagenkonzept der SBB wird nicht umgesetzt.

4.2. Variante 1: Erweiterung der bestehenden Anlage mit einem Feld nach SBB-Standard

Erweiterung der Einfach sammelschiene mit zusätzlichem Anschlussfeld und Einbau einer Längstrennung

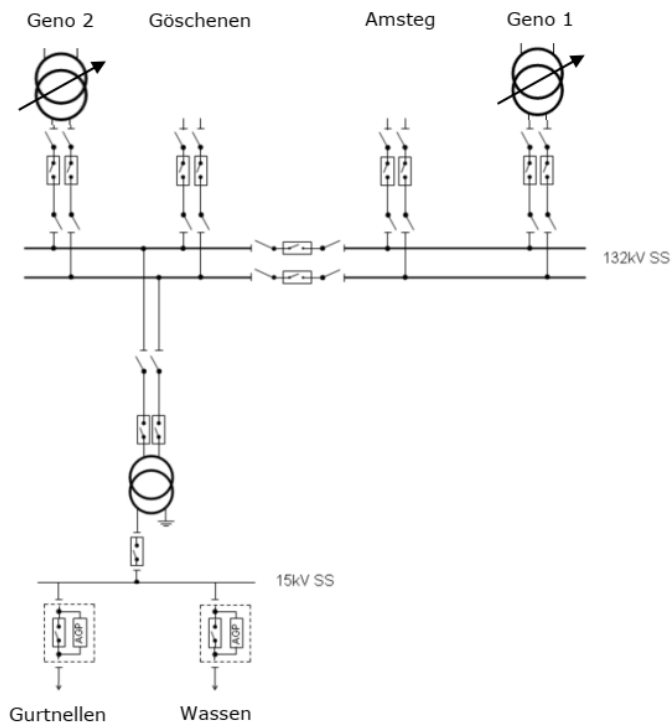


Abbildung 11: Die Varianten 1 basieren auf der Umsetzung des UW-Standards mit einer SS.

Die Umsetzung des SBB-Standards mit einer Einfach-Sammelschiene (1-SS) ist in Abbildung 12 dargestellt.

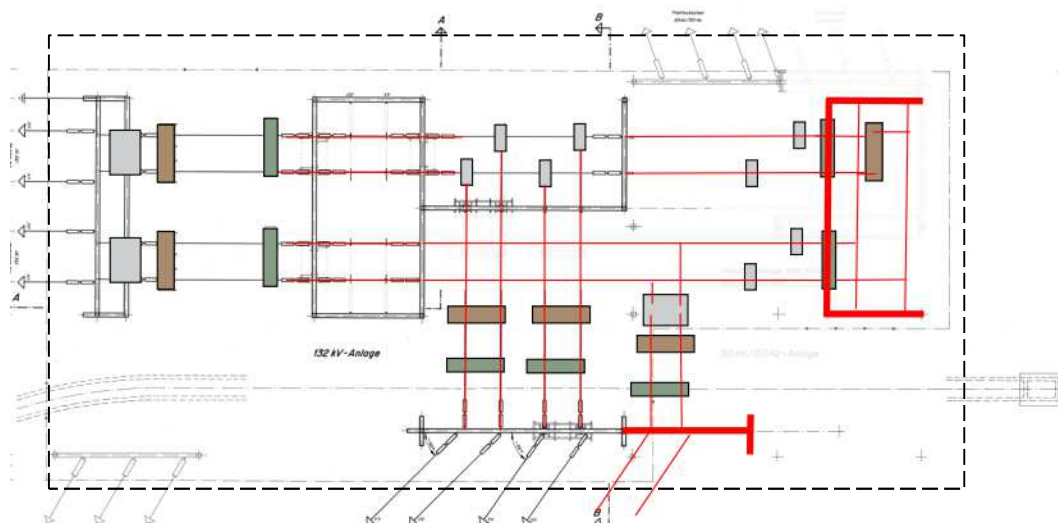


Abbildung 12: Variante 1 mit Einfach-SS, Zusatzfeld und Kupplungsfeld in AIS

Dabei sind die bestehenden Trafofelder mit dem Leitungsfeld auf der einen Seite des Sammelschienenabschnitts vorgesehen und das zweite Leitungsfeld auf einem neuen Sammelschienenabschnitt mit dem neuen Generatorfeld (Geno 1).

Terminplanung:

Ausgangslage ist, dass das 50-kV-Feld demontiert und rückgebaut ist.

Etappe 1:

- Schritt 1 (1,5 Mt.) Rückbau und Montage Gerüste und Fundamente
(Trafofelder ausser Betrieb→Erneuerung)
- Schritt 2 (1,5 Mt.) Montage der Primärkomponenten parallel Verseilung zum KW
(Trafofelder ausser Betrieb→Erneuerung)
- Schritt 3 (2,5 Mt.) Sekundärverkabelung und Erneuerung der Leittechnik

Etappe 2: Schrittweise Erneuerung der Leitungsfelder und Integration in die Leittechnik
(2,5 Mt.) (Leitungsfelder ausser Betrieb)

Gesamtumbauzeit: 8 Monate (Mt.)

Keine Produktionsableitung über 8 Monate.

Vorteile:

Der UW-Standard der SBB wird umgesetzt. Die AIS-Bauweise ermöglicht eine einfache Wartung der Anlage durch das Personal der SBB. Nur das Zusatzfeld benötigt eine neue Verseilung zwischen dem UW und dem KW. Die AIS-Bauweise ermöglicht bei Havarien direkter Ersatz von Komponenten durch SBB AG.

Nachteile:

Die Gesamtanlage, die SBB-Leitungen und die EWA-Leitung sind während eines grossen Teils des Umbauzeitraumes ausser Betrieb. Der Platz und die Zugänglichkeit zu den Kraftwerksfeldern sind knapp.

4.3. Variante 2: Umsetzung SBB-Standard

Die Variante 2 umfasst die Erweiterungen der FSA mit Doppelsammelschiene und zusätzlichem Anschlussfeld gemäss Vorgabedokument EN-36-910.

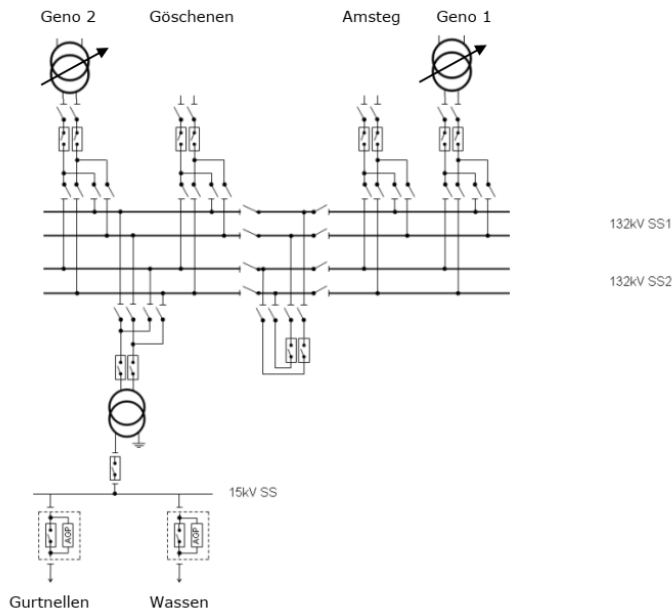


Abbildung 13: Die Varianten 2 basieren auf dem UW-Standard mit einer doppel-SS

Das generelle Schema zeigt die beiden bestehenden Trafofelder mit dem Leitungsfeld Göschenen auf dem einen Sammelschienenabschnitt und die Leitung Amsteg und das zukünftige Trafofeld (Geno 1) mit dem Anschluss an den neuen Generator auf dem anderen Abschnitt.

4.3.1. Variante 2.1: Neubau in AIS-Bauweise

Die Abbildung 14 zeigt den Aufbau einer kompakten FSA gemäss SBB-Standard mittels doppelter Sammelschiene. Die Mindestmasse sind eine Länge von 51,0 m und eine Breite 26,0 m. Unter Berücksichtigung der Abstände für die Umzäunung wird im Minimum eine verfügbare freie Fläche von 57,0 m × 32,0 m benötigt.

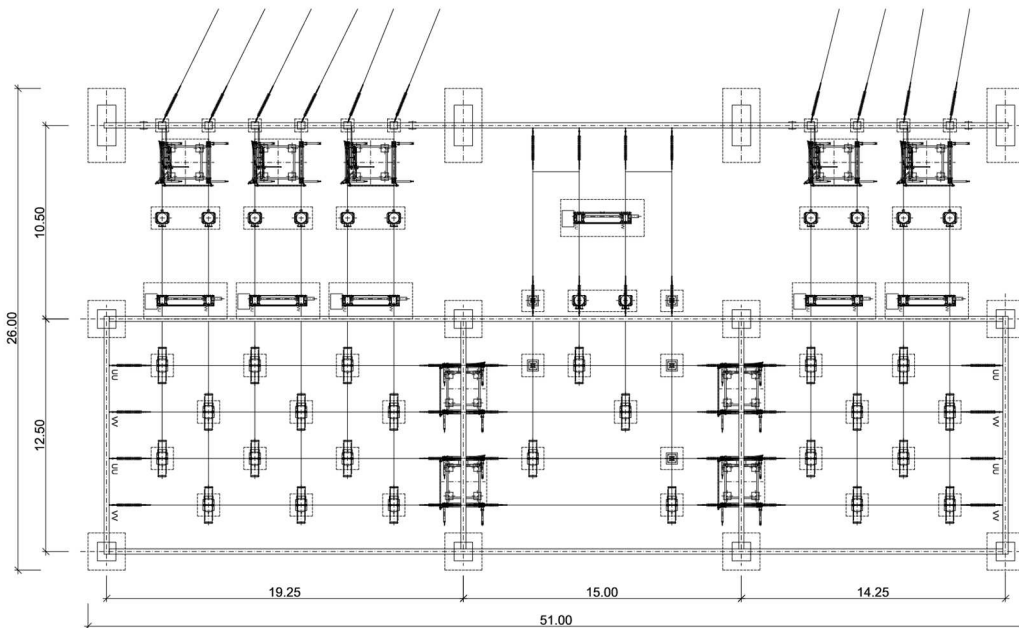


Abbildung 14: Mindestfläche einer idealen Umsetzung des UW-Standards (Beispiel)

Abbildung 15 zeigt, dass diese Fläche beim UW Wassen knapp vorhanden ist. Voraussetzung ist, dass die EWA-Leitung während der gesamten Umbauzeit ausgeschaltet werden kann.

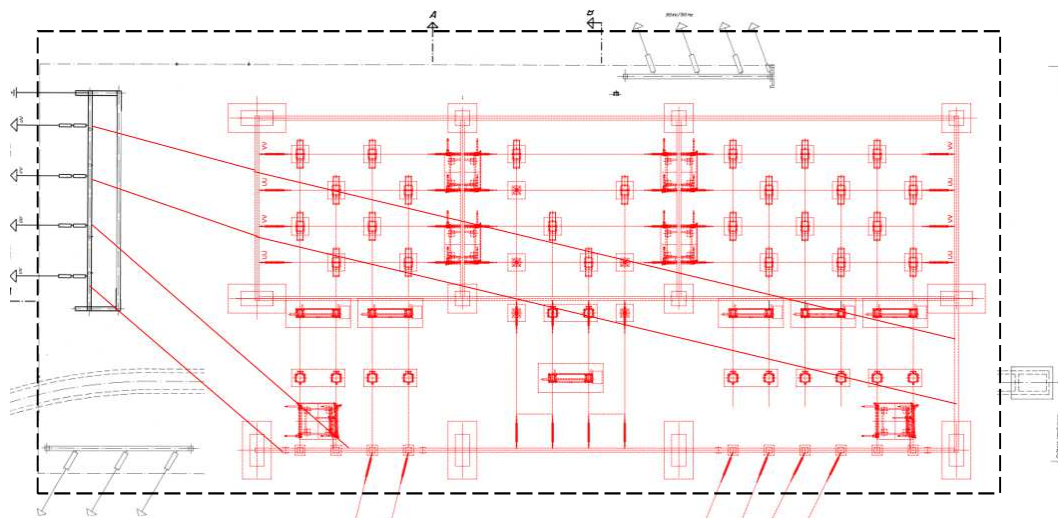


Abbildung 15: Komplettersatz UW Wassen mittels einer AIS mit doppel-SS

Terminplanung:

Etappe 1 (Gesamtanlage ausser Betrieb):

Schritt 1 (2 Mt.) Demontage Gerüste und Fundamente

Etappe 2 (Gesamtanlage ausser Betrieb):

Schritt 1 (6 Mt.) Bau der Fundamente und Montage des Gerüsts

Schritt 2 (3 Mt.) Montage der Primärkomponenten und Verseilung

Schritt 3 (2 Mt.) Sekundärverkabelung und Erneuerung der Leittechnik

Schritt 4 (1 Mt.) Test der Gesamtanlage

Etappe 3 (Gesamtanlage ausser Betrieb):

Schritt 1 (0,5 Mt.) Verseilung zum Kraftwerk

Etappe 4:

Schritt 1 (0,5 Mt.) IBS der Anlage

Gesamtumbauzeit: 15 Monate (Mt.)

Keine Produktionsableitung über 15 Monate

Vorteile:

Der UW-Standard der SBB wird umgesetzt. Die AIS-Bauweise ermöglicht den 1:1-Ersatz von Komponenten im späteren Betrieb oder bei Havarien und die Verwendung von Komponenten diverser Lieferanten.

Nachteile:

Enge Gänge und erschwerte Zugänglichkeit für Wartungsarbeiten.

Die Gesamtanlage, die SBB-Leitungen und die EWA-Leitung sind während der ganzen Umbauzeit ausser Betrieb.

Die Leitungen zwischen dem UW und dem KW werden versetzt und müssen entsprechend im PGV berücksichtigt werden.

Dieser Anlagenaufbau bedingt eine Überspannung der Gesamtanlage mit einer 132-kV-Leitung. Aufgrund bisherigen Erfahrungen mit SBB AG sind im UW Bereich keine Überspannungen von Schaltanlagen erwünscht, da dies die zukünftige Wartung beeinträchtigen kann. Als Ersatz könnte die Leitung verkabelt werden. Aber Verkabelungen von 132-kV-Leitungen sind bei SBB AG ebenfalls keine Optionen und wurden deshalb nicht weiterverfolgt.

4.3.2. Variante 2.2: Erweiterung der AIS-Anlage

Eine weitere Möglichkeit der Umsetzung einer Doppelsammelschiene ist die Erweiterung der bestehenden Anlage mit einem zusätzlichen Trafofeld, einem Kupplungsfeld und dem Aufbau der zweiten Sammelschiene mittels einer Gas-Isolierten-Leitung (GIL).

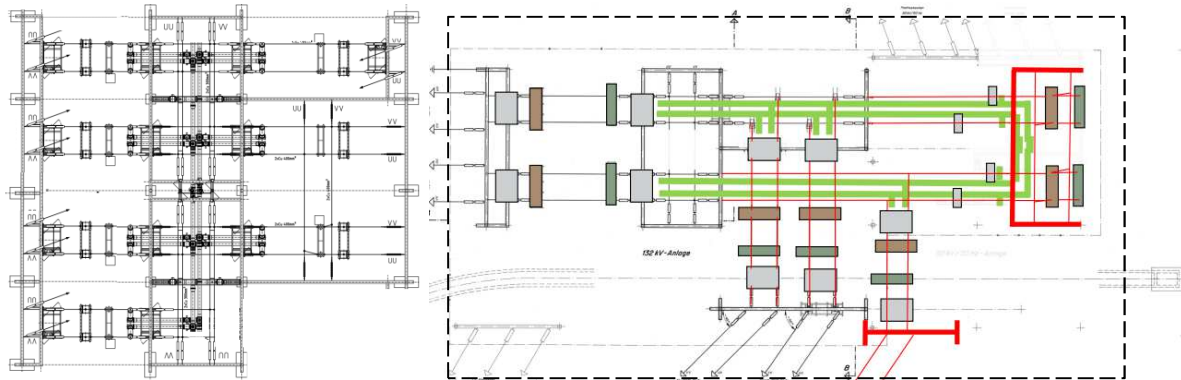


Abbildung 16: a) Kompaktanlage mit GIL; b) Erweiterung der bestehende AIS mit GIL

Terminplanung:

Ausgangslage ist, dass das 50-kV-Feld demontiert und rückgebaut ist.

Etappe 1 (Ausschaltung der Gesamtanlage):

- Schritt 1 (2,5 Mt.) Rückbau und Montage Gerüste und Fundamente und Bau neuer Fundamente für GIL und Felder
- Schritt 2 (2,5 Mt.) Montage der Primärkomponenten parallel Verseilung zum KW
- Schritt 3 (3 Mt.) Sekundärverkabelung und Erneuerung der Leittechnik

Etappe 2:

- (2,0 Mt.) IBS
- (Leitungsfelder ausser Betrieb)

Gesamtumbauzeit: 10 Monate (Mt.)

Keine Produktionsableitung über 10 Monate.

Vorteile:

Der UW-Standard der SBB wird umgesetzt. Die GIL-Bauweise ermöglicht einen platzsparenden Aufbau der zweiten SS.

Nachteile:

Die neue Anlage ist sehr kompakt und Wartungen durch den Einsatz von verschiedenen Technologien vor Ort ist aufwendig. SF6 ist ein Treibhausgas und sollte möglichst vermieden werden. Erneuerungen und Wartung der zweiten SS können nur durch den GIL-Anlagenlieferanten oder geschultes Personal erfolgen.

4.3.3. Varianten 2.3 und 2.4: Neubau in GIS Bauweise

Anstelle der Erweiterung der AIS mit Doppelsammelschiene sollte auch eine GIS-Anlage in Betracht gezogen werden. Dazu wird ein neues Gebäude mit einer GIS aufgebaut und in Betrieb genommen. Ausgangslage ist ein Betongebäude ohne sanitäre Installationen.

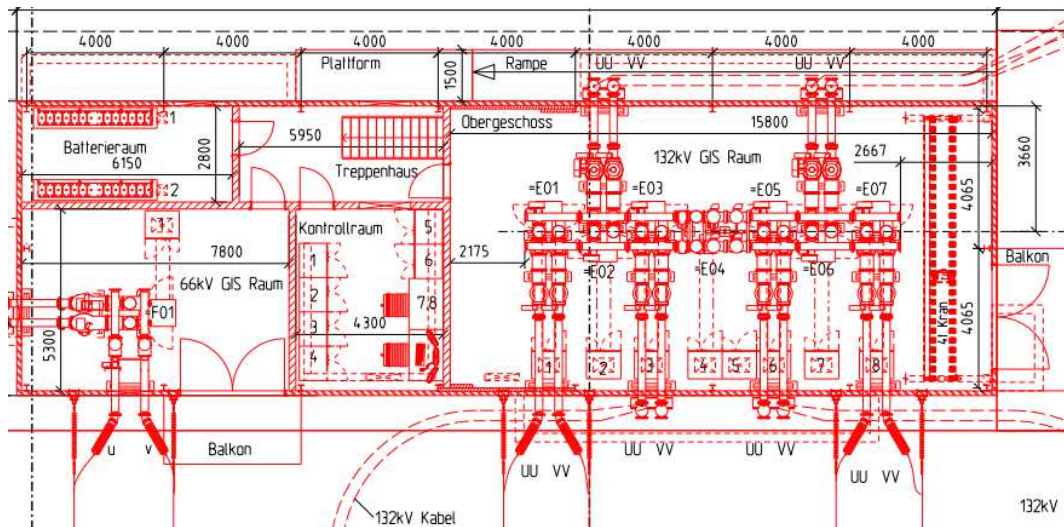


Abbildung 17: Beispiel der GIS-Anlage in Brig

Die notwendigen Abmessungen einer GIS können mit folgenden Werten abgeschätzt werden:

- Breite pro Feld: 1,6 m
- Kuppelfeld variiert je nach Hersteller zwischen und 2,2 m und 4,5 m

Für die GIS gemäss SBB-Standard ist somit eine Länge von 10–13 m (je nach Hersteller) einzuplanen. Unter Berücksichtigung von Wandabständen ist beim Bau einer GIS-Halle von einer Länge von 15–18 m auszugehen. Die Breite der Halle sollte etwa 8,5 m betragen und damit auch genügend Platz für Steuerschränke und GIS bieten. Die Räume für Batterie, EB-Versorgung und «Kommando-/Kommunikationsraum» können zusammen auf die Dimension von 15 m × 5,5 m (6,5 m × 3,5 m, 4,5 m × 5,5 m, 4,0 m × 5,5 m) abgeschätzt werden. Somit beträgt der notwendige Gebäudegrundriss 14 m × 18 m (ohne Türschwenkbereiche).

Variante 2.3: GIS-Gebäude an gleicher Stelle wie AIS

Ausgangslage bei dieser Realisierung ist ein Neubau einer GIS-Anlage an derselben Stelle wie die heutige AIS. Dies bedeutet, dass zuerst die AIS demontiert wird und anschliessend das neue Gebäude mit der Schaltanlage aufgebaut und angeschlossen wird.

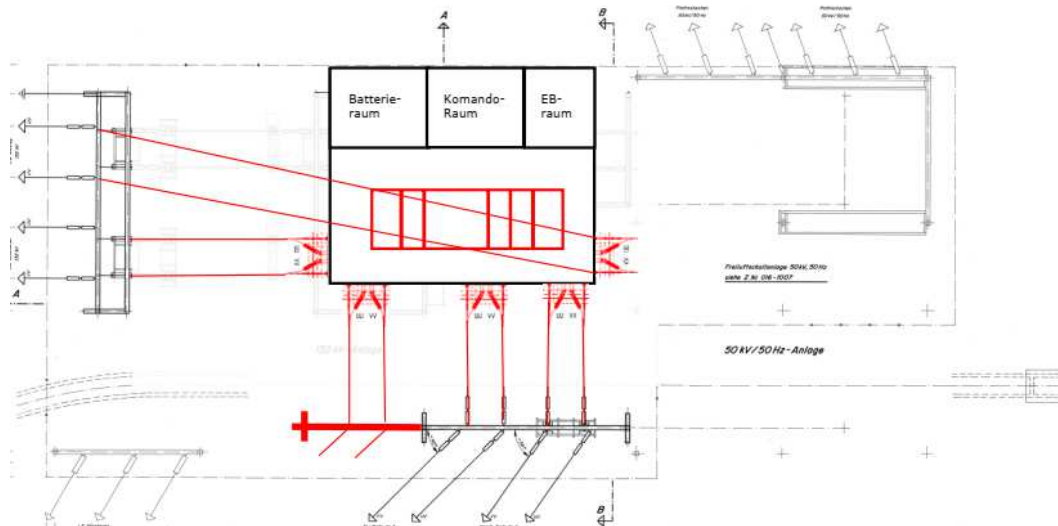


Abbildung 18: GIS anstelle der FSA

Terminplanung:

Etappe 1 (Gesamtanlage ausser Betrieb):

Schritt 1 (2 Mt.) Demontage Gerüste und Fundamente

Etappe 2 (Gesamtanlage ausser Betrieb):

Schritt 1 (8 Mt.) Bau des Gebäudes

Schritt 2 (3 Mt.) Montage der Primärkomponenten, Batterien und EB-Technik

Schritt 3 (2 Mt.) Sekundärverkabelung und Erneuerung der Leittechnik

Schritt 4 (0,5 Mt.) Test der Gesamtanlage

Etappe 3 (Gesamtanlage ausser Betrieb):

Schritt 1 (0,5 Mt.) Verseilung der Leitungsabgänge

Schritt 2 (0,5 Mt.) Verseilung zum Kraftwerk

Etappe 4:

Schritt 1 (0,5 Mt.) IBS der Anlage

Gesamtumbauzeit: 17 Monate (Mt.)

Keine Produktionsableitung über 17 Monate

Vorteile:

Der UW-Standard der SBB wird umgesetzt. Die GIS-Bauweise ermöglicht einen platzsparenden Aufbau der Anlage. Die Anlage ist geschützt und nur für Personal der SBB zugänglich.

Nachteile:

Die Gesamtanlage und die SBB-Leitungen sind während der ganzen Umbauzeit ausser Betrieb. Die EWA-Leitung ist während des Gebäudebaus ausser Betrieb. Der Eigenbedarfsverbrauch ist erhöht, da die Gebäudetechnik ebenfalls versorgt werden muss. SF6 ist ein Treibhausgas und sollte bei Neuanlagen vermieden werden. Erneuerungen und Wartung können nur durch den GIS-Anlagenlieferanten oder geschultes Personal erfolgen.

Variante 2.4: GIS-Gebäude auf freier Fläche

Der Nachteil der Variante 2.2 ist die lange Ausserbetriebnahme der bestehenden AIS. Dies könnte behoben werden, in dem das neue Gebäude mit GIS parallel zum Betrieb der AIS auf der freien Fläche aufgebaut wird. Wichtig ist dabei, dass während des Umbaus die bestehende Anlage nicht beschädigt wird.

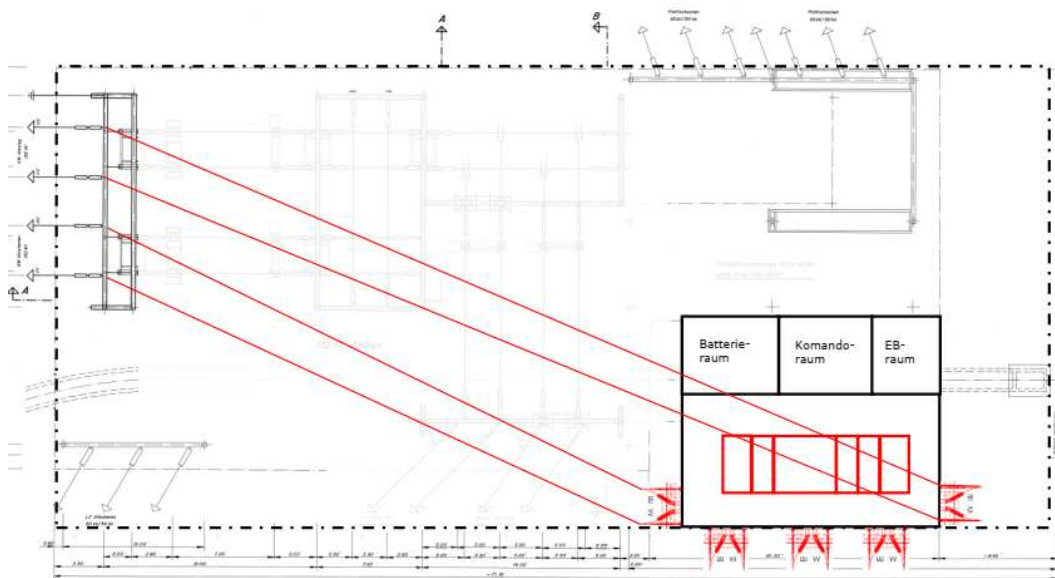


Abbildung 19: GIS neben der bestehenden FSA

Terminplanung:*Etappe 1 (Gesamtanlage in Betrieb):*

- Schritt 1 (8 Mt.) Bau des Gebäudes
- Schritt 2 (3 Mt.) Montage der Primärkomponenten, Batterien und EB-Technik
- Schritt 3 (2 Mt.) Sekundärverkabelung und Erneuerung der Leittechnik
- Schritt 4 (0,5 Mt.) Test der Gesamtanlage

Etappe 2 (Gesamtanlage ausser Betrieb):

- Schritt 1 (2 Mt.) Demontage Gerüste und Fundamente
- Schritt 2 (parallel) Verseilung zu den Leitungen
- Schritt 3 (parallel) Verseilung zum Kraftwerk

Etappe 3:

- Schritt 1 (0,5) IBS der Anlage

Gesamtumbauzeit: 16 Monate (Mt.)
Keine Produktionsableitung über 2.5 Monate

Vorteile:

Der UW-Standard der SBB wird umgesetzt. Die GIS-Bauweise ermöglicht einen platzsparenden Aufbau der Anlage. Die Anlage ist geschützt und nur für Personal der SBB zugänglich. Während des Aufbaus der neuen Anlage können die bestehenden Anlageteile in Betrieb bleiben. Erst bei der Verseilung des neuen Feldes mit der bestehenden Anlage müssten die Kraftwerksfelder ausgeschaltet werden. Der Rückbau der bestehenden Anlageteile sollte mit dieser Ausschaltzeit koordiniert werden.

Nachteile:

Es müssen neue Verseilungen der beiden bestehenden Leitungen zwischen dem UW und dem KW vorgesehen werden. Der Eigenbedarfsverbrauch der UW-Anlagen ist erhöht, da die Gebäudetechnik ebenfalls versorgt werden muss. SF6 ist ein Treibhausgas und sollte möglichst vermieden werden. Erneuerungen und Wartung können nur durch den GIS-Anlagenlieferanten oder geschultes Personal erfolgen.

Im Weiteren ist zu beachten, dass die Umbauarbeiten die laufende Anlage nicht gefährden und die Arbeit ausserhalb des Gefahrenbereichs stattfinden.

Variante 2.5: Hybridmodule an Doppelsammelschiene

Anstelle der AIS-Felder aus Variante 2.1 werden in dieser Variante kompakte Hybridmodule pro Feld verwendet.

Terminplanung:

Ausgangslage ist, dass das 50-kV-Feld demontiert und rückgebaut ist.

Etappe 1 (Ausschaltung der Gesamtanlage):

- | | |
|-------------------|--|
| Schritt 1 (2 Mt.) | Rückbauten, Neubau Gerüste und Bau neuer Fundamente für Hybridmodule |
| Schritt 2 (2 Mt.) | Montage der Primärkomponenten parallel Verseilung zum KW |
| Schritt 3 (3 Mt.) | Sekundärverkabelung und Erneuerung der Leittechnik |

<i>Etappe 2</i> (2 Mt.)	IBS (Leitungsfelder ausser Betrieb)
----------------------------	--

Gesamtumbauzeit: 9 Monate (Mt.)
Keine Produktionsableitung über 9 Monate

Vorteile:

Der UW-Standard der SBB wird umgesetzt. Die Hybrid-Bauweise ermöglicht den Betrieb einer platzsparenden FSA sowie eine kürzere Montage im Vergleich zu AIS-Einzelkomponenten.

Nachteile:

Die Wartung kann ausschliesslich durch den Lieferanten der Hybridmodule erfolgen. SF6 ist ein Treibhausgas und sollte möglichst vermieden werden.

5. Umwelt

Die Risiken für die Umwelt bestehen in Altlasten aufgrund der bestehenden Anlage (Bleifarben, Öle und darin enthaltene Stoffe wie PCB). Beim den Varianten zur Erneuerung sollte der klimaschädliche Einfluss des Isoliergases SF6 berücksichtigt werden. Da SF6 ein starkes Treibhausgas ist, wird empfohlen, dies bei den Bewertungen der Untervarianten mit GIS und Hybrid/GIL in der Gesamtbewertung zu berücksichtigen.

6. Kosten

Eine Gegenüberstellung der Umbaukosten aller Varianten ist in Tabelle 1 gezeigt.

		Variante 0.1 AIS	Variante 0.2 AIS	Variante 1.1 AIS	Variante 2.1 AIS	Variante 2.2 GIL	Variante 2.3/2.4 GIS	Variante 2.5 Hybrid
Vorprojekt	Planungskosten	50	50	50	100	75	100	75
Bauprojekt	Planungskosten	100	100	150	200	200	250	150
Ausführung	TP0 Gesamtprojektleitung							
	Zwischentotal	112	112	126	152	168	233	156
	TP1 Primäranlagen & Erdung							
	Zwischentotal	947	957	1'247	1'733	2'274	2'893	2'026
	TP2 Sekundäranlagen							
	Zwischentotal	650	650	669	814	718	735	655
	TP3 Hoch-/Tiefbau & Zaun							
	Zwischentotal	165	170	233	543	296	1'514	217
	TP4 Eigenbedarf							
	Zwischentotal	-	-	-	-	-	340	-
	TP5 Übertragungsleitung							
	Zwischentotal	35	35	35	105	35	35	35
	TP6 Fährleitung							
	Zwischentotal	-	-	-	-	-	-	-
Total Ausführung Neubau + Rückbau		1'810	1'925	2'311	3'346	3'481	5'750	3'089
Rang		1	1	1	2	2	3	2

Tabelle 1: Kostentabelle mit Kostengenauigkeit von +/- 20%

Generell zeigt sich, je kompakter die Komponenten werden (AIS->GIL/Hybrid->GIS) desto höher sind die Kosten für die Beschaffung. Im Weiteren zeigt sich, dass die einfache Ergänzung der Anlage (wobei ein Ersatz der gesamten Primär und Sekundärtechnik betrachtet wurde) und eine Realisierung der Einfachsammlerschienen entsprechend dem UW-Standard von SBB im ähnlichen Kostenbereich liegen.

Ein Anstieg der Kosten erfolgt mit der Realisierung der Doppelsammelschiene. Hierbei liegen die AIS-Variante, die GIL-Variante und die Hybrid-Variante sehr nahe beieinander.

Ein weiterer Sprung folgt durch die Realisierung einer Innenraum GIS-Anlage inkl. Gebäude. Entsprechend den Anforderungen steigen auch die Kosten für die Bauprojekte, wenn Statiker, Architekten bei der Planung und der Realisierung beigezogen werden müssen.

Bei der Eigenbedarfsversorgung wurde davon ausgegangen, dass diese, wie bisher, vom Kraftwerk erfolgt. Im Gegensatz dazu wurde bei der GIS-Variante die EB-Versorgung im Gebäude separat eingerechnet.

7. Variantenvergleich

Eine Gegenüberstellung der Varianten ist in Tabelle 2 gezeigt.

Varianten	Variante 0.1	Variante 0.2	Variante 1.1	Variante 2.1	Variante 2.2	Variante 2.3	Variante 2.4	Variante 2.5
Kriterien								
Kosten (kCHF)	3	3	3	2	2	1	1	2
	1910	1925	2311	3348	3491	5750	5750	3089
Umbauzeit	3	3	3	2	2	1	1	2
	6 Mt.	8.5 Mt.	8 Mt.	10 Mt.	10 Mt.	16 Mt.	15 Mt.	9 Mt.
Verfügbarkeit Ableitung während Umbau	2	2	2	1	1	1	3	1
	Ausgeschaltet: 6 Mt.	Ausgeschaltet: 5 Mt.	Ausgeschaltet: 8 Mt.	Ausgeschaltet: 10 Mt.	Ausgeschaltet: 10 Mt.	Ausgeschaltet: 12 Mt.	Ausgeschaltet: 2.5 Mt.	Ausgeschaltet: 9 Mt.
Betrieb & Unterhalt	2	3	2	3	1	3	3	2
	Als wie bisher: zwei Trafosteiler belehender	Als wie bisher: Produktion Geko 2 getrennt	Als wie bisher: zwei Trafosteiler belehender	Als - zugänglich: Feldanordnung optimiert	Wartung GIS durch Lieferant: Sehr enge Verhältnisse	Wartung durch GIS Lieferant: In Gebäude -> Personensicherheit	Wartung durch GIS Lieferant: In Gebäude -> Personensicherheit	Wartung durch Hybrid Lieferant: Teil der Anlage in AIS-Bauseite
Umbaurisiken	1	3	1	2	3	2	3	1
	Teile der Anlage unter Spannung	Spannungsführende Teile sind von Baustelle entfernt	Geräte bei Anlagen unter Spannung	evtl. 50-kV-Leitung im Betrieb	Alle Leitungen müssen beim Umbau ausgeschaltet sein	evtl. 50-kV-Leitung im Betrieb	Spannungsführende Teile sind von Baustelle entfernt	Teile der Anlage unter Spannung
Umwelt	3	3	3	3	2	2	2	2
	AIS Geräte ohne Öl	AIS Geräte ohne Öl	AIS Geräte ohne Öl	AIS Geräte ohne Öl	SF6 ist ein Treibhausgas	SF6 ist ein Treibhausgas	SF6 ist ein Treibhausgas	SF6 ist ein Treibhausgas
Realisierung UW Standard SBB	1	1	2	3	3	3	3	3
	Nein	Nein	Einfache SS	Doppel SS	Doppel SS	Doppel SS	Doppel SS	Doppel SS
Total	15	18	16	16	14	13	16	13

Bewertung: gut 3, mittel 2, schlecht 1

Tabelle 2: Bewertungstabelle mit Variantenvergleich und Wertung

Aufgrund der Kriterien Kosten, Umbauzeit, Verfügbarkeit der Ableitung während dem Umbau, dem Betriebs- und Unterhaltsaspekt, der Umweltrisiken und des Grades der Realisierung des Unterwerkstandards erhalten die Varianten 0.2 und 1.1 am meisten Punkte.

Wenn die Bewertungen zwischen den beiden Varianten aufgrund der geringeren Ausfallzeit und der geringeren Kosten weiter verfeinert würden, ist die Variante 0.2 der Favorit und damit die bevorzugte Lösung.

Im Weiteren besticht die Variante 0.2 durch die kurze Ausfallzeit der Energieableitung, welche nur durch eine teure GIS-Variante übertroffen werden kann. Einziger Nachteil dieser Lösung ist die Nichtrealisierung des UW-Standards der SBB AG.

Sollte der UW-Standard realisiert werden, so liegen die Varianten 1.1, 2.1 und 2.4 gleich auf. Wenn der Fokus auf der möglichst kurzen Ausfallzeit liegt, so ist die Variante 2.4 (abgesetzte GIS) zu bevorzugen.

Wie bereits erwähnt, könnte die Ausfallzeit mittels Provisorien respektive einem Abgleich mit dem Kraftwerksprojekt. noch optimiert werden. Dies sollte den strategischen Variantenentscheid aber nicht beeinflussen.

8. Empfehlung

Die ermittelten Kosten sind bei der Erweiterung der bestehenden Anlage um ein Feld am tiefsten. Die GIS-Varianten schneiden am teuersten ab, weil hier zusätzlich noch ein Gebäude mit Eigenbedarfsversorgung erstellt werden muss.

In Bezug auf die Umbauplanung, die Sicherheit und die tiefsten Verfügbarkeiten schneiden die GIS-Variante auf der freien Fläche und die Erweiterung der bestehenden Anlage mit dem abgesetzten Feld am besten ab.

Bei einer stärkeren Gewichtung der Kosten wird die Variante 0.2 mit der abgesetzten Erweiterung des neuen Feldes bevorzugt. Beim Fokus auf der Umsetzung des SBB-Standards 36-910 liegt die abgesetzte GIS-Anlage gemäss Variante 2.4 vorne.

9. Ausblick

Als nächsten Schritt wird die Ausarbeitung eines Vorprojektes für den Gesamtumbau (KW und UW) empfohlen. Dadurch können die weiteren Anforderungen und beiden Projekte besser aufeinander abgestimmt werden.

Dabei sollen folgende Untersuchungen erfolgen:

- Überprüfung der Verbraucherwerte und einer zweiten EB-Versorgung
- Notstromversorgung über den Kraftwerksdiesel und dessen Kapazität
- Beleuchtung, Kommunikation, Brandmeldeanlage und Elektroverteilungen bei AIS und Hybrid-Varianten
- Verfügbarkeiten der Ableitung sowie der Anbindungen Göschenen und Amsteg im Gesamtumbau, sowie weitere Projekte im Netz und damit die detaillierte Staffelung der Umbauzeiträume
- Gerüstverstärkungen

Erfolgt der Variantenentscheid für den Umbau der Schaltanlage anhand der vorliegenden Studie, können die offenen Punkte auch in einem erweiterten Bauprojekt untersucht werden. Dies unter dem Gesichtspunkt, dass die PGV-Unterlagen für das UW, die Leitung zum KW und dem KW-Umbauprojekt erarbeitet und eingereicht werden sollen.

Referenzen

- [1] SBB-EN 20-001 DE Dimensionierung 16.7-Hz- Bahnstromanlagen und -apparate
- [2] EN-Minimale Abstände

Abkürzungen

UW	Unterwerk
KW	Kraftwerk
SA	Schaltanlage
FSA	Freiluftschaltanlage
AIS	Freiluftschaltanlage (Air insulated switchgear)
GIS	Gasisolierte Schaltanlage
GIL	Gasisolierte Leitung
SS	Sammelschiene

Anhang

- 1 Kostentabelle
- 2 Bewertungstabelle

		Variante 0.1 AIS	Variante 0.2 AIS	Variante 1.1 AIS	Variante 2.1 AIS	Variante 2.2 GIL	Variante 2.3/2.4 GIS	Variante 2.5 Hybrid
Vorprojekt	Planungskosten	50	50	50	100	75	100	75
Bauprojekt	Planungskosten	100	100	150	200	200	250	150
Ausführung	TP0 Gesamtprojektleitung							
	Zwischentotal	112	112	126	152	168	233	156
	TP1 Primäranlagen & Erdung							
	Zwischentotal	947	957	1'247	1'733	2'274	2'893	2'026
	TP2 Sekundäranlagen							
	Zwischentotal	650	650	669	814	718	735	655
	TP3 Hoch-/Tiefbau & Zaun							
	Zwischentotal	165	170	233	543	296	1'514	217
	TP4 Eigenbedarf							
	Zwischentotal	-	-	-	-	-	340	-
	TP5 Übertragungsleitung							
	Zwischentotal	35	35	35	105	35	35	35
	TP6 Fahrleitung							
	Zwischentotal	-	-	-	-	-	-	-
Total Ausführung Neubau + Rückbau		1'910	1'925	2'311	3'346	3'491	5'750	3'089
Rang		1	1	1	2	2	3	2

UW Wassen		Beurteilungsmatrix Varianten						
Varianten	Variante 0.1	Variante 0.2	Variante 1.1	Variante 2.1	Variante 2.2	Variante 2.3	Variante 2.4	Variante 2.5
Kriterien								
Kosten (kCHF)	3	3	3	2	2	1	1	2
	1910	1925	2311	3346	3491	5750	5750	3089
Umbauzeit	3	3	3	2	2	1	1	2
	6 Mt.	8.5 Mt	8 Mt.	10 Mt.	10 Mt.	16 Mt.	15 Mt.	9 Mt.
Verfügbarkeit Ableitung während Umbau	2	2	2	1	1	1	3	1
	Ausgeschaltet: 6 Mt.	Ausgeschaltet: 5 Mt.	Ausgeschaltet: 8 Mt.	Ausgeschaltet: 10 Mt.	Ausgeschaltet: 10 Mt.	Ausgeschaltet: 12 Mt.	Ausgeschaltet: 2.5 Mt.	Ausgeschaltet: 9 Mt.
Betrieb & Unterhalt	2	3	2	3	1	3	3	2
	AIS wie bisher Zwei Trafofelder beieinander	AIS wie bisher Produktion Geno 2 getrennt	AIS wie bisher Zwei Trafofelder beieinander	AIS - zugänglich Feldanordnung optimiert	Wartung GIL durch Lieferant Sehr enge Verhältnisse	Wartung durch GIS Lieferant In Gebäude -> Personensicherheit	Wartung durch GIS Lieferant In Gebäude -> Personensicherheit	Wartung durch Hybrid Lieferant Teil der Anlage in AIS-Bauweise
Umbaurisiken	1	3	1	2	3	2	3	1
	Teile der Anlage unter Spannung	Spannungsführende Teile sind von Baustelle entfernt.	Gerüste bei Anlagen unter Spannung	evtl. 50-kV-Leitung im Betrieb	Alle Leitungen müssen beim Umbau ausgeschaltet sein	evtl. 50-kV-Leitung im Betrieb	Spannungsführende Teile sind von Baustelle entfernt.	Teile der Anlage unter Spannung
Umwelt	3	3	3	3	2	2	2	2
	AIS Geräte ohne Öl	AIS Geräte ohne Öl	AIS Geräte ohne Öl	AIS Geräte ohne Öl	SF6 ist ein Treibhausgas	SF6 ist ein Treibhausgas	SF6 ist ein Treibhausgas	SF6 ist ein Treibhausgas
Realisierung UW Standard SBB	1	1	2	3	3	3	3	3
	Nein	Nein	Einfache SS	Doppel SS	Doppel SS	Doppel SS	Doppel SS	Doppel SS
Total	15	18	16	16	14	13	16	13

Bewertung:

gut

mittel

schlecht

3

2

1