

Zuverlässigkeitsvergleich von Standardschaltanlagenkonzepten im 110kV Verteilnetz

Hans-Peter Vetö

TU Wien, Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe

Kurzfassung:

Steigender Verbrauch, Liberalisierung, dezentrale Erzeugung, ... stellen zunehmend höhere Anforderungen an die Verteilnetze. Engpässe im Mittelspannungsnetz müssen oftmals durch zusätzliche 110kV Netzstationen vermieden werden. Dabei stellt sich die Frage nach der Auswirkung von unterschiedlichen Schaltanlagenkonzepten, sowie verschiedener Netzeinbindungsvarianten auf die Versorgungssicherheit des unterlagerten Mittelspannungsnetzes.

Keywords: Zuverlässigkeit, Netzeinbindung, Schaltanlagenkonzept

1 Einleitung

4 verschiedene Schaltanlagenkonzepte mit jeweils 3 Einbindungsvarianten werden hinsichtlich Zuverlässigkeitskenngrößen verglichen. Das Demonetz mit den Schwachstellen an den Netzausläufen des 20kV Mittelspannungsnetzes ist in Abb.: 1 dargestellt. Ziel ist die Speisung des Mittelspannungsnetzes über eine zusätzliche 110kV Schaltanlage, gemäß Abb.: 2, sowie eine Aufteilung auf mehrere Netzgruppen im 20kV Netz.

1.1 Netzeinbindung

Bei der Netzeinbindung werden 3 Varianten berücksichtigt:

- Doppelstich (Abb.: 3)
- Einschleifige Einbindung (Abb.: 4)
- Zweischleifige Einbindung (Abb.: 5)

1.2 Schaltanlagenkonzepte

Bei den Schaltanlagenkonzepten werden 4 Konzepte berücksichtigt:

- Einfachsammschiene (H4, H5)
 - Sammschienenlängstrennung über 2 Trenner (H4 Schaltung) – (Abb.: 6)
 - Sammschienenlängstrennung über Leistungsschalter (H5 Schaltung) – (Abb.: 7)
- Doppelsammschiene (DSS)
 - Einschienenbetrieb, zweite Sammschiene lediglich Reserve - (Abb.: 8)
 - Gekuppelter Zweischienenbetrieb - (Abb.: 9)
- Ringsammschiene (RSS) - (Abb.: 10)

• Istnetz

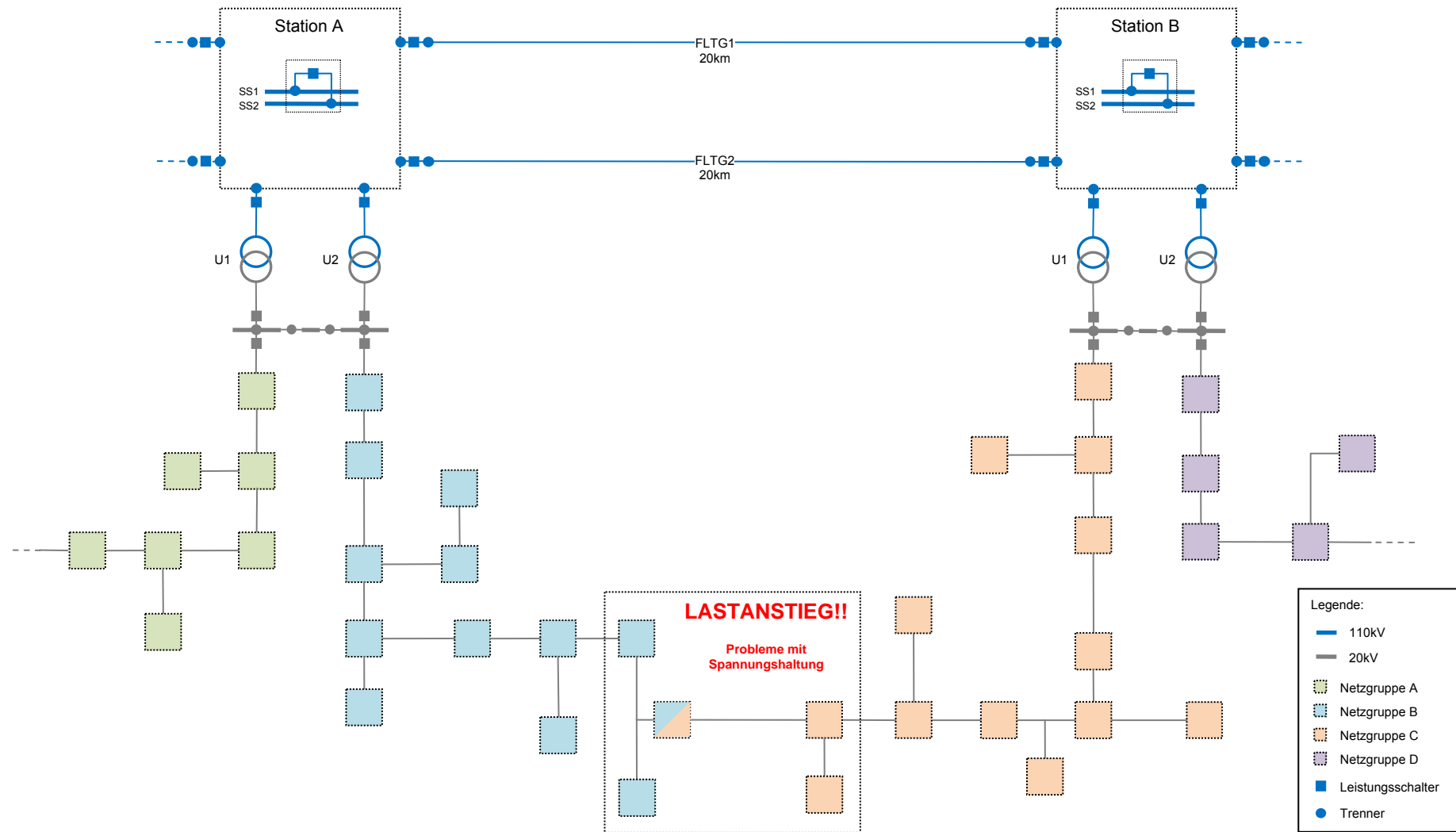


Abb.: 1 Istnetz

• Sollnetz

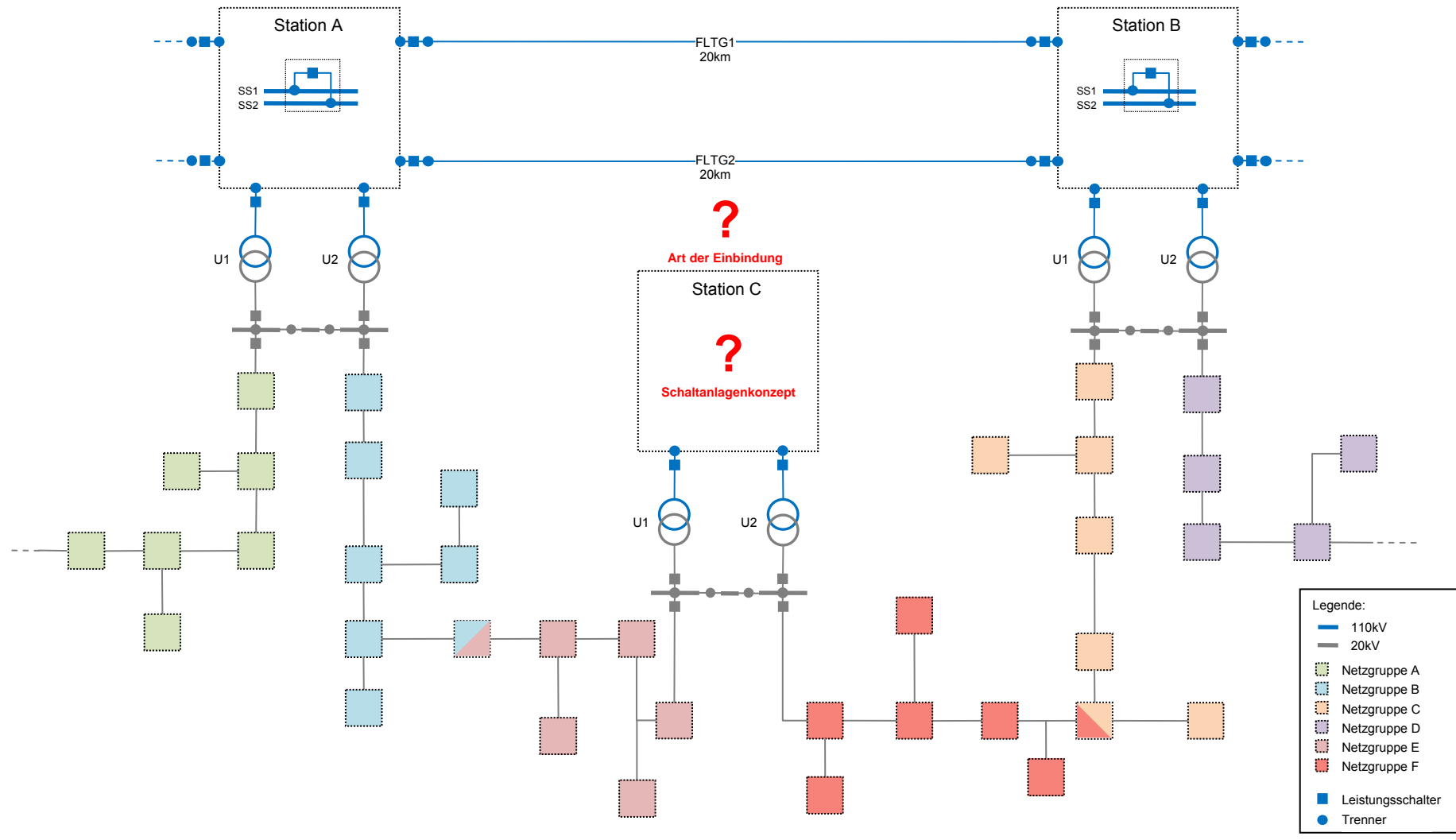


Abb.: 2 Sollnetz

• **Doppelstich: (DS)**

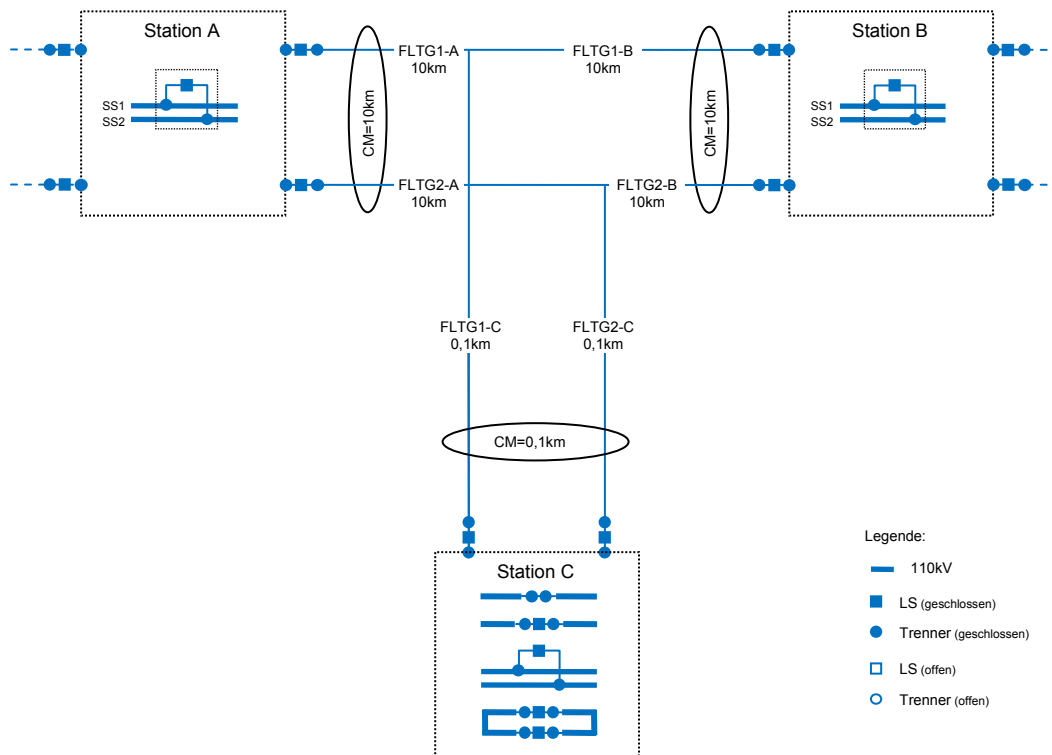


Abb.: 3 Doppelstich Einbindung

• **Einschleifige Einbindung: (1S)**

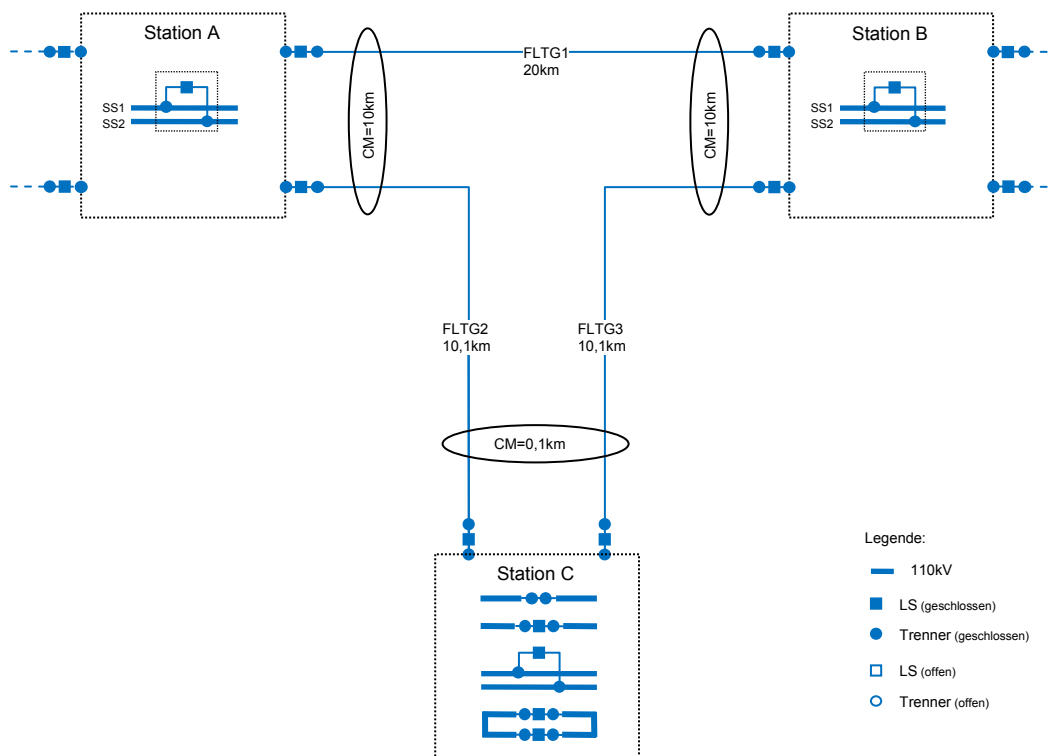


Abb.: 4 Einschleifige Einbindung

• **Zweischleifige Einbindung: (2S)**

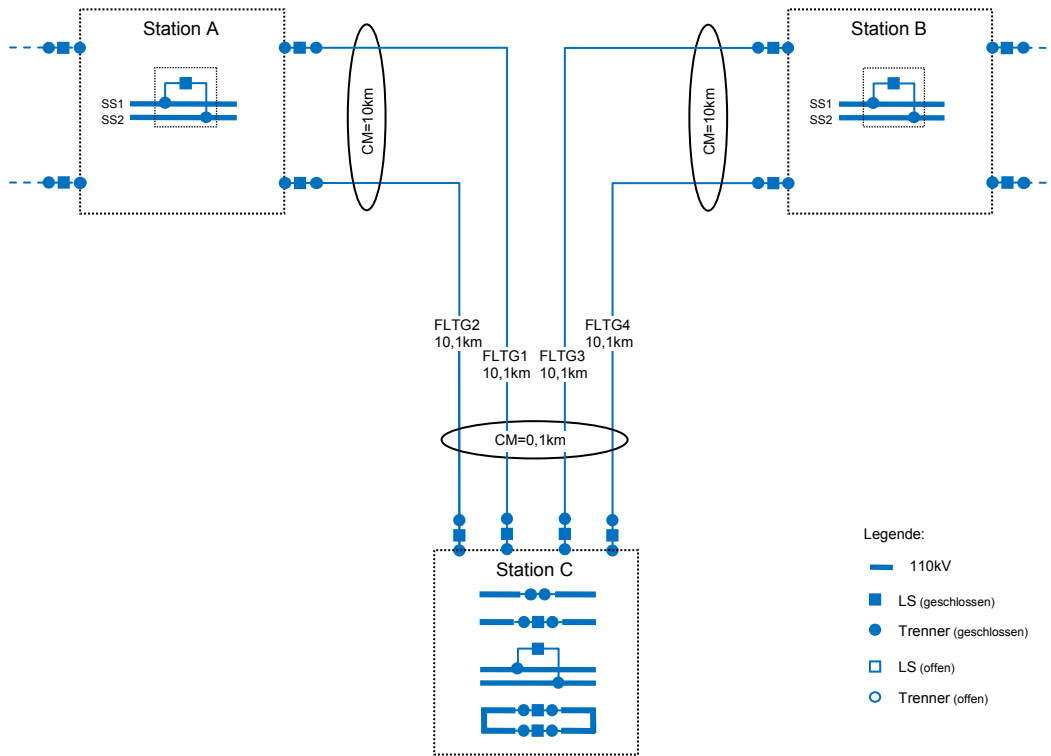


Abb.: 5 Zweischleifige Einbindung

• **Einfachsammelschiene-Doppelstich/ein- zweischleifige Einbindung-zwei Längstrenner**

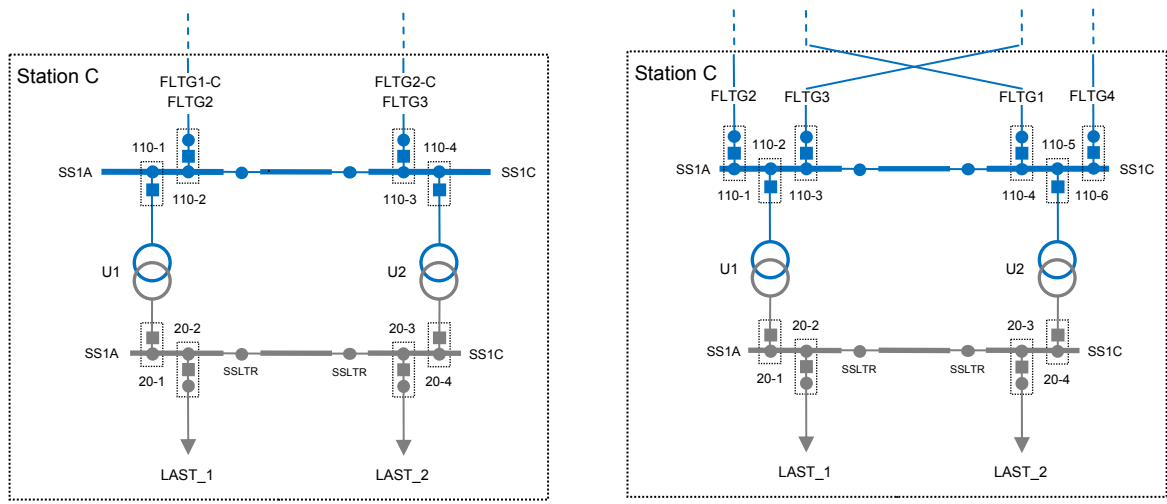


Abb.: 6 H4_DS/1S_2 TR

H4_2S_2 TR

- Einfachsammelschiene-Doppelstich/ein- zweischleifige Einbindung-Leistungsschalter

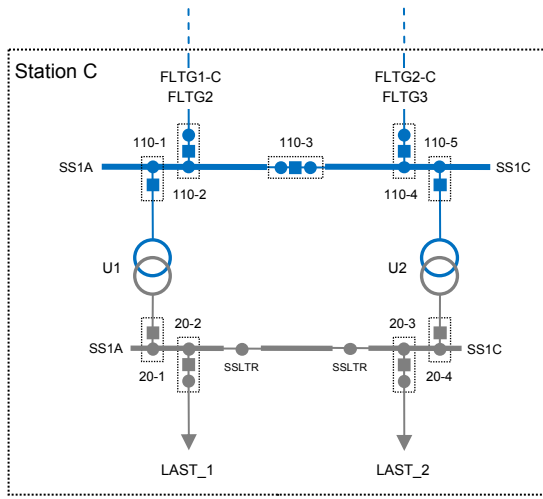
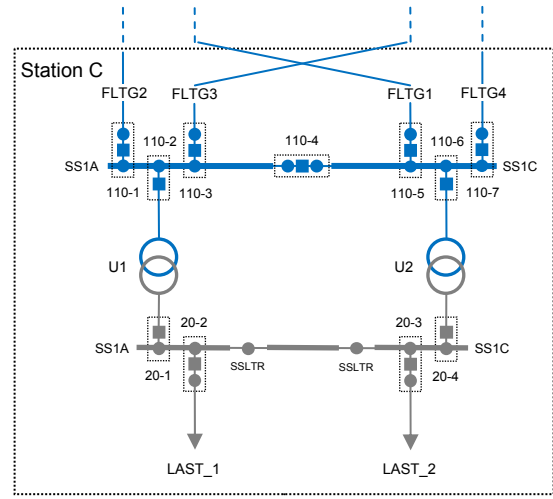


Abb.: 7 H5_DS/1S_LS



H5_2S_LS

- Doppelsammelschiene-Doppelstich/ein- zweischleifige Einbindung (Einschienenbetrieb)

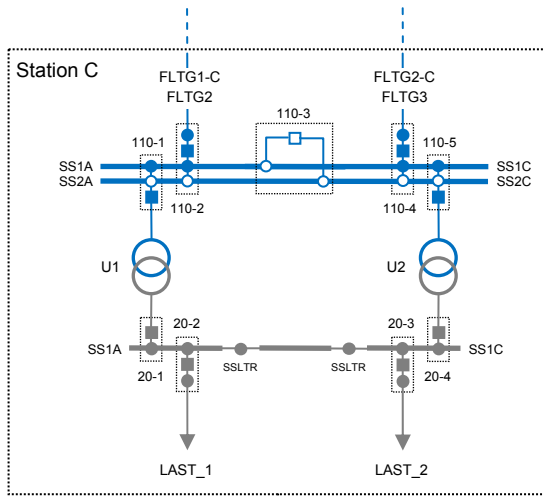
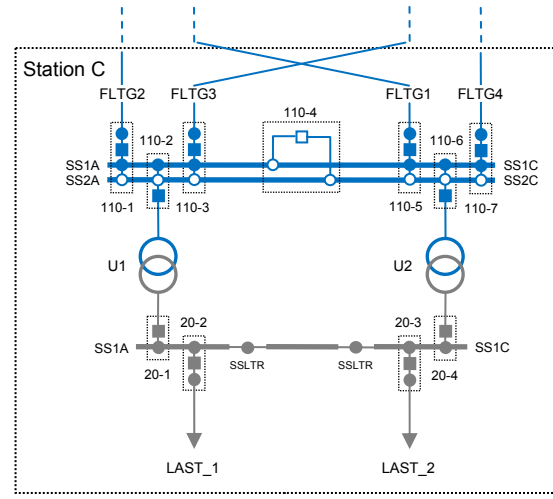


Abb.: 8 DSS_DS/1S-1S



DSS_2S-1S

- Doppelsammelschiene-Doppelstich/ein- zweischleifige Einbindung (gekuppelter Betrieb)

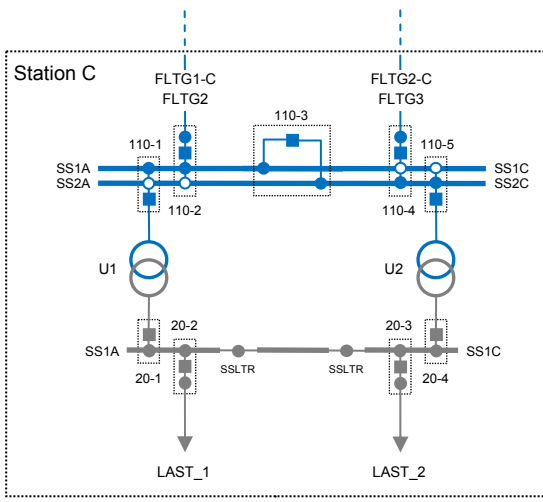
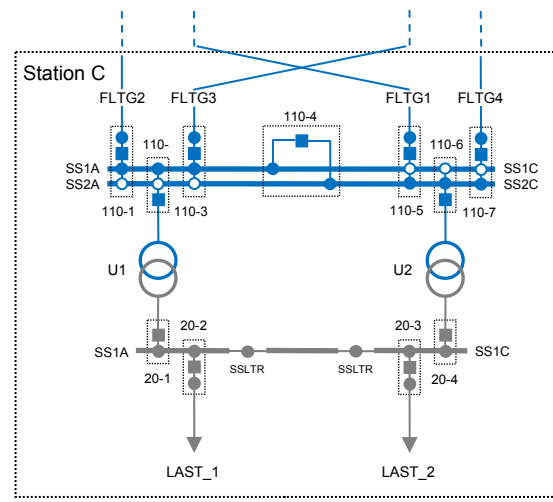


Abb.: 9 DSS_DS/1S-2S



DSS_2S-2S

- Ringsammelschiene-Doppelstich/ein- zweischleifige Einbindung

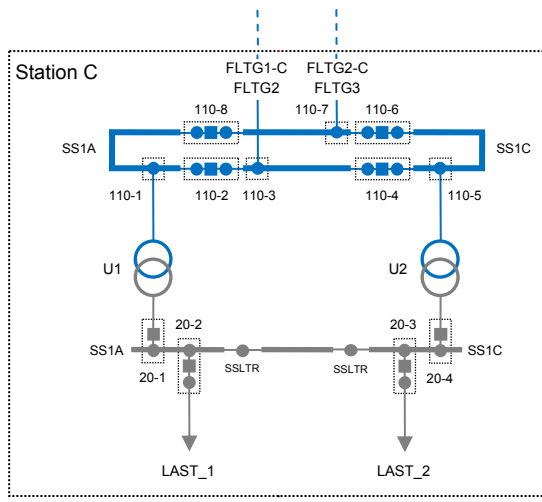
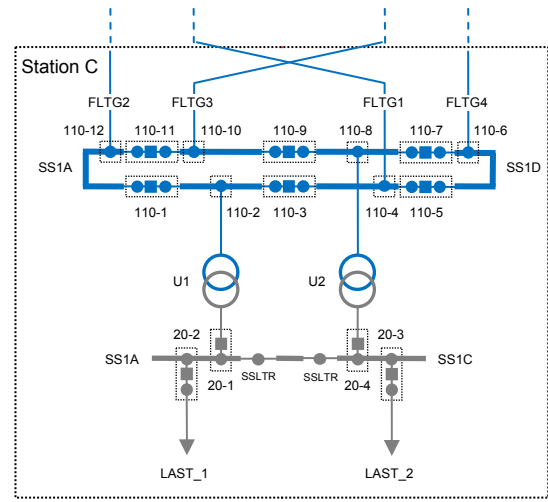


Abb.: 10 RSS_DS/1S



RSS_2S

Legende:

- 110kV Sammelschiene
- 20kV Sammelschiene
- 110kV LS (geschlossen)
- 110kV Trenner (geschlossen)
- 110kV LS (offen)
- 110kV Trenner (offen)
- 110-6
 Schaltfeld
- ↓ 20kV Lastabgang

2 Zuverlässigkeitsberechnung

2.1 Einstellungen

- Netzzustandsanalyse: Reine Strukturanalyse, kein AC Lastfluss
- Dauer für automatische Umschaltmaßnahmen: 10 min. (für Wiederversorgung)
- Kein Lastabwurf bei Unterspannung
- Keine Teilversorgung der Lasten möglich
- Keine unterschiedlichen Lastprioritäten für Wiederversorgung
- Sammelschienenschutz: Differentialschutz
- Lastganglinien wurden nicht berücksichtigt
- Sämtliche Betriebsmittel der 20kV Schaltanlage sind „zuverlässigkeitsmäßig“ ideal
- Verteilter Slack: 50% an Station A, 50% an Station B
- Netznennspannung: $U_N = 110\text{kV}$
- Nachfolgende Ausfallmodelle wurden berücksichtigt:
 - Unabhängiger Einfachausfall, kurz (EAKurz)
 - Unabhängiger Einfachausfall, lang (EAlang)
 - Handabschaltung, verzögert (HAv.) – Wartung
 - Handabschaltung, unverzüglich (HAunv.) – nur bei Freileitungen berücksichtigt!
 - Common-Mode-Ausfall (CM)
 - Einpoliger Erdschluss (1p.ES)
 - Ungeplantes Schalteröffnen (USÖ)
 - Unabhängige Mehrfachausfälle (UMA)
 - Unabhängiger Einfachausfall + Handabschaltung (EA + HA)
 - Unabhängiger Einfachausfall + einpoliger Erdschluss (EA + 1p.ES)
 - Unabhängiger Einfachausfall + Schutzversager (EA + SV)
 - Unabhängiger Einfachausfall + Schutzüberfunktion (EA + SÜ)

2.2 Angenommene Parameter

2.2.1 Freileitung

Seilquerschnitt: Al/St 240/40mm²

$$R'_1 = 0,1133 \Omega/\text{km}$$

$$X'_1 = 0,3716 \Omega/\text{km}$$

$$C'_1 = 9,47 \text{ nF}/\text{km}$$

$$I_{\text{max}} = 665\text{A}$$

} Werte haben bei der reinen Strukturanalyse keine Relevanz!

2.2.2 Umspanner

$$U_{N1} = 110\text{kV}$$

$$U_{N2} = 20\text{kV}$$

$$S_r = 40\text{MVA}$$

2.2.3 Lasten

$$P_{\text{LAST1}} = P_{\text{LAST2}} = 10\text{MW}$$

$$\cos(\varphi) = 0,9$$

2.3 Zuverlässigkeitskennwerte

Den Schaltgeräten wurden Zuverlässigkeitskennwerte der VDN Störungsstatistik zugewiesen [VDN]. Häufigkeiten und Dauern für Wartungsabschaltungen wurden angenommen.

2.3.1 Freileitung

$H_{EA_kurz_FLTG_110kV} = 0,00675 \text{ 1/(km * a)}$	... VDN Wert
$T_{EA_kurz_FLTG_110kV} = 0,919 \text{ h}$	
$H_{EA_lang_FLTG_110kV} = 0,00044 \text{ 1/(km * a)}$	... Wert laut Auswertung TU Wien
$T_{EA_lang_FLTG_110kV} = 27,46 \text{ h}$	
$H_{HA_ver_FLTG_110kV} = 0,1 \text{ 1/(km * a)}$	... Wert angenommen
$T_{HA_ver_FLTG_110kV} = 10 \text{ h}$	
$H_{HA_unv_FLTG_110kV} = 0,000519 \text{ 1/(km * a)}$	... VDN Wert
$T_{HA_unv_FLTG_110kV} = 3,69 \text{ h}$	
$H_{1p.ES_FLTG_110kV} = 0,000607 \text{ 1/(km * a)}$	... VDN Wert
$T_{1p.ES_FLTG_110kV} = 12 \text{ h}$	... Wert angenommen
$H_{CM_kurz_FLTG_110kV} = 0,000866 \text{ 1/(km * a)}$	... VDN Wert
$T_{CM_kurz_FLTG_110kV} = 3,334 \text{ h}$	

2.3.2 Umspanner

$H_{EA_kurz_UM_110/20kV} = 0,001387 \text{ 1/a}$	... VDN Wert
$T_{EA_kurz_UM_110/20kV} = 0,05 \text{ h}$	
$H_{EA_lang_UM_110/20kV} = 0,004756 \text{ 1/a}$	... VDN Wert
$T_{EA_lang_UM_110/20kV} = 8,87 \text{ h}$	
$H_{HA_ver_UM_110/20kV} = 0,5 \text{ 1/a}$	... Wert angenommen
$T_{HA_ver_UM_110/20kV} = 32 \text{ h}$	
$H_{HA_unv_UM_110/20kV} =$	... nicht berücksichtigt
$T_{HA_unv_UM_110/20kV} =$	
$H_{1p.ES_UM_110/20kV} = 0,000976 \text{ 1/a}$	... VDN Wert
$T_{1p.ES_UM_110/20kV} = 36 \text{ h}$	... Wert angenommen

2.3.3 Sammelschiene

$H_{EA_kurz_SS_110kV} = 0,000489 \text{ 1/a}$	... VDN Wert
$T_{EA_kurz_SS_110kV} = 0,45 \text{ h}$	
$H_{EA_lang_SS_110kV} = 0,001165 \text{ 1/a}$	... VDN Wert (220kV Wert)
$T_{EA_lang_SS_110kV} = 8,06$	
$H_{HA_ver_SS_110kV} = 0,2 \text{ 1/a}$	... Wert angenommen
$T_{HA_ver_SS_110kV} = 3 \text{ h}$	... 3h je Schaltfeld!!
$H_{HA_unv_SS_110kV} =$	... nicht berücksichtigt
$T_{HA_unv_SS_110kV} =$	
$H_{1p.ES_SS_110kV} = 0,000425 \text{ 1/a}$	... VDN Wert
$T_{1p.ES_SS_110kV} = 8 \text{ h}$	... Wert angenommen

2.3.4 Sammelschienentrenner

$H_{EA_kurz_TR-SS_110kV} = 0,000026 \text{ 1/a}$	... VDN Wert
$T_{EA_kurz_TR-SS_110kV} = 0,16 \text{ h}$	
$H_{EA_lang_TR-SS_110kV} = 0,000044 \text{ 1/a}$	... VDN Wert
$T_{EA_lang_TR-SS_110kV} = 3,7 \text{ h}$	
$H_{HA_ver_TR-SS_110kV} =$	... Wartung des Sammelschienentrenners
$T_{HA_ver_TR-SS_110kV} =$	erfolgt gemeinsam mit der Sammelschiene
$H_{HA_unv_TR-SS_110kV} =$	... nicht berücksichtigt
$T_{HA_unv_TR-SS_110kV} =$	
$H_{1p.ES_TR-SS_110kV} = 0,000043 \text{ 1/a}$	... VDN Wert
$T_{1p.ES_TR-SS_110kV} = 6 \text{ h}$	... Wert angenommen

2.3.5 Abgangstrenner

$H_{EA_kurz_TR-AA_110kV} = 0,000032 \text{ 1/a}$	... VDN Wert
$T_{EA_kurz_TR-AA_110kV} = 0,09 \text{ h}$	
$H_{EA_lang_TR-AA_110kV} = 0,000132 \text{ 1/a}$	... VDN Wert
$T_{EA_lang_TR-AA_110kV} = 6,63 \text{ h}$	
$H_{HA_ver_TR-AA_110kV} = 0,266 \text{ 1/a}$	... Wartung erfolgt gemeinsam
$T_{HA_ver_TR-AA_110kV} = 20 \text{ h}$	mit dem Leistungsschalter
$H_{HA_unv_TR-AA_110kV} =$	... nicht berücksichtigt
$T_{HA_unv_TR-AA_110kV} =$	
$H_{1p.ES_TR-AA_110kV} = 0,000216 \text{ 1/a}$	... VDN Wert
$T_{1p.ES_TR-AA_110kV} = 6 \text{ h}$	... Wert angenommen

2.3.6 Leistungsschalter

$H_{EA_kurz_LS_110kV} = 0,000094 \text{ 1/a}$	... VDN Wert
$T_{EA_kurz_LS_110kV} = 1,18 \text{ h}$	
$H_{EA_lang_LS_110kV} = 0,00015 \text{ 1/a}$	... VDN Wert
$T_{EA_lang_LS_110kV} = 32,1 \text{ h}$	
$H_{HA_ver_LS_110kV} =$	... <i>Wartung erfolgt gemeinsam</i>
$T_{HA_ver_LS_110kV} =$	<i>mit dem Abgangstrenner</i>
$H_{HA_unv_LS_110kV} =$	... <i>nicht berücksichtigt</i>
$T_{HA_unv_LS_110kV} =$	
$H_{1p_ES_LS_110kV} = 0,000122 \text{ 1/a}$	... VDN Wert
$T_{1p_ES_LS_110kV} = 8 \text{ h}$	... Wert angenommen
$H_{US\ddot{O}_LS_110kV} = 0,0033 \text{ 1/a}$	... Wert angenommen
$T_{US\ddot{O}_LS_110kV} = 0,167 \text{ h}$	... <i>entspricht automatischer Umschaltzeit</i>
$p_{SV_LS_110kV} = 0,000418$	... <i>Addierte VDN Werte SVS + LVS</i>
$p_{S\ddot{U}_LS_110kV} = 0,004$	... <i>Aufgerundeter VDN Wert SUE</i>

Abkürzungen:

$p_{SV_LS_110kV}$... Bedingte Wahrscheinlichkeit für Schutzversager

$p_{S\ddot{U}_LS_110kV}$... Bedingte Wahrscheinlichkeit für Schutzüberfunktion

SVS ... Bedingte Wahrscheinlichkeit für Schutzversager

LVS ... Bedingte Wahrscheinlichkeit für Leistungsschalterversager

SUE ... Bedingte Wahrscheinlichkeit für Schutzüberfunktion

3 Ergebnisse der Zuverlässigkeitsberechnung

Nachfolgend werden die Auswirkungen der einzelnen Ausfallmodelle auf die Lasten in Station C gezeigt.

3.1 Ausfallmodelle bei Doppelstich-Einbindung

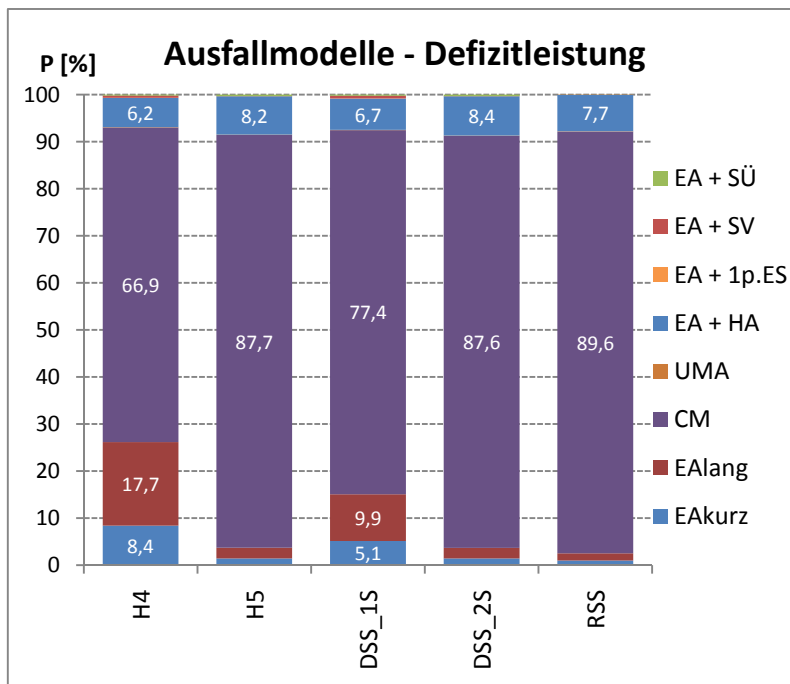


Abb.: 11 Vergleich – Defizitleistung - Doppelstich

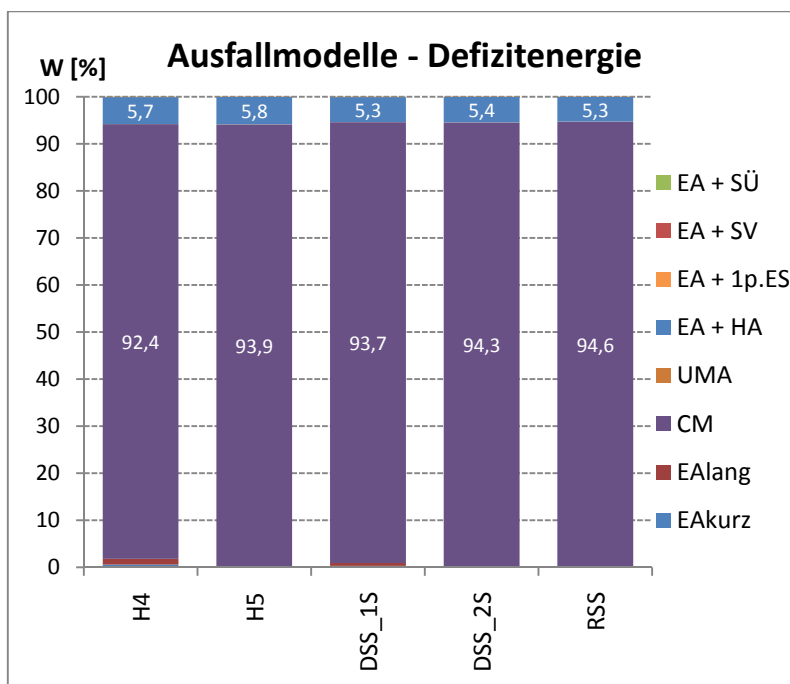


Abb.: 12 Vergleich – Defizitenergie - Doppelstich

3.2 Ausfallmodelle bei einschleifiger-Einbindung

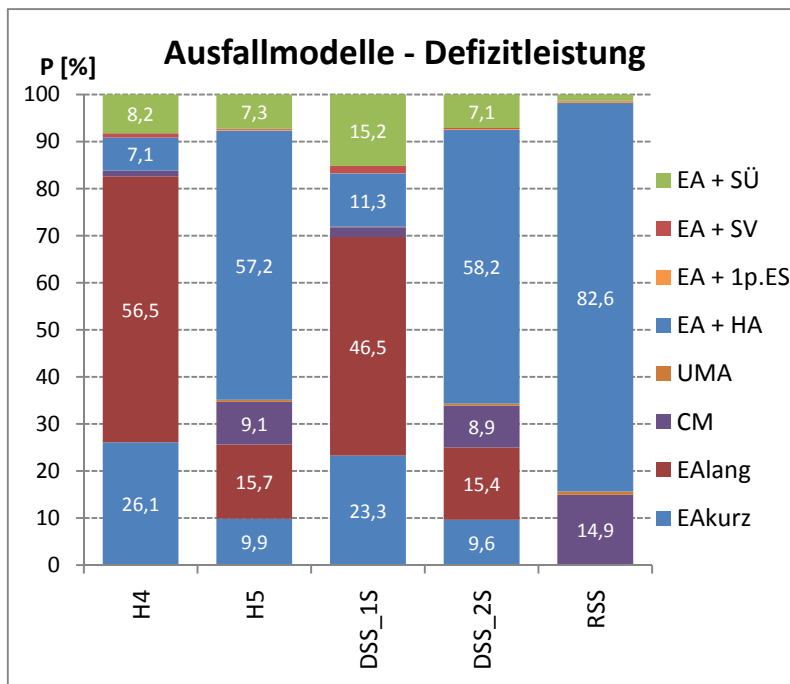


Abb.: 13 Vergleich – Defizitleistung – einschleifige Einbindung

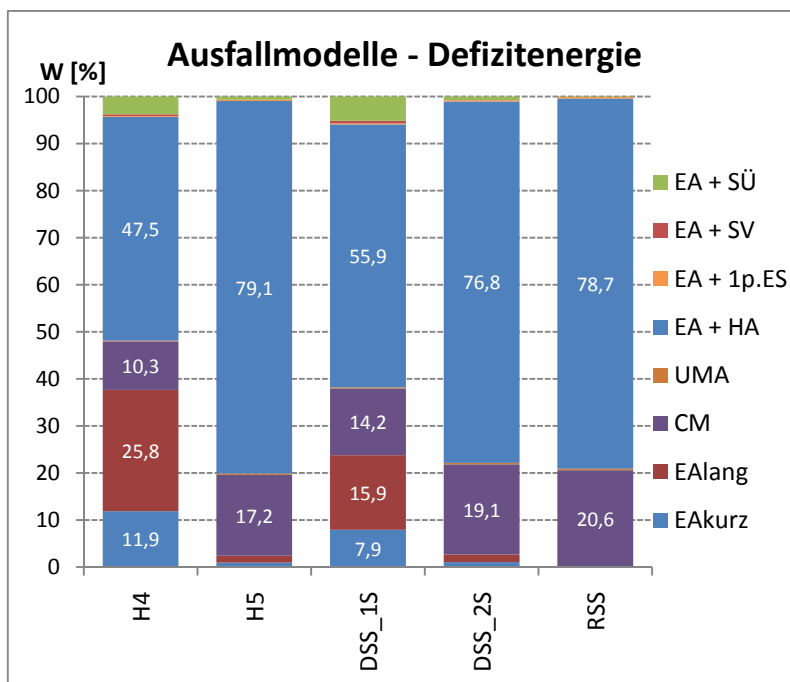


Abb.: 14 Vergleich – Defizitenergie – einschleifige Einbindung

3.3 Ausfallmodelle bei Zweischleifiger-Einbindung

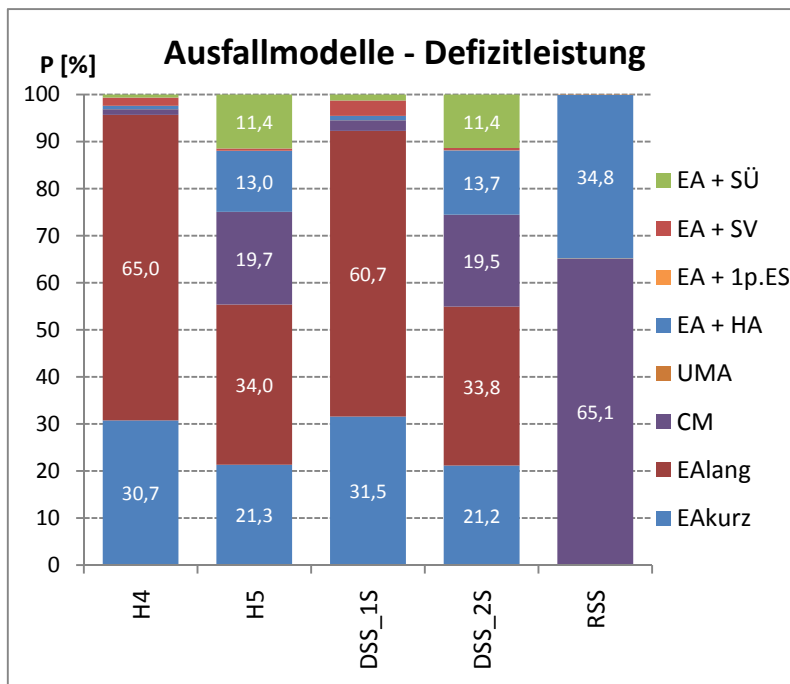


Abb.: 15 Vergleich – Defizitleistung – zweischleifige Einbindung

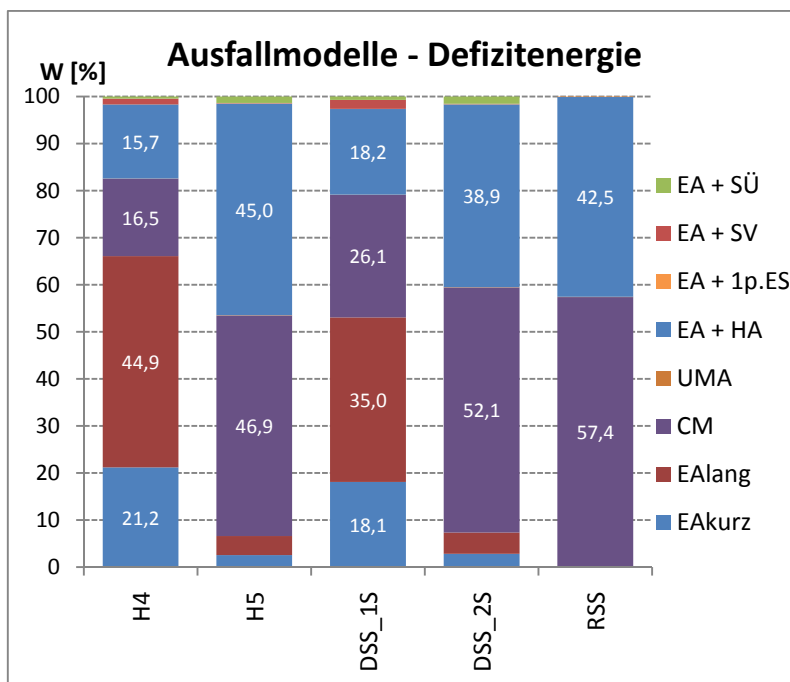


Abb.: 16 Vergleich – Defizitenergie – zweischleifige Einbindung

3.4 Lastkenngrößen

Vergleich Defizitleistung:

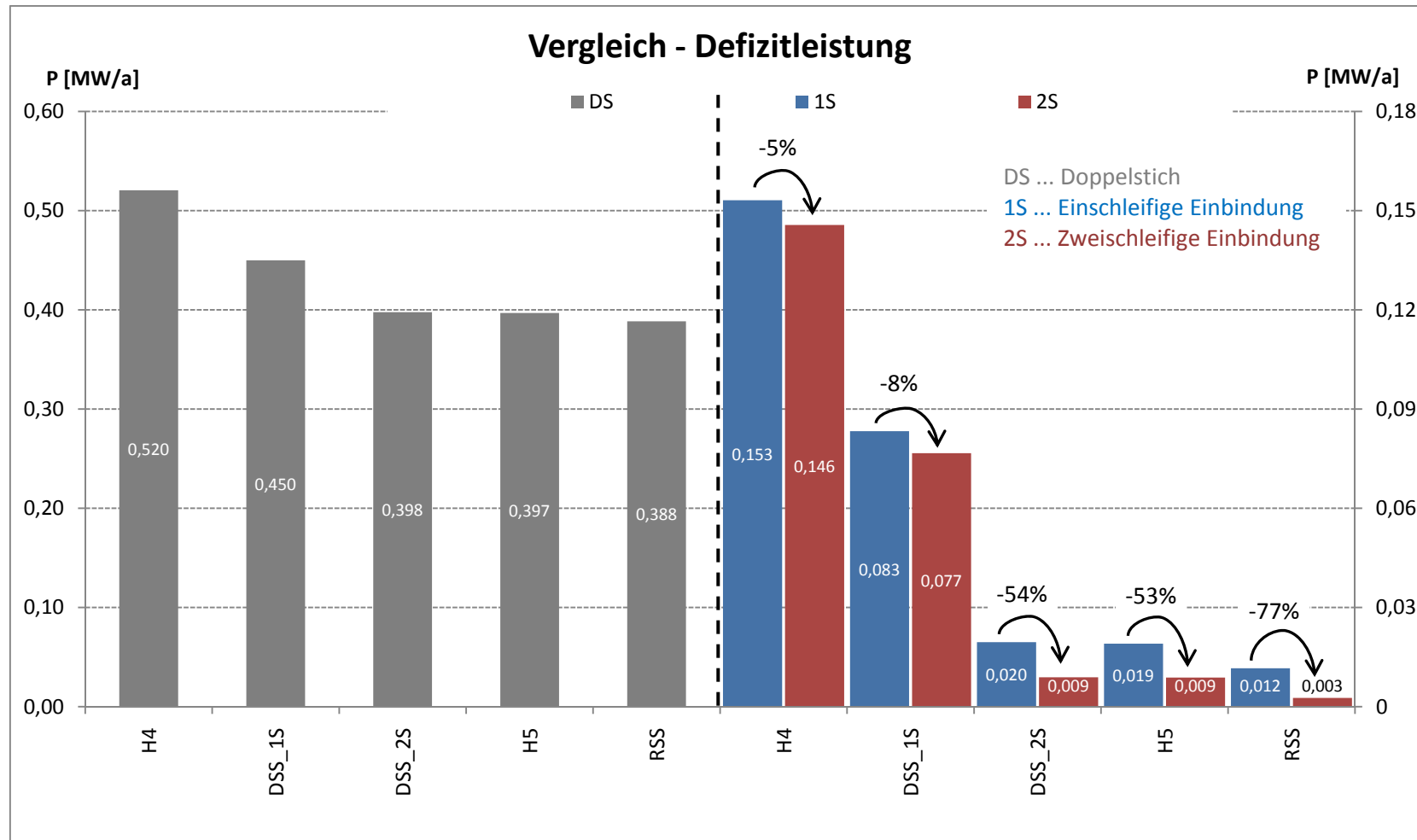


Abb.: 17 Vergleich – gesamte Defizitleistung der Last in Station C

Vergleich Defizitenergie:

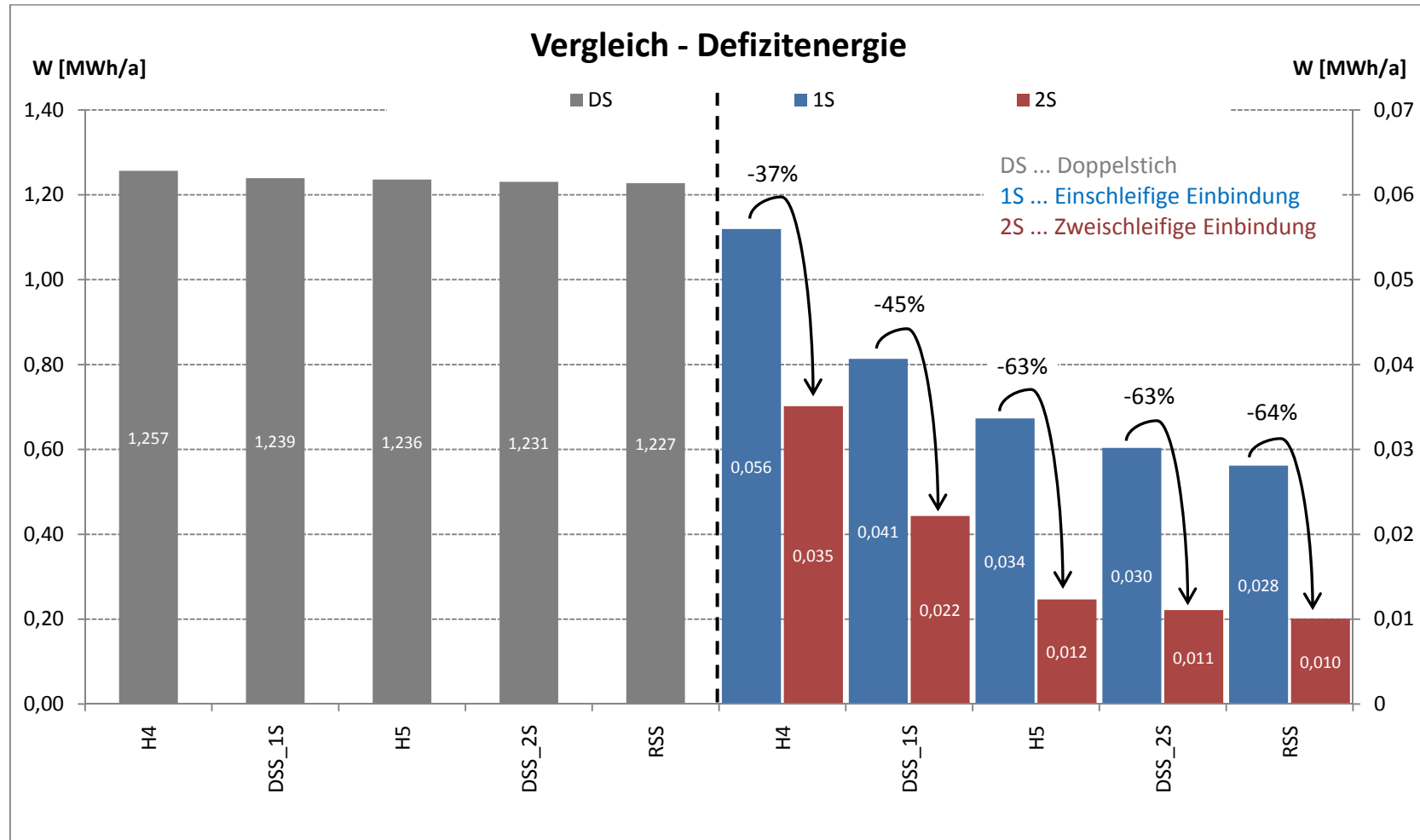


Abb.: 18 Vergleich – gesamte Defizitenergie der Last in Station C

4 Zusammenfassung

4.1 Ausfallmodelle

4.1.1 Doppelstich

Wie aus den Abb.: 11, Abb.: 12 ersichtlich, erweist sich der Common-Mode-Ausfall als das kritischste Ereignis, sowohl betreffend Defizitleistung, also auch punkto Defizitenergie.

Mehr als 66% der gesamten Defizitleistung wird bei sämtlichen Schaltanlagenkonzepten vom Common-Mode-Ausfall hervorgerufen!

Bei der Defizitenergie werden sogar über 92% bei sämtlichen Schaltanlagenkonzepten vom Common-Mode-Ausfall verursacht!

Das Schaltanlagenkonzept selbst spielt nur eine untergeordnete Rolle!

4.1.2 Einschleifige Einbindung

Wie aus den Abb.: 13, Abb.: 14 ersichtlich, geht der Einfluss des Common-Mode-Ausfall im Vergleich zur Doppelstich Einbindung stark zurück. Der Grund hierfür liegt in der für die Stationsanspeisung relevanten Common-Mode-Länge, welche sich von 20,1km auf lediglich 0,1km reduziert.

Bei der Defizitleistung wirken sich vorrangig die Ausfallmodelle:

- Unabhängiger Einfachausfall, kurz (EAKurz)
- Unabhängiger Einfachausfall, lang (EALang)
- Unabhängiger Einfachausfall + Handabschaltung (EA + HA)

mehr oder weniger stark auf die gesamte Defizitleistung aus. Beim Konzept der Ringsammelschiene gehen die Ausfallmodelle (EAKurz, EALang) nicht mehr ein, dadurch steigt der Einfluss des Common-Mode Ausfalls, bzw. der Einfluss des Ausfallmodells Unabhängiger Einfachausfall + Handabschaltung.

Bei der Defizitenergie wirken sich die Ausfallmodelle EAKurz, EALang lediglich bei den Konzepten H4 und DSS_1S entsprechend stark aus. Bei den verbleibenden Konzepten sind es vor allem die Ausfallmodelle Unabhängiger Einfachausfall + Handabschaltung, bzw. der Common-Mode Ausfall.

4.1.3 Zweischleifige Einbindung

Wie aus den Abb.: 15, Abb.: 16 ersichtlich, gehen beim Konzept der Ringsammelschiene die Ausfallmodelle (EAKurz, EALang) nicht mehr ein, dadurch steigt der Einfluss des Common-Mode Ausfalls, bzw. der Einfluss des Ausfallmodells Unabhängiger Einfachausfall + Handabschaltung.

Bei der Defizitleistung der verbleibenden Konzepte wirken sich vorrangig die Ausfallmodelle:

- Unabhängiger Einfachausfall, kurz (EAKurz)
- Unabhängiger Einfachausfall, lang (EALang)
- Unabhängiger Einfachausfall + Handabschaltung (EA + HA)

mehr oder weniger stark auf die gesamte Defizitleistung aus. Bei den Konzepten H4 und DSS_1S gehen die die Ausfallmodelle (EAKurz, EALang) sehr stark ein.

Bei der Defizitenergie wirken sich die Ausfallmodelle EAKurz, EALang lediglich bei den Konzepten H4 und DSS_1S entsprechend stark aus. Bei den verbleibenden Konzepten sind es vor allem die Ausfallmodelle Unabhängiger Einfachausfall + Handabschaltung, bzw. der Common-Mode Ausfall.

4.2 Zuverlässigkeitskennwerte der Lasten

4.2.1 Doppelstich

Wie aus den Abb.: 17, Abb.: 18 ersichtlich, zeigen sich bei den jeweiligen Konzepten punkto Defizitleistung nur geringe Unterschiede.

Reihung der Konzepte: (1 = bestes Konzept)

- 1 ... RSS
- 2 ... H5
- 3 ... DSS_2S
- 4 ... DSS_1S
- 5 ... H4

Betreffend der Defizitenergie zeigen sich de facto keine Unterschiede! Das Schaltanlagenkonzept spielt bei der Einbindungsart Doppelstich nur eine untergeordnete Rolle!

Reihung der Konzepte: (1 = bestes Konzept)

- 1 ... RSS
- 2 ... DSS_2S
- 3 ... H5
- 4 ... DSS_1S
- 5 ... H4

Die Ringsammelschiene erweist sich in beiden Fällen als das beste Konzept, sowie die H4 Schaltung als das schlechteste.

4.2.2 Einschleifige- Zweischleifige Einbindung

Wie aus den Abb.: 17, Abb.: 18 ersichtlich, reduziert sich die Defizitleistung bei sämtlichen Schaltanlagenkonzepten im Vergleich zur Doppelstich Einbindung stark:

Rückgang der Defizitleistung im Vergleich zur Doppelstich-Einbindung:

(Reihung: 1 = bestes Konzept)

<u>Einschleifige Einbindung</u>		<u>Zweischleifige Einbindung</u>	
1 ... RSS	- Faktor 32	1 ... RSS	- Faktor 129
2 ... H5	- Faktor 20	2 ... H5	- Faktor 44
3 ... DSS_2S	- Faktor 20	3 ... DSS_2S	- Faktor 44
4 ... DSS_1S	- Faktor 5	4 ... DSS_1S	- Faktor 5
5 ... H4	- Faktor 3	5 ... H4	- Faktor 3

Im Vergleich zwischen einschleifiger und zweischleifiger Einbindung zeigen sich ebenfalls teils deutliche Unterschiede:

Die Defizitleistung reduziert sich bei zweischleifiger Einbindung im Vergleich zu einschleifiger Einbindung wie folgt:

H4 ...	- 5%
H5 ...	- 53%
DSS_1S ...	- 8%
DSS_2S ...	- 54%
RSS ...	- 77%

Wie bereits bei der Defizitleistung, so ergeben sich auch bei der Defizitenergie Verbesserungen bei sämtlichen Schaltanlagenkonzepten im Vergleich zur Doppelstich Einbindung:

Rückgang der Defizitenergie im Vergleich zur Doppelstich-Einbindung:
(Reihung: 1 = bestes Konzept)

<u>Einschleifige Einbindung</u>	<u>Zweischleifige Einbindung</u>
1 ... RSS - Faktor 43	1 ... RSS - Faktor 122
2 ... DSS_2S - Faktor 41	2 ... DSS_2S - Faktor 111
3 ... H5 - Faktor 36	3 ... H5 - Faktor 103
4 ... DSS_1S - Faktor 30	4 ... DSS_1S - Faktor 56
5 ... H4 - Faktor 22	5 ... H4 - Faktor 35

Im Vergleich zwischen einschleifiger und zweischleifiger Einbindung zeigen sich ebenfalls teils deutliche Unterschiede:

Die Defizitenergie reduziert sich bei zweischleifiger Einbindung im Vergleich zu einschleifiger Einbindung wie folgt:

H4 ...	- 37%
H5 ...	- 63%
DSS_1S ...	- 45%
DSS_2S ...	- 63%
RSS ...	- 64%

5 Resümee

5.1 Netzeinbindung

Reihung der Varianten der Netzeinbindung (1 = beste Variante)

- 1 ... zweischleifige Einbindung
- 2 ... einschleifige Einbindung
- 3 ... Doppelstich Einbindung

Die Variante mittels Doppelstich stellt die am wenigsten geeignete Variante dar. Der Grund liegt in der Common-Mode Länge. Die Netzeinbindung der Station C mittels Einschleifung erweist sich als die beste Variante. Die Nachteile einer unsymmetrischeren Lastflussverteilung sowie erhöhte Netzverluste müssen dabei in Kauf genommen werden. Punkto Schutztechnik hingegen stellt die Netzeinbindung durch Einschleifung im Gegensatz zur Doppelstich Einbindung geringere Anforderungen.

5.2 Schaltanlagenkonzepte

Reihung der Konzepte punkto Defizitenergie (1 = bestes Konzept)

- 1 ... RSS
- 2 ... DSS_2S
- 3 ... H5
- 4 ... DSS_1S
- 5 ... H4

Die Ringsammelschiene erweist sich als das beste Konzept, gefolgt von der Doppelsammelschiene (gekuppelter Zweischienenbetrieb).

In der Praxis zeigt sich jedoch, dass das Konzept einer Ringsammelschiene im österreichischen 110kV Verteilnetz nie zur Anwendung kommt. Die Konzepte der H-Schaltung, sowie der Doppelsammelschiene sind jene, welche am meisten zum Einsatz kommen.

Literatur

[VDN] VDN Störungsstatistik – Berichtsjahre 1994 - 2001