

Netzverträglichkeit von Erdkabeln im gelöscht betriebenen 110-kV-Netz in Oberösterreich

Em.Univ. -Prof.Dipl. -Ing. Dr.techn. Lothar Fickert



28. November 2018

Grundsätzliches

Grundsätzliches

Wahrheit

Neutralität

Objektivität

Diese Betrachtungen basieren auf dem Stand der Technik.

Inhalt

- **Netzausbau: Zielsetzung und Grundlagen**
- **Betriebsarten von 110-kV-Netzen**
- **Die Oberschwingungen im Erdschlussstrom**
- **Reststrom und Löschgrenze**
- **Erdungsanlagen**
- **Auswirkung der Teilnetzbildung entsprechend Masterplan**
- **Spannungsqualität bei „starrer Erdung“**

Netzausbau: Zielsetzung und Grundlagen

Netzausbau: Zielsetzung und Grundlagen

- **Netztechnik und technischer Netzbetrieb**
- **Elektrische Energie in Wirtschaftsprozessen**
- **Höhere Transportanforderungen**
- **neue 110-kV-Leitungsverbindungen**
- **Kurze städtische Leitungsverbindungen oder Leitungsverbindungen in ökologisch sensiblen Bereichen □ → Kabel**
- **längere Strecken → Freileitungen als Mittel der Wahl**

Netzausbau: Zielsetzung und Grundlagen

- **Netztechnik und technischer Netzbetrieb**
- **Elektrische Energie in Wirtschaftsprozessen**
- **Höhere Transportanforderungen**
- **neue 110-kV-Leitungsverbindungen**
- **Kurze städtische Leitungsverbindungen oder Leitungsverbindungen in ökologisch sensiblen Bereichen □ → Kabel**
- **längere Strecken → Freileitungen als Mittel der Wahl**

Betriebsarten von 110-kV-Netzen

Betriebsarten von 110-kV-Netzen

Normalbetrieb

- **Genug Stromtransportfähigkeit**
- **Geringe Spannungsverluste**
- **Zuverlässigkeit**

Betriebsarten von 110-kV-Netzen

Normalbetrieb

- **Genug Stromtransportfähigkeit**
- **Geringe Spannungsverluste**
- **Zuverlässigkeit**

Gestörter Betrieb

- **Resilienz bei Störungen**
- **Rasche Reparierbarkeit**

Betriebsarten von 110-kV-Netzen



Betriebsarten von 110-kV-Netzen



Betriebsarten von 110-kV-Netzen



Betriebsarten von 110-kV-Netzen



Betriebsarten von 110-kV-Netzen

**Mehrpolige Fehler: Stromkreis schließt sich über
„richtige“ Leiter**



**Einpolige Fehler: Stromkreis schließt sich über Erde
aber **wo und wie?****

Betriebsarten von 110-kV-Netzen



Betriebsarten von 110-kV-Netzen



Betriebsarten von 110-kV-Netzen



Betriebsarten von 110-kV-Netzen



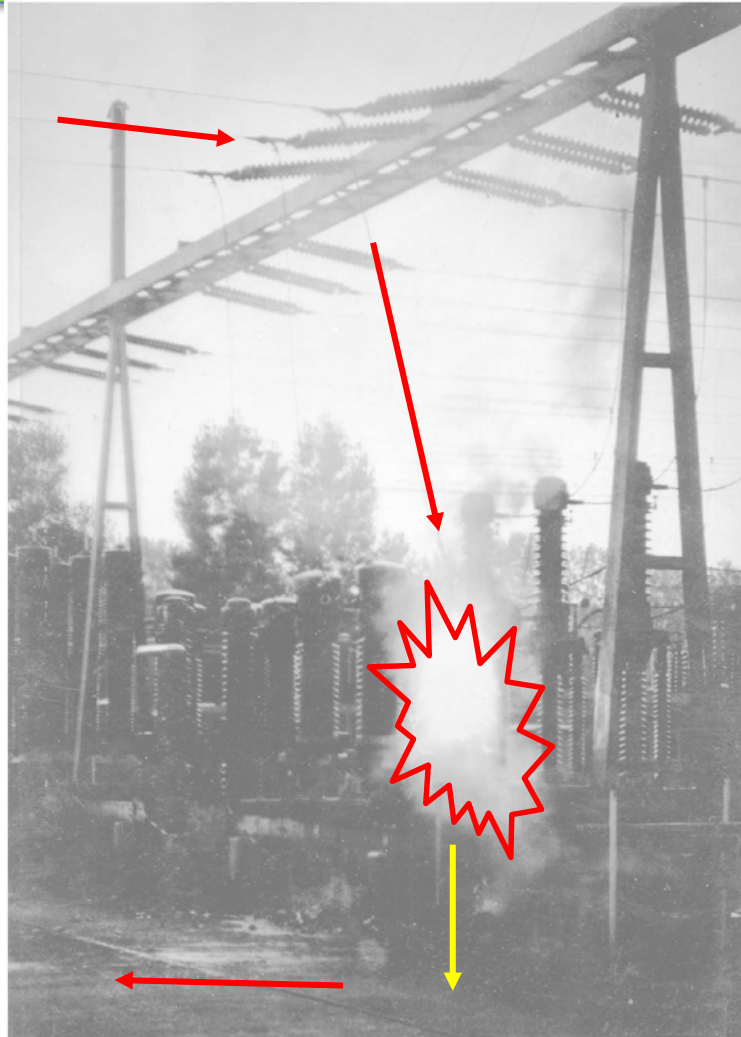
Betriebsarten von 110-kV-Netzen



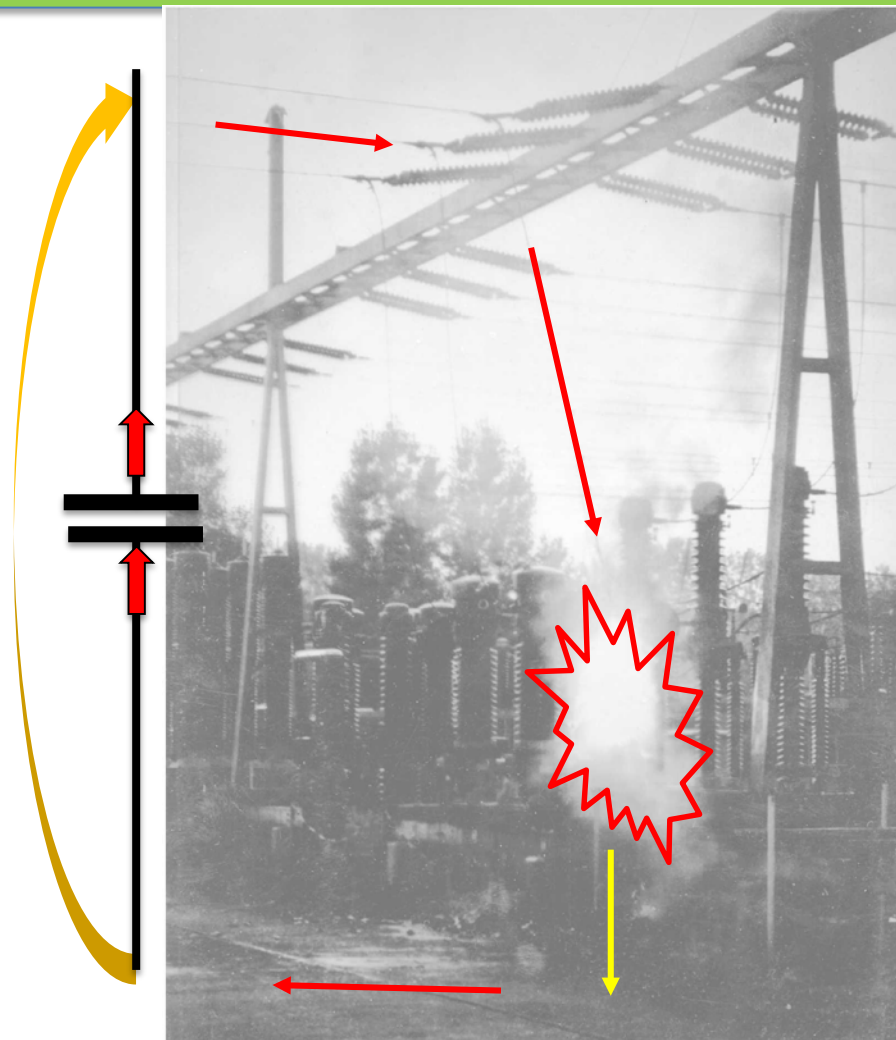
Betriebsarten von 110-kV-Netzen



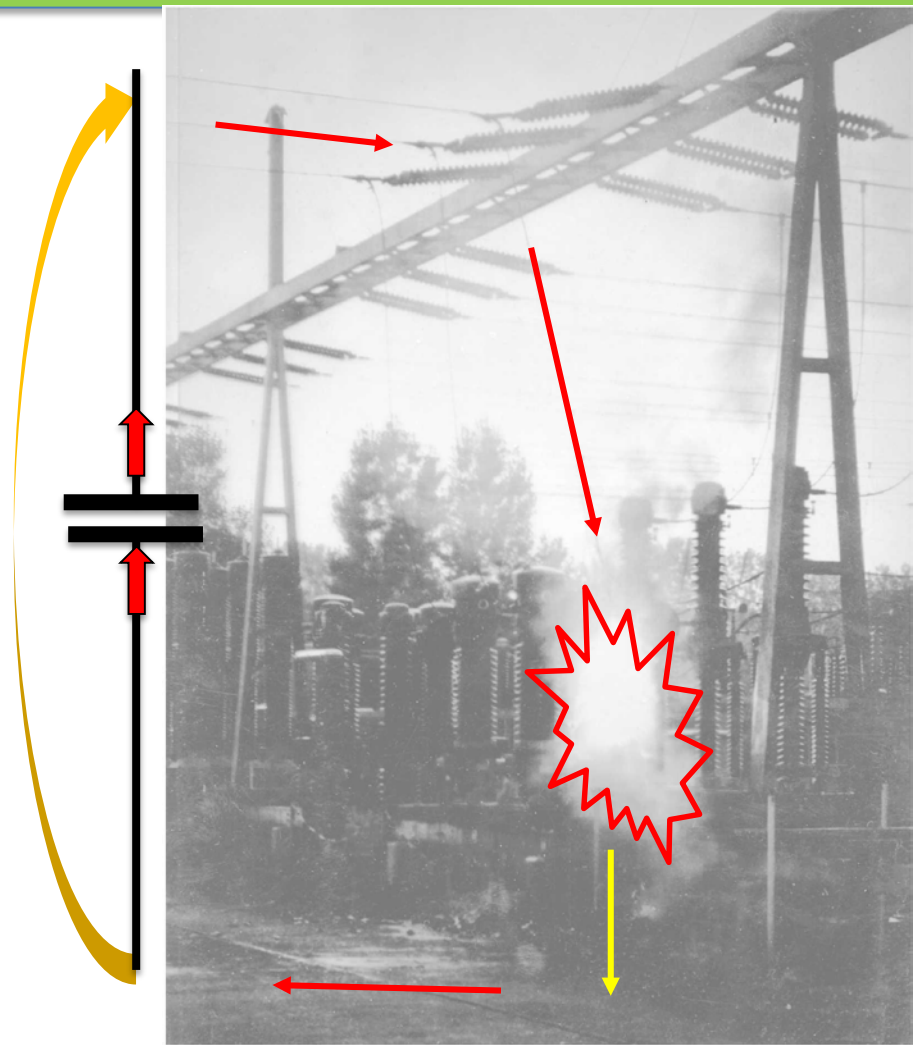
Betriebsarten von 110-kV-Netzen



Betriebsarten von 110-kV-Netzen



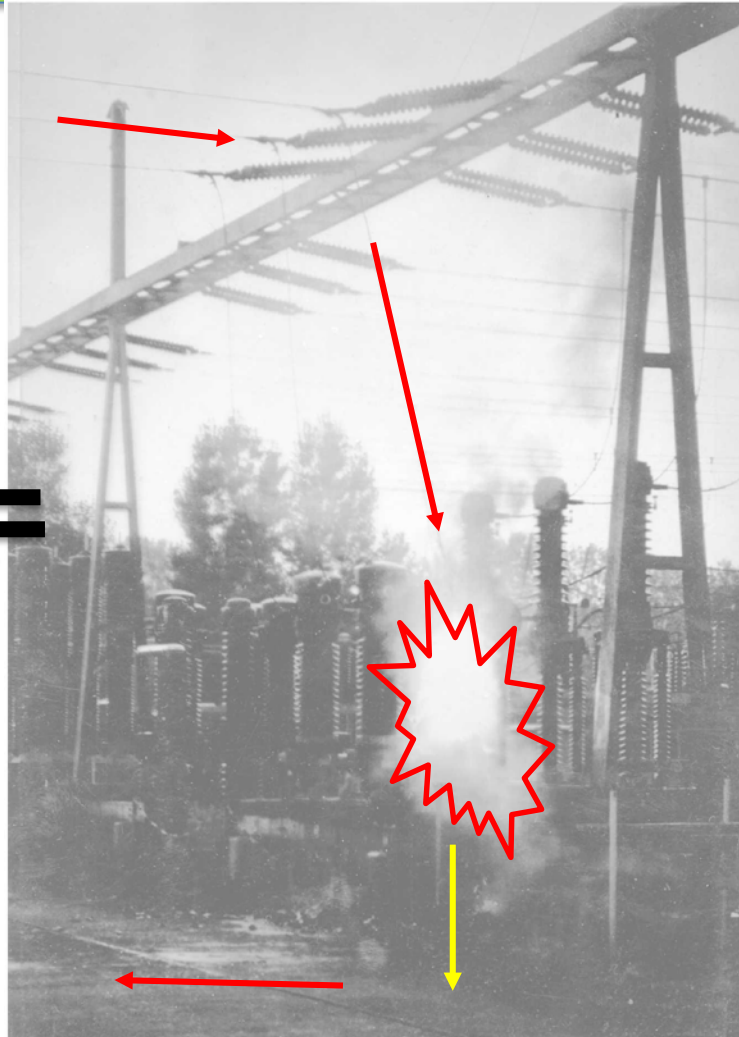
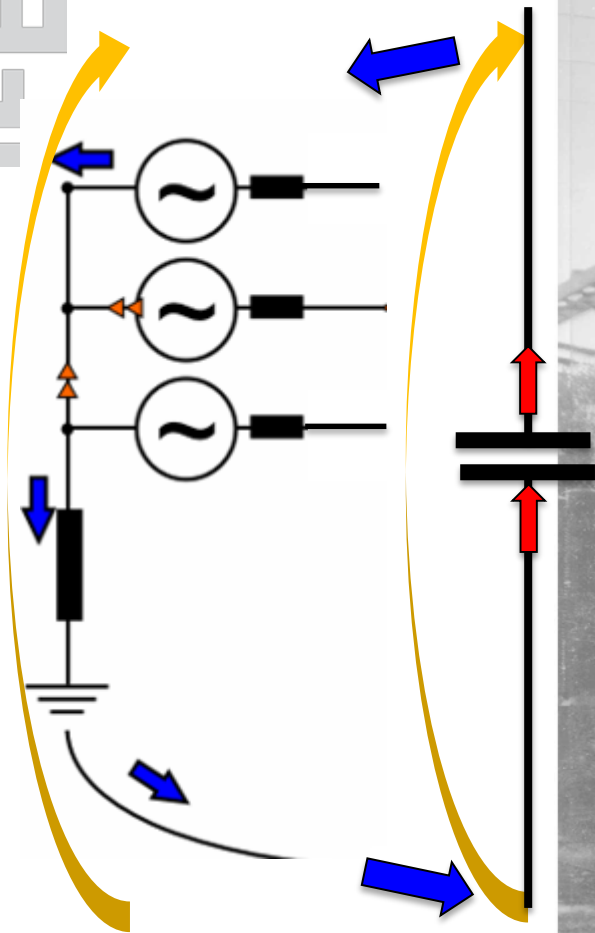
Betriebsarten von 110-kV-Netzen



Erde-Leiter-Kapazitäten

 +1400 Amp

Betriebsarten von 110-kV-Netzen

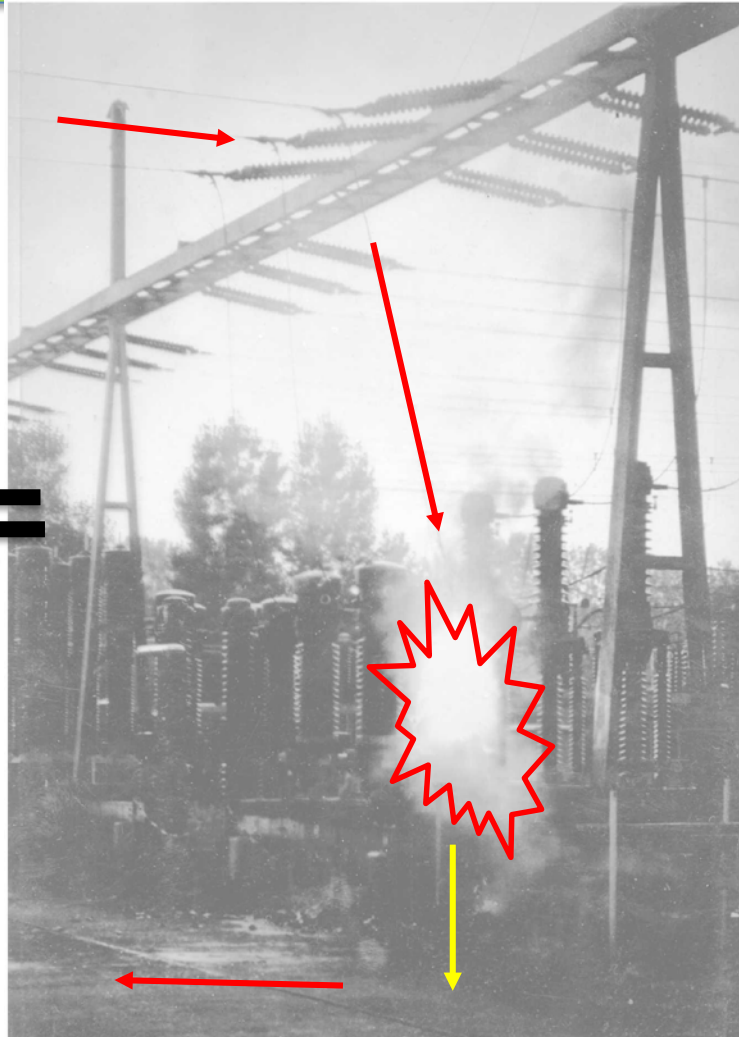
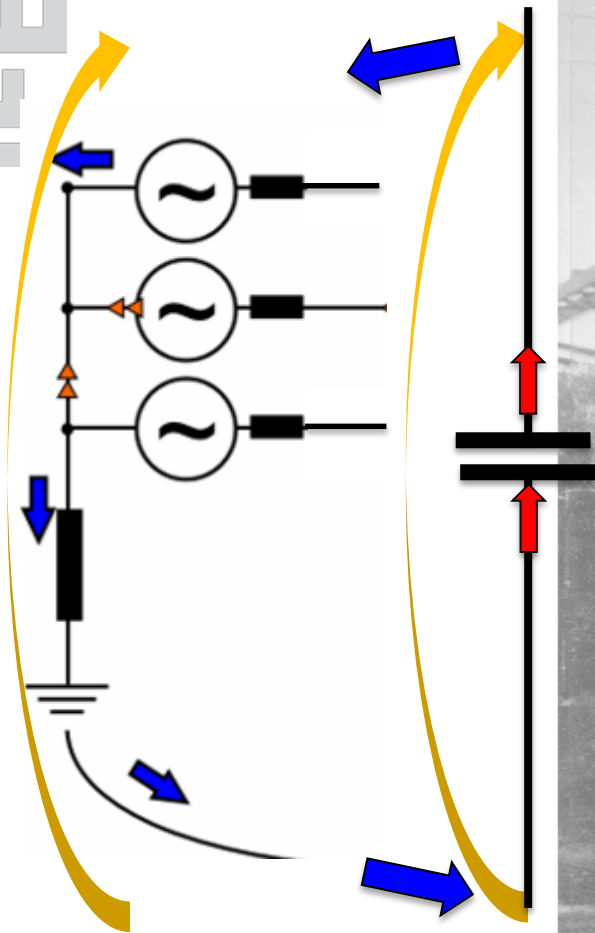


Erde-Leiter-Kapazitäten

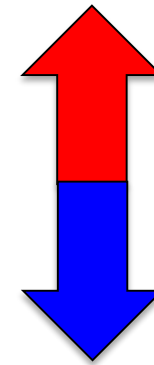


+1400 Amp

Betriebsarten von 110-kV-Netzen



Erde-Leiter-Kapazitäten

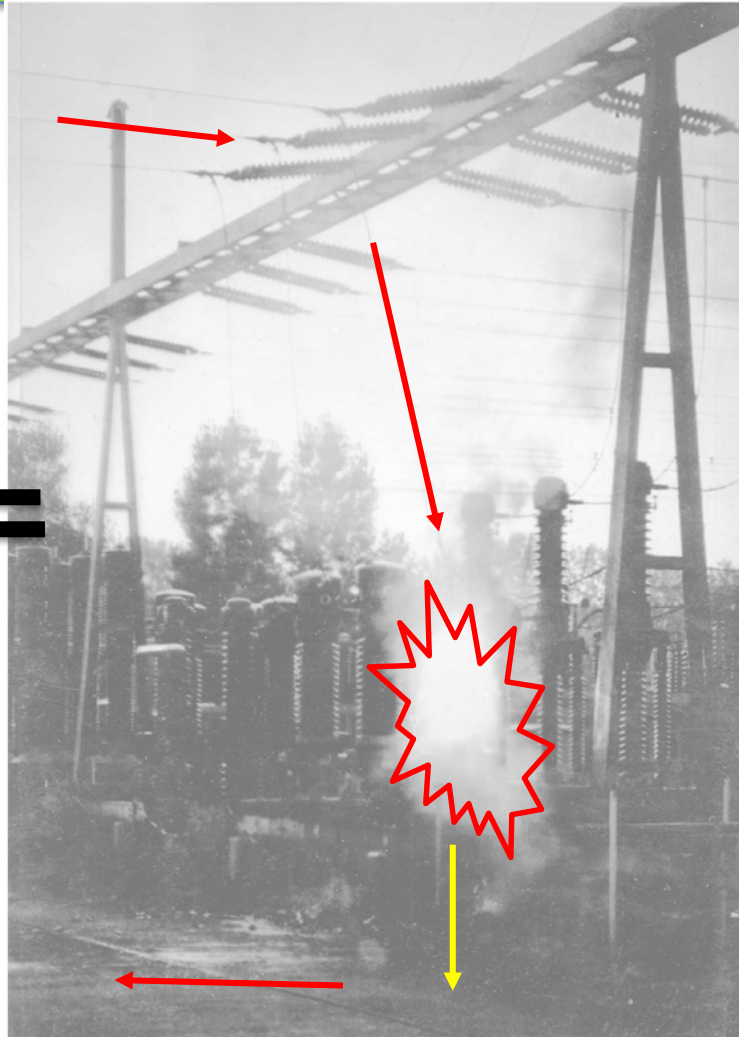
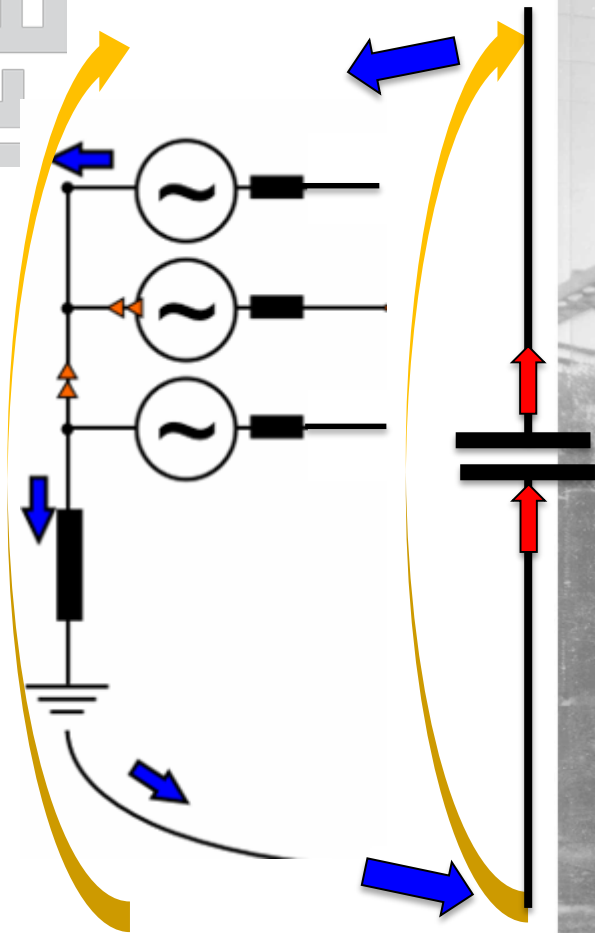


+1400 Amp

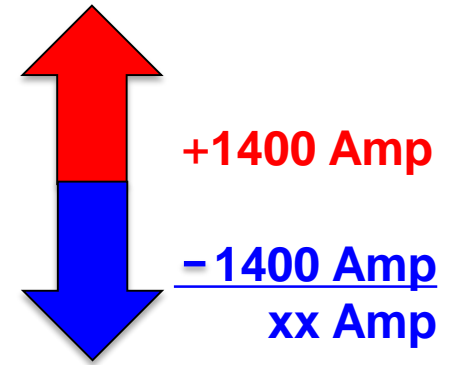
-1400 Amp

Löschspulen

Betriebsarten von 110-kV-Netzen



Erde-Leiter-Kapazitäten



Löschspulen

Betriebsarten von 110-kV-Netzen

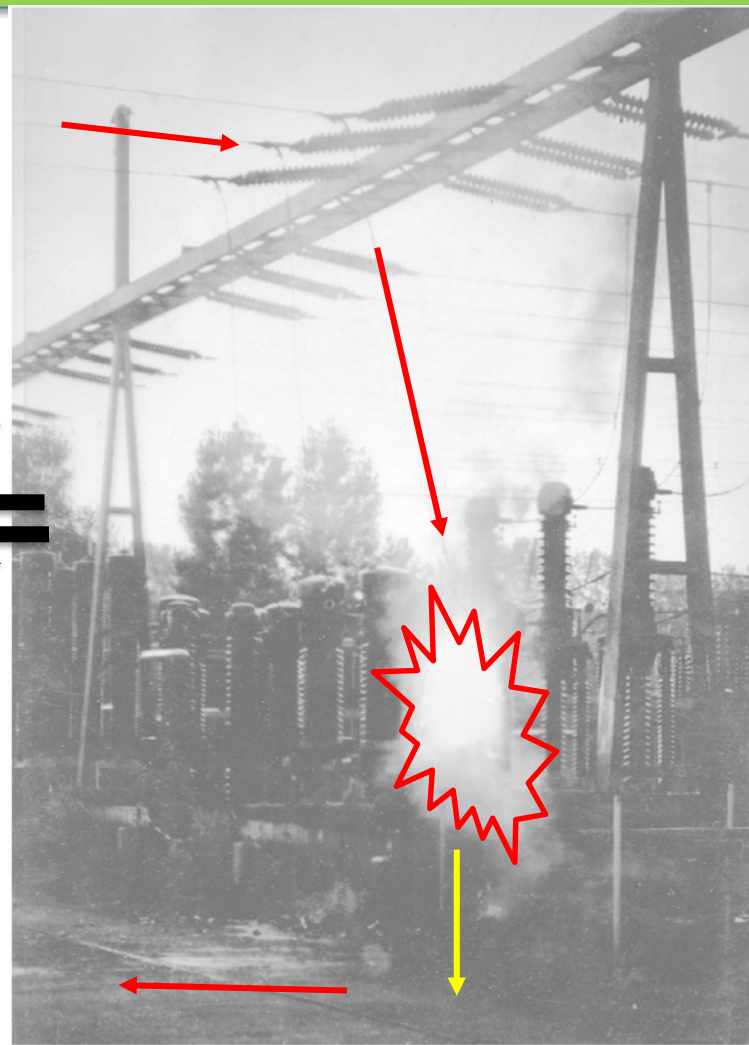
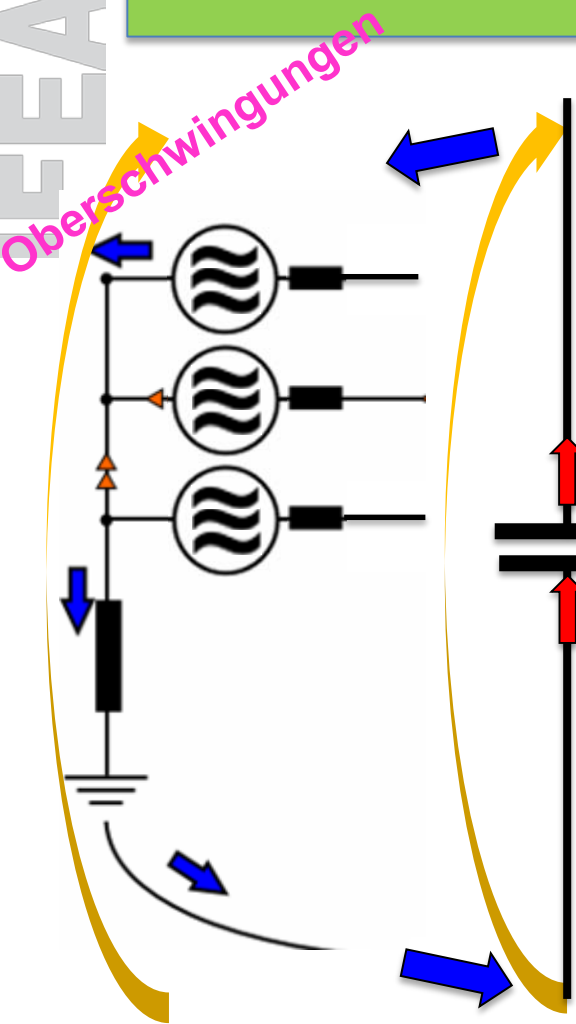


Quelle: Brakelmann,
Möglichkeiten von 110-kV-Kabeltrassen im Mühlviertel

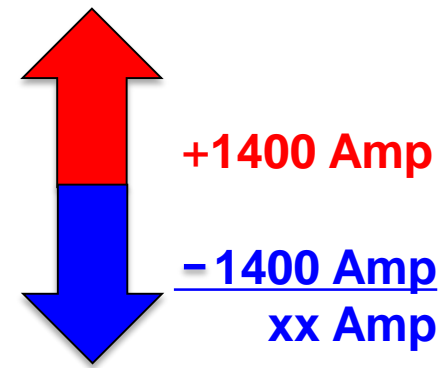
Kapazitive Ströme / Löschstrombedarf
Doppelsystem
1 km Kabel = 58 km Freileitung

Die Oberschwingungen im Erdschlussstrom

Die Oberschwingungen im Erdschlussstrom

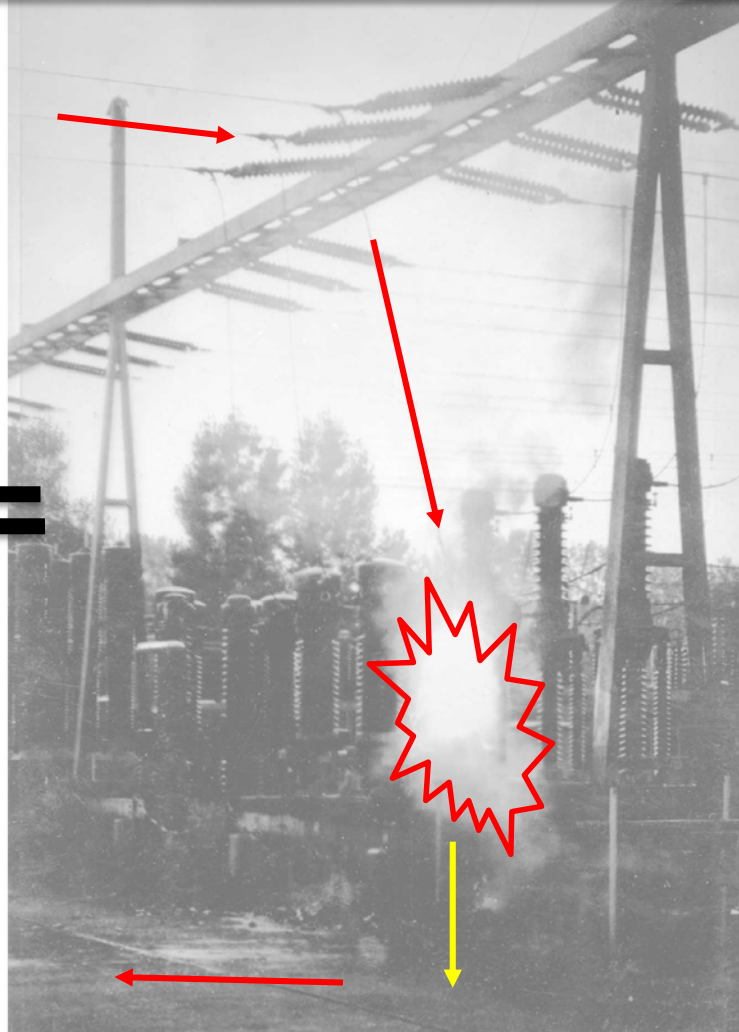
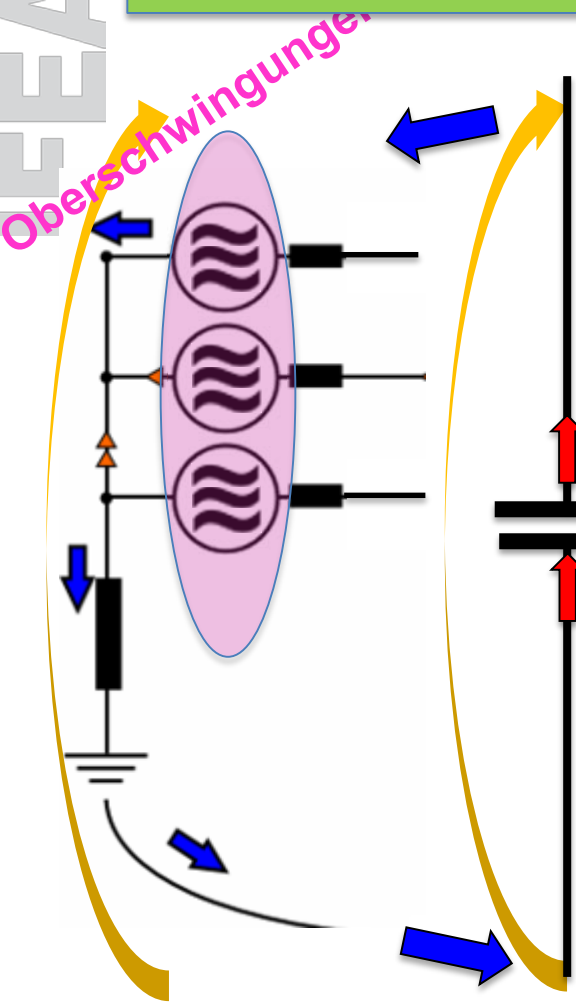


Erde-Leiter-Kapazitäten

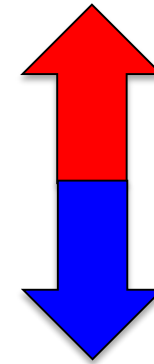


Löschspulen

Die Oberschwingungen im Erdschlussstrom



Erde-Leiter-Kapazitäten
Oberschwingungen



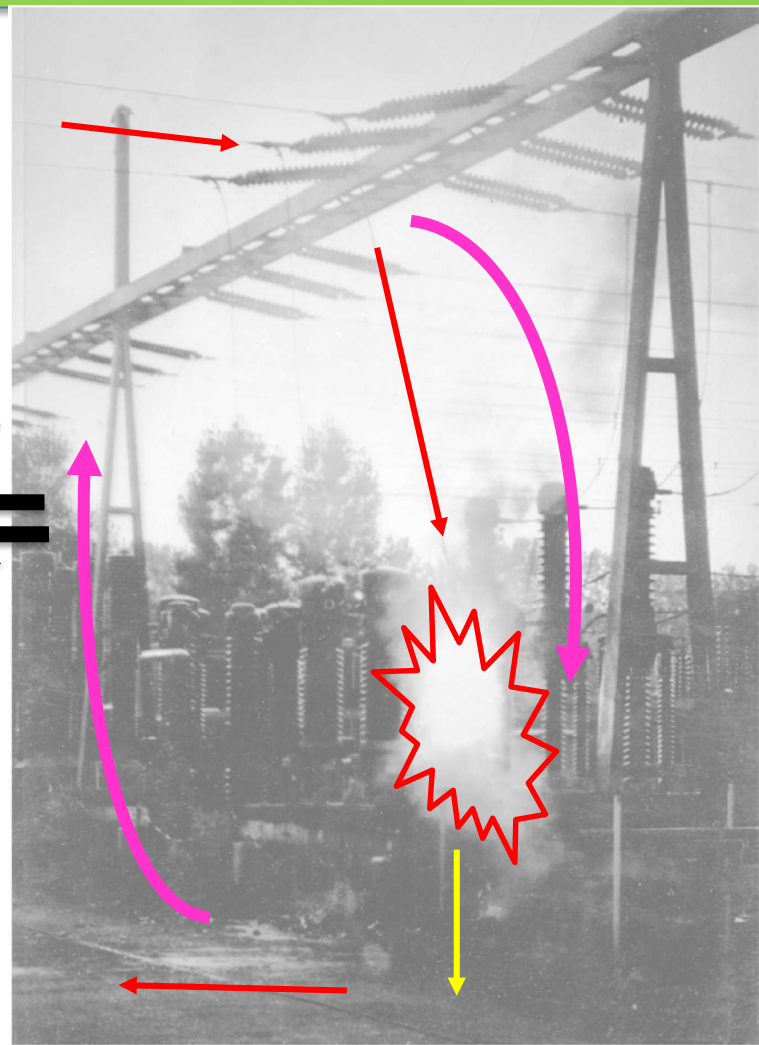
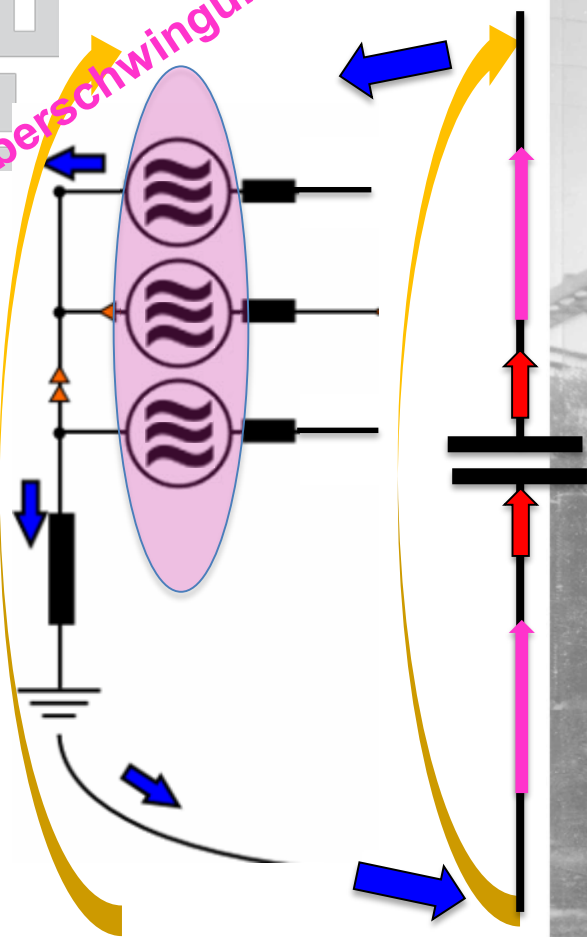
+1400 Amp

- 1400 Amp
xx Amp

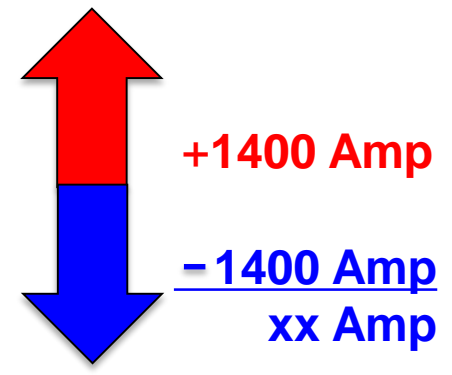
Löschspulen

Die Oberschwingungen im Erdschlussstrom

Oberschwingungen



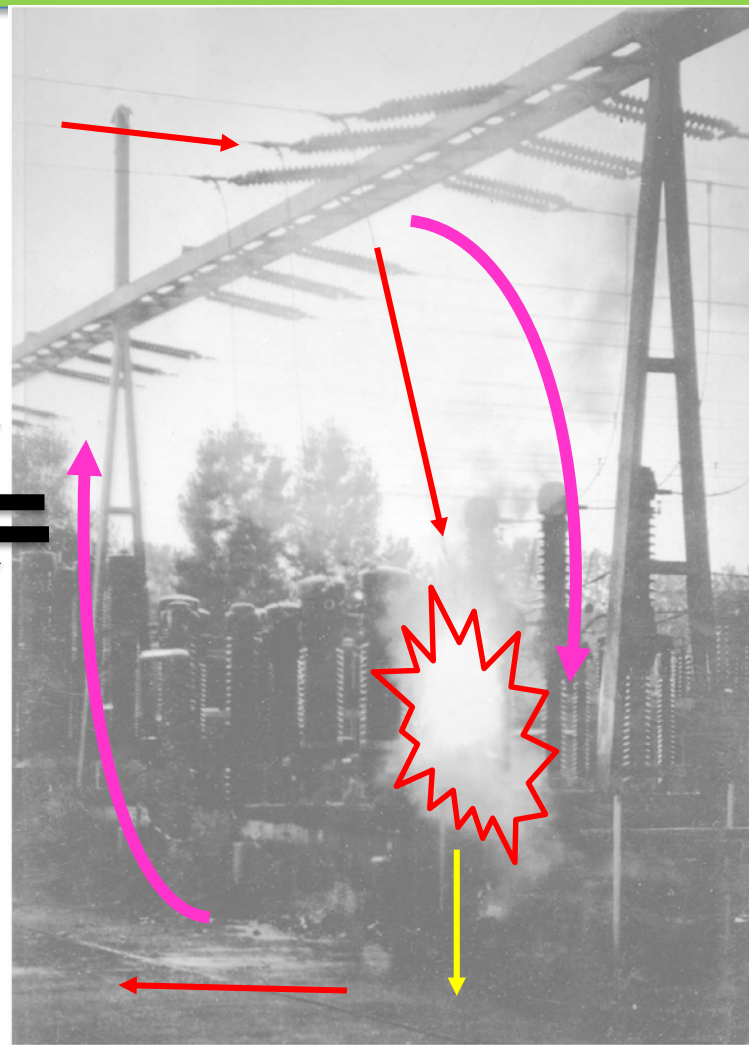
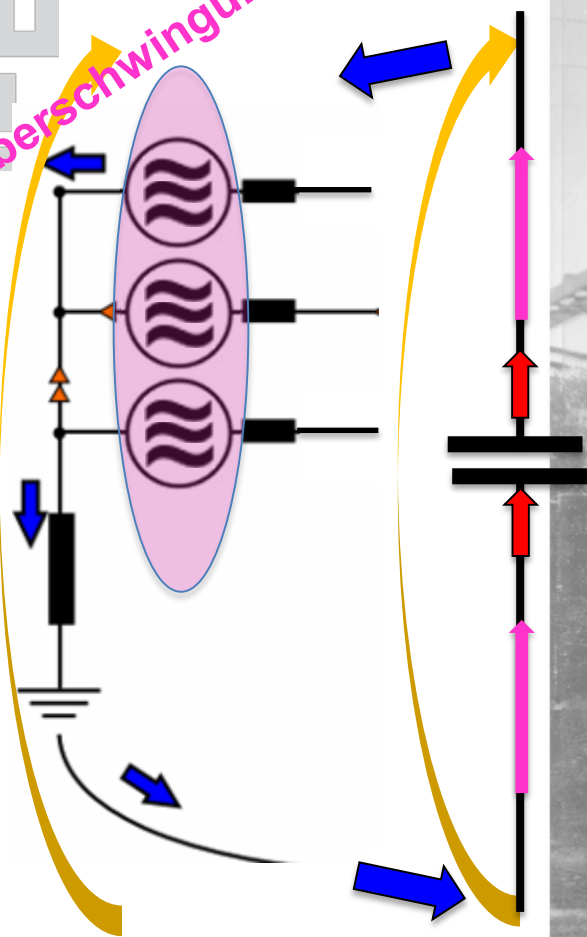
Erde-Leiter-Kapazitäten



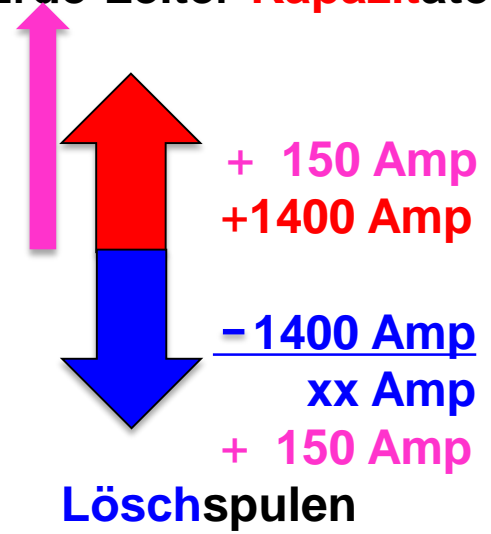
Löschspulen

Die Oberschwingungen im Erdschlussstrom

Oberschwingungen

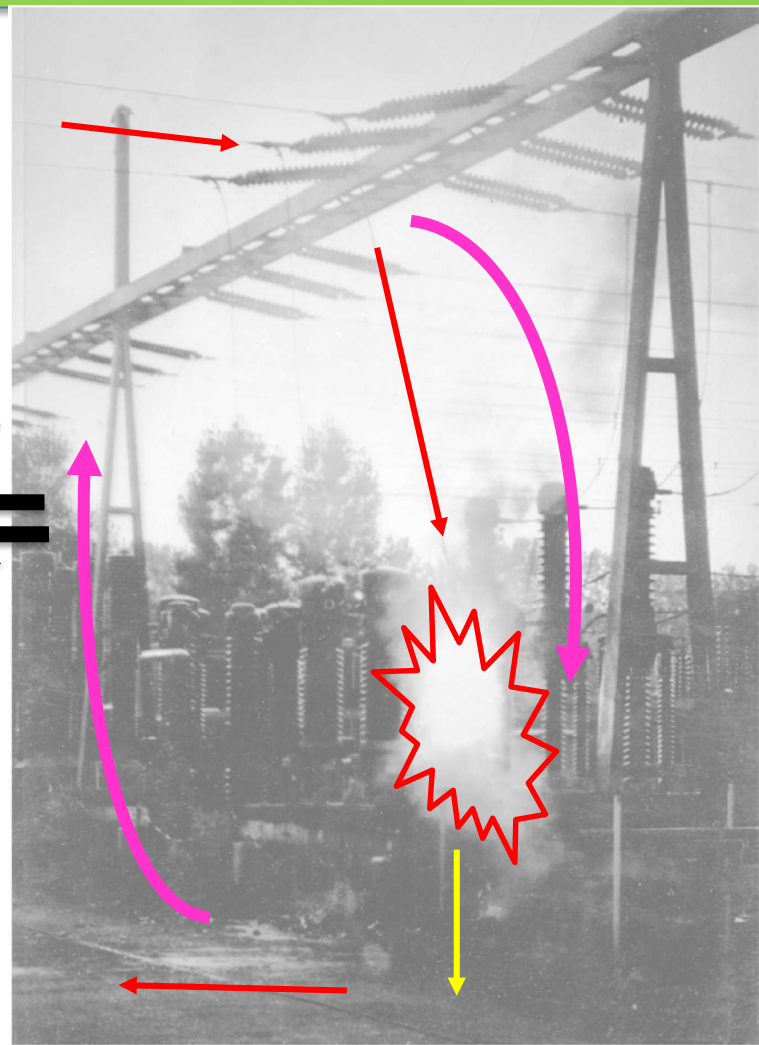
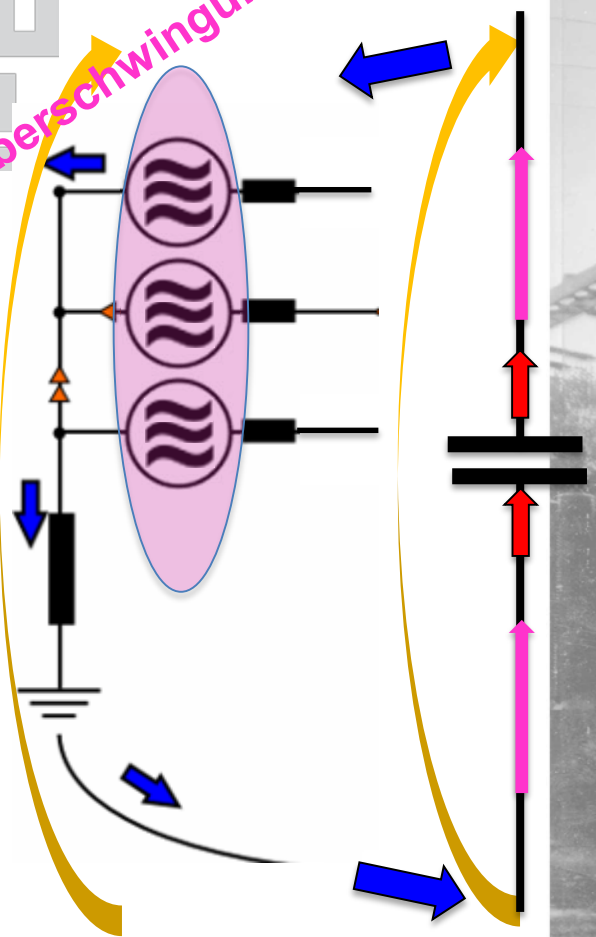


Erde-Leiter-Kapazitäten

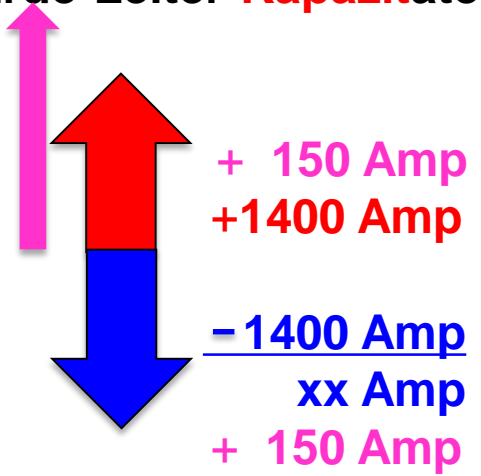


Die Oberschwingungen im Erdschlussstrom

Oberschwingungen



Erde-Leiter-Kapazitäten



Löschspulen

zzgl. Wirkrestrom

Reststrom und Löschgrenze

Reststrom und Löschgrenze

Physikalische Löschgrenze

80-90% aller Freileitungsfehler verlöschen selbsttätig

Erfahrung in Österreich ... 132 Amp verlöschen

Erfahrung in Deutschland

allgemein ... 200 Amp verlöschen

weidläufige Strahlennetze ... 132 Amp verlöschen

sehr lange Stichleitungen ... 132 Amp verlöschen

Vorschrift betr. Sicherheit von Fernmeldeanlagen (Österreich)

... 132 Amp sicher

über 132 Amp Einzelprüfung aller
Strecken und Fehlerstellen

Reststrom und Löschgrenze

Beispiel für Reststrom (132-Amp-Grenze mit Oberschwingungen)

Kapazitiver Strom **1198 Amp** - I_{CE}

Reststrom und Löschgrenze

Beispiel für Reststrom (132-Amp-Grenze mit Oberschwingungen)

Kapazitiver Strom
Löschstrom

$$1198 \text{ Amp} - I_{CE}$$
$$1248 \text{ Amp} + I_{spule}$$

Reststrom und Löschgrenze

Beispiel für Reststrom (132-Amp-Grenze mit Oberschwingungen)

$$\begin{array}{rcl} \text{Kapazitiver Strom} & 1198 \text{ Amp} & - I_{CE} \\ \text{Löschstrom} & 1248 \text{ Amp} & + I_{spule} \\ \hline & 50 \text{ Amp} & \end{array}$$

Reststrom und Löschgrenze

Beispiel für Reststrom (132-Amp-Grenze mit Oberschwingungen)

Kapazitiver Strom	1198 Amp	-	I_{CE}
Löschstrom	1248 Amp	+	I_{spule}
<hr/>			
	50 Amp		

Wirkstrom ca. 2% vom
 kapazitiven Strom (1198 A) **24 Amp** + I_{wirk}

Reststrom und Löschgrenze

Beispiel für Reststrom (132-Amp-Grenze mit Oberschwingungen)

Kapazitiver Strom	1198 Amp	-	I_{CE}
Löschstrom	1248 Amp	+	I_{spule}
	<hr/>		
	50 Amp		

Wirkstrom ca. 2% vom
 kapazitiven Strom (1198 A) **24 Amp** + I_{wirk}

Oberschwingungen

lt. Norm 50522 10% vom kapazitiven Strom (1198 A)
 119,8 Amp I_{os}

Reststrom und Löschgrenze

Beispiel für Reststrom (132-Amp-Grenze mit Oberschwingungen)

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Kapazitiver Strom} & 1198 \text{ Amp} & - I_{CE} \\
 \text{Löschstrom} & 1248 \text{ Amp} & + I_{spule} \\
 \hline
 & 50 \text{ Amp} &
 \end{array}$$

Wirkstrom ca. 2% vom
 kapazitiven Strom (1198 A) **24 Amp** + I_{wirk}

Oberschwingungen

lt. Norm 50522 10% vom kapazitiven Strom (1198 A)
119,8 Amp I_{os}

$$I_{\text{rest}} = \sqrt{50 \text{ Amp}^2 + 24 \text{ Amp}^2 + 119,8 \text{ Amp}^2} = 132 \text{ Amp}$$



Reststrom und Löschgrenze

Beispiel für Reststrom (132-Amp-Grenze mit Oberschwingungen)

Kapazitiver Strom	1198 Amp	-	I_{CE}
Löschstrom	1248 Amp	+	I_{spule}
<hr/>			
	50 Amp		

Wirkstrom ca. 2% vom kapazitiven Strom (1198 A) $24 \text{ Amp} + I_{\text{wirk}}$

Oberschwingungen

lt. Norm 50522 10% vom kapazitiven Strom (1198 A)
 $119,8 \text{ Amp } I_{os}$

$$I_{\text{rest}} = \sqrt{50 \text{ Amp}^2 + 24 \text{ Amp}^2 + 119,8 \text{ Amp}^2} = 132 \text{ Amp}$$



1198 Amp I_{CE}^*

Reststrom und Löschgrenze

Beispiel für Reststrom (200-Amp-Grenze mit Oberschwingungen)

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Kapazitiver Strom} & 1899 \text{ Amp} & - I_{CE} \\
 \text{Löschstrom} & 1949 \text{ Amp} & + I_{spule} \\
 \hline
 & 50 \text{ Amp} &
 \end{array}$$

Wirkstrom ca. 2% vom kapazitiven Strom (1899 A) $38 \text{ Amp} + I_{\text{wirk}}$

Oberschwingungen

lt. Norm 50522 10% vom kapazitiven Strom (1899 A)
 $189,9 \text{ Amp } I_{os}$

$$I_{\text{rest}} = \sqrt{50 \text{ Amp}^2 + 38 \text{ Amp}^2 + 189,9 \text{ Amp}^2} = 200 \text{ Amp}$$



$$1899 \text{ Amp } I_{CE}^*$$

Kabelreserve

Kabelreserve

$$I^*_{CE} =$$

Kabelreserve

$$I_{CE}^* = \text{Freileitungs-km} \times 0,55 \text{ A} \quad (\text{Doppelleitung})$$

Kabelreserve

$$I_{CE}^* = \text{Freileitungs-km} \times 0,55 \text{ A} \quad (\text{Doppelleitung}) \\ + \text{Kabel-km} \times 32 \text{ A} \quad (\text{Doppelkabel})$$

Kabelreserve

$$\begin{aligned} I_{CE}^* &= \text{Freileitungs-km} \times 0,55 \text{ A} && \text{(Doppelleitung)} \\ &+ \text{Kabel-km} \times 32 \text{ A} && \text{(Doppelkabel)} \\ &+ \text{Fremdversorgungsreserve} \end{aligned}$$

Kabelreserve

$$\begin{aligned} I_{CE}^* &= \text{Freileitungs-km} \times 0,55 \text{ A} && \text{(Doppelleitung)} \\ &+ \text{Kabel-km} \times 32 \text{ A} && \text{(Doppelkabel)} \\ &+ \text{Fremdversorgungsreserve} \end{aligned}$$

Beispiel (Ist-Situation)

Rohrbach – Langbruck / Freistadt

$I_{CE}^* = 1189 \text{ A}$ ← weitläufiges Strahlennetz

Kabelreserve

$$\begin{aligned} I_{CE}^* &= \text{Freileitungs-km} \times 0,55 \text{ A} && \text{(Doppelleitung)} \\ &+ \text{Kabel-km} \times 32 \text{ A} && \text{(Doppelkabel)} \\ &+ \text{Fremdversorgungsreserve} \end{aligned}$$

Beispiel (Ist-Situation)

Rohrbach – Langbruck /Freistadt

$I_{CE}^* = 1189 \text{ A}$ ← weitläufiges Strahlennetz

- 240 km x 0,55 A = 132 A

Kabelreserve

$$\begin{aligned} I_{CE}^* &= \text{Freileitungs-km} \times 0,55 \text{ A} && \text{(Doppelleitung)} \\ &+ \text{Kabel-km} \times 32 \text{ A} && \text{(Doppelkabel)} \\ &+ \text{Fremdversorgungsreserve} \end{aligned}$$

Beispiel (Ist-Situation)

Rohrbach – Langbruck /Freistadt

$I_{CE}^* = 1189 \text{ A}$ ← weitläufiges Strahlennetz

- 240 km x 0,55 A = 132 A
- 18 km x 32 A = 576 A

Kabelreserve

$$\begin{aligned} I_{CE}^* &= \text{Freileitungs-km} \times 0,55 \text{ A} && \text{(Doppelleitung)} \\ &+ \text{Kabel-km} \times 32 \text{ A} && \text{(Doppelkabel)} \\ &+ \text{Fremdversorgungsreserve} \end{aligned}$$

Beispiel (Ist-Situation)

Rohrbach – Langbruck /Freistadt

$I_{CE}^* = 1189 \text{ A}$ ← weitläufiges Strahlennetz

- 240 km x 0,55 A = 132 A
- 18 km x 32 A = 576 A
- 395 A → 395 A

Kabelreserve

$$\begin{aligned}
 I_{CE}^* &= \text{Freileitungs-km} \times 0,55 \text{ A} && \text{(Doppelleitung)} \\
 &+ \text{Kabel-km} \times 32 \text{ A} && \text{(Doppelkabel)} \\
 &+ \text{Fremdversorgungsreserve}
 \end{aligned}$$

Beispiel

Rohrbach – Langbruck /Freistadt

$I_{CE}^* = 1189 \text{ A}$ ← weitläufiges Strahlennetz

- 240 km x 0,55 A = 132 A

- 18 km x 32 A = 576 A

- 395 A → 395 A

86 A

Kabelreserve

$$\begin{aligned}
 I_{CE}^* &= \text{Freileitungs-km} \times 0,55 \text{ A} && \text{(Doppelleitung)} \\
 &+ \text{Kabel-km} \times 32 \text{ A} && \text{(Doppelkabel)} \\
 &+ \text{Fremdversorgungsreserve}
 \end{aligned}$$

Beispiel (Ist-Situation)

Rohrbach – Langbruck / Freistadt

$I_{CE}^* = 1189 \text{ A}$ ← weitläufiges Strahlennetz

- 240 km x 0,55 A = 132 A
- 18 km x 32 A = 576 A
- 395 A → 395 A

86 A

→ Freileitung : 0,55 A /km
 → Kabel : 32 A /km

156 km
 2,7 km

Erdungsanlagen

Erdungsanlagen



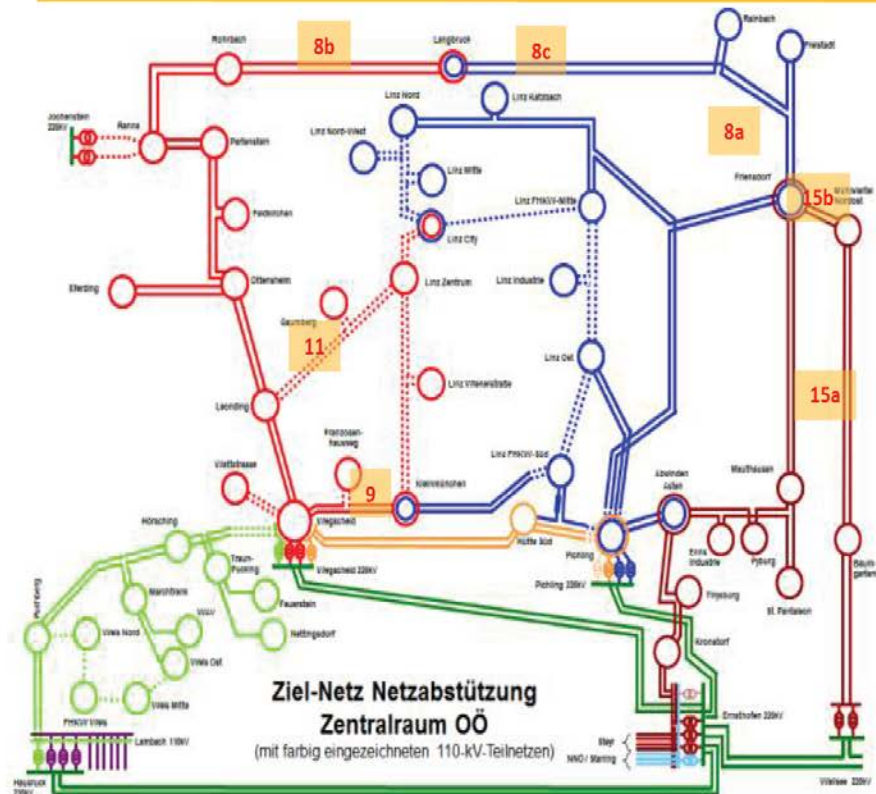
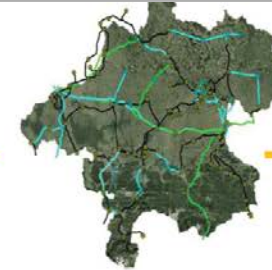
Erdungsanlagen



Auswirkung der Teilnetzbildung entsprechend Masterplan

Betriebsarten von 110-kV-Netzen

Ergänzung zu Netzabstützung Zentralraum OÖ (4)



- Projekt 4 ist Voraussetzung für die Kabelprojekte im Linzer Raum!!!
- Projekt 11
 - Leonding – Gaumberg – Zentrum
- Projekt 9
 - Wegscheid - Franzosenhausweg
- Projekt 8 a,b,c
 - Freistadt Rainbach
 - Rohrbach – Bad Leonfelden
 - Rainbach – Bad Leonfelden
- Projekt 15 a,b
 - Baumgartenberg – Mühlviertel NordOst
 - Mühlviertel NordOst - Friensdorf

Betriebsarten von 110-kV-Netzen

Jahr

Chronologie	Leitungsparameter zwei Systeme			Löschbezirke			zuzuschaltende Netzabschnitte	
	Kabel	Freileitung	Erdschlussstrom	ICE n EAEH	ICE n ZRO	ICE n ZRW	ICE n STEYR	ICE n WELS
2018	Ist-Situation			716 A	-	-	167 A ¹	395 A
	größte Netzumschaltung: EAEH+WELS			1111 A				
2019	Donauüberspannung Ottenheim (7)			717 A	-	-	167 A ¹	395 A
2019	Einbindung UW Pyburg (23)			718 A	-	-	167 A ¹	395 A
2021	Stromversorgung Alm- Krenstal (16)			731 A	-	-	180 A ¹	395 A
	größte Netzumschaltung: EAEH+WELS			1126 A				
2022	Stromversorgung Mühlviertel Rohrbach-Langbruck (8b)			748 A	-	-	180 A ¹	395 A
	größte Netzumschaltung: EAEH+WELS			1142 A				
2022	Stromversorgung Mühlviertel Langbruck-Rainbach (8c)			753 A	-	-	180 A ¹	395 A
	größte Netzumschaltung: EAEH+WELS			1148 A				
2023	Wegscheid - Kleinmünchen (9)			897 A	-	-	180 A ¹	395 A
2023	UW Wienerstr.			935 A	-	-	180 A ¹	395 A
	größte Netzumschaltung: EAEH+WELS			1330 A				
>2024	220-kV-Netzabstützung Pichling (4)			-	472 A ²	472 A ²	180 A	395 A
	größte Netzumschaltungen: ZRO+ZRW+STEYR ZRO+ZRW ZRW+WELS			1124 A 944 A 180 A 871 A 180 A				
				Löschbezirke				
2026	Linz City FHKW-Mitte			-	491 A ²	491 A ²	180 A	395 A
2026	Leonding-Gaumberg-Zentrum(11)			-	693 A ²	693 A ²	180 A	395 A
2026	UW Mitte			-	700 A ²	700 A ²	180 A	395 A
	größte Netzumschaltungen: ZRO+ZRW+STEYR ZRO+ZRW ZRW+WELS			1580 A 1400 A 180 A 1099 A 180 A				
>2026	220-kV-Netzabstützung Wegscheid (4)			-	700 A ²	700 A ²	180 A	395 A
	größte Netzumschaltungen: ZRO+ZRW+STEYR ZRO+ZRW ZRW+WELS			1584 A 1400 A 180 A 1099 A 180 A				
>2026	Linz Nord - Linz Nordwest (12)			-	732 A ²	732 A ²	180 A	395 A
	größte Netzumschaltungen: ZRO+ZRW+STEYR ZRO+ZRW ZRW+WELS			1644 A 1464 A 180 A 1163 A 180 A				
>2026	220-kV-Ringschluss Wegscheid Pichling ³			-	732 A ²	732 A ²	180 A	395 A
	größte Netzumschaltungen: ZRO+STEYR ZRW+WELS ZRO+ 0,5*(Rainbach bis Rohrbach) ZRW+ 0,5*(Rainbach bis Rohrbach)			912 A 1127 A 180 A 743 A 180 A 743 A 180 A				

Entwicklung des Erdschlusslöschbedarfs im Zuge der Umsetzung des Stromnetz-Masterplan OÖ 2026

Verreinfachung: idente Längen

Betriebsarten von 110-kV-Netzen

Jahr

Chronologie	Leitungsparameter zwei Systeme			Löschbezirke			zuzuschaltende Netzabschnitte	
	Kabel	Freileitung	Erdschlussstrom	ICE n EAEH	ICE n ZRO	ICE n ZRW	ICE n STEYR	ICE n WELS
2018	Ist-Situation			716 A	-	-	167 A ¹	395 A
	größte Netzumschaltung: EAEH+WELS			1111 A				
2019	Donauüberspannung, Ottensheim (7)	2,7 km	1 A	717 A	-	-	167 A ¹	395 A
2019	Einbindung UW Pyburg (23)	0,5 km	< 1 A	718 A	-	-	167 A ¹	395 A
2021	Stromversorgung Alm-, Krenstal (16)	23,5 km	13 A	731 A	-	-	180 A ¹	395 A
	größte Netzumschaltung: EAEH+WELS			1126 A				
2022	Stromversorgung Mühlviertel Rohrbach-Langbruck (8b)	29 km	928 A					395 A
	größte Netzumschaltung: EAEH+WELS			2054 A				
2022	Stromversorgung Mühlviertel Langbruck-Rainbach (8c)	11 km	352 A	2011 A	-	-	180 A ¹	395 A
	größte Netzumschaltung: EAEH+WELS			2406 A				
2023	Wegscheid – Kleinmünchen (9)	4,5 km	144 A	2155 A	-	-	180 A ¹	395 A
2023	UW Wienerstr.	1,2 km	38 A	2193 A	-	-	180 A ¹	395 A
	größte Netzumschaltung: EAEH+WELS			2588 A				
>2024	220-kV-Netzabstützung Pichling (4)	15 km	8 A	-	1101 A ²	1101 A ²	180 A	395 A
	größte Netzumschaltungen: ZRO+ZRW+STEYR ZRO+ZRW ZRW+WELS			2373 A 2197 A 180 A 1484 A 180 A				
				Löschbezirke				
2026	Linz City FHKW-Mitte	1,2 km	38 A	-	1120 A ²	1120 A ²	180 A	395 A
2026	Leonding-Gaumberg-Zentrum	12,6 km	403 A	-	1322 A ²	1322 A ²	180 A	395 A
2026	UW Mitte	0,4 km	13 A	-	1329 A ²	1329 A ²	180 A	395 A
	größte Netzumschaltungen: ZRO+ZRW+STEYR ZRO+ZRW ZRW+WELS			2838 A 2658 A 180 A 1724 A 180 A				
>2026	220-kV-Netzabstützung Wegscheid (4)	-	-	-	1329 A ²	1329 A ²	180 A	395 A
	größte Netzumschaltungen: ZRO+ZRW+STEYR ZRO+ZRW ZRW+WELS			2838 A 2658 A 180 A 1724 A 180 A				
>2026	Linz Nord – Linz Nordwest(12)	2	64 A	-	1361 A ²	1361 A ²	180 A	395 A
	größte Netzumschaltungen: ZRO+ZRW+STEYR ZRO+ZRW ZRW+WELS			2902 A 2722 A 180 A 1756 A 180 A				
>2026	220-kV-Ringschluss Wegscheid Pichling 3	-	-	-	1361 A ²	1361 A ²	180 A	395 A
	größte Netzumschaltungen: ZRO+STEYR ZRW+WELS ZRO+ 0,5*(Rainbach bis Rohrbach) ZRW+ 0,5*(Rainbach bis Rohrbach)			1541 A 1756 A 180 A 2001 A 180 A 2001 A 180 A				

Entwicklung des Erdschlusslöschbedarfs im Zuge der Umsetzung des Stromnetz-Masterplan OÖ 2026 unter der Annahme, dass auch lange Leitungsabschnitte im ländlichen Bereich als Kabel ausgeführt werden

Verreinfachung: idente Längen

Spannungsqualität bei „starrer Erdung“

Spannungsqualität bei „starrer“ Erdung

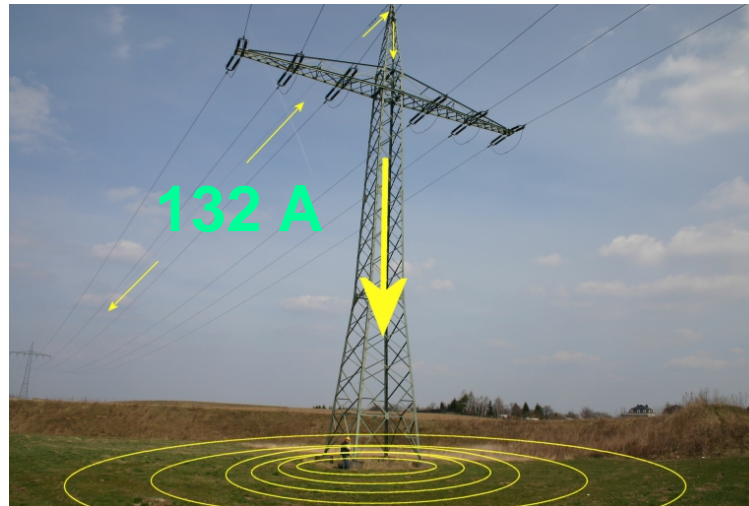
Mehrpolige Fehler: Stromkreis schließt sich über „richtige“ Leiter



Sehr stromstark - sehr große Spannungsabfälle – sehr kleine Restspannungen - **große Beeinträchtigung der Verbraucher**

Betriebsarten von 110-kV-Netzen

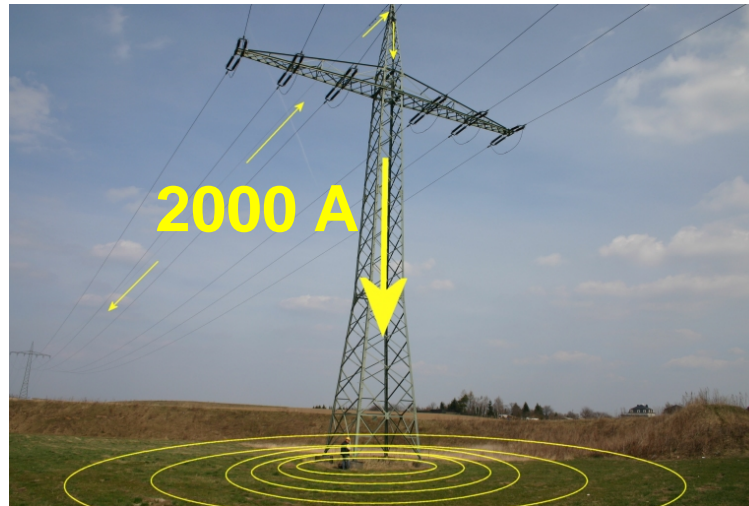
Einpolige Fehler + Löschung: Strom wird klein gehalten



**Kleine Ströme - kleine Spannungsabfälle – keine
Beeinträchtigung der Verbraucher
+ ... verlöschen meistens von selbst**

Betriebsarten von 110-kV-Netzen

Einpolige Fehler + starre Erdung: Strom wie bei mehrpoligem Fehler



Sehr stromstark - sehr große Spannungsabfälle – sehr kleine Restspannungen - große Beeinträchtigung der Verbraucher

Spannungsqualität bei „starrer Erdung“

Gelöscht (Beispieljahr)		starre Erdung
Mehrpolige Fehler pro Jahr	11	11
Einpolige Fehler pro Jahr	150	150
„echte Fehler“	11	161

x 15 !!!!

Netzverträglichkeit von Erdkabeln im gelöscht betriebenen 110-kV-Netz in Oberösterreich

Em.Univ. -Prof.Dipl. -Ing. Dr.techn. Lothar Fickert

28. November 2018

