

KONVERTIERUNG VON AC-HOCHSPANNUNGSLEITUNGEN UND KABEL-SYSTEMEN FÜR DEN DC-BETRIEB – ÜBERTRAGUNGSKAPAZITÄT UND UMWELTASPEKTE

Patrik Ratheiser^{}, Oliver Pischler, Uwe Schichler*

*Institut für Hochspannungstechnik und Systemmanagement
Technische Universität Graz
Österreich*

EnInnov 2022, 18.02.22 (online)

EnInnov2022

17. Symposium Energieinnovation | 16.02.–18.02.2022

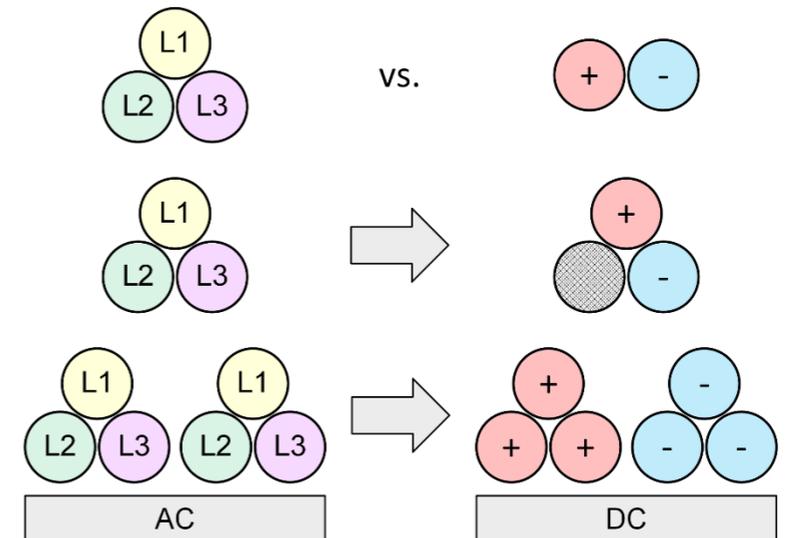
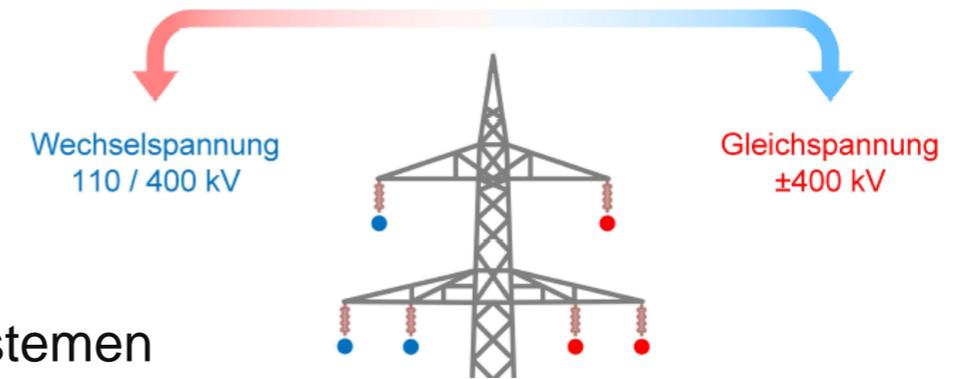
Umrüstung von bestehenden AC- zu DC-Systemen

⇒ Lösung für die Herausforderungen der Energiewende

- Umrüstung von bestehenden AC- zu DC-Systemen
 - Große Kosteneffizienz
 - Umfassende Erfahrung mit AC-Freileitungs- und Kabelsystemen
 - Große Verfügbarkeit von AC-Komponenten am Markt
 - Schnelle Lösung bei Übertragungsengpässen
- Übertragbare Leistung (AC-System)

$$P_{AC} = \sqrt{3} \cdot U_{AC} \cdot I_{AC} \cdot \cos \varphi$$
- Übertragbare Leistung (DC-System)

$$P_{DC} = m \cdot U_{DC} \cdot I_{DC}$$



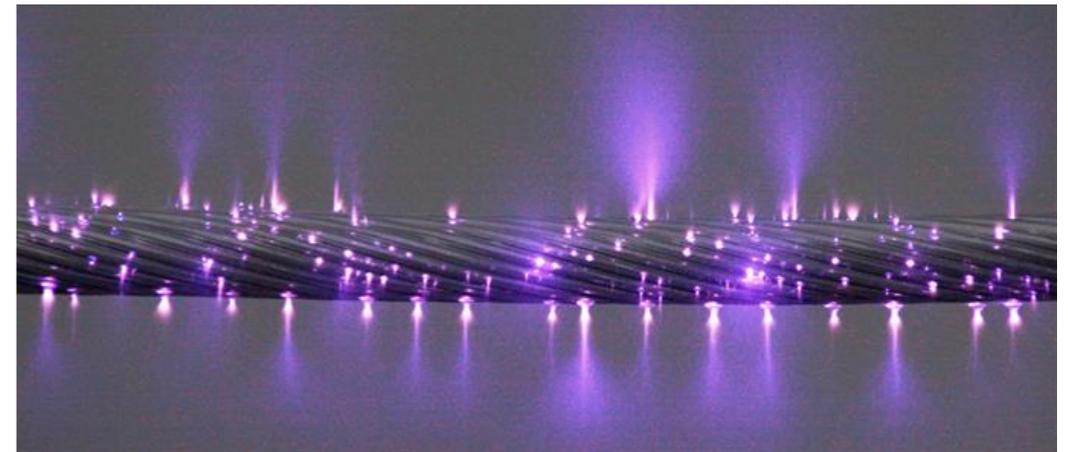
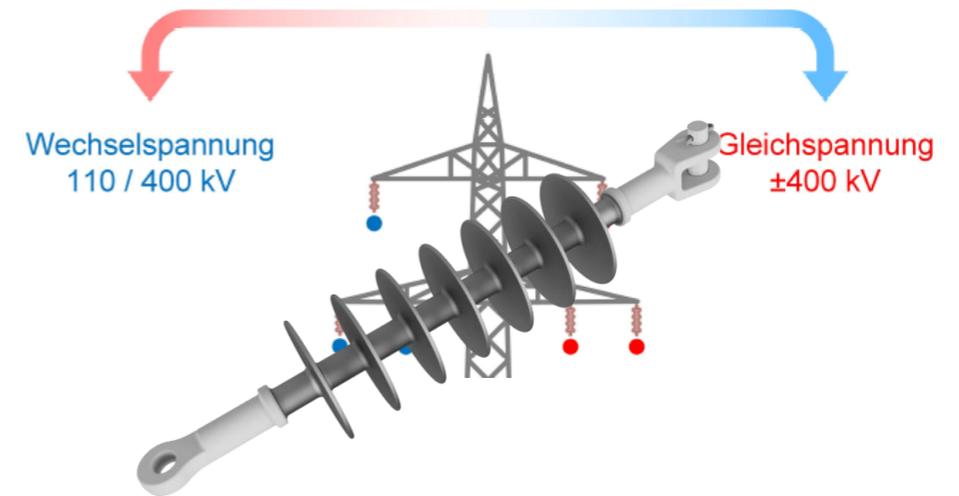
Ziel ⇒ Möglichst hohes Verhältnis von P_{DC}/P_{AC}

AC-Freileitungen unter Gleichspannungsbeanspruchung

- Umbau von Drehstromsystem auf bipolares Gleichspannungssystem $U_{DC} \geq \sqrt{2} \cdot U_{AC}$

Herausforderungen

- Installierung von neuen Isolatoren mit höherer Kriechstromfestigkeit (Verschmutzung)
- Erzielbare DC-Betriebsspannung wird v. a. durch Koronaeffekte limitiert \Rightarrow Geräuschemissionen
- Emmission von hörbaren akustischen Geräuschen durch Korona-Entladungen \Rightarrow Abhängig von elektrischem Feld und dem Leiter
 - Koronageräuschpegel bei DC i. A. geringer als bei AC
 - Bei DC treten bei trockenem Wetter die höchsten Geräuschemissionen trotz geringer Korona auf



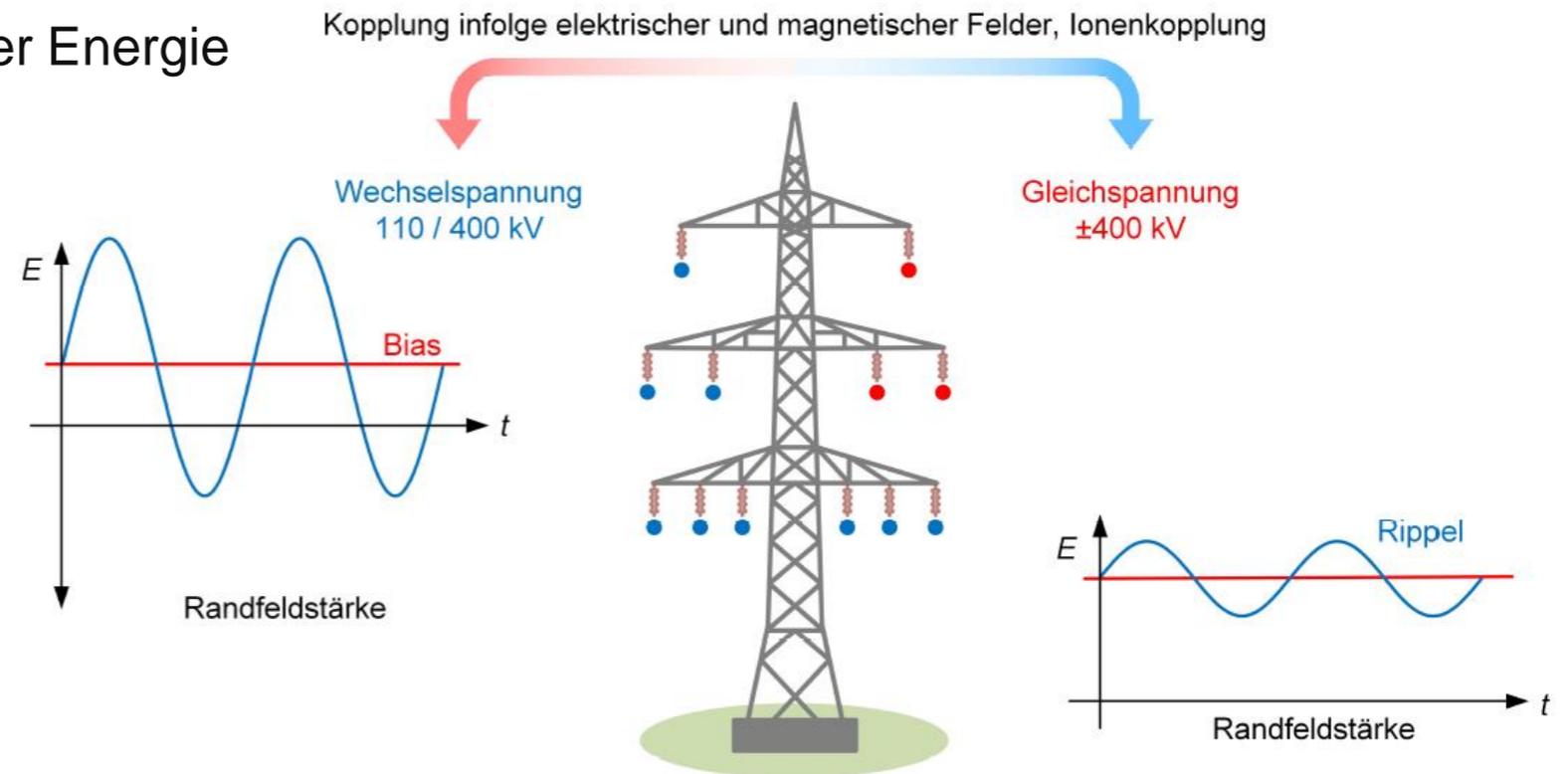
Kopplungsmechanismen auf Hybridfreileitungen

Vorteile von Hybridfreileitungen

- AC- und DC-Systeme in einer Trasse
- DC-System \Rightarrow Große Übertragungsdistanzen
- AC-System \Rightarrow Verteilung elektrischer Energie

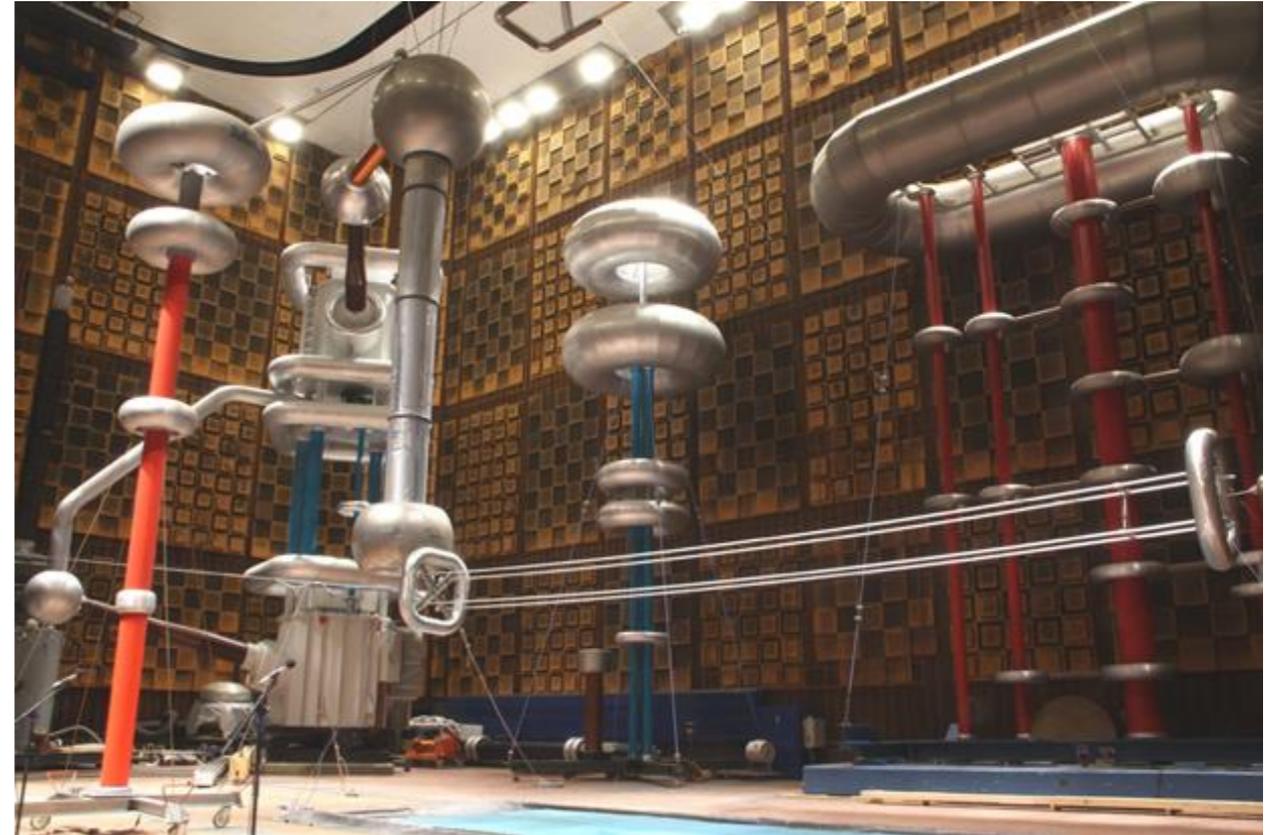
Auftreten eines Mischfeldes

- Wechselspannungsleitung überlagert DC-Bias
- Gleichspannungsleitung überlagert AC-Rippel



Geräuschemissionsmessungen bei Mischfeldbeanspruchung

- Modellierung anhand realer Bündelgeometrie
 - Simulationsgestützt
 - Leiterrandfeldstärke entspricht der im Betrieb
- Berechnung mit Hilfe eines Regensimulators
 - ⇒ Einstellbare Regenraten
- Gemischte Spannungsform durch Überlagerung der Wechsel- und Gleichspannung
 - Koppelkapazität zum Schutz des AC-Generators
 - Schutzwiderstand zum Schutz des DC-Generators



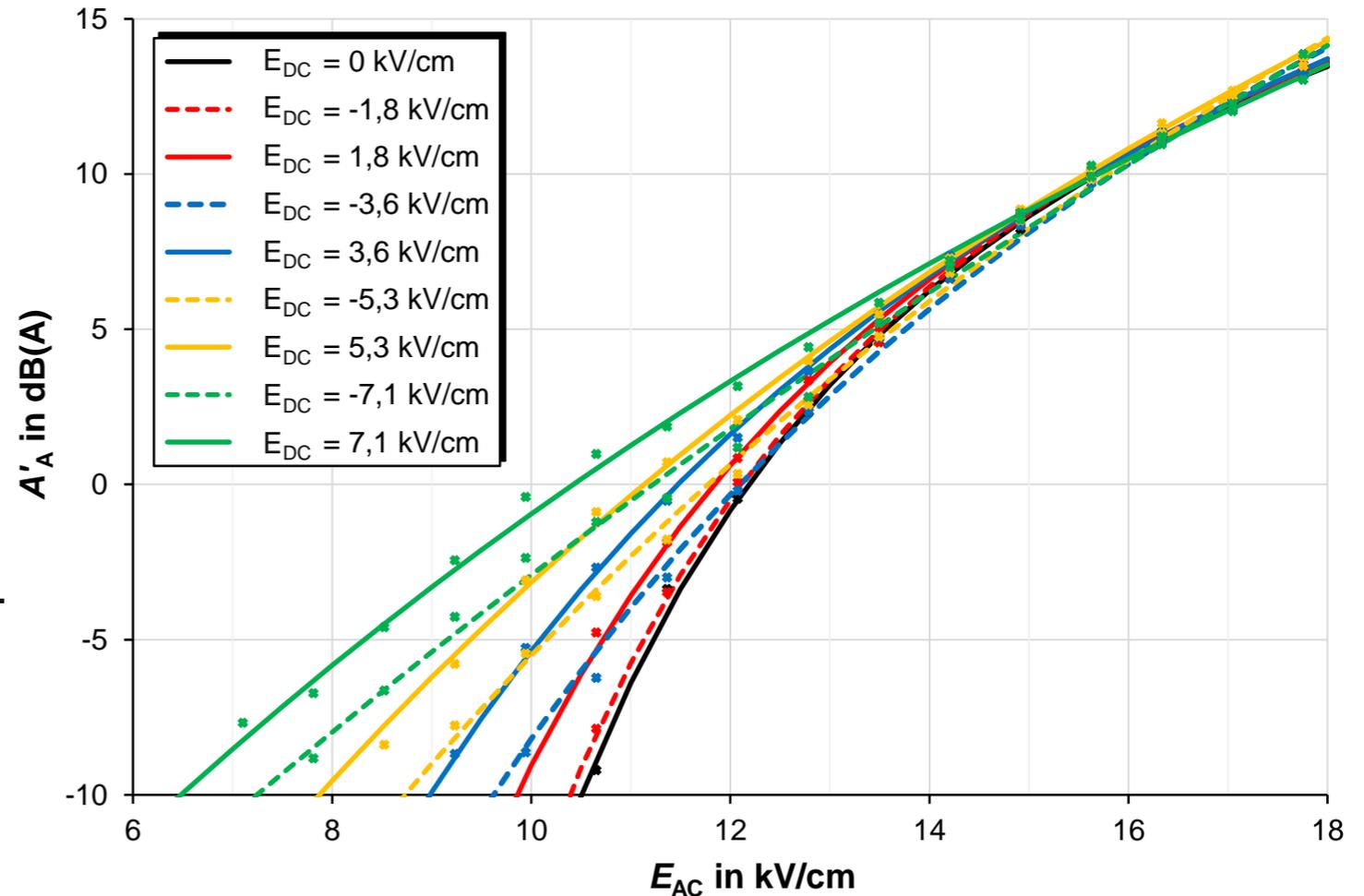
Einfluss der Mischfeldbelastung auf den Summenpegel

Prüfling

- Vierleiterbündel
($a = 0,4 \text{ m}$, $d = 22 \text{ mm}$)

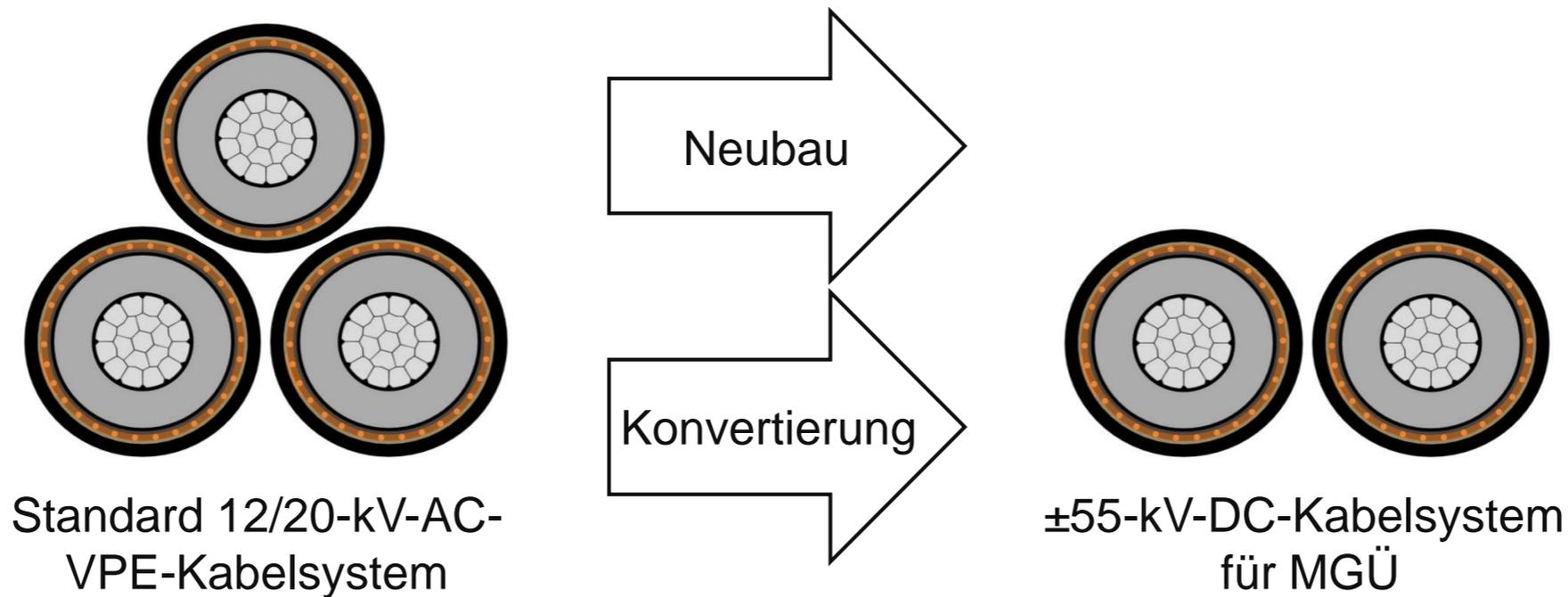
Erkenntnisse

- Beeinflussung durch DC-Bias E_{DC} abhängig von AC-Randfeldstärke
- Auswirkungen bei negativem DC-Bias geringer
- Im Bereich von typischen AC-Betriebsfeldstärken ist dieser Effekt nicht signifikant



Motivation

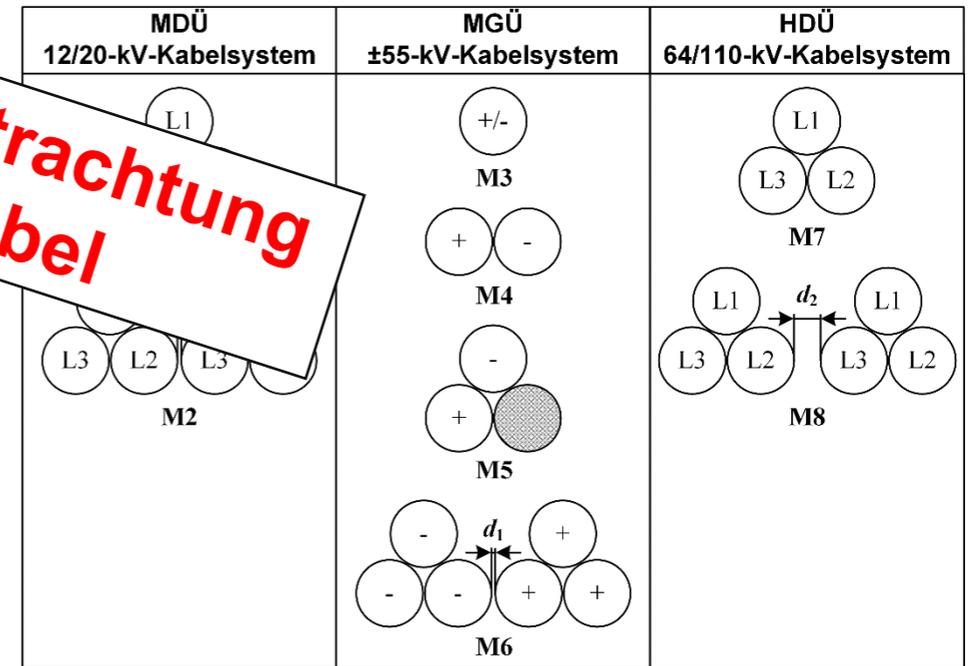
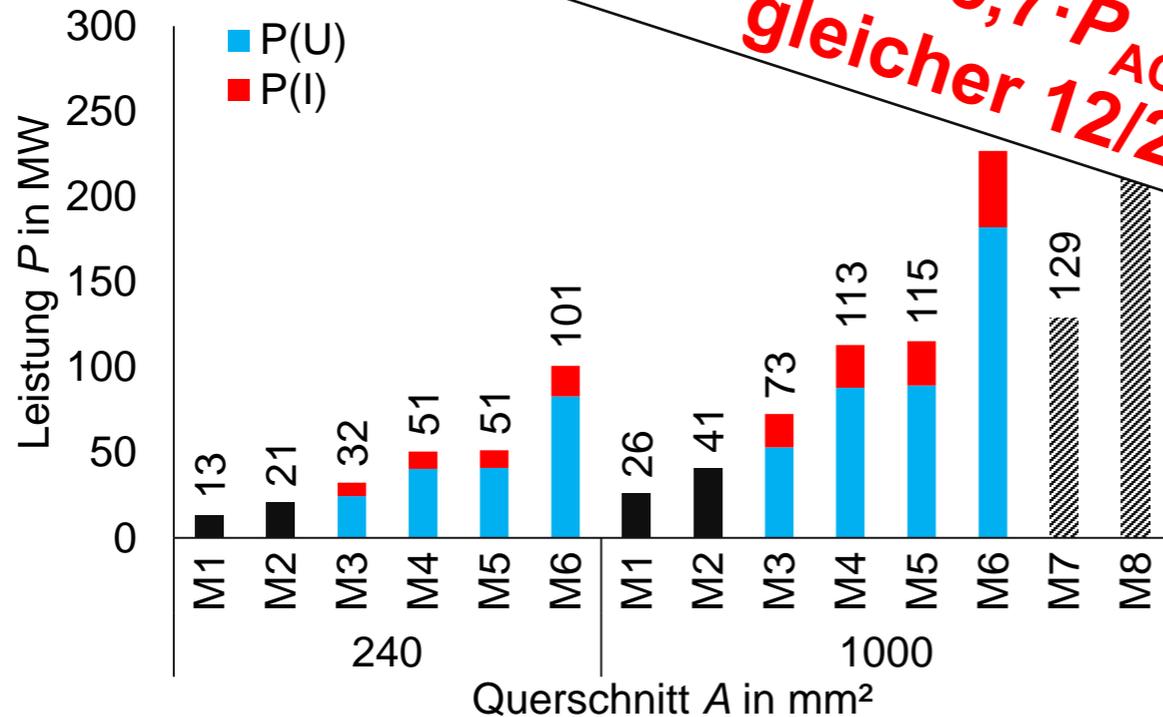
- Investitionsbedarf wird voraussichtlich bis 2030 um bis zu 40 % in der Netzinfrastruktur ansteigen (Szenario „EV30“ / Netzberechnungen Österreich 2020)
 ⇒ Herausforderung für das bestehende Übertragungs- und Verteilnetz
- Lösung ⇒ Verwendung von MDÜ-Kabelsystem für die DC-Übertragung

Übertragungskapazität von MGÜ-Kabelsystemen

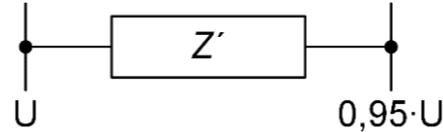
- Erfolgreicher PQ- und Typ-Test (IEC 62895) $U_{DC} = \pm 55 \text{ kV}$ → Spannungserhöhung für MGÜ möglich
- Erhöhung der Stromtraefähigkeit beim Einsatz von MGÜ-Kabelsystemen
 - Geringere Anzahl an Stromerzeugern
 - Keine AC-spezifische Verluste bei MGÜ-Kabelstrecken

P_{DC} bis zu 5,7 · P_{AC} bei Betrachtung gleicher 12/20-kV-Kabel



Übertragungslänge von MGÜ-Kabelsystemen

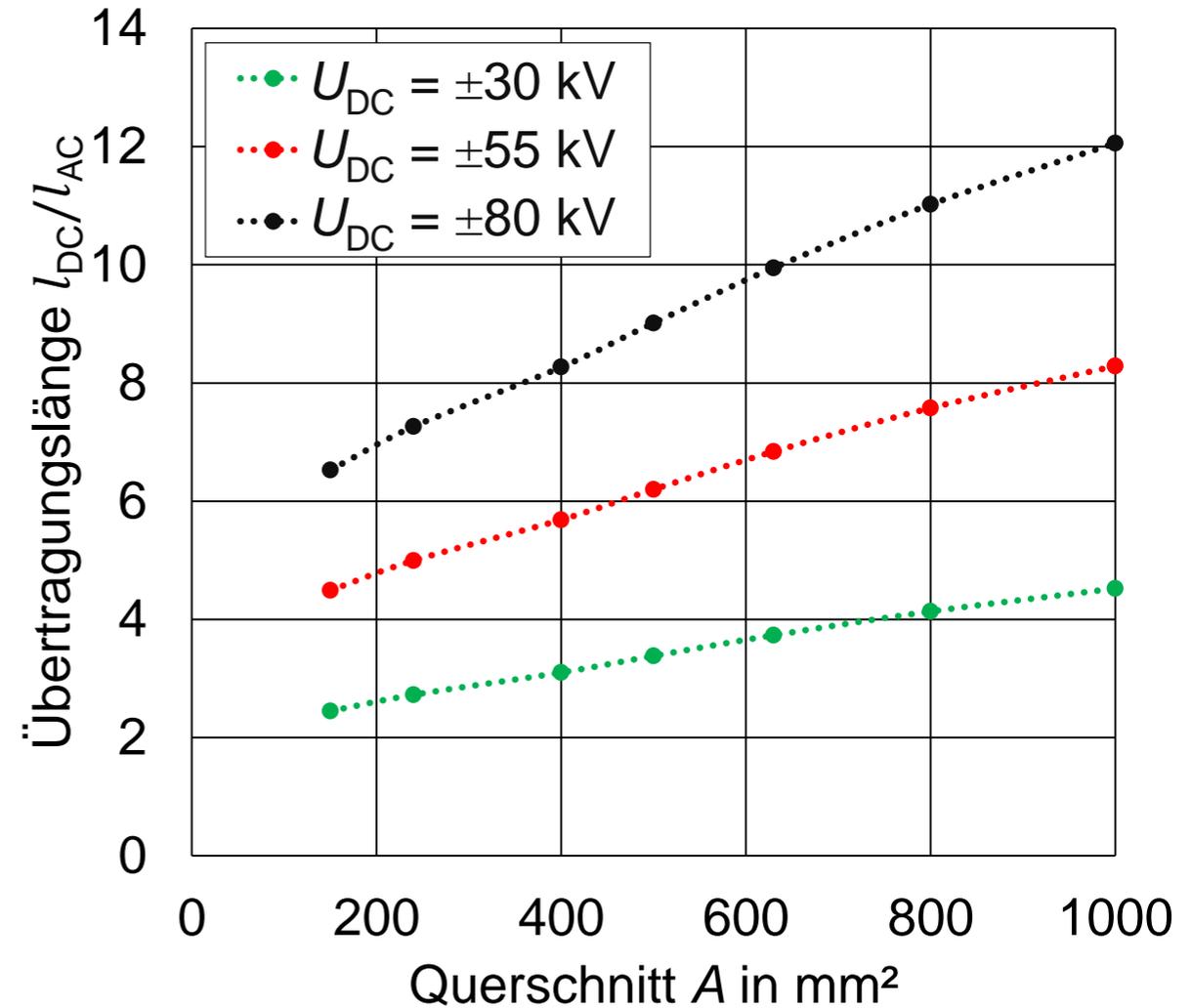
- $U_{AC} = 20 \text{ kV}$, $P = 13 \text{ MW}$
- $U_{DC} = \pm 55 \text{ kV}$, $P = 51 \text{ MW}$
- $\Delta U_{AC} = \Delta U_{DC} = 5 \%$



$$\Delta U_{DC,\%} = \frac{R'_{DC} \cdot l_{DC} \cdot I_{DC}}{U_{DC}} \cdot 100 \%$$

$$\Delta U_{AC,\%} = \frac{(R'_{AC} \cdot \sin \varphi + X'_{AC} \cdot \cos \varphi) \cdot l_{AC} \cdot I_{AC}}{U_{AC,PH}} \cdot 100 \%$$

- 240 mm^2 , $\vartheta_L = 90 \text{ °C}$, $\cos \varphi = 0,85$
 $\Rightarrow I_{AC} = 8,3 \text{ km}$, $I_{DC} = 41,4 \text{ km}$ jeweils für $P = P_{\max}$
- Längenverhältnis steigt mit steigendem Querschnitt und steigender U_{DC} ($\cos \varphi = 0,85$)
- Übertragungslängen bei $U_{DC} = \pm 55 \text{ kV}$ bis zum 5-fachen möglich ($A = 240 \text{ mm}^2$)!



Qualifikation von MDÜ-Kabelsystem für die MGÜ

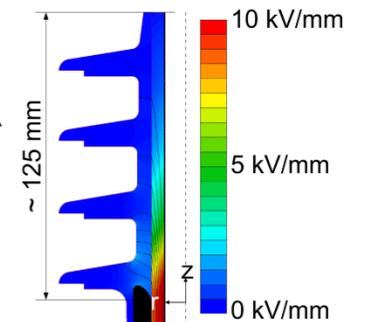
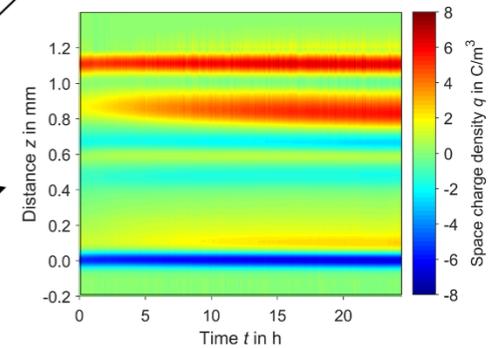
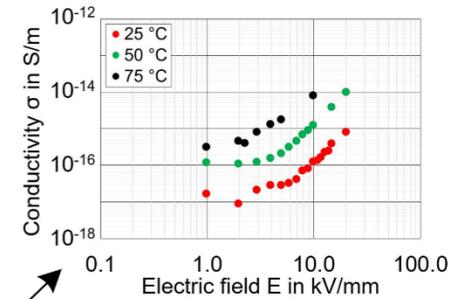
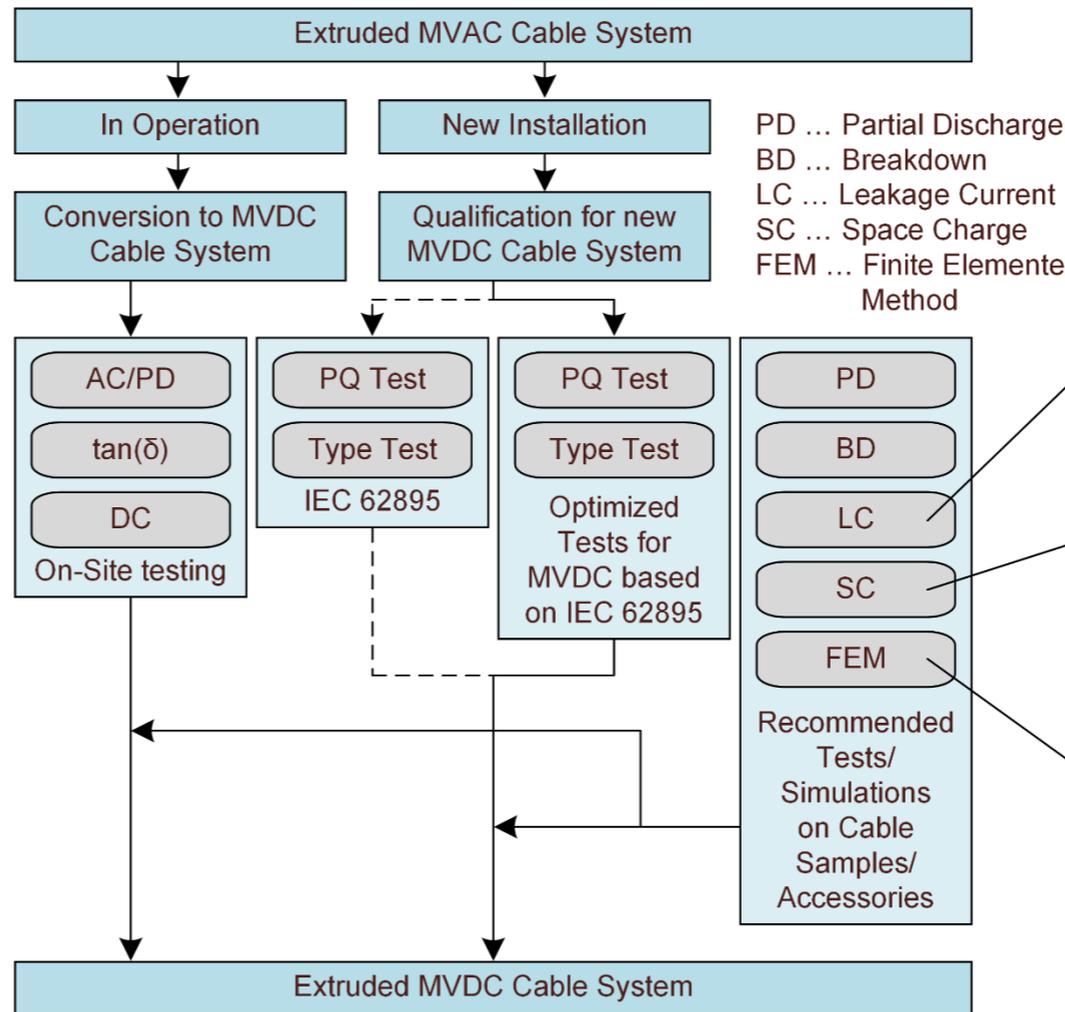
Ziel ⇒ MDÜ-System, z. B. 12/20-kV-AC-Kabelsystem als MGÜ mit einer DC-Nennspannung von z. B. ±55 kV

IEC 62895

- HGÜ-Kabelsysteme
- Konservativer Lebensdauerexponent
- Lange Testprozeduren

PQ-Test und Typ-Test für MGÜ

- Lebensdauerexponent von MGÜ-Kabeln
- Elektrische und thermische Zeitkonstanten von MGÜ-Kabeln



Prüfungen mit Mittelspannungs-AC-Kabelsystemen für MGÜ-Anwendung

LCC PQ-Test (IEC 62895)

- $U_0 = \pm 55 \text{ kV}$, $U_{TP1} = \pm 80 \text{ kV}$
- Testdauer $t = 360$ Tage

LCC Typ-Test (IEC 62895)

- $U_0 = \pm 55 \text{ kV}$; $U_T = \pm 102 \text{ kV}$
- Testdauer $t = 30$ Tage

LCC PQ-Test für MGÜ-Kabel

- $U_0 = \pm 55 \text{ kV}$; $U_{TP1} = \pm 80 \text{ kV}$
- Testdauer $t = 60$ Tage

Isolationsstrommessungen

- $E_{DC} = 3 - 15 \text{ kV/mm}$
- 76 Polaritätswechsel bei $E_{DC} = \pm 15 \text{ kV/mm}$, $\vartheta = 90 \text{ °C}$

Bestanden
 ↓
 Bestanden
 ↓
 Bestanden
 ↓
 Bestanden



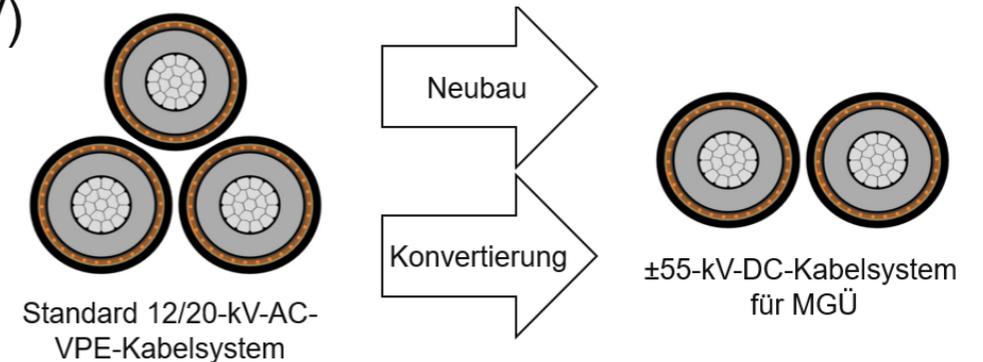
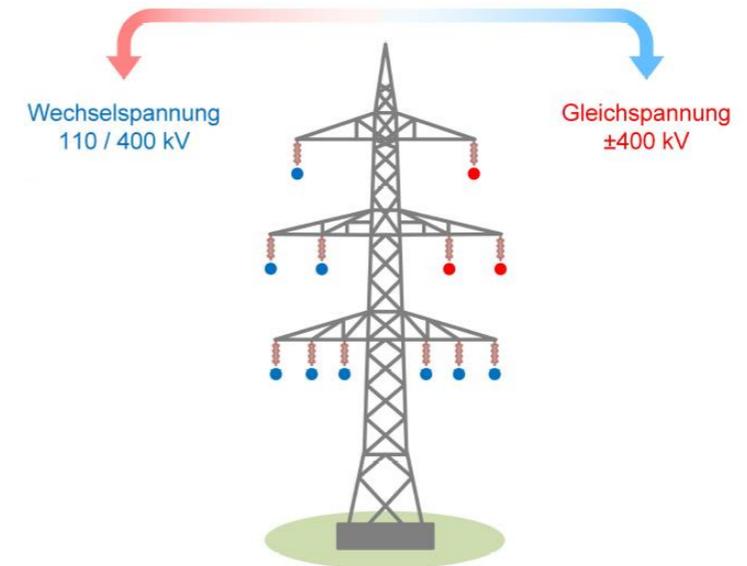
Zusammenfassung

Übertragungskapazität

- $U_{DC} \geq \sqrt{2} \cdot U_{AC}$ bei Freileitungen möglich
- MDÜ-Kabelsysteme haben PQ- und Typ-Test nach IEC 62895 bestanden
- 5,7-fache übertragbare Leistung bei MGÜ-Systemen
- MGÜ weist eine Übertragungskapazität von 110-kV-Kabelsystem auf
- Qualifikationsverfahren für MGÜ
- Bis zu 8-fache Übertragungslängen bei MGÜ ($U_{DC} = \pm 55 \text{ kV}$)

Umweltaspekte

- Geräuschemissionen bei Hybridfreileitungen
 - Mit DC-Bias prinzipiell höher als bei AC
 - Bei Betriebsfeldstärken mit DC-Bias ident zu AC
- Geringere Anzahl von Kabeln bei MGÜ



KONVERTIERUNG VON AC-HOCHSPANNUNGSLEITUNGEN UND KABEL-SYSTEMEN FÜR DEN DC-BETRIEB – ÜBERTRAGUNGSKAPAZITÄT UND UMWELTASPEKTE

Patrik Ratheiser
patrik.ratheiser@tugraz.at