



# Induktive Kopplung parallelgeführter Hochspannungssysteme – Erfahrungsbericht und Maßnahmen

DI Christian Raunig

EnInnov2020

16. Symposium Energieinnovation 12.02. – 14.02.2020 - TU Graz

# Problemstellung (1)

Bedingt durch den vermehrten Ausbau von regenerativen dezentralen Erzeugungseinheiten wie Windkraft- und Photovoltaikanlagen, dem steigenden Stromtransport (E-Mobilität, etc.) und den energiepolitischen Klimazielen, müssen die Netze ausgebaut werden um den zukünftigen Herausforderungen gewachsen zu sein.

Hinsichtlich des Übertragungsnetzes bedeutet das vor allem, dass

- neue Umspannwerke und
- Leitungsabschnitte

in bestehende Leitungszüge eingebunden werden.

Es kommt daher zu einer „Störung“ der ursprünglichen Symmetrie (Verdrillung) eines bestehenden Leitungszugs.



## Problemstellung (2)

Im Fall, dass die bestehende Symmetrie eines Leitungszugs z.B. durch die Einbindung neuer Leitungssysteme oder Umspannwerke gestört wird, führt dies aufgrund der niederfrequenten induktiven Kopplungen von Leitungssystemen zu Unsymmetrieeffekten.

Je nach Beeinflussungssituation/-konfiguration können

- Unsymmetrie(kreis)-,
- Erdseil- und
- Mastableitströme

während des Normalbetriebs der Leitungen resultieren.

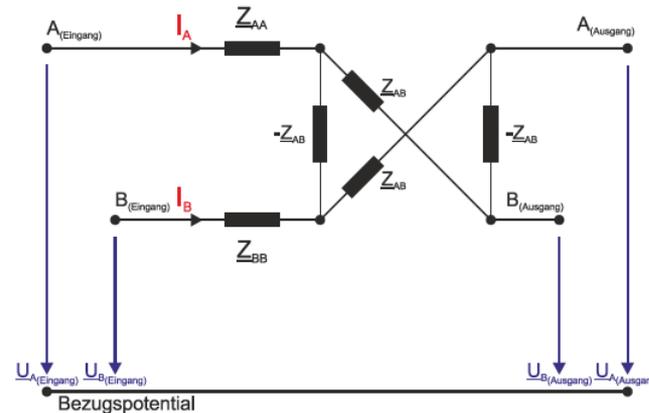
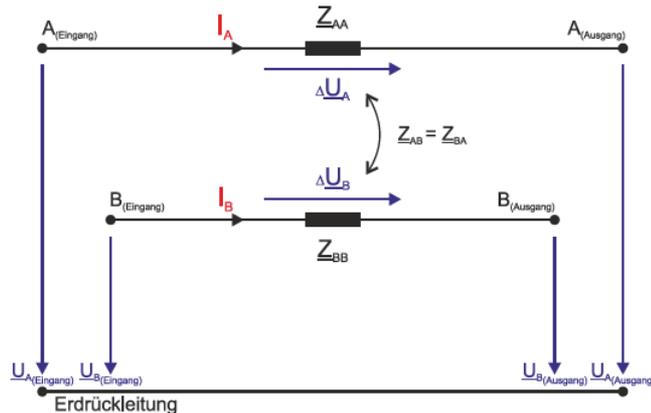
Diese Unsymmetrieeffekte, haben je nach Ausprägung (höhe der Summenstromkreispegel) eine negative Auswirkung auf Schutz- und Leittechnikalgorithmen (Schutzmeldungen). Durch hohe Erdseil- bzw. Mastableitströme können sich Erdseilarmaturen erwärmen und ohmsche Beeinflussungen resultieren.

Entsprechend sollten vor den Einbindungen wirksame Maßnahmen zur Reduktion der Beeinflussungswirkungen untersucht werden.

# Methodik

Um die Unsymmetrieströme in den Leitungssystemen sowie die Erdseil- und Mastableitströme zu bestimmen, wurde ein Modell entwickelt, welches die induktive Kopplung der einzelnen Leiter untereinander und den Erdseilkettenleiter berücksichtigt.

Dieses Modell basiert auf einer speziellen Ersatzschaltung (siehe Abbildung unten) zur Nachbildung der Kopplung der Leiter und dem Knotenpotentialverfahren. Dieses Ersatzschaltung wird für alle an der Beeinflussungstopologie beteiligte Leiter angewendet.





# Stromunsymmetrieüberwachung

Die Stromunsymmetrie in den Leitungssystemen wird mittels Schutzgeräte überwacht – im Fall von hohem Unsymmetriestrompegel wird eine Meldung ausgegeben.

Leittechnikgeräte überwachen überdies hinaus die Summenstrompegel und sprechen bei Überschreitungen von bestimmten Pegelwerten an.

Schutzgerät 1 [8]

Schutzgerät 2 [9]

## Freigabe der Funktion

$$I_{ph(max)} > I_{nom} \times Faktor$$

$$I_{ph(max)} > I_{nom} \cdot Faktor$$

## Unsymmetriefaktor

$$= \frac{|I_{ph(min)}|}{|I_{ph(max)}|}$$

$$= \frac{|I^2|}{|I_{ph(max)}|}$$

## Meldung bei

$$Unsymmetriefaktor < Einstellwert$$

$$Unsymmetriefaktor > Einstellwert$$

## Stromunsymmetrieüberwachung ausgewählter Schutzgeräte

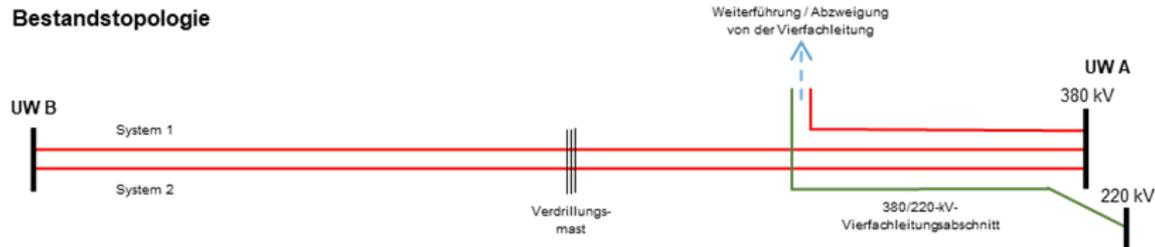
Quelle: Handbücher der Schutzgerätehersteller

# Beispiel aus der Praxis

Bei der untersuchten Leitung handelt es sich um ein 380-kV-Doppelleitungssystem, welche in einem ersten Leitungsabschnitt als eine 380/220-kV-Vierfachleitung geführt wird. Eine Besonderheit stellen die durch den Vierfachleitungsabschnitt resultierenden Lastflusszenarien (Lastflussrichtung in den Leitungssystemen) dar.

Es ist geplant in die bestehende Leitung weitere Umspannwerke einzubinden.

## Bestandstopologie

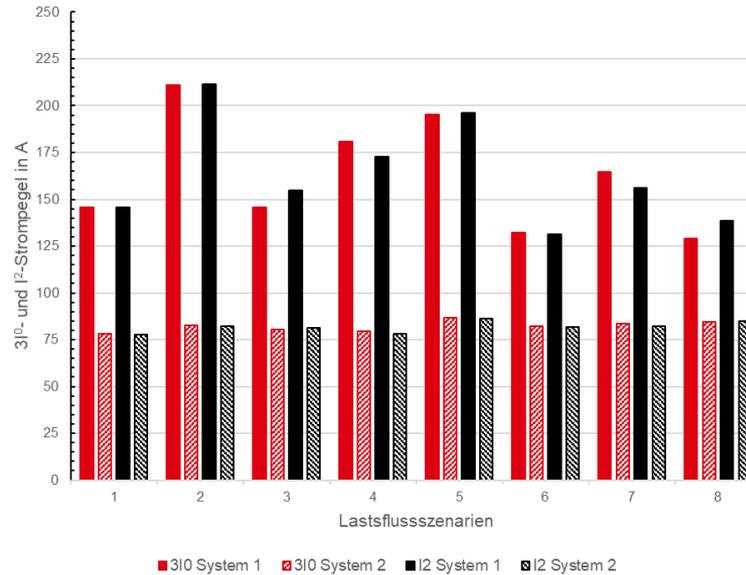


## Bestandstopologie inkl. zusätzlicher Einbindung eines neuen Umspannwerks



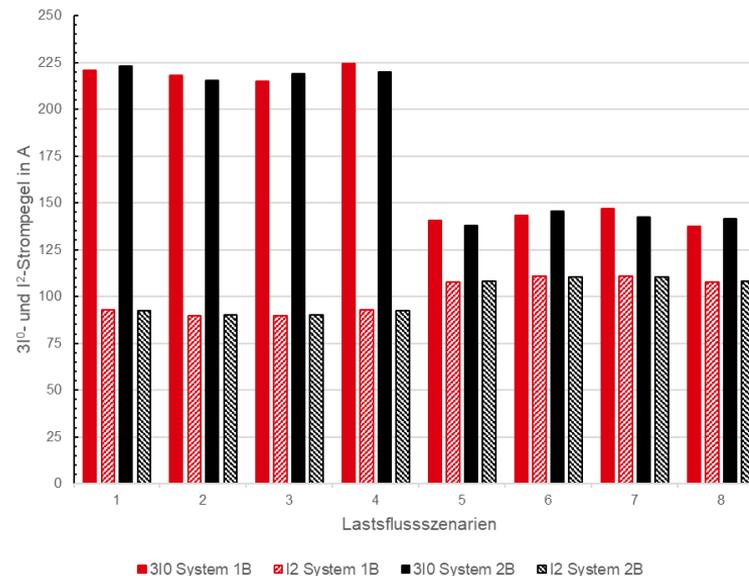
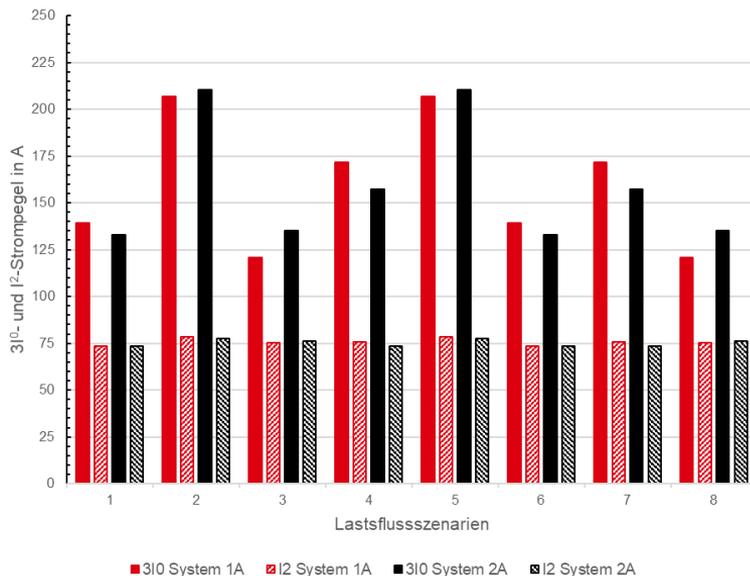
# Bestandsleitung

Unsymmetriestrom- (Summenstromkreis-) und Gegenstrompegel in den Leitungssystemen bei (n-1)-Belastung, Bestandsverdrillung und ausgewählten Lastszenarien.



# Bestandsleitung inkl. Einbindung eines weiteren Umspannwerks

Unsymmetriestrom- (Summenstromkreis-) und Gegenstrompegel in den Leitungssystemen bei (n-1)-Belastung, Bestandsverdrillung und ausgewählten Lastszenarien.





# Erdseilströme

Hinsichtlich der Erdseilströme resultieren bei der Bestandsleitung drei Leitungsabschnitte, welche näher betrachtet werden. Diese ergeben sich maßgeblich aufgrund der Leitungsabschnitte (Vierfach- bzw. Doppelleitungsabschnitt), Phasenbelegungen (Verdrillungsabschnitte), Mastkopfbilder und dem Erdseilkettenleiter.

Die Erdseilströme werden hauptsächlich von den Koppelimpedanzen zwischen den Phasenleitern und dem Erdseil sowie die jeweiligen Lastflussströmen (Betrag und Winkel) in den Leitungssystemen bestimmt.

Unter Annahme von einer  $(n-1)$ -Belastung in den Leitungssystemen und den Lastflussszenarien in dem Vierfachleitungsabschnitt resultieren folgende Erdseilströme:

## **Vierfachleitungsabschnitt**

Je nach Lastflussszenario resultieren in diesem Abschnitt Erdseilströme im Bereich zw. 40, 60, und 120 A

## **Doppelleitungsabschnitt**

Vom Vierfachleitungsabschnitt bis zum Verdrillungsmast ca. 170 A

Vom Verdrillungsmast bis Leitungsende: ca. 100 – 120 A



# Mastableitströme

Wird der Erdseilkettenleiter (Erdung des Erdseils bei jedem Masten) berücksichtigt, so ergeben sich im Normalbetrieb der Leitung Ausgleichsströme über die Masterdungsanlagen (Mastableitströme).

Die Mastableitströme resultieren aus den in das Erdseil je Spannungsfeld induzierten Spannungen, den Masterdungswiderständen, etc. Dies bedeutet, dass speziell bei Änderungen der Leitung (wie z.B. Vierfach- auf Doppelleitungsabschnitt, Änderung des Mastkopfbildes von z.B. Donau auf Tonne, etc.) sowie im Bereich um die Verdrillungsmasten Mastableitströme resultieren.

Bedingt durch die Änderung der induzierten Spannungen (Betrag bzw. Winkel) in das Erdseil der einzelnen Spannungsfelder nehmen die Mastableitströme maximale Werte von 35 A an.

Da die Mastableitströme vom Erdseil über die Erdungsarmaturen und die Mastkonstruktion gegen Erde abgeleitet werden, können diese je nach Ableitstrom und Kontaktqualität zu Erwärmungen der Erdseilgarnituren führen.

Hinsichtlich der ohmschen Beeinflussung der Maststandorte (Potentialanhebung, Berührungs- und Schrittspannungen) sind bei diesen Werten keine nennenswerten Gefährdungen an bzw. im Bereich der Maststandorte zu erwarten.



# Untersuchung und Erfahrungen

Die bestehende Leitungsconfiguration wurde unter Berücksichtigung von bekannten weiteren Einbindungen von neuen Umspannwerken hinsichtlich der auftretenden Unsymmetrie-, Gegenstrompegel und Erdseilströme in den Leitungsabschnitten hin untersucht.

Meldungen von Stromunsymmetrien treten vor allem in Sammelschienen-Querkupplungen auf, da sich hier die Unsymmetriekreis- und Gegenstromkomponenten der einzelnen Leitungssysteme schließen und je nach Schaltzustand keine großen Lastflussströme über die Kupplungen fließen.

Dabei wurden folgende Erfahrungen gesammelt:

- Einfluss der Lastflussszenarien auf die Unsymmetrieströme und Gegenstromkomponenten
- Möglichkeiten der Optimierung der Phasenseilbelegung auf bestehenden Vedrillungsmasten und Zuspaltungen von Umspannwerkportalen zur Reduktion der Unsymmetrie- und Gegenstromkomponenten
- Erdseilströme in den Leitungsabschnitten

# Zusammenfassung

Zusammenfassend wurden folgende Erfahrungen mit der Untersuchung gesammelt:

- Die Unsymmetrie- und Gegenstromkomponenten in den Leitungssystemen sind von der Phasenbelegung (unvollständigen Verdrillung) und den Lastflussszenarien bestimmt
- Die Unsymmetrie- und Gegenstromkomponenten überlagern sich in den Sammelschienen-Querkupplungen; je nach Schaltzustand treten hier aufgrund der „geringen“ Lastströme über die Kupplung hohe Unsymmetriefaktoren (Meldung von Stromunsymmetrien mittels Schutzgeräte) auf
- In den „reinen“ Doppelleitungsabschnitten können die Unsymmetrie- und Gegenstromkomponenten sowie Erdseilströme mittels Phasenbelegungsoptimierung bzw. Verdrillungen reduziert werden
- In den Vierfachleitungsabschnitt konnte keine gesamtheitliche Optimierungsvariante gefunden werden, ohne einen entsprechenden Aufwand (wie z.B. Verdrillung innerhalb des Vierfachleitungsabschnitts)
- Die unterschiedlichen Lastflussrichtungen im Vierfachleitungsabschnitt stellen eine Herausforderung hinsichtlich der Reduktion der Unsymmetrie- und Gegenstromkomponenten dar



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

