



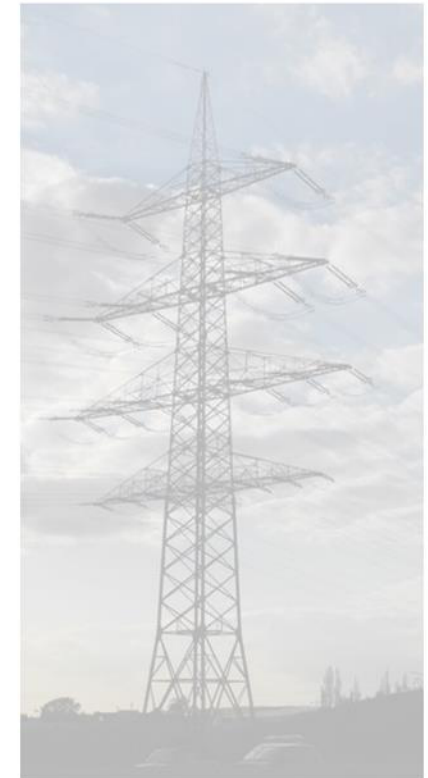
Schutzmaßnahmen gegen Beeinflussungsspannungen auf freigeschalteten Hochspannungs-Freileitungen

Dr. Volker Bökelmann, BG ETEM
18. Vortragsveranstaltung Elektrotechnik
Kassel, 7. Juni 2016

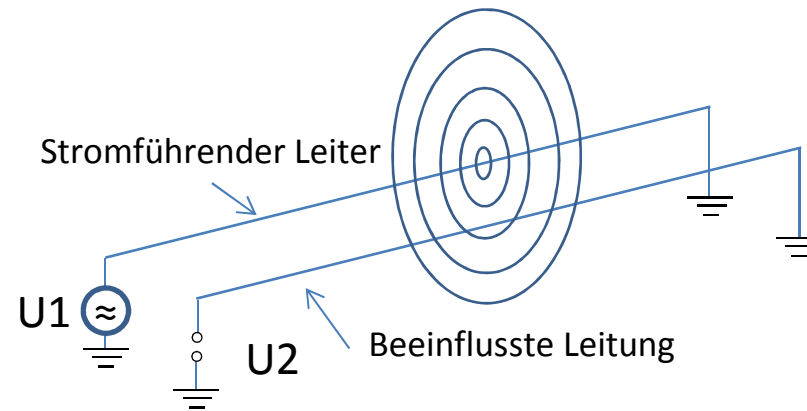


Inhalt des Vortrags

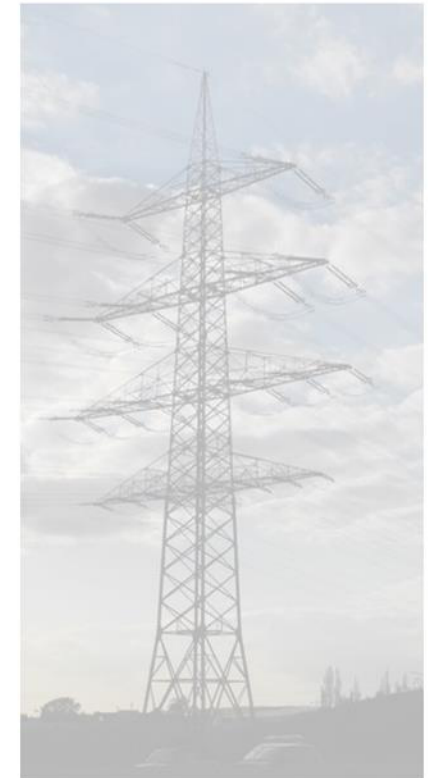
- Was sind Beeinflussungsspannungen?
- Problemstellung
- Wie sehen die Schutzmaßnahmen aus?
- Berechnungen an einem Beispielfall
- Fazit



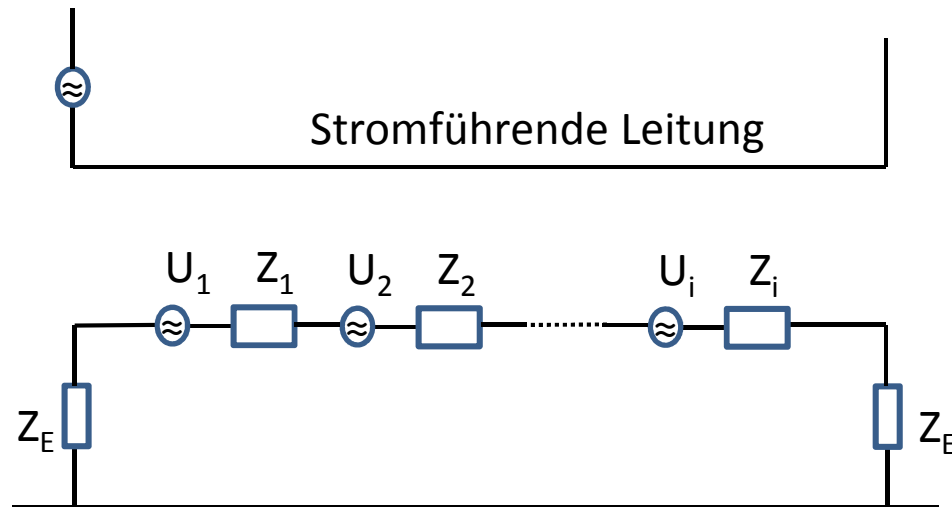
Was sind Beeinflussungsspannungen?



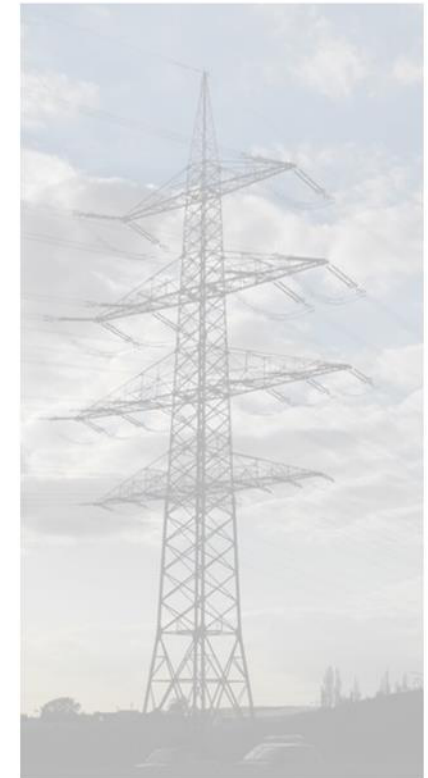
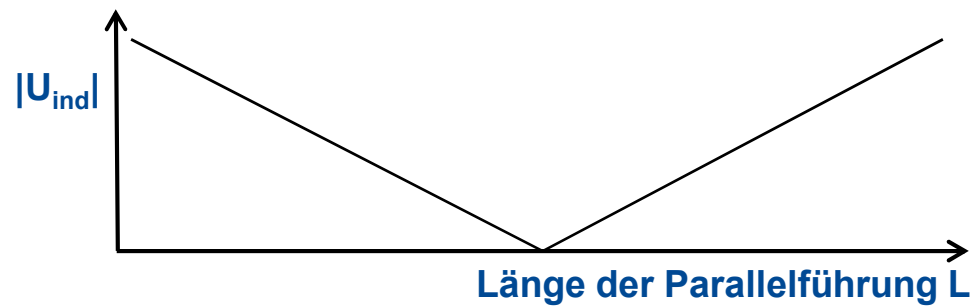
- Induktive Beeinflussung
 - Durch das vom Strom erzeugte magnetische Wechselfeld
- Kapazitive Beeinflussung
 - Durch das von der Spannung erzeugte elektrische Wechselfeld



Ersatz-Schaltbild



Induzierte Spannung:



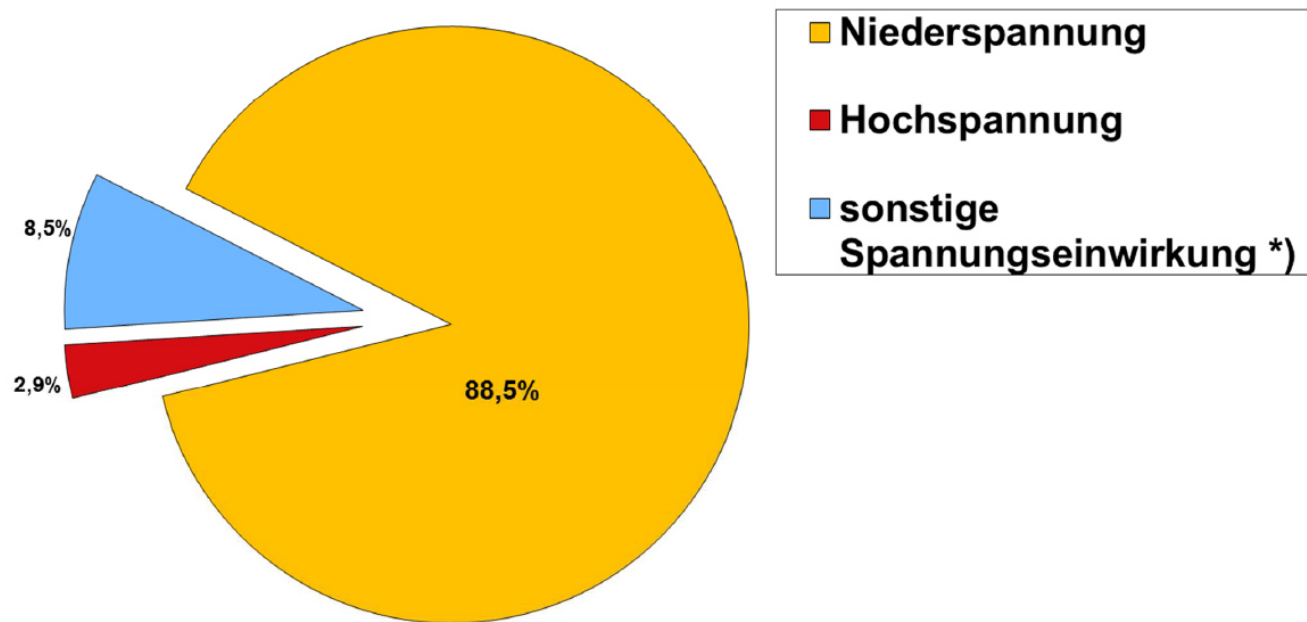
Sicher durch die 5 Sicherheitsregeln?

1. Freigeschaltet!
2. Gegen Wiedereinschalten gesichert!
3. (Betriebs-)Spannungsfreiheit festgestellt!
4. An den Ausschaltstellen geerdet und kurzgeschlossen!
5. Benachbarte Leiter weit entfernt!

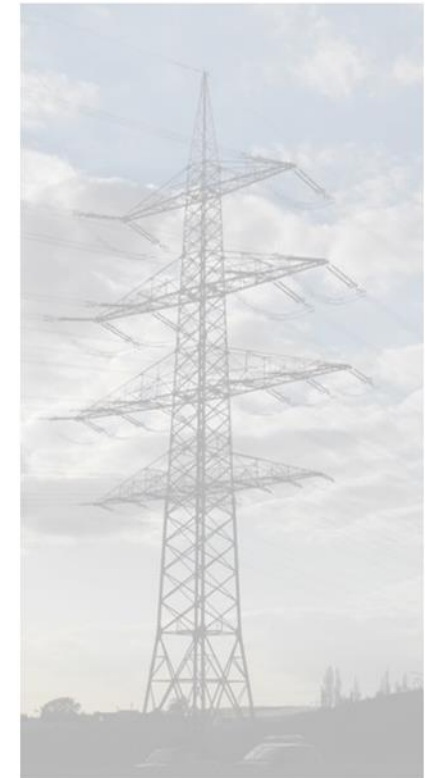


Unfallgeschehen

Stromunfälle nach Spannungsbereichen 2011



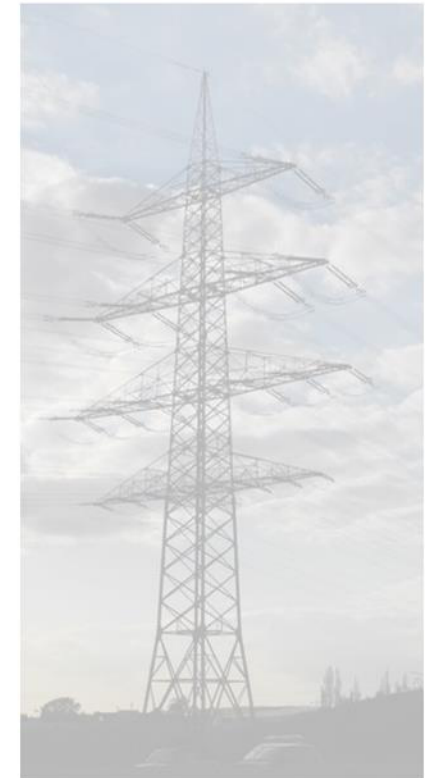
*) Blitz, Entladungsvorgang, induzierte oder influenzierte Spannung



Aus dem Unfallgeschehen
Stromschlag
an 20-kV-Leitung

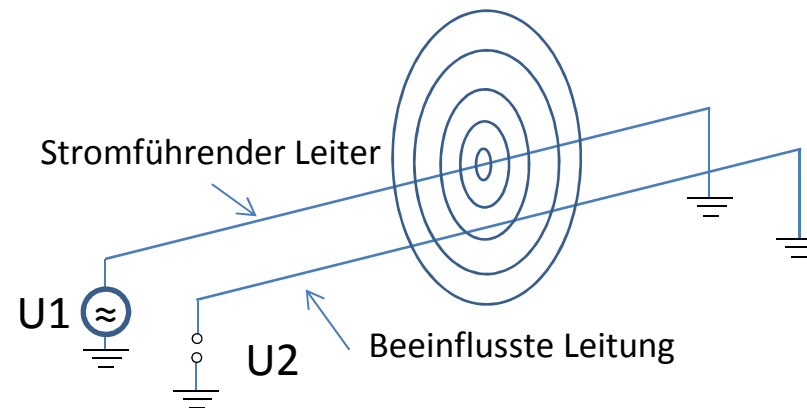
Arbeitsauftrag. Eine 20-kV-Freileitung sollte demontiert werden. Die Trasse verlief parallel im Abstand von ca. 35 m zu einer 400-kV-Leitung und überkreuzte an einer Stelle eine weitere 230-kV-Leitung (Bild 1). Die 400-kV-Leitung konnte nicht freigeschaltet werden. Wegen der Beeinflussungsspannung durch diese Leitung, wurden Arbeitserden eingesetzt. Zum Demontieren der

ckes geben wollte, näherte er sich mit einem Arm unbeabsichtigt dem demontierten Leiterseil. Es kam zur Körperdurchströmung und anschließender kurzer Bewusstlosigkeit. Der Auffanggurt schützte den Monteur vor einem Absturz. Nach kurzer Zeit



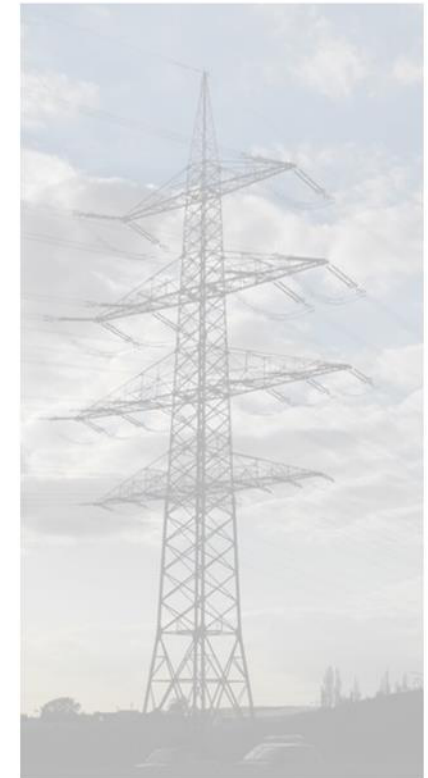
Elektropraktiker, Berlin 60 (2006) 2, Seite 101

Beeinflussungsspannungen sind umso höher, je ...



- ... größer die Stromstärke ist.
- ... länger die Parallelführung ist.
- ... näher die Leitungen liegen.

Magnetische Induktion >> Influenz

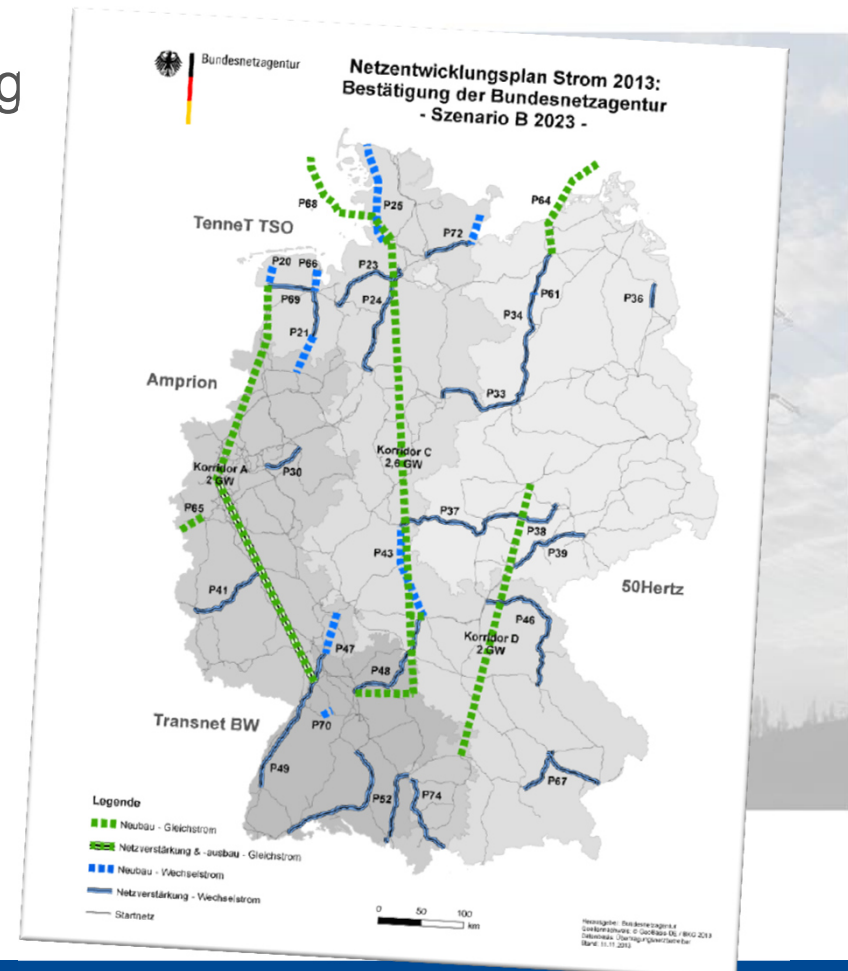


Zunehmende Problematik durch Energiewende

- Engere und längere Trassenführung
 - Vermehrte Parallelführung von Höchst- und Hochspannungsleitungen
- Höhere Stromstärken auf den Leitungen
 - Stärkere Magnetfelder

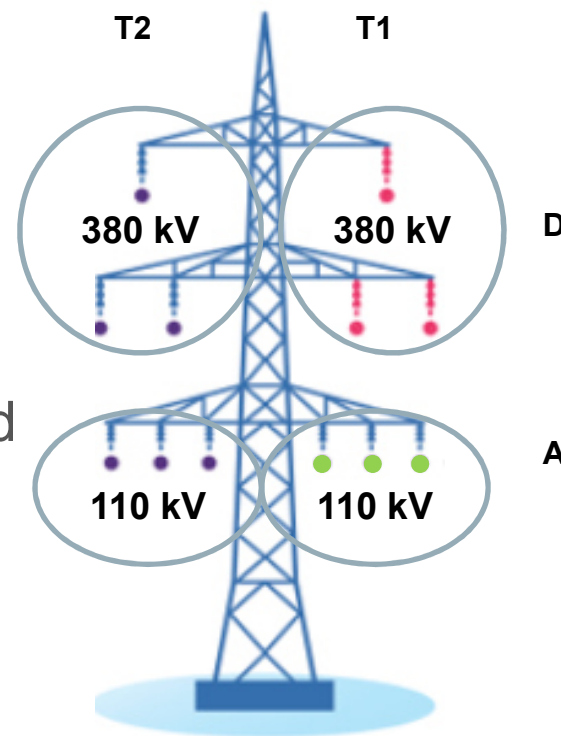
Quelle: BNETZA

http://www.netzausbau.de/SharedDocs/Downloads/DE/Publikationen/Stromnetzausbau2013.pdf?__blob=publicationFile



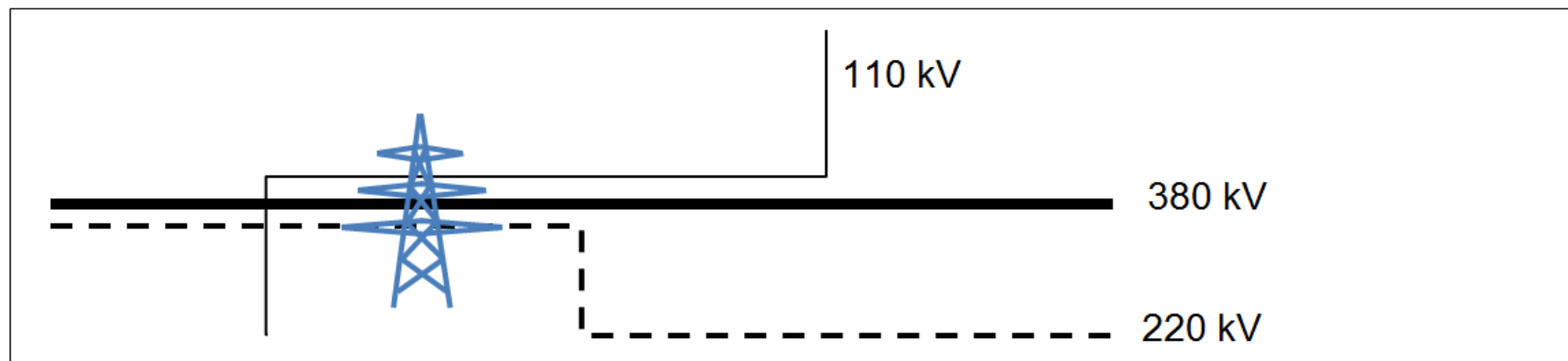
Freischaltungen immer schwieriger zu realisieren

- Die Sicherstellung der Transportkapazitäten macht es immer schwieriger, benachbarte Leitungen freizuschalten.
- Durch die räumliche Nähe sind die Beeinflussungen von Systemen an einem Mast relativ hoch.



Beeinflussungen sind nicht immer erkennbar

- Leitungsverläufe können auch nur abschnittsweise parallel verlaufen.
- Die induzierenden Systeme sind von der Arbeitsstelle aus eventuell nicht sichtbar.



Schutzmaßnahmen (DIN VDE 0105-100:2015-10)

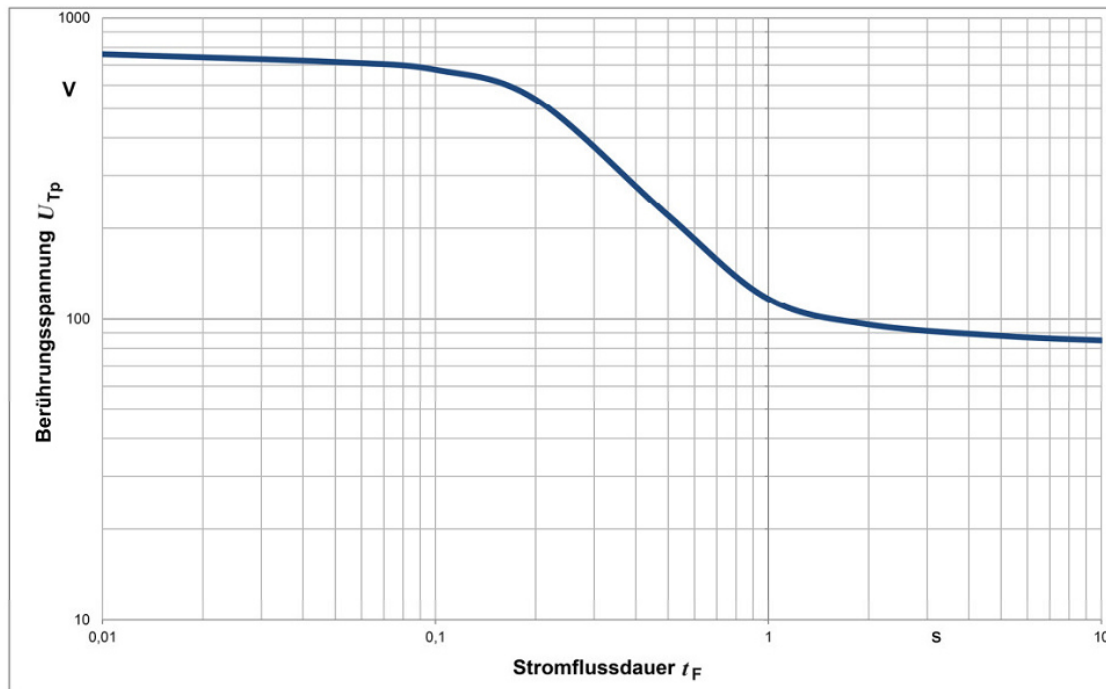
6.1.2 Anforderungen bei Beeinflussungsspannungen

Bei Arbeiten an elektrischen Systemen unter Beeinflussungsspannung sind besondere Sicherheitsmaßnahmen zu treffen (dies gilt besonders für Freileitungen):

- **abschnittsweise Erdung in angemessenen Abständen**
- **Potentialausgleich an der Arbeitsstelle**



Schutzmaßnahmen (DIN VDE 0105-100:2015-10)



ANMERKUNG Für eine Stromflussdauer beträchtlich länger als 10 s kann als zulässige Berührungsspannung U_{Tp} ein Wert von AC 80 V verwendet werden (siehe DIN EN 50522 (VDE 0101-2):2011-11, 5.4.3); zeitlich unbegrenzt eine Spannung von AC 50 V (siehe DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410)).

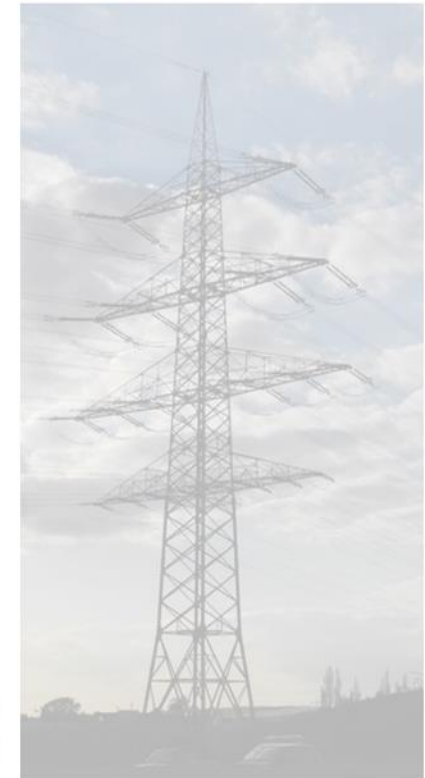


Bild 101 – Höchste zulässige Berührungsspannung U_{Tp} für AC 50 Hz für begrenzte Stromflussdauer t_F

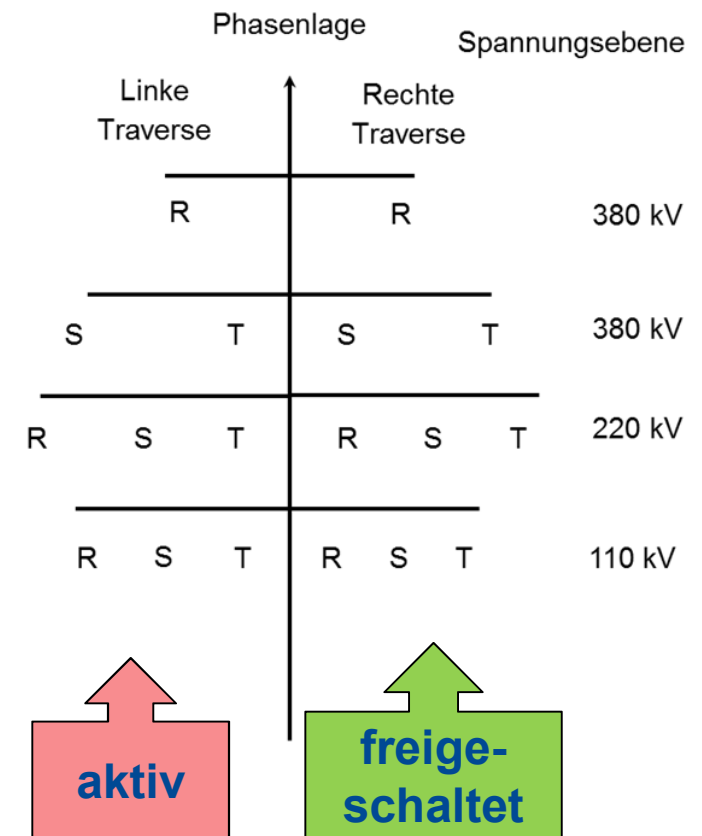
Beispielfall

- Berechnung der Beeinflussungsströme und -spannungen an einem Beispielfall mit Hilfe des Computerprogramms PSCAD (Manitoba Hydro International Ltd, Canada)
- Mastbild: Drei Spannungsebenen auf einem Mast (65 m hoch, 33 m breit)
- Trassenverlauf: 50 km Parallelverlauf

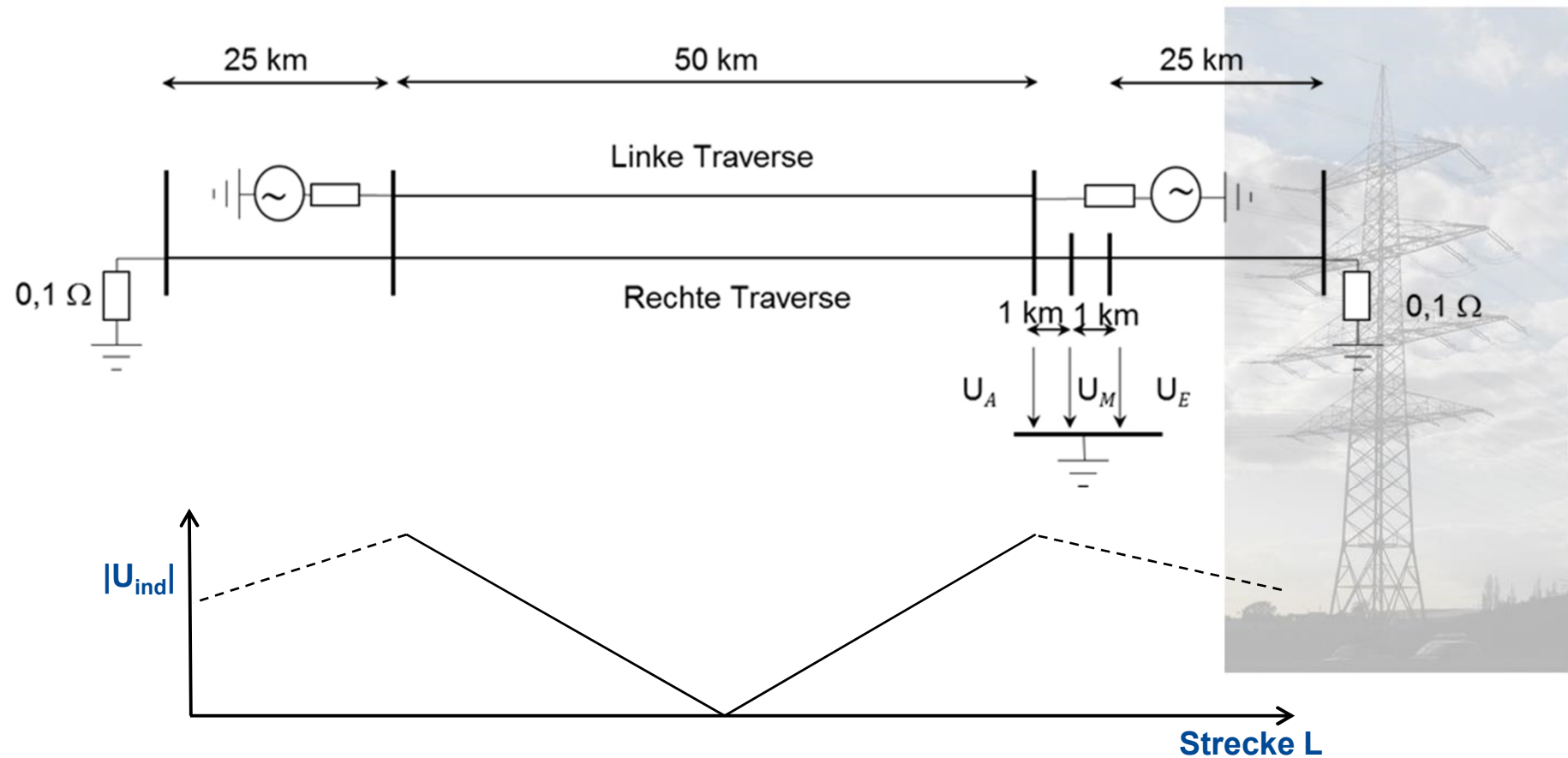


Beispielfall: Mastbild

- Rechte Stromkreise freigeschaltet, linke Stromkreise führen Betriebsstrom
- Berücksichtigung von Normalbetrieb und Fehlerfall:
 - Normalbetrieb (jeweils peak):
 - 380kV: 4 kA,
 - 220 kV: 1,8 kA,
 - 110 kV: 0,9 kA
 - Fehlerfall:
 - Kurzschluss mit 20 kA in Phase t des 380 kV-Systems

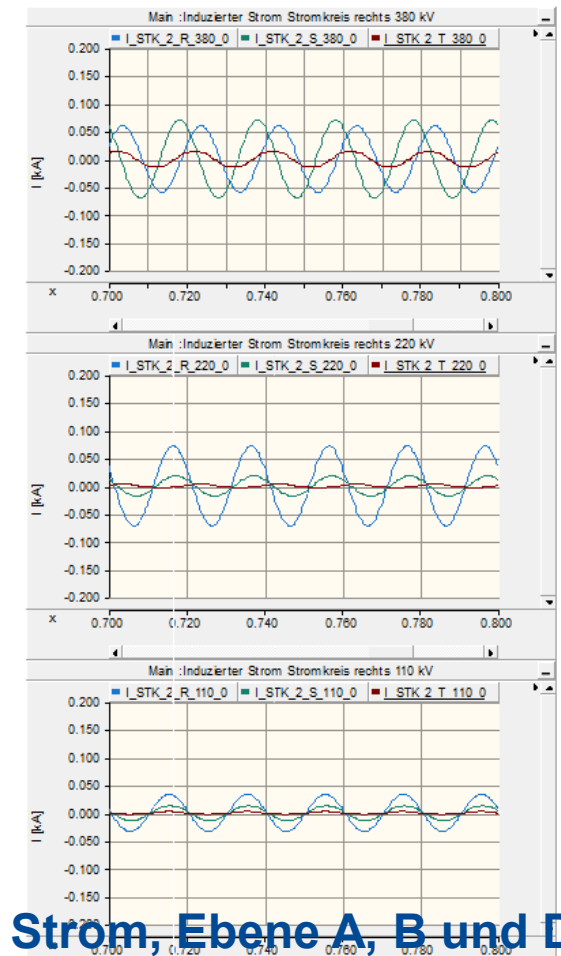
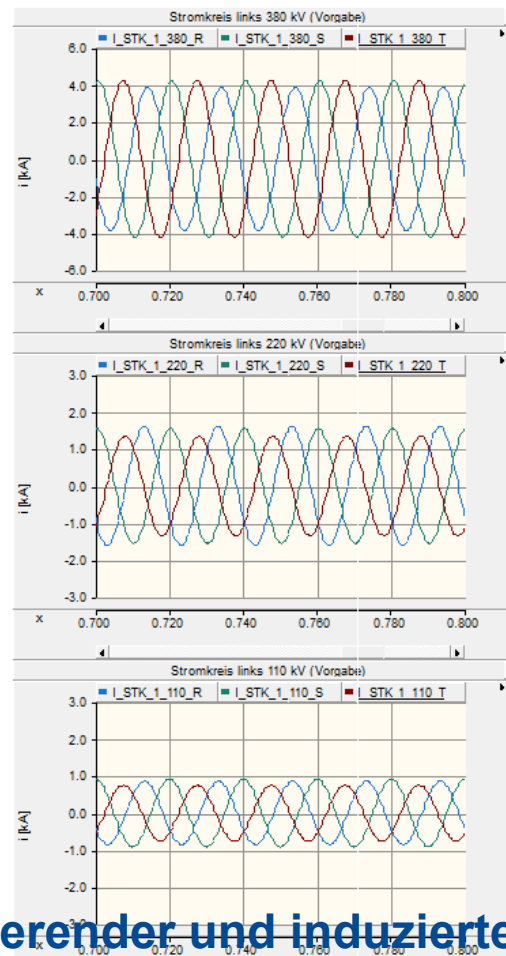


Beispielfall: Trassenverlauf



Ergebnisse (1): ohne Arbeitserde

- Ohne weitere Erdung (nur an den Ausschaltstellen):
- Induzierte Ströme bis ca. 80 A,
- Induzierte Spannungen bis ca. 2 kV

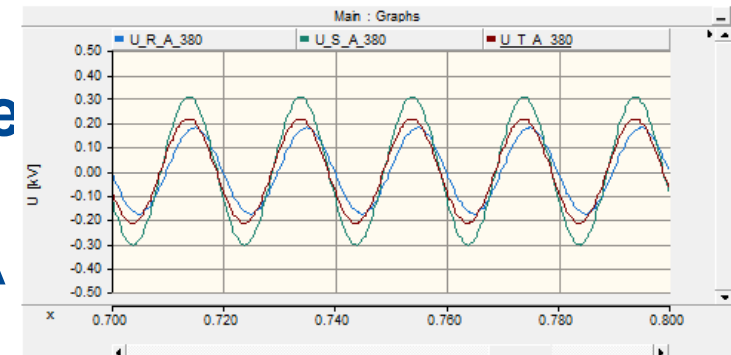


Induzierender und induzierter Strom, Ebene A, B und D

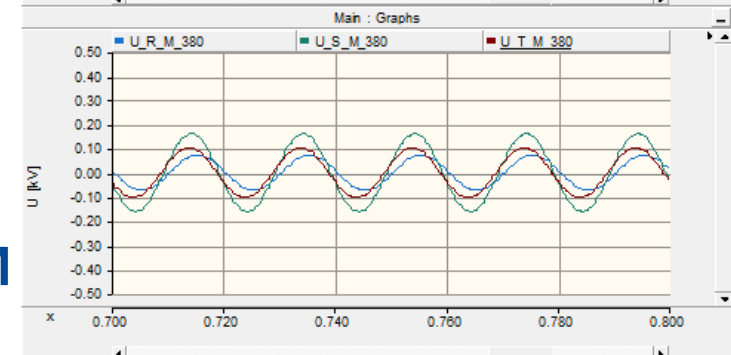
Ergebnisse (2): eine Arbeitserde

- Eine Erdung an der Arbeitsstelle E (0,5 Ohm)
- Induzierte Spannungen bis ca. 50 V
- In zwei km Entfernung Induzierte Spannungen bis ca. 300 V

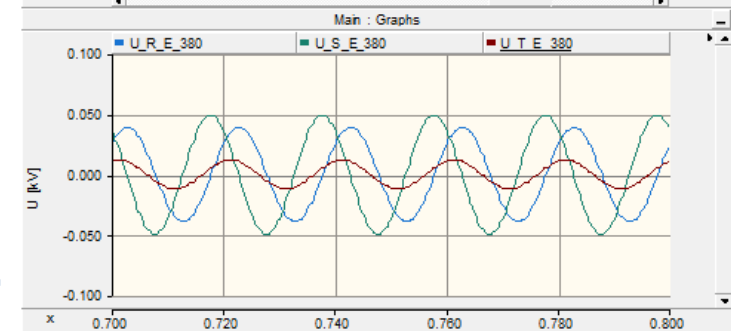
A



M



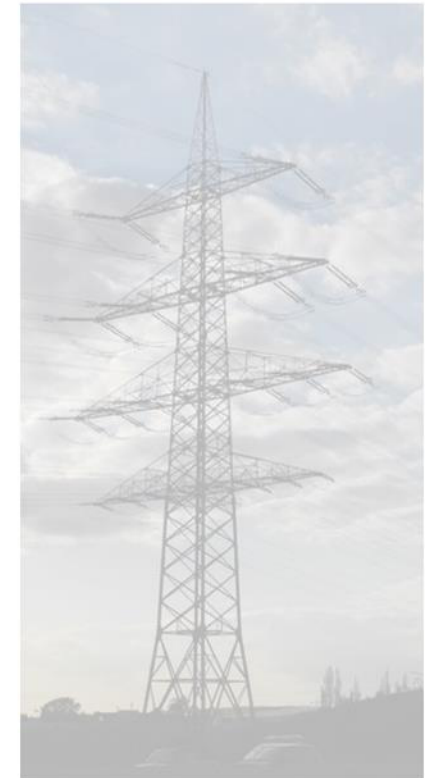
E



Beeinflussungsspannung U_A , U_M , U_E , 380 kV-Ebene

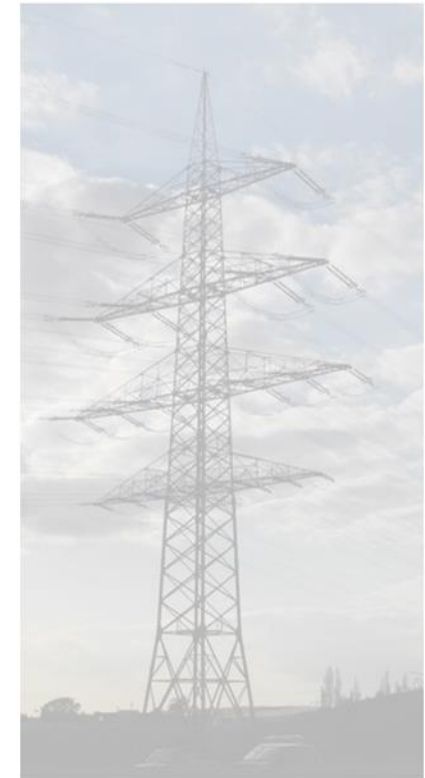
Ergebnisse (3): Arbeitserden an drei Stellen

- Arbeitserden an der Arbeitsstelle und je 1 km links und rechts reduzieren die Berührungsspannungen im normalen Betriebsfall auf Werte unter 50 V.
- Im Kurzschlussfall beträgt die Beeinflussungsspannung bei Arbeitserden an den drei Stellen A, M und E
 - im freigeschalteten 380 kV-System bis zu 600 V
 - im 110 kV-System immer noch bis zu 150 V.



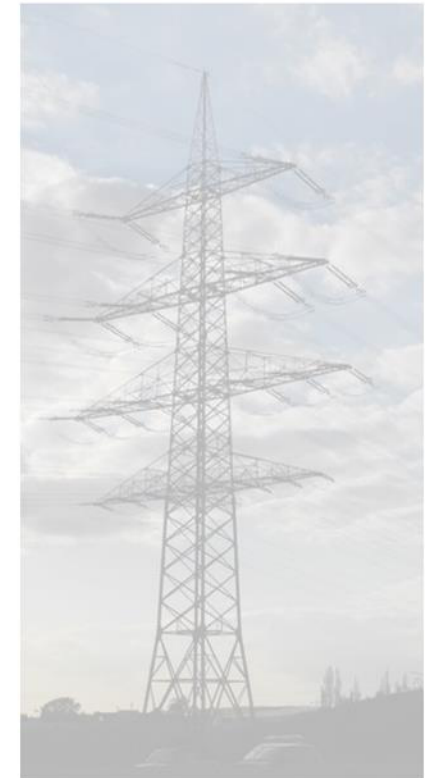
Fazit (1)

- Die Berührungsspannungen auf freigeschalteten Hochspannungsleitungen können durch Beeinflussungen benachbarter Stromleitungen unzulässig hoch werden.
- Computergestützte Simulations-rechnungen können an Beispielkonfigurationen durchgeführt werden.
- **Die Ergebnisse gelten nur für den modellierten, stark vereinfachten Einzelfall.**
- In der Praxis ist der Aufwand für die detailgetreue Modellierung realer Situationen sehr hoch.



Fazit (2)

- Um unzulässig hohe Berührungsspannungen für die Arbeitenden zu vermeiden, ist eine **Erdung an der Arbeitsstelle** sowie an den beiden **benachbarten Masten** vorzunehmen – insbesondere, wenn Kurzschlussfälle berücksichtigt werden müssen.
- Es ist auf eine **niederohmige Erdung** zu achten. Erdungsvorrichtungen müssen auf sauberem, leitfähigen Grund angebracht und fest angezogen werden.



Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

