



Quelle: Axpo

Elektrische Effekte an HDÜ/HGÜ (AC/DC) Hybridmastsystemen

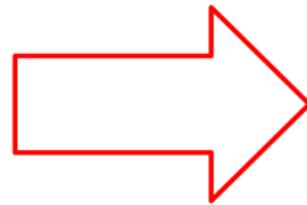
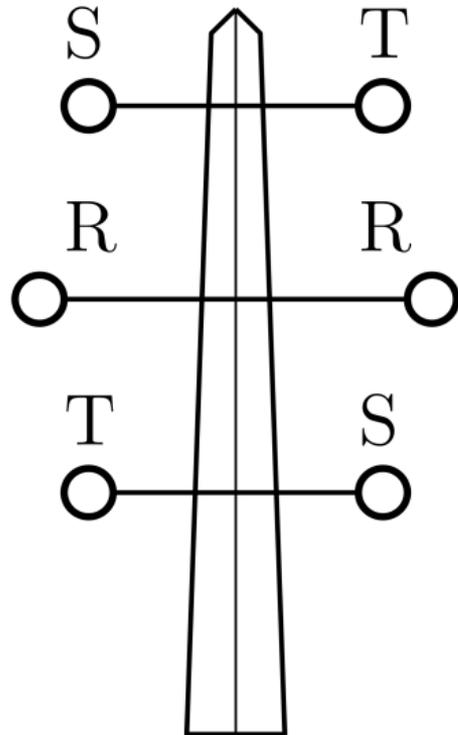
M.Sc. Martin Pfeiffer, M.Sc. Sören Hedtke, Prof. Dr. Christian Franck
High Voltage Laboratory, ETH Zürich
(mpfeiffer@ethz.ch)

Gliederung

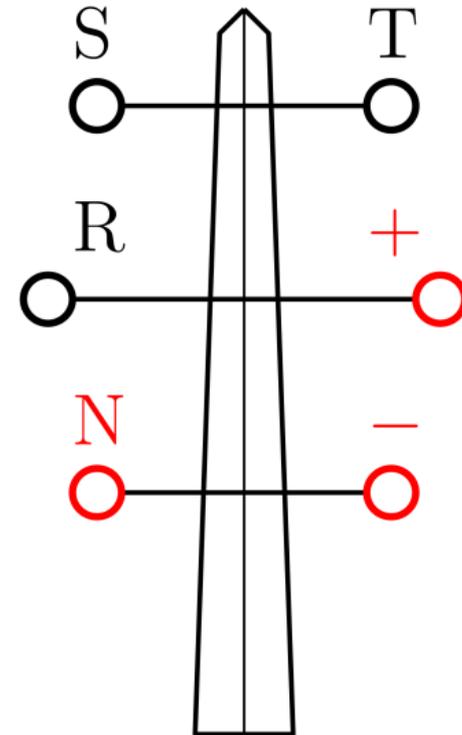
- 1) Einleitung
- 2) Einfluss auf Felder und elektrische Effekte
 - 1) Magnetfelder
 - 2) Elektrische Felder und Koronaeffekte
- 3) Aktuelle Forschungsergebnisse
- 4) Zusammenfassung

Einleitung: Grundprinzip

AC Tower



Hybrid Tower



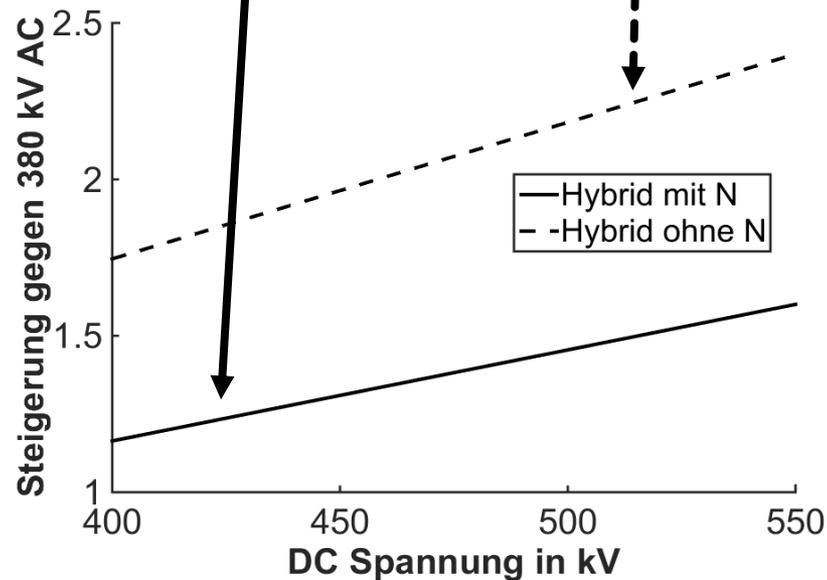
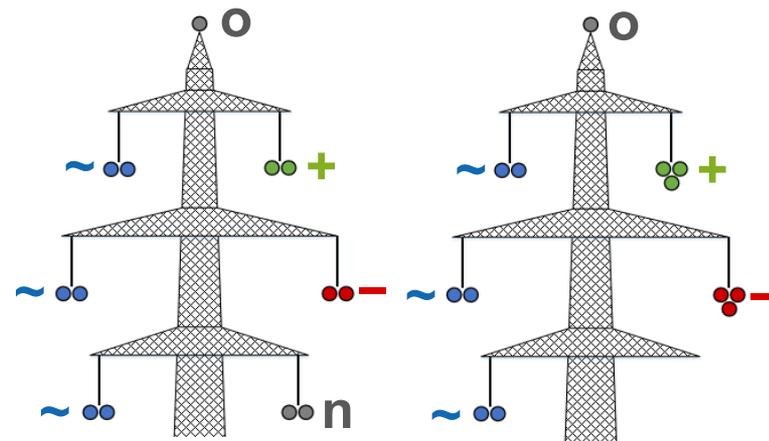
Einleitung: Motivation

Vorteile:

- Leistungssteigerung
- Bessere Auslastung
- Blindleistungskompensation
- Schwarzstart

Faktoren für Leistungssteigerung:

- Aufteilen der AC-Bündel
 - Rückleiter?
 - Statik der Masten?
- Höhere Spannungen
 - Isolatoren?
 - **Korona?**

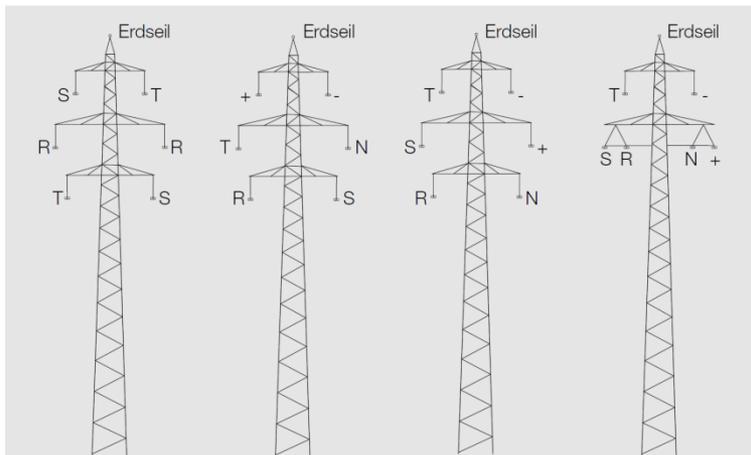


Gliederung

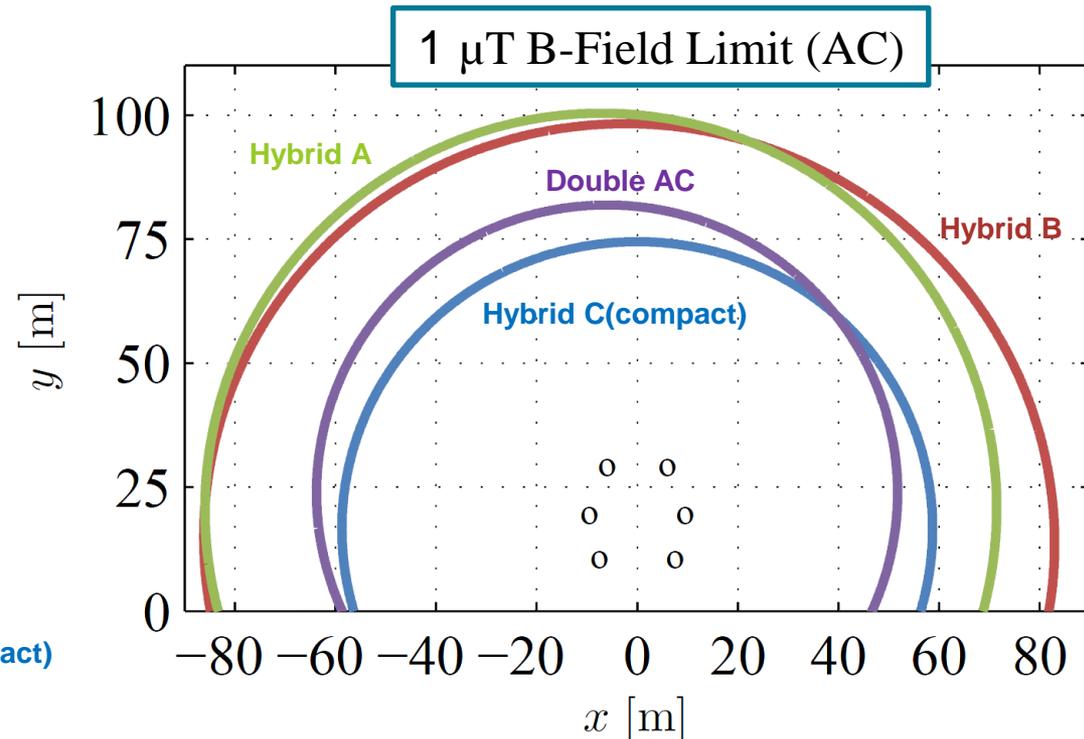
- 1) Einleitung
- 2) Einfluss auf Felder und elektrische Effekte
 - 1) Magnetfelder
 - 2) Elektrische Felder und Koronaeffekte
- 3) Aktuelle Forschungsergebnisse
- 4) Zusammenfassung

Herausforderung magnetisches Feld (B-Feld)

- AC-Doppel-System ist Phasenoptimiert für Minimierung des B-Feldes
- Wegfall der Phasenoptimierung im AC/DC-Hybrid-System
- Gegenmaßnahmen: Phasenkompaktierung oder Masterhöhung



Double AC Hybrid A Hybrid B Hybrid C (compact)



Quelle: M. D. Pfeiffer T. Guillod M. Weber C. M. Franck, *Erhöhung der Übertragungskapazität durch hybride AC/DC-Freileitungen*, Bulletin, Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von electrosuisse und VSE/AES, No 12/2013 (November 2013).

Gliederung

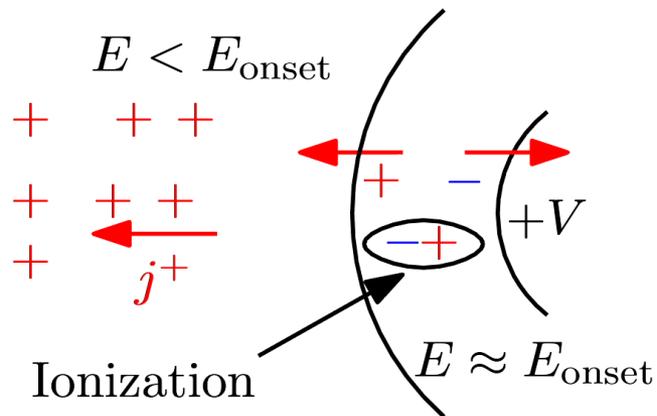
- 1) Einleitung
- 2) Einfluss auf Felder und elektrische Effekte
 - 1) Magnetfelder
 - 2) Elektrische Felder und Koronaeffekte
- 3) Aktuelle Forschungsergebnisse
- 4) Zusammenfassung

Einleitung Korona

Was ist Korona?

- Ionisation der Luft durch hohe elektrische Feldstärken an der Leiteroberfläche

Ionization Region positive



Quelle: Guillod, T. (2013). *Simulation of AC / DC Hybrid Overhead Lines*. Master Thesis, ETH Zurich

Einleitung Korona

Welche Unterschiede gibt es zwischen AC und DC?

- AC: Ionen beider Polaritäten oszillieren im Nahbereich des Leiters
- DC: Ionen driften in den Raum

Wechselfelder

B-Feld am Boden
E-Feld am Boden

Korona

AC-Korona

Gleichfelder

B-Feld am Boden
E-Feld am Boden

Ionenströme

Korona

DC-Korona

Gliederung

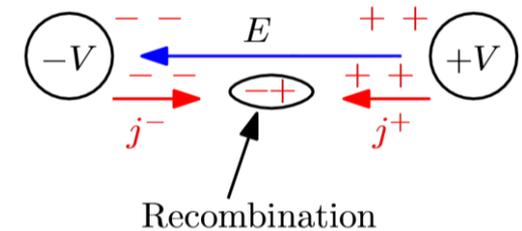
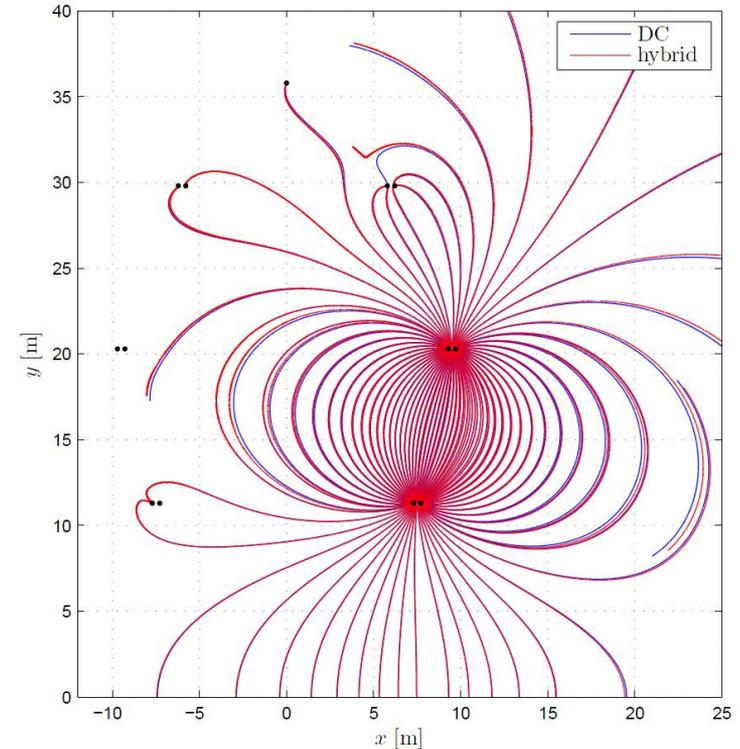
- 1) Einleitung
- 2) Einfluss auf Felder und elektrische Effekte
 - 1) Magnetfelder
 - 2) Elektrische Felder und Koronaeffekte
- 3) [Aktuelle Forschungsergebnisse](#)
- 4) Zusammenfassung

Ionenstromberechnung - Methode

- Komplexes numerische Problem
- Keine Standardtools verfügbar
- Entwicklung eigener Methode:

IMoC = Iterative Method of Characteristics

- Eigenschaften
 - Lösung des bipolaren Ionenstromproblems
 - Berücksichtigung von Wind
 - Ermöglicht Parameterstudien an neuen Mastgeometrien

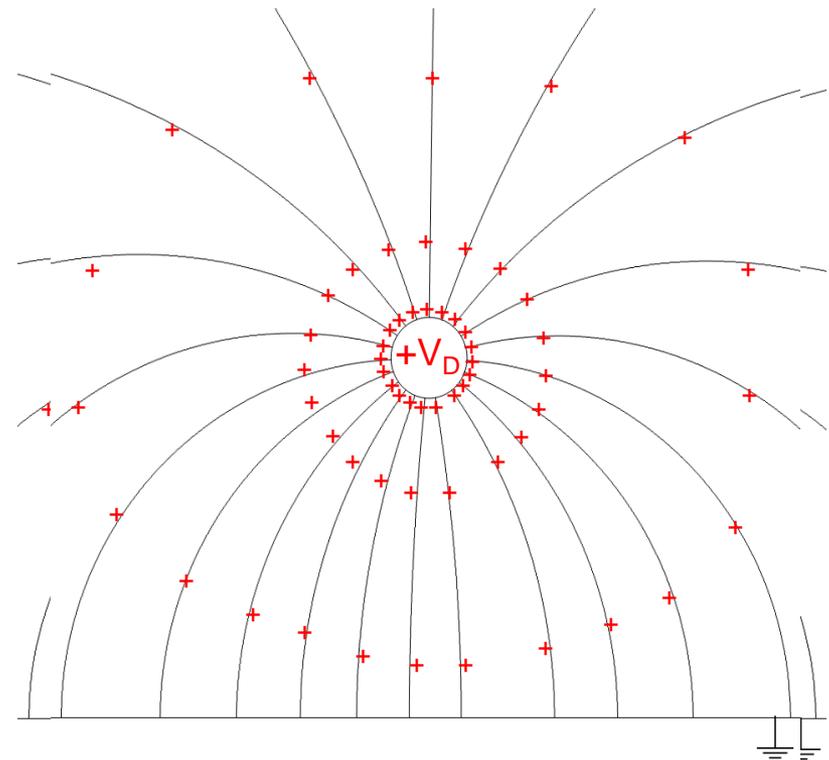


Quelle: Guillod, T. (2013). *Simulation of AC / DC Hybrid Overhead Lines*. Master Thesis, ETH Zurich

Ionenstromberechnung - Method

Simulationsschritte (vereinfacht):

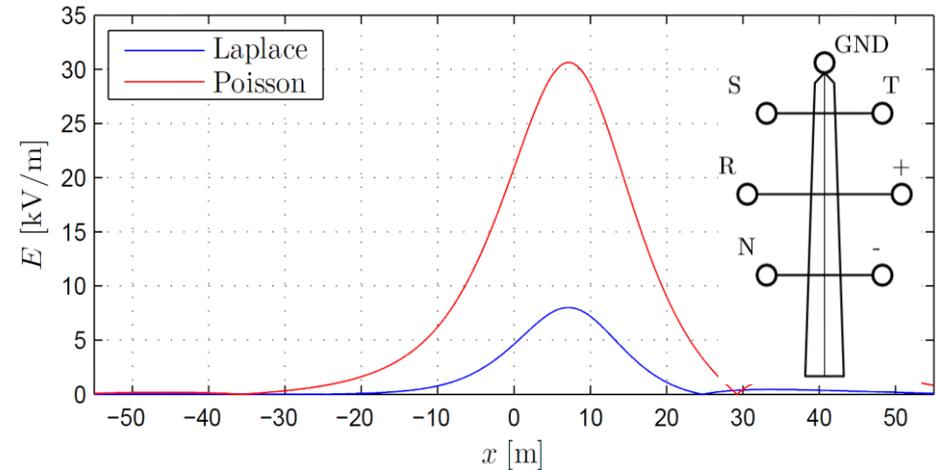
1. Berechnung der Feldlinien (FEM)
2. Bestimmung der Raumladungsdichte an der Leiteroberfläche:
 - $E_{\text{surface}} > E_{\text{on}} \rightarrow$ erhöhe Ladungsdichte
 - $E_{\text{surface}} < E_{\text{on}} \rightarrow$ reduziere Ladungsdichte
3. Berechnung der stationären Raumladungsverteilung entlang der Feldlinien
4. Interpolation der Raumladungsdichte auf das FEM Mesh
5. **Zurück zu Schritt 1.** Erneute Berechnung der Feldverteilung allerdings diesmal unter Berücksichtigung der Raumladungsverteilung



Ionenstromberechnung - Beispiele

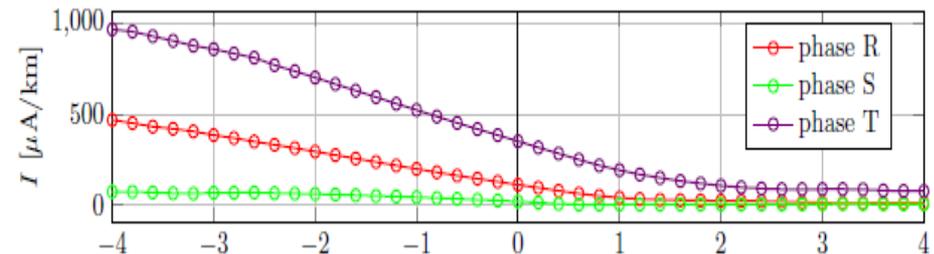
Feld-Einfluss durch Ionenströme:

- Höheres Feld durch Raumladung



Einkopplungen in AC Leiter:

- Stark abhängig vom Wind
- AC Leiter können auch unterhalb von DC Leitern positioniert werden
 - Boden wird abgeschirmt auf Kosten höherer DC Ströme in den AC Leitern



Quelle: Guillod, T. (2013). *Simulation of AC / DC Hybrid Overhead Lines*. Master Thesis, ETH Zurich

Geräuschemission bei AC & DC Freileitungen

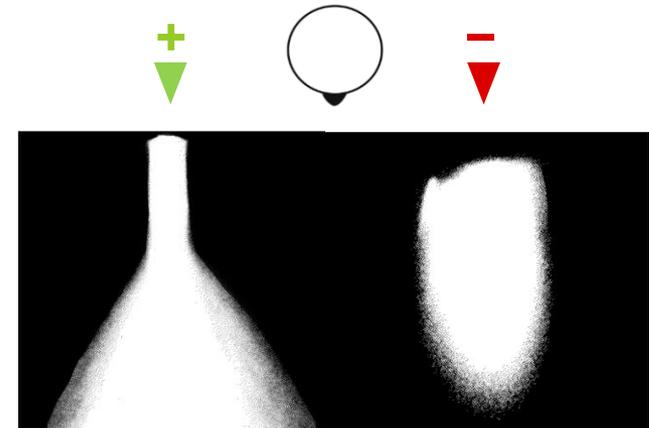
AC-Geräuschemission

- Am kritischsten bei nassem Wetter
- 100Hz Brummen durch Ionenbewegung

DC-Geräuschentwicklung

- Am kritischsten bei trockenem Wetter
- Polaritätseffekt
- Pos. Pol zieht neg. Störstellen an

Einfluss von AC/DC Wechselwirkungen nicht abschliessend geklärt



- | | |
|---------------------|--------------------|
| ■ Amplitude hoch | ■ Amplitude gering |
| ■ Repetition gering | ■ Repetition hoch |

Quelle: Maruvada, Corona performance of high voltage transmission lines, Research Studies Press, Baldock UK, 200

Gliederung

- 1) Einleitung
- 2) Einfluss auf Felder und elektrische Effekte
 - 1) Magnetfelder
 - 2) Elektrische Felder und Koronaeffekte
- 3) Aktuelle Forschungsergebnisse
- 4) Zusammenfassung

Zusammenfassung

Hybrid-Freileitungen

- Höhere Übertragungsleistung und grössere Akzeptanz in Bevölkerung durch Konvertierung bestehender Masten

Magnetfelder

- Erhöhung durch Konvertierung im Hinblick auf Grenzwerte in Deutschland nicht kritisch. Kompaktierung der Leiter kann ursprüngliches Niveau wiederherstellen.

Ionenstrom

- Simulation des Ionendriffs und resultierender Ströme möglich
- Anstieg des elektrischen Feldes am Boden durch Ionenströme
- Leiterpositionierung: Kompromiss zwischen hohen Strömen am Boden oder hohen Strömen in AC Leitern

Geräusentwicklung

- Durch DC System Geräusentwicklung auch bei trockenem Wetter relevant

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

