

Thanh Binh Nguyen

Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik
Institut für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik
Professur für Elektroenergieversorgung

Veröffentlichung

18. Symposium Energieinnovation 2024 (EnInnov 2024)

Graz, 02.05.2024

Titel

Erarbeitung eines Leitungsmodells zur Berechnung der Leitungsparameter unter Berücksichtigung der endlichen Leitungslänge und Mastausbreitungswiderständen an den Erdungspunkten

Inhalte

- 1 Einleitung**
- 2 Impedanzberechnung bei Freileitung**
- 3 Entwicklung des Berechnungsmodells**
 - 3.1 Betrachtung der Freileitung
 - 3.2 Herleitung des Berechnungsmodells
 - 3.3 Berechnung der Leitungsparameter
- 4 Validierung des Leitungsmodells**
- 5 Einflussfaktoren auf die Nullimpedanz**
- 6 Zusammenfassung und Ausblick**

1 Einleitung

Motivation

- Energiewende bedingt Ausbau des Übertragungsnetzes
- Modellierung der Freileitungen ist ein wichtiger Schritt bei der Projektierung

Stand der Technik:

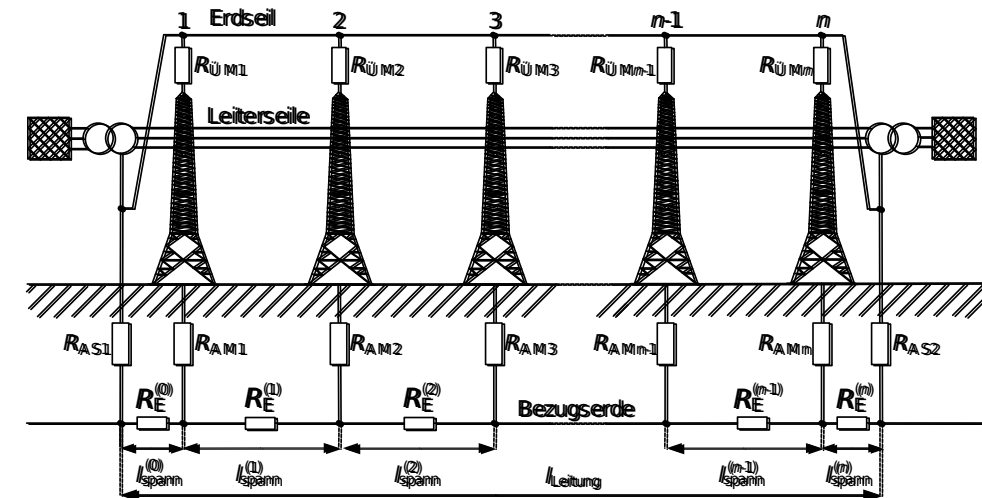
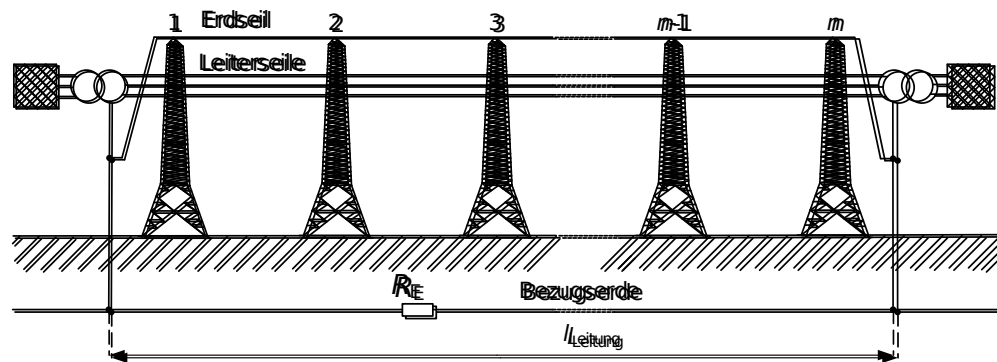
Modellierung mit vereinfachter Annahme:

- Vernachlässigung der Ausbreitungswiderstände
- Erd- und LWL Seile als unendlich lang
- Anwendung der Formeln von Carson/Pollaczek [1][2]

Ziel:

Modellierung mit Berücksichtigung

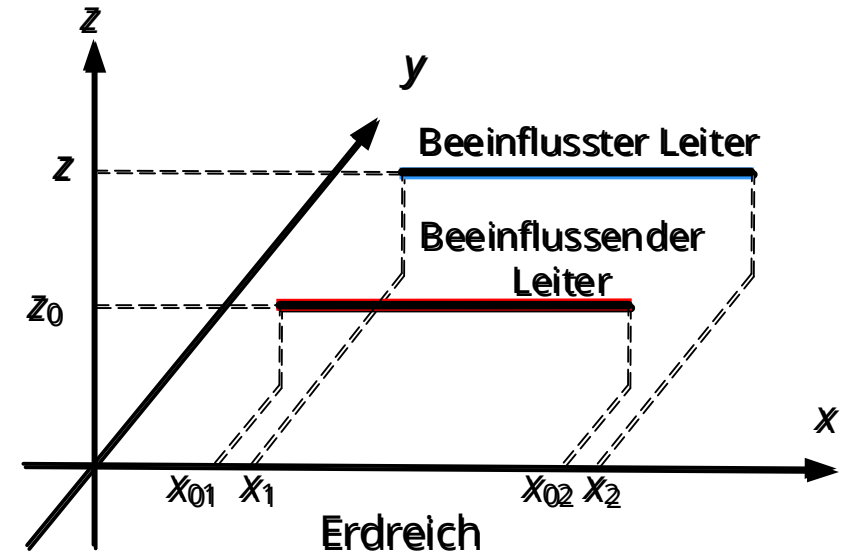
- der Ausbreitungswiderstände
- der Erdung der Erd- und LWL-Seile
- der endlichen Leitungslänge



2 Impedanzberechnung bei Freileitung

- Anwendung des Hertz'schen Dipolansatzes
- Nachbildung des beeinflussenden Leiters durch Aneinanderreihung von Dipolen

→ Integralausdruck zur Berechnung der Koppelimpedanz unter Berücksichtigung der Leiterlänge [3][4][5]:



$$\tilde{Z}_{Koppel} = \frac{j\omega\mu}{4\pi} \int_{x_1}^{x_2} \int_{x_{01}}^{x_{02}} \int_0^{\infty} \left[\frac{\nu}{\alpha_1} \cdot e^{-\alpha_1(z_0-z)} J_0(\rho\nu) d\nu + \frac{\nu}{\alpha_1} \cdot \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} \cdot e^{-\alpha_1(z_0+z)} J_0(\rho\nu) d\nu \right] dx_0 dx$$

→ Hoher Rechenaufwand für die Anwendung

2 Impedanzberechnung bei Freileitung

$$\tilde{Z}_{Koppel} = \frac{j\omega\mu}{4\pi} \int_{x_1}^{x_2} \int_{x_{01}}^{x_{02}} \left[\int_0^{\infty} \frac{\nu}{\alpha_1} \cdot e^{-\alpha_1(z_0-z)} \mathbf{J}_0(\rho\nu) d\nu \int_0^{\infty} \frac{\nu}{\alpha_1} \cdot \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} \cdot e^{-\alpha_1(z_0+z)} \mathbf{J}_0(\rho\nu) d\nu \right] dx_0 dx$$

- **Leiter unendlicher Länge**

→ Geschlossene Lösungsansätze nach Carson und Pollakzek [4][5][6] □ Anwendung für die Leiterseite

- **Leiter endlicher Länge**

- analytische Lösung

- asymptotische Lösung durch Image-Theorie

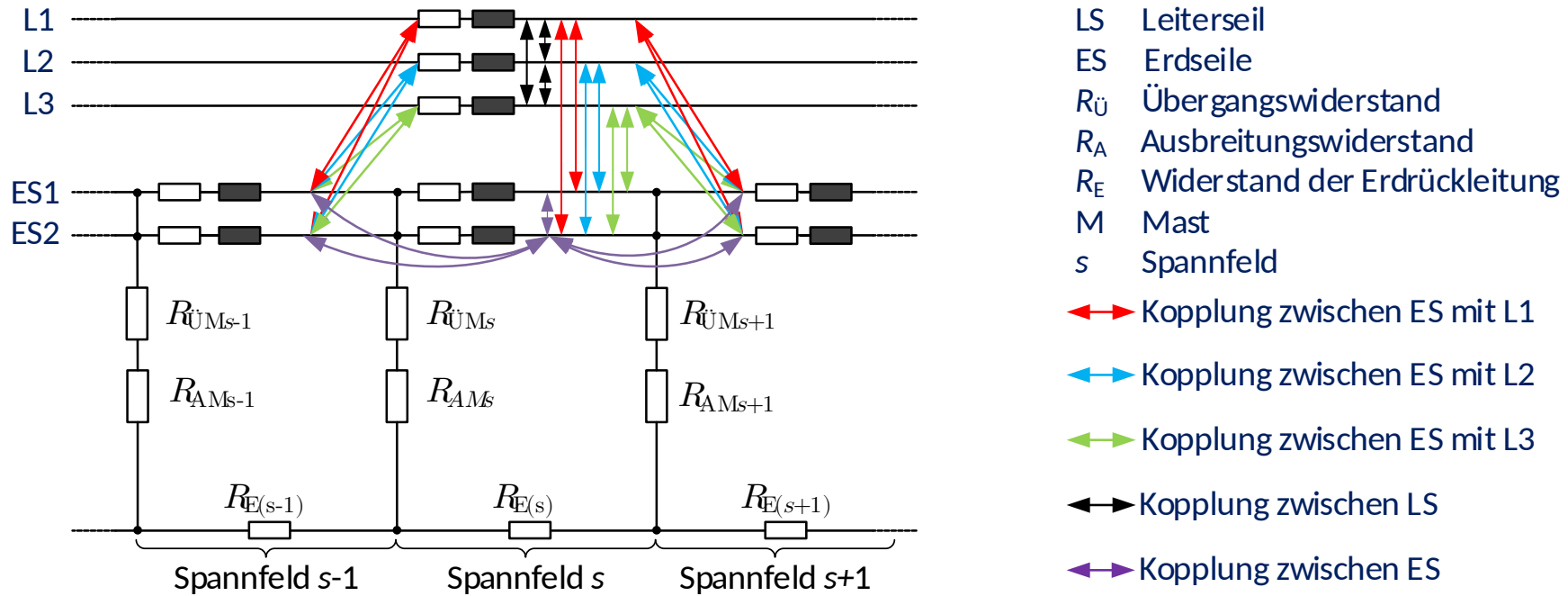
- □ analytische Lösungen sind möglich □ Vierbild-Ansatz von Mahmoud [7]

- Geringer Rechenaufwand, ausreichende Genauigkeit, Anwendung für die Erdseite

3 Entwicklung des Berechnungsmodells

3.1 Betrachtung der Freileitung

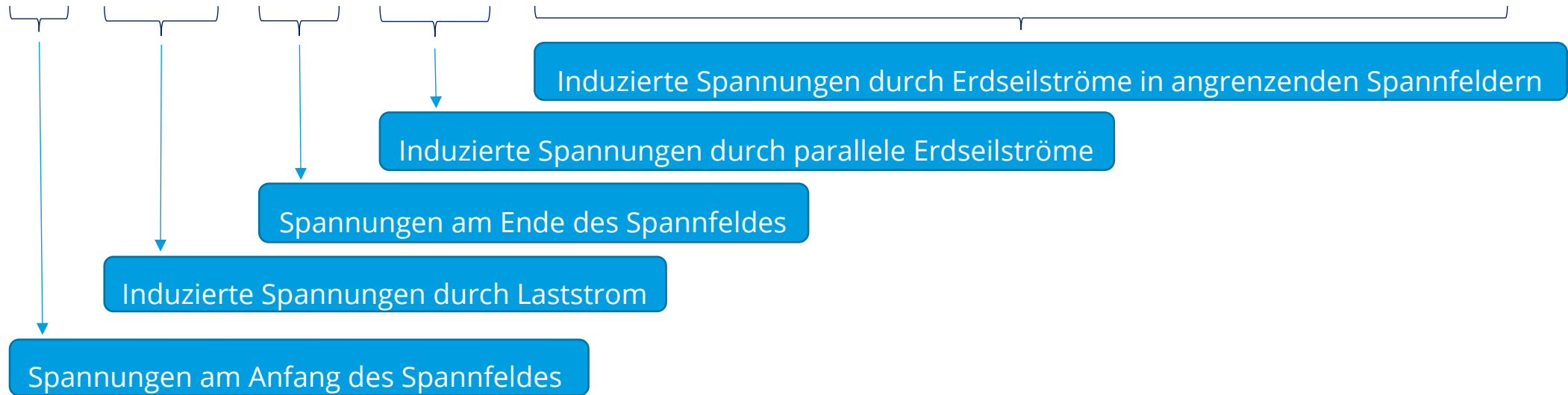
- Spannfeldweise Modellierung der Freileitung
- Berücksichtigung der Kopplungen über Spannungsfelder hinweg
- Entwicklung des Berechnungsmodells mit einem vollständigen Kirchhoff-Gleichungssystem (VKGS)



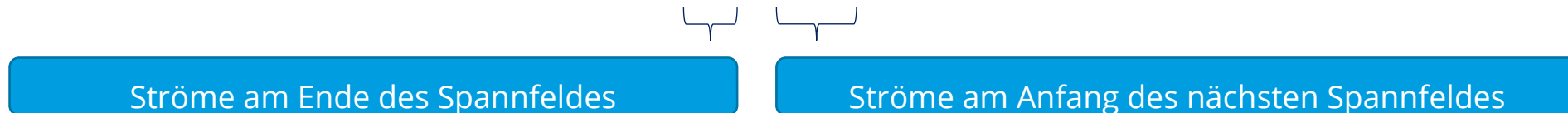
3 Entwicklung des Berechnungsmodells

3.2 Herleitung des Berechnungsmodells

- Spannungsbeziehungen der Leiterseile im Spannfeld



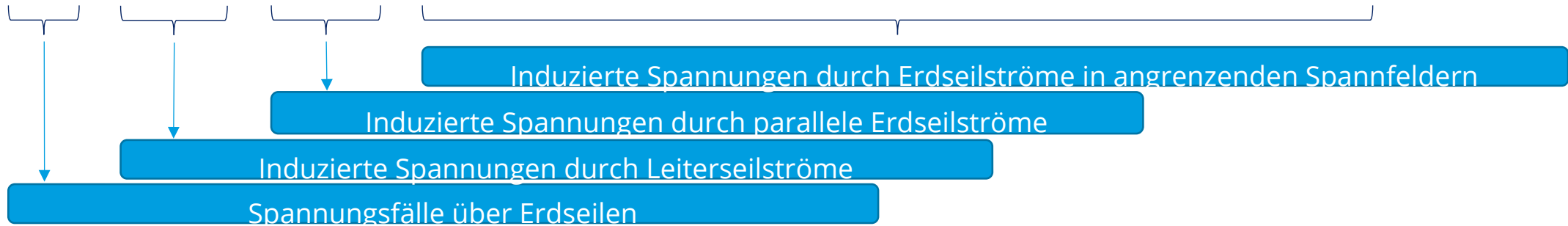
- Strombeziehungen der Leiterseile im Spannfeld bei Vernachlässigung der Kapazitäten



3 Entwicklung des Berechnungsmodells

3.2 Herleitung des Berechnungsmodells

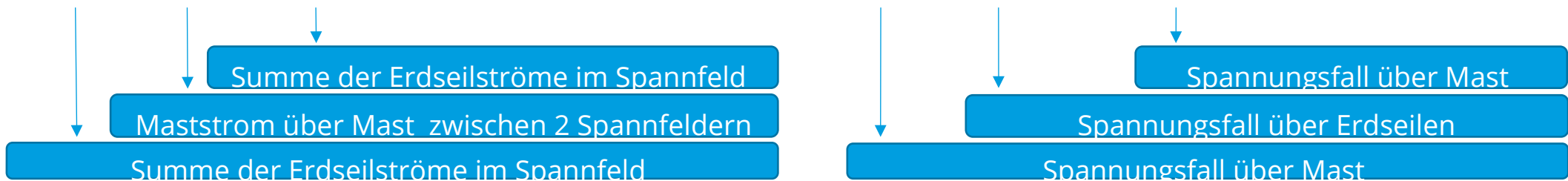
- U-I-Relationen der Erdseile im Spannungsfeld



- U-I-Relation des Mastes

- Knotengleichungen für Spannungsfeld

- Maschengleichungen der Erdseil-Mast-Erde-Schleife



3 Entwicklung des Berechnungsmodells

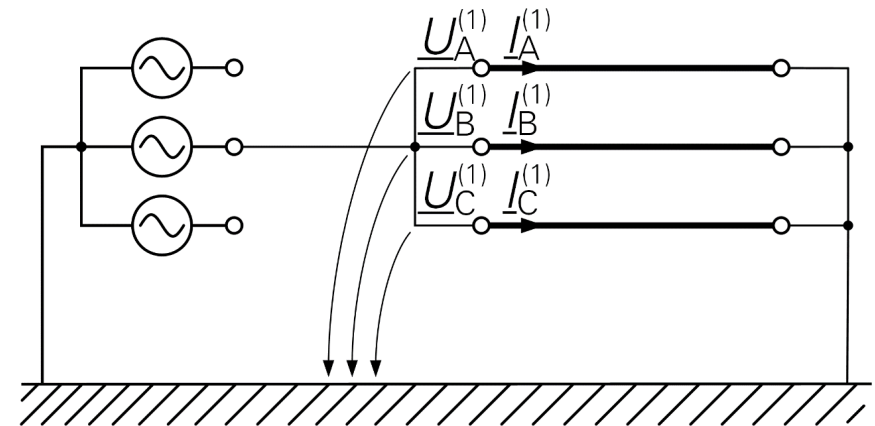
3.2 Herleitung des Berechnungsmodells

- Vorgabe des Schaltzustands
 - Impedanzmessung durch Strom/Spannungsmessung an der kurzgeschlossenen Leitung
 - ➔ Speisung und Klemmenzustand im Berechnungsmodell durch Teilmatrizen beschreiben

+ und +

- Beispiel: Berechnung der Nullimpedanz eines Stromkreises

= = =



3 Entwicklung des Berechnungsmodells

3.3 Berechnung der Leitungsparameter

- Lösen des VKGS der Leitung:

□

Ergebnis ist Strom- und Spannungsverteilung im Netzwerk

- Berechnung der Leitungsparameter
 - und aus ablesen
 - Berechnung der Nullimpedanz eines Systems:
 - Berechnung der Mitimpedanz eines Systems:

3 Leitungsmodell

3.3 Validierung des Leitungsmodells

Validierung 1: Vergleich mit konventionellem Modell einer fiktiven Freileitung

- Annahme: niederohmig
Formeln für unendlich lange Leiter

▢ Leitungsmodell wird auf die Annahmen der Modellierung konventioneller Modelle zurückgeführt

- Ergebnisse stimmen mit dem konventionellen Modell mittels symmetrischer Komponenten überein

Validierung 2: Vergleich mit Leitungsparametern einer realen Leitung

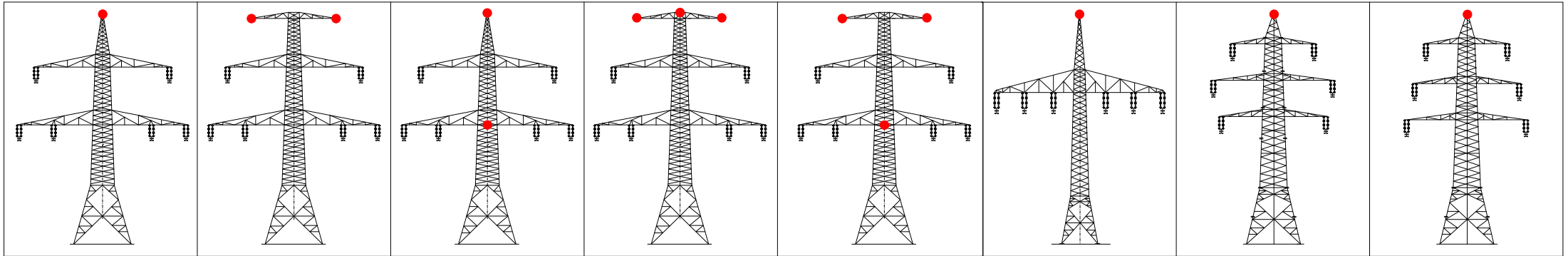
- Annahme messtechnisch erfasst

- Ergebnis: Abweichungen unter 2% betragen

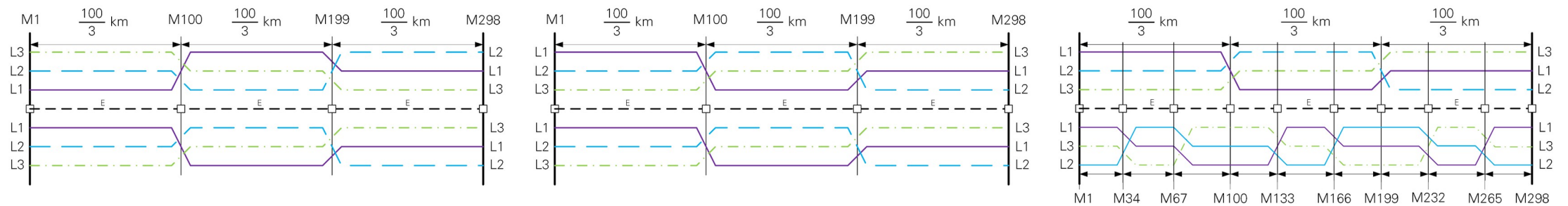
Abweichungen bei Nullimpedanz steigt mit zunehmendem spezifischen Erdwiderstand

4 Einflussfaktoren auf die Nullimpedanz

- Untersuchte Freileitung
 - Mastbilder(Donau-, Einebenen-, Tannen- und Tonnenmast)



- Verdrillung (,,)



- Unterschiedliche Seiltypen
- Spezifischer Erdwiderstand:

- Ausbreitungswiderstand:
- Bodenabstand:

4 Einflussfaktoren auf die Nullimpedanz

Untersuchte Einflussfaktoren

- spezifischer Erdwiderstand
- Mastausbreitungswiderstand
- Bodenabstand
- Materialien der Seile
 - Leiterseile
 - Erdseile
- Mastdesign
 - Mastkopfbilder
 - Anzahl der Erdseile
 - Position der Erdseile
 - Verdrillung der Leitung

Referenzfall



$$R_M = 0 \Omega$$

$$l_{Boden} = 8 m$$

434-AL1/56-ST1A

212-AL1/49-ST1A

Donau

1

Mastspitze

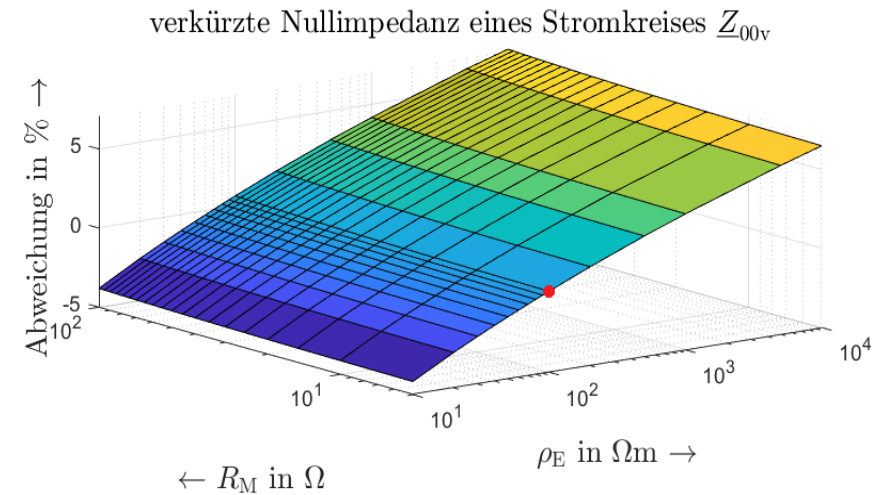
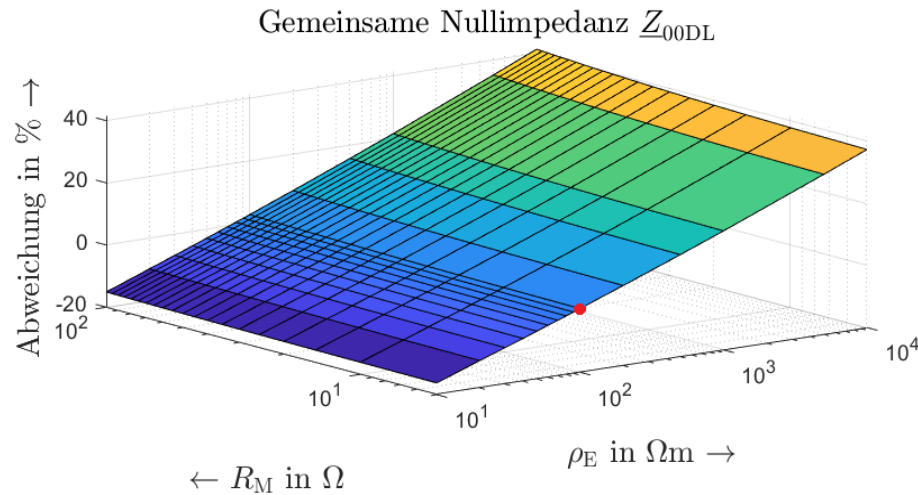
-Verdrillung
Leiterfolge am Leitungsanfang
L1 L2 L3 – L1 L2 L3

Signifikante Einflüsse



4 Einflussfaktoren auf die Nullimpedanz

- Die Nullimpedanz steigt mit zunehmendem spezifischen Erdwiderstand und Mastausbreitungswiderstand (erdgebundenen Einflussfaktoren)



- verkürzte Nullimpedanz reagiert am wenigsten empfindlich auf Parameteränderungen
- Die Nullimpedanz verringert sich mit zunehmender Anzahl der Erdseile

Grund: Zusätzliche Erdseile \square Rückstromfluss dienen \square Einfluss der erdgebundenen Einflussfaktoren reduzieren

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

- ✓ Beschreibung der grundsätzlichen Zusammenhänge zur Berücksichtigung der endlichen Leitungslänge
- ✓ Anwendung des Ansatzes mit dem Hertz'schen Dipol zur Berechnung der Koppelimpedanz
- ✓ Modellierung von Freileitung unter Berücksichtigung der Erd- und LWL-Seile
- ✓ Implementierung eines Leitungsmodells zur Berechnung der Leitungsparameter
- ✓ Auswertung und Vergleich von Messwerten
- ✓ Bewertung der Einflüsse auf die Nullimpedanz

Ausblick

- Berücksichtigung der Kapazitäten im vollständigen Kirchhoffschen Gleichungssystem
- Verbesserung der Lösungsansätze mittels Image-Theorie

Quellenverzeichnis

- [1] J.R.Carson, Wave propagation in overhead wires with ground return," Bell system technical journal, 1926.
- [2] F. Pollaczek, Über das Feld einer unendlich langen wechselstromdurchflossenen Einfachleitung, Elektrische Nachrichtentechnik, Elektrische Nachrichtentechnik, pp. 339-359.
- [3] E. D. Sunde, Earth Conduction Effects in Transmission Systems, 20. Aufl. Newyork: Dover Publication, Inc, 1968.
- [4] C. Liebermann, Berechnung induzierter Spannungen bei Leiter- und Erdseilzug auf 380-kV-Freileitungen, Diplomarbeit: TU Dresden, 2015.
- [5] T. B. Nguyen, Erarbeitung eines Modells zur Berechnung der Nullimpedanz von Freileitungen unter Berücksichtigung der endlichen Leitungslänge und Zusatzwiderständen an den Erdungspunkten von Erdseilen, Diplomarbeit: TU Dresden, 2023.
- [6] E.-P. Meyer, Stromrückleitung über das Erdreich, Impedanzen und induktive Beeinflussung bei Leitern endlicher Länge, Technische Hochschule Darmstadt, Dissertationsarbeit, 1982.
- [7] S. F. Mahmoud und A. D. Metwally, New image representation for dipoles near a dissipative earth 1. Discrete images, Radio Science, 1981, pp. 1271-1275.

Besten Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Kontakt Daten:

Dipl.-Ing. Thanh Binh Nguyen

Technische Universität Dresden
Institut für Elektrische Energieversorgung
und Hochspannungstechnik (IEEH)
01062 Dresden

Tel.: +49 (0) 351 463 - 43200

E-Mail: Thanh.Binh.Nguyen@tu-dresden.de



Thanh Binh Nguyen

Dipl.-Ing. Carlo Liebermann

Technische Universität Dresden
Institut für Elektrische Energieversorgung
und Hochspannungstechnik (IEEH)
01062 Dresden

Tel.: +49 (0) 351 463 - 43204

Mobil: +49 (0) 151 53545453

E-Mail: Carlo.Liebermann@tu-dresden.de



Carlo Liebermann

Prof. Dr.-Ing. Peter Schegner

Technische Universität Dresden
Institut für Elektrische Energieversorgung
und Hochspannungstechnik (IEEH)
01062 Dresden

Tel.: +49 (0) 351 463 - 34374

E-Mail: Peter.Schegner@tu-dresden.de