

# Neue Herausforderungen an die induktive Rohrleitungsbeeinflussung unter Berücksichtigung des aktuellen Forschungsstands

René Braunstein  
Ernst Schmutzer  
Mario Ölz

Institutsleiter: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Lothar Fickert

**Technische Universität Graz**  
**Institut für Elektrische Anlagen**

## Inhaltlicher Überblick



- Was ist induktive Rohrleitungsbeeinflussung?
- Welche Spannungsgrenzen gilt es einzuhalten?
- Was ist Wechselstromkorrosion?
- Wie kann das Korrosionsrisiko minimiert werden?
- Welche Arten von Korrosionsschutz gibt es?
- Wie berechnet man den Potenzialverlauf entlang einer induktiv beeinflussten Rohrleitung?
- Was charakterisiert das „Erdungs-Dilemma“?

# Einleitung

- **Beeinflussung**

- **Summenwirkung von:**

- **Kapazitiver Beeinflussung**
- **Ohmscher Beeinflussung**
- **Induktiver Beeinflussung**



**Verlegung einer Erdgasleitung**

## Zulässige Berührungsspannungen

- **TE30 – Technisches Komitee für Beeinflussungsfragen (VEÖ)**
  - **Zulässige Berührungsspannungen**

Grenzwerte für das Rohrleitungspotenzial $U_R$	Art der Beeinflussung	Maßnahmen zum Schutz gegen unzulässige Berührungsspannungen
$U_R \leq 65 \text{ V}$	Langzeit	keine
$U_R > 65 \text{ V}$	Langzeit	- Anschluss von Erdern nach Punkt 4.1.1 zur Herabsetzung des Rohrleitungspotenzials auf weniger als 65 V oder - Potenzialsteuerung nach Punkt 4.1.2 zur Verminderung der Berührungsspannung auf weniger als 65 V
$U_R \leq 500 \text{ V}$	Kurzzeit	keine
$U_R > 500 \text{ V}$	Kurzzeit	- Maßnahmen nach Punkt 4.1.3, 4.2, 4.3, 5.2 und 5.3 oder - Anschluss von Erdern nach Punkt 4.1.1 zur Herabsetzung des Rohrleitungspotenzials auf weniger als 500 V oder - Potenzialsteuerung bzw. Isolierung des Standortes nach Punkt 4.1.3 zur Verminderung der Berührungsspannung auf weniger als 500 V

### Fehlerfall – Kurzzeitbeeinflussung

$U_i \leq 500 \text{ V}$  Personenschutz

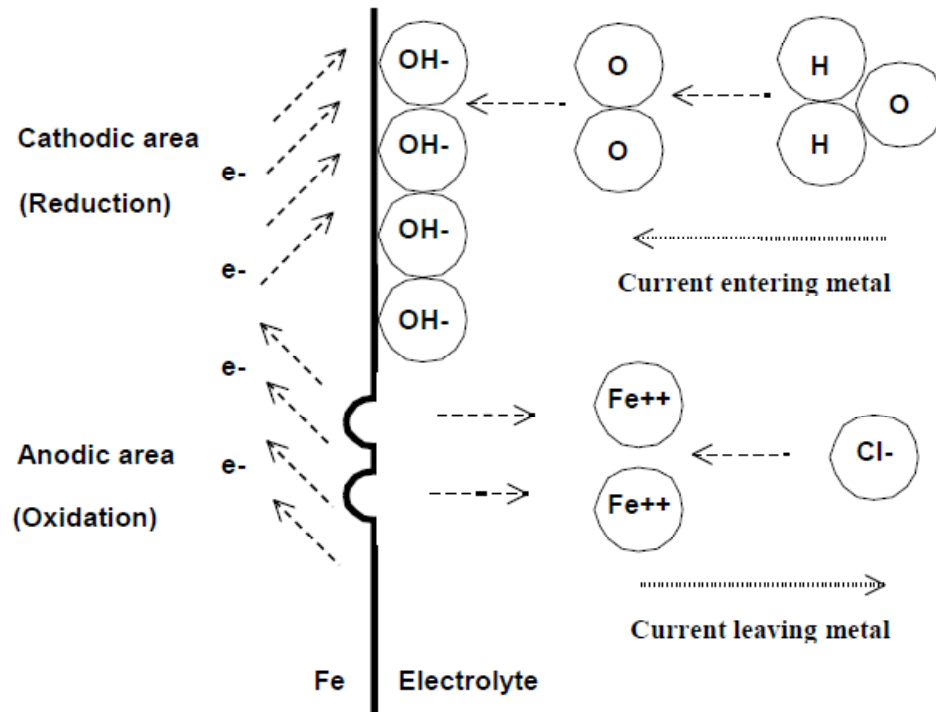
$U_i >>$  Schädigen Integrität und Isolierung

$U_i >>$  Schädigen Isolierkupplungen

### Normalbetrieb – Langzeitbeeinflussung

$U_i \leq 65 \text{ V}$  Personenschutz

# Wechselstromkorrosion



## Phänomen der Wechselstromkorrosion

- **Elektrochemischer Prozess**

- **Voraussetzungen**

- Induktive Beeinflussung
- Fehlstelle
- Feuchtes Erdreich

- **Eisenerz -> Hochofenprozess-> Stahl**

- Endotherm

- **Energie aus Hochofenprozess wird frei**

- I Reduktion
- II Oxidation
- III Eisenoxid (Rost)

## Wechselstromkorrosionswahrscheinlichkeit

- **CEN/TS 15280 - Comité Européen de Normalisation**
  - **Wechselstromkorrosionswahrscheinlichkeit**

### Normalbetrieb – Langzeitbeeinflussung

Wechselspannung sollte:

10 V für  $R_E > 25 \Omega$ ;

4 V für  $R_E < 25 \Omega$ ;

nicht überschreiten.

Effektivwert der der Wechselstromdichte ( $J_{\sim}$ ):

$J_{\sim} < 30 \text{ A/m}^2$ :

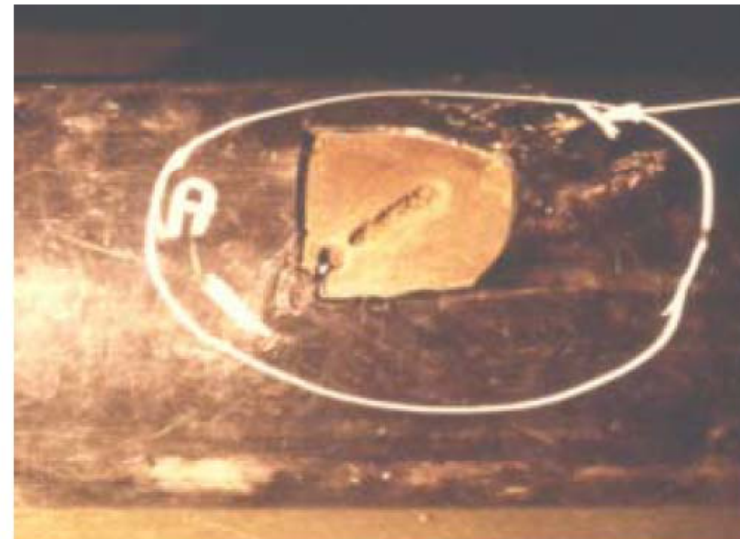
keine/geringe Wahrscheinlichkeit

$J_{\sim} 30 \text{ A/m}^2 \cdot 100 \text{ A/m}^2$ :

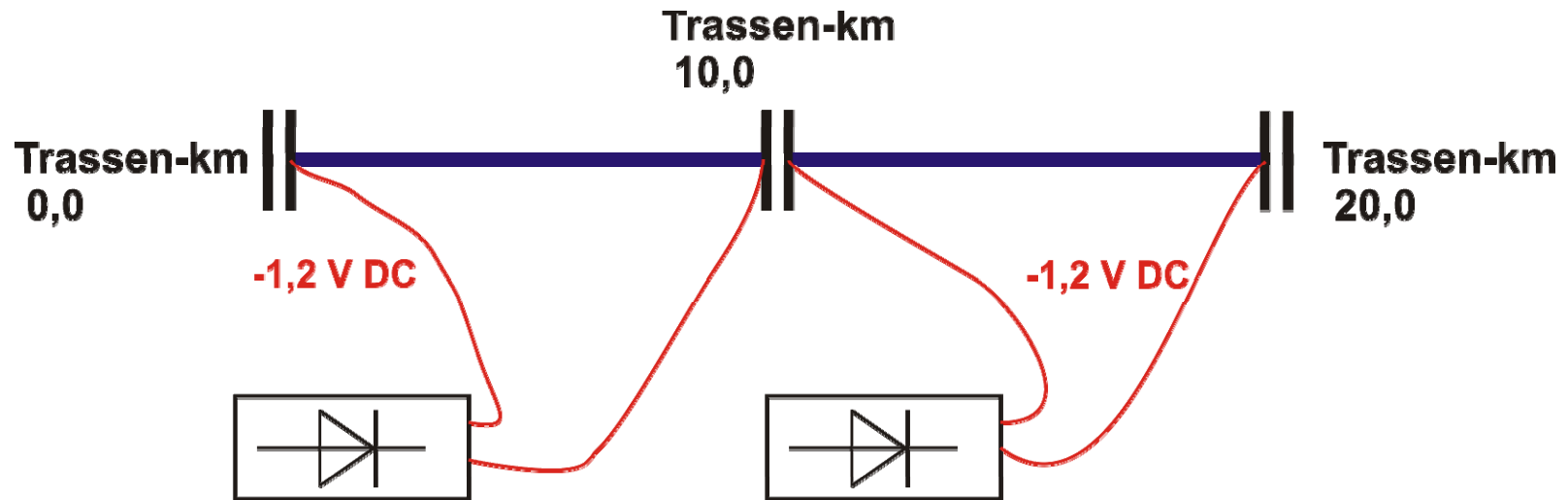
mittlere Wahrscheinlichkeit

$J_{\sim} > 100 \text{ A/m}^2$ :

sehr hohe Wahrscheinlichkeit

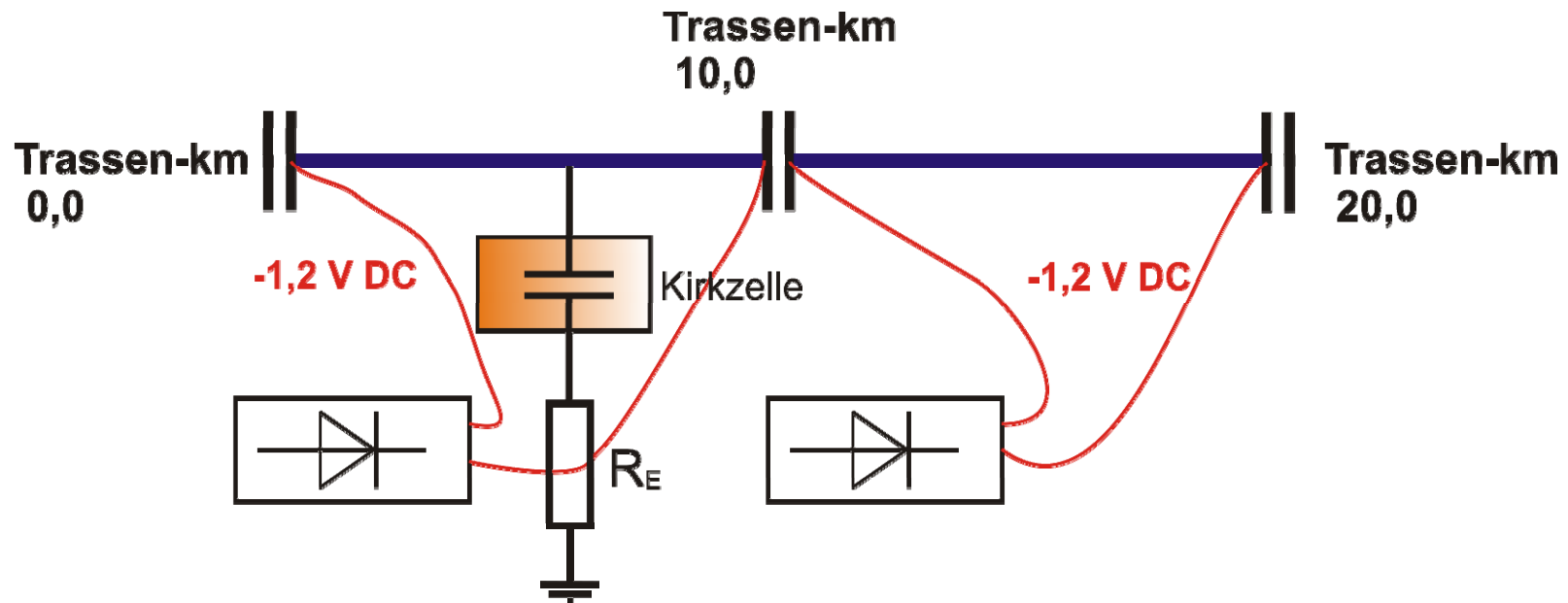


## Kathodischer Korrosionsschutz



- **Isolierkupplung**  
Zur Trennung von Schutzabschnitten

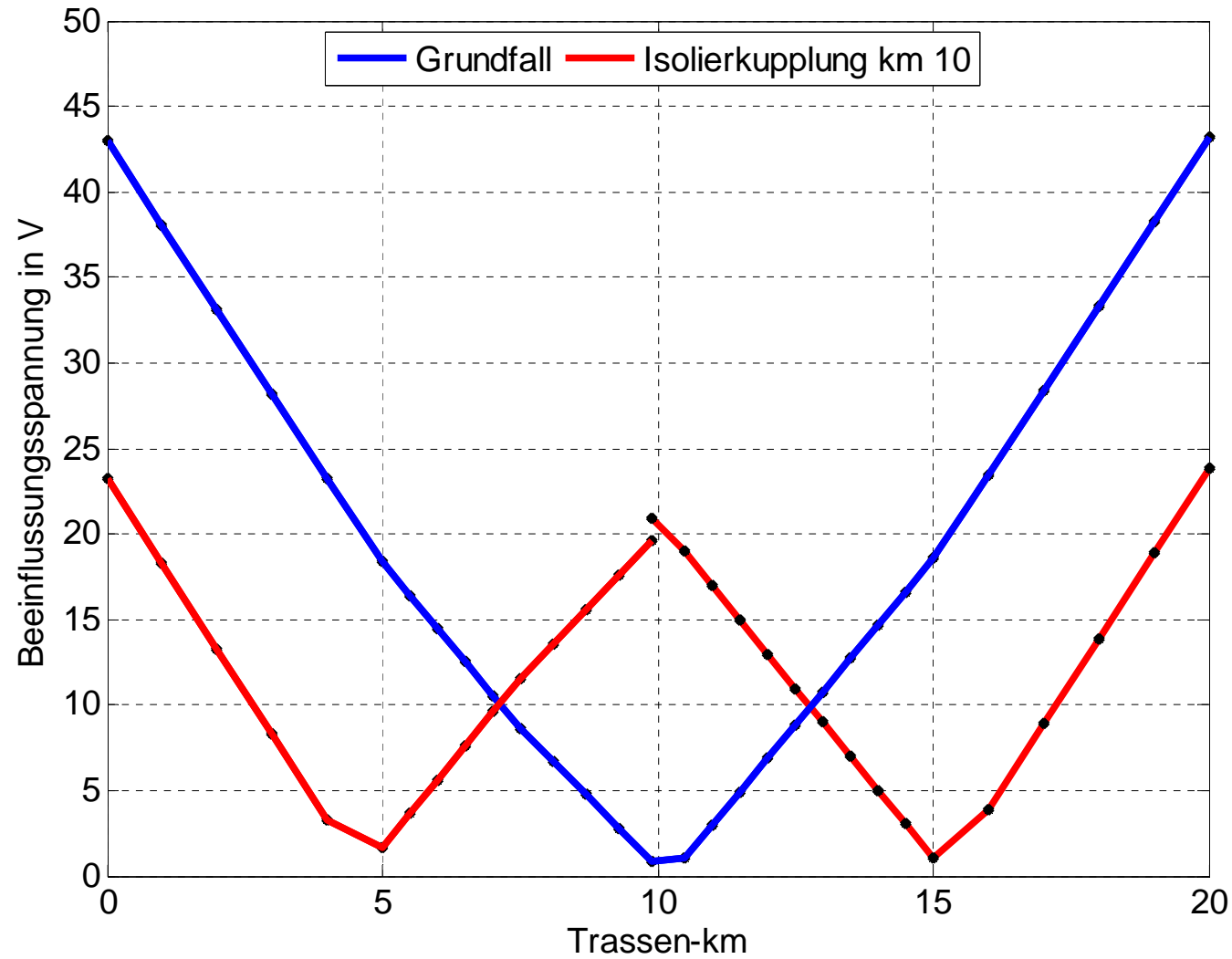
## Kathodischer Korrosionsschutz



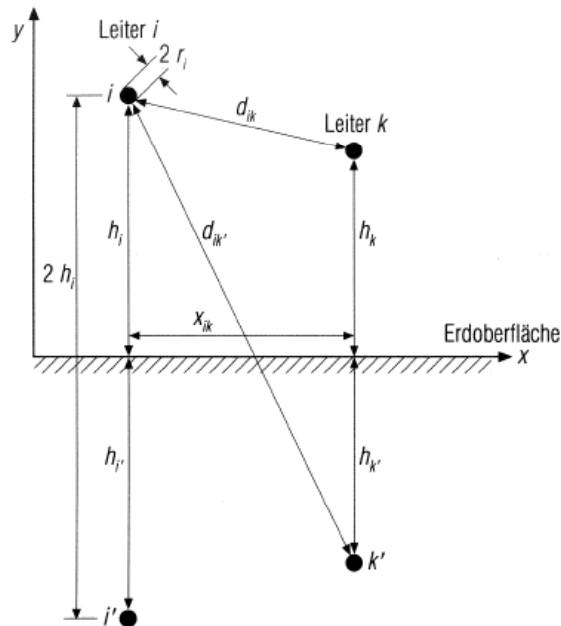
- **Isolierkupplungen**  
Zur Trennung von Schutzabschnitten



# Isolierkupplungen



## Berechnung (1) - Koppelimpedanzen



$$\underline{Z}'_{iiPE} = R'_i + \omega \frac{\mu_0}{\pi} \left( \frac{\pi}{8} - 0,873 \frac{h_i}{\delta_E} + 0,855 \frac{h_i^2}{\delta_E^2} \left( 0,055 + \ln \frac{\delta_E}{h_i} \right) \right)$$

$$+ j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \left( \frac{\mu_r}{4} + \ln \frac{\delta_E}{r_i} + 1,746 \frac{h_i}{\delta_E} - 1,34 \frac{h_i^2}{\delta_E^2} \right)$$

$$\underline{Z}'_{ikPE} = \omega \frac{\mu_0}{\pi} \left( \frac{\pi}{8} - \frac{1,746}{\delta_E} (h_i + h_k) \right) + j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \left( \ln \frac{\delta_E}{d_{ik}} + \frac{0,873}{\delta_E} (h_i + h_k) \right)$$

### Unendliche Reihen nach Carson und Pollazcek (1926)

- Nahezu identische Ergebnisse
- Nach ersten Gliedern der Reihen abbrechen (50 Hz)
- Rohrleitungsbeeinflussung Sonderfall
- Korrekturglieder für  $d_{ik} > \delta_E$ ,  $\delta_E = 931,7 \text{ m}$  bei 50 Hz und  $100 \Omega\text{m}$

$$\underline{U}_i = \underline{z}_g \cdot \ell \cdot \underline{I}$$

$\underline{I}$  ... Beeinflussender Strom des Beeinflussenden Systems in A

$\underline{z}_g$  ... Koppelimpedanzbelag in  $\Omega/\text{km}$

$\ell$  ... Länge des Parallellaufs in km

## Berechnung (2) – Elektrische Rohrparameter

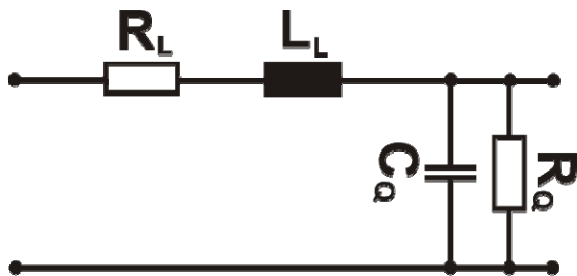
### Rohrleitungsparameter nach Prof. Michailow und Rasumov (ca. 1961)

#### LÄNGSRICHTUNG

- Ohmscher Widerstandsbelag
- Innerer Reaktanzbelag
- Erdwiderstandsbelag
- Selbstreaktanz der Schleife

#### QUERRICHTUNG

- Ohmscher Ableitungsbelag
- Kapazitiver Ableitungsbelag



## Berechnung (2) – Elektrische Rohrparameter

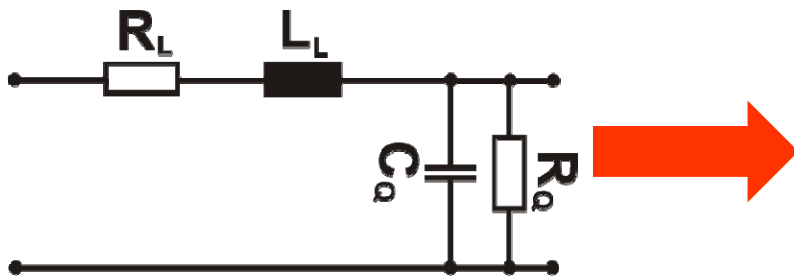
### Rohrleitungsparameter nach Prof. Michailow und Rasumov (ca. 1961)

#### LÄNGSRICHTUNG

- Ohmscher Widerstandsbelag
- Innerer Reaktanzbelag
- Erdwiderstandsbelag
- Selbstreaktanz der Schleife

#### QUERRICHTUNG

- Ohmscher Ableitungsbelag
- Kapazitiver Ableitungsbelag



## Berechnung (2) – Elektrische Rohrparameter

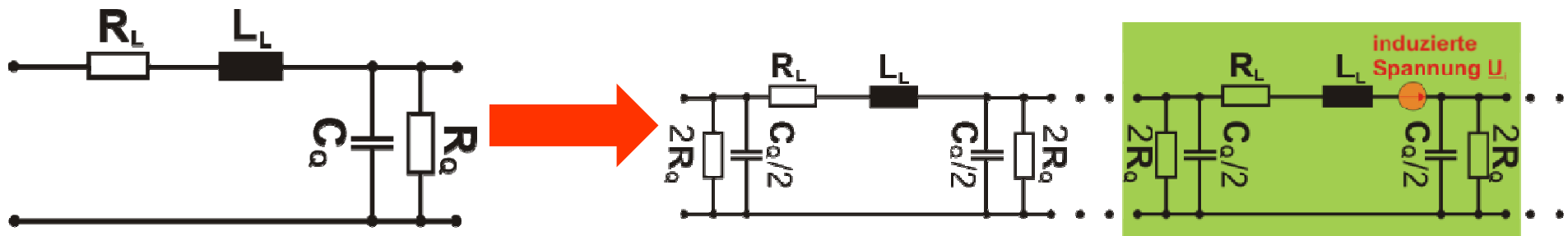
### Rohrleitungsparameter nach Prof. Michailow und Rasumov (ca. 1961)

#### LÄNGSRICHTUNG

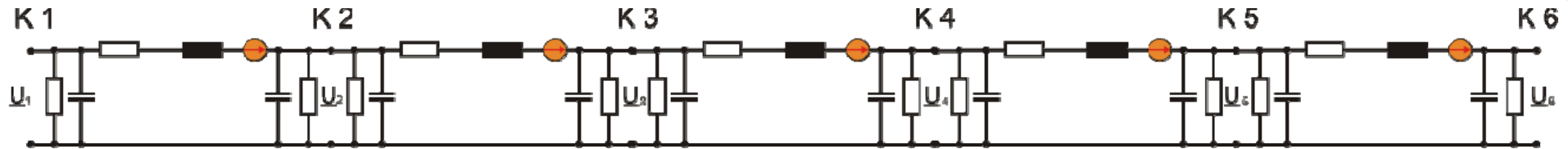
- Ohmscher Widerstandsbelag
- Innerer Reaktanzbelag
- Erdwiderstandsbelag
- Selbstreaktanz der Schleife

#### QUERRICHTUNG

- Ohmscher Ableitungsbelag
- Kapazitiver Ableitungsbelag



## Berechnung (3) – Knotenpunktadmittanzmatrix

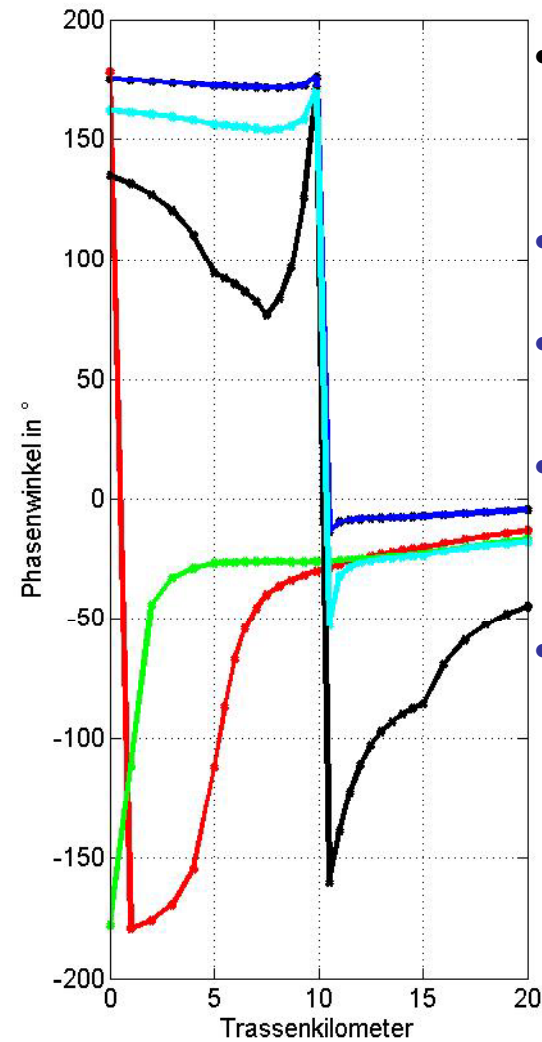
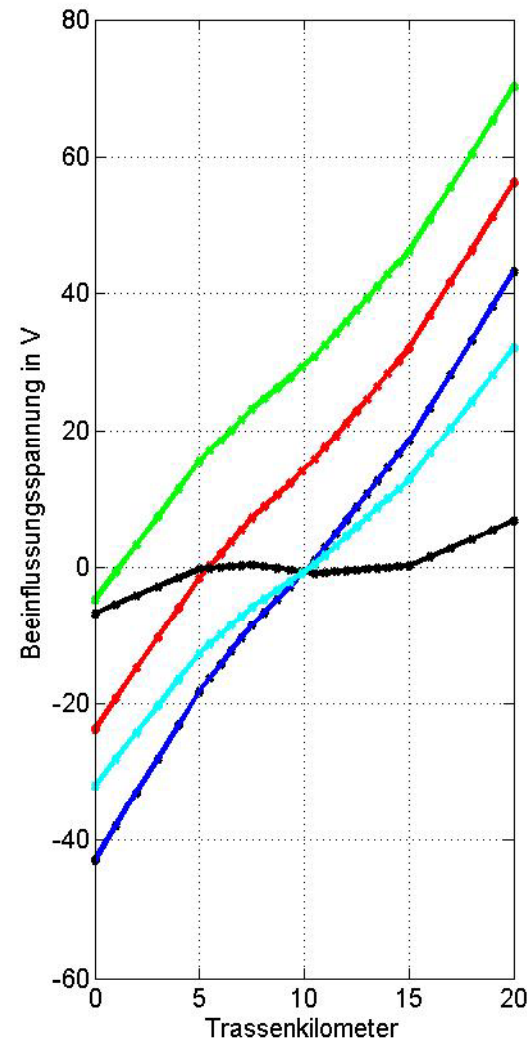
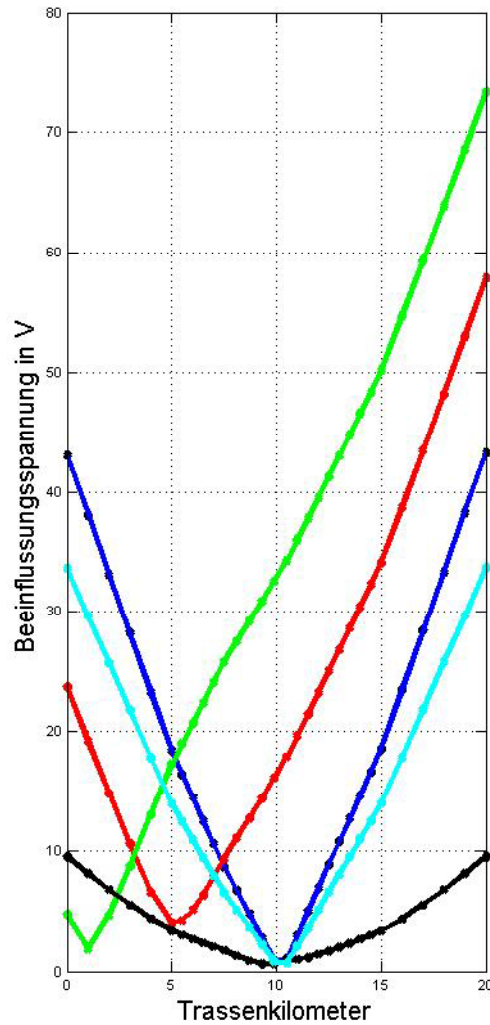


$$\underline{Y} = \begin{pmatrix} 2.90 - 4.10i & -2.95 + 4.17i & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ -2.95 + 4.17i & 5.90 - 8.34i & -2.95 + 4.17i & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & -2.95 + 4.17i & 5.90 - 8.34i & -2.95 + 4.17i & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & -2.95 + 4.17i & 5.90 - 8.34i & -2.95 + 4.17i & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & -2.95 + 4.17i & 5.90 - 8.34i & -2.95 + 4.17i \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & -2.95 + 4.17i & 2.95 - 4.17i \end{pmatrix}$$

$$\underline{U} = \underline{Y}^{-1} \cdot \underline{I}_n$$

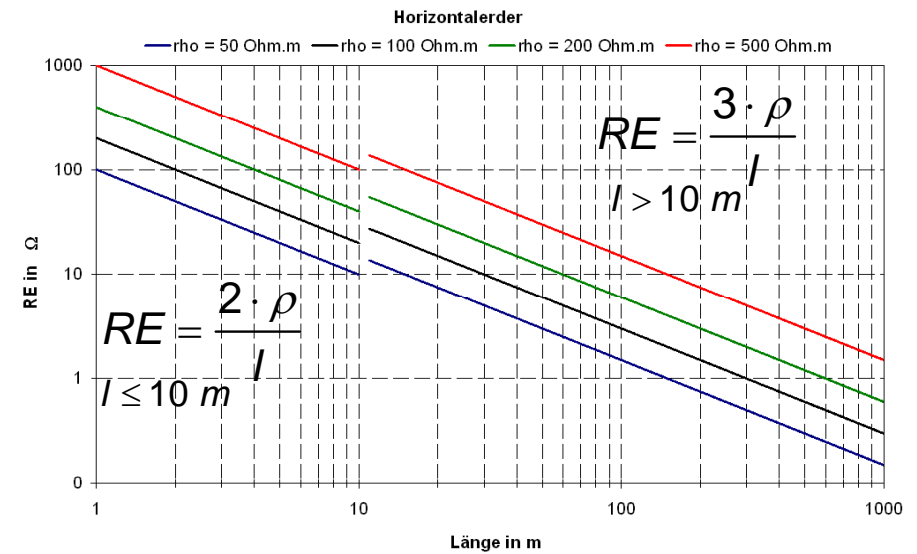
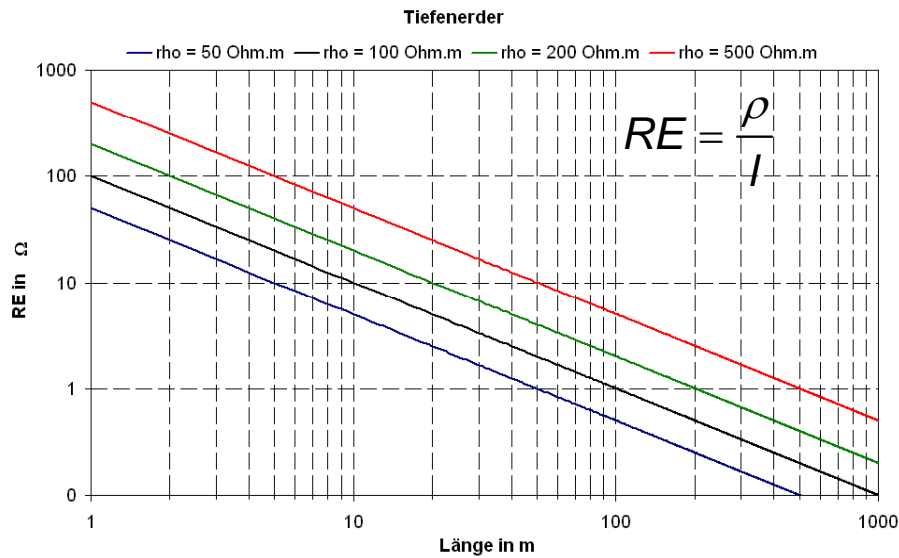
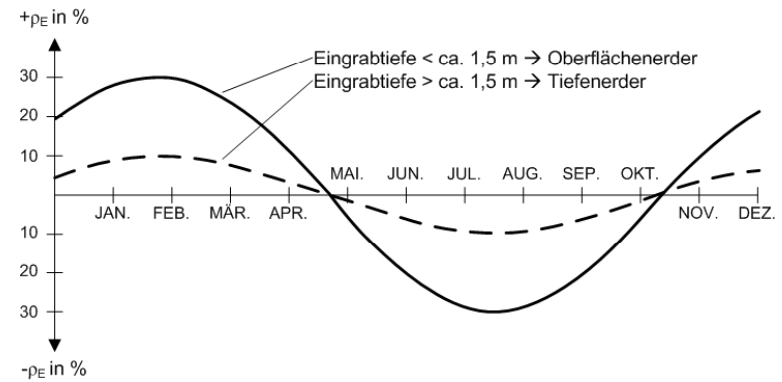
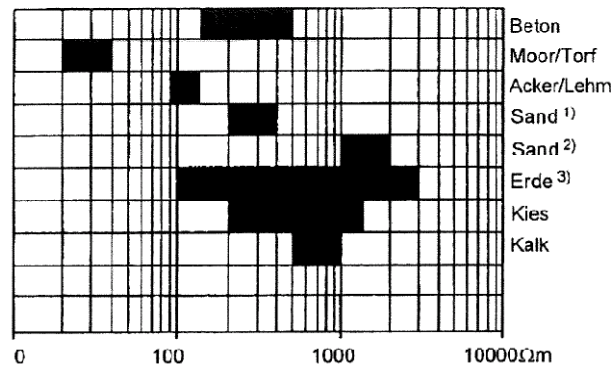
# Berechnungsbeispiel

— Grundfall — Eins. 5 Ω — Eins. < 1 Ω — Beids. < 1 Ω — Beids. 5 Ω



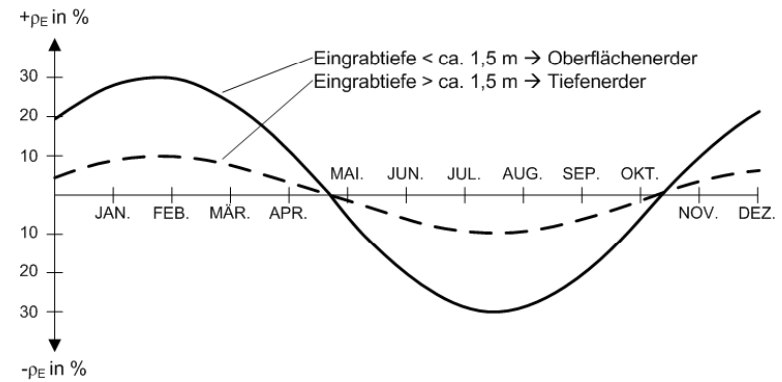
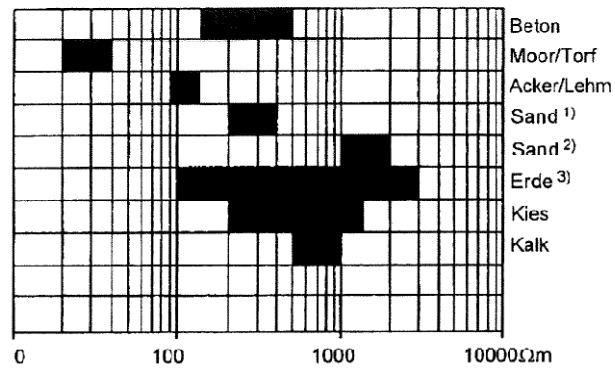
- Näherung: 20km
- $\rho_E = 100 \Omega m$
- $f = 50 \text{ Hz}$
- Rohrradius: 200 mm
- PE-Isolierung  $r_u = 100 \text{ k}\Omega m^2$

# Wechselstromerdungsanlagen (1)

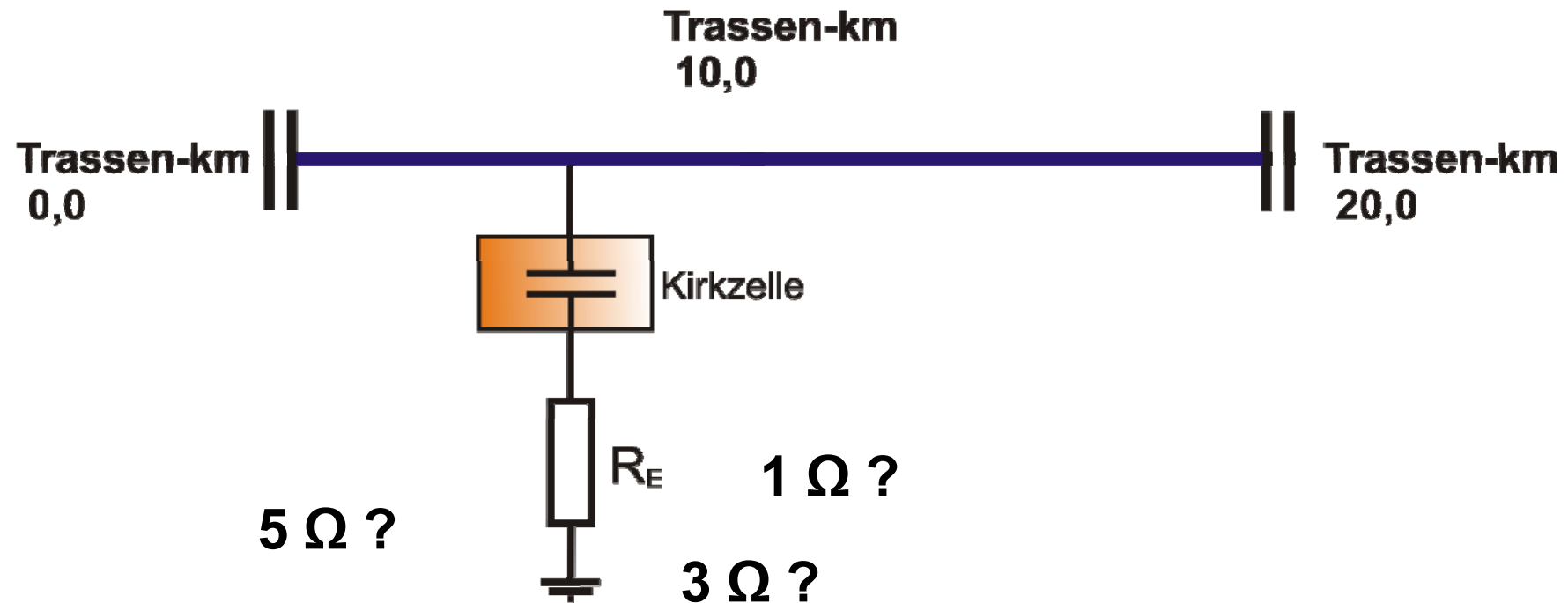




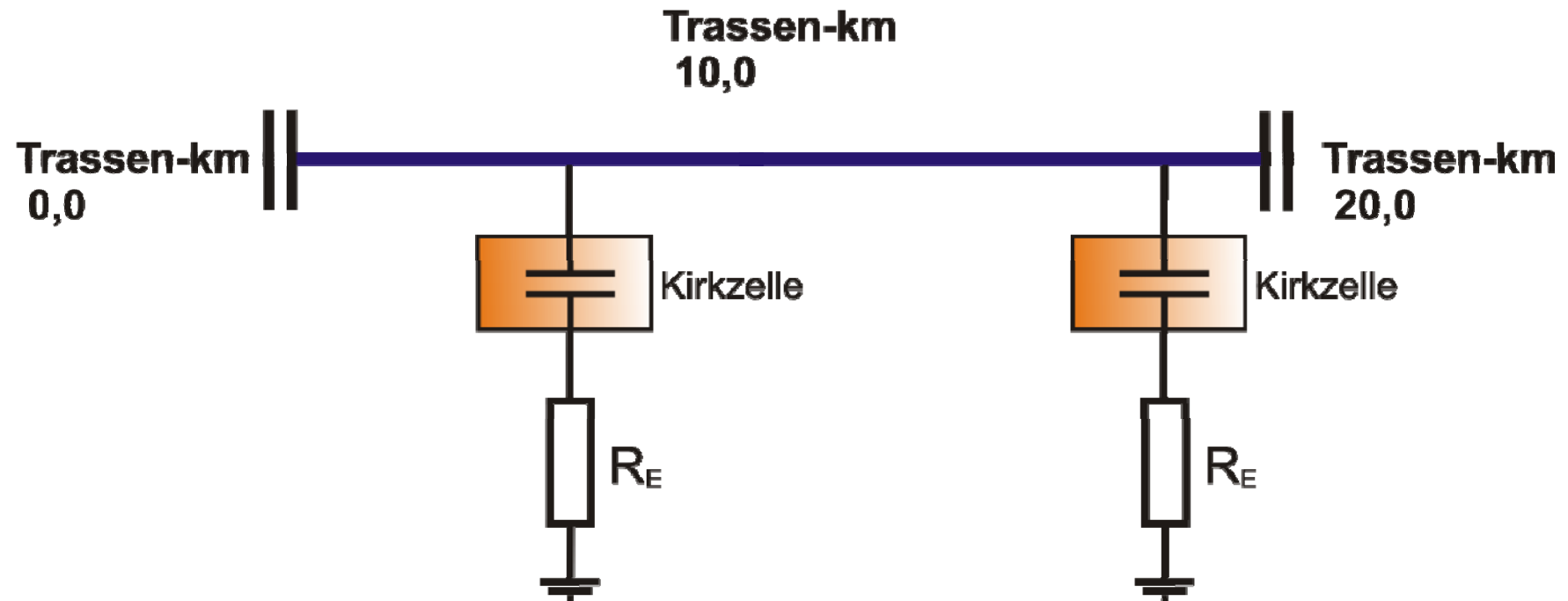
## Wechselstromerdungsanlagen (2)



## Optimierung der Erdungspositionen (2)



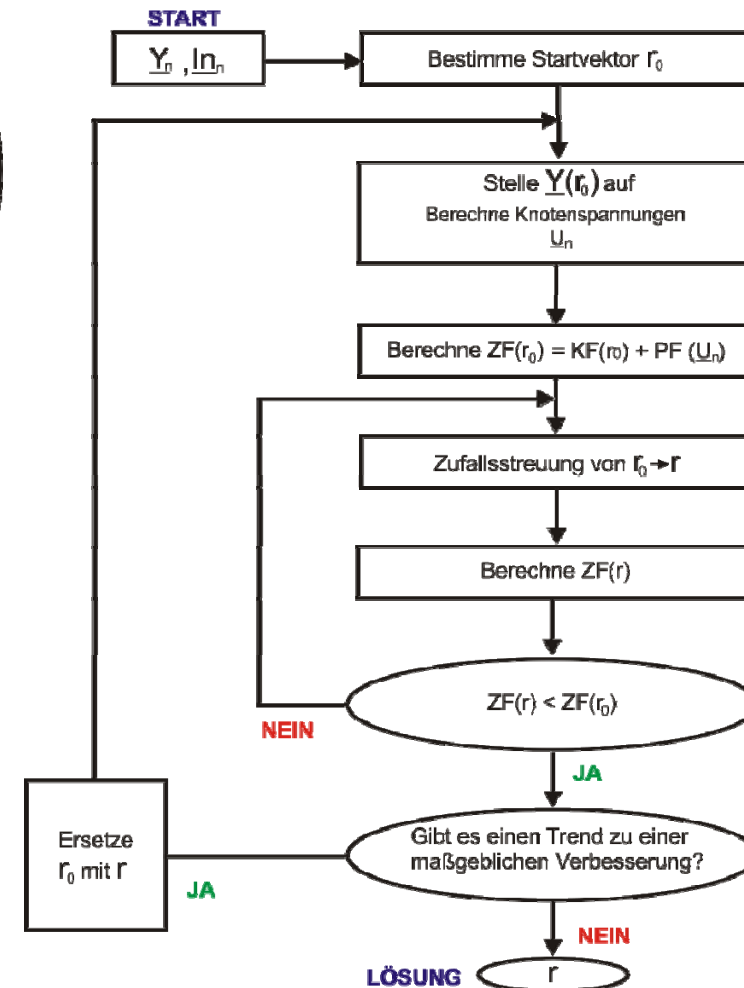
## Optimierung der Erdungspositionen (2)



## Optimierung der Erdungspositionen (3)

$$\underline{Y} = \begin{pmatrix} 2.90 - 4.10i & -2.95 + 4.17i & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ -2.95 + 4.17i & 5.90 - 8.34i & -2.95 + 4.17i & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & -2.95 + 4.17i & 5.90 - 8.34i & -2.95 + 4.17i & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & -2.95 + 4.17i & 5.90 - 8.34i & -2.95 + 4.17i & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & -2.95 + 4.17i & 5.90 - 8.34i & -2.95 + 4.17i \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & -2.95 + 4.17i & 2.95 - 4.17i \end{pmatrix}$$

- **Eingangsparameter**  
Admittanzmatrix, Knotenstromvektor
- **Funktionen**  
ZF, KF, PF
- **Ausgangsparameter**  
Lösungsvektor



## Zusammenfassung und Ausblick



- **Problematik der induktiven Beeinflussung ...**

- wurde aufgezeigt
- Grenzwerte, Berechnung, Maßnahmen ...

- **Nächste Schritte ...**

- Vertiefung in Themenfeldern Optimierung und Algorithmen
- FEM und analytische Untersuchungen der Vorgänge an Korrosionsstellen
- Untersuchung „Jahreszeitliche Schwankung“ des spez. Bodenwiderstandes

# Neue Herausforderungen an die induktive Rohrleitungsbeeinflussung unter Berücksichtigung des aktuellen Forschungsstands

René Braunstein  
Ernst Schmutzer  
Mario Ölz

Institutsleiter: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Lothar Fickert

**Technische Universität Graz**  
**Institut für Elektrische Anlagen**

# Reserve

