



Martin FÜRNSCHUB¹, Stephan PACK², Robert SCHÜRHHUBER¹, Ernst SCHMAUTZER³

¹Technische Universität Graz – Institut für Elektrische Anlagen und Netze

²Technische Universität Graz – Institut für Hochspannungstechnik und Systemmanagement

³ESC Engineering Services & Consulting GmbH

Anforderungen an Erdungssysteme

- Kontrollierte Ableitung von Fehlerströmen in das Erdreich
- Geringer Ausbreitungswiderstand R_E unter Berücksichtigung der Bodenschichtung
- Begrenzung der Teilfehlerspannungen U_{FP}
- Berücksichtigung der elektrischen Beeinflussung
- Basis für:
 - Potentialausgleichssysteme
 - Blitzschutzsysteme
- Begrenzt verfügbare Flächen

Forschungsergebnisse

- **Nichtlinearer Zusammenhang** der Erderlänge und dem Ausbreitungswiderstand **aufgrund der elektrischen Beeinflussung**
- 3D-vermaschtes Erdungssystem vereint Vorteile und reduziert Nachteile von Horizontal- und Vertikalerdern bei Rücksichtnahme auf:
 - Korrekte Position von Vertikalerdern
 - Vermeidung von Vertikalerdern am Rand (v.a. Ecken)
 - Erderlängen (v.a. bei Vertikalerdern)
 - Maschenweite des Horizontalerdungssystems

Erfüllung der Anforderungen mit 3D-vermaschtem Erdungssystem

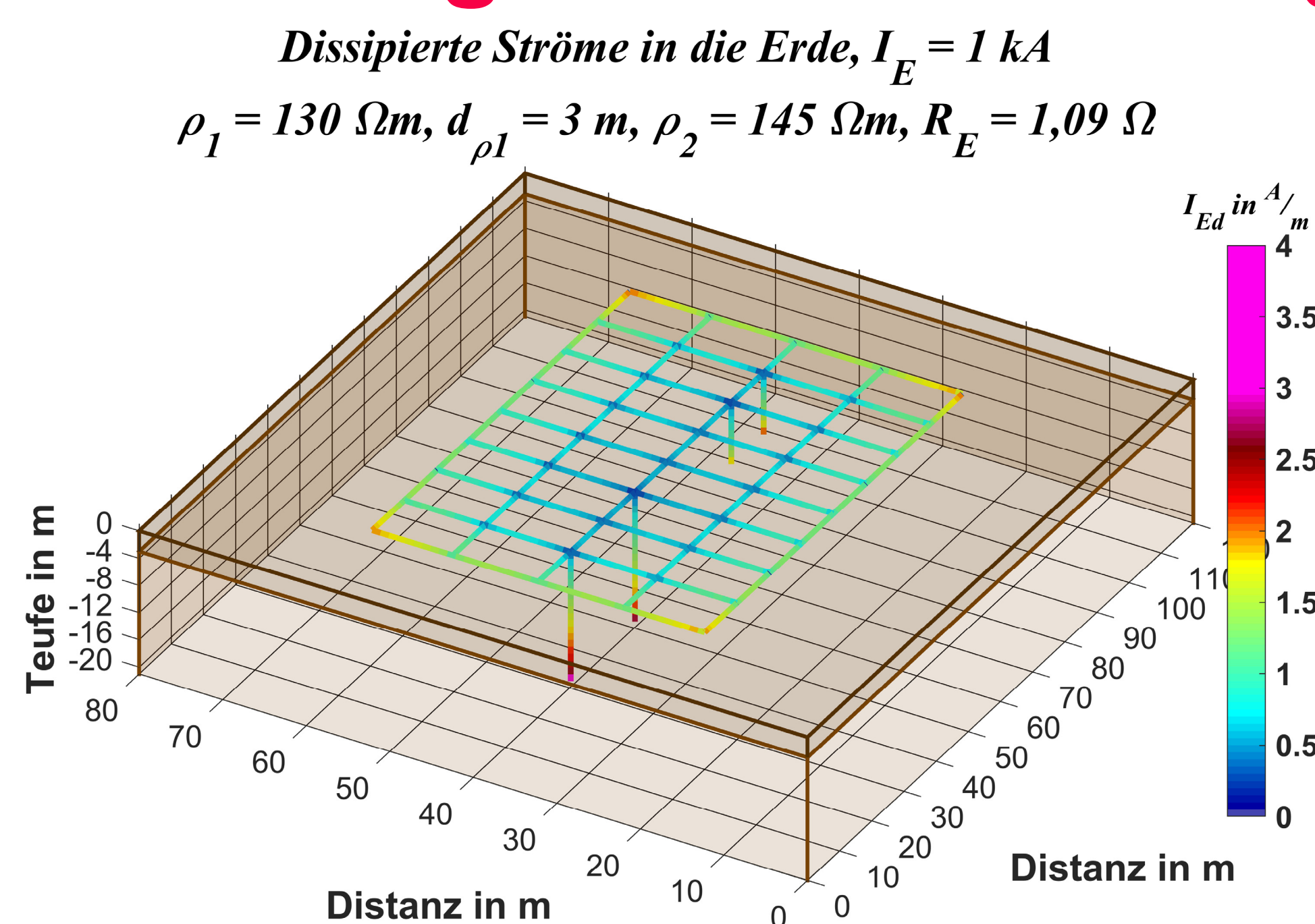


Abbildung 1 – 3D-vermaschtes Erdungssystem: Dissipierte Ströme in die Erde

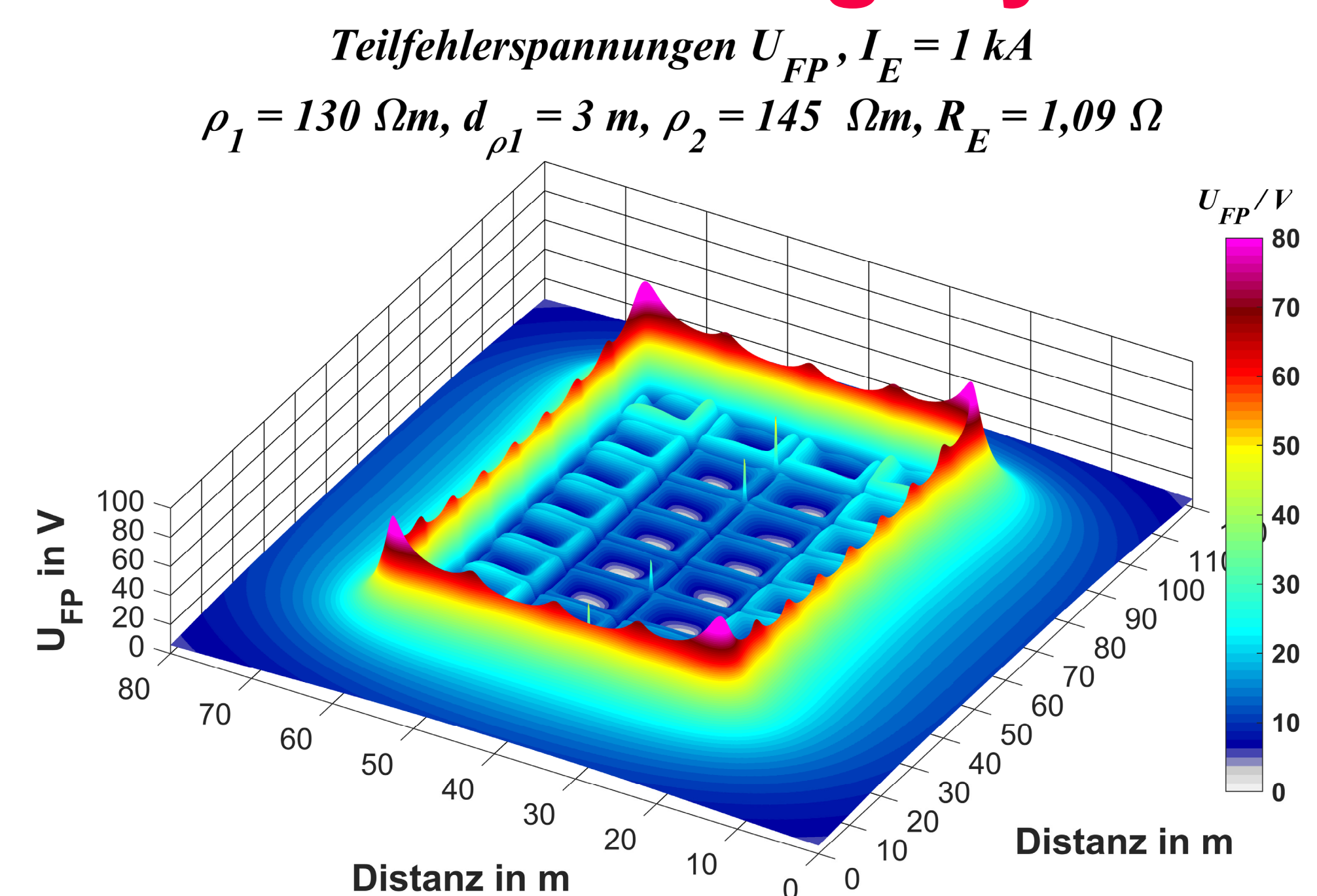


Abbildung 2 – 3D-vermaschtes Erdungssystem: Teilfehlerspannungen

Horizontal-vermaschtes Erdungssystem vs. 3D-vermaschtes Erdungssystem

Horizontal-vermascht

- Erderlänge gesamt: **760 m**
- Ausbreitungswiderstand: $R_E = 1,12 \text{ } \Omega$
- Gütegrad $\eta = 0,28$

3D-vermascht

- Erderlänge gesamt: **840 m**
- Ausbreitungswiderstand: $R_E = 1,09 \text{ } \Omega$
- Gütegrad $\eta = 0,26$

Vergleich: $U_{FP,diff} = U_{FP,3D} - U_{FP,meshed}$

Differenz der Teilfehlerspannungen $U_{FP,diff}$, $I_E = 1 \text{ kA}$
 $\rho_1 = 130 \text{ } \Omega\text{m}$, $d_{\rho 1} = 3 \text{ m}$, $\rho_2 = 145 \text{ } \Omega\text{m}$, $R_E = 1,09 \text{ } \Omega$

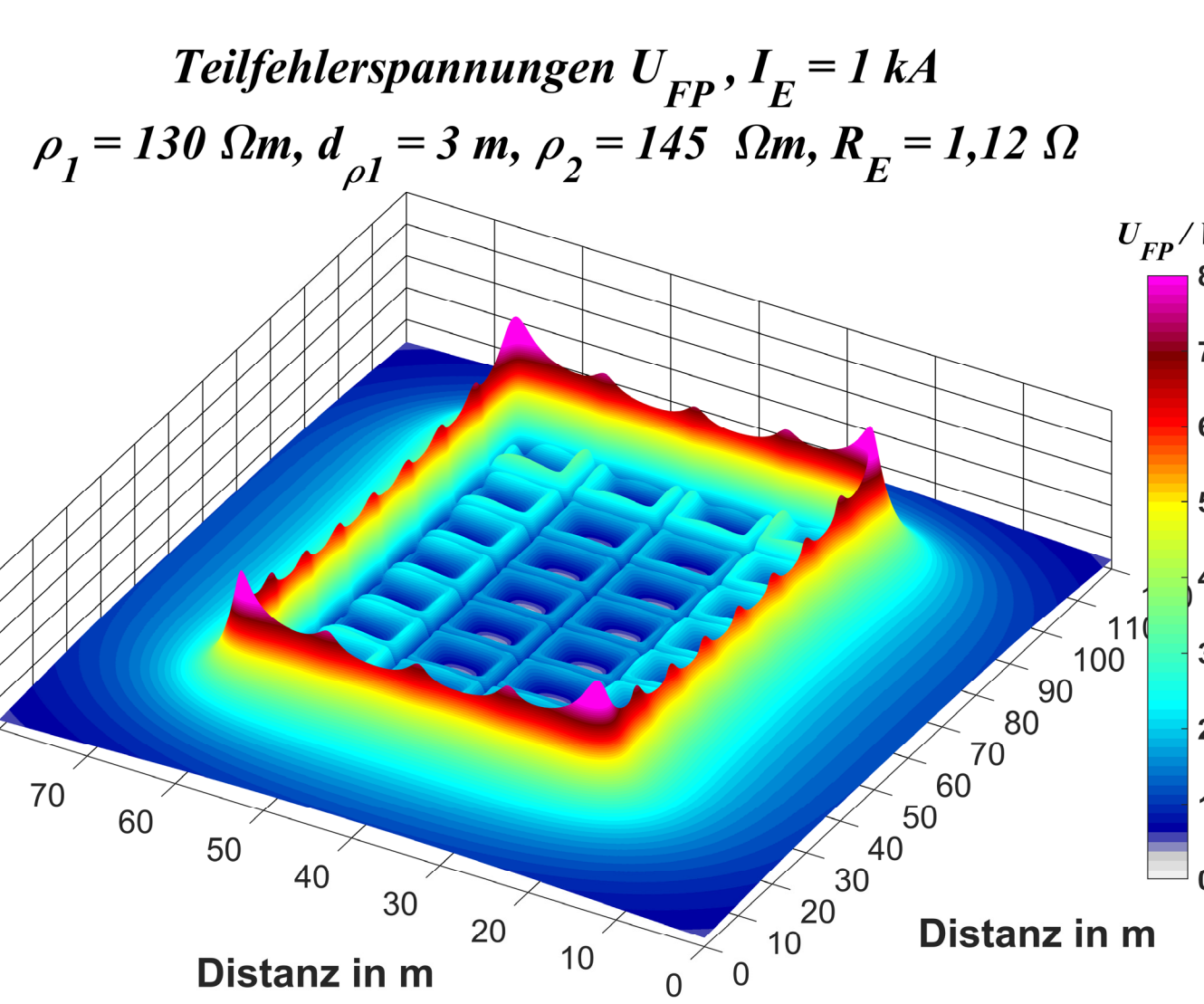
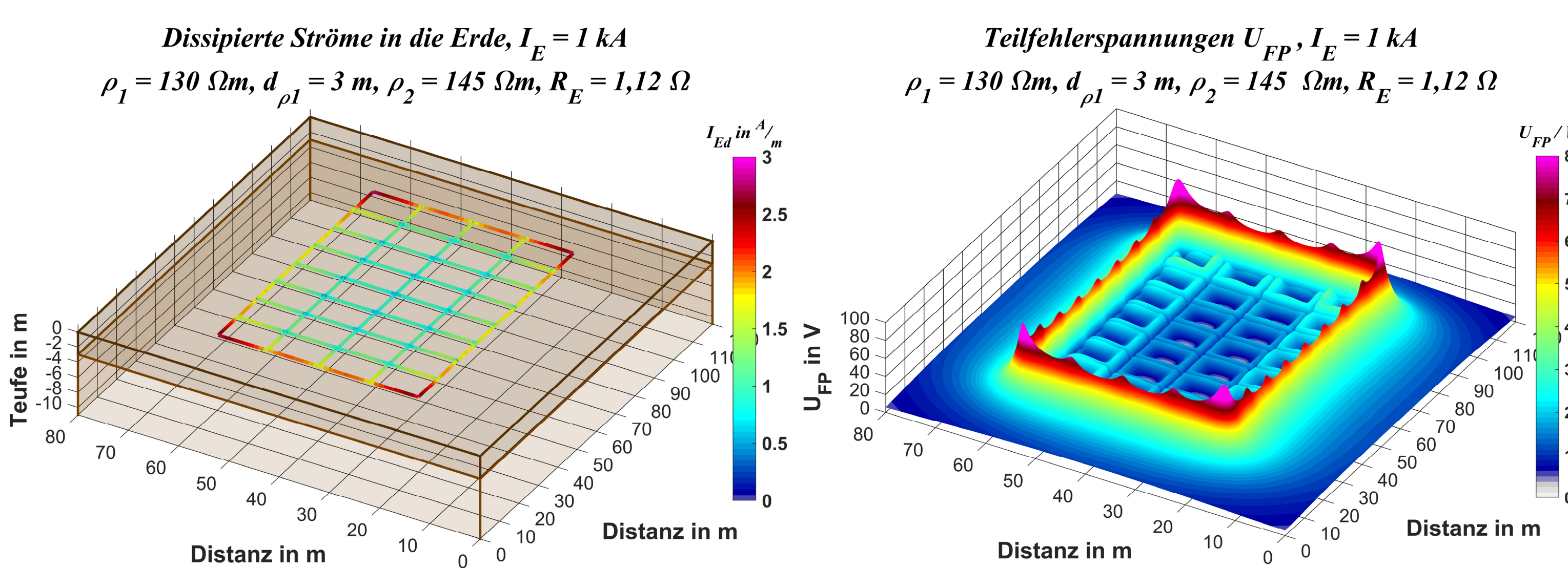


Abbildung 3 – Horizontal-vermaschtes Erdungssystem: Dissipierte Ströme in die Erde (links) und Teilfehlerspannungen (rechts), Maschenweite 10 x 10 m

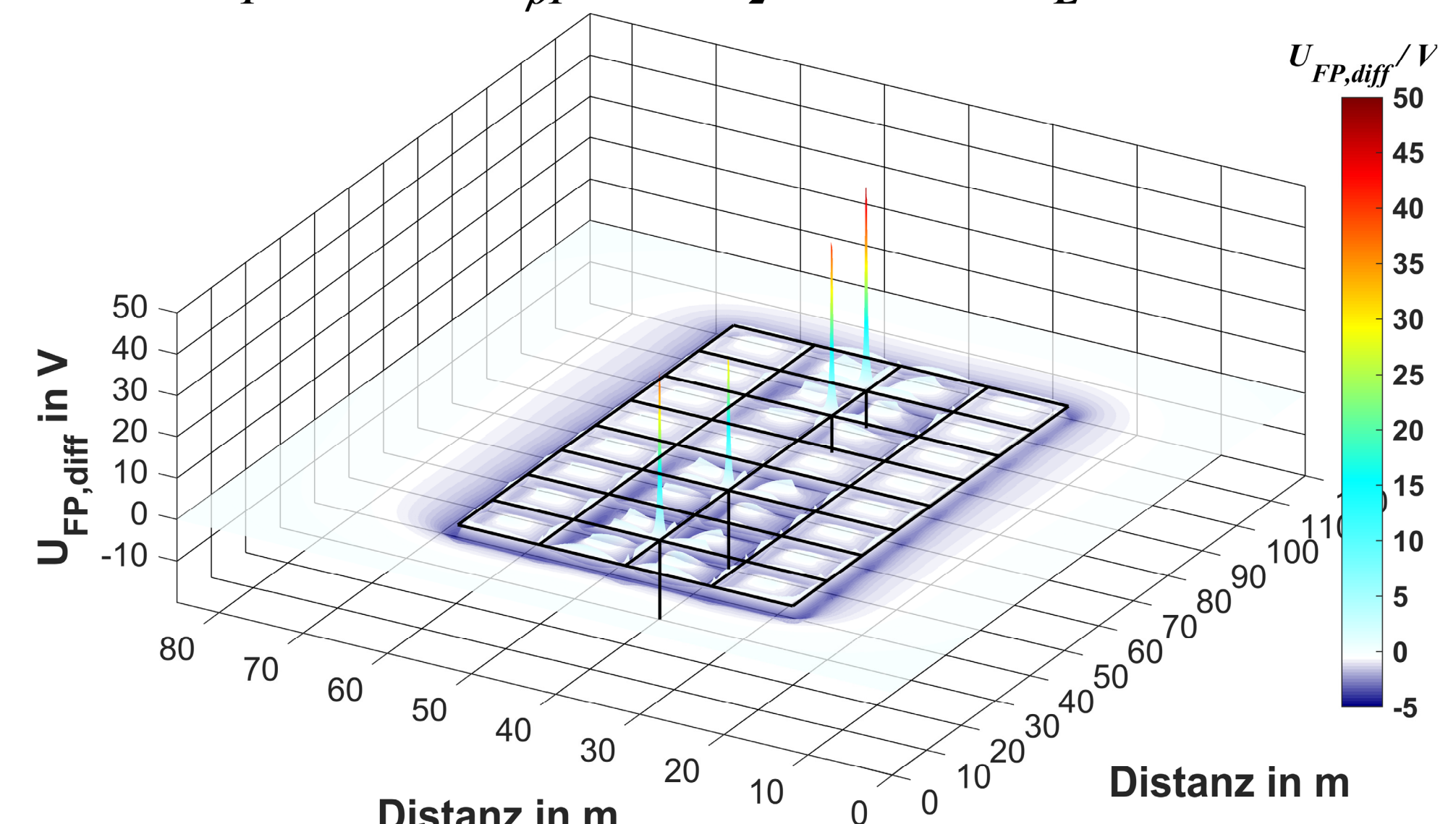


Abbildung 4 – Horizontal- vs. 3D-vermaschtes Erdungssystem: Differenz der Teilfehlerspannungen

- Größerer Ausbreitungswiderstand der inneren Einzelerder:
 - Geringere dissipierte Stromstärke in die Erde
 - Geringere Teilfehlerspannungen
- Kleinerer Ausbreitungswiderstand der äußeren Einzelerder:
 - Höhere dissipierte Stromstärke in die Erde
 - Höhere Teilfehlerspannungen

- Vertikalerder leiten Fehlerströme in tiefere Erdschichten
- Reduktion der dissipierten Stromstärken an den Ecken am Rand
- Bei 10-m-Vertikalerder höhere Teilfehlerspannungen als bei 20-m-Vertikalerder aufgrund:
 - Geringerem Abstand zwischen den Erdern
 - Kürzerer Erderlänge



Martin FÜRNSCHUB¹, Stephan PACK², Robert SCHÜRHHUBER¹, Ernst SCHMAUTZER³

¹Technische Universität Graz – Institut für Elektrische Anlagen und Netze

²Technische Universität Graz – Institut für Hochspannungstechnik und Systemmanagement

³ESC Engineering Services & Consulting GmbH

Gütegrad η von Mehrfacherderanordnungen

$$\eta = \frac{R_{E,\infty}}{R_E}, \eta \in \mathbb{R} \mid 0 \leq \eta \leq 1$$

$R_{E,\infty}$... Ausbreitungswiderstand bei unendlichem Abstand zwischen den Erdern \rightarrow keine elektrische Kopplung

R_E ... tatsächlicher Ausbreitungswiderstand der Mehrfacherderanordnung \rightarrow elektrische Kopplung

Ein Horizontalerder

- Erderlänge gesamt: 80 m
- Ausbreitungswiderstand: $R_E = 3,16 \Omega$

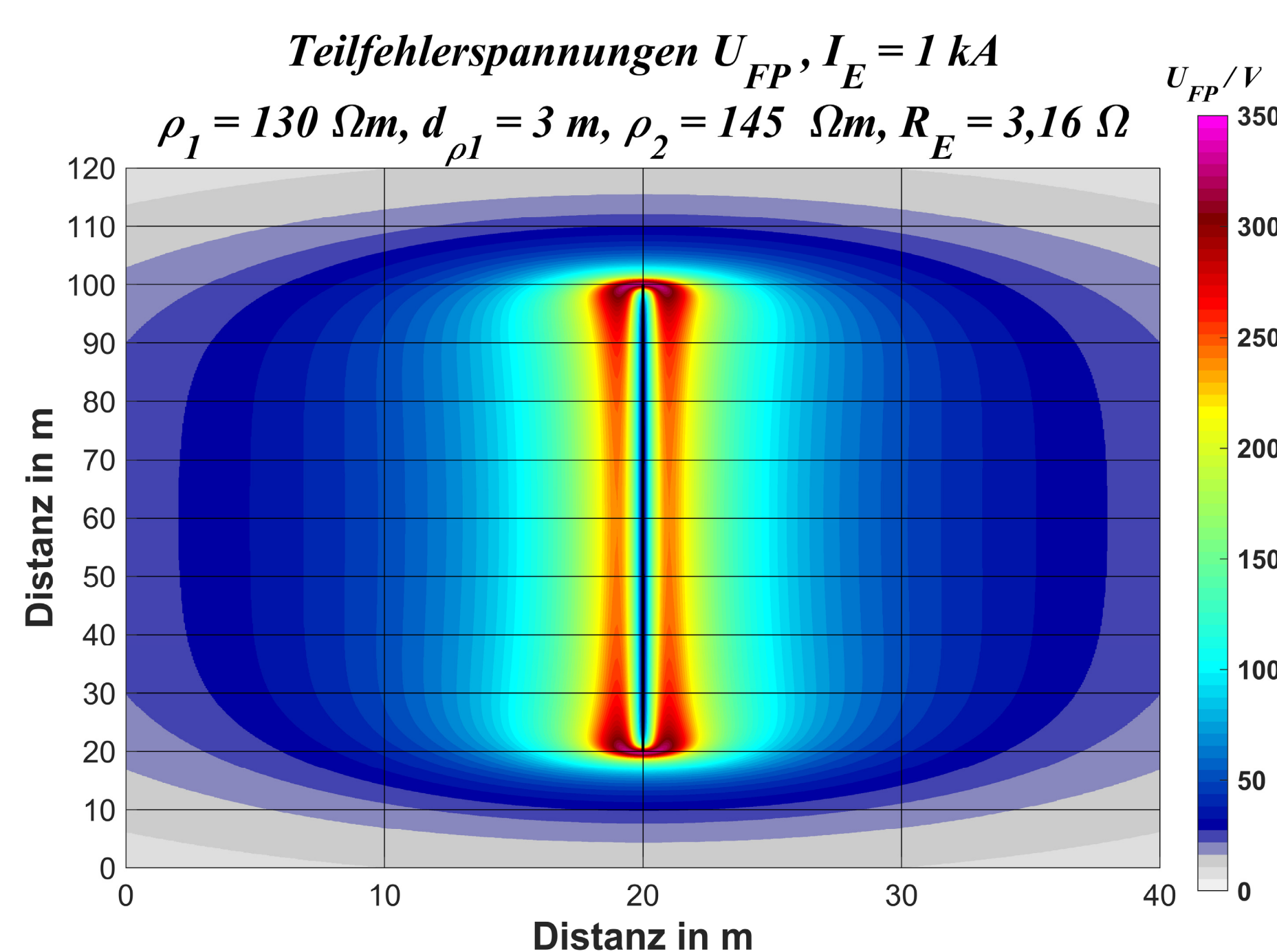


Abbildung 5 – Ein Horizontalerder: Teilfehlerspannungen

- Symmetrische Teilfehlerspannungen entlang des Erders

Zwei Horizontalerder

- Erderlänge gesamt: 160 m
- Ausbreitungswiderstand: $R_E = 2,10 \Omega$

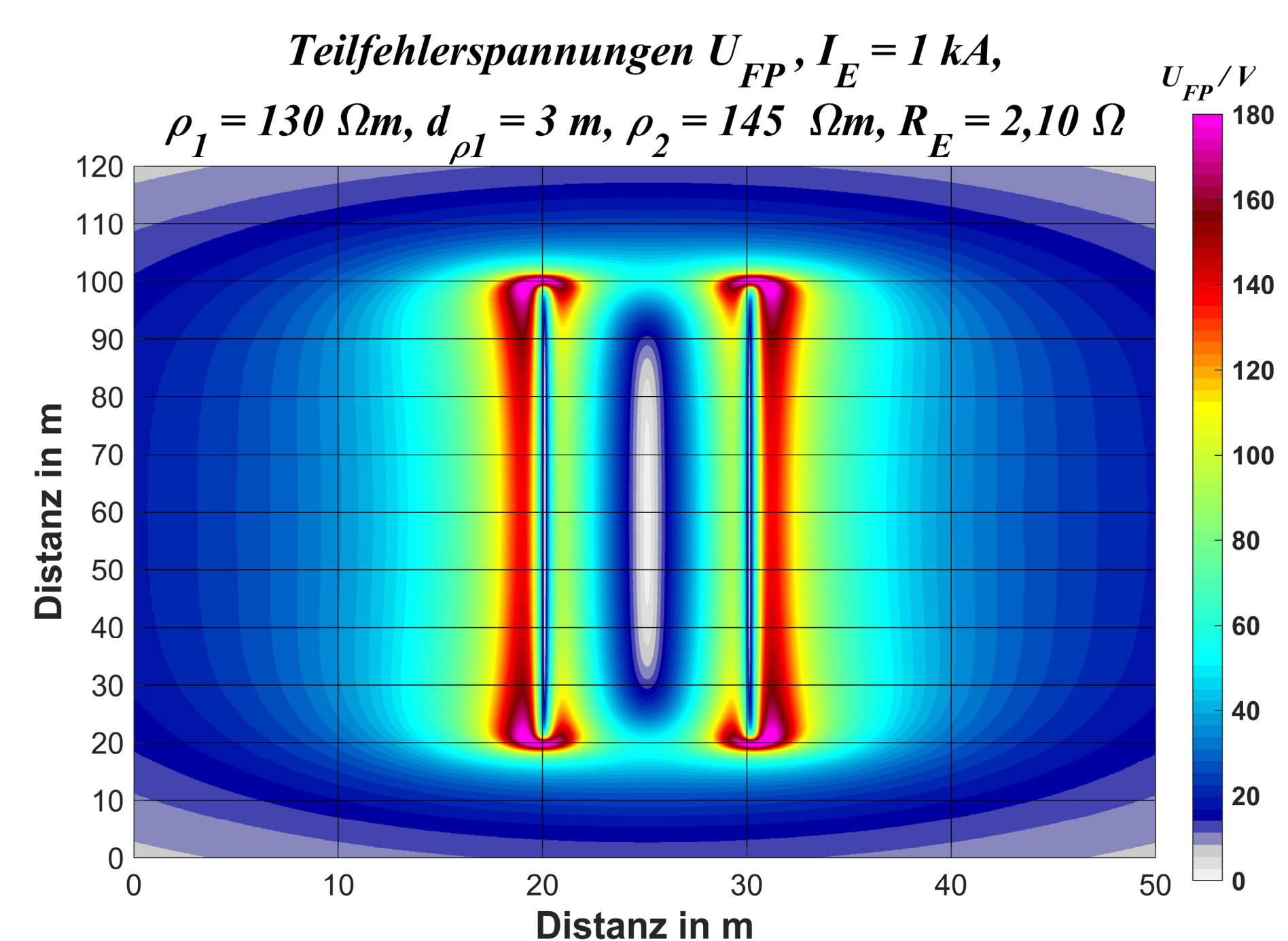


Abbildung 6 – Zwei Horizontalerder: Elektrische Kopplung der Erder

- Unsymmetrische Teilfehlerspannungen entlang der Erder

Ursache: Elektrische Kopplung $\rightarrow R_{E2} \neq R_{E1} / 2 \rightarrow \eta = 0,75$

Elektrische Beeinflussung

Abhängig von:

- Erdungsstrom und dessen Dissipation in die Erde
- Erderart (horizontal/vertikal)
- Anordnung der Erder
- Erdwiderstand

Kritische Bereiche bei Erdungsanlagen:

- Erder am Rand
 - Klemmstellen
 - Ecken
 - Vertikalerder
- Geringer Einzel-Ausbreitungswiderstand aufgrund der schwächeren elektrischen Kopplung zu anderen Erdern

Eigenschaften von Erdern

Horizontalerder

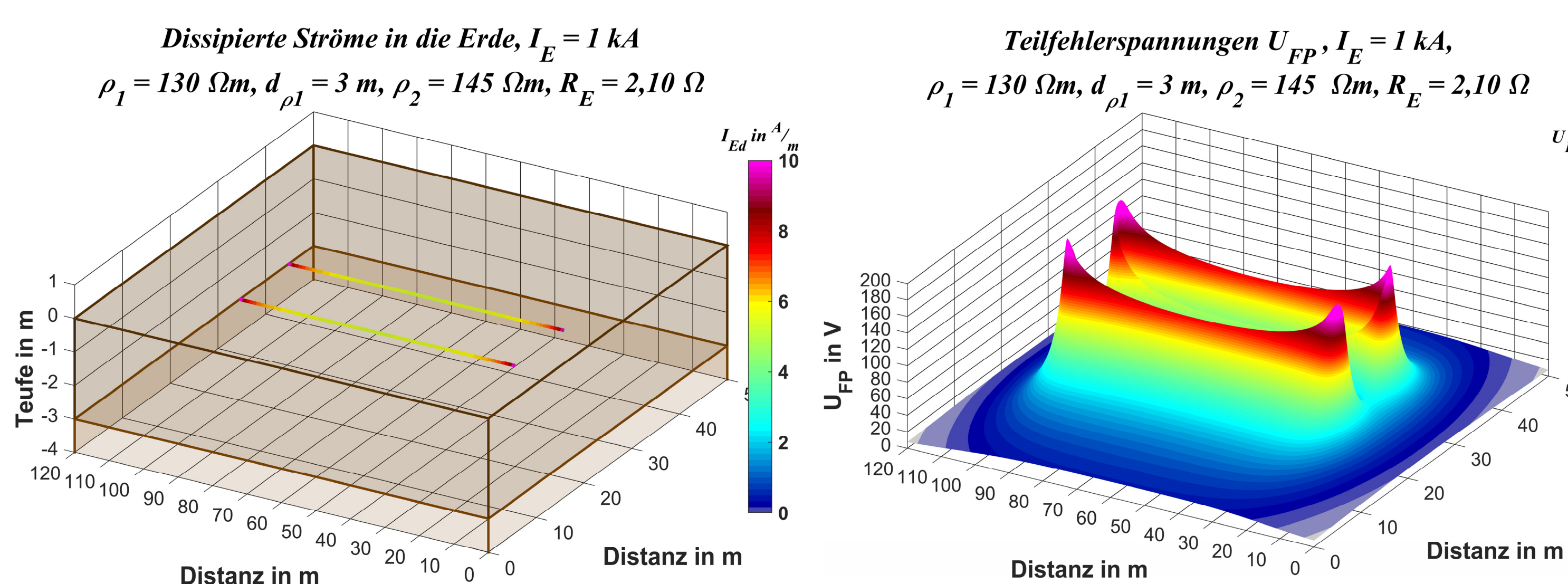


Abbildung 7 – Elektrische Beeinflussung bei zwei Horizontalertern

- +/- Dissipiert Fehlerströme großflächig oberflächennah
- + Kleine lokale Teilfehlerspannungen
- Großer Gefährdungs-/Beeinflussungsbereich
- Hohe Installationskosten

Vertikalerder

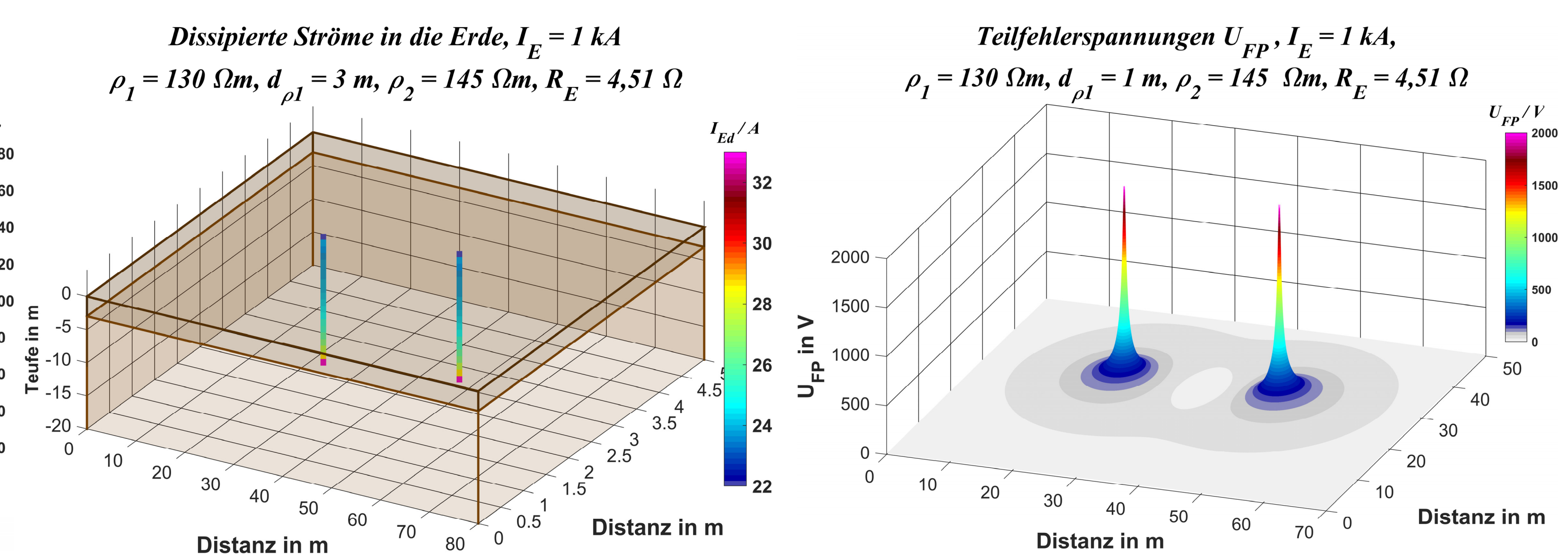


Abbildung 8 – Elektrische Beeinflussung bei zwei Vertikalertern

- + Dissipiert Fehlerströme lokal in tiefe Erdschichten
- Hohe lokale Teilfehlerspannungen
- + Kleiner Gefährdungs-/Beeinflussungsbereich
- + Geringe Installationskosten