

Herausforderungen an Erdungs- und Potentialausgleichssysteme von DC-Energieübertragungskabeln

Martin Fürnschuß, Moritz Pichler, Robert Schürhuber,
Herwig Renner, Stephan Pack, Ernst Schmautzer

13.02.2020

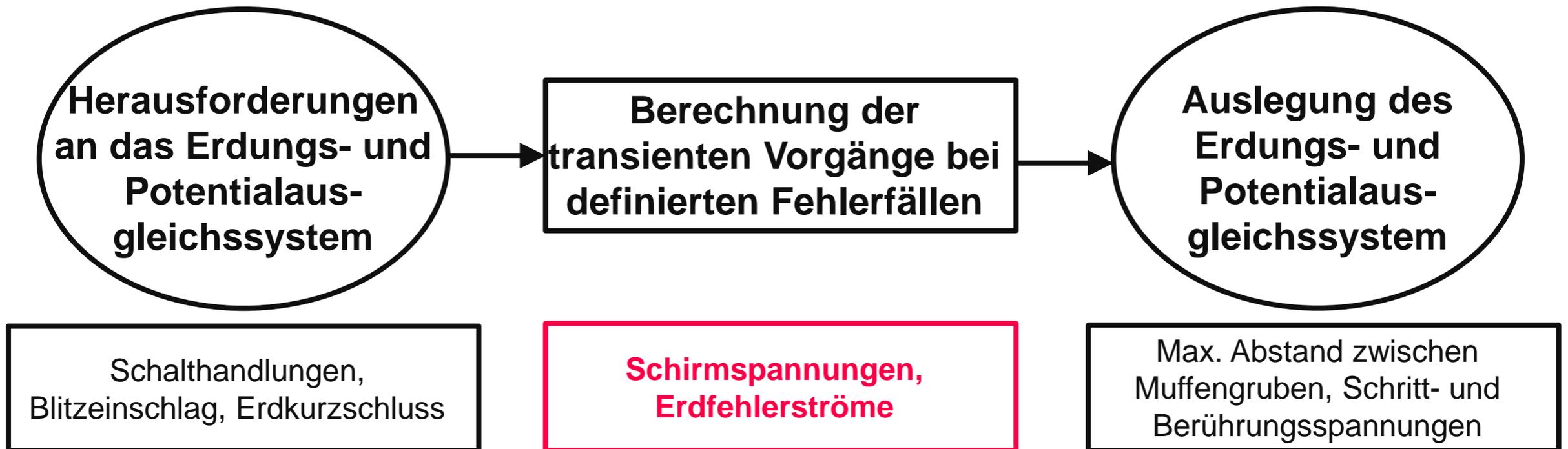
HVDC-Energieübertragungssysteme

- Hohe Zuverlässigkeit bei
 - Schalthandlungen,
 - Blitzeinschlag an einer
 - MMC¹-Station, direkt in die
 - Kabeltrasse oder bei einem
 - (Erd-)Kurzschluss
- Anzahl der Muffengruben?

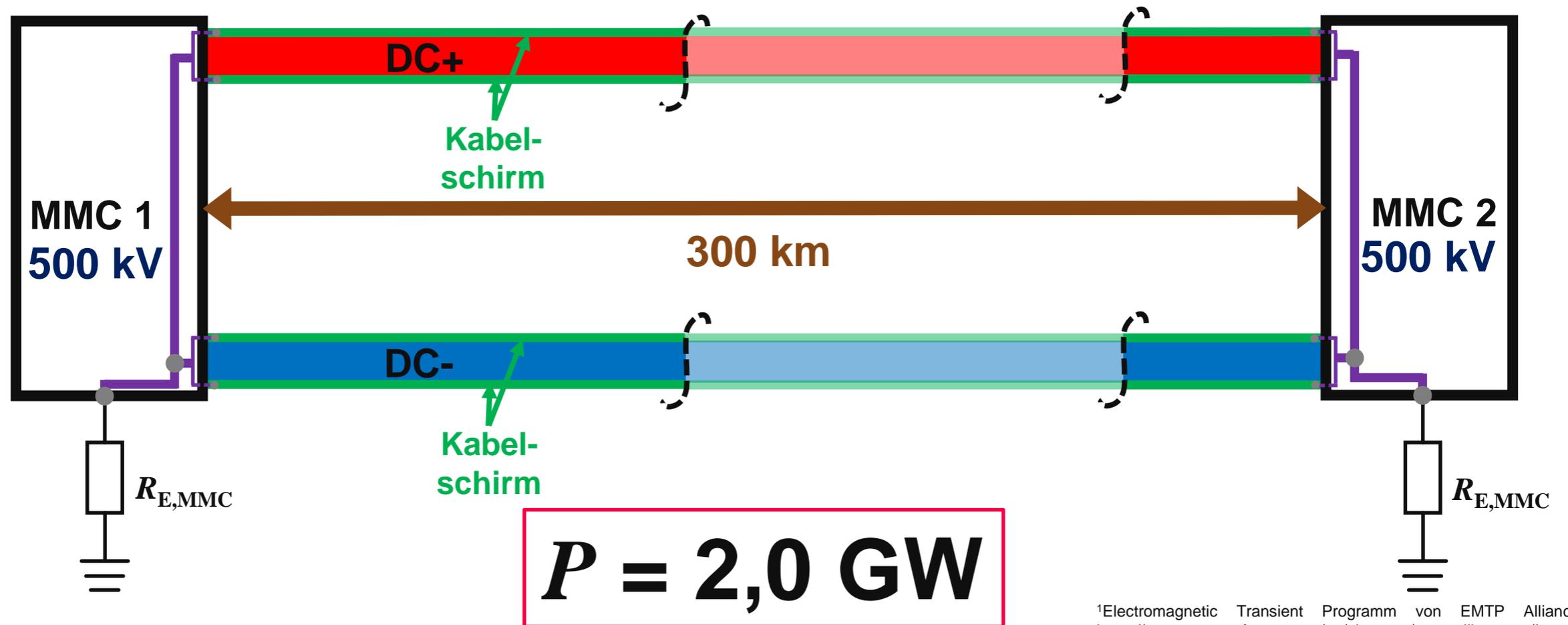
Herausforderungen an das Erdungs- und Potentialausgleichssystem

¹MMC... Modular Multilevel Converter

Betrachtung eines Erdungs- und Potentialausgleichssystems für HVDC-Energieübertragungssysteme

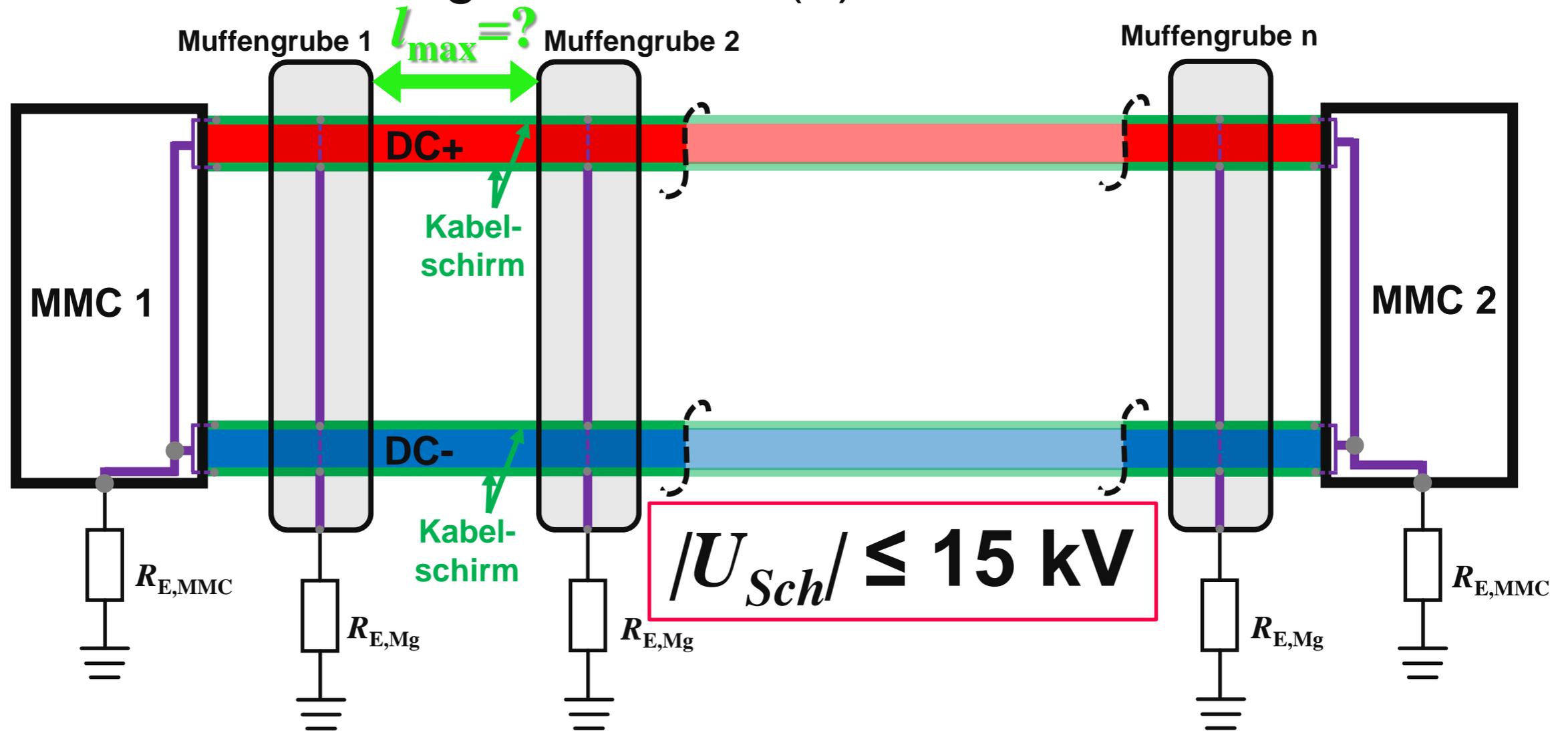


Modellbeschreibung EMTP-RV (1)

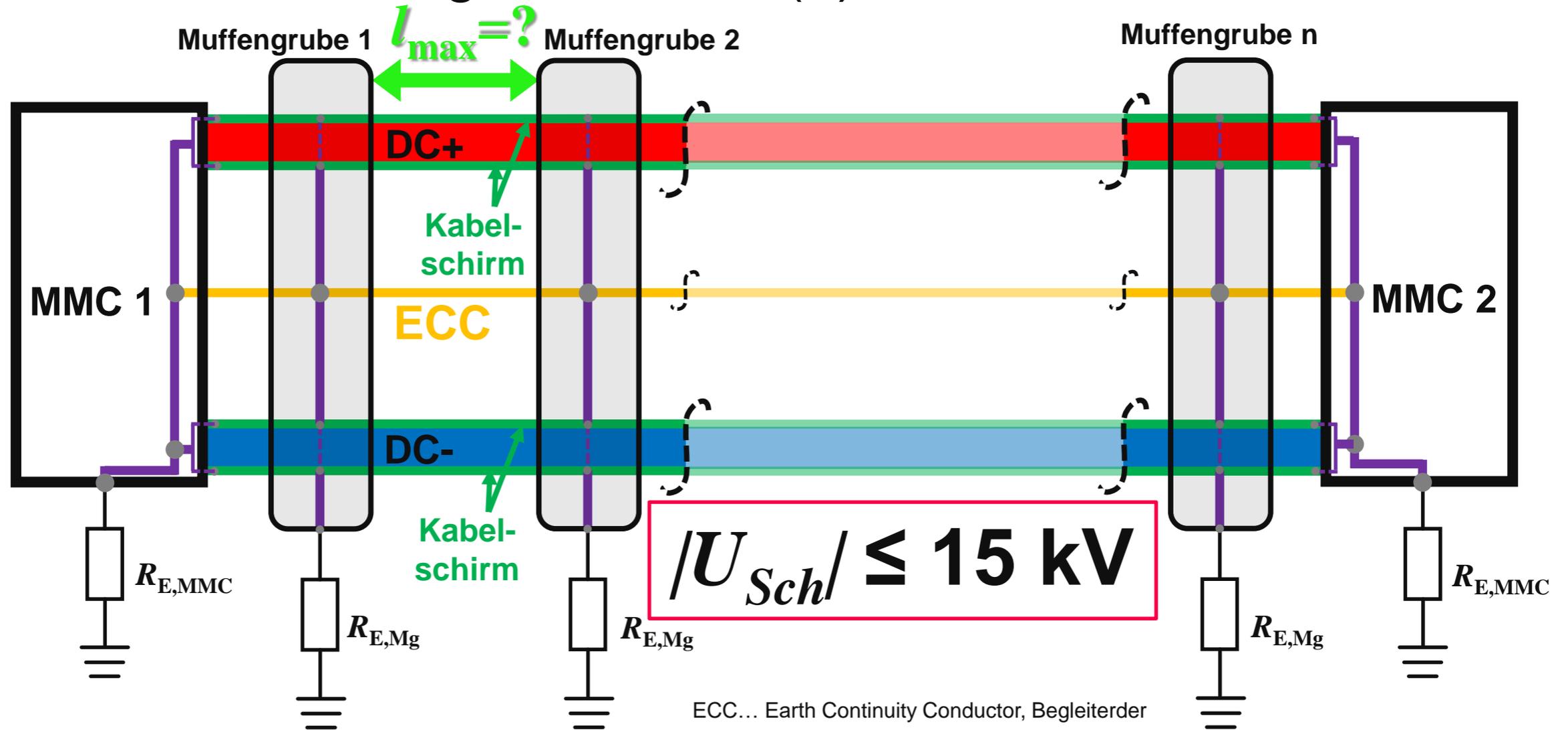


¹Electromagnetic Transient Programm von EMTF Alliance, <https://www.emtf-software.com/en/about-us/emtf-alliance> (Letzter Zugriff: 31.01.2020)

Modellbeschreibung EMTP-RV (2)



Modellbeschreibung EMTP-RV (3)



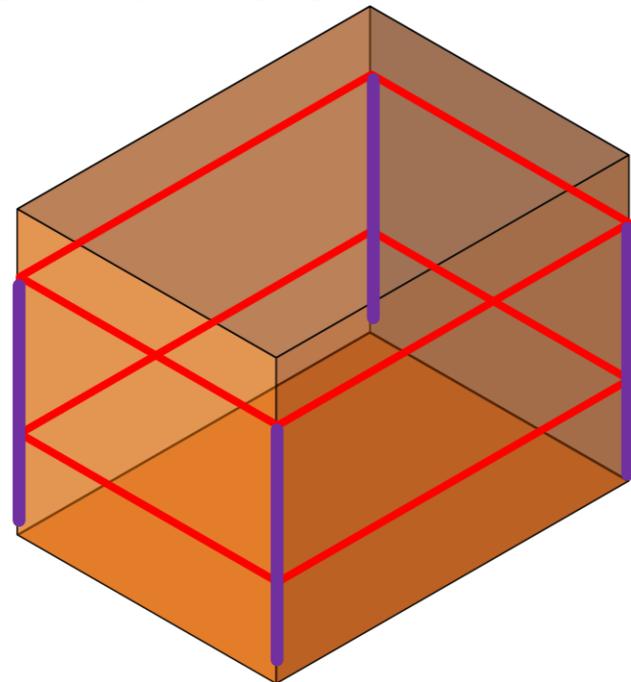
ECC... Earth Continuity Conductor, Begleiterder

Muffengrubenbauwerke – Aufbau

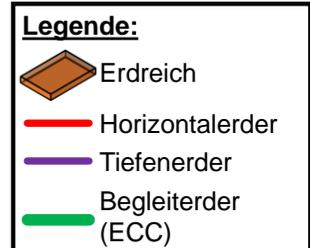
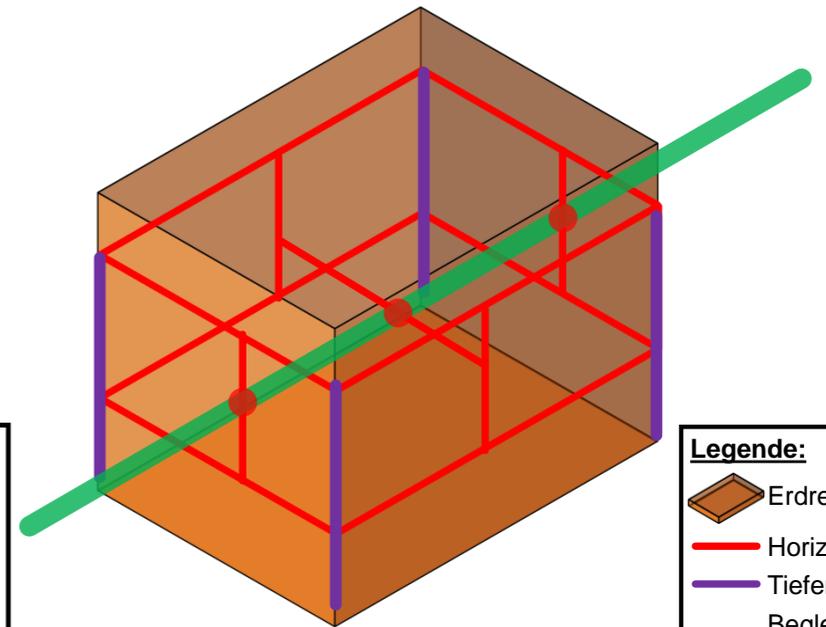
Spezifikationen:

- Länge: 20 m
- Breite: 10 m
- Oberer Ring: -0,8 m
- Unterer Ring: -2,8 m
- TE: bis -7,8 m

Ohne ECC:



Mit ECC:



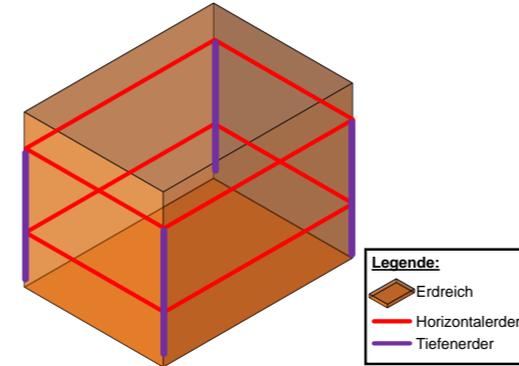
ECC... Earth Continuity Conductor, Begleiterder

Muffengruben - Erdungswiderstände

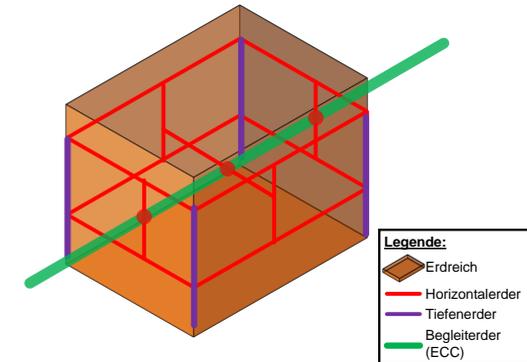
- Variation des spezifischen Bodenwiderstandes ρ
- Berechnung des Erdausbreitungswiderstandes $R_{E,Mg}$ mit OBEIN²

²Programm zur Berechnung der ohmschen Beeinflussung von Erdungsanlagen, Eigenentwicklung des Instituts für Elektrische Anlagen und Netze der Technischen Universität Graz, 2020

Ohne ECC:



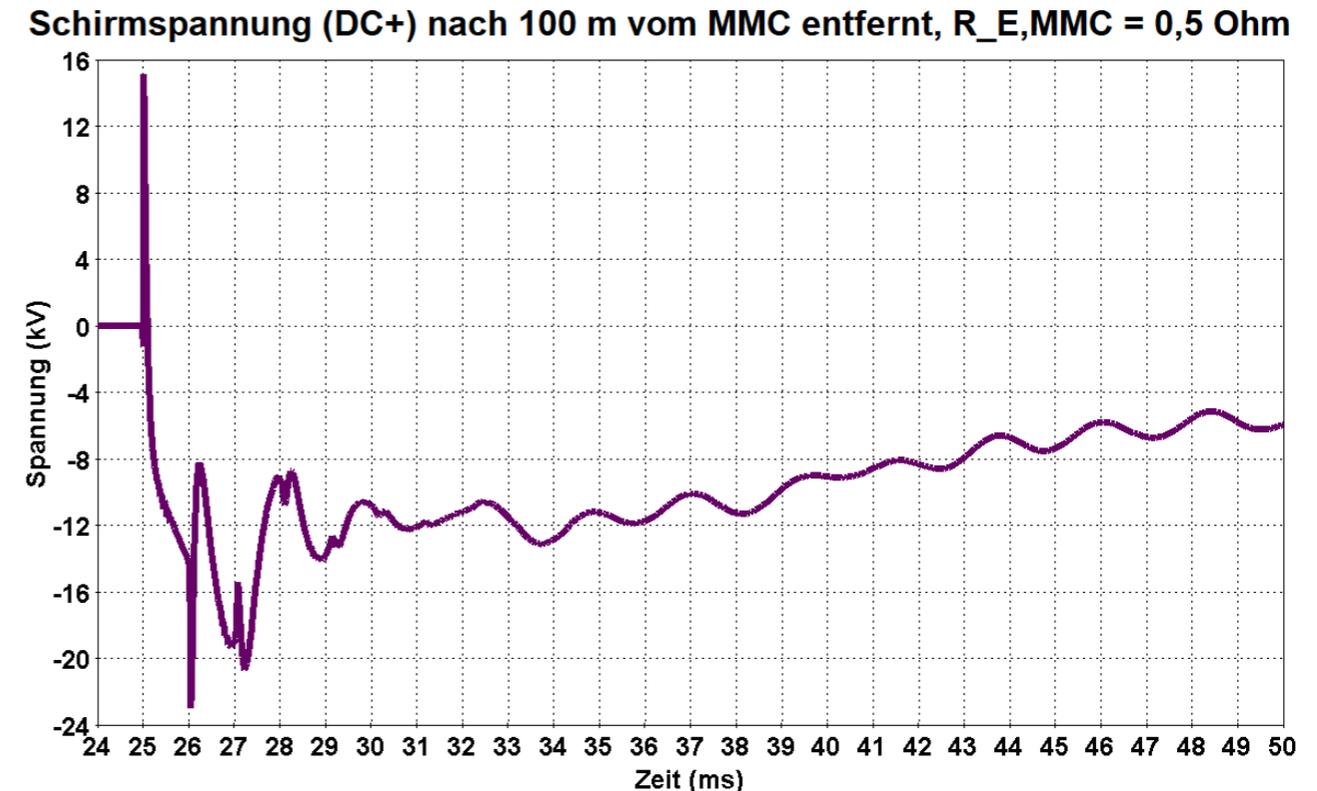
Mit ECC:



	Ohne ECC	Mit ECC
ρ	$R_{E,Mg}$	$R_{E,Mg}$
Ωm	Ω	Ω
100	3,66	3,61
300	10,98	10,84
1000	36,66	36,14

Blitzeinschlag in MMC-Station (1)

- Blitzstoßspannung an DC+ bei Nennlast/Nennspannung
 - Scheitelwert: 1,5 MV
 - Stirnzeit: 1,2 μ s
 - Rückenhalbwertszeit: 50 μ s
- Variation des Erdungswiderstandes der MMC-Station $R_{E,MMC}$
- **Berechnung der Schirmspannung**



Zeitlicher Verlauf der Schirmspannung U_{Sch} an DC+ bei Blitzeinschlag in MMC-Station, $R_{E,MMC} = 0,5 \Omega$

Blitzeinschlag in MMC-Station (2)

Ohne ECC:

$R_{E,MMC}$	$U_{Sch, DC+}$	$U_{Sch, DC-}$
Ω	kV	kV
0,1	-4,74	-5,02
0,2	-9,52	-9,80
0,3	-14,18	-14,46
0,4	-18,72	-19,00

Mit ECC:

$R_{E,MMC}$	$U_{Sch, DC+}$	$U_{Sch, DC-}$
Ω	kV	kV
0,1	-4,72	-5,02
0,2	-9,48	-9,77
0,3	-14,05	-14,31
0,4	-18,63	-18,97

**ECC hat kaum einen Einfluss
 auf Schirmspannung U_{Sch} → maßgebend
 Erdungswiderstand $R_{E,MMC}$**

Erdkurzschluss entlang der Kabelstrecke

- Festlegung von $R_{E,MMC} = 0,1 \Omega$
- Variation des Erdausbreitungswiderstandes der Muffengruben $R_{E,Mg}$
- Berechnung:
 - maximale Distanz zwischen den Muffengruben d
 - Erdstrom in der nächstgelegenen Muffengrube $I_{E,Mg}$
 - Schritt- und Berührungsspannungen im Bereich der Muffengrube

Erdkurzschluss entlang der Kabelstrecke – Ohne ECC (1)

Berechnungsergebnisse:

$R_{E,Mg}$	d	$U_{Sch, DC+}$	$U_{Sch, DC-}$	$I_{E,Mg}$
Ω	km	kV	kV	A
36,66	7,5	14,50	13,40	380
10,98	12,5	11,40	9,30	850
3,66	12,5	10,20	7,10	1440

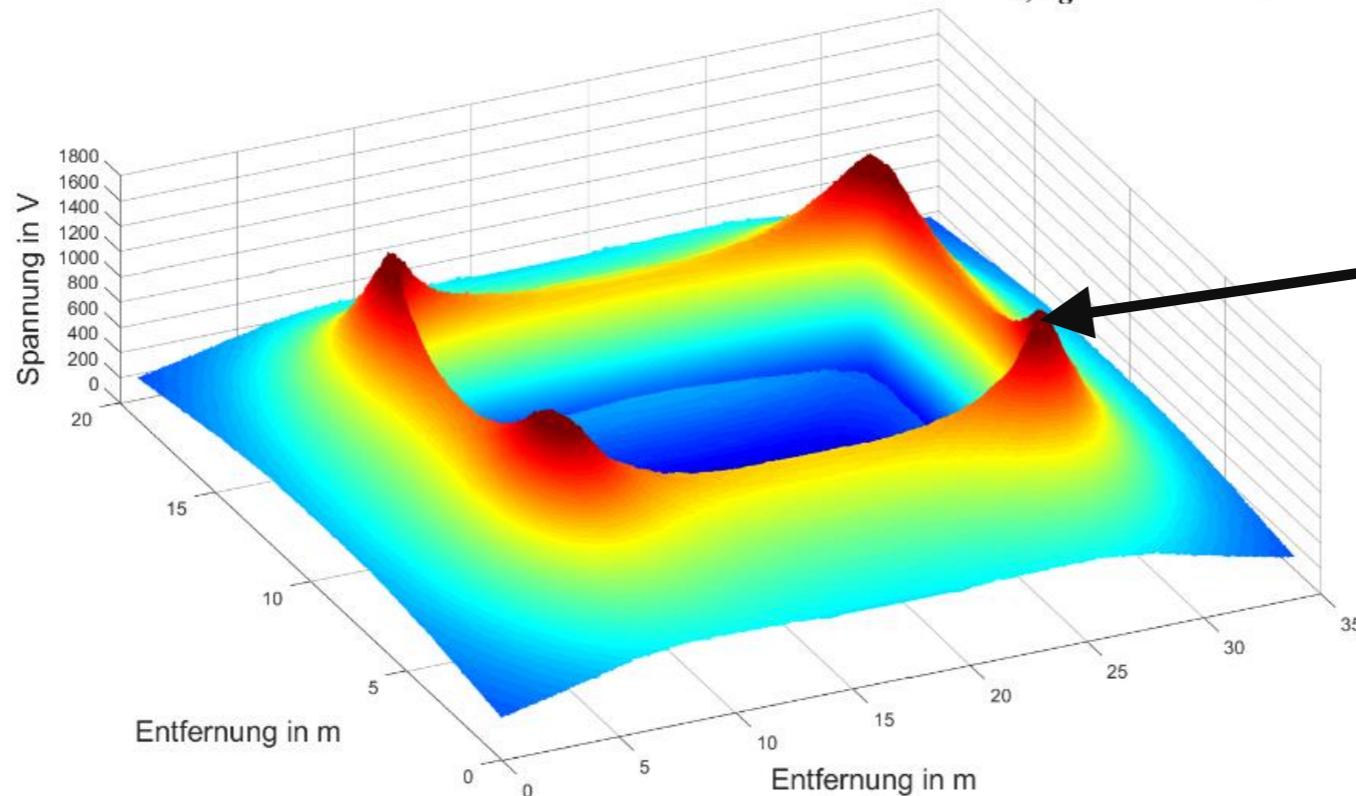
**$l_{max} = 12,5 \text{ km}$ bei $R_{E,Mg} = 3,66 \text{ } \Omega$ bzw.
 $R_{E,Mg} = 10,98 \text{ } \Omega$**

Anm.: Aufgrund der Segmentierung der Kabelstrecke in 2,5 km lange Teilstücke ergibt sich rechnerisch für $R_{E,Mg} = 3,66 \text{ } \Omega$ und $R_{E,Mg} = 10,98 \text{ } \Omega$ derselbe maximale Abstand

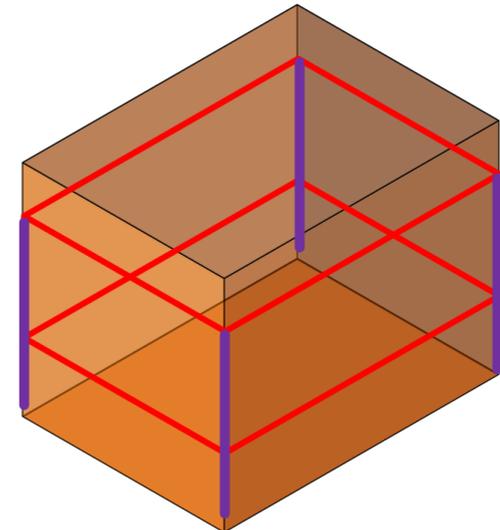
Erdkurzschluss entlang der Kabelstrecke – Ohne ECC (3)

Schritt- und Berührungsspannungen (Worst-Case):

1-m-Differenzspannungen an einer Muffengrube ohne ECC, $R_{E,Mg} = 36,6 \Omega$, $I_E = 380 A$



≈ 1,6 kV



Erdkurzschluss entlang der Kabelstrecke – Mit ECC (1)

Berechnungsergebnisse:

$R_{E,Mg}$	d	$U_{Sch, DC+}$	$U_{Sch, DC-}$	$I_{E,Mg}$
Ω	km	kV	kV	A
36,14	30	2,80	7,51	95
10,84	30	2,78	7,48	231
3,61	30	2,67	7,41	372

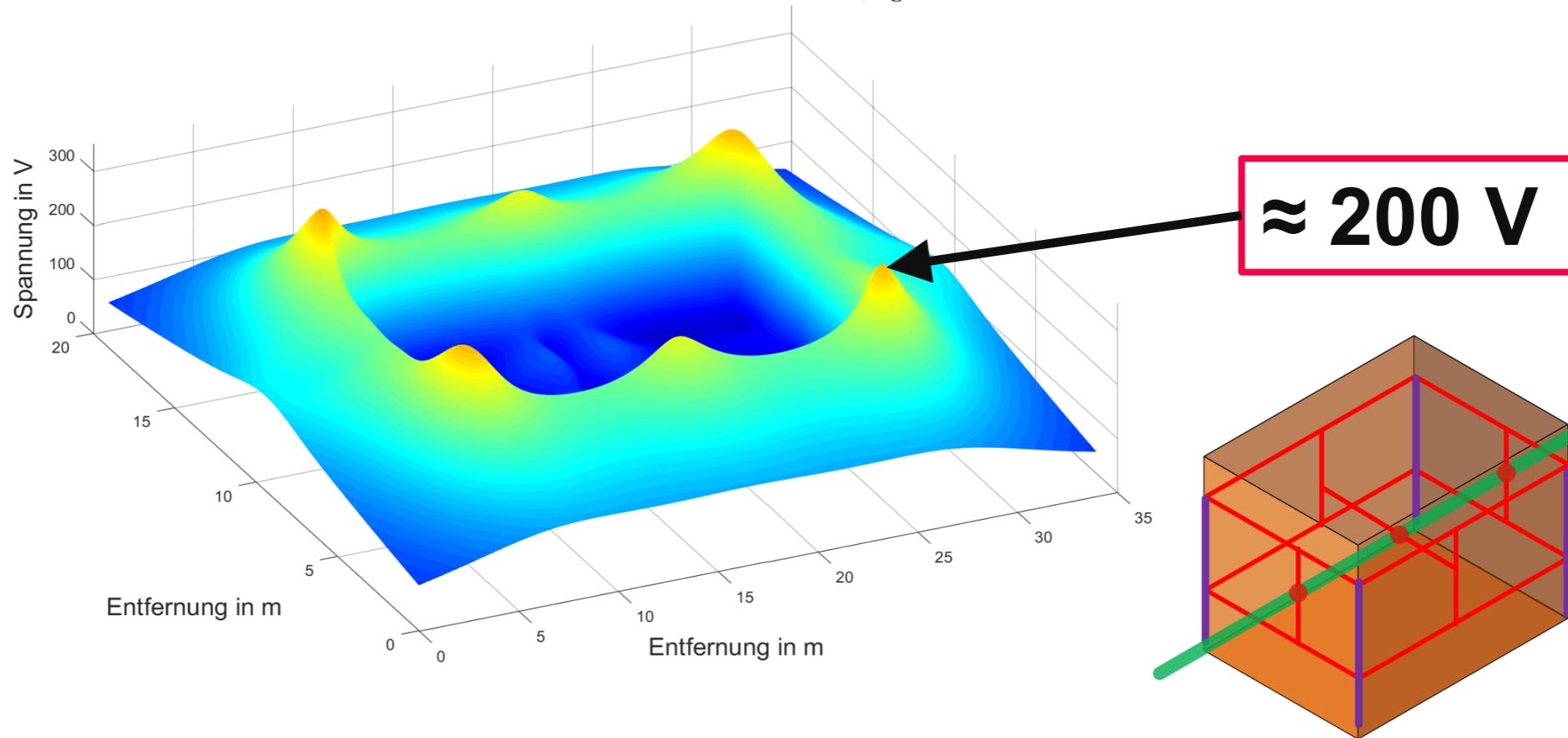
$$l_{max} = 30 \text{ km}$$

Anm.: Zur messtechnischen Überwachung wird der maximale Abstand zwischen den Muffengruben nicht weiter erhöht.

Erdkurzschluss entlang der Kabelstrecke – Mit ECC (2)

Schritt- und Berührungsspannungen (Worst-Case):

1-m-Differenzspannungen an einer Muffengrube mit ECC, $R_{E,Mg} = 36,1 \Omega$, $I_E = 95 A$



Ökonomische Aspekte durch Beilegung eines ECCs

- Anzahl der notwendigen Muffengruben mit Schirmauflegung (auf 300 km):
 - Ohne ECC: 22
 - Mit ECC: 8
- Geringerer Aufwand bei Auslegung der Erdungsanlagen der Muffengruben zur Einhaltung der Grenzwerte für die Schritt- und Berührungsspannungen
- Schutz der Kabel durch Blitzschlag entlang der Kabelstrecke
 - Gleichmäßige Absteuerung des Potentials
 - Geringeres Perforationsrisiko des Kabelmantels

Technische Aspekte durch Beilegung eines ECCs

Schalthandlung/Blitzeinschlag in MMC-Station

- ECC hat keinen wesentlichen Einfluss
- Erdungswiderstand der MMC-Station maßgebend

Blitzeinschlag entlang der Kabelstrecke

- Höhere Blitzströme ohne Zerstörung des Kabels möglich

Kurzschluss entlang der Kabelstrecke

- Reduktion der Schirmspannung
- Reduktion der Schritt- und Berührungsspannungen im Bereich der Muffengruben
- Längerer Abstand zwischen Muffengruben mit Schirmerdung möglich

Herausforderungen an Erdungs- und Potentialausgleichssysteme von DC-Energieübertragungskabeln

Martin Fürnschuß, Moritz Pichler, Robert Schürhuber,
Herwig Renner, Stephan Pack, Ernst Schmautzer

13.02.2020