Einfluss von Starkstromanlagen auf Magnetfelder in Gebäuden unter Berücksichtigung von modernen Erdungs- und PA-Anlagen

DI Wolfgang Emmer | Graz University of Technology Institute of Electrical Power Systems

15.02.2018

Co-Autoren:
DI Dr.techn. Ernst Schmautzer
Univ.-Prof. DDI Dr.techn. Robert Schürhuber
Univ.-Prof. DI Dr.techn. Lothar Fickert

Motivation

Ziel

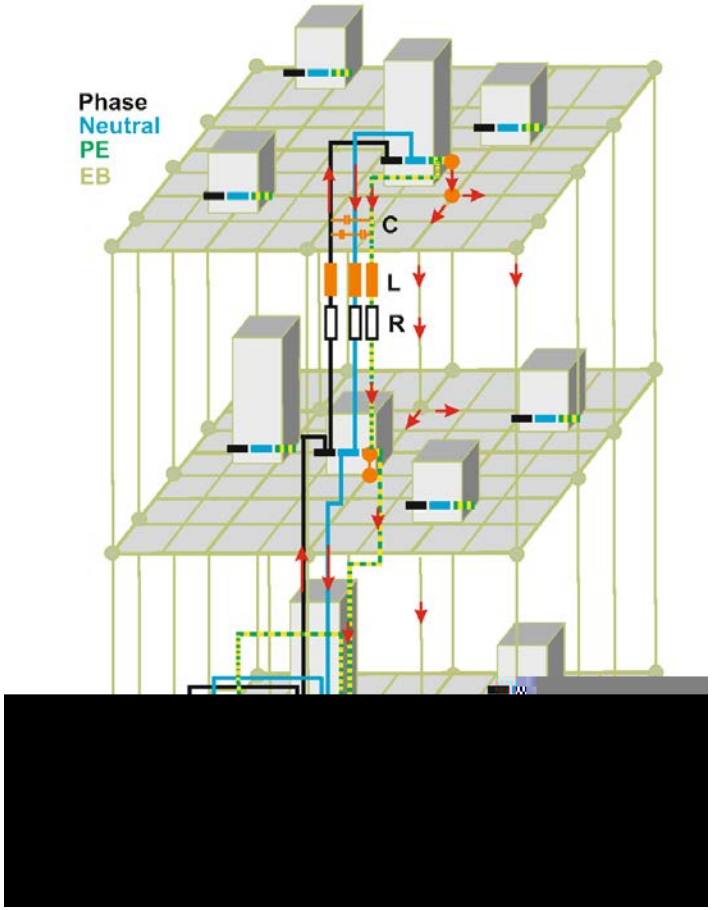
- Schutz vor elektromagnetischen Feldern
- Personenschutz vor
  - Direkten biophysikalischen Effekten (Stimulation von Muskeln, Nerven oder Sinnesorganen)
  - Indirekten Effekten (verursacht durch das Vorhandensein eines Objekts in einem elektromagnetischen Feld, welches den Grund einer Gefahr für die Sicherheit oder Gesundheit darstellen könnte)
- Schutz von elektronischen Geräten vor
  - Direkten Effekte
  - Indirekten Effekte

EMV-Grenzen

Anwendungsbereich:	Grenzwert für B
Magnetische Speicher, Disketten	1 mT
Tonaufnehmer	100 µT
Außenbereich von labor- oder medizintechnisch genutzten Gebäuden mit besonders empfindlichen Geräten	0,2 … 0,4 µT
PC-Röhrenmonitore (Bildschirmzittern)	0,3 … 0,7[1] µT
Allgemeiner Laborbereich	0,2 µT
Grenzwert für störungsfreien Elektronenmikroskop-Betrieb von Feldemissions-Raster-Elektronenmikroskopen	0,1 … 0,3 µT
Grenzwert für störungsfreien Magnetenzephalographie-Betrieb (Schirmkammer)	< 1 nT
Herzschrittmacher (eingeschränkt störfest) 50 Hz – peak/rms[2] Herzschrittmacher (eingeschränkt störfest) 16,7 Hz – peak/rms Ungünstigster unipolarer HRZM gemäß Abschnitt II (rms)	91,7 µT /64,8 µT 423,5 µT/300 µT 46 µT
Elektromagnetische Störfestigkeit für Geräte und Systeme gemäß EN 60601-1-2: 2001 Medizinische Geräte, Tab. 202	3,77 µT (3 A/m)[3]
Elektromagnetische Störfestigkeit für Wohnbereich, Geschäfts- und Gewerbebereiche sowie Kleinbetriebe gemäß EN 61000-6-1 2002-09-01, Tab. 1	3,77 µT (3 A/m)
Elektromagnetische Störfestigkeit für Industriebereich gemäß EN 61000-6-2 2002-09-01, Tab. 1	37,7 µT (30 A/m)
EEG-, EKG- und EMG-Geräte gemäß ÖVE/ÖNORM E8007 2005-12-01	0,2 μT_{ss} / 0,07 μT_{eff} 0,4 μT_{ss} / 0,141 μT_{eff} 0,1 μT_{ss} / 0,035 μT_{eff}

Problemstellung

- Zur Lösung von EMV-Problemen werden vermaschte Erdungs- und PA-Systeme in Gebäuden bevorzugt
  - Geringe Impedanz
  - Stromaufteilung
  - Feldverdrängung
- In der Praxis wurden aber neue ungewollte Effekte beobachtet
  - Geringe Impedanz eines vermaschten Erdungs- und PA-Systems erhöht die Wirkung der ohmschen und induktiven Beeinflussung



Quelle: „Field Reduction Measures for EMC Problems Caused by Asymmetric Earthing Arrangements and Equipotential Bonding Systems", IEEE EEEIC 2016 Florence

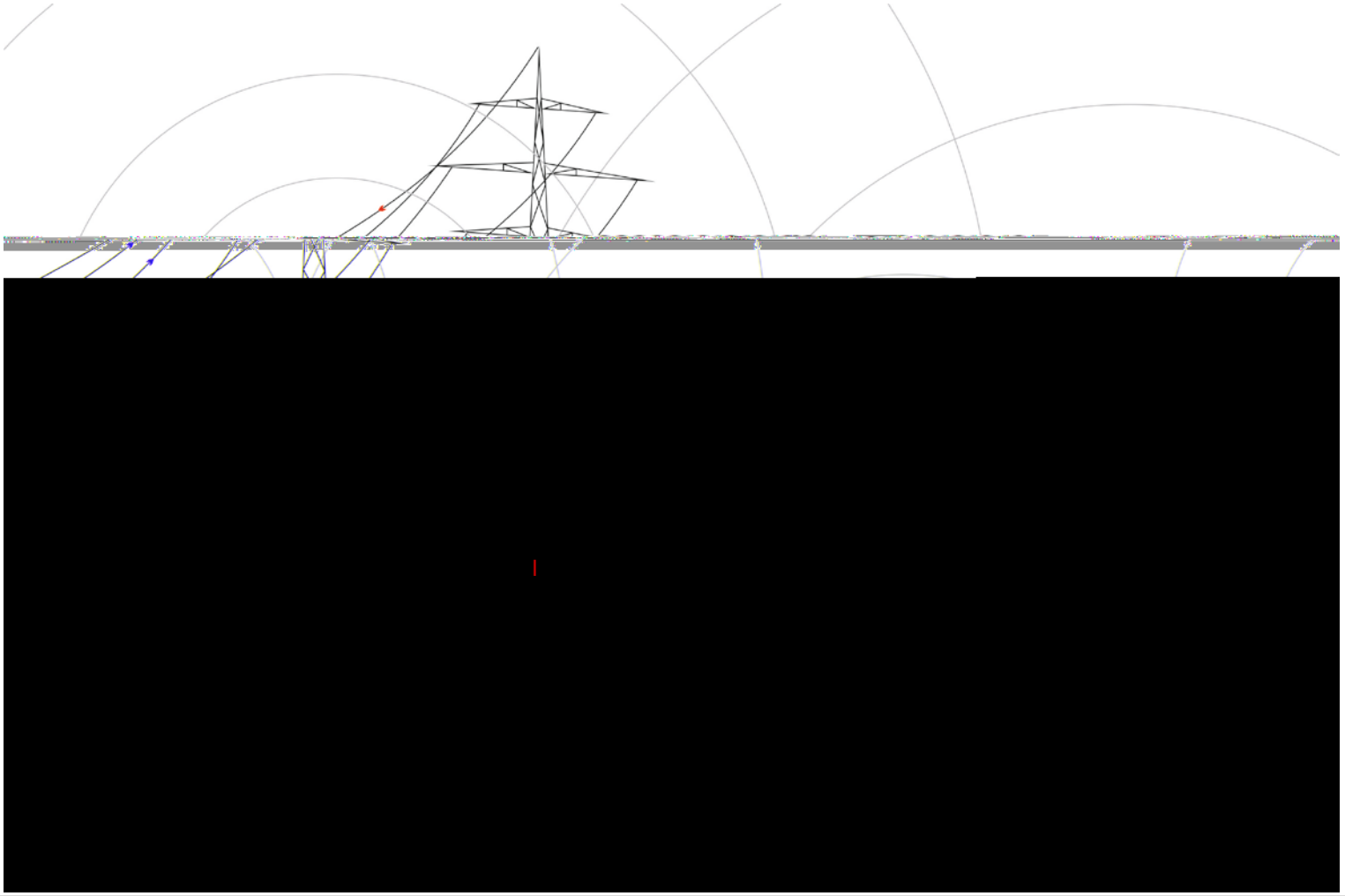
Elektrische Beeinflussung

- **Ohmsche Beeinflussung**
  Vagabundierende Ströme in
  - PEN-(Protection Earth Neutral)-Leitern
  - PE-(Protection Earth)-Leitern
  - Erdungsanlagen
  - Potentialausgleichssystemen
- **Induktive Beeinflussung**
  Einkopplung in die Gebäudeinstallation durch *externe* und *interne* Felder
- **Unsymmetrische Verbraucher**
- **Unsymmetrische Gebäude**
- **Kapazitive Beeinflussung**
  Generell von geringer Bedeutung in Gebäuden

Elektromagnetische Felder

- **Externe Feldquellen**
  - Hochspannungsfreileitungen
  - Hochspannungskabel
  - Bahnstrecken
- **Interne Feldquellen**
  - Gebäudeinstallation (aktive Leiter, Sammelschienen, Neutralleiter, Transformatoren, Schaltanlagen, …)
- **Passive Feldquellen**
  - PE/PEN-Leiter
  - Armierung
  - Erdungssysteme
  - Blitzschutzsysteme

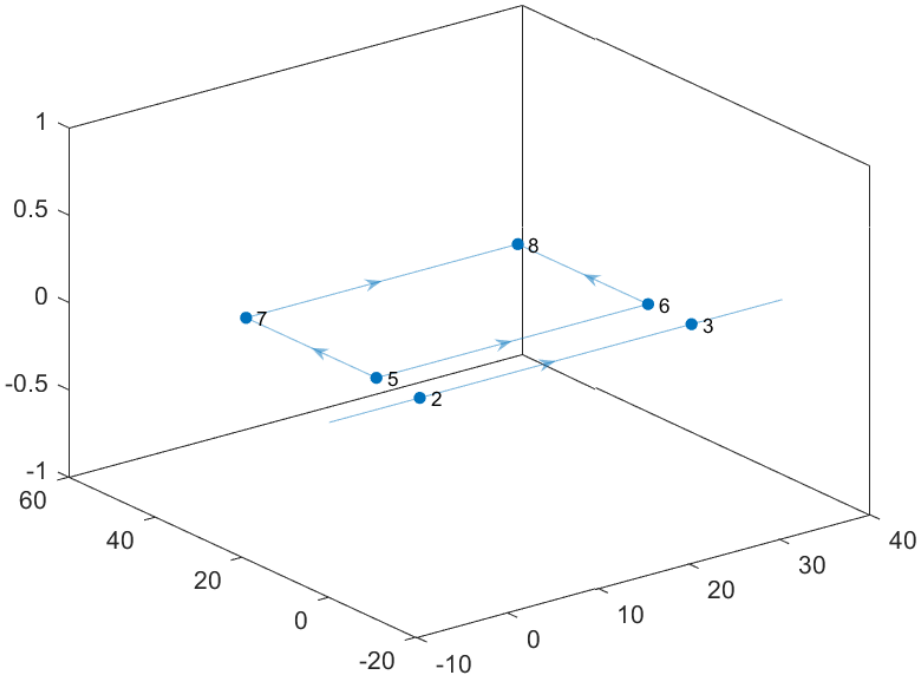
Gebäude im Einflussbereich unterschiedlicher Störquellen



Berechnungen

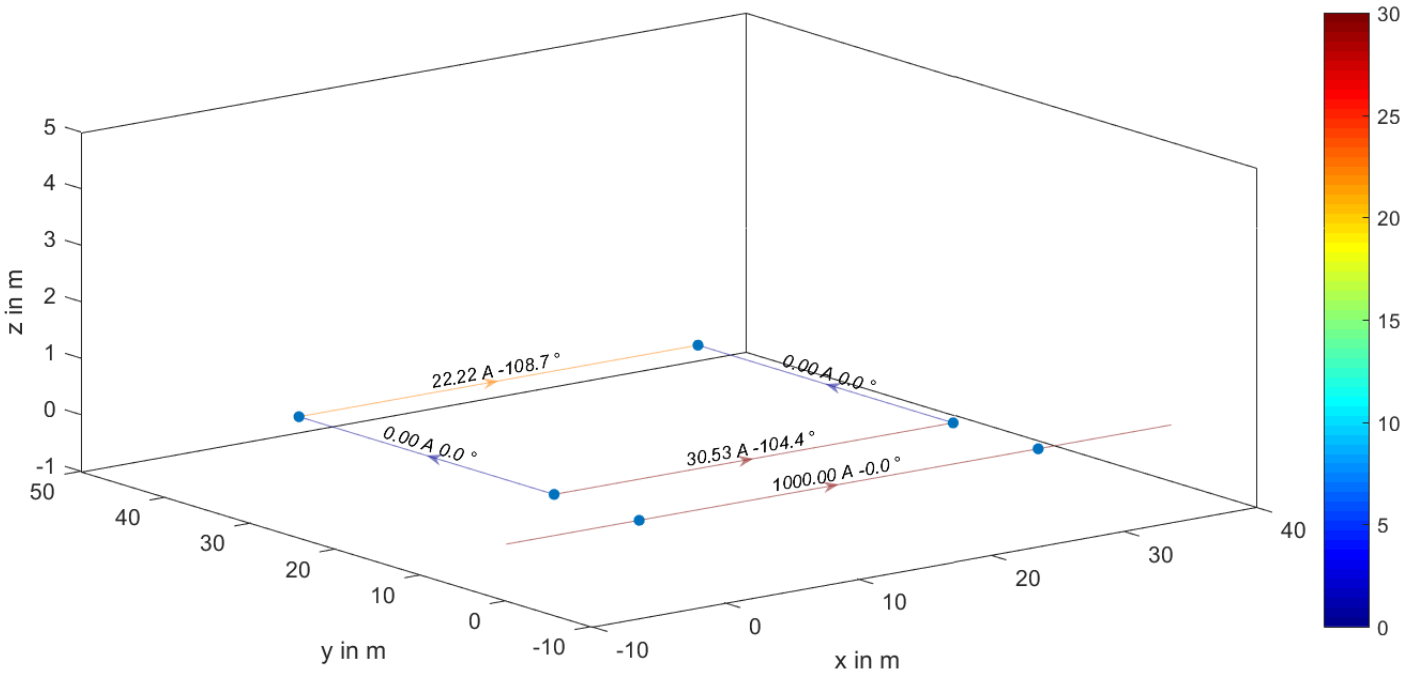
Basisvariante

- PA-Struktur eines einebenigen Gebäudes
  - l = 30 m, b = 30 m, h = 4 m
- Beeinflussender Leiter
  - l = 1000 A, d_{GL} = 10 m
- PA-System
  - Rundstahl, d = 10 mm



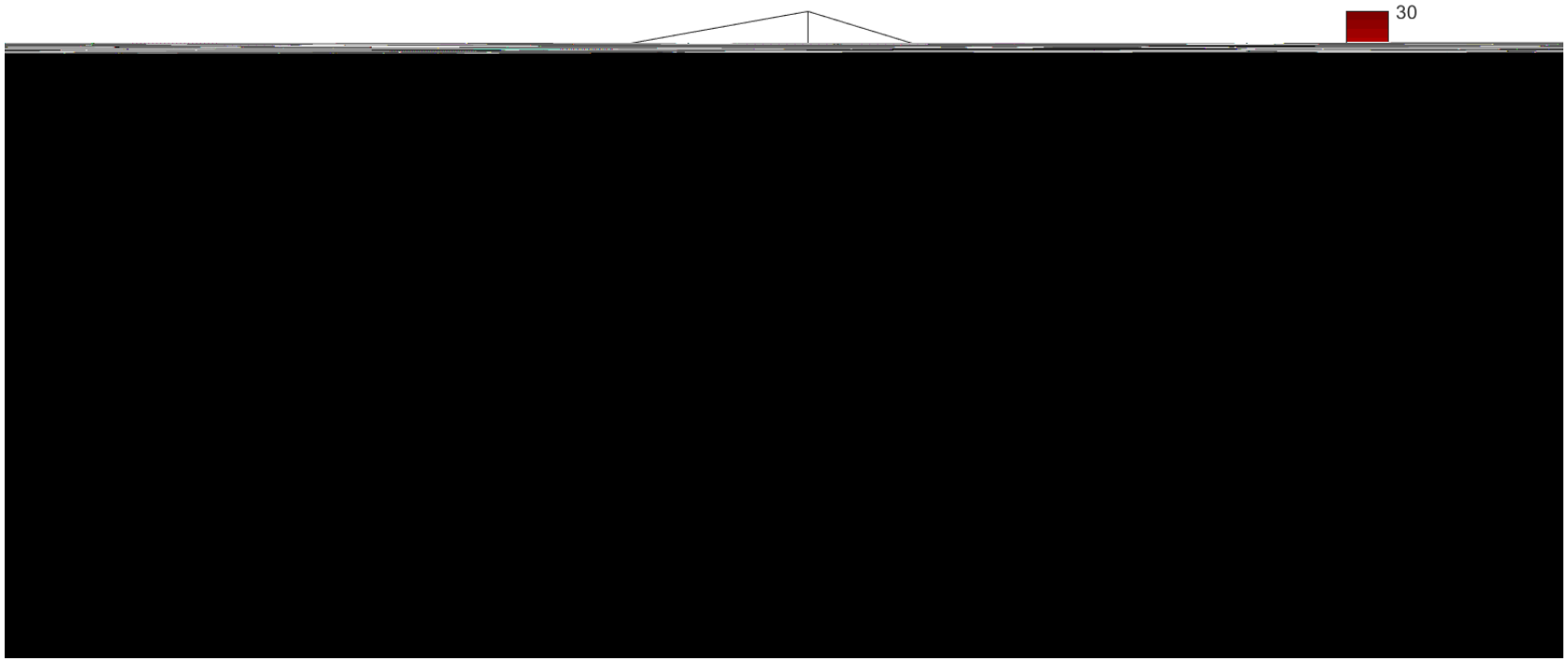
Variante 1: Gebäude mit PA auf 1 Ebene mit 4 PA-Masche

Stromaufteilung



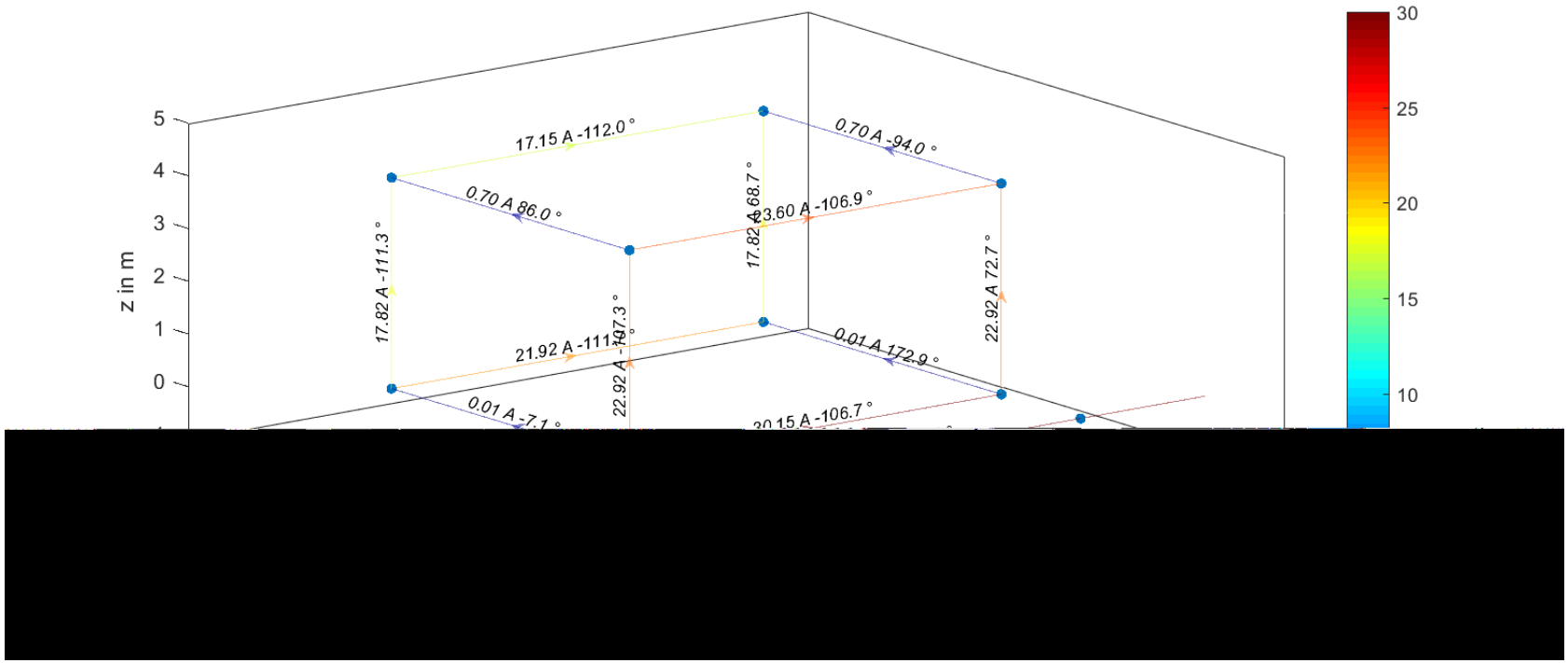
Variante 2: Gebäude mit PA auf 1 Ebene mit 4 PA-Maschen

Stromaufteilung



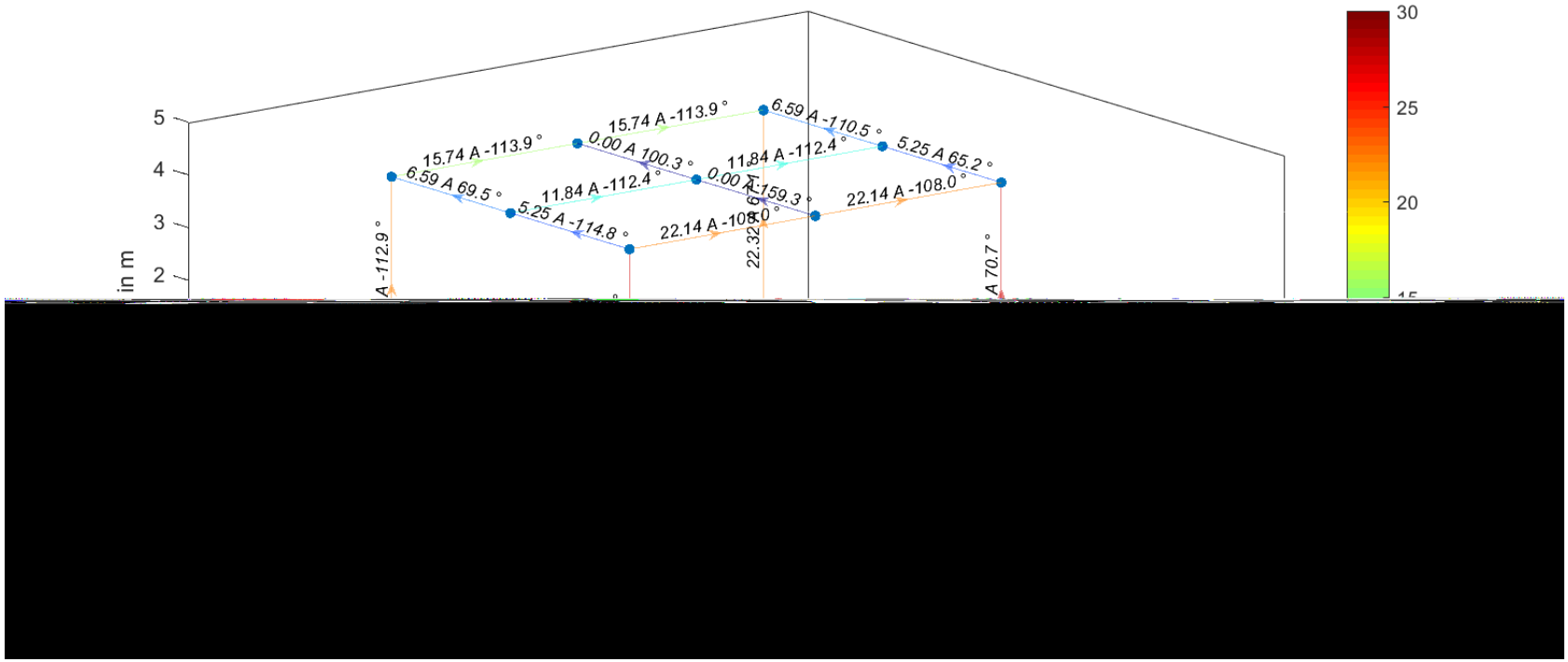
Variante 3: Gebäude mit PA auf 2 Ebenen mit jeweils 1 PA-Masche

Stromaufteilung



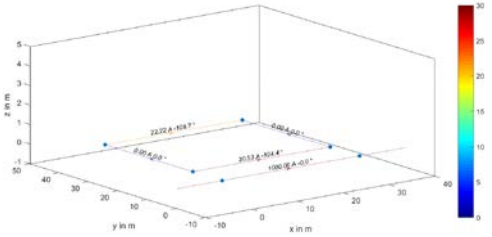
Variante 4: Gebäude mit PA auf 2 Ebenen mit jeweils 1 PA-Masche

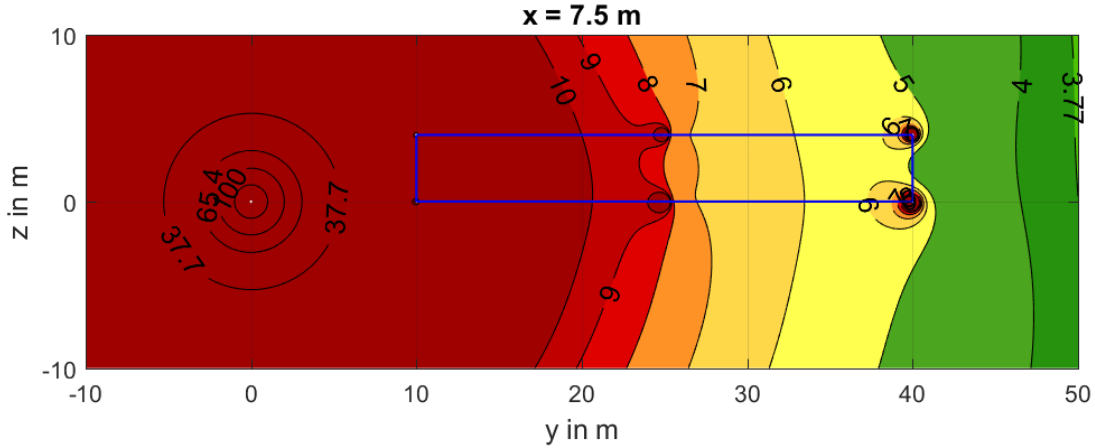
Stromaufteilung



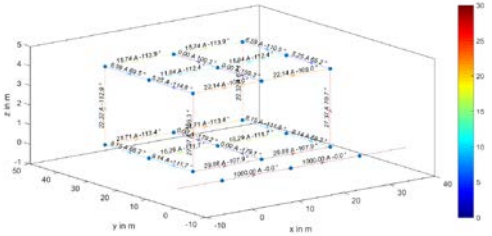
Variante 1: Gebäude mit PA auf 1 Ebene mit 4 PA-Masche (1/2)

Variante 1

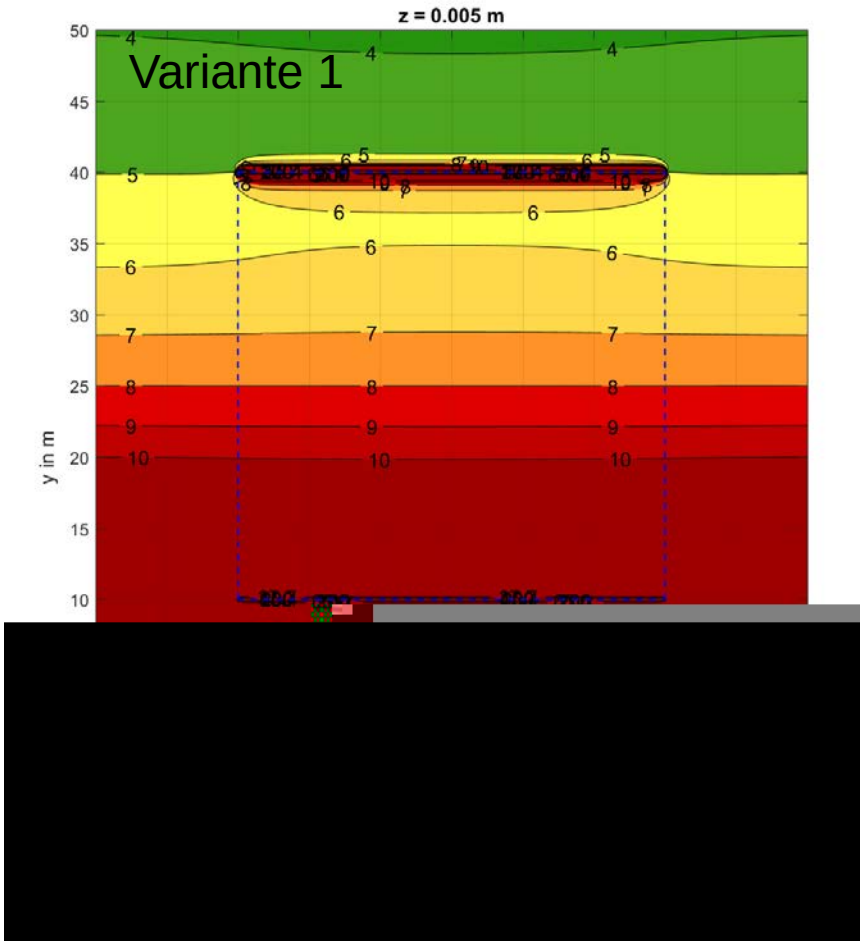


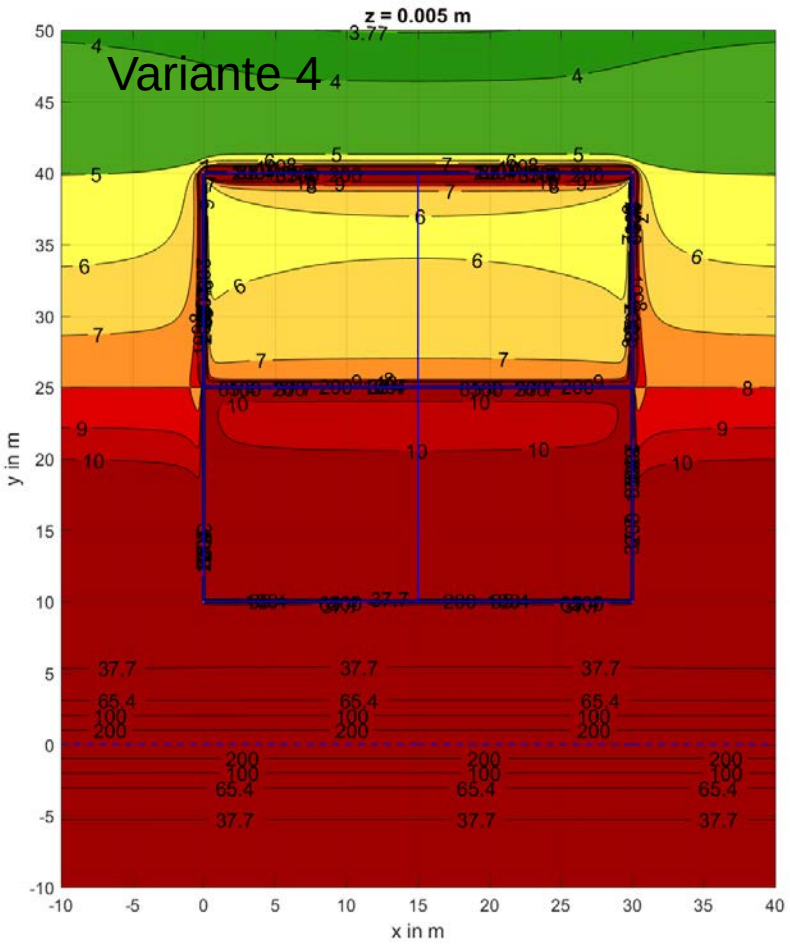


Variante 4

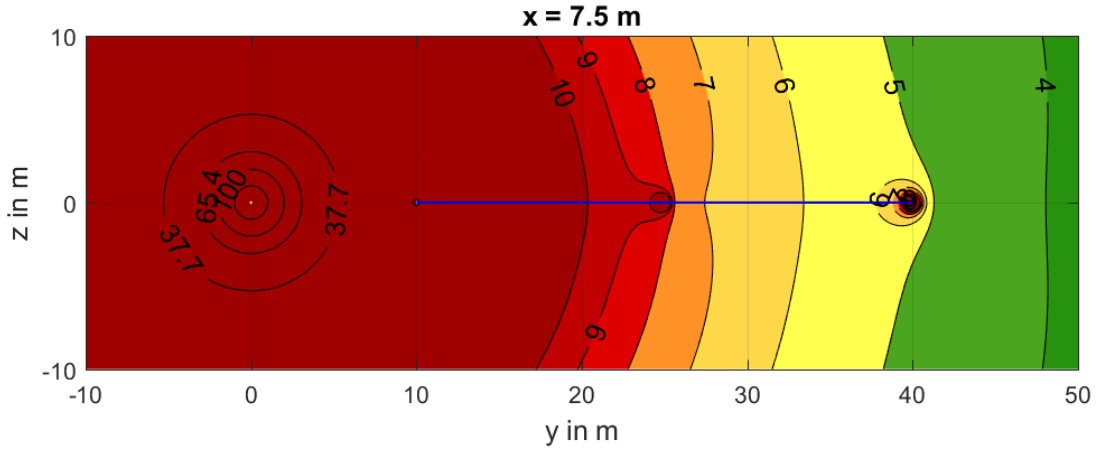


Variante 1: Gebäude mit PA auf 1 Ebene mit 4 PA-Masche (2/2)

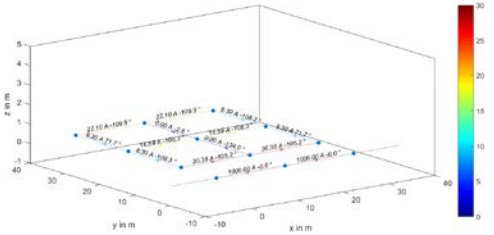


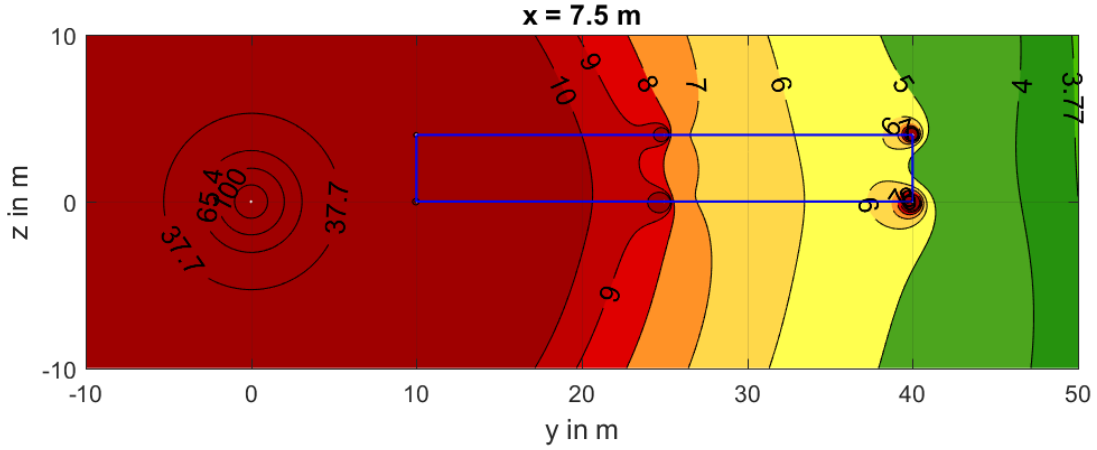


Variante 2: Gebäude mit PA auf 1 Ebene mit 4 PA-Maschen (1/2)

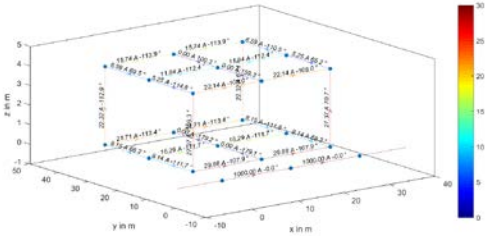


Variante 2



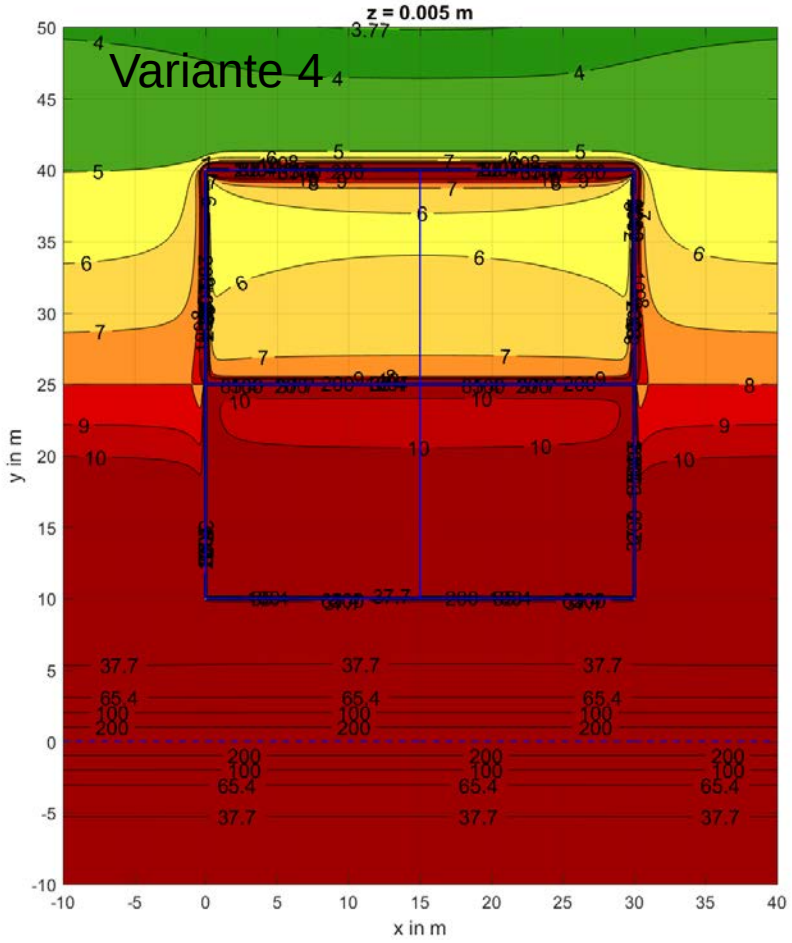


Variante 4

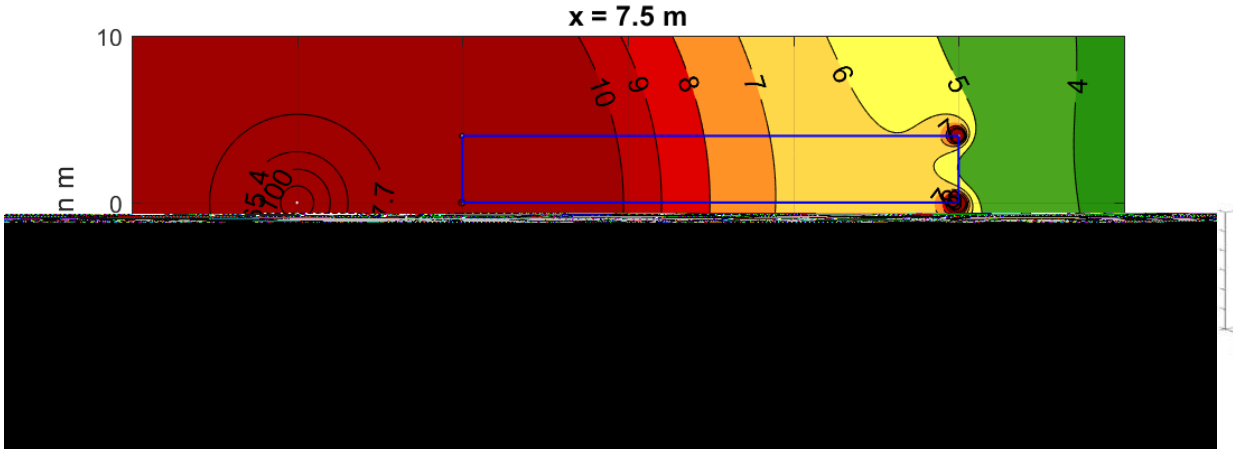


Variante 2: Gebäude mit PA auf 1 Ebene mit 4 PA-Maschen (2/2)

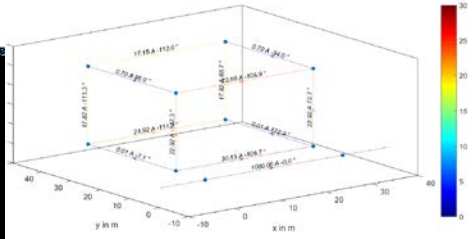
Variante 2

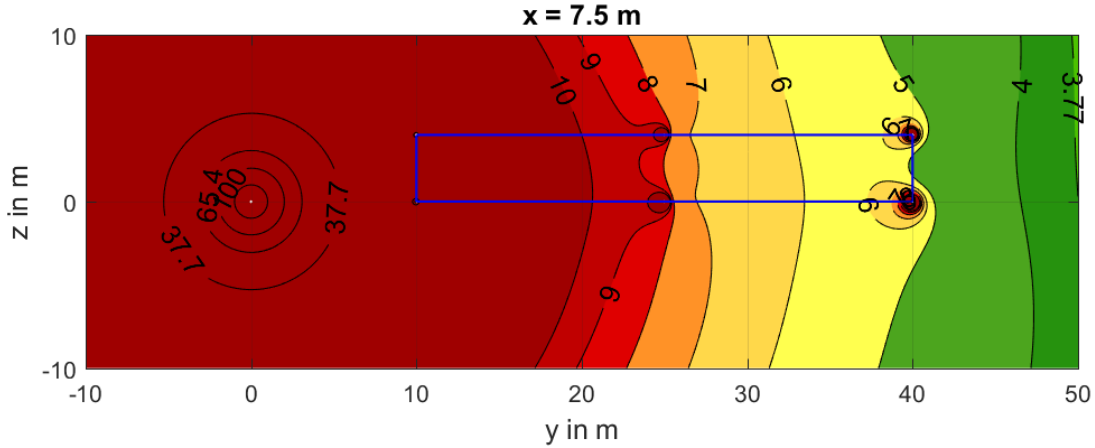


Variante 3: Gebäude mit PA auf 2 Ebenen mit jeweils 1 PA-Masche (1/2)

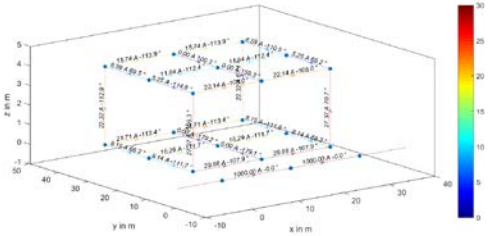


Variante 3

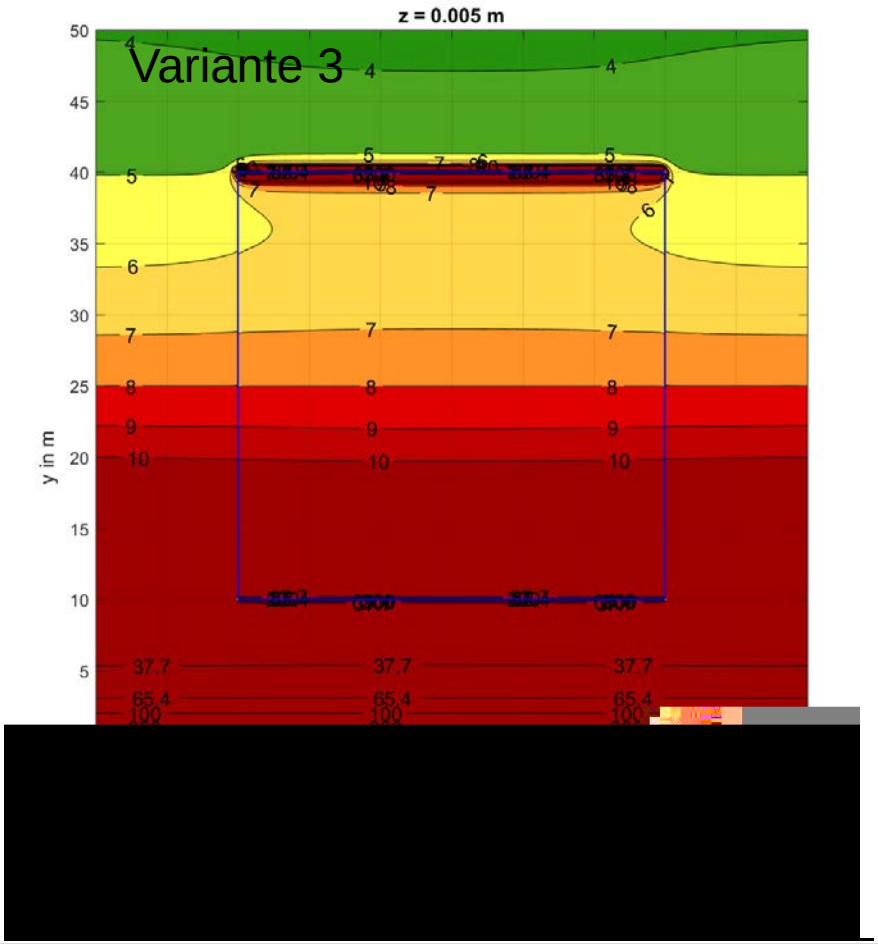


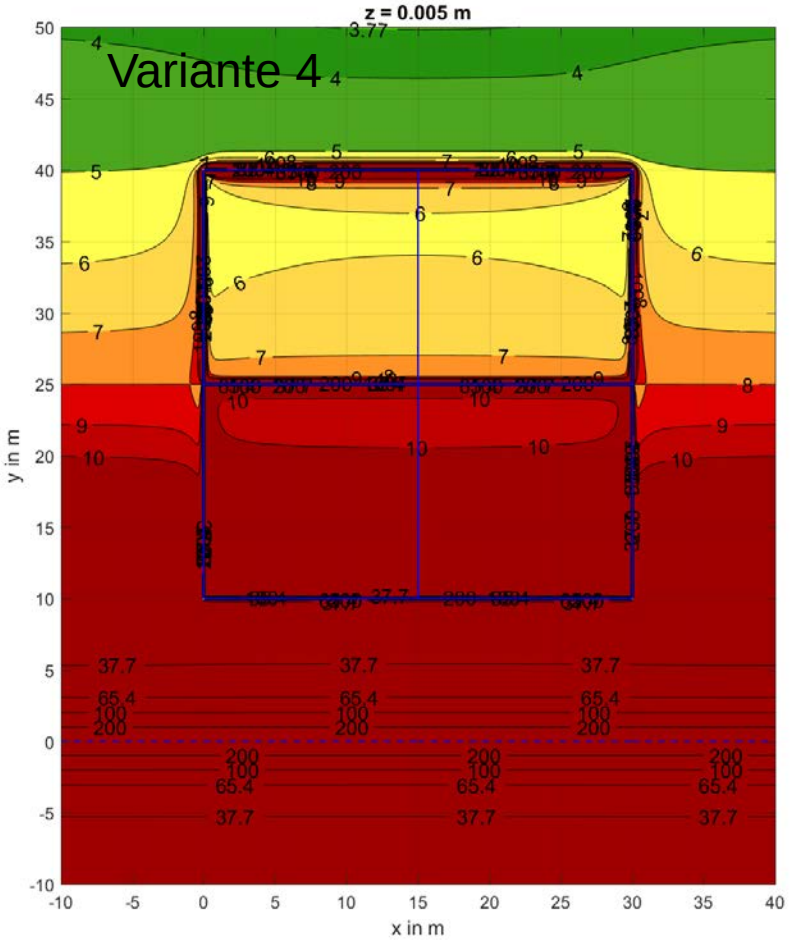


Variante 4

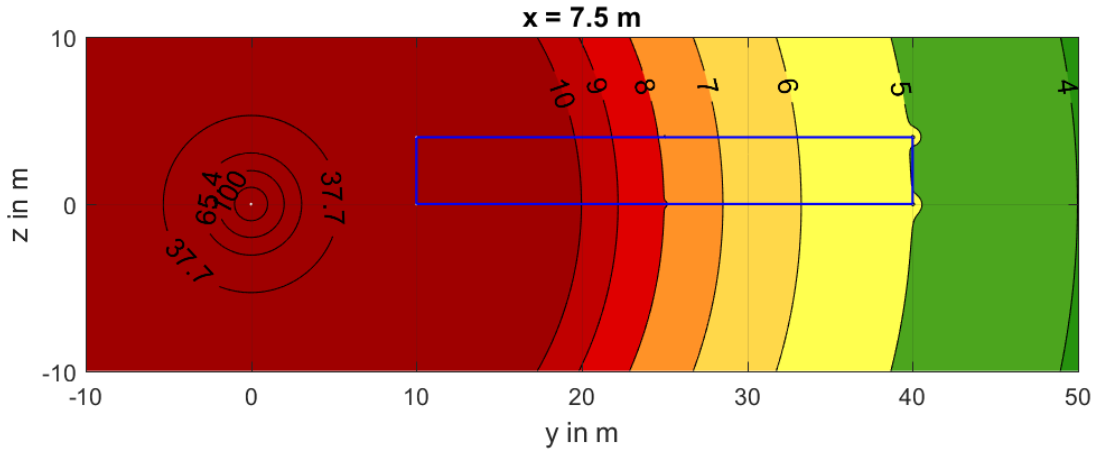


Variante 3: Gebäude mit PA auf 2 Ebenen mit jeweils 1 PA-Masche (2/2)

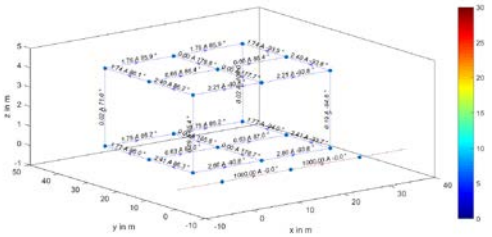


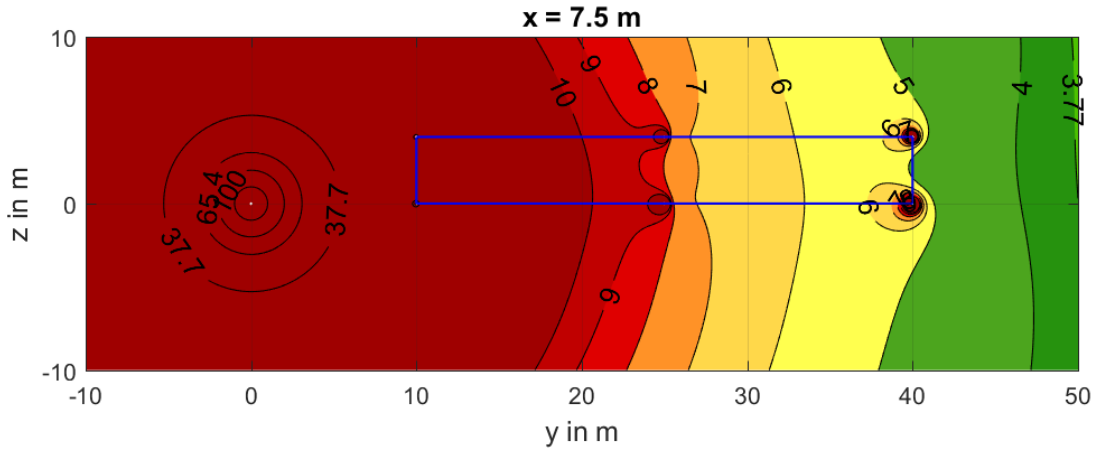


Variante 5: Gebäude mit PA auf 2 Ebenen mit jeweils 4 PA-Maschen ohne Erdung (1/2)

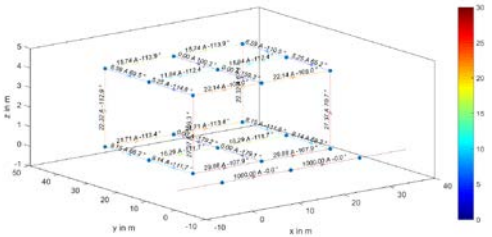


Variante 5

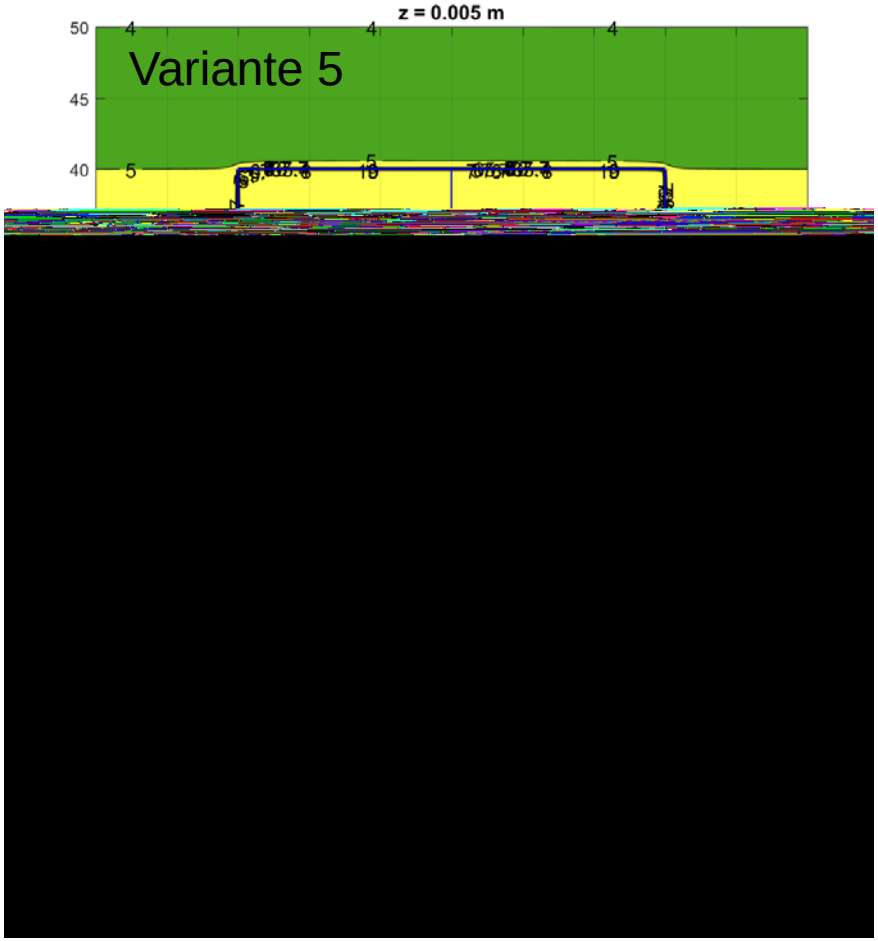


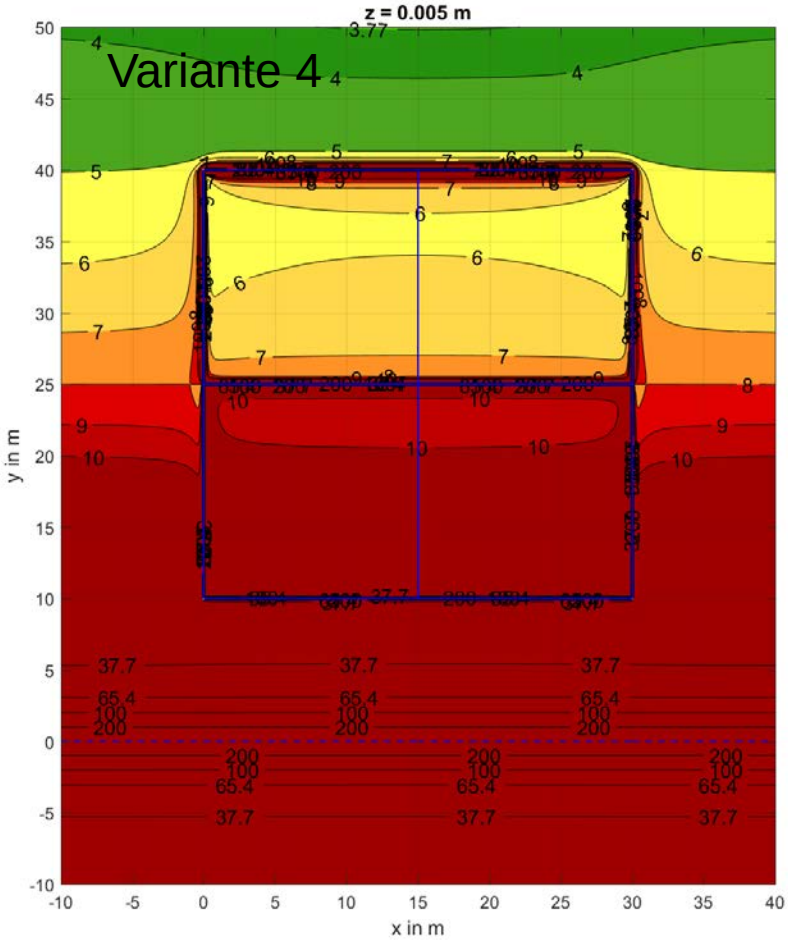


Variante 4

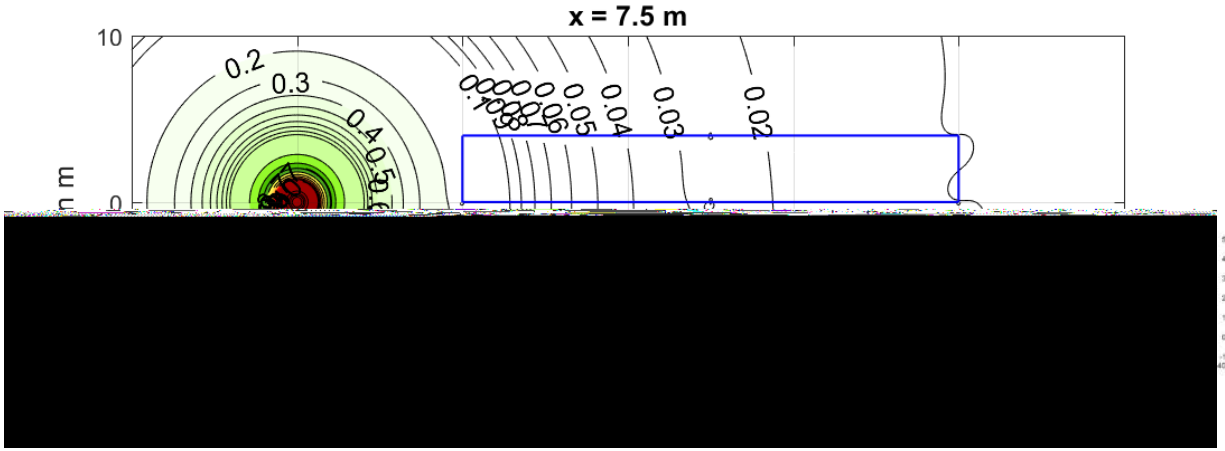


Variante 5: Gebäude mit PA auf 2 Ebenen mit jeweils 4 PA-Maschen ohne Erdung (2/2)

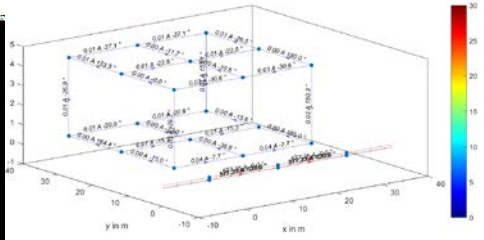


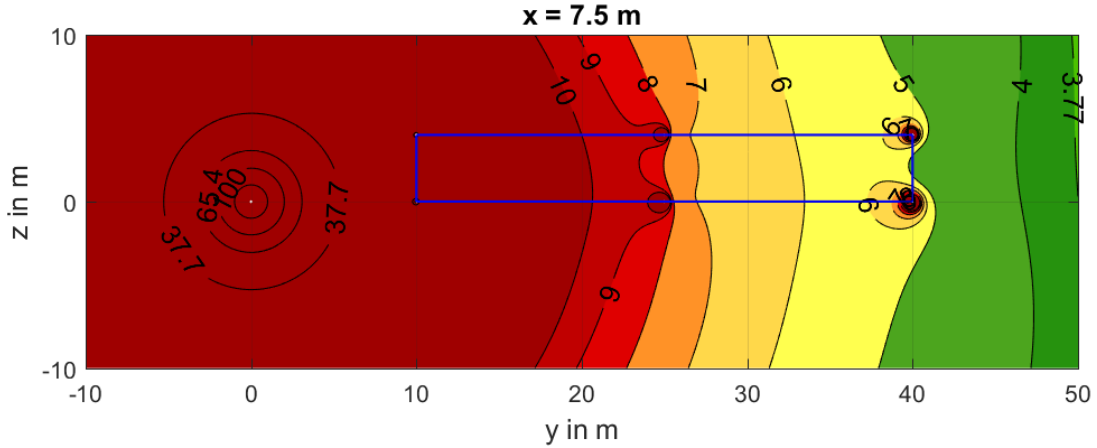


Variante 6: Gebäude mit PA auf 2 Ebenen mit jeweils 4 PA-Maschen beeinflusst durch ein Hochspannungskabel (1/2)

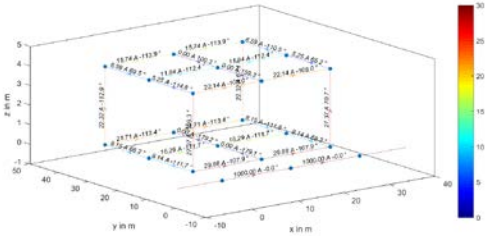


Variante 6

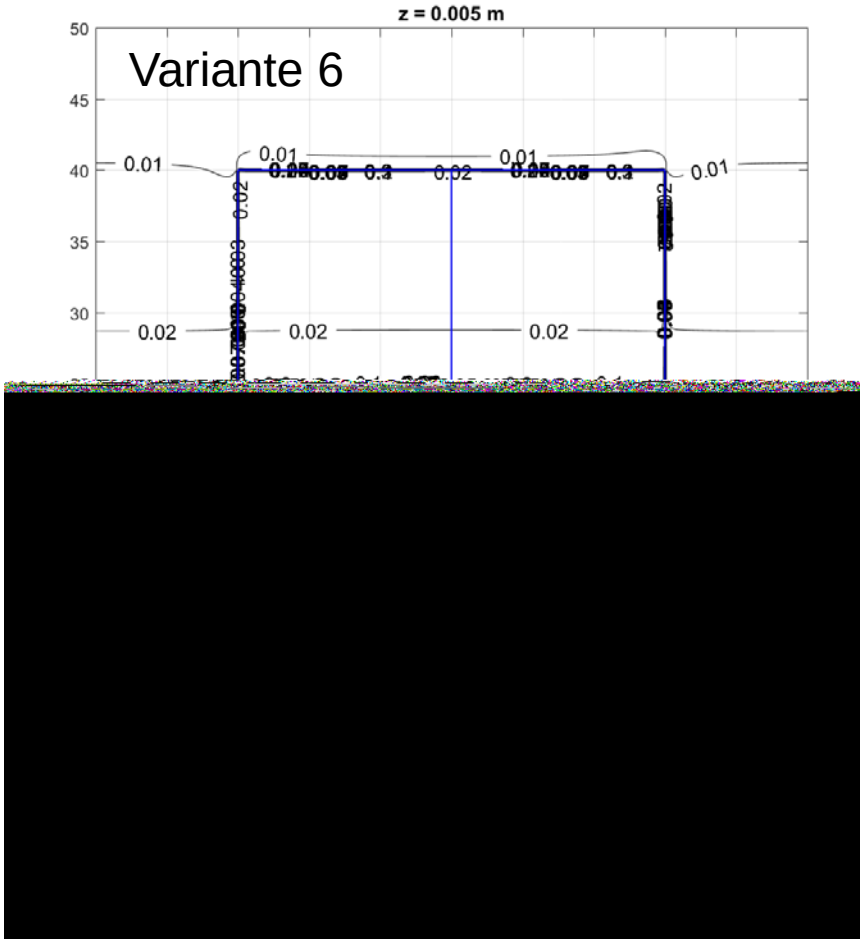


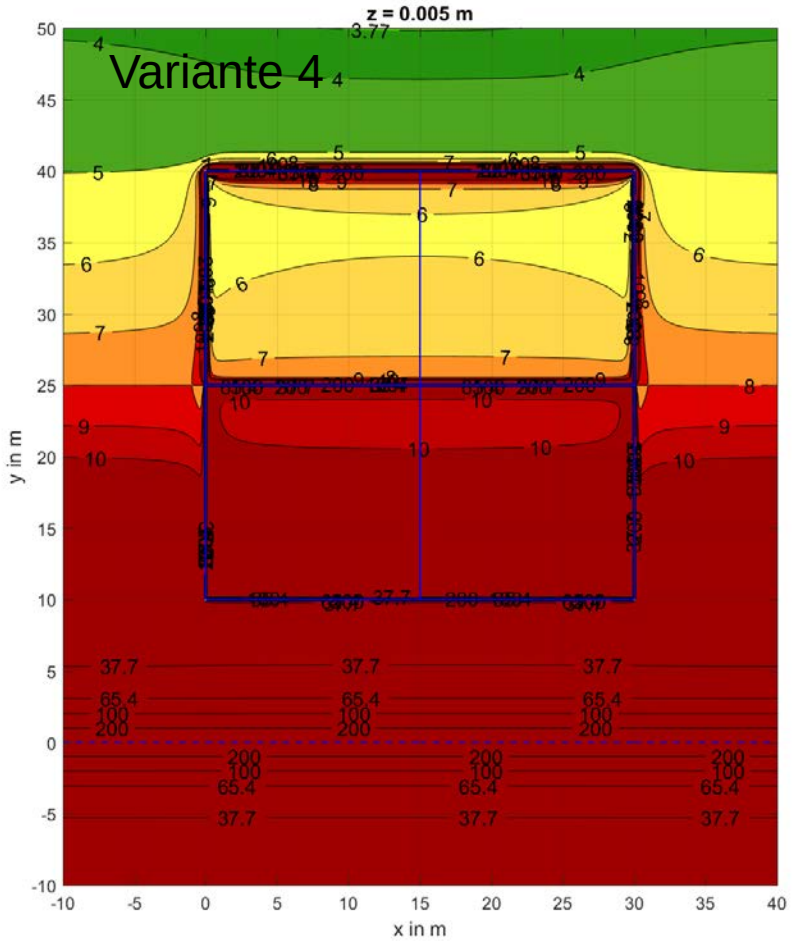


Variante 4

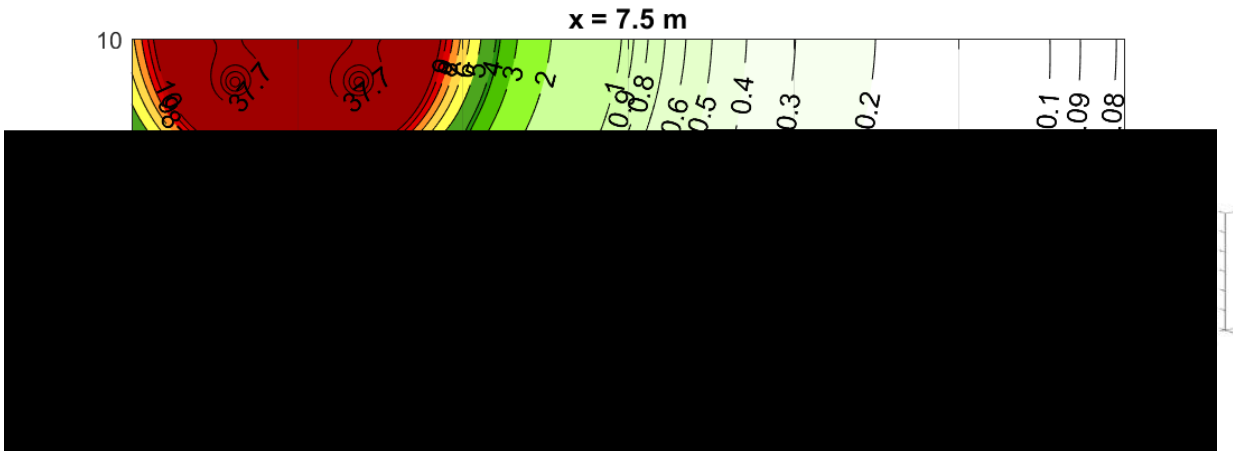


Variante 6: Gebäude mit PA auf 2 Ebenen mit jeweils 4 PA-Maschen beeinflusst durch ein Hochspannungskabel (2/2)

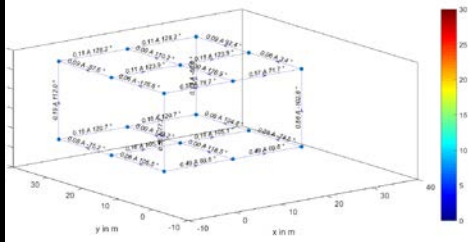


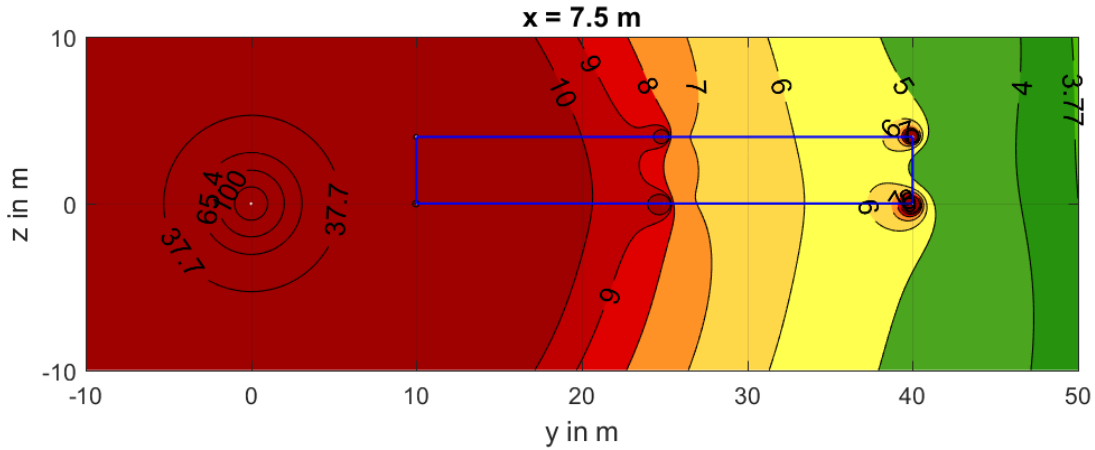


Variante 7: Gebäude mit PA auf 2 Ebenen mit jeweils 4 PA-Maschen beeinflusst durch eine Hochspannungsfreileitung (2/2)

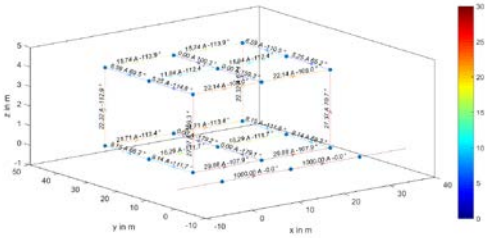


Variante 7

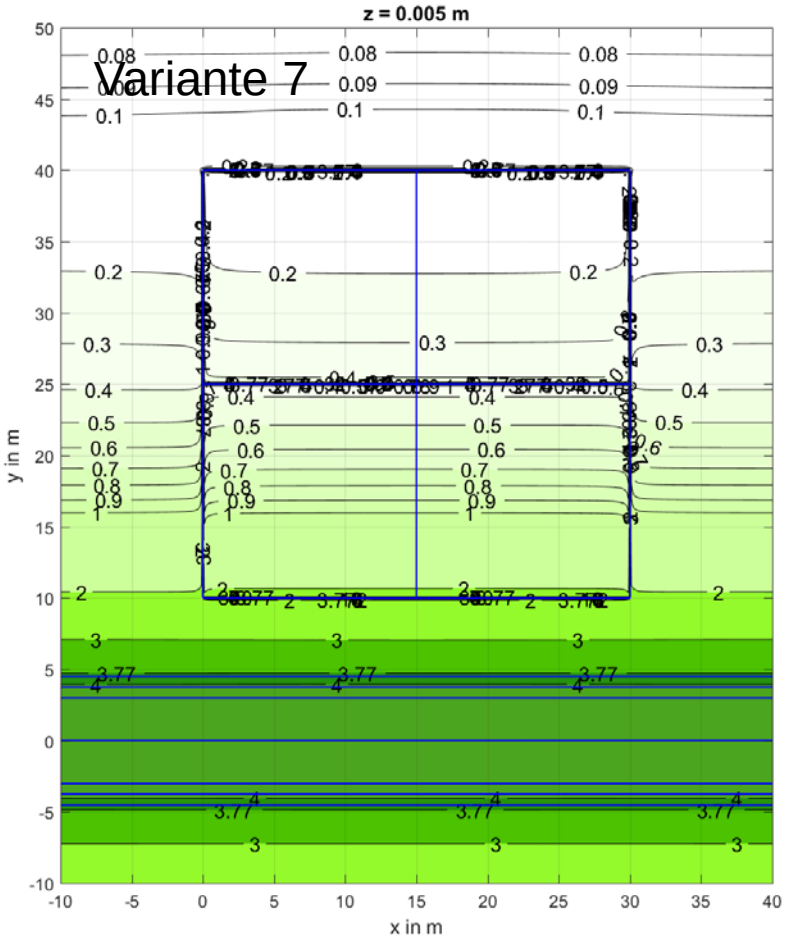


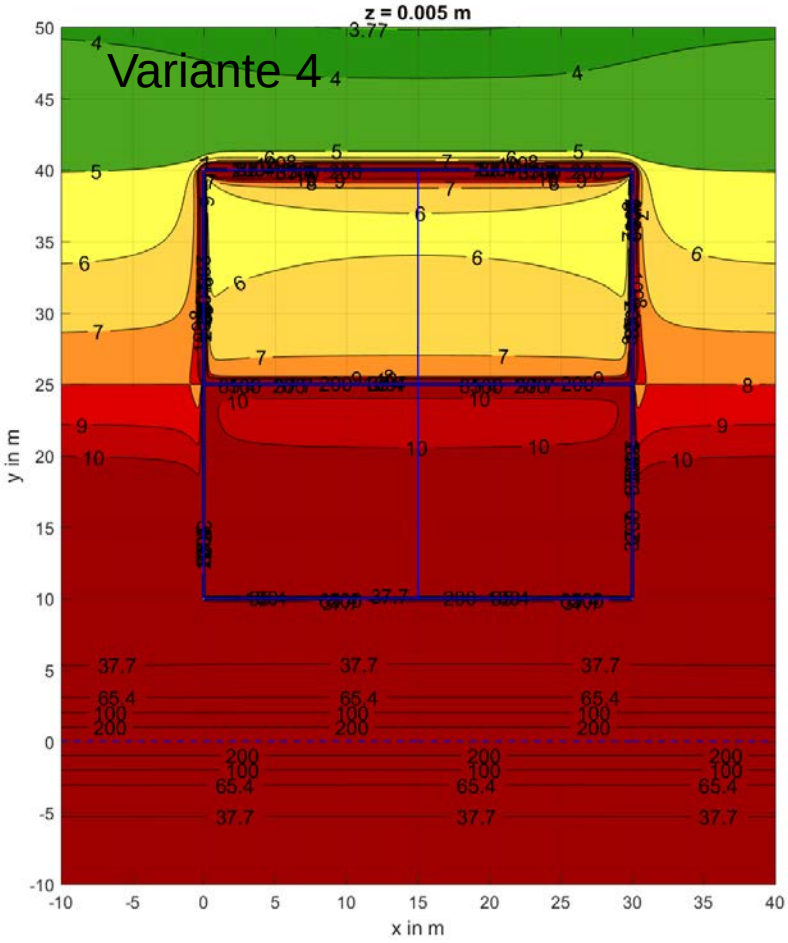


Variante 4

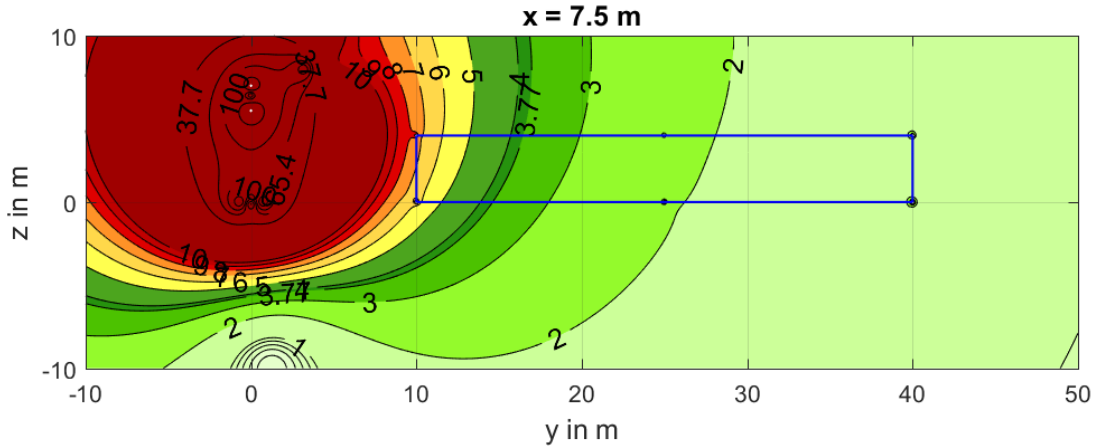


Variante 7: Gebäude mit PA auf 2 Ebenen mit jeweils 4 PA-Maschen beeinflusst durch eine Hochspannungsfreileitung (2/2)

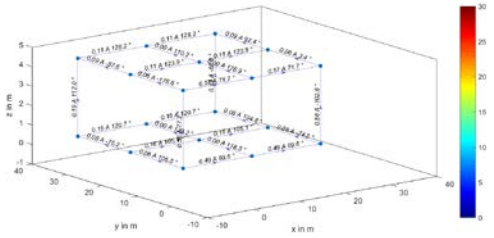


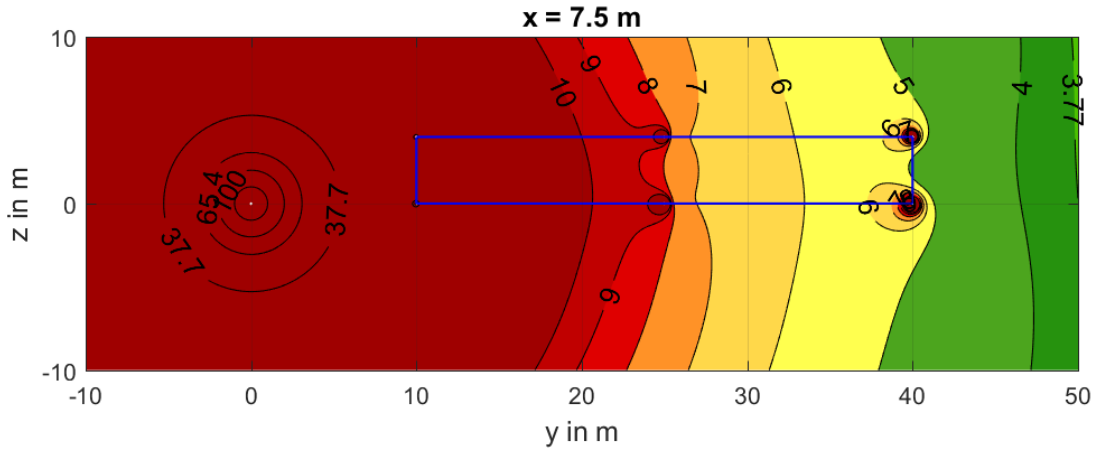


Variante 8: Gebäude mit PA auf zwei Ebenen mit jeweils vier PA-Maschen beeinflusst durch eine Bahnstrecke (1/2)

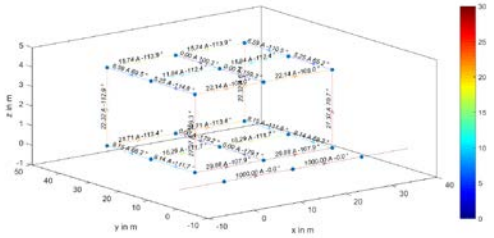


Variante 8

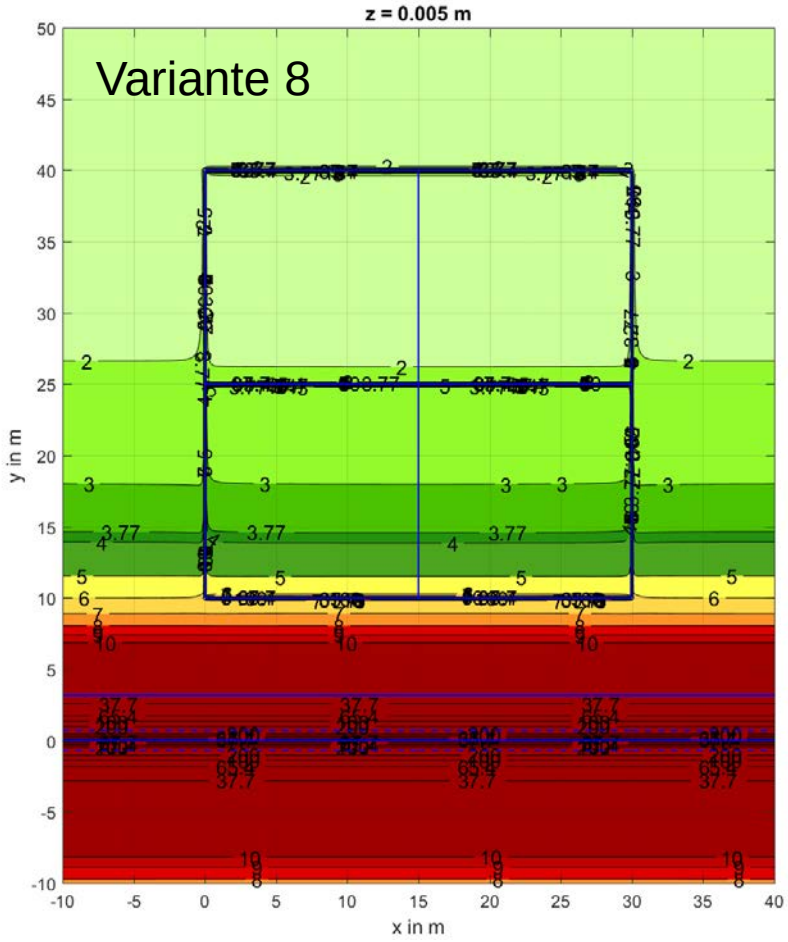


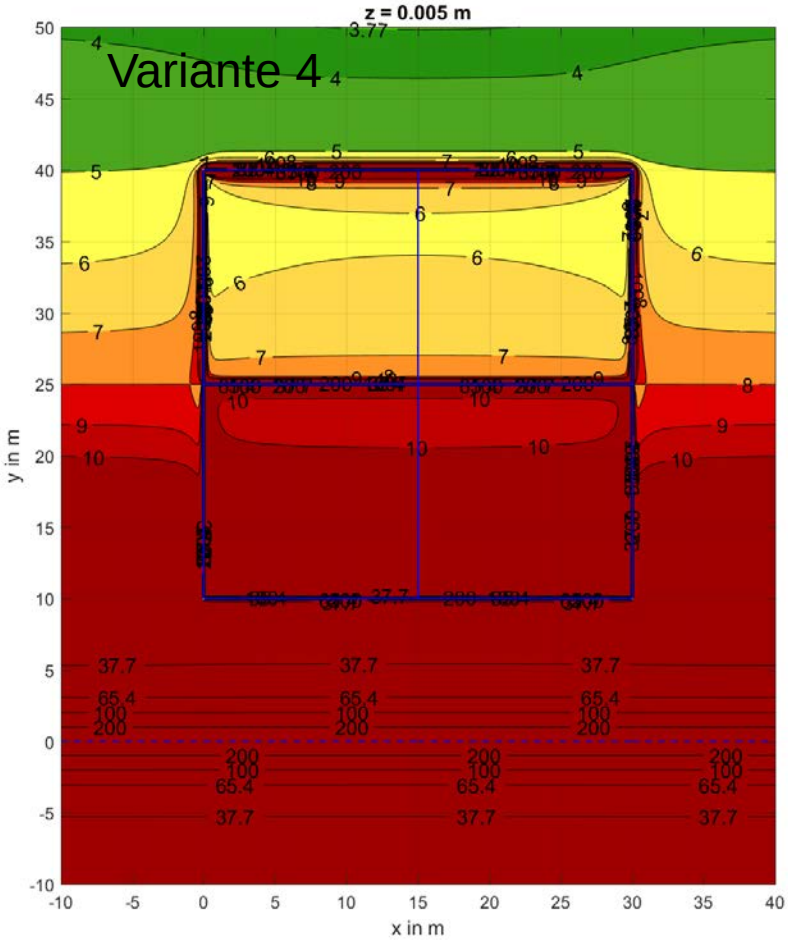


Variante 4

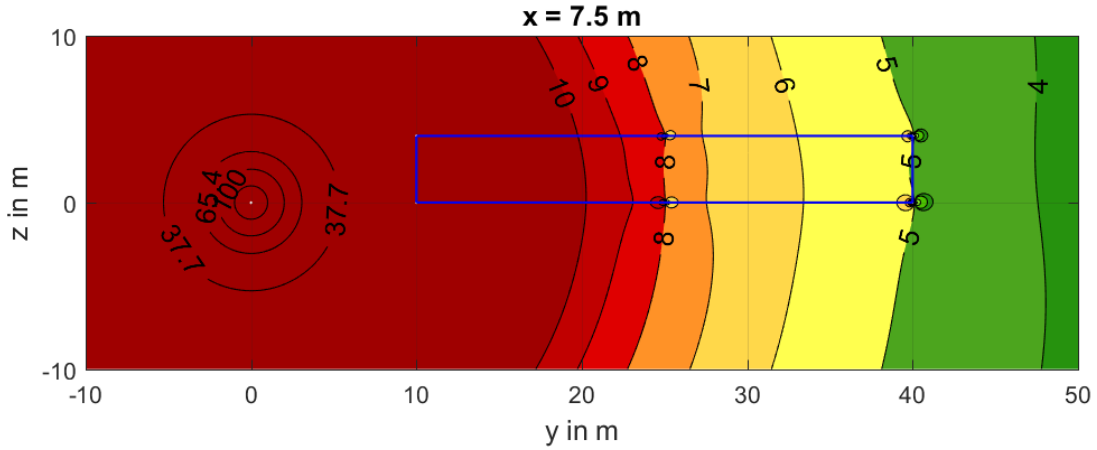


Variante 8: Gebäude mit PA auf zwei Ebenen mit jeweils vier PA-Maschen beeinflusst durch eine Bahnstrecke (2/2)

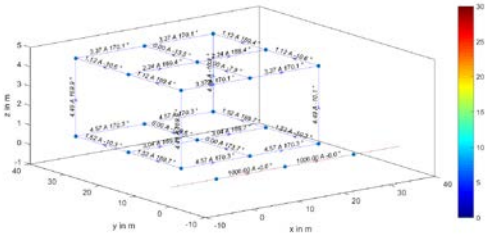


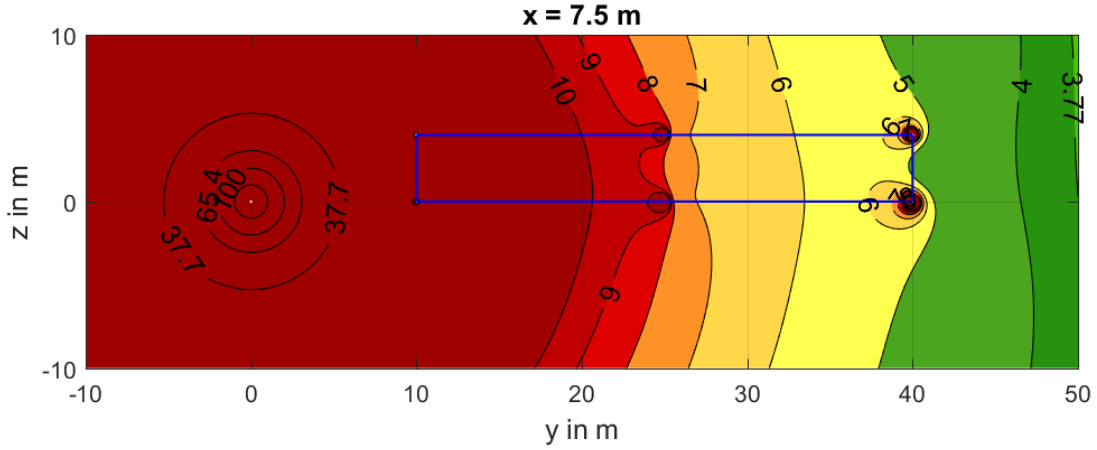


Variante 9: Gebäude mit PA auf zwei Ebenen mit jeweils vier PA-Maschen, ohmsche Beeinflussung (1/2)

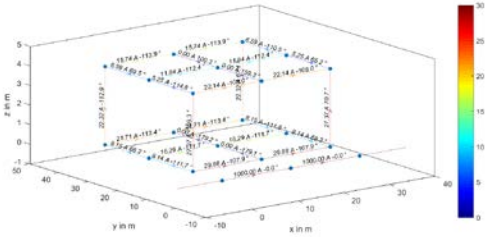


Variante 9

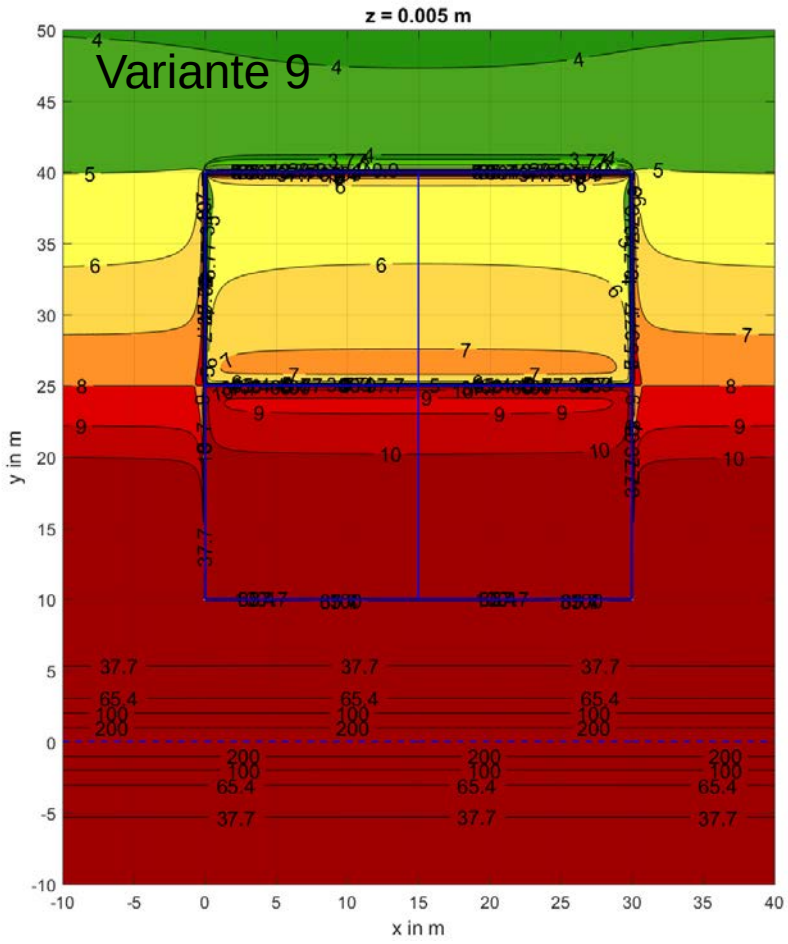


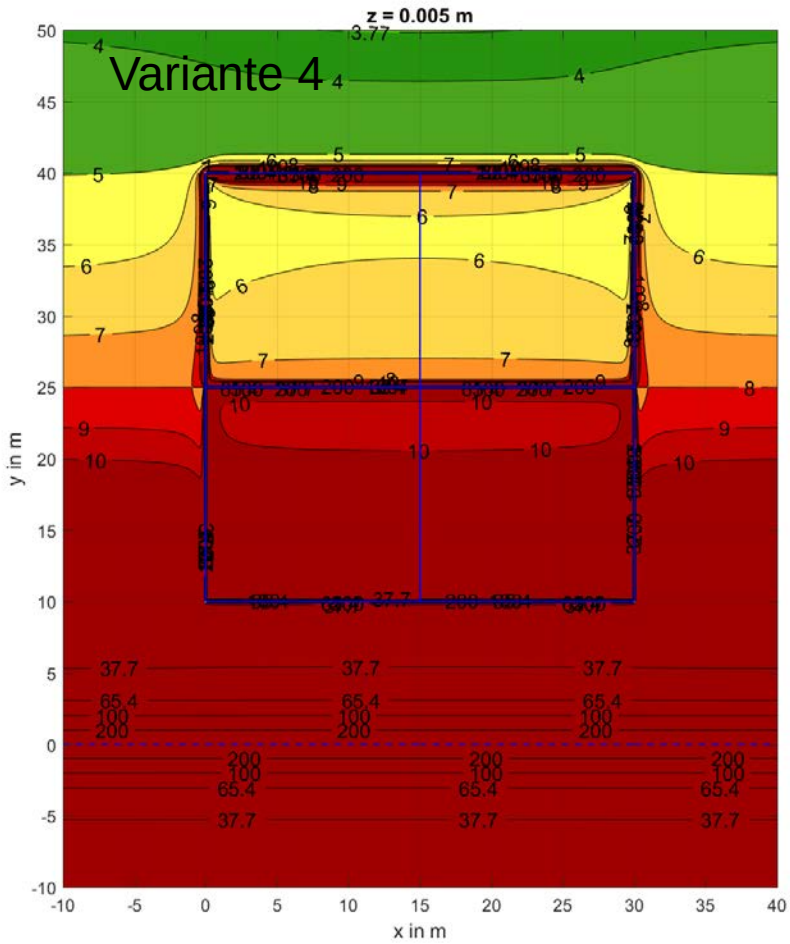


Variante 4

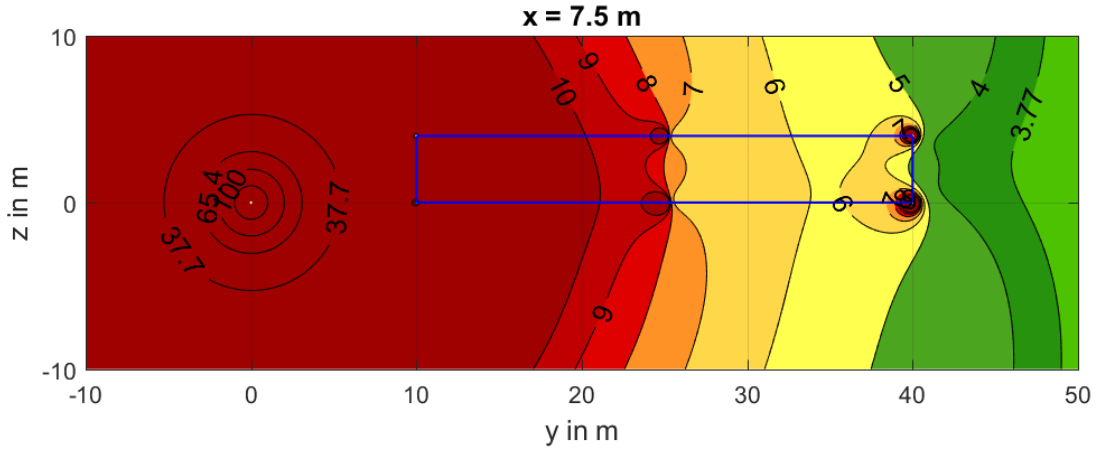


Variante 9: Gebäude mit PA auf zwei Ebenen mit jeweils vier PA-Maschen, ohmsche Beeinflussung (2/2)

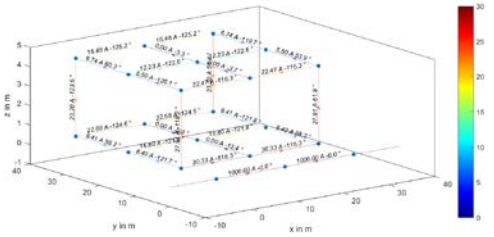


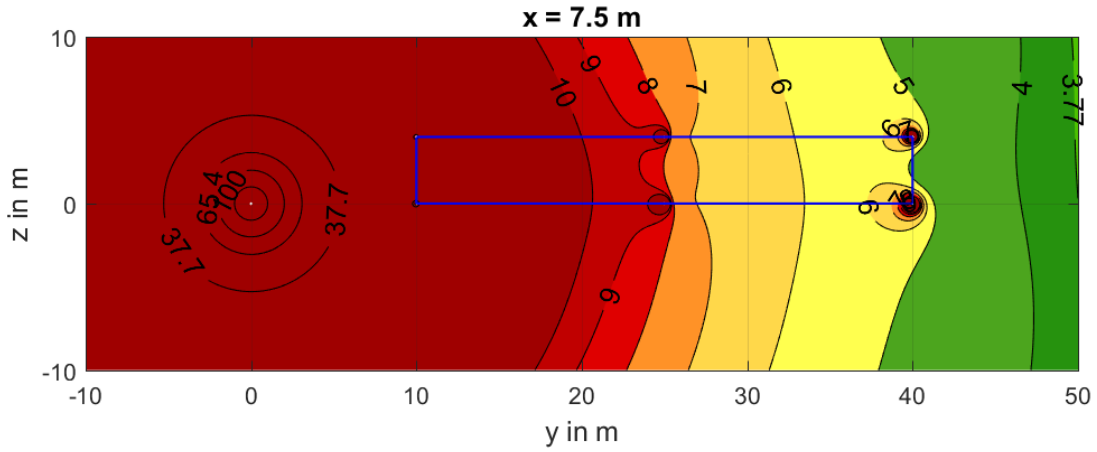


Variante 10: Gebäude mit PA auf zwei Ebenen mit jeweils vier PA-Maschen, Kombination ohmsche und induktive Beeinflussung (1/2)

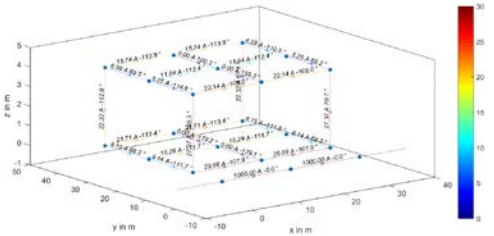


Variante 10

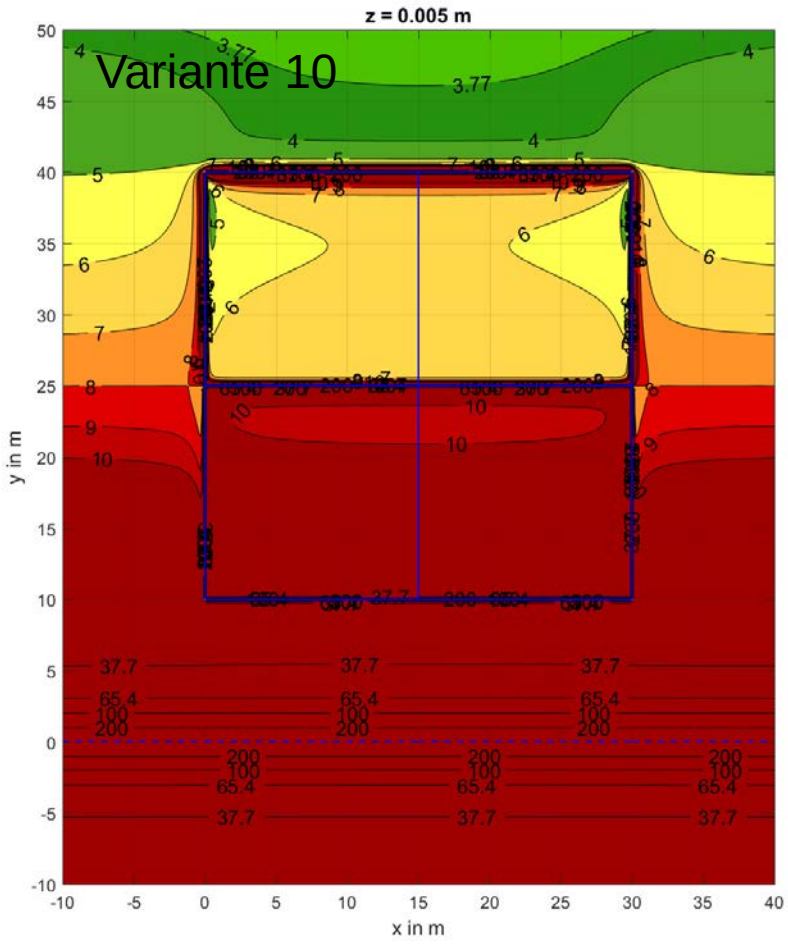


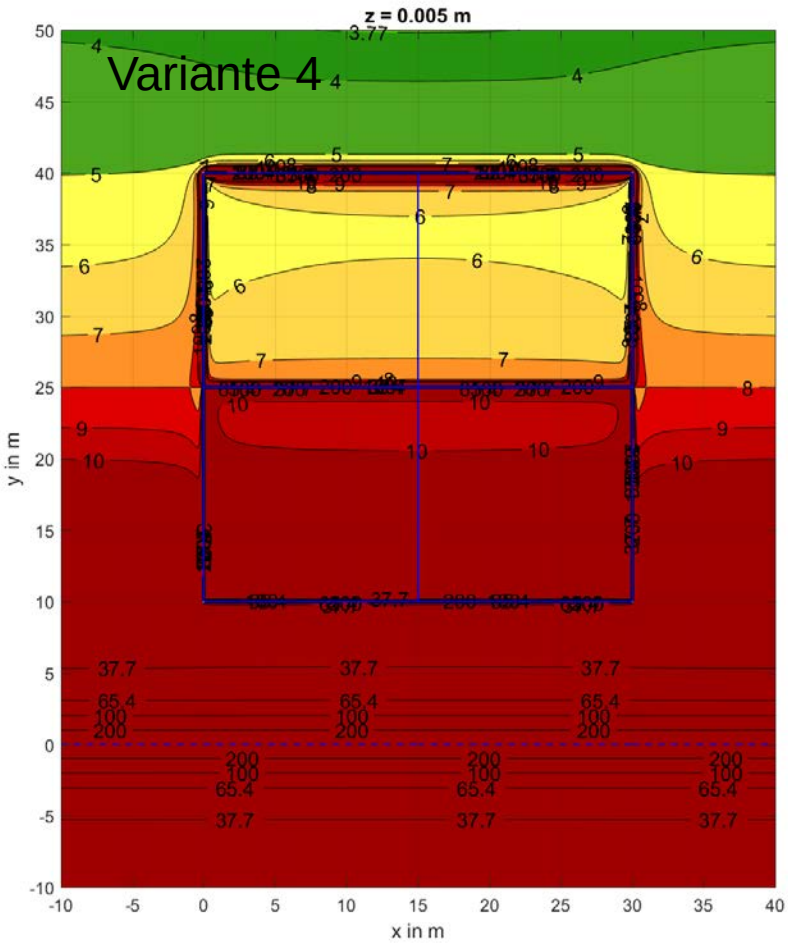


Variante 4



Variante 10: Gebäude mit PA auf zwei Ebenen mit jeweils vier PA-Maschen, Kombination ohmsche und induktive Beeinflussung (2/2)





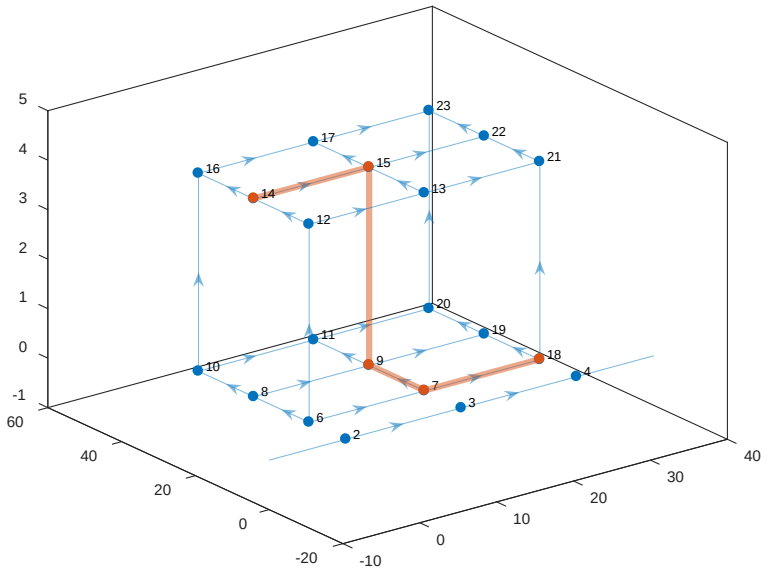
Induzierte Spannung in einem Telekommunikationsleiter

$$\underline{U}_i = \underline{I}_i \cdot \underline{Z}_{ik}$$

$\underline{U}_i$	induzierte Spannung in V
$\underline{I}_i$	beeinflussender Strom in A
$\underline{Z}_{ik}$	Koppelimpedanz in Ω/m

$$\underline{Z}_{ik} = j\frac{\omega\mu_0}{2\pi} \cdot \ln\left(\frac{\sqrt{(h_i + h_k + 2\underline{p})^2 + x_{ik}^2}}{d_{ik}}\right) \quad \text{mit} \quad \underline{p} = \frac{1}{\sqrt{j\omega\mu_0/\rho}}$$

$d_{ik} = \sqrt{x_{ik}^2 + (h_i - h_k)^2}$	Distanz zwischen den gekoppelten Leitern in m
h_i	Höhe des induzierenden Leiters in m
h_k	Höhe des induzierten Leiters in m
$\underline{p}$	komplexe Erdstromtiefe in m
x_{ik}	horizontale Distanz zwischen den gekoppelten Leitern in m
$\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$	Induktionskonstante in $^{Vs}/_{Am}$
ρ	spezifischer Bodenwiderstand in Ωm
$\omega = 2\pi f$	Kreisfrequenz in $^{1}/_{s}$



U_{ind}	Variante										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
|U| in V	8,48	8,44	8,37	8,29	8,60	0,01	0,01	0,11	0,84	8,74	8,48
Phase in °	75,9	74,8	73,5	71,4	80,0	175,7	168,3	-96,1	63,0	70,8	62,2

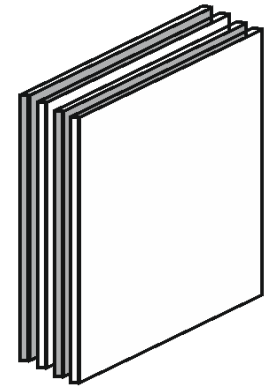
Maßnahmen

Maßnahmen zur Feldminimierung

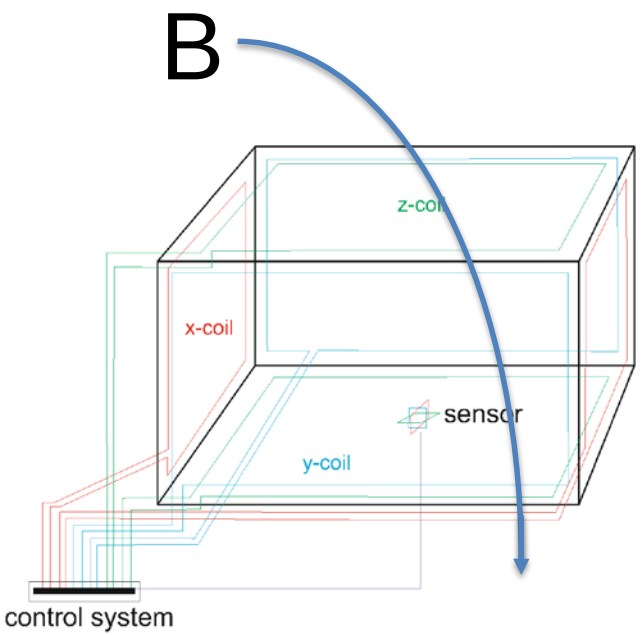
- Layout, Planung (Installationen, Gebäude, etc.)
- Phasenanordnung
- Rückleiter
- Begleiterder
- Beidseitige Erdung von Kabelschirmen
- Oberschwingungsreduktion
- Passive Schirmung
- Aktive Schirmung
- Zugangsbeschränkungen

Maßnahmen zur Feldminimierung – Passive Schirmung

- Schirmung mit hochpermeablen Platten
- Elektrodynamischer Schirm
- Kombination der beiden Effekte
- **Schirmfaktoren**
  - **2 ... 20**
    für kleine magnetische Felder im Bereich ≤ 5 µT
  - **20 ... 80**
    für große magnetische Felder im Bereich von 100 µT bis zu einigen mT



Maßnahmen zur Feldminimierung – Aktive Schirmung



- Kompensation durch ein Gegenfeld
- 3 parallele orthogonale Spulen
- Bereich bis zu 2 kHz
- **Schirmungseffekt**
  Restfeld < **5 nT** an der Sensorposition

Schlussfolgerungen
&
Ausblick

Schlussfolgerungen

- Gesamtbetrachtung aller Störquellen: aktive und passive Leiter
- Gemeinsame Berücksichtigung: ohmsche und induktive Beeinflussung
- Induzierte Spannungen in einen Telekommunikationsleiter abhängig von dessen Lage
- Berücksichtigung der Thematik schon in der Planungsphase des Bauvorhabens
- Wohl überlegte Maßnahmensetzung

Ausblick

- Erweiterung des Modells
- Wie können Ausgleichs-/Streuströme in vermaschten PA-Systemen minimiert werden?
- Gibt es Erdungs- und PA-Systeme, bei denen es zu keinen oder geringeren EMV-Problemen kommt?
- Welche Probleme entstehen in sternförmig und kombiniert sternförmig-vermaschten PA-Systemen im Detail? Sind diese die Lösung?
- Welche Leiterquerschnitte werden benötigt, um eingekoppelte Spannungsabfälle und Spannungsdifferenzen zwischen 50 Hz und 100 kHz zu minimieren?
- Haben Maßnahmen für die EMV Einfluss auf den Schutz vor elektrischen Schlag und wenn ja, welchen Einfluss haben sie und wie ist dieses Spannungsverhältnis zu lösen?

Danke für die Aufmerksamkeit!

DI Wolfgang Emmer | Technische Universität Graz Institut für elektrische Anlagen und Netze

15.02.2018

Co-Autoren:
DI Dr.techn. Ernst Schmautzer
Univ.-Prof. DDI Dr.techn. Robert Schürhuber
Univ.-Prof. DI Dr.techn. Lothar Fickert