

Messung der magnetischen Feldstärke an Bahnfahrzeugen

Das ist doch ein alter Hut – oder?

Messung der magnetischen Feldstärke an Bahnfahrzeugen

- Was ist an dem Thema noch fraglich ?
- Warum ist die Messung des magnetischen Feldes an Bahnfahrzeugen nicht trivial?
- Simulation
- Messung
- Wie kommt man zu besseren Ergebnissen ?

Warum ist die Messung der magnetischen Feldstärke an Bahnfahrzeugen noch fraglich

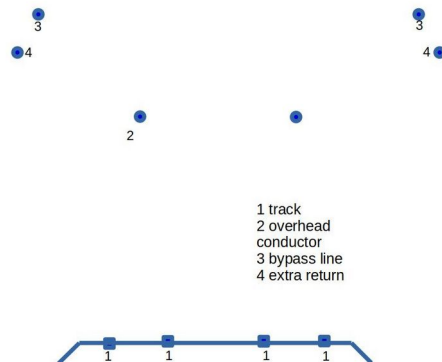
- Das ist doch ein etabliertes Messverfahren
- In der EN 50121-3-1 ist bis 2018 das magnetische Störfeld von 9 kHz -30 MHz verpflichtend zu messen
- 2017 wurde der Frequenzbereich 9 kHz – 150 kHz davon ausgenommen
- Begründung: die Reproduzierbarkeit ist sehr schlecht (bis 20 dB)

Warum ist die Messung der magnetischen Feldstärke an Bahnfahrzeugen noch fraglich ? (2)

- Für einen Messtechniker der das selbst mehrmals gemessen hat ist das ein Alarmsignal
- Fragen:
 - Wo liegen die Fehler?
 - Was ist daran so schwierig?
 - Was kann man verbessern?

Warum ist die Messung der magnetischen Feldstärke an Bahnfahrzeugen nicht ganz trivial?

- Der Messort ist kein genormter Messplatz
- Das Magnetfeld ist in Orientierung und Größe von der Stromverteilung in den elektrischen Leitern abhängig
- Die Anordnung der Leiter kann sehr komplex sein



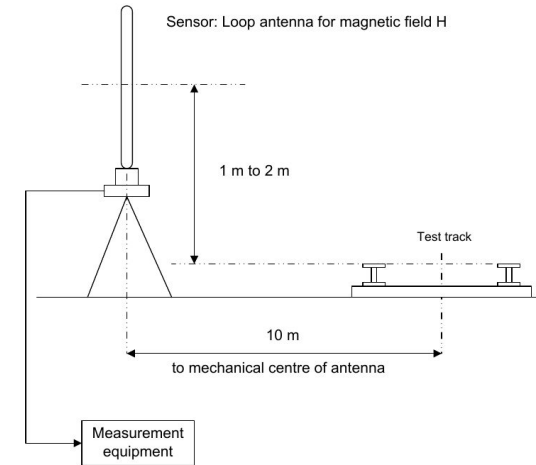
Warum ist die Messung der magnetischen Feldstärke an Bahnfahrzeugen nicht ganz trivial? (2)

- Der Anteil des Rückstromes im Untergrund ist von vielen Faktoren abhängig, variabel und meist unbekannt
- Die Stromverteilung in den Leitern kann sich durch Schaltvorgänge im Bahnsystem rasch ändern
- Die quasi stationären Störsignale – harmonische der Nutzfrequenzen sind von transienten Signalen unterschiedlicher Quellen überlagert

Messung der magnetischen Feldstärke an Bahnfahrzeugen

– Fragen:

- Ist die Messmethode adäquat?
- Laut Norm messen wir die horizontale Komponente des Magnetfeldes normal zur Bahn
- Welchen Bewertungsfehler machen wir dadurch?
- Was ist die relevante Störgröße? → induzierter Störstrom
- ?????????



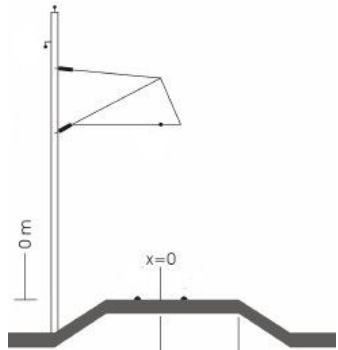
Untersuchungsmethoden zur schlechten Reproduzierbarkeit

Simulation versus Messung

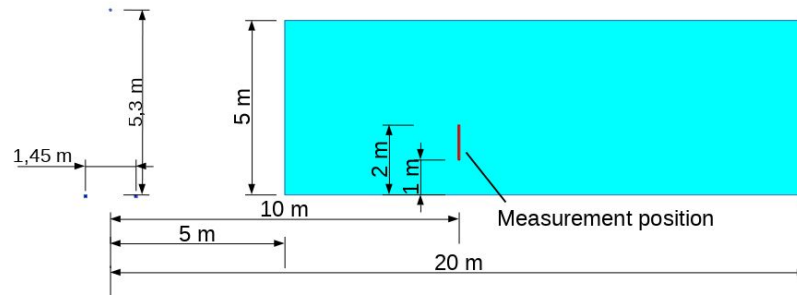
- Simulation:
 - Parameter variieren, die in der Realität nicht beeinflussbar und auch nicht bekannt sind
 - Es können auch Messgrößen erfasst werden, die sonst nur schwer zugänglich sind, auch viele gleichzeitig
- Messung
 - Vorteil - realitätsnah
 - Nachteile
 - der Zustand des Systems ist nur vage bekannt
 - alle Messungen müssen vollständig geplant werden
 - eine Wiederholung im selben Zustand ist nicht möglich

Simulation des Magnetfeldes

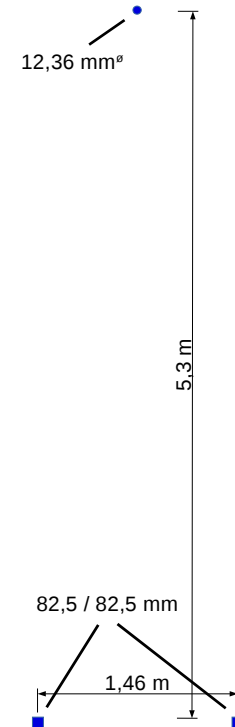
- FDTD Tool OpenEMS 0.0.35 mit GNU Octave 5.1.0 und ParaView 5.6.3 unter Linux und Windows 10
- Standard PC 2,6 GHz, 8 GB RAM
- Parameter:
 - Modell mit den relevanten elektrischen Leitern der Bahn



Minimale Gleiskonfiguration



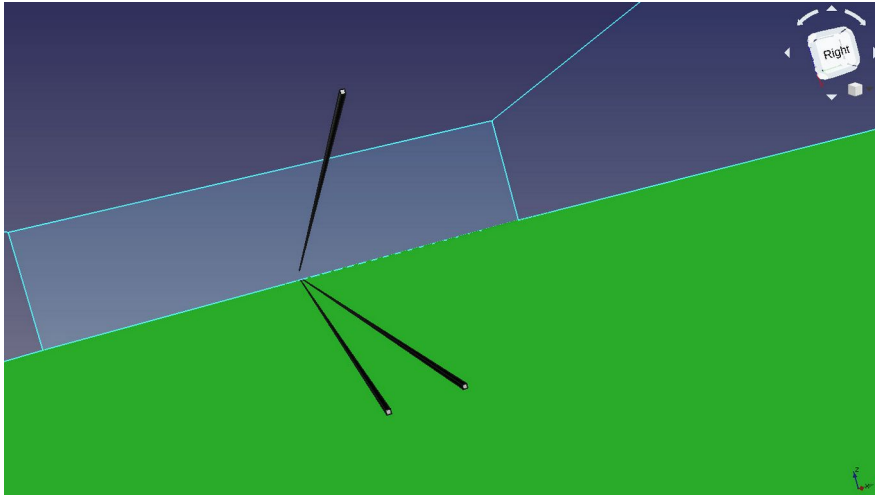
Ergebnisfenster für Magnetfeld



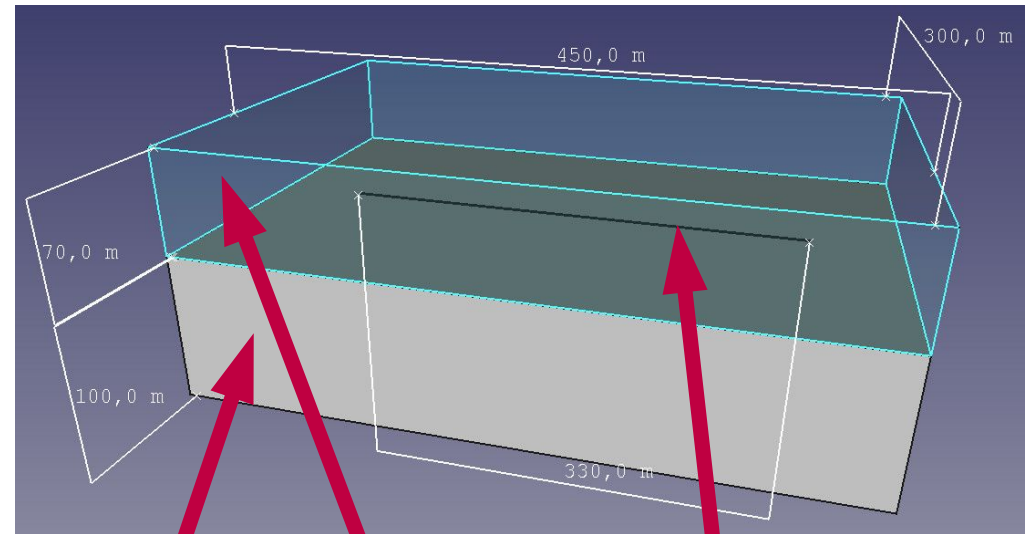
Relevante Leiter

Simulation des Magnetfeldes – topologisches Modell

Gleise und Oberleitung auf Substratebene,
Gleise in Kontakt mit dem Substrat



Gesamte Simulationsbox – Luftraum über Substrat,
auf dem Substrat liegt der Gleisabschnitt



Substrat

Luftraum

Gleisabschnitt

Simulation des Magnetfeldes – weitere Parameter

- Erdreich – Erde normal, Sand trocken und Erde feucht
- Stimulus 500 kHz Gauss
- Schritte $5 \cdot 10^6$
- Laufzeit ca 50 h
- Frequenzbereich 9 kHz – 500 kHz
- Ergebnisfenster der magnetischen Feldstärke
5 -20 m von Gleismitte und 0 -5 m Höhe über der
Schienenoberkante

Simulation des Magnetfeldes – Stromdichte in Erde

150 kHz

feuchte Erde

40

trockener Sand

12

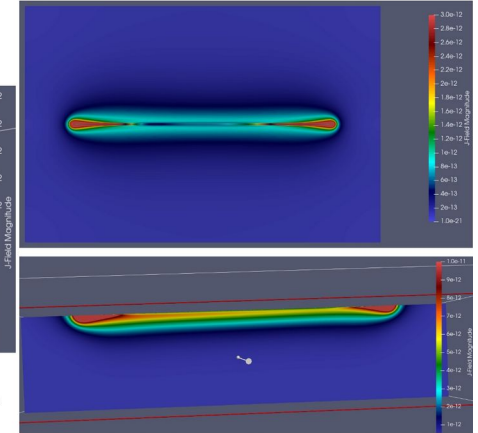
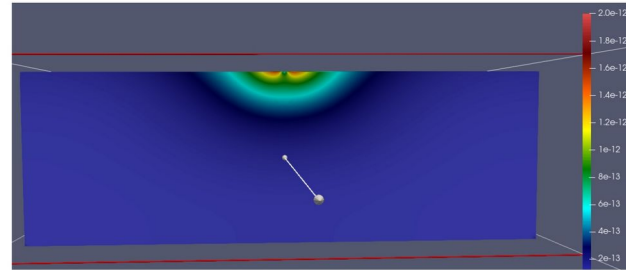
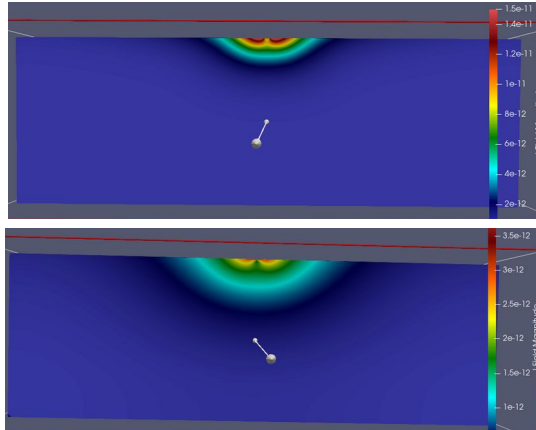
normale Erde

orthogonal cut ↓

top view →

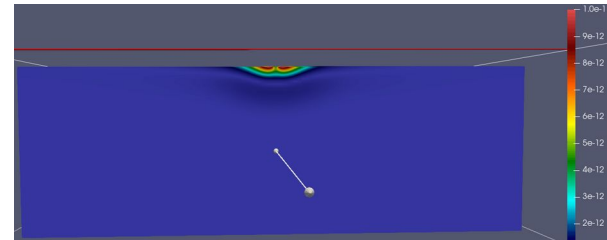
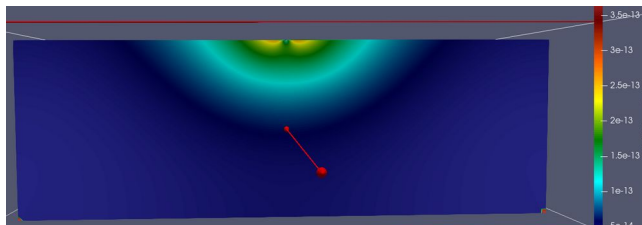
6

side view →



9 kHz
normale Erde

1,2



500 kHz
normale Erde

30

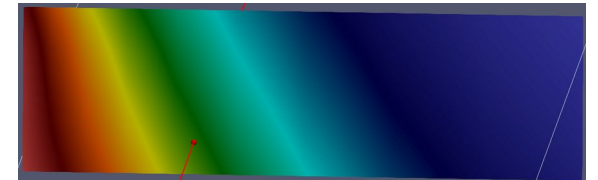
Simulation des Magnetfeldes – Magnetfeld im Ergebnisfenster

9 kHz
trockener Sand

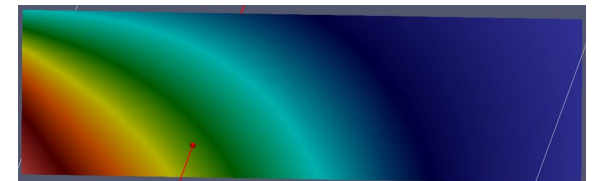
9 kHz
normale Erde

500 kHz
normale Erde

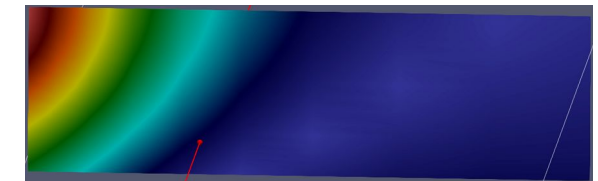
mag



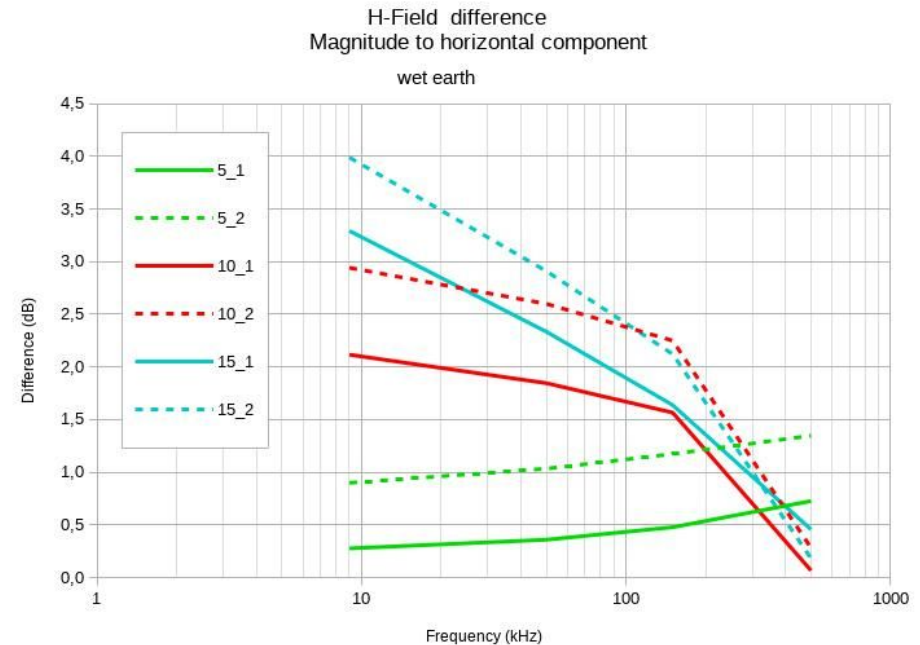
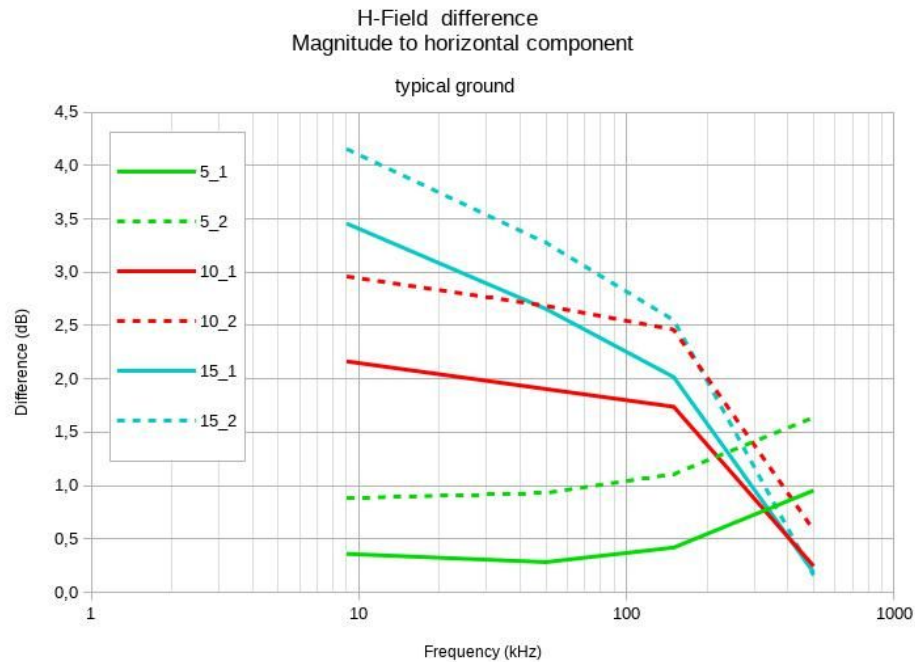
h



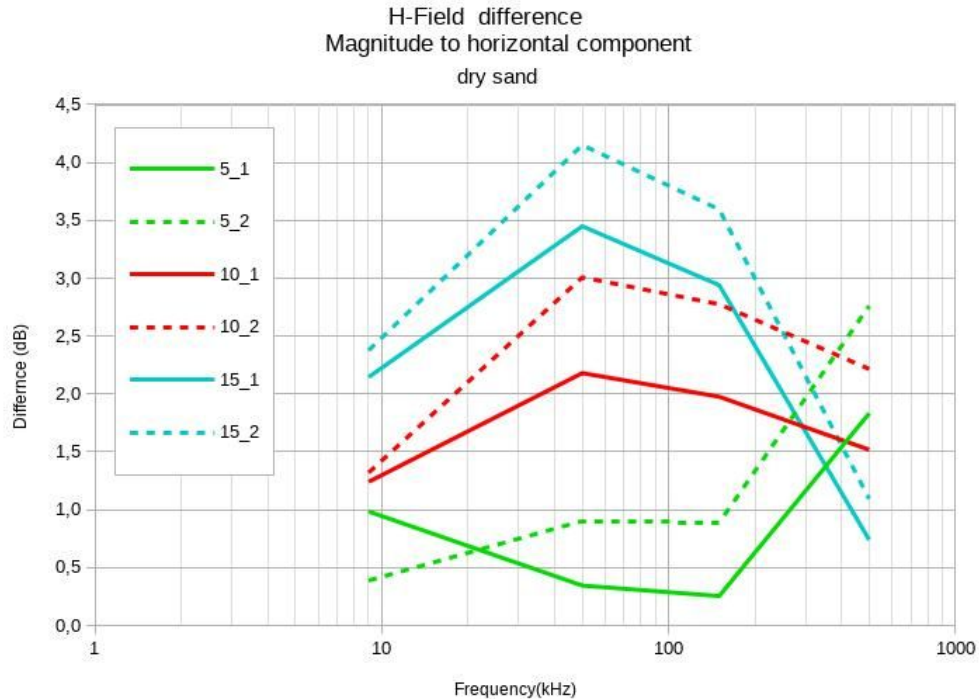
v



Simulation des Magnetfeldes – Ergebnis



Simulation des Magnetfeldes – Ergebnis



Unterbewertung des magnetischen Feldes durch die Vernachlässigung der vertikalen Feldkomponente

Substrat	Maximale Differenz
normale Erde	4,2 dB
feuchte Erde	4,0 dB
trockener Sand	4,2 dB

Messung des Magnetfeldes an Bahnfahrzeugen - welche Methoden?

- Wie in Norm definiert: 1 Loopantenne, horizontale Magnetfeldkomponente
→ keine zusätzliche Erkenntnisse erwartbar
- 1 Loop Antenne, horizontale und vertikale Komponente
aufeinanderfolgend mit CISPR 16 konformen Messempfänger
2 unterschiedliche Standorte
- 2 orthogonal montierte Loop Antennen simultan gemessen mit 2 Kanal
Oszilloskope & FFT
Beispiel Badner Lokalbahn

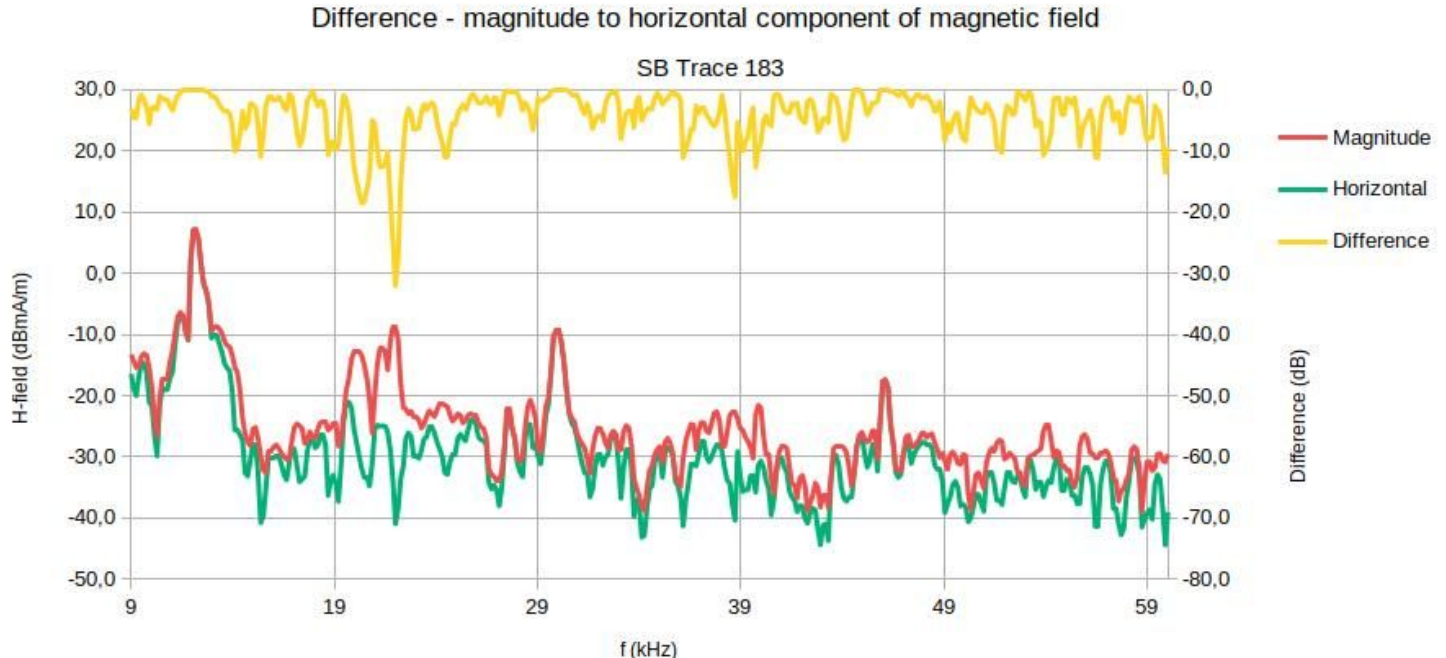
Messung des Magnetfeldes an Bahnfahrzeugen

- 1 Loop Antenne h + v aufeinanderfolgend gemessen

Versuch 1

Erkenntnisse:

- Dieser Messort ist für Fahrzeugmessungen absolut ungeeignet
- Das Verhältnis horizontaler Komponente zur Magnitude ist vergleichbar zu den späteren Messungen



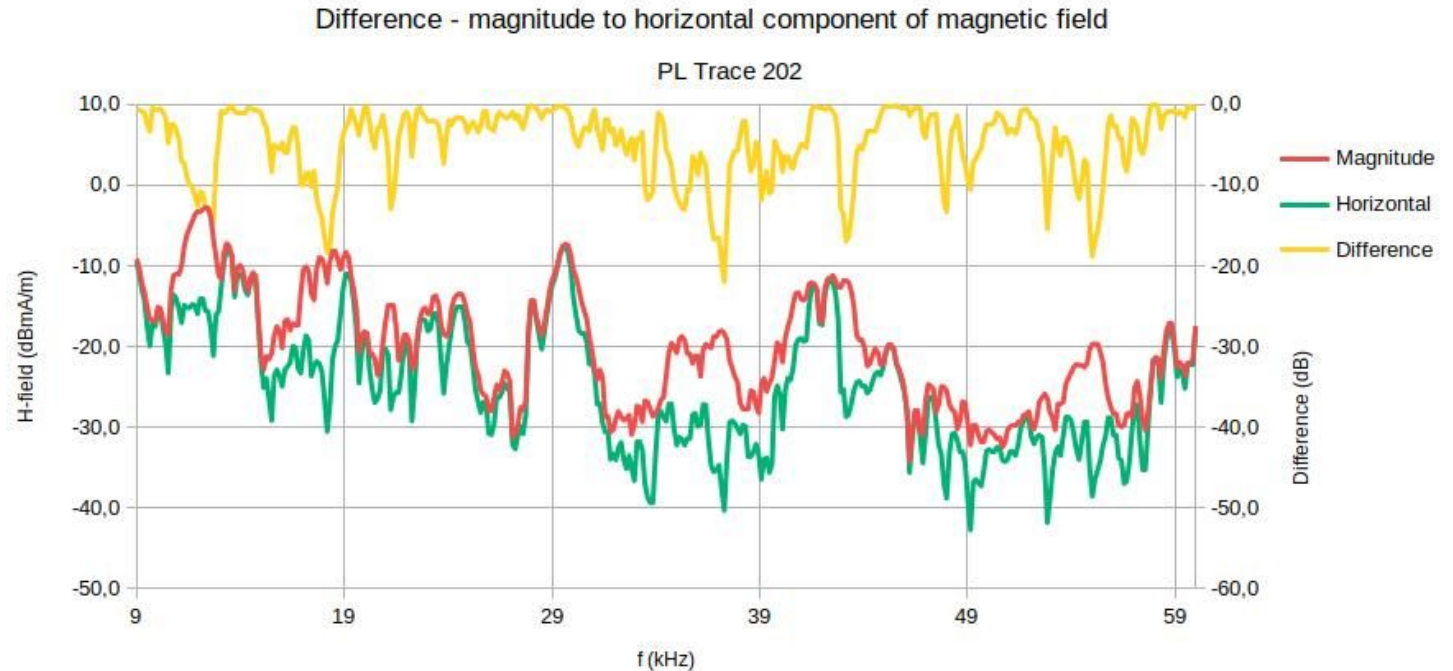
Messung des Magnetfeldes an Bahnfahrzeugen

- 1 Loop Antenne h + v aufeinanderfolgend gemessen

Versuch 2

Erkenntnisse:

- Dieser Messort ist nur notfalls geeignet, die Fahrzeugfrequenz ist noch immer zu hoch
- Ergebnis vergleichbar mit Versuch 1



Messung des Magnetfeldes an Bahnfahrzeugen

- 1 Loop Antenne h + v aufeinanderfolgend gemessen

Zusammenfassung

Erkenntnisse:

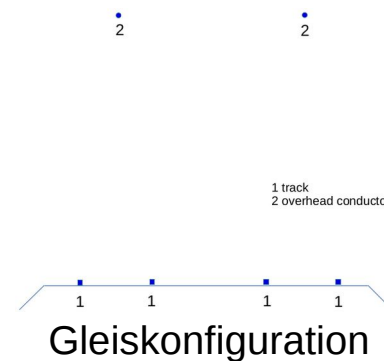
- Die aufeinanderfolgend gemessenen H/V Komponenten können nur mit relativ großer Unsicherheit kombiniert werden
- Wegen der grossen Variabilität des Störsignales ist ein Abstand von ca 1 Minute zwischen den Messungen bereits viel zu groß
- In einem weiteren Versuch sollte beachtet werden:
 - Geringe Frequenz der Fahrzeuge
 - Einfache Konfiguration des Gleissystems

Magnetische Feldstärke (dBmA/m)		Versuch 1 SB	Versuch 2 PL
Magnitude	avg	-25,5 dB	-20,1 dB
	max	7,1 dB	-2,7 dB
H Vektor	avg	-29,8 dB	-24,9 dB
Differenz (dB)	avg	3,5 dB	3,8 dB
	max	32,1 dB	21,9 dB

Messung des Magnetfeldes an Bahnfahrzeugen - 2 Loop Antennen h + v simultan gemessen

- 2x Antenne PLA-R
- Picoscope 3204D inklusive SW
- GNU Octave 5.1.0
- Scandaten werden in Matlabformat exportiert
- Mit Auswertungsprogramm unter Octave Magnitude berechnen und FFT anwenden
- Objekt: Lokalbahn Baden

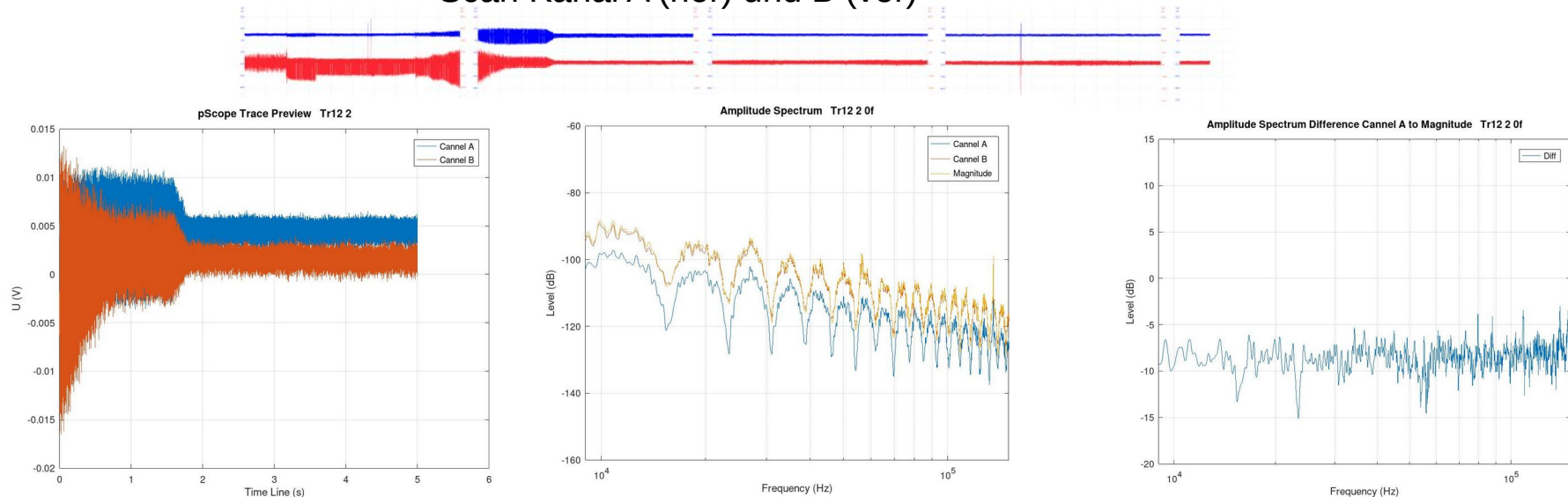
Anordnung der Antennen



Messung des Magnetfeldes an Lokalbahn Baden

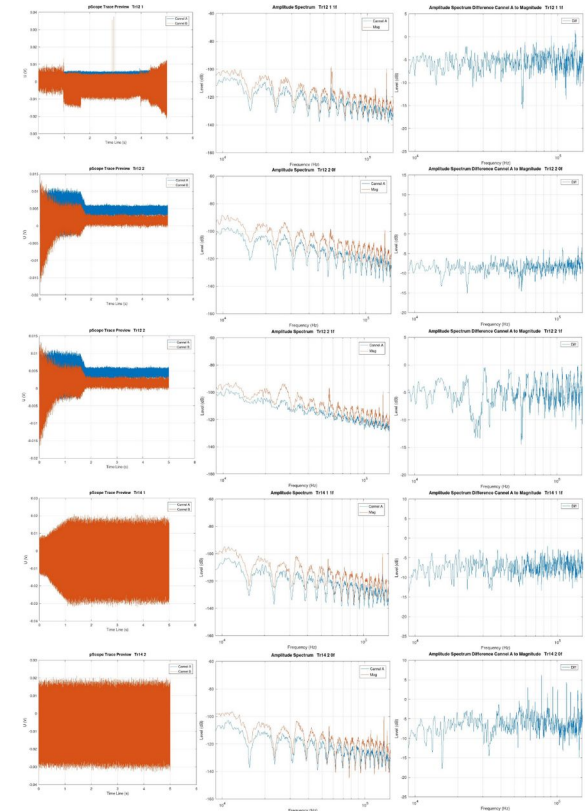
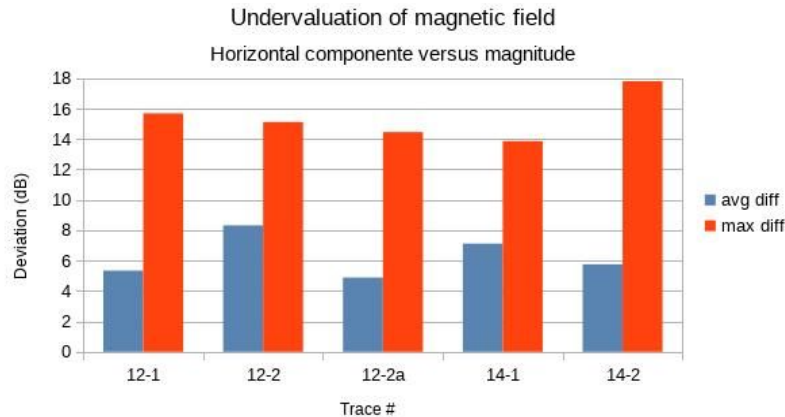
- Scan wird in Abschnitten gespeichert
- Beispiel zeigt Vorbeifahrt eines Fahrzeuges
- Details: time domain – Spektrum A,B,M – Spektrum Differenz M -A

Scan Kanal A (hor) und B (ver)



Messung des Magnetfeldes an Lokalbahn Baden

- 5 Beispiele von Scandaten
 - Spalte 1: originale Scandaten
 - Spalte 2: Spektrum Kanal A und Magnitude
 - Spalte 3: Differenz M - A
- Zusammenfassung der Unterbewertung des Magnetfeldes



Messung des Magnetfeldes an Bahnfahrzeugen Zusammenfassung (1)

	#1 SB	#2 PL	#3 BB
avg Differenz	2,8 dB	2,2 dB	6,3 dB
max Differenz	32,1 dB	21,0 dB	17,8 dB
Methode	1 Antenne, aufeinanderfolgend		2 Antennen simultan

Messung des Magnetfeldes an Bahnfahrzeugen

Zusammenfassung (2)

- Die Unterschiede in der Unterbewertung resultieren anscheinend aus den unterschiedlichen Systemeigenschaften
- Simultan gemessene Daten zeigen anscheinend kleinere Differenzen
- Großen Einfluss auf die Unterbewertung scheint die Position des Fahrzeuges zu haben
- Die größte Feldstärke tritt nicht beim kleinsten Abstand Fahrzeug zu Antenne auf
- Die gemessene Unterbewertung korreliert (möglicherweise zufällig ?) mit der Komplexität der Leitersysteme
- Das in den simultanen Messungen verwendete Oszilloskope ist nur für Vergleichsmessungen tauglich und erfüllt nicht die Anforderungen der CISPR 16 an Messempfänger

Schlussfolgerungen der Untersuchungen

Was lernen wir daraus?

Methoden	Simulation	Messung
Maximale Unterbewertung	4,2 dB	32 dB

- Die Messung nur einer Feldkomponente führt in den meisten Fällen zu einer nicht kalkulierbaren Unterbewertung des Magnetfeldes
- Die durchgeführten Simulationen verwenden anscheinend zu optimistische Parameter
- Neue Simulationen auf Grund der Messergebnisse mit extremeren Modellen / Parametern könnten vielleicht neue Erkenntnisse bringen

Wie kommen wir zu besseren Ergebnissen ?

- Mindestens 2 orthogonale Komponenten messen
- Wenn möglich beide Komponenten simultan messen
derzeit sind uns leider keine 2 Kanal Messempfänger bekannt, die die Anforderungen der CISPR 16 an Messempfänger erfüllen.
- Maximalbewertung
 - Vektorielle Addition beider Kanäle – bei simultan gemessenen Daten die beste Lösung
 - Maximum aus beiden Kanälen - ist bei nicht simultan gemessenen Daten möglicherweise die adäquate Methode
- Sorgfältige Auswahl des Messplatzes, siehe Norm
-
- tbd

Wunsch ans Christkind

- Loop Antenne für mindesten 2 besser für 3 orthogonale Achsen, für die large loop ist sie ja bekannt
- Messempfänger die 2 oder noch besser 3 Kanäle simultan messen können und die Anforderungen der CISPR 16 an Messempfänger erfüllen.

Anhang: Literatur

- EN 50121-2: Railway applications – Electromagnetic compatibility – Part 2: Emissions of the whole railway system to the outside world; CENELEC, 2015
- EN 50121-3-1: Railway applications – Electromagnetic compatibility -Part 3-1: Rolling stock – Train and complete vehicle; CENELEC, 2015
- 9/2337/FDIS IEC 62236-3-1 ED3: Railway applications – Electromagnetic compatibility -Part 3-1: Rolling stock – Train and complete vehicle; International Electrotechnical Commission, IEC, 2017
-
- Investigation report – Measurement on railway train; H Preineder, S Cecil; 2021
-

Bahnmessung

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

Kontakt:

Hans Preineder ist seit 1.7.2017 in Pension, hans.preineder@aon.at
Stefan Cecil, Stefan.Cecil@seibersdorf-laboratories.at