

VALIDIERUNG EINES FREIFELDMESSPLATZES NACH CISPR 16-1-5: VON DER NORM ZUR PRAXIS

Gerhard Rösel, Rohde & Schwarz Messgerätebau
GmbH

ROHDE & SCHWARZ

Make ideas real



COMPANY RESTRICTED

AGENDA

1. Vorstellung Freifeldmessplatz
2. Warum werden Freifeldmessplätze benötigt?
3. Normative Anforderungen
4. Umsetzung & Messergebnisse
5. Fehlerbilder, Sensitivität, Diagnose

FREIFELDMESSPLATZ

- Antennenfaktor nach CISPR 16-1-6 von 30 MHz bis 18 GHz
 - 20 m x 25 m Metallbodenfläche
 - Abstand Antennenmasten bis 15 m



Bikonische Antennen



R&S HK116E
20 MHz bis 300 MHz

- Frequenz stabile Strahlungscharakteristik
- Geringe Messunsicherheit

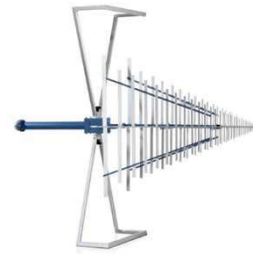
LogPer - Antennen



R&S HL033
80 MHz bis 2 GHz

- großer Frequenzbereich
- Stärkere Richtwirkung
- Konstanter Gewinn vs. Frequenz

Hybridantennen



R&S HL562E
30 MHz bis 8 GHz

- Extrem großer Frequenzbereich
- Stark reduzierte Messzeiten

Hornantennen



R&S HF907
800 MHz bis 18 GHz

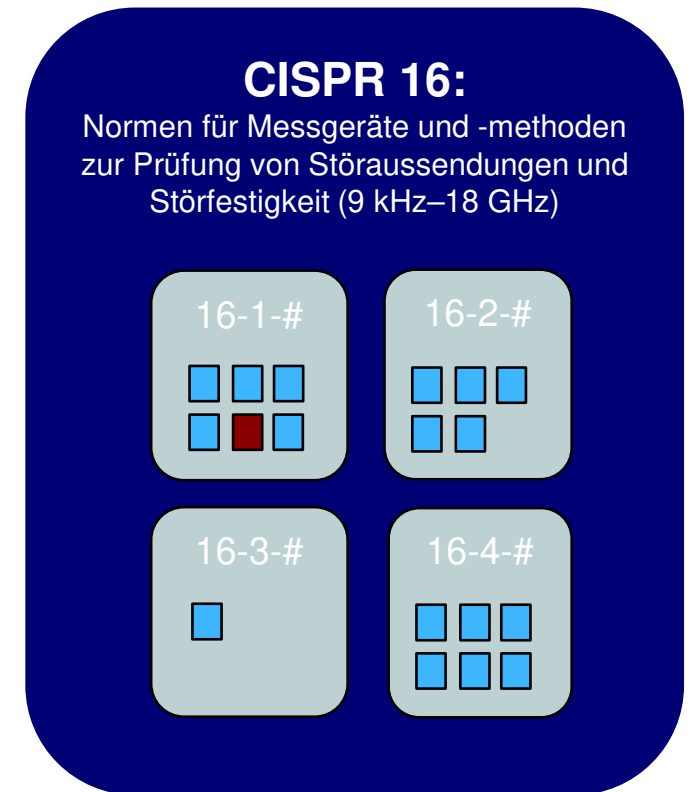
- großer Frequenzbereich
- Hoher Gewinn

NORMENLANDKARTE CISPR 16

- **CISPR 16-1-#:**
Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung und Störfestigkeit
- **CISPR 16-1-5:**
Messplätze für Antennenkalibrierung und Referenz-Messplätze für den Frequenzbereich von 5 MHz bis 18 GHz
 - Validierungsverfahren für Kalibriermessplätze
 - Zugehörige Messverfahren in CISPR 16-1-6 beschrieben

→ Fokus Vortrag:

Validierung für Kalibrier- und Referenzmessplätze mit einer leitenden Metallfläche von 5 MHz bis 1000 MHz



WARUM WERDEN FREIFELDMESSPLÄTZE BENÖTIGT?

- ▶ Antennenfaktor/Gewinn ist für das Fernfeld einer Antenne definiert
- ▶ Fernfeldbeginn stark frequenzabhängig

- **Näherungsformeln:**

$$d \geq \frac{2 \cdot D^2}{\lambda} \quad \text{für „lange Antennen“ (aktive Elemente mit Abmessung } D > \lambda)$$

$$d > 2 \cdot \lambda \quad \text{für „kurze Antennen“}$$

- ▶ Kalibrierungen bei kleinen Frequenzen erfordern große Abstände (30 MHz entspricht 10 m Wellenlänge)
 - Bodenreflexion wird relevant (30 MHz bis 1 GHz)
- ▶ Reproduzierbare Ergebnisse für Dipol, Bikonisch & Hybridantennen erschwert
 - Nutzung der Reflexion einer metallischen Bodenfläche < 1 GHz (engl. Standard Site Method (SSM))
 - Sicherstellung **reproduzierbarer** Ergebnisse
 - mathematische Korrektur der Reflexion

NORMATIVE ANFORDERUNGEN CISPR 16-1-5: FREQUENZBEREICH: 30 MHZ BIS 1 GHZ

► Ziel der Validierung der Einfügedämpfung des Messplatzes¹:

- Frequenzbereich 30 MHz bis 1 GHz; Polarisation: Horizontal & Vertikal
 1. Nachweis **Idealität der metallischen Bodenfläche** → Messung bei 24 Frequenzen²
 2. Nachweis **elektrischer Eigenschaften des Kalibriermessplatzes** → Frequenzsuchlauf³
 - Reflexionen Umgebung, Antennenmasten & Kabel

► Methode der Validierung:

- Vergleich der Einfügedämpfung des Messplatzes mit **berechenbaren Dipolen** für verschiedene Frequenzen und Geometrien

¹CISPR 16-1-5 Kapitel 4.2.2 und 4.5.3

²CISPR 16-1-5 Kapitel 4.4.3 bis 4.4.4

³CISPR 16-1-5 Kapitel 4.4.5

Normative Anforderungen

Anforderungen Messplatz:

- ▶ elektrisch leitende Bodenfläche
- ▶ Hindernisfreie Umgebung
- ▶ KEINE spezifischen Anforderungen an Masten

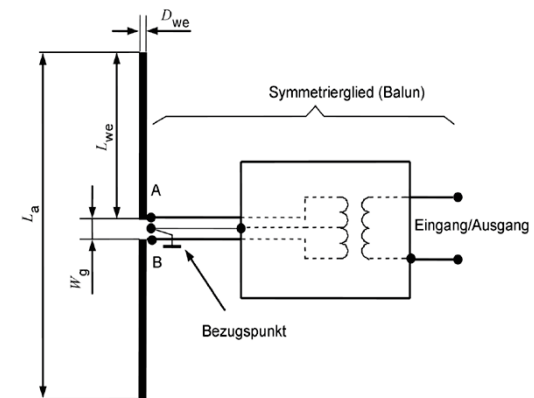
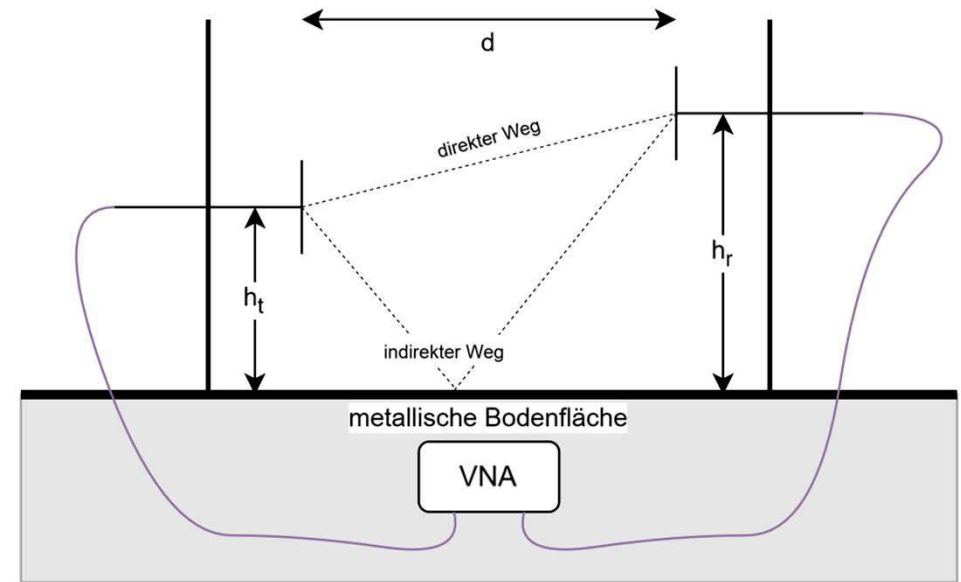
Anforderungen an Referenzantennen:

- ▶ Exakt berechenbare Antennen¹
 - Dipole inkl. Balun
 - Rückgeführt auf die Messgröße Länge
 - Berechnung idealer Einfügedämpfung³ des Messplatzes

¹CISPR 16-1-5 Kapitel 4.3.2

²CISPR 16-1-5 Kapitel 4.3.2 - Bild 1

³CISPR 16-1-5 Anhang C



Aufbau einer nutzbaren Referenzantenne²

Normative Anforderungen

Eignungskriterium:

- Differenz gemessene Einfügedämpfung $A_{im}(f)$ zu theoretische Einfügedämpfung $A_{ic}(f)$ eines idealen Freifeldmessplatzes (Einheiten in dB):

$$|A_{ic}(f) - A_{im}(f)| < T_{SIL}(f) - \Delta A_{im}(f)$$

$A_{ic}(f)$: theoretische Einfügedämpfung des Messplatzes in [dB]

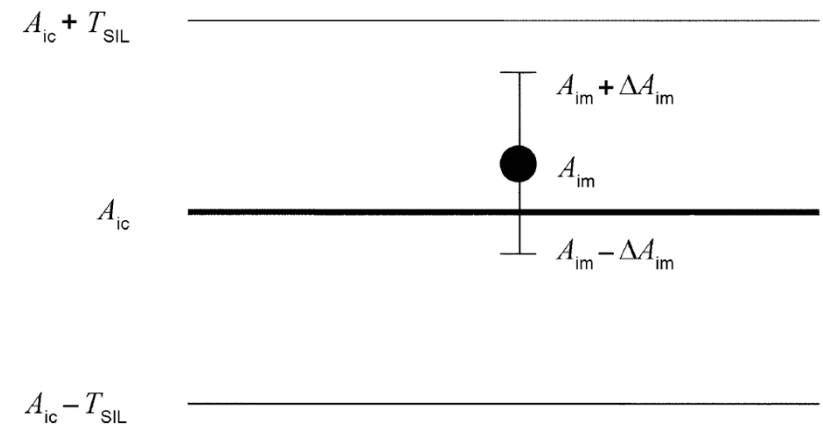
$A_{im}(f)$: gemessene Einfügedämpfung des Messplatzes in [dB]

$T_{SIL}(f)$: zulässige Grenzabweichung der
Einfügedämpfung (engl. site insertion loss)

$\Delta A_{im}(f)$: Unsicherheit (k=2) der Messung der Einfügedämpfung

- Zulässige Grenzabweichung:

	Horizontal	Vertikal
$T_{SIL}(f)$	1 dB	1.5 dB



Visualisierung Eignungskriterium¹

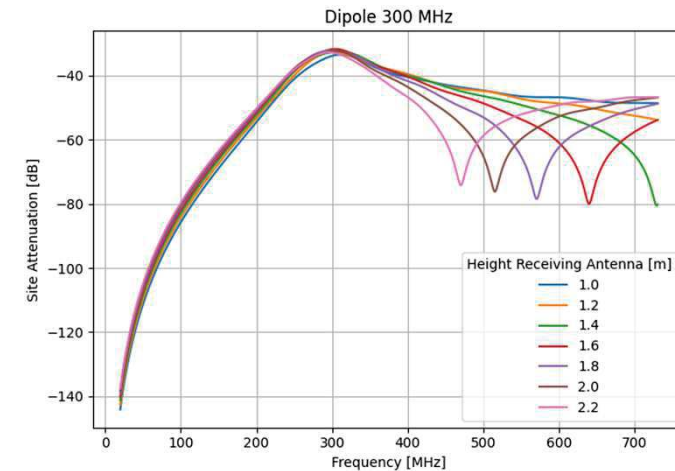
UMSETZUNG & MESSERGEBNISSE

Messantennen:

- „Precision Reference Dipole Antennas (PRD)“ – Seibersdorf
 - 27x Dipole 30 MHz bis 1000 MHz
 - Simulation Einfügedämpfung basierend auf „Numerical Electromagnetic Code (NEC2)“¹

Messequipment:

Equipment	
Vector Network Analyzer	R&S ZNB20
Calibration Kit	R&S ZV-Z235
Dipole Antenna Set	PRD Dipole Antennas

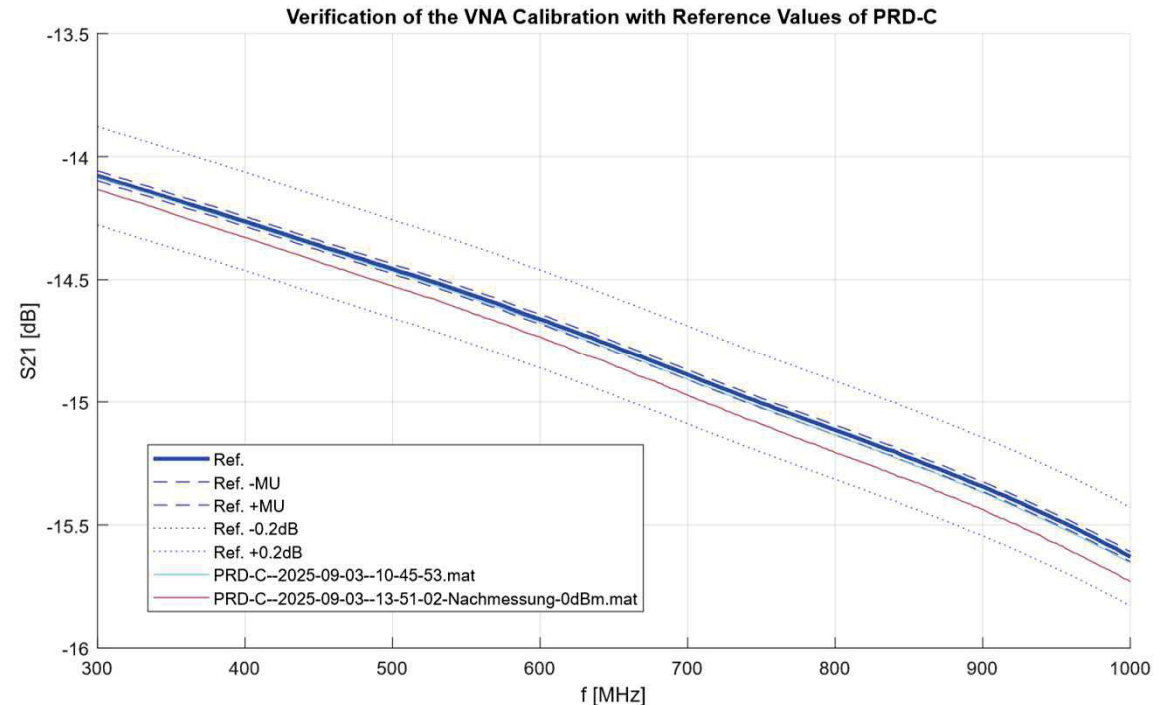


Simulation 300 MHz Dipol mit variierender Höher der Empfangsantenne. Das Minimum wandert aufgrund der Laufzeitunterschiede des direkten und indirekten Pfad welche im Minimum destruktiv Überlagern. Empfangsantenne fixe Höhe von 1.5m.

¹ Logan, J.C., and Burke, A.J., *Numerical Electromagnetic Code*, 1981, Naval Ocean Systems Center, CA,USA.

Ablauf der Messungen

1. Zwei-Tor-UOSM Kalibrierung
2. Messung der Dipolpaare bei verschiedenen Geometrien
3. Überprüfung Drift der Transmission mittels Zweitor-Verifikationsstandard „PRD-C“
 - Abweichung von ± 0.2 dB¹ zulässig
4. Vergleich der Einfügedämpfung, Messung $A_{im}(f)$ zu Modeldaten $A_{ic}(f)$



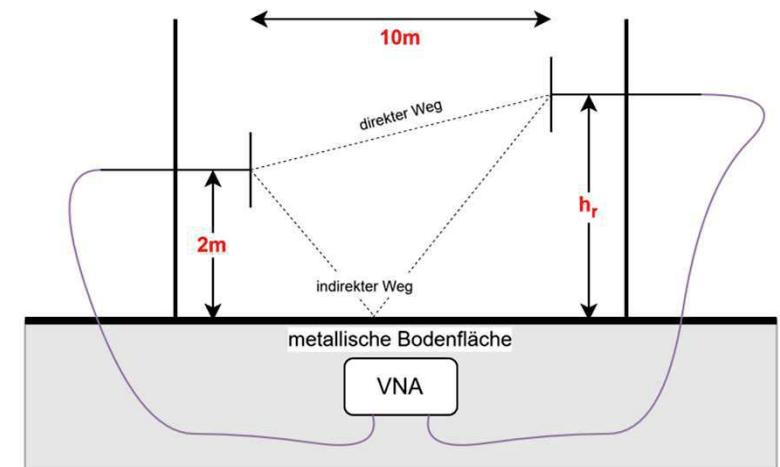
Beispiel einer Verifikation der VNA-Kalibrierung nach Messung aller Dipole 300 – 1000 MHz.
Drift < 0.1 dB

1. NACHWEIS IDEALITÄT DER METALLISCHEN BODENFLÄCHE

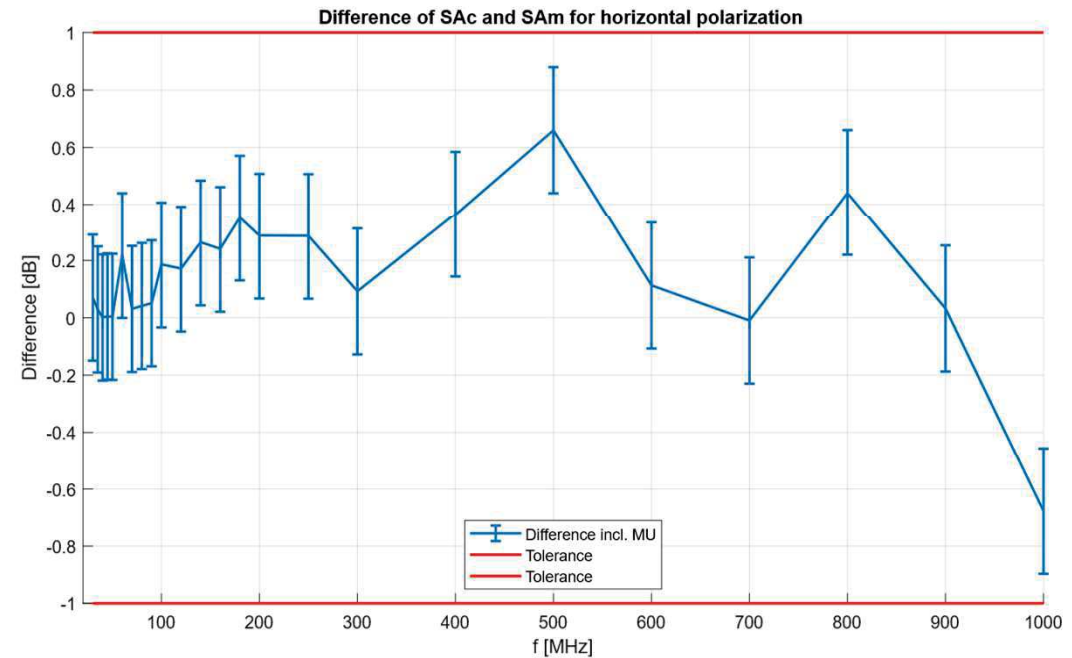
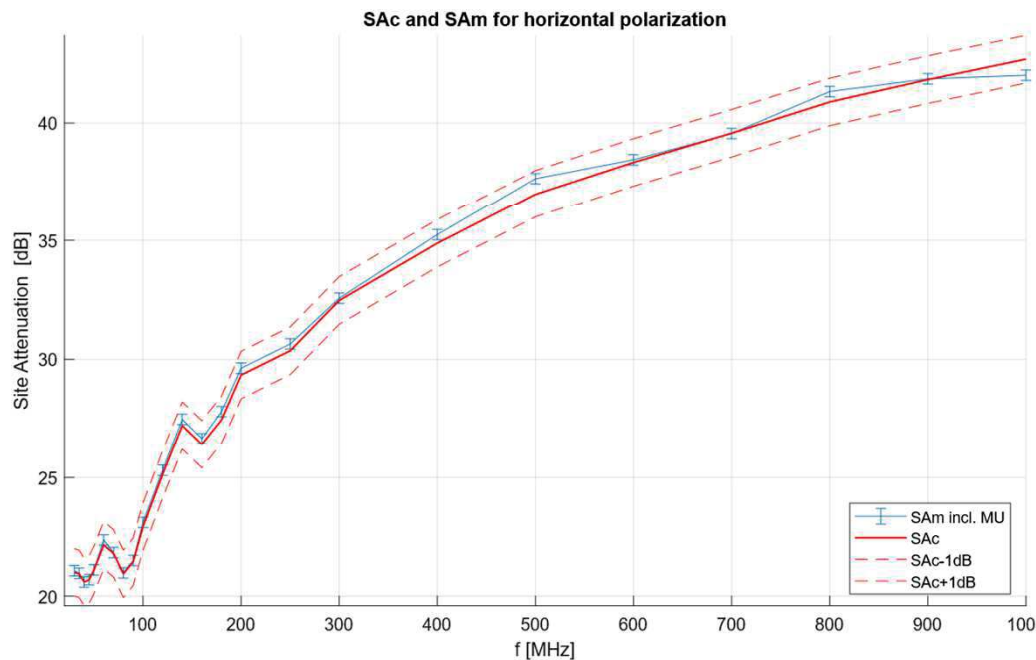
- ▶ Nachweis der Idealität der Bodenfläche bei 24 Frequenzen
- ▶ Fixe Dipole & Geometrie
 - Horizontale Abstand der Mittelpunkte: 10m
 - Höhe Mittelpunkt Sendeantenne: 2m
 - Höhe Mittelpunkt Empfangsantenne nach Tabelle 3
- ▶ Höhe Empfangsantenne bei niederfrequenten Dipolen größer um entsprechende Laufzeitunterschiede zwischen direktem und indirektem Pfad zu erzeugen.

Tabelle 3 – Frequenzen und feste Höhen der Empfangsantenne für Messungen der Einfügungsdämpfung des Messplatzes, wobei $h_t = 2 \text{ m}$ und $d = 10 \text{ m}$ ist (siehe 4.4.2.3 und 4.4.2.4)

Frequenz MHz	h_r m	Frequenz MHz	h_r m	Frequenz MHz	h_r m
30	4,00	90	4,00	300	1,50
35	4,00	100	4,00	400	1,20
40	4,00	120	4,00	500	2,30
45	4,00	140	2,00	600	2,00
50	4,00	160	2,00	700	1,70
60	4,00	180	2,00	800	1,50
70	4,00	200	2,00	900	1,30
80	4,00	250	1,50	1 000	1,20

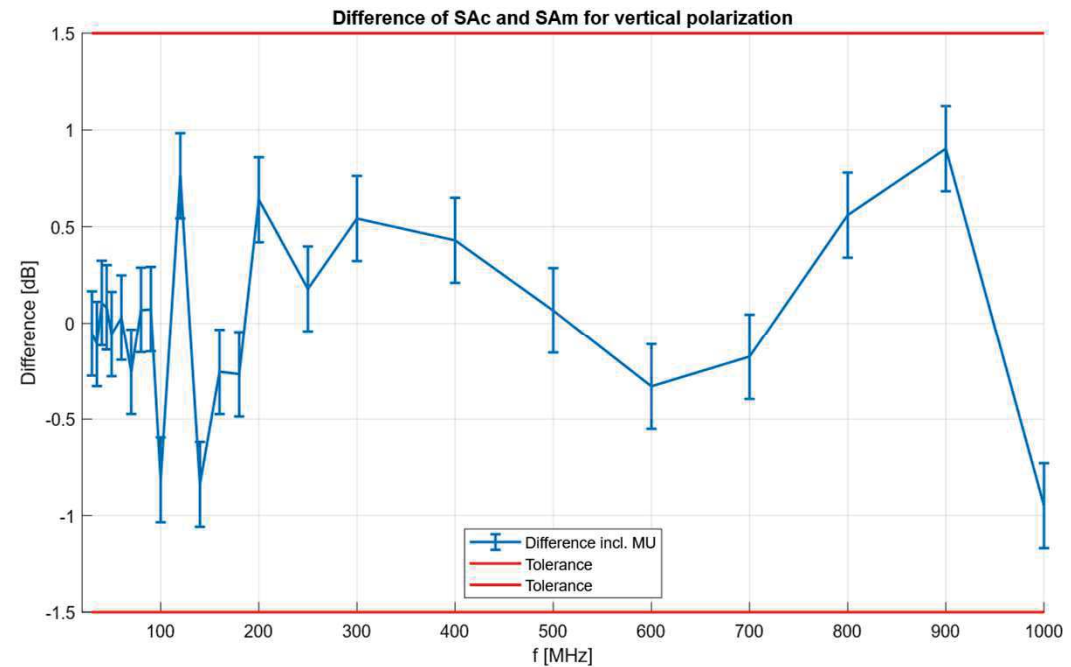
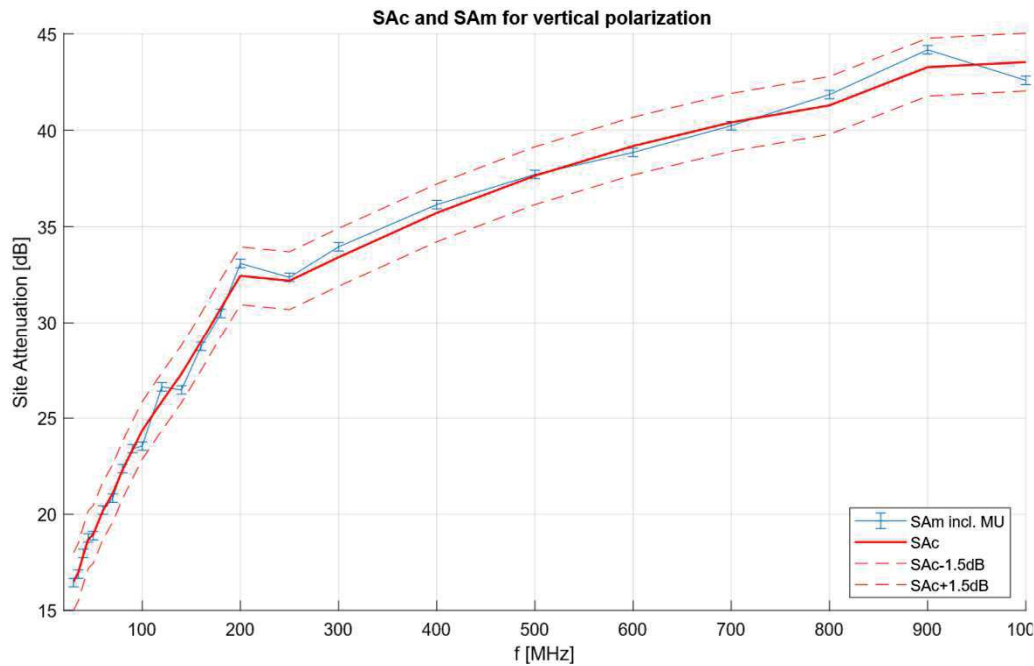


Messergebnis Validierungsmessung bei 24 Frequenzen: H-Polarisation



- Eignungskriterium ist frequenzabhängig: Zwei Bereiche sind definiert.
- < 300 MHz ist eine Einhaltung einer Toleranzgrenze kleiner 0.7 dB erstrebenswert¹
 - Einfluss von Reflexionen an Antennenteilen/Masten deutlich geringer
- > 400 MHz bereits größere Einfluss von Reflexion der Masten/Umgebung zu erkennen
 - Begründung der größeren Toleranz von 1 dB bis 1 GHz

Messergebnis Validierungsmessung bei 24 Frequenzen: V-Polarisation



- Eignungskriterium auch polarisationsabhängig
- Verifikation der V-Polarisation erlaubt größere Abweichungen
 - Reflexion an Mastteilen durch Abstrahlungscharakteristik der Dipole erhöht

2. NACHWEIS ELEKTRISCHER EIGENSCHAFTEN DES KALIBRIERMESSPLATZES

- Nachweis der elektrischen Eigenschaften des Kalibriermessplatzes (bspw. Reflexionen von Mast/Umgebung)
- Anzahl Dipolpaare und Unterteilung des Frequenzbereiches nicht vorgegeben (Tabelle informativ!)

Tabelle 5 (informativ) – Antennenhöhen für Messungen der Einfügungsdämpfung des Messplatzes

Zeilennummer	Frequenzbereich MHz	Höhe der Antenne 1 m	Höhe der Antenne 2 m
1	30 bis 100	4	4
2	100 bis 300	2	2,35
3	300 bis 600	1,5	1,4
4	600 bis 1 000	1,5	1,97
5	600 bis 750*	1,5	1,1
6	750 bis 1 000*	1,5	1,8

* Die Zeilen 5 und 6 stellen Alternativen zum durchgehenden Bereich von 600 MHz bis 1 000 MHz in Zeile 4 dar.

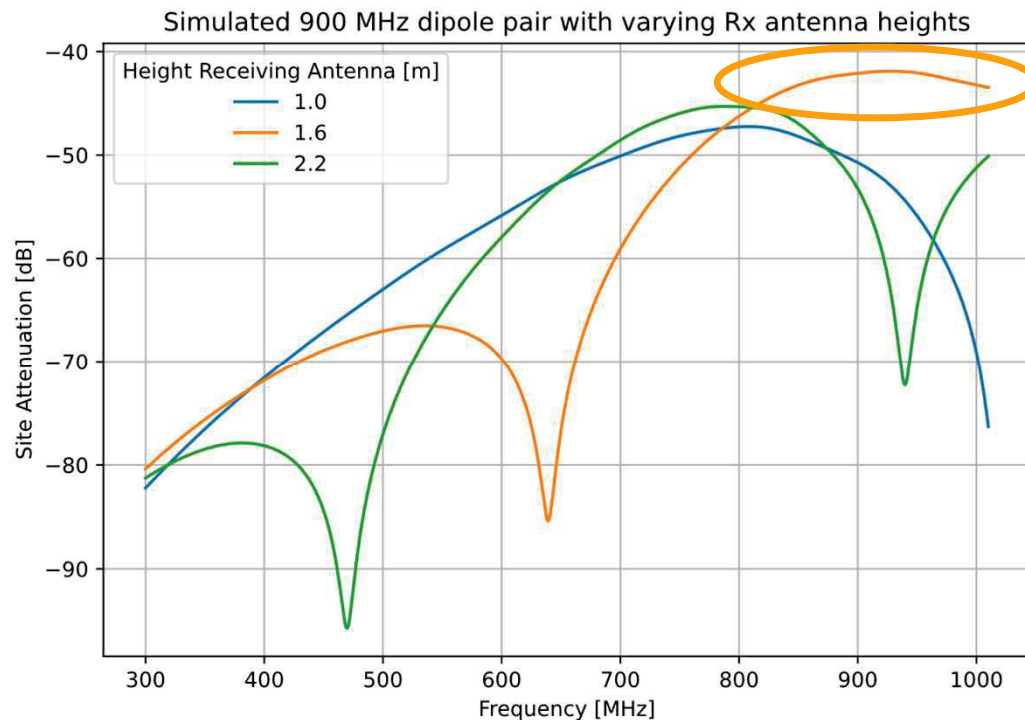
Tabelle A.1 – Beispiel von berechenbaren Dipolantennen mit fester Länge und Unterteilung des Frequenzbereichs von 30 MHz bis 1 000 MHz

f_r MHz	B_s MHz
60	30 bis 100
180	100 bis 300
400	300 bis 600
700	600 bis 1 000

Tabelle 5 (informativ) & A.1 aus CISPR 16-1-5 bzgl. verwendbare Dipolpaare und Geometrien

2. Validierungsmessung im „Frequenzsuchlauf“

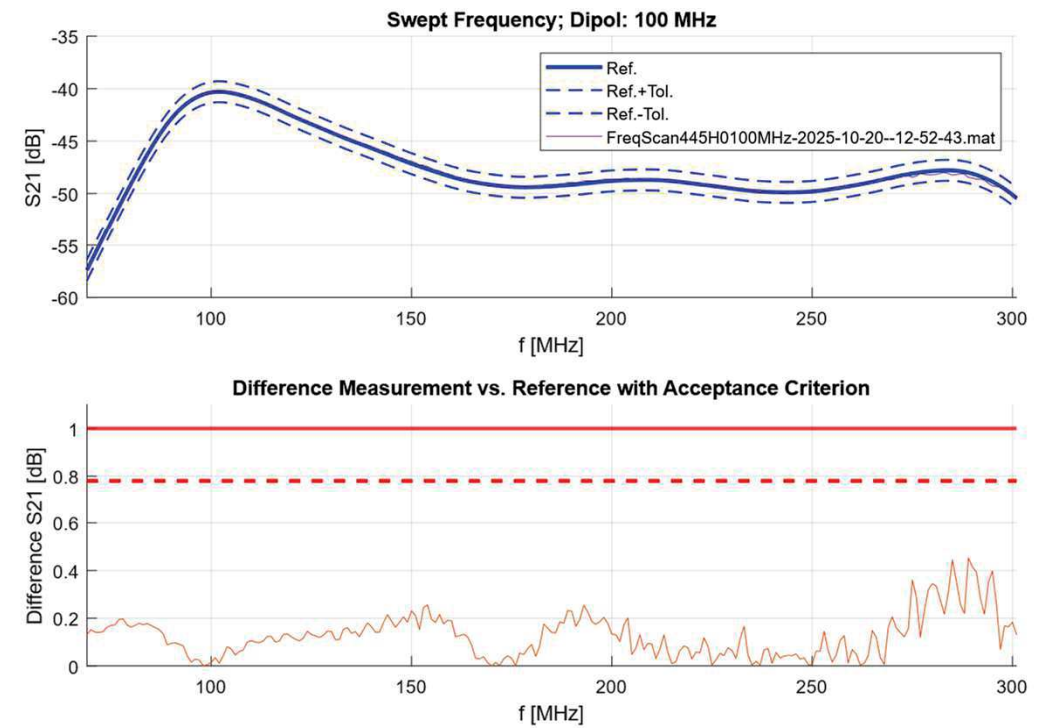
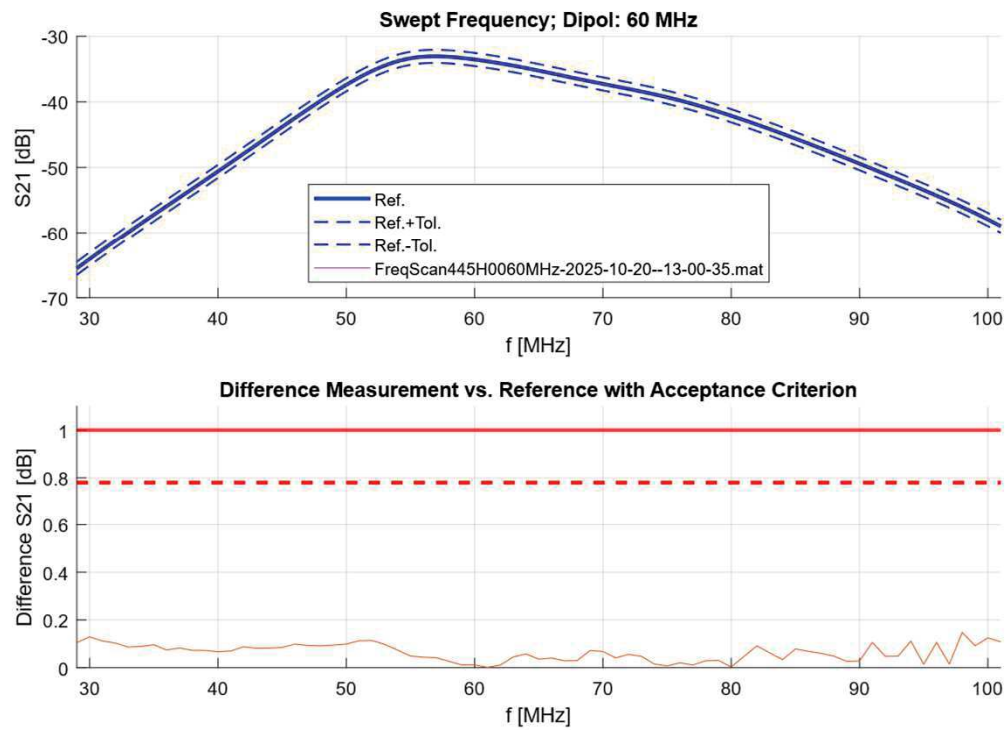
- Dipolpaare und Geometrien müssen selbst gewählt werden.
 - Frequenzbereich soll nahe am Maximum liegen, damit die Frequenzabhängigkeit gering ist
 - Sensitivität bzgl. Ausrichtungsfehlern & Reflexionen steigt in Richtung der Nullstellen/Minima



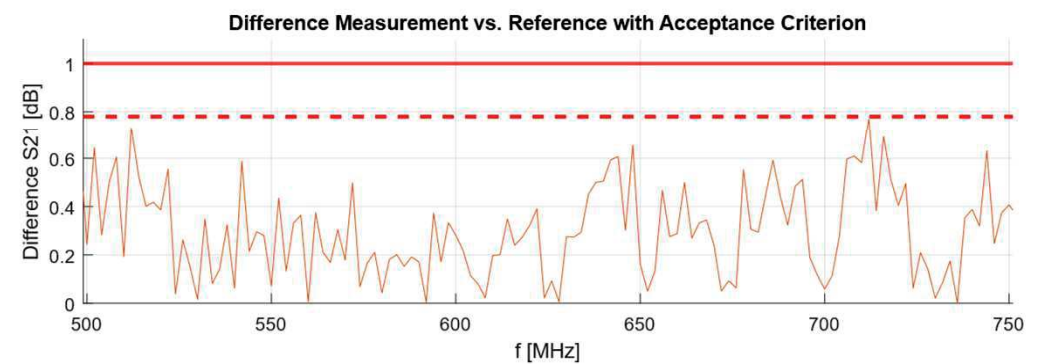
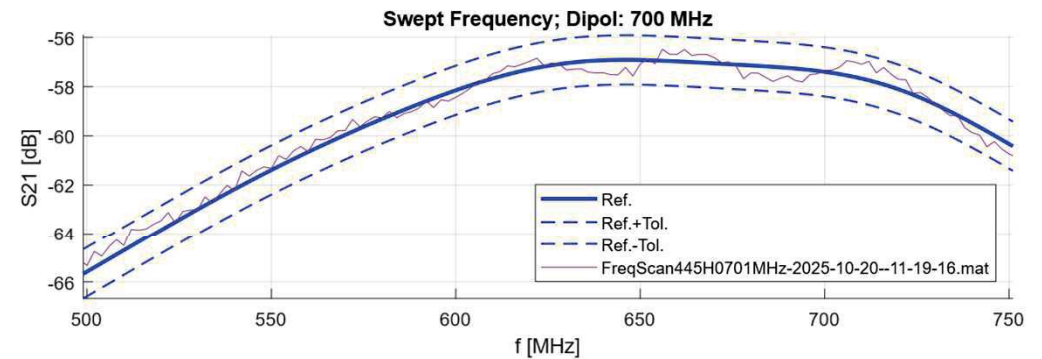
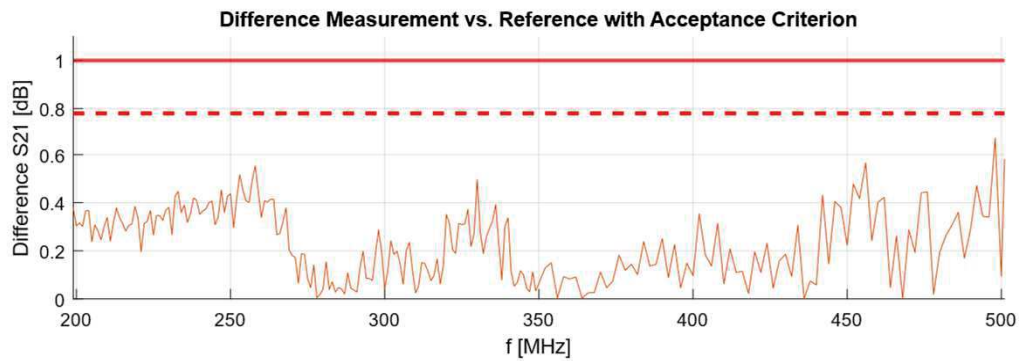
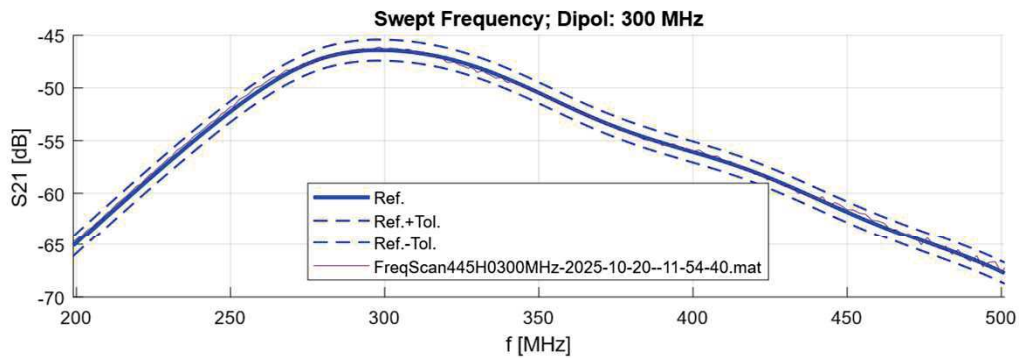
Sendeanenne auf einer festen Höhe von 1.5m.
Minimum wandert in Abhängigkeit der Höhe der Empfangsantenne.

- Empfangshöhe von 1.6 m (orangene Kurve) ideal für Frequenzbereich 800 bis 1000 MHz

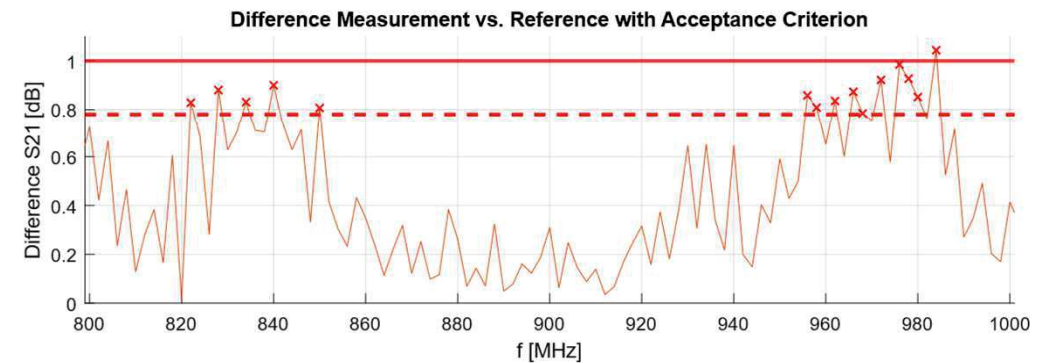
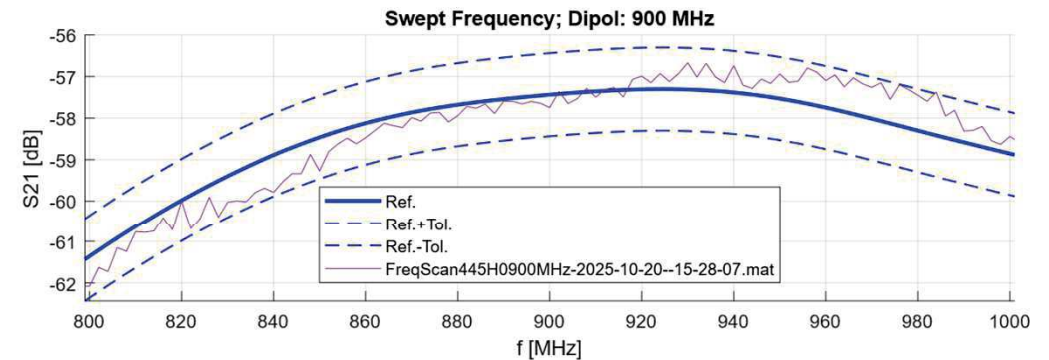
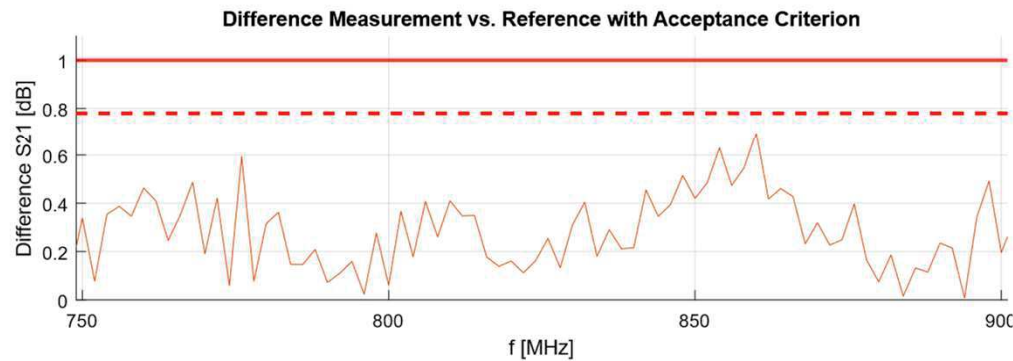
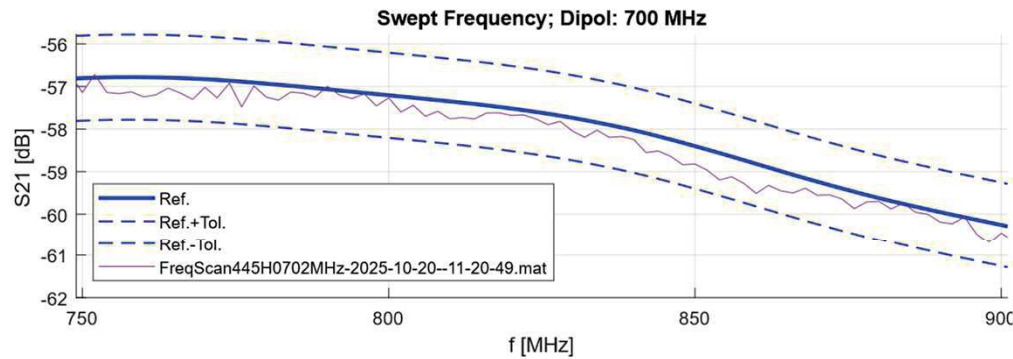
Messergebnis Frequenzsuchlauf



Messergebnis Frequenzsuchlauf



Messergebnis Frequenzsuchlauf

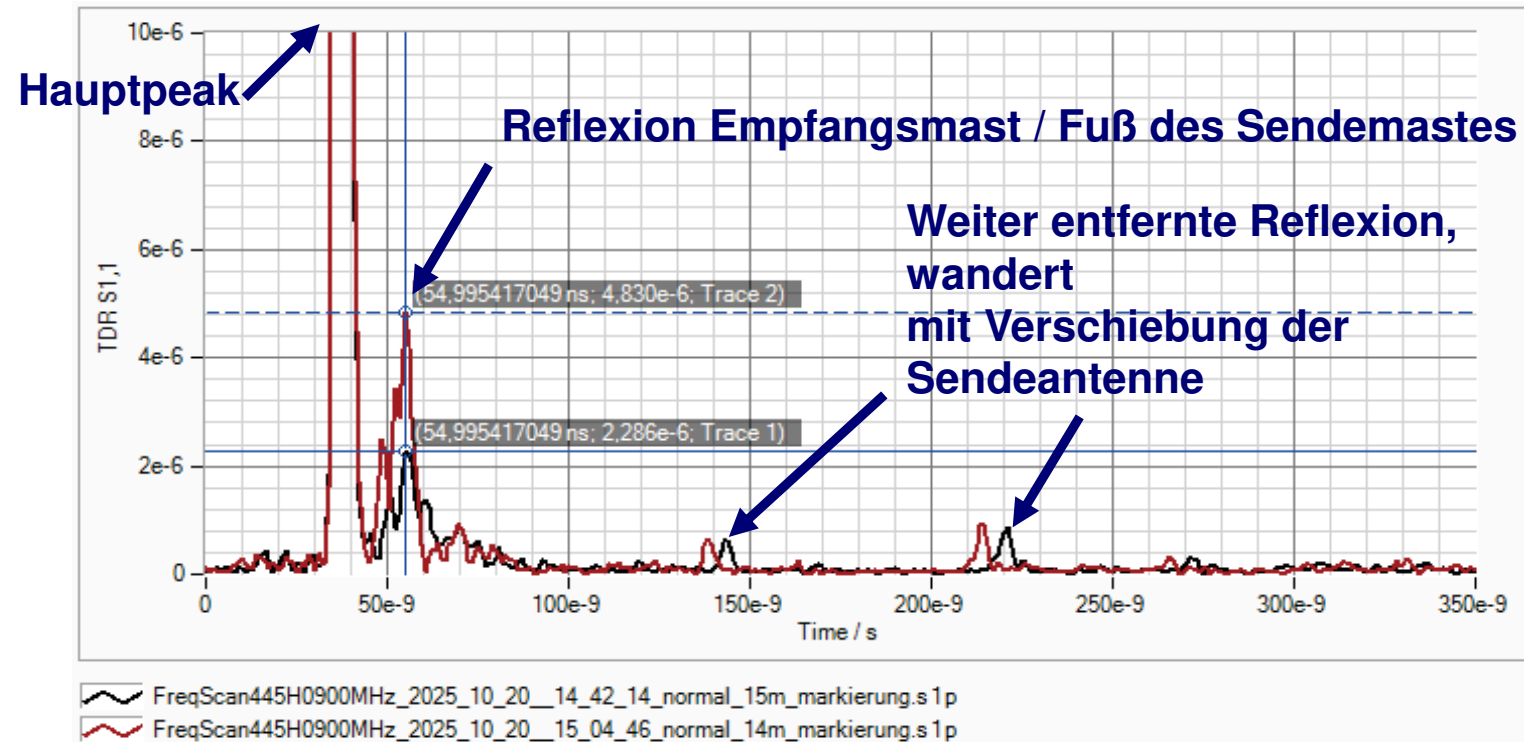


- ▶ Erhöhte Reflexion durch Antennenmast > 700 MHz
- ▶ Geringfügige Verletzung bei > 800 MHz aufgrund von Reflexionen am Mast
 - Keine Anforderungen bzgl. Mastreflexion in der Norm → Berücksichtigung innerhalb der MU

FEHLERBILDER, SENSITIVITÄT, DIAGNOSE - FREQUENZSUCHLAUF

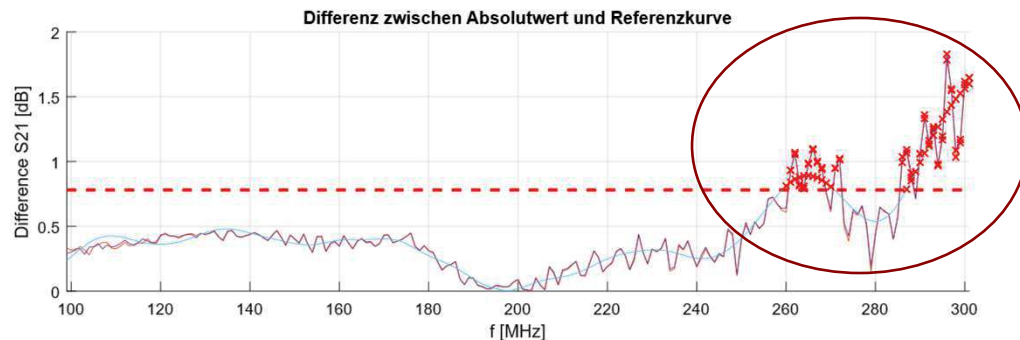
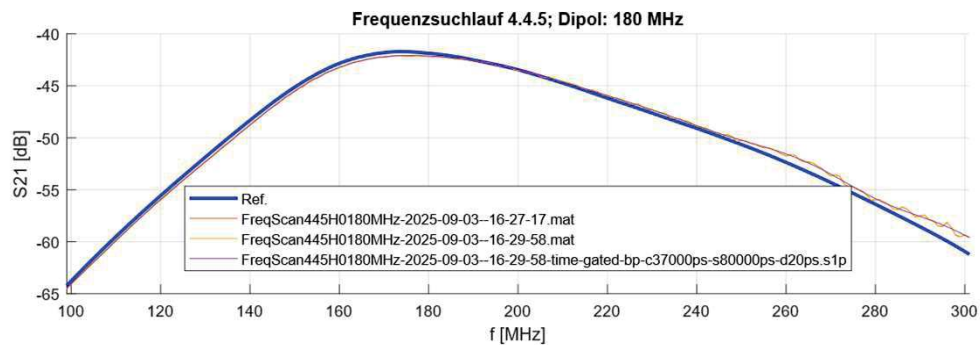
Herkunft Reflexion:

- Messung im Zeitbereich mit Geometrieänderung:
 - Reflexionen weit entfernt wandern mit der Änderung der Sendeantenne
→ Umgebung
 - Reflexion nah am Hauptpeak wird stärker
→ Quelle ca. 2-3m um Empfangsantenne

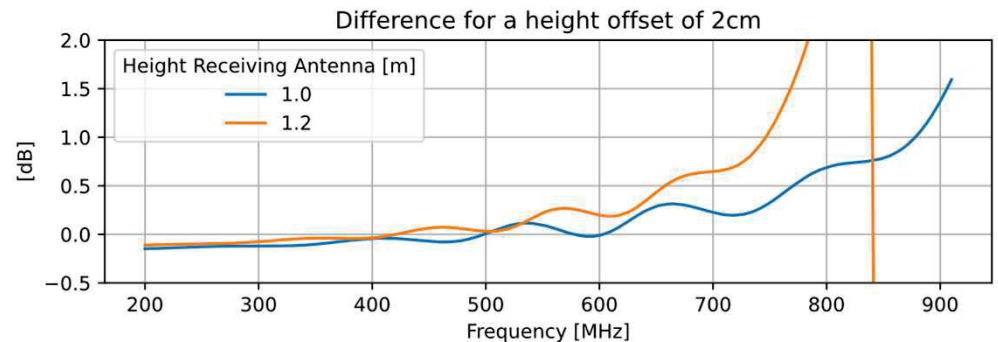
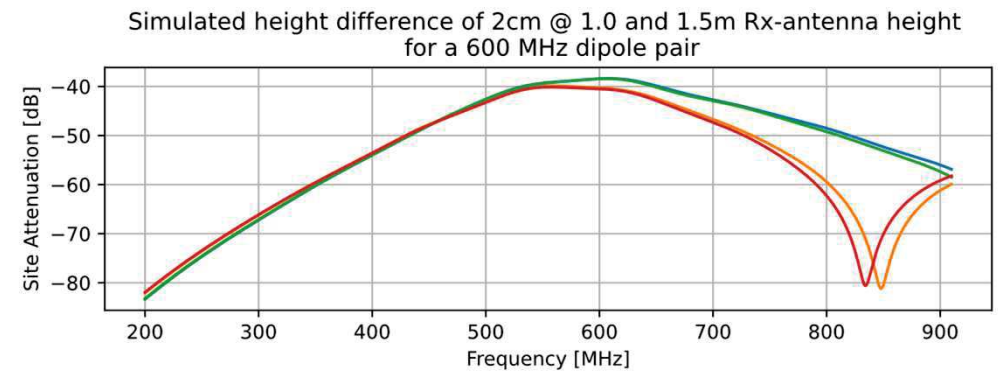


Sensitivität bzgl. Fehlausrichtung:

- Systematische Abweichungen durch Ausrichtungsgenauigkeiten



Systematische Abweichungen in Richtung des Minimums im Frequenzgang verursacht durch Ausrichtungsungenauigkeiten. Time Gating zeigt deshalb auch keine Wirkung.



Simulation eines **2cm** Höhenunterschieds bei einem 600 MHz Dipol führt zu dem gemessenen Verhalten (linke Grafik).

STÄRKEN & GRENZEN IN DER PRAXIS

Validierung der Einfügedämpfung nach Kapitel 4.4.3 bei festen Frequenzen

- ▶ Ziel: Nachweis Idealität der Bodenfläche bei 24 Messfrequenzen
- ▶ Anwendbarkeit & Vergleichbarkeit:
 - Kriterium berücksichtigt zunehmenden Masteinfluss zu höheren Frequenzen
 - Vergleichbarkeit durch Festlegung der Frequenzen, Dipole und Geometrie gegeben.

Validierung der Einfügedämpfung nach Kapitel 4.4.5 Frequenzsuchlauf

- ▶ Ziel: Nachweis elektrischer Eigenschaften des Kalibriermessplatzes (Reflexionen Umgebung/Mast etc.)
- ▶ Validierung im Frequenzsuchlauf deckt lokale Reflexionen sichtbar auf → Verfahren ist geeignet
- ▶ Anwendbarkeit & Vergleichbarkeit der Ergebnisse schwierig:
 - Dipolpaare und Geometrien sind vom Labor zu bestimmen
 - Norm gibt keine quantitativen Angaben bzgl. Mastreflexion¹
 - „Auswahl“ besonders geeigneter Dipole möglich (Vergleichbarkeit eingeschränkt)
 - Vorsicht vor Transfer der Ergebnisse für Messung anderer Antenne (LPDA/Hybrid/Horn)
 - Geometrie & Abstrahlcharakteristik unterschiedlich
 - Einfluss Mast/Umgebung wird im MU-Budget berücksichtigt