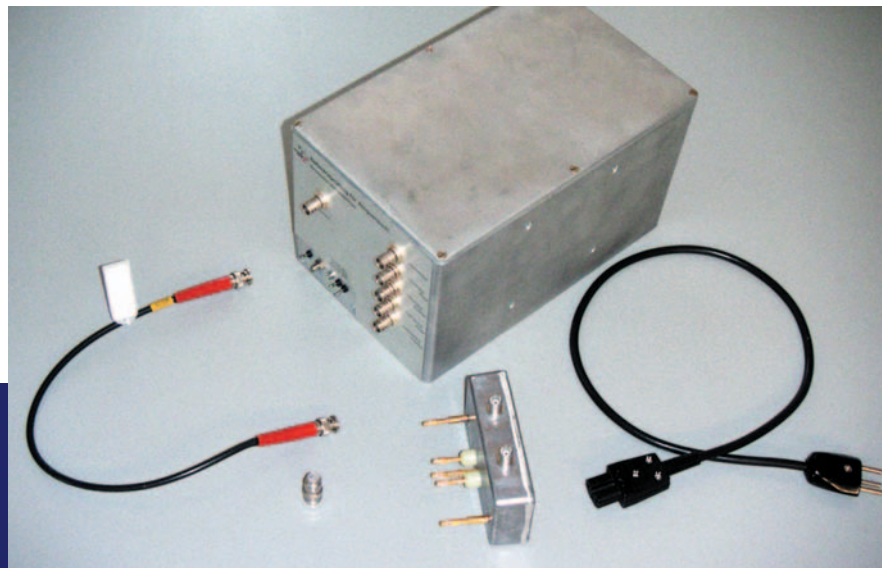


## Ringversuch PEGESS 2003 Emission am Netzanschluss



Herausgeber Bundesamt für Metrologie und Akkreditierung (METAS)  
Sektion Hochfrequenz, EMV und Verkehr  
Lindenweg 50  
3003 Bern-Wabern  
Tel. +41 31 32 33 111  
Fax +41 31 32 33 210  
[www.metas.ch](http://www.metas.ch)

Verfasser Heinrich Ryser, Beat Mühlemann

Nachdruck Das Dokument darf nicht zu Werbezwecken verwendet  
werden. Weitergabe nur in vollständiger Form gestattet.

Bericht 2004-255-525. Dieser Bericht kann als pdf-Dokument von  
<http://www.metas.ch/de/publication/publi2.html#bericht>  
abgerufen werden.

Bern-Wabern, 14. Juni 2004

# Ringversuch PEGESS

## Emission am Netzanschluss

### Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	
1.1	Zweck des Ringversuchs	5
1.2	Teilnehmer des Ringversuchs	5
1.3	Beschreibung des Referenzprüflings	6
1.4	Beschreibung der vorgesehenen Messungen	7
2	Messergebnisse der Ringversuchsteilnehmer	
2.1	Messung Prüflingstyp 1 (niederohmige Störquelle unsymmetrisch)	8
2.2	Messung Prüflingstyp 2 (hochohmige Störquelle unsymmetrisch)	9
2.3	Messung Prüflingstyp 3 (symmetrische Störquelle)	10
2.4	Zusatzmessung 1: Störquelle direkt am Messempfänger	12
2.5	Zusatzmessung 2: Störquelle direkt an Netznachbildung	13
3	Zusätzliche Vergleichsmessungen bei METAS	
3.1	Stabilität des Referenzprüflings	
3.1.1	Kontrollmessungen bei METAS	15
3.1.2	Temperatureinfluss	15
3.1.3	Einfluss der Netzspannung	16
3.2	Einflussfaktoren bei der Messung	
3.2.1	Drift des Messempfängers	16
3.2.2	Schutzleiternachbildung 50Ω / 50μH	17
3.2.3	Bündelung des Prüflingskabels	18
3.2.4	Massebezug des Prüflings	20
3.2.5	Massebezug der Netznachbildung	22
3.2.6	Metallteile in der Nähe des Prüflings	24
3.2.7	Einfluss des Messraumes	26
4	Zusammenfassung	
4.1	Ergebnisse der Ringversuchsteilnehmer	30
4.2	Ergebnisse der Zusatzmessungen bei METAS	30
4.3	Erkenntnisse aus dem Ringversuch und den Zusatzmessungen	31



# 1 Einleitung

## 1.1 Zweck des Ringversuchs

Die Prüfstellen-Erfahrungsgemeinschaft für EMV, Sachschutz und elektrische Sicherheit (PEGESS) veranstaltet regelmässig Ringversuche unter den interessierten Labors.

In einem früheren Ringversuch mit einem Modem waren sowohl leitergebundene Messungen am Netzanschluss, wie auch Störleistungsmessungen und Messungen der Störfeldstärke durchgeführt worden. Der Aufwand für diese Messungen war damals relativ gross und die Resultate waren nicht sehr aussagekräftig.

Mit dem Ringversuch "Emission am Netzanschluss" wurde versucht, eine Messung zu definieren, die für das einzelne Labor einen möglichst kleinen Aufwand verlangt, aber im Endresultat doch Auskunft über die Reproduzierbarkeit einer bestimmten Messung unter den beteiligten Labors ergibt.

Die leitergebundenen Emissionsmessung am Netzanschluss wurde auch deshalb gewählt, weil dies die einfachst mögliche und am besten definierte EMV Messung ist. Wir erwarteten damit deutlich geringere Streuungen der Resultate gegenüber den Ergebnissen des früheren Ringversuchs mit dem Modem. Trotzdem war die Streuung insbesondere bei Frequenzen zwischen 20MHz und 30MHz mit dem Prüfling Typ 2 (hochohmige Störquelle, unsymmetrisch eingekoppelt auf Nulleiter) deutlich höher als erwartet.

In einem zweiten Teil dieses Berichtes wird versucht, die Abweichungen durch Variation verschiedener möglicher Einflussfaktoren nachzubilden und zu erklären. Dabei wurden einige interessante Erkenntnisse gewonnen: Bemerkenswert ist insbesondere die Reduktion der Messunsicherheit, wenn die (in CISPR 22 nicht vorgesehene) Schutzleiternachbildung von 50Ω / 50μH verwendet wird, sowie der bisher meistens vernachlässigte Einfluss von Grösse des Messraumes und Position des Prüfaufbaus im Messraum auf das Messresultat.

## 1.2 Teilnehmer des Ringversuchs

Die Folgenden Messlabors haben an dem Messvergleich teilgenommen:

Ascom Systec AG	8634 Hombrechtikon
Electrosuisse	8320 Fehraltorf
EMC-Testcenter Zürich AG	8052 Zürich
EMV-Labor Wetzikon AG	8620 Wetzikon
EMV Tech GmbH	3018 Bern
INTRATest System GmbH	5412 Gebenstorf
METAS	3003 Bern -Wabern
Mettler Toledo GmbH	8606 Nänikon
montena emc	1728 Rossens
montena emc AG EMV Labor Turgi	5300 Turgi
montena emc AG EMV-Prüfsstelle FHS	9001 St.Gallen
QUINEL	6300 Zug
Schaffner EMV AG	4542 Luterbach
Siemens Schweiz AG	8047 Zürich
Swisscom AG Innovations	3050 Bern

Bemerkung:

In den Darstellungen dieses Berichtes ist die Zuordnung der Resultate zu den einzelnen Labors nicht ersichtlich. Die beteiligten Labors erhalten einen individuellen Auszug mit Kopien der Figuren 5 bis 18, in denen ihr eigenes Resultat hervorgehoben ist. Dieser Auszug ist vertraulich und wird nicht weiter verteilt. (Ausnahme: Die akkreditierten Labors haben den Ringversuch auch als Vorgabe aus der Akkreditierung mitgemacht. Deshalb gehen die Resultate dieser Labors auch an den zuständigen leitenden Begutachter der SAS)

### 1.3 Beschreibung des Referenzprüflings



Fig. 1 Referenzprüfling

Als Referenzprüfling wurde eine Metallbox der Größe 17 cm x 17 cm x 27 cm verwendet. Als Generator ist ein Kammgenerator RefRad der Firma Seibersdorf Research eingebaut. Der Kammgenerator wird aber nicht aus Batterien, sondern über ein kleines Speisegerät mit 6V Ausgangsspannung aus der Netzleitung gespeist. Der Ausgang des Kammgenerators ist über einen 20 dB Abschwächer an die Frontseite des Referenzprüflings geführt. Mit einem kurzen Koaxialkabel kann an der Frontseite die Quelle auf unterschiedliche Art auf die Netzleitung des Referenzprüflings gekoppelt werden und so drei verschiedene Prüflingstypen realisiert werden.

Für den Prüflingstyp 1 (Niederohmige Einkopplung auf Nulleiter) wird der Ausgang des Attenuators über 100 nF auf den Nulleiter gekoppelt. Die Quellenimpedanz ist damit durch die 50 Ω des Attenuators bestimmt. Der andere Eingang der niederohmigen Einkopplung (Phase) wird mit 50 Ω abgeschlossen.

Für den Prüflingstyp 2 (Hochohmige Einkopplung auf Nulleiter) wird der Ausgang des Attenuators über einen Seriewiderstand von 15 kΩ und 100 nF auf den Nulleiter gekoppelt. Die Quellenimpedanz ist damit durch die 15 kΩ bestimmt. Der andere Eingang der hochohmigen Einkopplung (Phase) wird mit 50 Ω abgeschlossen, enthält aber ebenfalls einen Seriewiderstand von 15 kΩ.

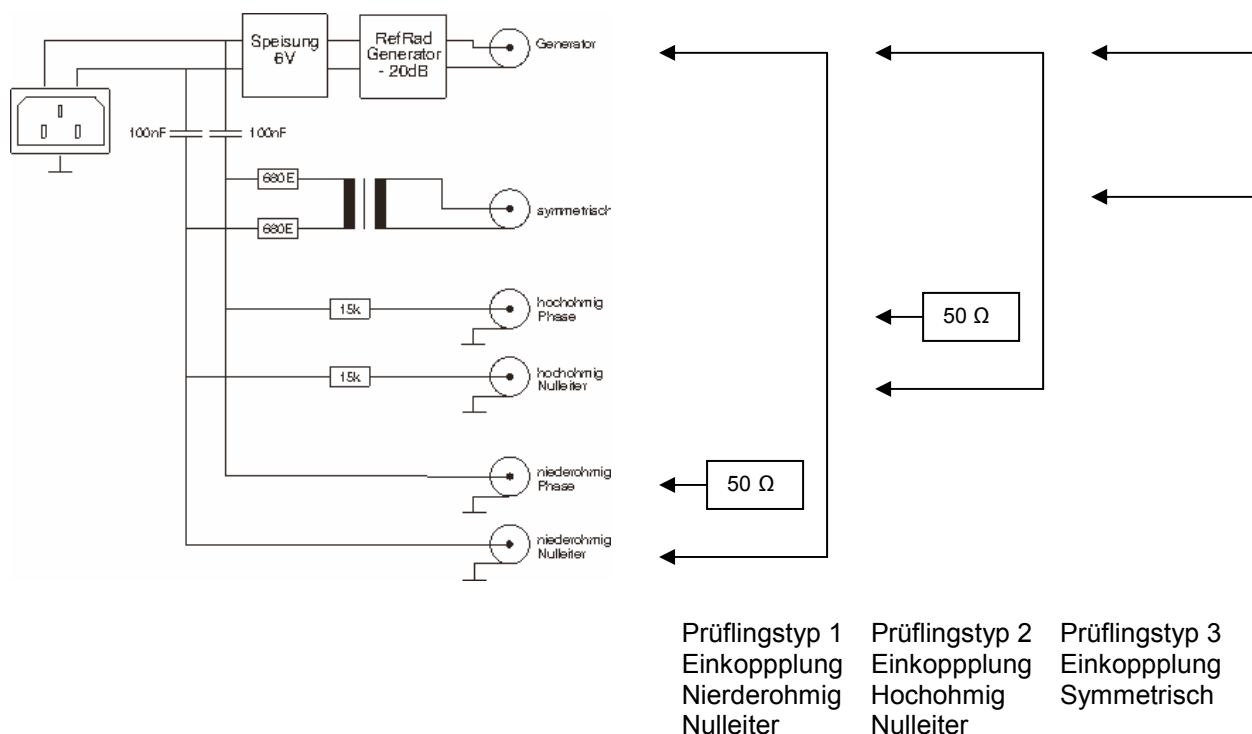


Fig. 2: Beschaltung für die drei Prüflingstypen

Für den Prüflingstyp 3 (Symmetrische Einkopplung) wird das Störsignal über einen geschirmten Symmetriertrafo (Balun) und zwei Seriewiderstände von  $680\ \Omega$  symmetrisch zwischen Phase und Nulleiter eingekoppelt.

Für die Zusatzmessung 1 wurde der Generatorausgang (nach dem 20dB Attenuator) direkt mit dem Messempfänger verbunden. Damit konnte die Kalibration des Messempfängers überprüft werden und diese Abweichung unterschieden werden von den anderen Einflüssen auf das Messresultat.

Die Zusatzmessung 2 diente dazu, festzustellen welcher Anteil der Abweichungen durch die Unterschiede der Netznachbildung verursacht wurden. Dazu wurde das Signal vom Generator im Referenzprüfling über  $100\ \text{nF}$  mit einem speziellen Adapter direkt in die Netznachbildung eingekoppelt. Der Adapter war so konstruiert, dass der Masseanschluss bei den meisten angewendeten Netznachbildungen direkt an den dafür vorgesehenen Kontakten der Netznachbildung angeschlossen werden konnte. Der nicht Benützte Eingang des Adapters wurde mit  $50\ \Omega$  abgeschlossen.



Fig.3: Adapter für die Einkopplung der Störquelle direkt an der Netznachbildung (Zusatzmessung 2)

## 1.4 Beschreibung der vorgesehenen Messungen

Die Labors waren aufgefordert, die Störspannung des Referenzprüflings am Netzanschluss nach der aktuellen Norm (CISPR 22) für die drei Konfigurationen des Prüflings (Prüflingstyp 1, 2 und 3) auszumessen. Um den Prüfaufwand der einzelnen Labors klein zu halten, haben wir uns auf die Messung am Nulleiter beschränkt und die Messung auf den Frequenzbereich  $1\ \text{MHz}$  bis  $30\ \text{MHz}$  reduziert. Im Frequenzbereich oberhalb  $10\ \text{MHz}$  wurden aufgrund früherer Erfahrungen am meisten Abweichungen erwartet. Der Kammgenerator wurde für diese Messungen auf einen Linienabstand von  $1\ \text{MHz}$  eingestellt. Dadurch ergeben sich  $30$  Messpunkte im Abstand von  $1\ \text{MHz}$ .

Ausserdem wurden zwei Zusatzmessungen verlangt, die es ermöglichen sollten, zwischen verschiedenen Ursachen für allfällige Abweichungen (Messempfänger, Netznachbildung, Messaufbau) zu unterscheiden.

Bei den Zusatzmessungen 1 und 2 wurde auch im Frequenzbereich  $0.15\ \text{MHz}$  bis  $1\ \text{MHz}$  gemessen und dabei der Kammgenerator auf einen Linienabstand von  $10\ \text{kHz}$  eingestellt. Es waren  $9$  Messpunkte in diesem Frequenzbereich vorgesehen ( $150/250/350/450/550/650/750/850/950\ \text{kHz}$ ).

## 2 Messergebnisse der Ringversuchsteilnehmer

### 2.1. Messung Prüflingstyp 1 (niederohmige Störquelle unsymmetrisch)

In Fig. 4 sind die gemessenen Resultate der 14 Labors für den Prüflingstyp 1 dargestellt.

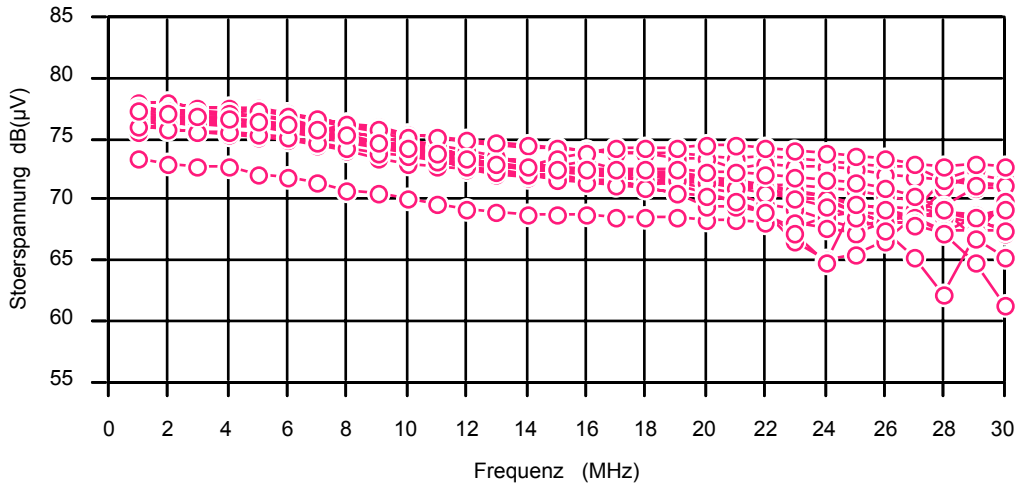


Fig.4 Messresultate mit Prüflingstyp 1 (Eingekoppelt und gemessen auf dem Nulleiter)

Wenn man für jede Frequenz den Mittelwert der 14 Messungen ausrechnet und die Resultate mit diesem Mittelwert vergleicht, ergibt sich das in Fig. 5 gezeigte Bild.

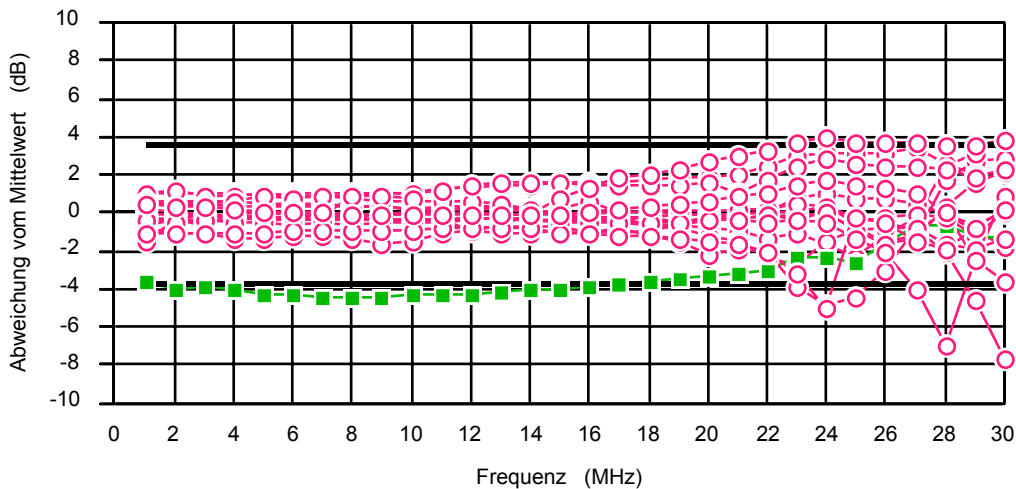


Fig.5 Abweichungen vom Mittelwert mit Prüflingstyp 1

In CISPR 16-4-2 wird für die Messung der Störspannung mit Netznachbildung eine maximale erweiterte Messunsicherheit der Messausrüstung von 3.6dB gefordert und mit  $\pm U_{\text{CISPR}}$  bezeichnet. Unter dieser Bedingung darf der gemessene Wert direkt mit dem Grenzwert der Normen verglichen werden.

Falls die Messunsicherheit aller beteiligten Labors kleiner oder gleich  $U_{\text{CISPR}}$  beträgt, sollten die Resultate mit 95% Wahrscheinlichkeit in dem Bereich zwischen diesen Werten liegen. In den Figuren 5, 6, 8, 11 und 12 ist der durch  $\pm U_{\text{CISPR}}$  begrenzte Bereich ist mit zwei Linien markiert.

Im Frequenzbereich unterhalb 20 MHz sind die Abweichungen mit einer Ausnahme (mit grünem Quadrat markiert) deutlich kleiner als  $U_{\text{CISPR}}$ . Als Ursache dieser Abweichung wurde später eine Abweichung in der Messempfängerkalibration festgestellt (3.2.1).

Die Unterschiede der Messempfängerkalibration können dadurch kompensiert werden, dass die Resultate der einzelnen Labors mit den Resultaten der Zusatzmessung 1 korrigiert werden. So werden die Einflüsse sichtbar, die von anderen Einflussfaktoren verursacht werden (Fig. 6)

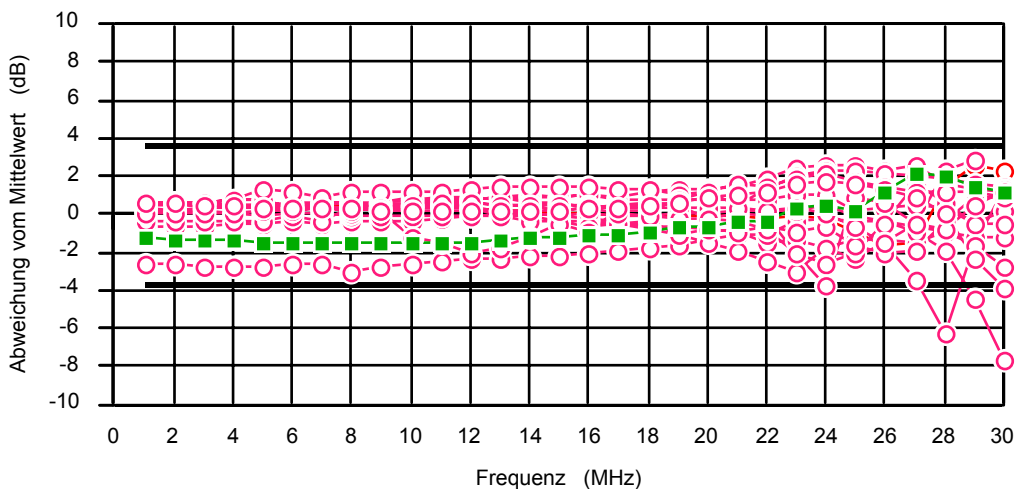


Fig.6 Messresultate von Fig. 5 individuell korrigiert mit der Zusatzmessung 1 (Messempfängerkalibration)

Die Resultate des mit Rechtecken markierten Labors liegen nun gut im Bereich von  $\pm U_{CISPR}$ . Oberhalb von 20 MHz bleibt die Streuung aber grösser und ein Teil der Resultate liegen auch nach der Korrektur mit der Messempfängerkalibration teilweise ausserhalb von  $\pm U_{CISPR}$ .

Verschiedene mögliche zusätzliche Einflussfaktoren in diesem Frequenzbereich werden in 3.2 untersucht.

## 2.2. Messung Prüflingstyp 2 (hochohmige Störquelle unsymmetrisch)

Die Resultate der Messung mit Prüflingstyp 2 sind in Fig. 7 dargestellt.

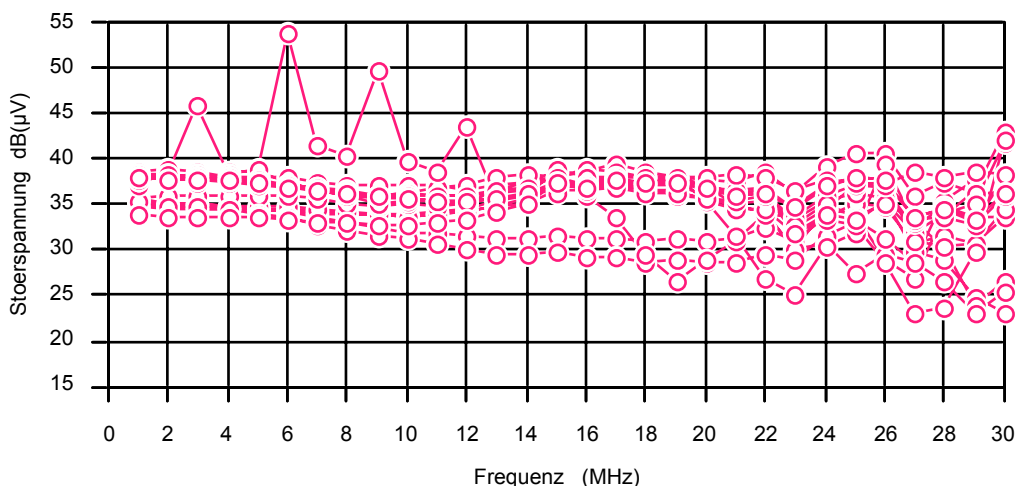


Fig.7 Messresultate mit Prüflingstyp 2 (Eingekoppelt und gemessen auf dem Nulleiter)

Die Abweichungen mit diesem Prüflingstyp sind deutlich grösser als mit Prüflingstyp 1. Auch hier wurden die Resultate auf den Mittelwert bezogen (Fig. 8). Die Resultate des Labors, die in Fig. 8 mit blauen Kreuzen markiert sind wurden als Ausreisser identifiziert und wurden für die Mittelwertberechnung nicht berücksichtigt. Die Gründe für diese Abweichungen sind nicht klar und können nur durch eine erneute Messung in diesem Labor untersucht werden. Die Resultate der zwei Labors, die in Fig. 8 mit grünen Punkten markiert sind, weisen darauf hin, dass vermutlich in diesen zwei Labors mit eingeschalteter Schutzleiternachbildung gemessen wurde (Siehe 3.2.2 Schutzleiternachbildung). Diese Werte wurden bei der Mittelwertberechnung ebenfalls nicht berücksichtigt. Andere mögliche zusätzliche Einflussfaktoren, die hauptsächlich oberhalb 15 MHz wirksam sind, werden in 3.2.3 bis 3.2.7 weiter untersucht.

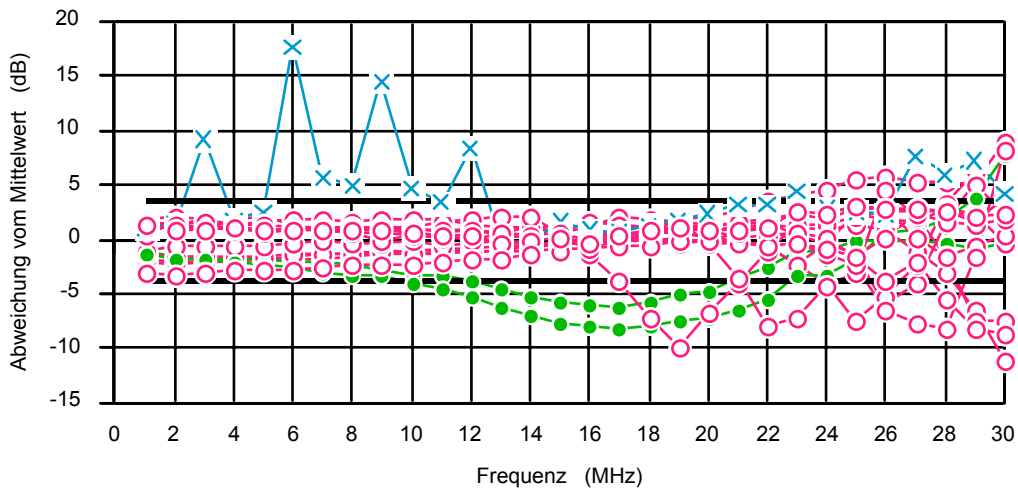


Fig.8 Messresultate mit Prüflingstyp 2 (Eingekoppelt und gemessen auf dem Nulleiter)

### 2.3. Messung Prüflingstyp 3 (symmetrische Störquelle)

Die Resultate dieser Messung sind in Fig. 9 und 10 dargestellt. Da bei symmetrischer Störquelle die Messung auf Phase und Nulleiter ähnlich hohe Werte ergibt, wurden im Ringversuch beide Messungen durchgeführt.

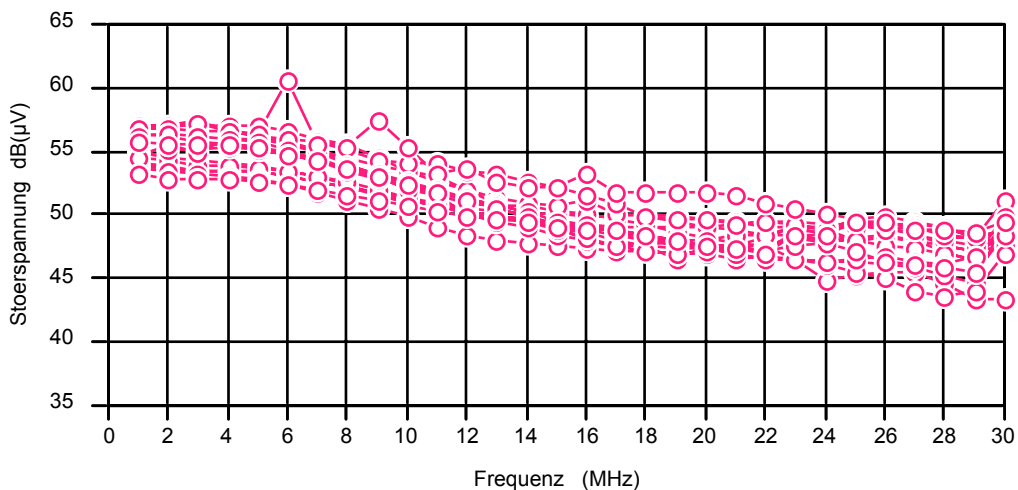


Fig.9 Messresultate mit Prüflingstyp 3 (Symmetrische Störquelle, gemessen auf Phase)

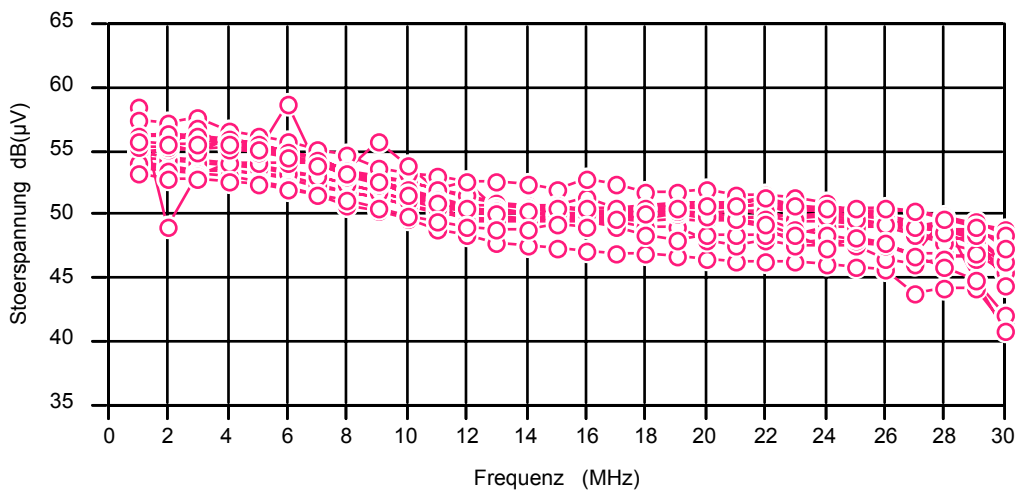


Fig.10 Messresultate mit Prüflingstyp 3 (Symmetrische Störquelle, gemessen auf Nulleiter)

In Fig. 11 und 12 ist die Abweichung vom Mittelwert der erreichten Resultate dargestellt. Die mit blauen Kreuzen markierten Werte stammen vom gleichen Labor, das bei der Messung an Prüflingstyp 2 als Ausreisser deklariert wurde.

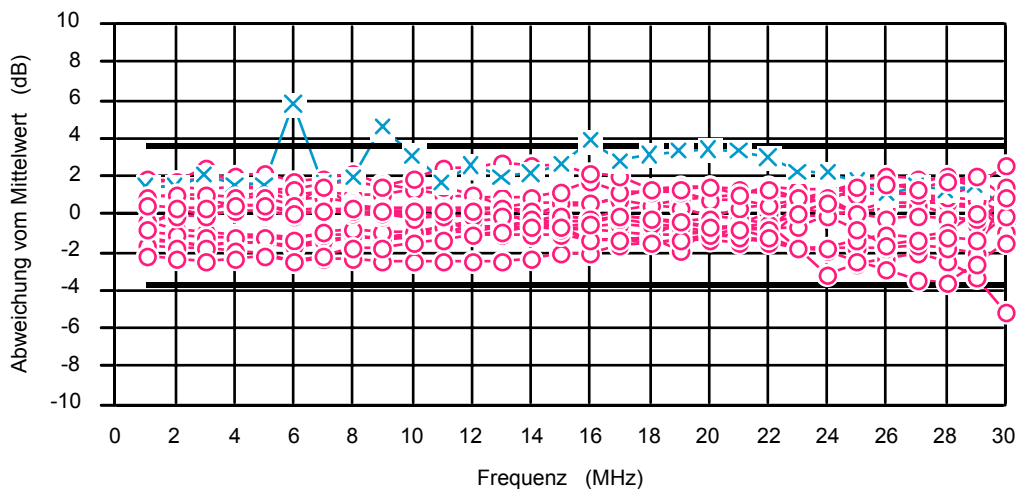


Fig.11 Messresultate mit Prüflingstyp 3 (Symmetrische Störquelle, gemessen auf Phase)

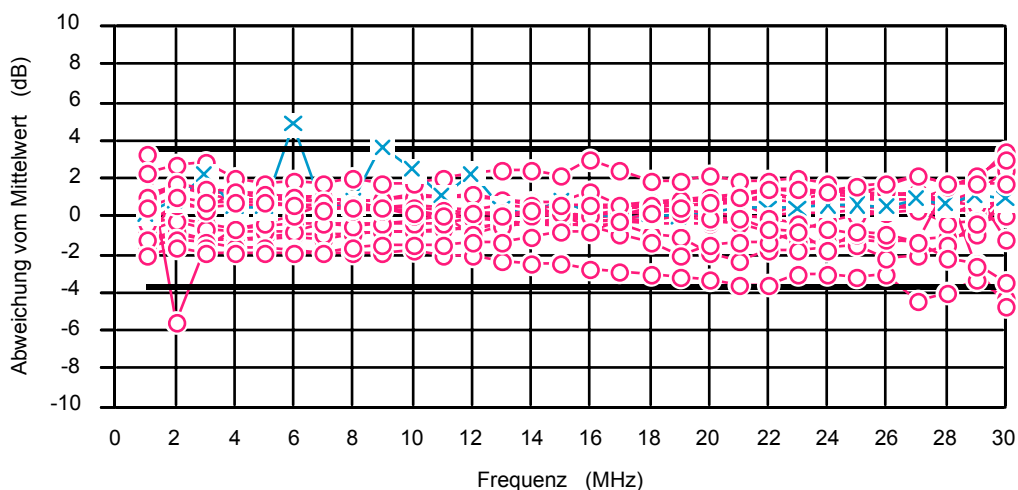


Fig.12 Messresultate mit Prüflingstyp 3 (Symmetrische Störquelle, gemessen auf Nulleiter)

Die Resultate der Messungen mit Prüflingstyp 3 sind mit einigen Ausnahmen im Bereich der erwarteten Streuung. Die zusätzlichen Einflussfaktoren, die beim Prüflingstyp 1 und 2 eine Rolle spielten, sind offenbar bei diesem Prüflingstyp weniger wirksam.

## 2.4. Zusatzmessung 1: Störquelle direkt an Messempfänger

Die Abweichung der Resultate vom Mittelwert bei der Zusatzmessung 1 (Messempfänger) sind in Fig. 13 und 14 dargestellt. Der Vergleich mit  $U_{\text{CISPR}}$  ist hier nicht mehr angebracht, da die Streuung des Messempfängers nur einen Teil von  $U_{\text{CISPR}}$  ausmacht.

Die Abweichung des mit grünen Quadraten markierten Labors ist über den ganzen Frequenzbereich konstant und wird in 3.2.1. erklärt. Drei andere Labors haben im Frequenzbereich 1 MHz bis 30 MHz Abweichungen von bis ca. 2.5 dB (mit blauen Punkten markiert). Wenn diese 4 Labors für die Berechnung des Mittelwertes ausgeschlossen werden, sind die Abweichungen vom Mittelwert kleiner als 1.3 dB und die Streuung der Ergebnisse liegt zwischen 0.5 dB (bei 1 MHz) und 0.73 dB (bei 30 MHz).

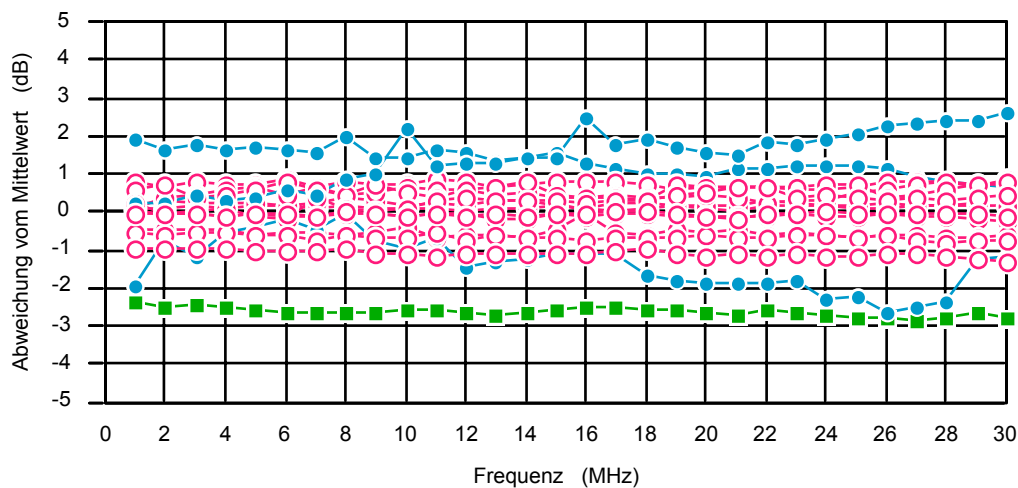


Fig. 13 Zusatzmessung 1: Störquelle direkt an Messempfänger, Frequenzbereich 1 MHz bis 30 MHz

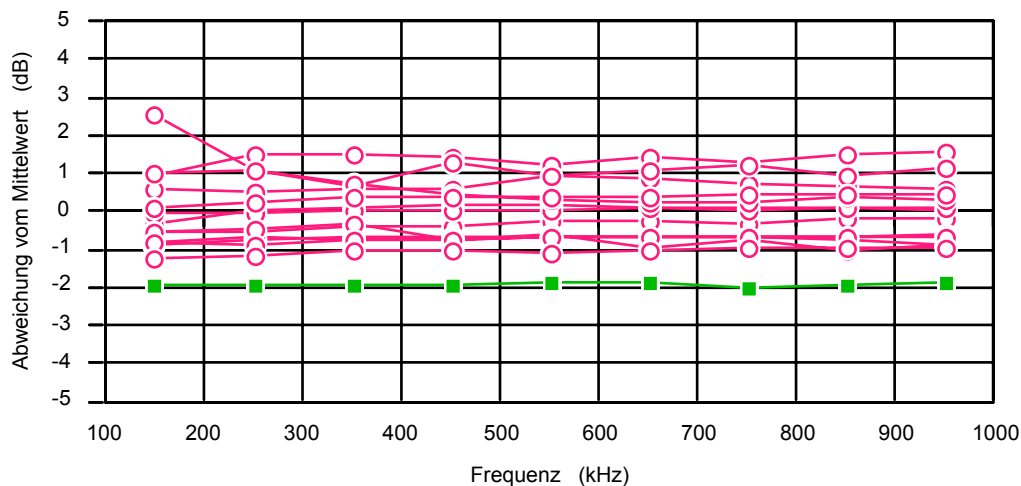


Fig. 14 Zusatzmessung 1: Störquelle direkt an Messempfänger, Frequenzbereich 150 kHz bis 1 MHz

## 2.5. Zusatzmessung 2: Störquelle direkt an Netznachbildung

Die Abweichung der Resultate vom Mittelwert bei der Zusatzmessung 2 (Netznachbildung direkt) sind in Fig. 15 und 16 dargestellt.

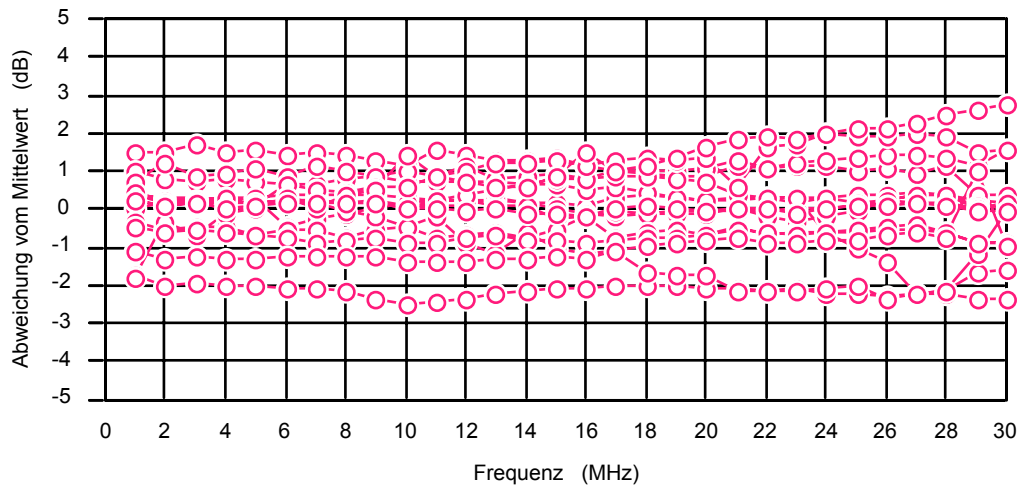


Fig. 15 Störquelle direkt an Netznachbildung, Einkopplung und Messung an Nulleiter

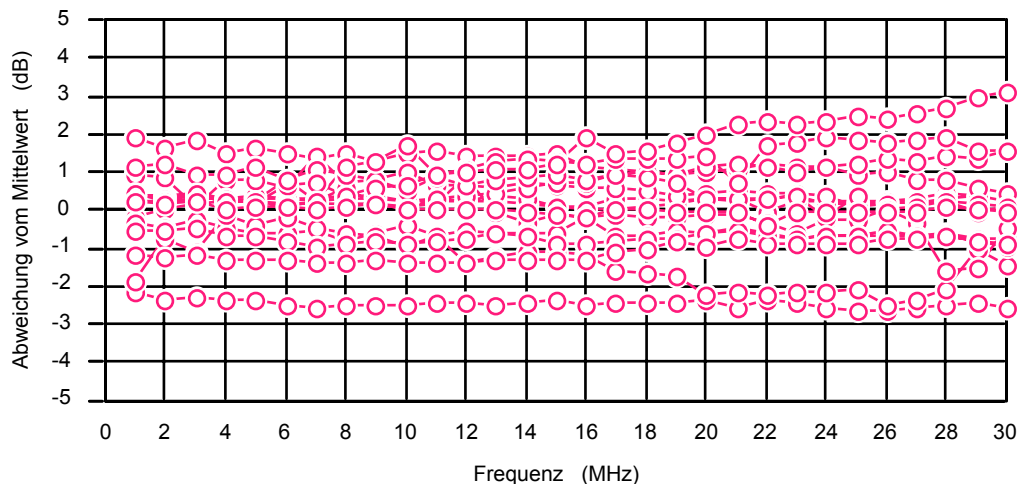


Fig. 16 Störquelle direkt an Netznachbildung, Einkopplung und Messung an Phase

Wenn die Resultate individuell mit den in Fig 13 gezeigten Werten korrigiert werden, so werden die Unterschiede der Messempfänger kompensiert. (Fig.17 und 18) Die Streuung bei tieferen Frequenzen ist so deutlich reduziert und der Einfluss der Netznachbildung wird sichtbar.

Einzig bei dem in Fig. 17 und 18 mit blauen Sternen markierten Labor zeigt sich eine deutliche Abweichung oberhalb 20 MHz. Die Ursache für diese Abweichung könnte darin liegen, dass in diesem Labor eine Netznachbildung verwendet wurde, bei welcher der Masseanschluss des Adapters nicht passt und deshalb die Masseverbindung improvisiert werden musste.

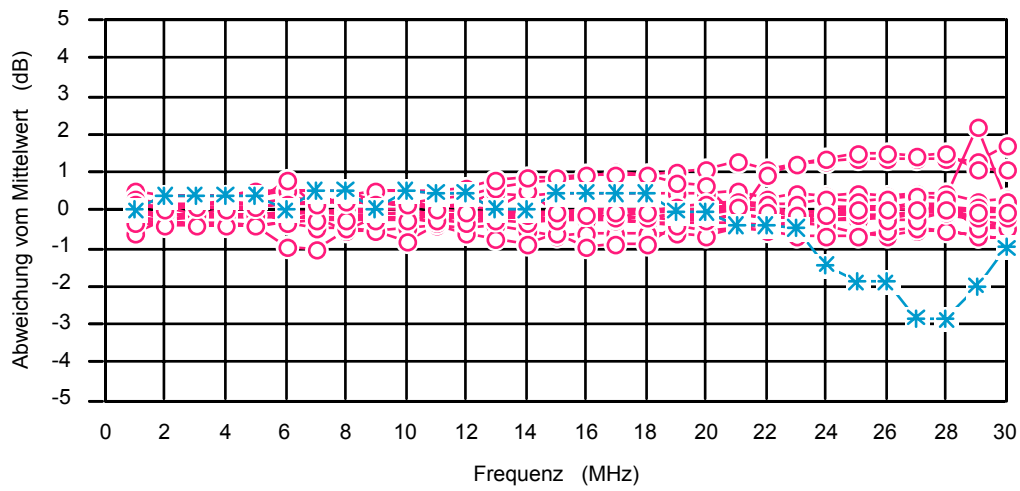


Fig.17 Gleiche Messung wie Fig.15, Unterschiede der Messempfängerkalibrierung kompensiert

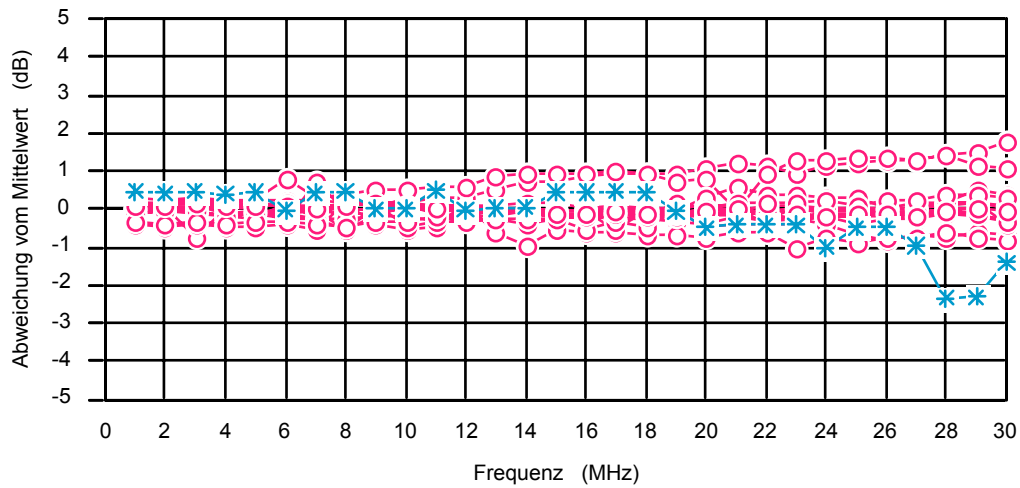


Fig.18 Gleiche Messung wie Fig.16, Unterschiede der Messempfängerkalibrierung kompensiert

### 3 Zusätzliche Vergleichsmessungen bei METAS

#### 3.1. Stabilität des Referenzprüflings

##### 3.1.1. Kontrollmessungen bei METAS

Zur Kontrolle der Stabilität des Referenzprüflings wurde dieser mit wenigen Ausnahmen nach jeder Messung zu METAS zurückgeholt und die Zusatzmessung 1 (Messem Empfänger direkt an Generator) wiederholt. In Fig. 19 ist die Abweichung der Wiederholungsmessungen von der Ersten Messung dargestellt. Dabei zeigte die 10. Wiederholungsmessung eine deutliche Abweichung. Eine genauere Analyse ergab, dass der 20 dB Attenuator zerstört war. Ursache der Zerstörung war vermutlich ein Spannungstransient beim Umschalten oder Kontaktieren der Netznachbildung für die Zusatzmessung 2. Im Adapter für die Netznachbildung sollte deshalb eine geeignete Schutzschaltung eingebaut werden. Nach der Reparatur war das Resultat wieder im Streubereich der vorangehenden Messungen. Die Resultate des letzten Labors vor dieser 10. Kontrollmessung liegen im Rahmen der Streuung und wurden in der Auswertung normal Berücksichtigt.

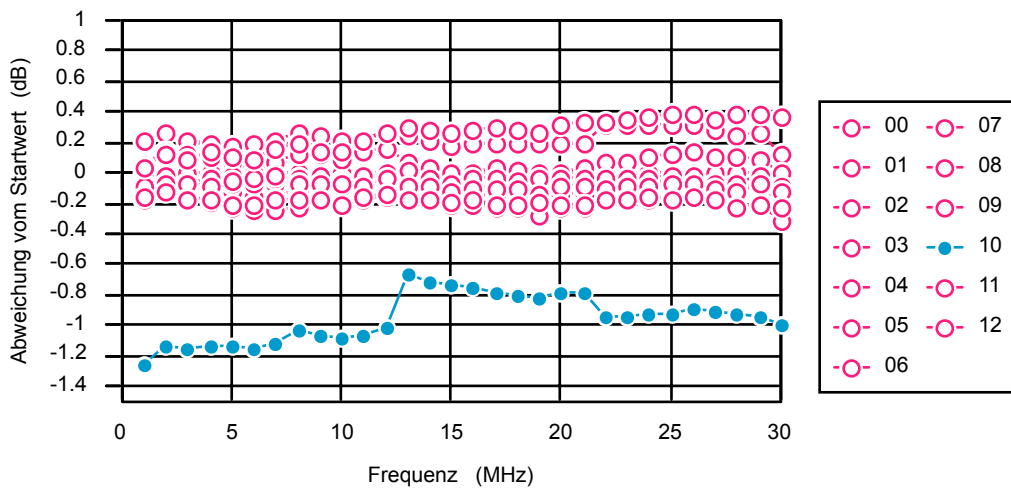


Fig. 19 Kontrollmessungen am Generatorausgang bei METAS

##### 3.1.2. Temperatureinfluss

Zur Kontrolle der Stabilität wurde zusätzlich der Temperatureinfluss auf die Störquelle gemessen.

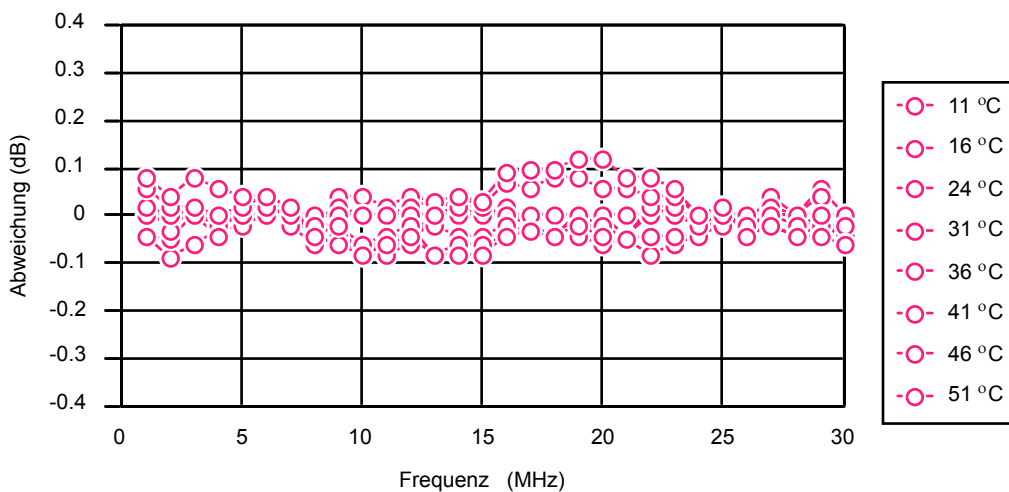


Fig.20 Abweichung der Störquelle gegenüber der Messung bei 24 °C

### 3.1.3. Einfluss der Netzspannung

Zur Kontrolle der Stabilität wurde zusätzlich der Einfluss der Netzspannung auf die Störquelle gemessen.

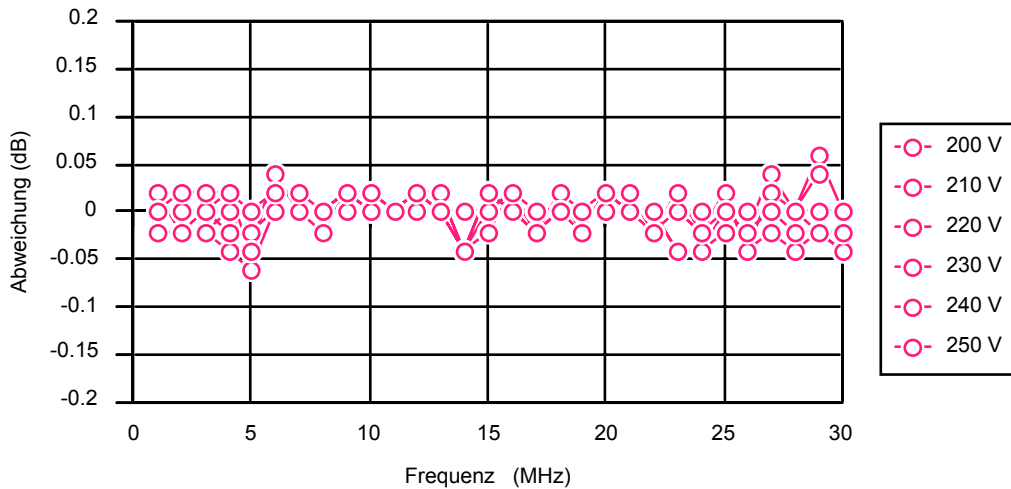


Fig.21 Einfluss der Netzspannung auf die Störquelle

## 3.2. Einflussfaktoren bei der Messung

Damit die Resultate einfach verglichen werden können, wurde in allen Figuren ab Fig. 23 die gleiche Skalierung von -15 dB bis +20 dB verwendet wie sie auch in Fig. 8 (Ringversuch, Prüflingstyp 2) verwendet wurde.

### 3.2.1. Drift des Messempfängers

Ein Labor zeigte eine auffällige generelle Abweichung bei der Zusatzmessung 1. Als mögliche Ursache wurde zuerst der beim Empfänger vorgeschaltete Begrenzer mit 10 dB Dämpfung vermutet. Eine Nachmessung der Dämpfung dieses Begrenzers ergab aber Abweichungen von weniger als 0.2 dB. In der Diskussion mit dem Labor ergab sich eine andere Erklärung: Wenn der Messempfänger kurz nach dem Einschalten mit der eingebauten automatischen Vollkalibration abgeglichen wird, geht die nachfolgende thermische Drift voll in das Messergebnis ein. Ein entsprechender Versuch bei METAS mit dem gleichen Empfängertyp (ESH3) zeigte das in Fig.22 dargestellte Verhalten nach dem Einschalten.

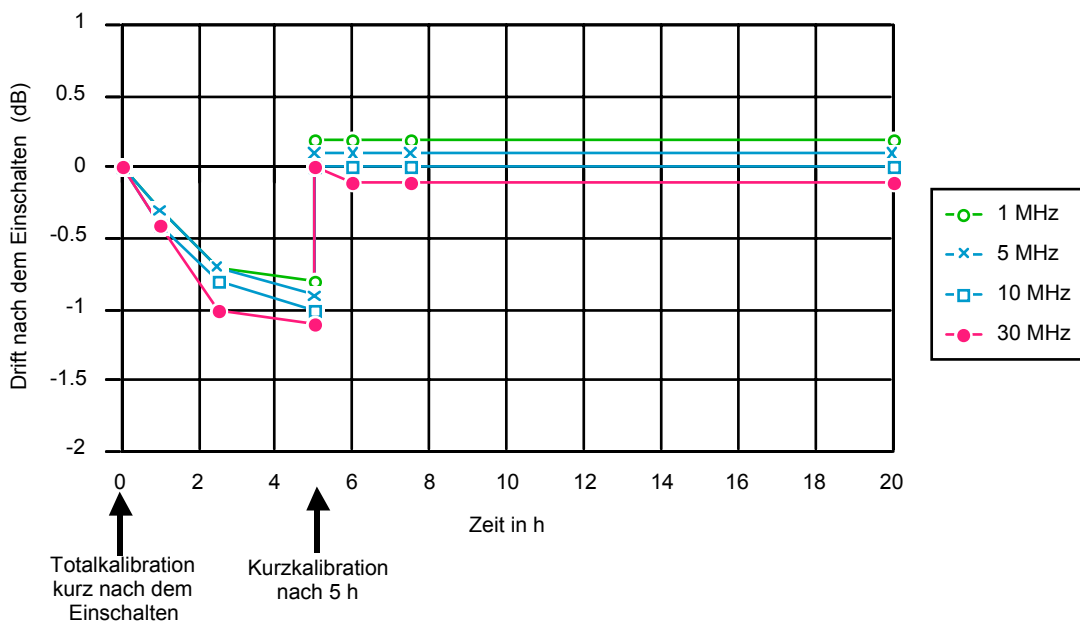


Fig.22 Zeitlicher Verlauf acht gemessener Frequenzen nach dem Einschalten

Das betreffende Labor hat diesen Versuch mit dem eigenen Messempfänger wiederholt und eine Drift von bis zu ca. 2.5 dB festgestellt. Da für die Ringversuchsmessung der Empfänger kurz nach dem Einschalten mit der automatischen Totalkalibrierung abgeglichen worden war, ist damit die systematische Abweichung dieses Labors im Ringversuch erklärt (grüne Quadrate in Fig. 5, 13 und 14).

### 3.2.2. Schutzleiternachbildung 50 Ω / 50 μH

Die gebräuchlichen Netznachbildungen enthalten die Möglichkeit, eine Schutzleiternachbildung nach VDE0877 von 50 Ω / 50 μH in den Schutzleiter einzuschalten. Bei Messungen nach CISPR 22 ist diese Schutzleiternachbildung nicht vorgesehen. Als Referenzwert wird deshalb in den nachfolgenden Vergleichsmessungen die Messung ohne Schutzleiternachbildung verwendet. Fig. 23 zeigt die Abweichung durch das Einschalten der Schutzleiternachbildung.

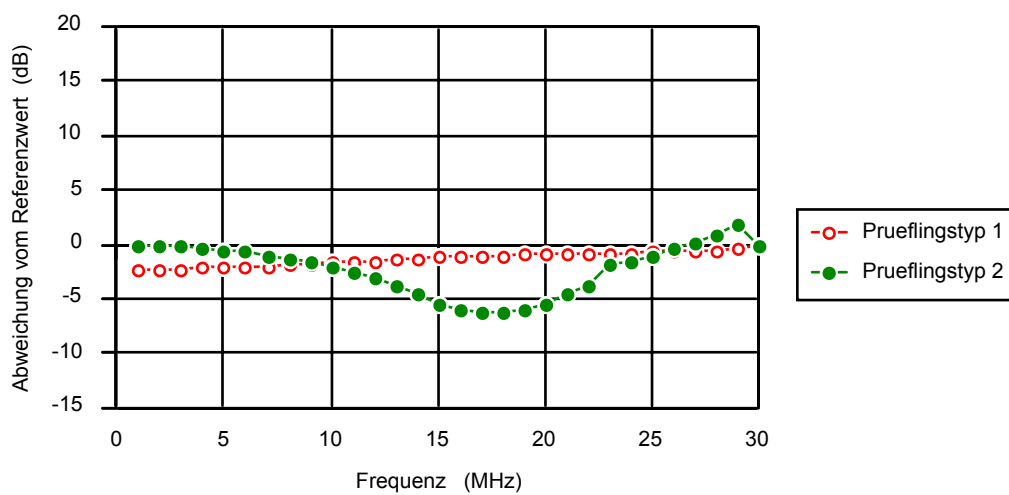


Fig. 23 Abweichung vom Referenzwert bei Messung mit Schutzleiternachbildung

Der Unterschied ist bei Prüflingstyp 2 (hochohmige Einkopplung im Referenzprüfling) deutlich grösser als bei Prüflingstyp 1 (niederohmige Einkopplung im Referenzprüfling). In Fig. 8 (Messung mit Prüflingstyp 2) haben zwei Labors eine Abweichung, die ziemlich genau diesem Bild für Prüflingstyp 2 entspricht. Es ist anzunehmen, dass diese beiden Labors mit eingeschalteter Schutzleiterdrossel gemessen haben.

In den nachfolgenden Vergleichsmessungen wurden alle geprüften Konfigurationen jeweils mit Prüflingstyp 1 und 2, sowie mit und ohne Schutzleiternachbildung gemessen.

Als Referenz wird in 3.2.3. bis 3.2.6 die Messung in Normalaufstellung nach Fig. 24 verwendet:

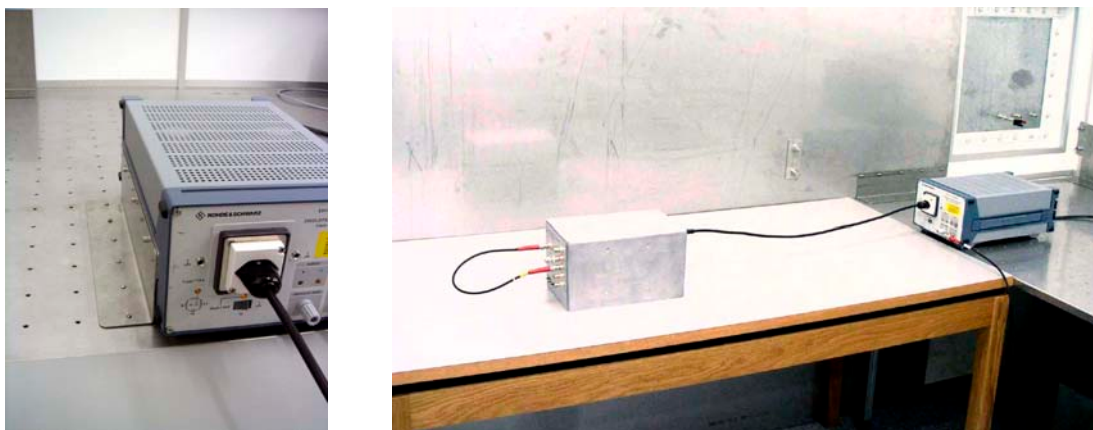


Fig. 24 Normalaufstellung als Referenz für die Vergleichsmessungen in 3.2.3 bis 3.2.6

### 3.2.3. Bündelung des Prüflingskabels

Bereits in den Vorversuchen hatte sich gezeigt, dass die Bündelung des Netzkabels insbesondere bei Prüflingstyp 2 einen deutlichen Einfluss auf das Messresultat hat. Deshalb wurde für den Ringversuch ein auf 80 cm verkürztes Netzkabel mitgegeben, so dass dieser Einfluss im Ringversuch eliminiert ist.

Hier sind einige Messungen dokumentiert, die den Einfluss der Bündelung zeigen.



a: Auf 80 cm gekürztes Netzkabel (Referenz)



b: Mäanderförmig gebündeltes Netzkabel



c: Eng gebündeltes Netzkabel



d: Weit ausgelegtes Netzkabel

Fig. 25 Verschiedene Bündelungsvarianten des Netzkabels

Die gemessenen Abweichungen der Messresultate durch die Bündelung sind in Fig. 26 zusammengestellt. Als Referenzwert wird die Messung mit dem verkürzten Netzkabel verwendet (Fig. 25a).

Falls der Schutzleiter bei der Netznachbildung ohne Schutzleiternachbildung direkt mit Masse verbunden wird (dies ist nach CISPR22 so vorgeschrieben), sind die Abweichungen durch die Bündelung sind für den Prüflingstyp 1 ca. +/- 7 dB, für den Prüflingstyp 2 ca. +/- 17 dB.

Nach Norm ist die Bündelung erlaubt. Daraus resultiert je nach Prüflingstyp eine beträchtliche zusätzliche Messunsicherheit.

Wenn in der Norm die Anwendung der Schutzleiternachbildung fest vorgeschrieben würde, könnte dieser Beitrag zur Messunsicherheit auf weniger als die Hälfte reduziert werden.

Es stellt sich die Frage, ob eine Aufstellung analog zu IEC61000-4-6 mit 10 cm Distanz zur Massefläche und 10 cm bis 30 cm Abstand zur Netznachbildung (ohne Bündelung) nicht viel zuverlässigere Resultate geben würde, ohne dass der Aufwand für die Prüfung viel grösser wäre, insbesondere, wenn sowieso auch noch Messungen nach IEC61000-4-6 gemacht werden.

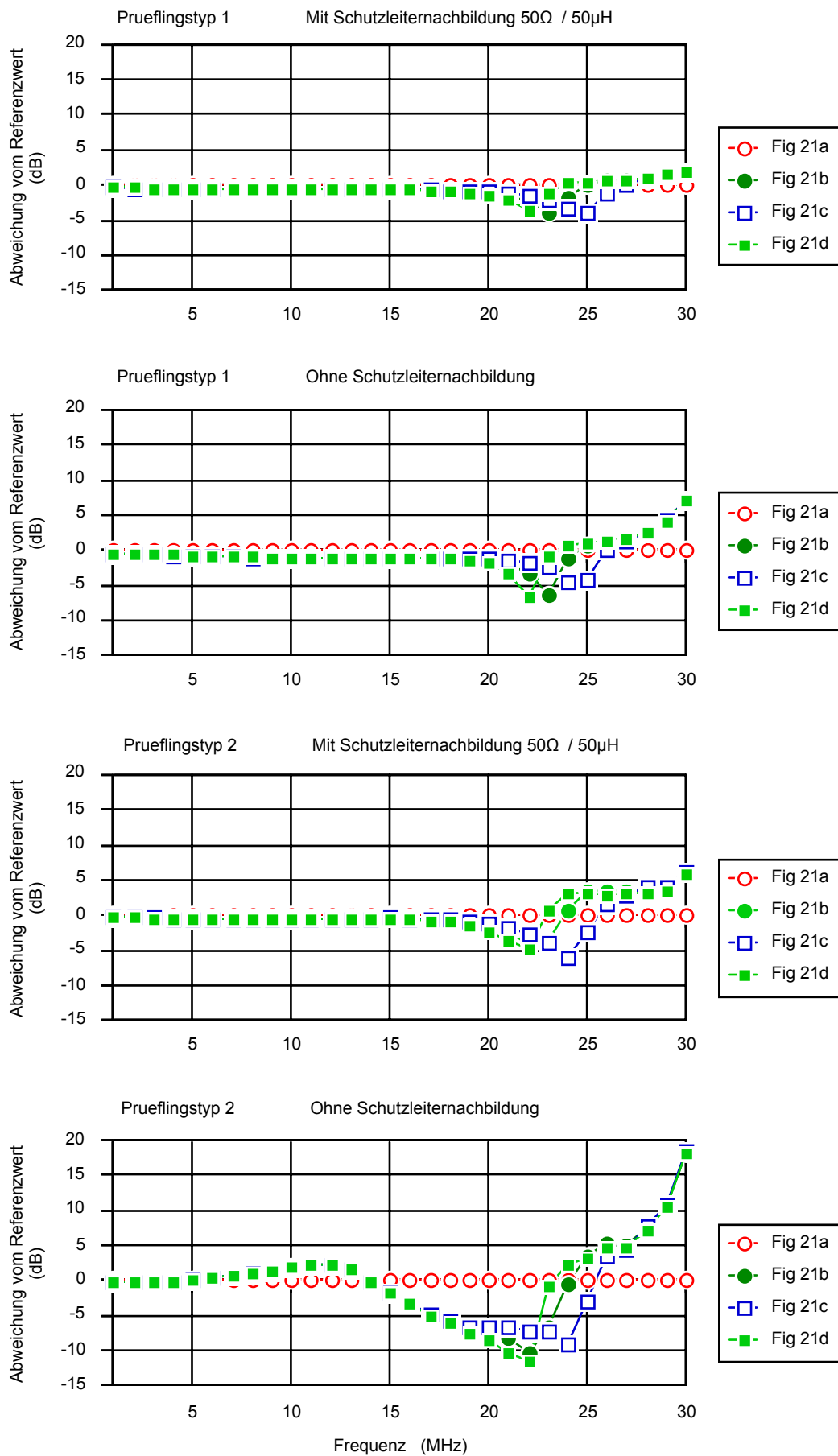


Fig. 26 Messresultate bei unterschiedlichen Bündelungsvarianten des Netzkabels  
 Als Referenz wird die Messung mit gekürztem Netzkabel (Fig. 25a) verwendet

Als Ergänzung der Messungen in Fig. 26 wurde mit der Bündelung nach Fig. 25b ( Mit Prüflingstyp 2, ohne Schutzleiternachbildung) die Distanz des Prüfling zur Wand („vertical reference plane“) verändert.

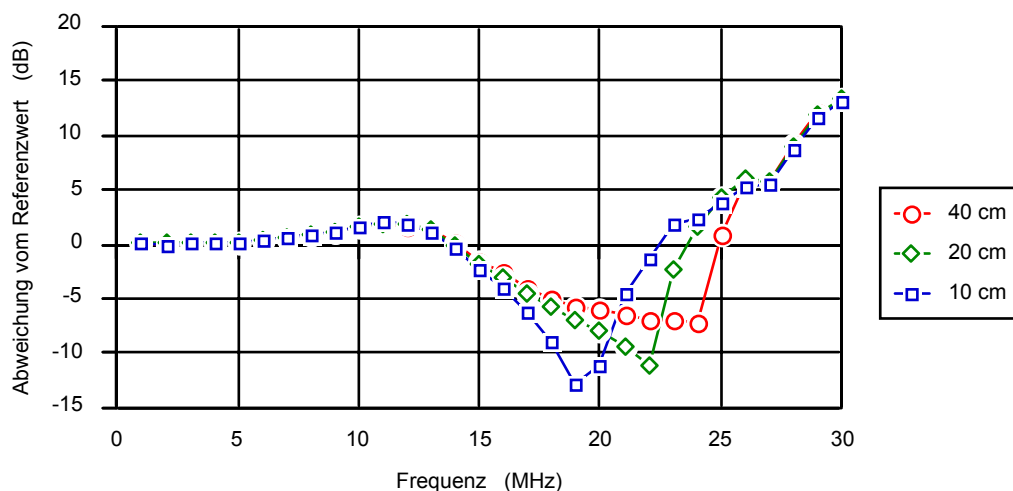


Fig. 27 Variation des Prüflingsabstands zur Wand (Prüflingstyp 2, Kabel 1.8 m, gebündelt nach Fig. 25b)

Die Abweichung im Frequenzbereich 15 MHz bis 25 MHz erscheint wie ein Resonanzkreis, gebildet aus der Kapazität des Prüflings gegen die Wand und der Induktivität des Netzkabels. Wenn der Prüfling näher zur Wand kommt, so steigt die Kapazität und die Resonanzfrequenz sinkt. Oberhalb von 25 MHz ist die Abweichung nicht abhängig von der Distanz zur Wand.

### 3.2.4. Massebezug des Prüflings

Bei gewissen Prüflingen ist ein separater Massebezug vorgesehen. Der Referenzprüfling des Ringversuchs ist über den Schutzleiter geerdet und ein separater Massebezug war für diese Messung nicht vorgesehen.

Die Abweichung des Messresultates durch eine zusätzliche Erdung des Prüflings ist in Fig. 28 dargestellt. Als Referenz wird die Messung mit verkürztem Netzkabel in der Normalaufstellung von Fig. 24 ohne zusätzliche Erdung verwendet.

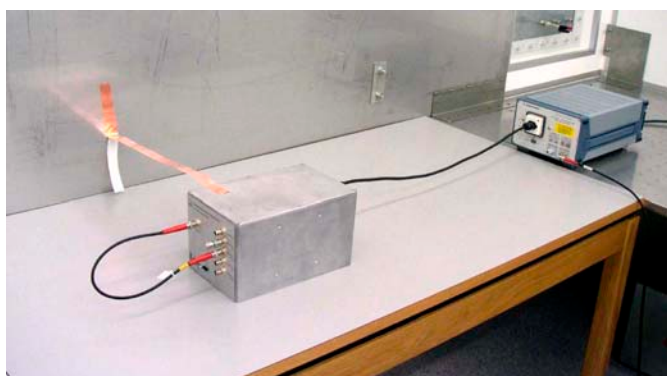


Fig. 28 Zusätzliche Erdung des Prüflings

Auch in diesem Fall kann die Abweichung deutlich reduziert werden, wenn die Schutzleiternachbildung verwendet wird.

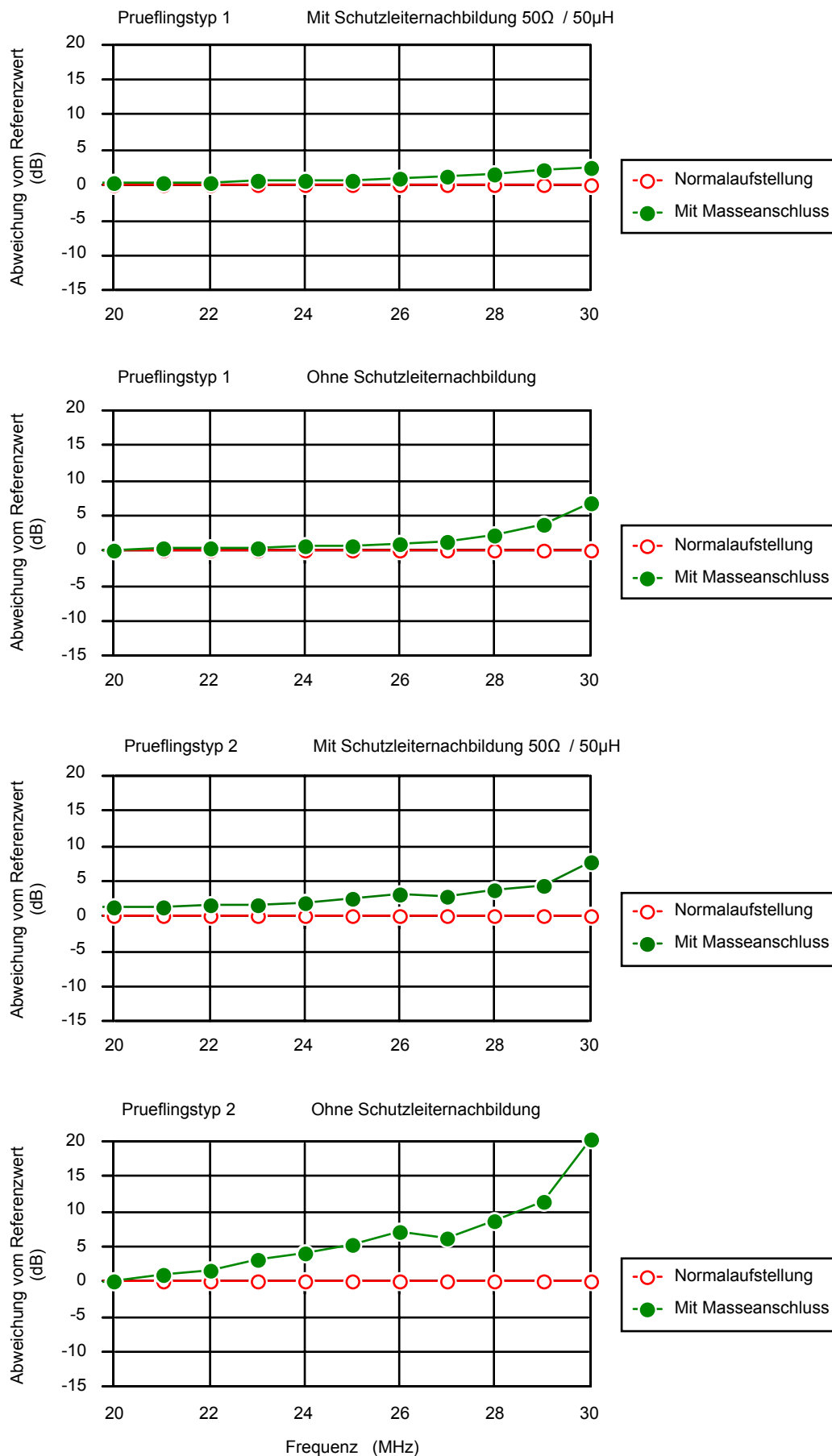


Fig. 29 Abweichungen von der Referenz, wenn der Prüfling zusätzlich geerdet wird

### 3.2.5. Massebezug der Netznachbildung

Der Massebezug der Netznachbildung hat ebenfalls einen Einfluss auf das Messresultat. Als Referenz in diesem Vergleich wurde ein Messaufbau in einer Schirmkabine (Raum 1) verwendet, bei dem die Netznachbildung mit einem Blechwinkel direkt über eine grossflächige Metallplatte mit der Wand der Schirmkabine kontaktiert ist (Fig. 24, 30a).

Die schlecht geerdete Netznachbildung wurde dadurch simuliert, dass die Netznachbildung ausserhalb der Metallplatte auf dem Holztisch aufgestellt war und nur über ein kurzes Massekabel (Fig. 30b und c), oder über den Schutzleiter des Netzkabels geerdet ist. (Fig. 30d).



a: Referenzmessung  
Netznachbildung mit Blechwinkel  
an Metallplatte



b: Kurze Masseverbindung zum  
Erdanschluss an der Rückseite  
der Netznachbildung (15 cm)



c: Kurze Masseverbindung zum  
Erdanschluss an der Vorderseite  
der Netznachbildung (40 cm)



d: Masseverbindung nur über  
Schutzleiter des  
Netzanschlusses (1.5 m)

Fig. 30 Netznachbildung mit unterschiedlichem Massebezug

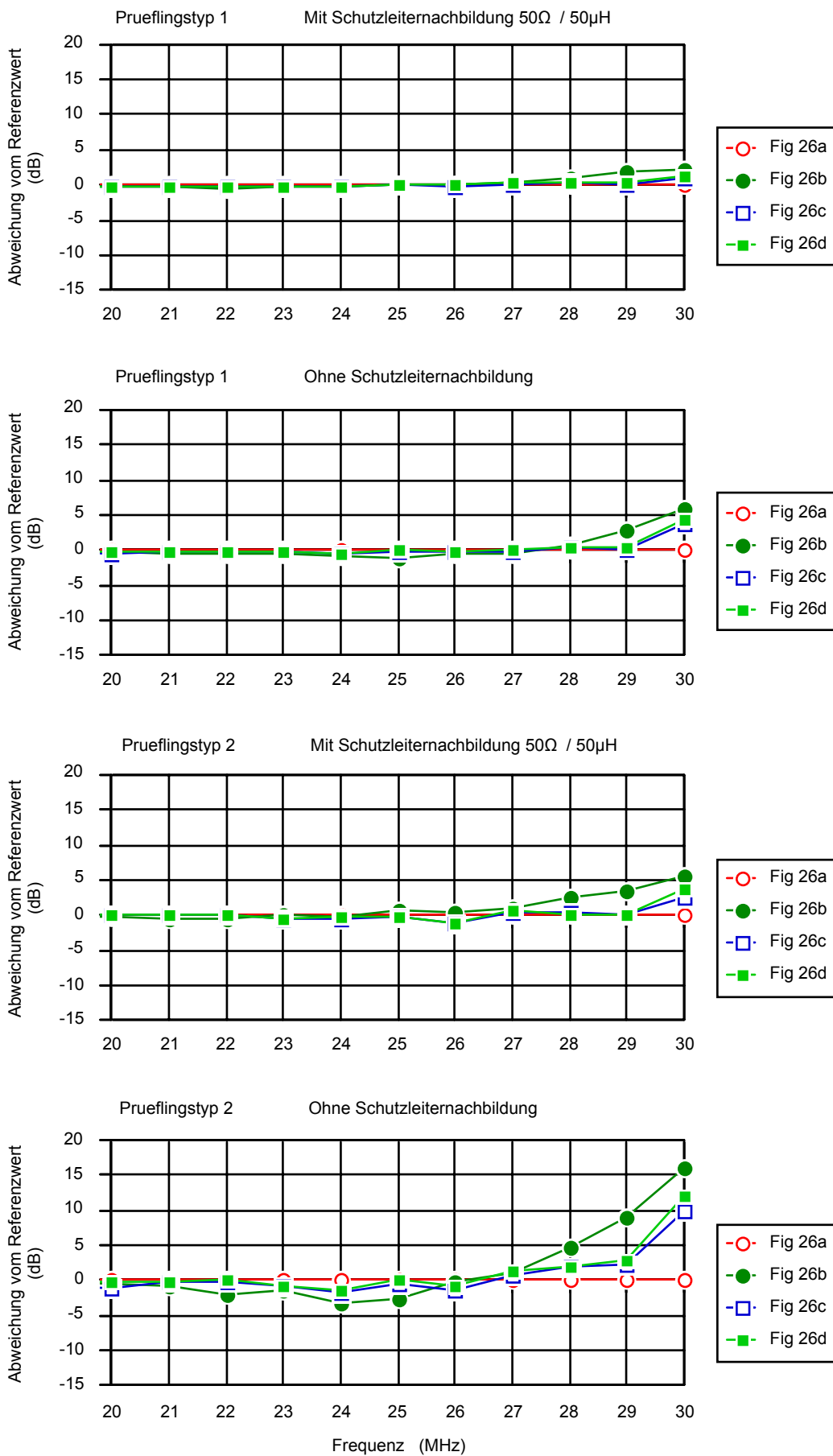


Fig. 31 Unterschiedlicher Massebezug der Netznachbildung (Referenz: Fig. 30a)

### 3.2.6 Metallteile in der Nähe des Prüflings

Falls sich Metallteile in der Nähe des Prüflings befinden, kann dies die Messung ebenfalls beeinflussen.

Als Beispiel wurde eine Metallbox unter dem Holztisch mit dem Prüfling angeordnet (Fig 32) und die Abweichung des Messresultates von der Messung in der Normalaufstellung (In Raum 1) registriert.

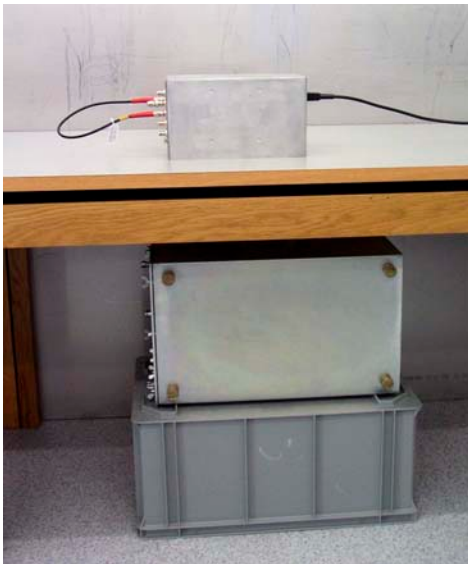


Fig. 32 Metallbox unter dem Prüfling

Die dadurch entstehenden Abweichungen sind in Fig. 33 dargestellt. Die Abweichungen vom Referenzwert sind auch in diesem Fall abhängig vom Prüflingstyp und davon, ob die Schutzleiternachbildung von  $50 \Omega / 50 \mu\text{H}$  eingeschaltet ist oder nicht.

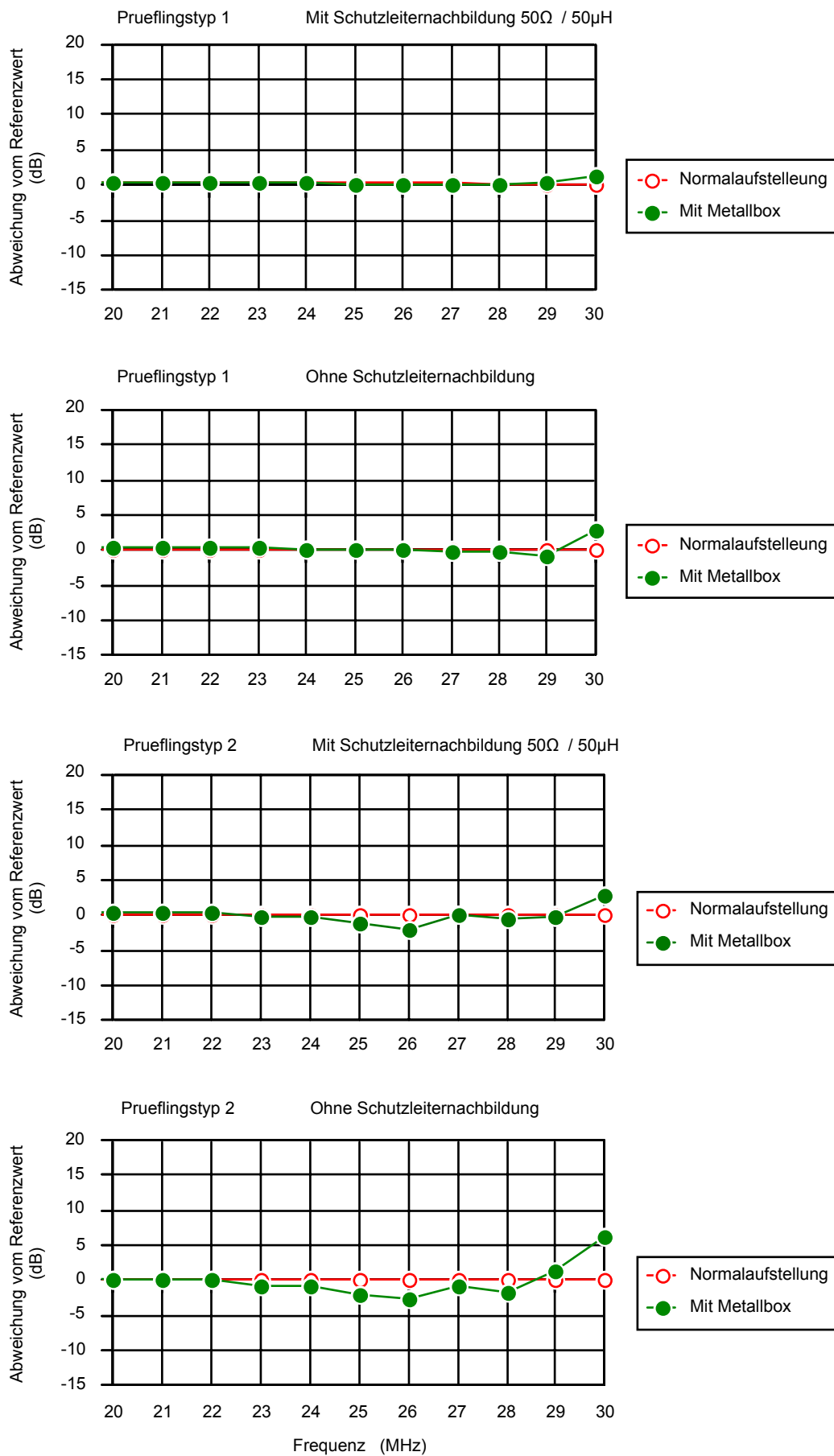


Fig. 33 Beeinflussung durch Metallteile in der Nähe des Prüflings

### 3.2.7 Einfluss des Messraumes

Während der Vergleichsmessungen bei METAS haben wir festgestellt, dass die Resultate auch davon abhängig sind, in welchem Messraum und wo in diesem Messraum gemessen wird. Deshalb haben wir die Messung in drei verschiedenen Schirmkabinen und soweit möglich auch an verschiedenen Positionen durchgeführt. Ausserdem haben wir die Messung auch mit der vertikalen Referenzfläche nach CISPR Publ 16-2-1, Fig. 6 in zwei verschiedenen Umgebungen durchgeführt.

Die Norm CISPR 16-2-1 verlangt eine Massebezugsfläche von mindestens 2 m mal 2 m Fläche. Der Prüfling soll in 40 cm Abstand zu dieser Fläche und in 80 cm Abstand zur Netznachbildung aufgestellt werden. Die Netznachbildung soll direkt mit der Massebezugsfläche verbunden sein. Alle anderen Metallteile und Metallflächen sollen mindestens 80 cm von der Massebezugsfläche entfernt sein. Über die Grösse und Eigenschaften der Schirmkabine sind keine weiteren Angaben gemacht.

Alle für diese Vergleichsmessung verwendeten Umgebungen entsprechen voll den Anforderungen der Norm. (Ausnahme: die Breite der Metallwand für Messung 6 und 7 war in unserem Fall nur 1.5m).

Dabei stellte sich die Frage, welche dieser Messungen als Referenz verwendet werden soll. Deshalb wurde eine Messung in der Absorberhalle mit Metallboden (Prüfling 40 cm über dem Metallboden, Netznachbildung mit dem Metallboden verbunden) durchgeführt und diese Messung (ohne Schutzleiternachbildung) als Referenz verwendet.

Messung 1 und 2:	Raum 1: Schirmkabine der Grösse 4.8 m / 4.2 m / 2.7 m (2 Positionen)
Messung 3 und 4:	Raum 2: Schirmkabine der Grösse 4.2 m / 2.2 m / 2.7 m (2 Positionen)
Messung 5:	Raum 3: Schirmkabine der Grösse 2.8 m / 2.2 m / 2.6 m (1 Position)
Messung 6:	Metallwand 2 m x 1.5 m aufgestellt in Laborumgebung
Messung 7:	Metallwand 2 m x 1.5 m aufgestellt im Absorberraum ohne Metallboden (FAR)



Fig. 34 Aufstellung für die Referenzmessung in der Absorberhalle mit Metallboden

Bemerkung: Das Bild für Fig. 34 wurde ohne Metallboden aufgenommen. Für die Referenzmessung zu den in Fig. 35 dargestellten Resultaten war der gleiche Aufbau über dem Metallboden aufgestellt.

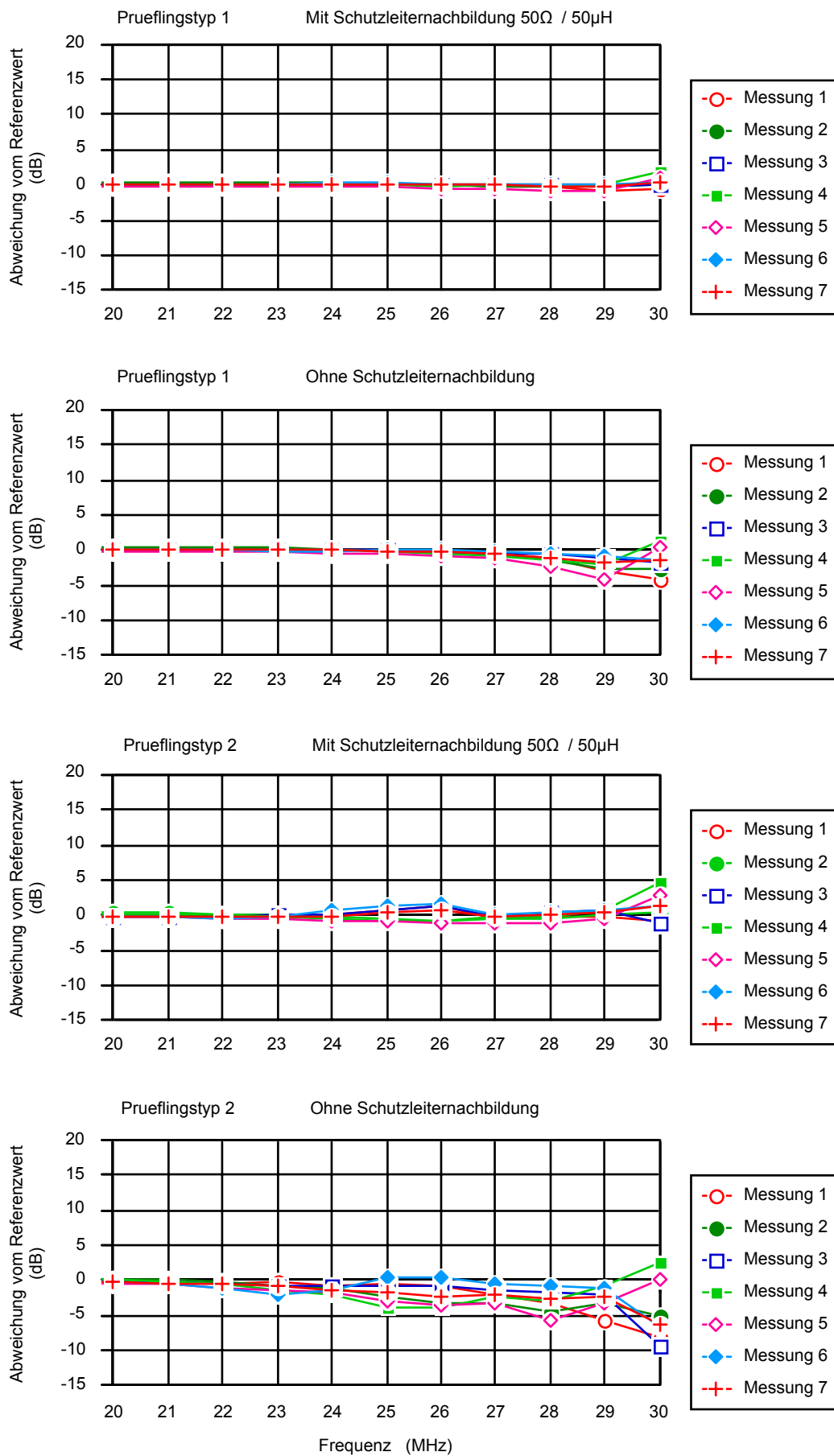


Fig. 35 Messungen in verschiedenen Messumgebungen (Verschiedene Schirmkabinen, verschiedene Positionen in der Schirmkabine, Massefläche nach CISPR 16-2-1 in unterschiedlicher Aufstellung)

Die Aufstellung der Metallwand für die Messung 6 und 7 ist in Fig. 36 und Fig. 37 abgebildet.



Fig. 36 Metallwand in Laborumgebung  
(Messung 6)



Fig. 37 Metallwand in Absorberhalle (FAR)  
(Messung 7)

Die Messungen 6 und 7 mit Metallwand sind in Fig. 38 noch einmal separat dargestellt, Es fällt auf, dass die Abweichungen eher kleiner sind als die Abweichungen der Messung in den geschirmten Räumen (Messung 1 bis 5 in Fig. 35).

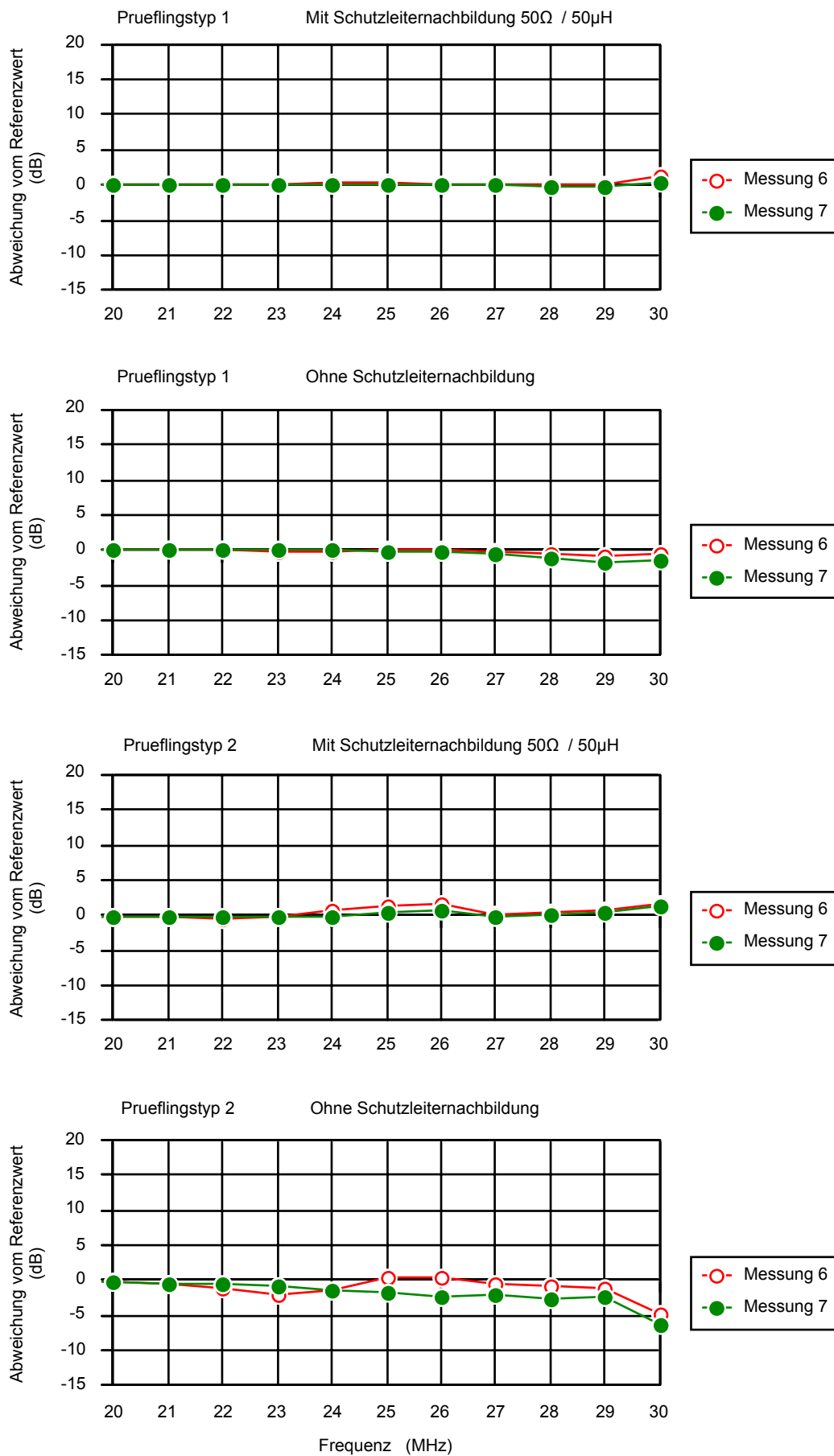


Fig. 38 Messungen mit Metallwand nach CISPR 16-2-1 Fig 6

## 4 Zusammenfassung

### 4.1 Ergebnisse der Ringversuchsteilnehmer

Im Frequenzbereich unterhalb von 20 MHz sind die Abweichungen mit wenigen Ausnahmen im Rahmen der von CISPR 16-4-2 vorgesehenen Messunsicherheiten  $U_{\text{CISPR}}$ . Die Ausnahmen konnten in drei Fällen durch die Zusatzmessungen geklärt werden, in einem Fall ist die Ursache nicht klar. Die Messung dieses Labors wurde als Ausreisser deklariert.

Im Frequenzbereich oberhalb von 20 MHz sind die Abweichungen teilweise deutlich grösser. In Tabelle 1 sind die höchsten Werte für jeden Prüflingstyp festgehalten. Die als Ausreisser deklarierten Messungen wurden dabei nicht berücksichtigt. Die höchsten Differenzen sind jeweils bei 30 MHz festzustellen.

	Standardabweichung (bei 30 MHz)	Höchste Abweichung vom Mittelwert	Höchste Differenz zwischen Maximalwert und Minimalwert
Prüflingstyp 1 (Niederohmig)	3.1 dB	7.6 dB	11.4 dB
Prüflingstyp 2 (Hochohmig)	6.3 dB	11.0 dB	19.9 dB
Prüflingstyp 3 (Symmetrisch)	2.7 dB	5.5 dB	8.3 dB

Tabelle 1: Streubereich der Messresultate im Ringversuch

Die höchste Abweichung sollte mit 95 % Wahrscheinlichkeit kleiner sein als  $U_{\text{CISPR}}$  (3.6 dB) und die Standardabweichung sollte kleiner sein als  $\frac{1}{2} U_{\text{CISPR}}$  (1.8 dB). Dies ist nicht der Fall und es wird klar, dass die in CISPR 16-4-2 angegebene erweiterte Messunsicherheit  $U_{\text{CISPR}}$  nicht alle bei der Messung wirksamen Einflussfaktoren berücksichtigt. Die tatsächliche Messunsicherheit ist deutlich grösser als 3.6 dB. (In CISPR 16-4-1 wird diese als „Standard compliance uncertainty“ bezeichnet)

### 4.2 Ergebnisse der Zusatzmessungen bei METAS

Die Überprüfung der Stabilität des Referenzprüflings zeigte mit einer Ausnahme, die auf eine Zerstörung des Attenuators im Referenzprüfling zurückzuführen war nur sehr kleine Abweichungen ( $\geq \pm 0.4$  dB).

Verschiedene mögliche Einflussfaktoren im Frequenzbereich 1 MHz bis 30 MHz wurden durch zusätzliche Vergleichsmessungen bei METAS untersucht. In Tabelle 2 sind die maximalen Abweichungen zwischen dem höchsten und dem tiefsten gemessenen Wert aufgezeichnet, wenn der entsprechende Einflussfaktor variiert wird.

Geprüfte Einflussfaktoren	Prüflingstyp 1		Prüflingstyp 2	
	Mit Schutzleiter- nachbildung	Ohne Schutzleiter- nachbildung	Mit Schutzleiter- nachbildung	Ohne Schutzleiter- nachbildung
1 Bündelung des Netzkabels	4.5 dB	7.2 dB	9.3 dB	18.4 dB
2 Massebezug des Prüflings	2.5 dB	6.8 dB	7.8 dB	20.2 dB
3 Massebezug der Netznachbildung	2.1 dB	5.8 dB	5.6 dB	16.0 dB
4 Metallteile in der Nähe	1.4 dB	3.5 dB	3.1 dB	7.3 dB
5 Messraum	2.3 dB	5.5 dB	5.9 dB	11.9 dB

Tabelle 2: Einflussbereich der in den Zusatzmessungen geprüften Einflussfaktoren

Im Ringversuch waren die Einflussfaktoren 1 und 2 grundsätzlich nicht wirksam weil die Messung mit einem verkürzten Kabel durchgeführt wurde und kein zusätzlicher Masseanschluss vorgesehen war. Bei realen Prüflingen können diese Einflussfaktoren aber je nach Interpretation der Norm wirksam werden.

Der Einfluss des Messraumes war bisher für Leitergebundene Emissionsmessungen als vernachlässigbar beurteilt worden. Die Zusatzmessungen zeigen, dass dies nicht so ist. Es ist anzunehmen, dass ein Teil der Abweichungen im Ringversuch auf den Einfluss des Messraumes zurückzuführen sind. Falls einzelne Labors ihre Abweichung noch genauer abklären möchten, steht der Referenzprüfling in unveränderter Form auf Abruf zur Verfügung.

### 4.3 Erkenntnisse aus dem Ringversuch und den Zusatzmessungen

- Die Messunsicherheit der Emissionsmessung am Netzanschluss hängt von der Art des Prüflings ab. (Prüflingstyp 1, 2 und 3)
- Durch die Anwendung der Schutzleiternachbildung kann die Messunsicherheit der Emissionsmessung am Netzanschluss deutlich reduziert werden.
- Die Grösse des Messraums und die Position des Prüfaufbaus im Messraum hat einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf das Messergebnis bei bestimmten Prüflingstypen.
- Ein theoretisches Modell für diese Zusammenhänge muss noch gefunden werden.
- Es ist zu beachten, dass die Resultate dieses Berichts grundsätzlich für die drei Prüflingstypen gelten, mit denen der Ringversuch durchgeführt wurde (Grösse und Form der Metallteile des Prüflings, Einkopplungsart, keine andere angeschlossene Leitungen). Der Einflussbereich der Einflussfaktoren kann für andere Prüflingstypen anders sein. Ein theoretisches Modell der Zusammenhänge könnte helfen, den Einflussbereich für verschiedene mögliche reale Prüflinge abzuschätzen. Es ist aber zu erwarten, dass der in unseren Messungen festgestellte Einfluss der Schutzleiternachbildung auf die Messunsicherheit bei den verschiedenen realen Prüflingen ähnlich ist.

#### **Erkenntnisse für die Standardisierung in CISPR:** (Ein Bericht für CISPR A ist geplant)

- Die Schutzleiternachbildung  $50 \Omega / 50 \mu\text{H}$  reduziert den Einfluss verschiedener Einflussfaktoren deutlich und sollte in der Norm fest vorgeschrieben werden.
- Der Einfluss des Messraums ist für gewisse Prüflingstypen nicht vernachlässigbar. Entweder muss der Messraum genauer definiert werden, oder eine geeignete Verifikationsmethode für die Messraumeigenschaften muss festgelegt werden.
- Es stellt sich die Frage, ob eine Aufstellung analog zu IEC61000-4-6 mit 10 cm Distanz zur Massefläche und 10 cm bis 30 cm Abstand zur Netznachbildung (ohne Bündelung) nicht viel zuverlässigere Resultate geben würde, ohne dass der Aufwand für die Prüfung viel grösser wäre, insbesondere, wenn sowieso auch noch Messungen nach IEC61000-4-6 gemacht werden.

#### **Erkenntnisse für die Prüflabors:**

- Die interne Kalibration des Messempfängers sollte erst abgerufen werden, wenn sich die Temperatur des Messgerätes stabilisiert hat. (3.2.1.) Wie lange diese Aufwärmzeit sein soll, muss jedes Labor durch Messungen mit dem eigenen Messempfänger individuell festlegen.
- Die kritischen Punkte (wie Schutzleiterdrossel, Masseanschlüsse des Prüflings, Massebezug der Netznachbildung, Bündelung der Kabel etc) sollten im Prüfbericht gut dokumentiert sein, damit eine nachträgliche Wiederholung der Messung möglich ist.

#### **Erkenntnisse für die Planung ähnlicher Ringversuche:**

- Es war sinnvoll, für den Ringversuch Prüflinge mit unterschiedlichen Einkopplungsarten und Impedanzen zu realisieren, weil sich die Einflussfaktoren unterschiedlich auf das Resultat auswirken.
- Das Kabel für den Netzanschluss wurde in der richtigen Länge mitgeliefert, damit die Unterschiede der Bündelung in der Streuung der Resultate nicht zu stark dominieren.
- Die interne Verkabelung des Referenzprüflings musste mechanisch fixiert werden, damit die elektrischen Eigenschaften des Gerätes stabil blieben.
- Der Referenzprüfling sollte genügend gut gegen Zerstörung geschützt sein (zB. geeignete Schutzschaltung im Adapter zur Netznachbildung).