

EMV-Messungen mit dem VNA / Spektrumanalysator

Autor: Martin Klaus

Datum: 10.06.2025

Messung der Störaussendung im Frequenzbereich 30...300 MHz

Tabelle 1: Normen

DIN EN IEC 55015:2020-07 EN 55015:2019 + A11:2020 CISPR 15:2018 + ISH1:2019	Grenzwerte und Messverfahren für Funkstörungen von elektrischen Beleuchtungseinrichtungen und ähnlichen Elektrogeräten
DIN EN 61000-6-3:2011-09 + Ber. 1:2012-11 EN 61000-6-3:2007 + A1:2011	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) Teil 6-3: Fachgrundnormen – Störaussendung für Wohnbereich, Geschäfts- und Gewerbebereiche sowie Kleinbetriebe
DIN EN IEC 55016-1-1:2020-09 EN IEC 55016-1-1:2019	Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Teil 1-1: Geräte und Einrichtungen zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Messgeräte
DIN EN 55016-1-2:2019-10 EN 55016-1-2:2014 + A1:2018 IEC/CISPR 16-1-2:2014 + A1:2017	Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Teil 1-2: Geräte und Einrichtungen zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Koppelleinrichtungen zur Messung der leitungsgeführten Störaussendung
DIN EN 55016-2-1:2019-11 EN 55016-2-1:2014 + A1:2017 CISPR 16-2-1:2014 + A1:2017	Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Teil 2-1: Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Messung der leitungsgeführten Störaussendung
DIN EN 61000-4-6:2014-08 EN 61000-4-6:2014	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4-6: Prüf und Messverfahren – Störfestigkeit gegen leitungsgeführte Störgrößen, induziert durch hochfrequente Felder

Tabelle 2: Alternative Prüfverfahren nach EN 55015:2019

Tabelle 10 – Grenzwerte der gestrahlten Störaussendung und zugehörige Messverfahren im Frequenzbereich von 30 MHz bis 1 GHz

Messverfahren^a	Grundnorm^g	Frequenzbereich MHz	Grenzwerte für den Quasispitzenwert^d dB(μV/m)
OATS oder SAC bei 10 m Messentfernung	CISPR 16-2-3	30 bis 230 230 bis 1 000	30 37
OATS oder SAC bei 3 m Messentfernung	CISPR 16-2-3	30 bis 230 230 bis 1 000	40 47
FAR bei 3 m Messentfernung	CISPR 16-2-3	30 bis 230 230 bis 1 000	42 auf 35 ^e 42
TEM-Wellenleiter ^b	IEC 61000-4-20	30 bis 230 230 bis 1 000	30 37
CDNE-Verfahren ^{c,f}	CISPR 16-2-1	30 bis 100 100 bis 200 200 bis 300	64 auf 54 ^e 54 54 auf 51 ^e
^a Jedes der Verfahren und zugehörigen Grenzwerte kann für den Nachweis der Übereinstimmung (mit den Anforderungen) ausgewählt werden. ^b Das Messverfahren im TEM-Wellenleiter muss auf Geräte beschränkt werden, an die keine Leitungen angeschlossen sind und deren maximale Größe entsprechend IEC 61000-4-20:2010, 6.2 ist (die größte Abmessung des Gehäuses ist gleich der Wellenlänge bei der maximalen Messfrequenz, d. h. 300 mm bei 1 GHz). ^c Das CDNE-Verfahren und die zugehörigen Grenzwerte bis 300 MHz können nur bei Prüflingen mit Taktfrequenzen, die kleiner als oder gleich 30 MHz sind, angewendet werden. In solchen Fällen wird angenommen, dass das Produkt (auch) die Anforderungen zwischen 300 MHz und 1 000 MHz erfüllt. Die in Tabelle 10 angegebenen Grenzwerte für den Bereich zwischen 200 MHz und 300 MHz bei Messung mit dem CDNE-Verfahren sind restriktiver als die in CISPR 15:2013 angegebenen Grenzwerte. Ein wachsender Sicherheitsabstand (bis zu 10 dB bei 300 MHz) wurde zwischen 200 MHz und 300 MHz angewandt. Wenn die Prüfung unter Anwendung des CDNE-Verfahrens nicht bestanden wird, kann ein beliebiges der anderen Verfahren und zugehörigen Grenzwerte angewendet werden. ^d Bei der Übergangsfrequenz gilt der niedrigere Grenzwert. ^e Der Grenzwert nimmt linear mit dem Logarithmus der Frequenz ab. ^f Die Beschränkung der Größe des Prüflings nach CISPR 16-2-1 trifft nicht zu. Beim CDNE-Verfahren beträgt die größte Abmessung des Prüflings 3 m × 1 m × 1 m ($l \times b \times h$). Die Beschränkungen des CDNE-Verfahrens gelten nur für den Prüfling und nicht für die Verkabelung oder die gesamten Abmessungen des zu prüfenden Systems, siehe Bild 2. ^g Siehe auch 9.3.4.			

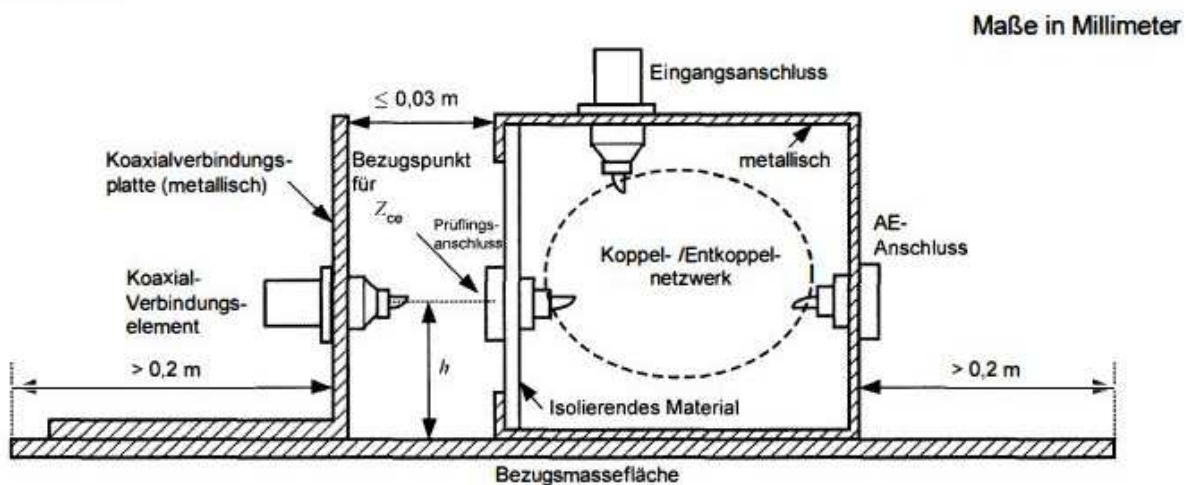
Beim **CDNE**-Verfahren muss es **dB(μV)** heißen.

Verwendung von CDN für das CDNE-Verfahren

6.3.2 Einfügungsdämpfung des 150- Ω -zu-50- Ω -Übergangs

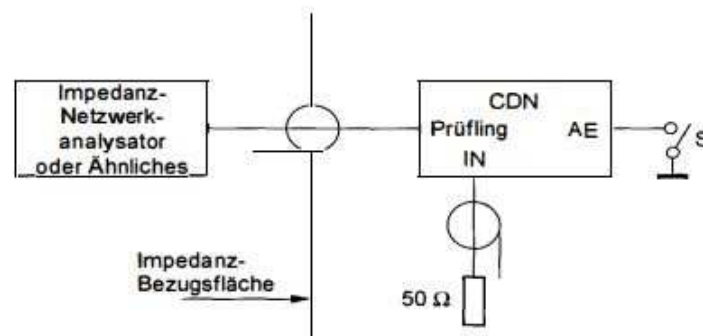
Nachdem der Prüfsignalgenerator vor Beginn der Prüfung aufgebaut worden ist, muss der Prüfpegel in einer Umgebung mit der asymmetrischen Impedanz 150 Ω nachgewiesen werden. Hierzu wird der geeignete Punkt, an dem diese asymmetrische Impedanz vorhanden ist, mit einem 50- Ω -Messgerät über einen 150- Ω -zu-50- Ω -Übergang (Adapter) verbunden, wie in Bild 8d gezeigt ist. Die Konstruktion des Übergangs (Adapters) ist in Bild 8e gezeigt.

Die Übergänge (Adapter) müssen auf einer Bezugsmassefläche angeordnet werden, die die projizierte Geometrie des gesamten Aufbaus um mindestens 0,2 m auf allen Seiten überragt. Die Einfügungsdämpfung wird entsprechend der Prinzipschaltung nach Bild 8c gemessen. Ihr Wert muss im Bereich $(9,5 \pm 0,5)$ dB liegen (der theoretische Wert beträgt 9,5 dB entsprechend den zusätzlichen Reihenwiderständen, wenn in einem 50- Ω -System gemessen wird). An den Eingängen der Empfänger und den Ausgängen der Generatoren sollten Dämpfungsglieder mit geeignetem Stehwellenverhältnis VSWR (vorgeschlagenes $\text{VSWR} \leq 1,2$) verwendet werden.



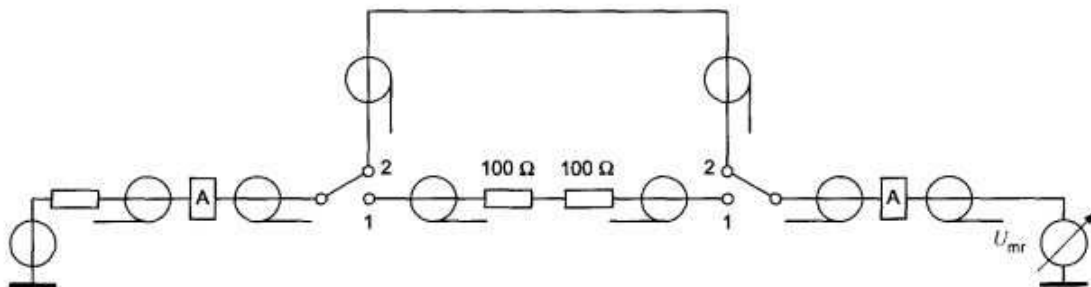
EN 61000-4-6:2014: Bild 8a

DIN EN 61000-4-6 (VDE 0847-4-6):2014-08
EN 61000-4-6:2014



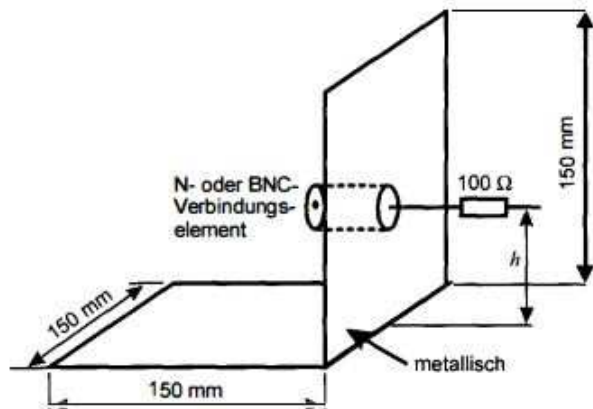
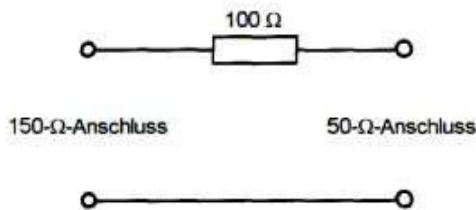
Die Anforderungen zur Impedanz müssen sowohl bei offenem als auch bei geschlossenem Schalter S erfüllt werden (siehe 6.3).

Bild 8b – Prinzip des Aufbaus zur Überprüfung von Z_{ce} der Koppel-/Entkoppelnetzwerke



$$\text{Einfügungsdämpfung [dB]} = U_{mr} (\text{Schalterstellung 2}) [\text{dB}(\mu\text{V})] - U_{mr} (\text{Schalterstellung 1}) [\text{dB}(\mu\text{V})]$$

Bild 8c – Prinzip des Aufbaus zur Messung der Einfügungsdämpfung von zwei 150-Ω-zu-50-Ω-Übergängen



ANMERKUNG Induktivitätsarmer Widerstand: $P \geq 2,5 \text{ W}$.

ANMERKUNG Identisch mit Bild 8a (Verbindungsfläche), jedoch mit zusätzlichem, induktivitätsarmem 100-Ω-Widerstand.

Bild 8d – Schaltkreis des 150-Ω-zu-50-Ω-Übergangs

Bild 8e – Beispiel für das Konstruktionsbild des 150-Ω-zu-50-Ω-Übergangs (Beispiel 150 mm x 150 mm)

Bild 8 – Einzelheiten der Aufbauten und Komponenten zum Nachweis der wichtigsten Eigenschaften der Koppel-/Entkoppelnetzwerke und der 150-Ω-zu-50-Ω-Übergänge

Verwendetes Messgerät: Spektrumanalysator mit Vektor-Netzwerkanalysefunktion

SSA3032X-R - Spektrumanalysator - Siglent



 [Datenblatt SSA3000X-R](#)

3995,00 € (netto zzgl. MWSt)

- > Frequenzbereich 9 kHz - 3,2 GHz
- > Echtzeitbandbreite 25MHz (optional 40 MHz)
- > Auflösungsbandbreite 1 Hz ... 3 MHz
- > < -165 dBm durchschnittl. Rauschpegel (typ.)
- > < 0,7 dB Amplitudengenauigkeit
- > Phasenrauschen -98 dBc/Hz
- > Vektor-Netzwerkanalysefunktion
- > Trackinggenerator 100 kHz ... 3,2 GHz
- > 10,1 Zoll Touchscreen (1024 x 600 pix)
- > USB / LAN Interface
- > integrierter Webserver

Echtzeit-Spektrumanalysator für die Analyse dynamischer Signale.

https://www.tameq.com/de/produkte/laborinstrumente/spektrumanalysatoren/ssa3032x_r.php

Günstigere Alternative:

SVA1032X - Spektrumanalysator / Netzwerkanalysator - Siglent



 [Datenblatt SVA1032X](#)

2969,00 € (netto zzgl. MWSt)

- > Frequenzbereich 9 kHz - 3,2 GHz
- > Netzwerkanalyse 100kHz - 3,2 GHz
- > Auflösungsbandbreite 1 Hz ... 1 MHz
- > < -161 dBm durchschnittl. Rauschpegel (typ.)
- > < 0,7 dB Amplitudengenauigkeit
- > Phasenrauschen -98 dBc/Hz
- > Trackinggenerator 5 MHz ... 3,2 GHz
- > 10,1 Zoll Touchscreen (1024 x 600 pix)
- > USB / LAN Interface
- > integrierter Webserver

Die Modelle der SVA1000X Serie sind nicht nur vollwertige Spektrumanalysatoren sondern enthalten zudem eine Vektor Netzwerkanalysefunktion.

<https://www.tameq.com/de/produkte/laborinstrumente/spektrumanalysatoren/sva1032x.php>

Noch günstiger sind Geräte bis 2,1 GHz ohne Vektor-Netzwerkanalyse (VNA), die für diese Untersuchungen ausreichen würden. Allerdings hat der Bereich bis 3,2 GHz den Vorteil, dass sich auch WLAN- und Bluetooth-Signale im Bereich 2,4 GHz messen lassen.

Die VNA-Funktion bietet viele Möglichkeiten zur Untersuchung von Bauteilen und Filterschaltungen.

Messanordnung

Es wird eine Bezugsmassefläche für die CDN benötigt, die bei Betrieb mit Netzspannung geerdet sein muss. Der Prüfgegenstand wird isoliert darüber angeordnet. Die Massefläche sollte den Prüfgegenstand auf allen Seiten um mindestens 10 cm überragen. Die Kabellänge zum Prüfgegenstand ist so kurz, wie möglich zu halten, typisch maximal 10 cm, entsprechend $\lambda/10$ bei 300 MHz. Am zu messenden CDN sollte immer ein Dämpfungs-Anpassglied verwendet werden, um den Impedanzübergang $150 \Omega / 50 \Omega$ anzupassen. Es dient auch als Schutz für den Signaleingang gegen Netztransiente, die beim Ein- und Ausschalten der Netzspannung entstehen. Das CDN für den zweiten Port ist mit 50Ω zu terminieren.

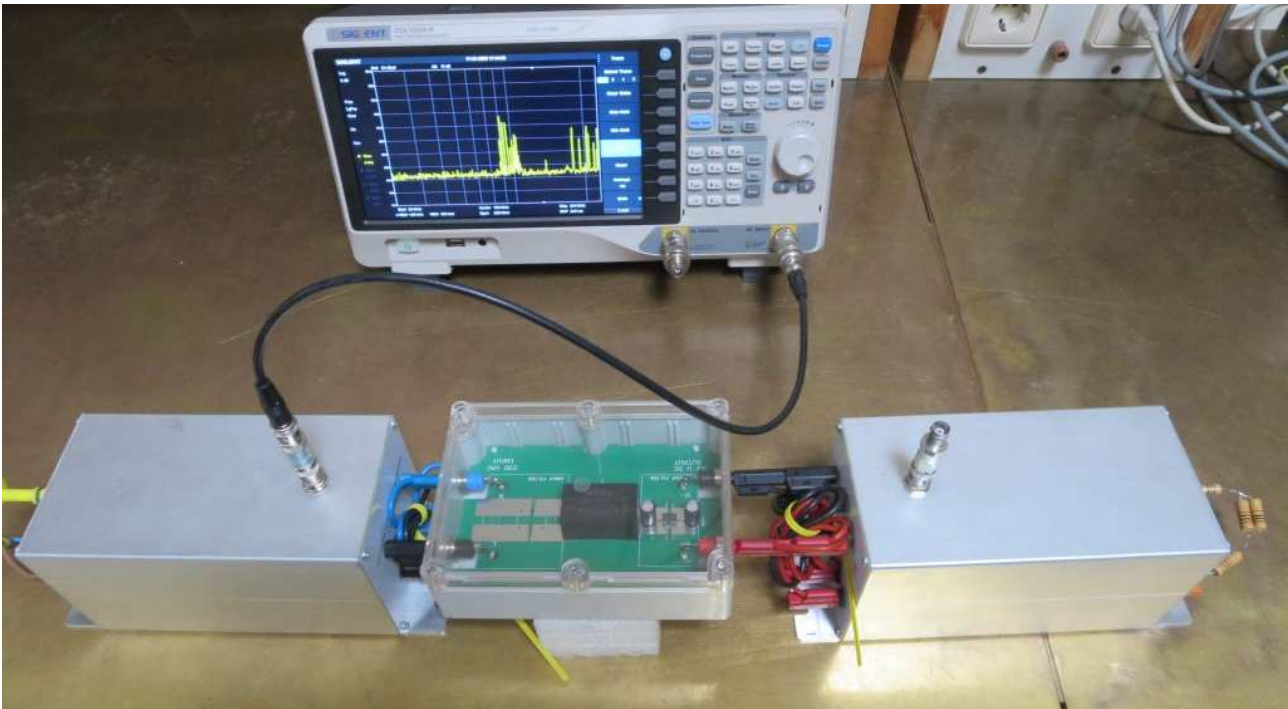


Foto 5432: Umgebungsmessung (Nullmessung), Netz ausgeschaltet



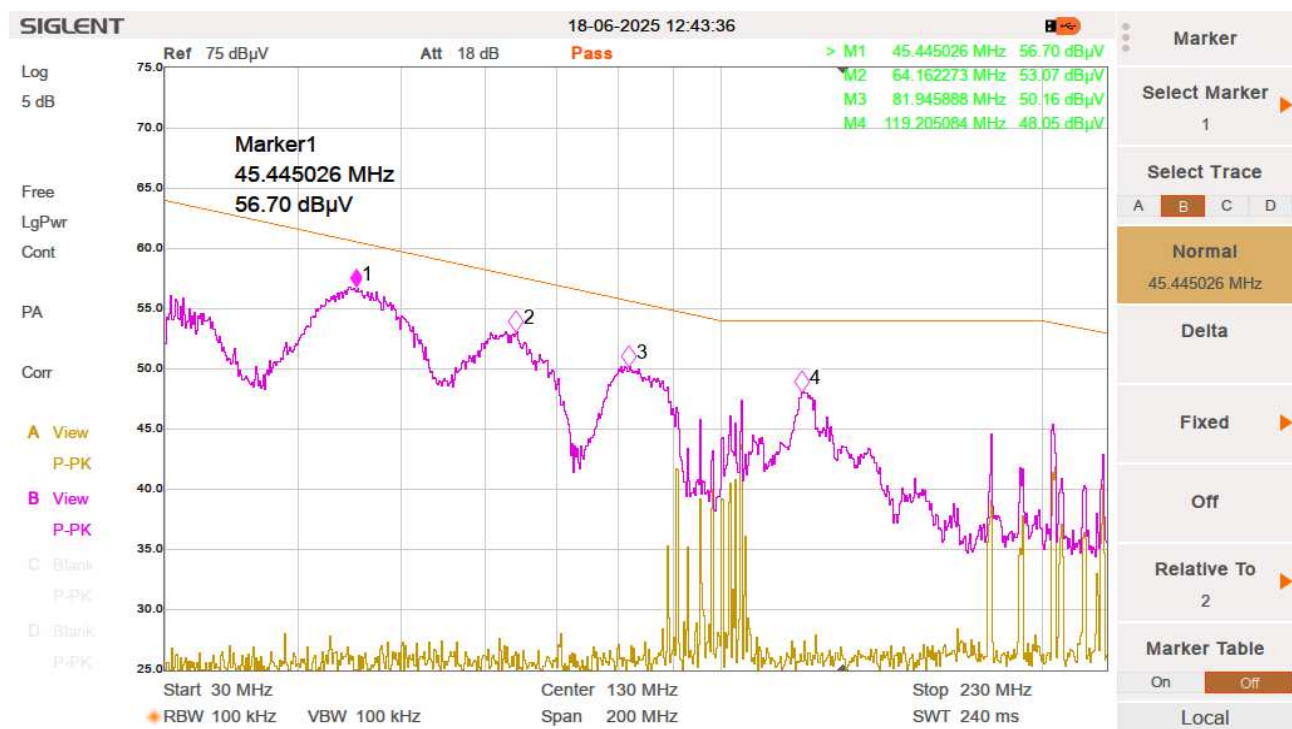
Foto 5434: Links: Netzteil an 230 V, 50 Hz über CDN M2,
Rechts: Last 12 V, 480 mA über CDN M4 (zweites M2 war nicht verfügbar)

Die Messung wurde mit einem Spektrumanalysator mit Peak-Detektor (PK) durchgeführt.

Als Korrekturfaktor wurden 16 dB verwendet (10 dB für das CDN und 6 dB für das Dämpfungs-Anpassglied). Der Korrekturfaktor kann auch dem Frequenzgang von CDN und Kabel nachgeführt werden, darauf wurde hier aber verzichtet.

Der Grenzwert kann ebenfalls dargestellt werden.

Ergebnis der CDNE-Messung



25061701: Funkstörspannung nach dem CDNE-Verfahren
Trace A: Umgebungsmessung,
Trace B: HLK-10M12, In: 230 V, 50 Hz, Out: 12 V, 480 mA

Tabelle 3: Funkstörspannungs-Messungen im Frequenzbereich 30...230 MHz

Ergebnis CDNE			höchster Messwert in Relation zum Grenzwert			Grenzwert	
						B	Abstand / dB
Prüf- datum	Nr.	Schnittstelle	f / MHz	U / dB(μV)	Bewer- tung	U / dB (μV)	
18.06.25	01	L, N	45,4	56,7	PK	60,6	3,9
			64,2	53,1	PK	57,7	4,6
			81,9	50,2	PK	55,7	5,5
			119,2	48,1	PK	54,0	6,0
PK Spitzenwert-Bewertung (Peak)							

Funkstörfeldstärke in der Vollabsorberkammer (FAR)

Die Messungen wurden mit einem Funkstörmessempfänger des Typs R&S ESR7 und einer Antenne des Typs Schwarz-beck VULB9163 in einer Vollabsorberkammer mit den Abmessungen 7,6 x 3,5 x 3,5 m³ durchgeführt. Messentfernung: 3 m.

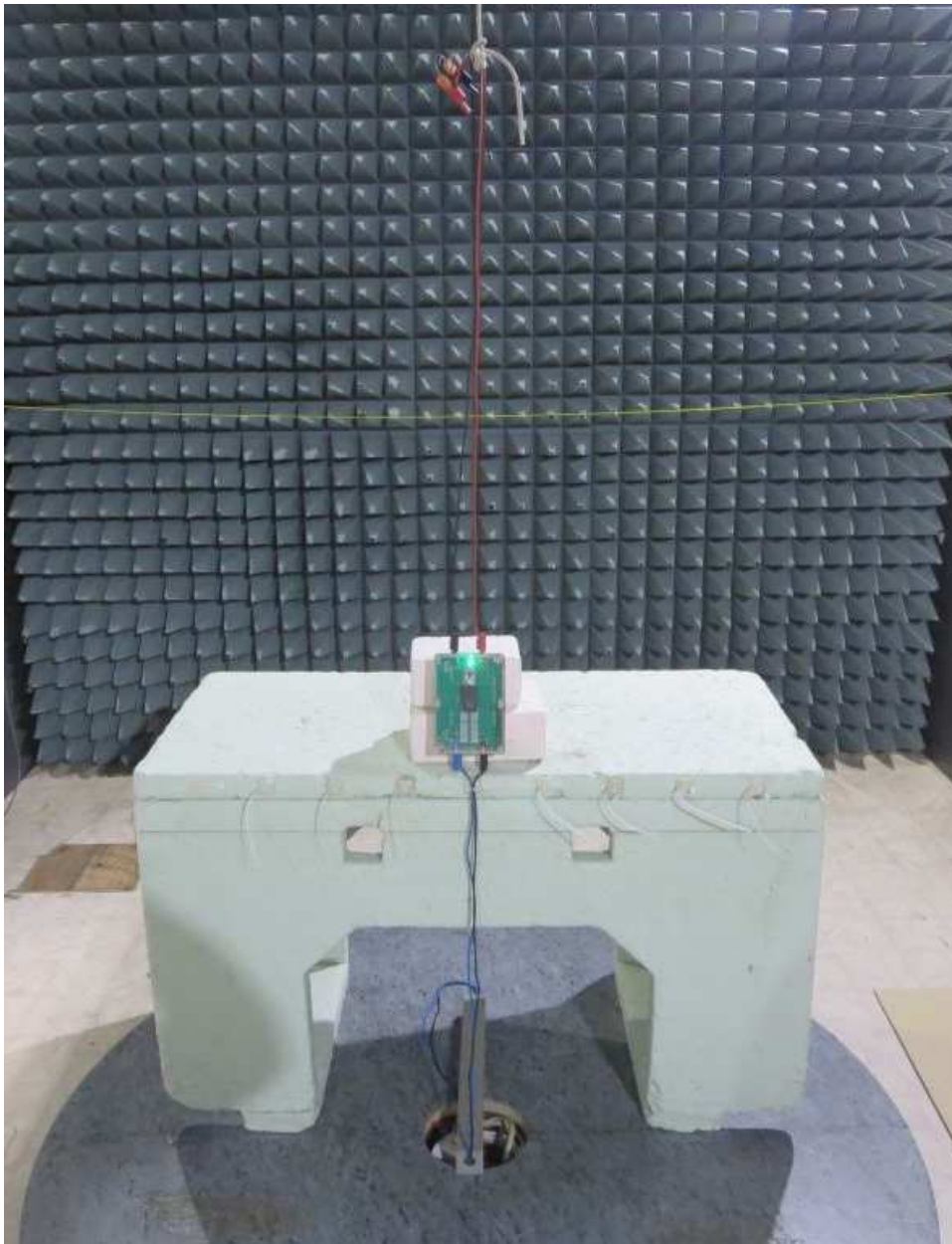
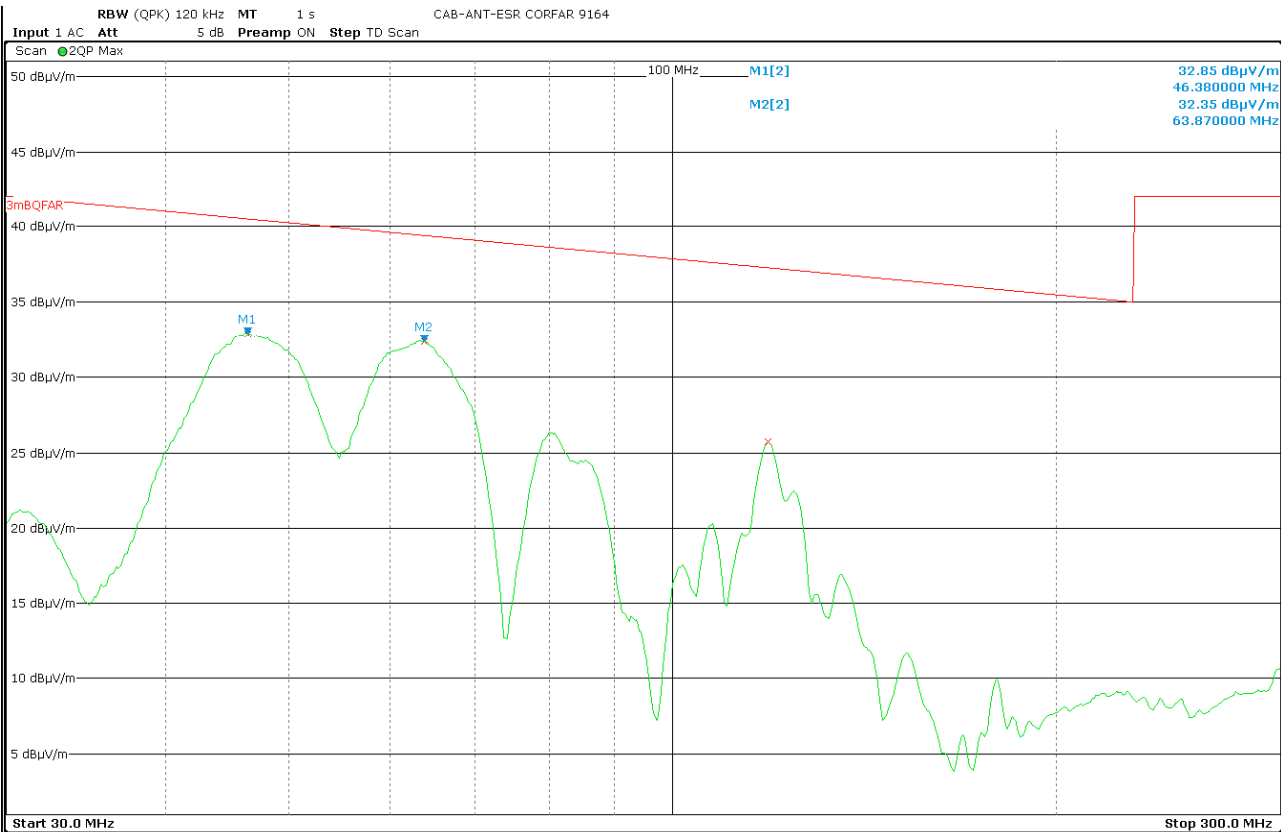


Foto 5435: Eindimensionale vertikale Messanordnung zur Messung der Funkstörfeldstärke Netz 230 V, 50 Hz von unten über ein Common Mode Absorbing Device (CMAD), Widerstand 25 Ω am oberen Ende der 12-V-Lastleitung, dieser könnte auch unten oder auf der Baugruppe platziert werden.

Die Breite des Netzteils ist im untersuchten Frequenzbereich kleiner, als $\lambda/4$ der höchsten Messfrequenz von 300 MHz, daher konnte auf eine Drehung des Prüflings und auf eine Messung bei horizontaler Polarisierung verzichtet werden.

Ergebnis der Funkstörfeldstärke-Messung



25061704 30-300 MHz, FAR, vertical 0°, HLK-10M12, In: 230 V, 50 Hz, Out: 12 V, 480 mA

Tabelle 4: Funkstörfeldstärke-Messungen im Frequenzbereich 30...230 MHz

Ergebnis Antenne			höchster Messwert in Relation zum Grenzwert			Grenzwert	
						B	Abstand / dB
Prüf- datum	Nr.	Polarisation Winkel	f / MHz	U / dB(µV)	Bewer- tung	U / dB (µV)	
17.06.25	04	vertikal 0°	46,4	32,9	QP	40,6	7,7
			64,0	32,4	QP	39,5	7,1
			118,9	25,8	QP	37,3	11,5
QP Quasi-Spitzenwert-Bewertung (Quasi-Peak)							

Tabelle 3 (Wiederholung): Funkstörspannungs-Messungen im Frequenzbereich 30...230 MHz

18.06.25	01	L, N	45,4	56,7	PK	60,6	3,9
			64,2	53,1	PK	57,7	4,6
			81,9	50,2	PK	55,7	5,5
			119,2	48,1	PK	54,0	6,0
PK Spitzenwert-Bewertung (Peak)							

Vergleich CDNE und Funkstörfeldstärke

Die CDNE-Messung liefert konservativere Ergebnisse, was insbesondere auf den PK-Detektor zurückgeführt werden kann. Außerdem werden bei CDNE alle Frequenzen in gleicher Weise erfasst, während beim verkabelten Aufbau für die Funkstörfeldstärke nicht alle Frequenzen gleich gut abgestrahlt werden.

VNA-Messungen

Überprüfung der Einfügungsdämpfung der verwendeten CDNs (Validierung). Unter Calibration versteht das Messgerät die Kompensation aller Dämpfungswerte und schreibt eine 0-dB-Linie. Es handelt sich also genau genommen um eine Korrektur der Messwerte.

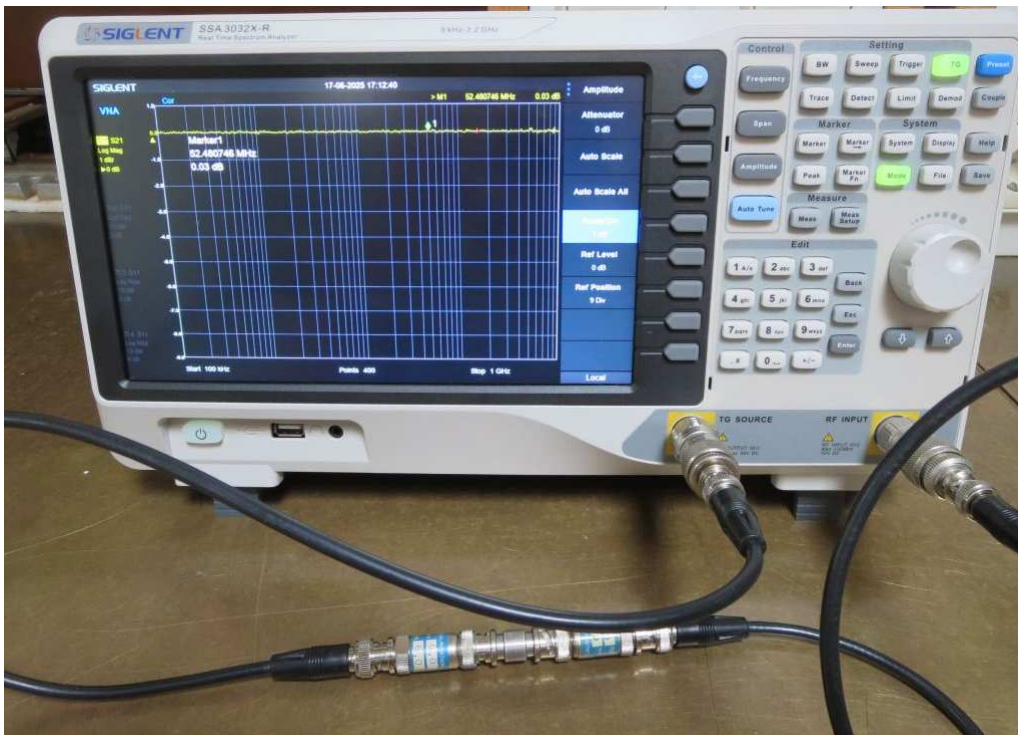


Foto 5430: Kalibrierung mit Koaxialkabeln und zwei Dämpfungs-Anpassgliedern von jeweils 6 dB.

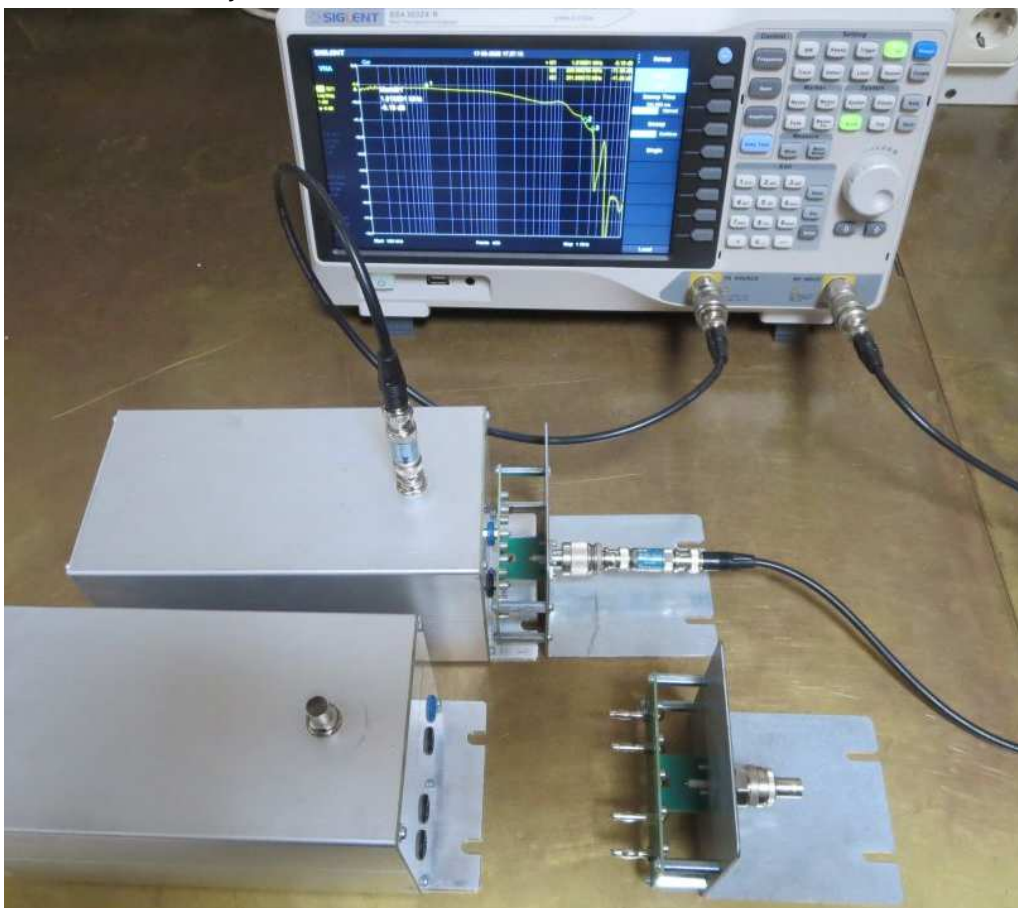
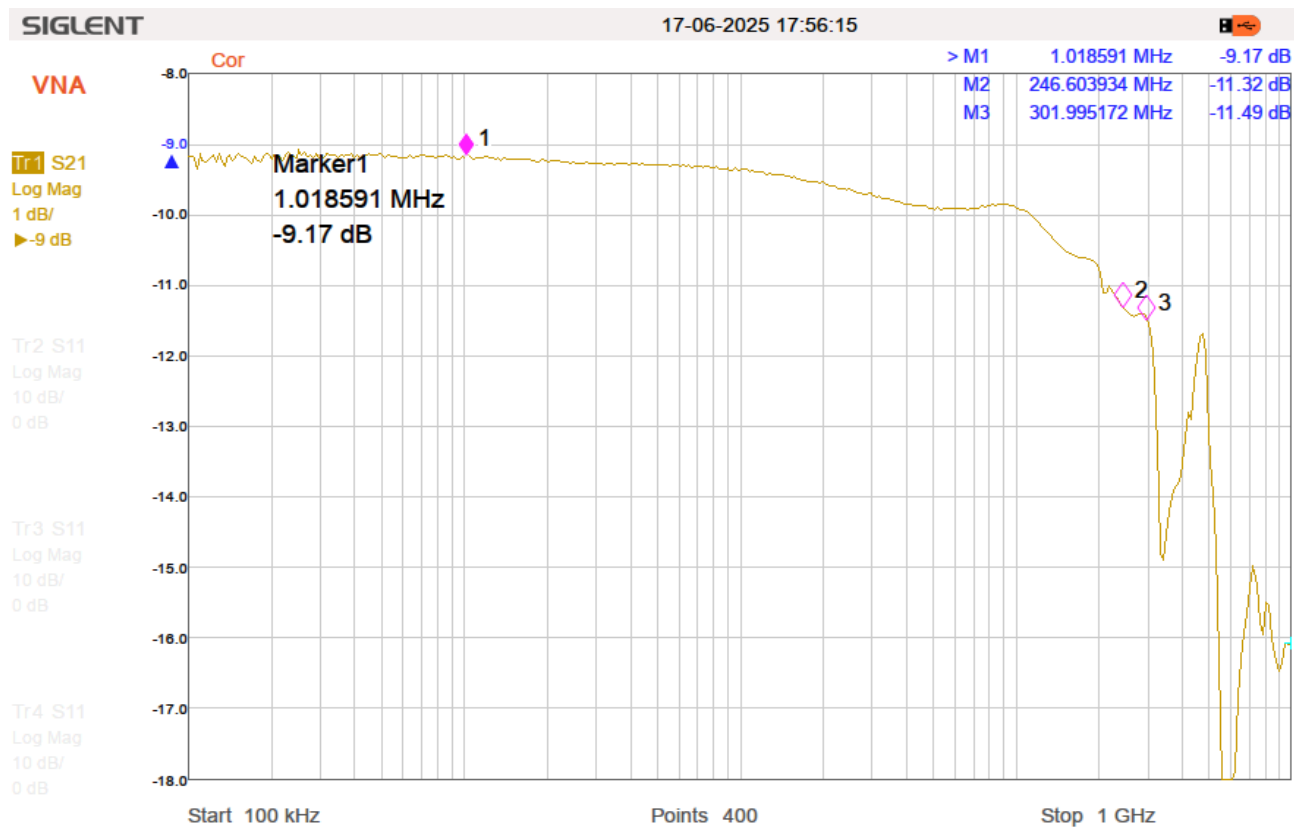
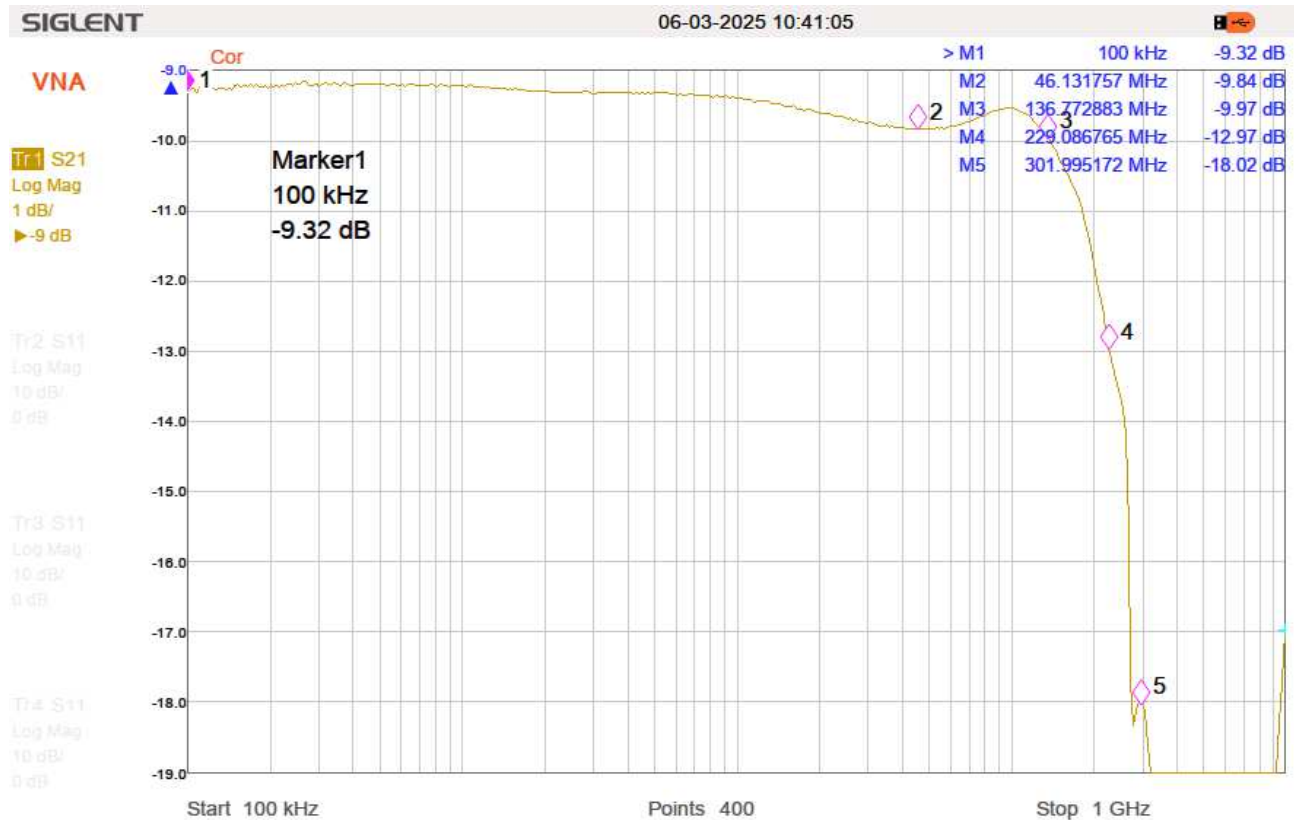


Foto 5431: Messung der Einfügungsdämpfung der verwendeten CDNs

Ergebnisse der Einfügungsämpfung



25021202: CDN **M2**, Einfügungsämpfung, Sollwert -9,5 dB



25030601: CDN **M4**, Einfügungsämpfung, Sollwert -9,5 dB

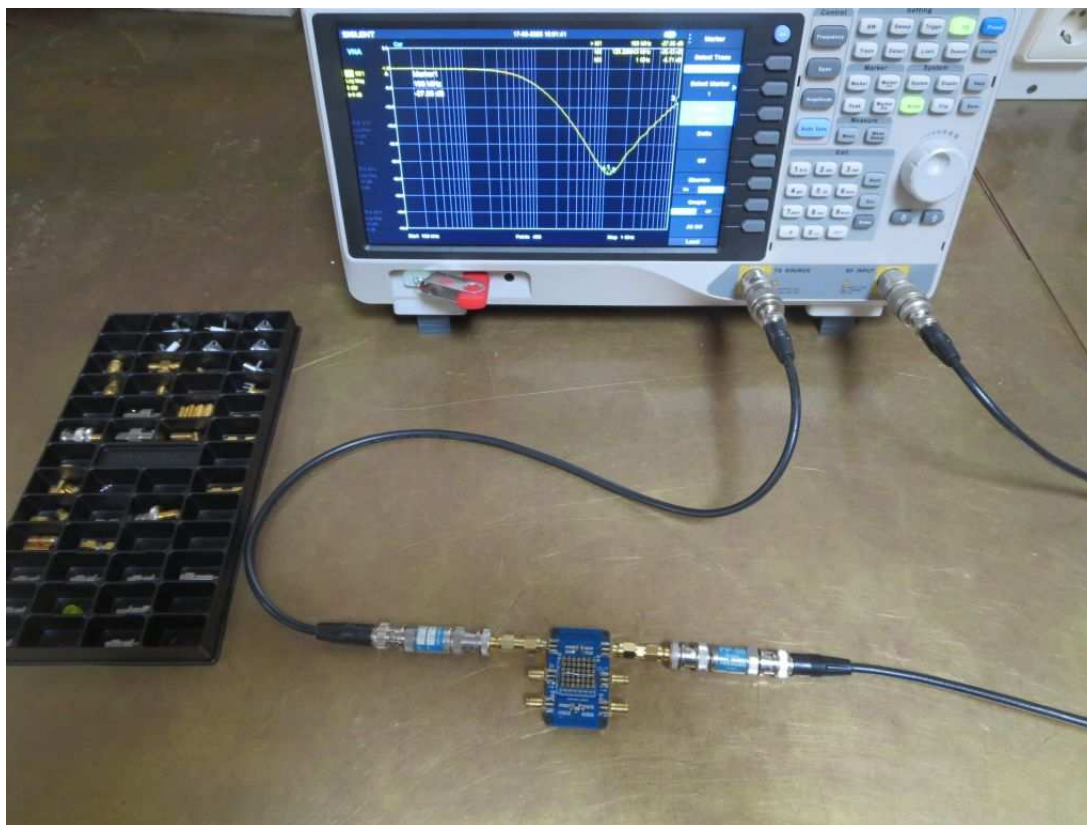


Foto 5433: Messung der Einfügungsdämpfung mit einer **NANO-VNA**-Platine



25061703: Einfügungsdämpfung im 50- Ω -System für ein Bauteil des Typs
WE 742792693: SMD-Ferrit mit 2,2 k Ω @ 100 MHz

Tabelle 5: Umrechnung Dämpfung A zu Serienimpedanz Z im 50- Ω -System

Dämpfung A / dB	3,5	6,0	14	20	26	34	40
Serienimpedanz Z / Ω	50	100	400	900	1900	5k	10k