

EMV- Beratungs- und Planungsbüro Prof. Dr.-Ing. K. H. Gonschorek Dr.-Ing. R. Vick	<b>Meßbericht</b> <b>Abstrahlverhalten eines</b> <b>künstlichen Netzes</b>	Seite 1 von 81  Datum: 29.08.1999
--	--	---

# **Meßbericht**

## **Abstrahlverhalten eines künstlichen Netzes**

EMV- Beratungs- und Planungsbüro Prof. Dr.-Ing. K. H. Gonschorek Dr.-Ing. R. Vick	<b>Meßbericht</b>  <b>Abstrahlverhalten eines künstlichen Netzes</b>	Seite 2 von 81  Datum: 29.08.1999
--	--	---

# Meßbericht

- Meßobjekt:** Künstliches Stromnetz in einer Absorberhalle  
Netze S0, S1 sowie S01 (Parallelschaltung von S0 und S1)
- Meßdatum:** 21. - 22.07.1999
- Meßingenieure:** Dr. -Ing. R. Vick, Dipl.-Ing. C. Probol  
Tel.: 0351 / 463 3137, Fax: 0351 / 463 7748, E-Mail: probol@ieee.org
- Messungen:**
- 1) LCL-Messung gemäß ITU-T Recommendation G. 177 (02/96),
  - 2) Asymmetrische und symmetrische Spannungen
  - 3) Verteilungen des asymmetrischen Stromes
  - 4) Elektrische und magnetische Felder

## Meßergebnis:

Es wurde ein Zusammenhang zwischen LCL, TCL asymmetrischer und symmetrischer Spannung sowie der Emission meßtechnisch untersucht und dargestellt.

Dipl.-Ing. C. Probol



EMV- Beratungs- und Planungsbüro Prof. Dr.-Ing. K. H. Gonschorek Dr.-Ing. R. Vick	<b>Meßbericht</b>  <b>Abstrahlverhalten eines künstlichen Netzes</b>	Seite 3 von 81  Datum: 29.08.1999
--	--	---

## Inhaltsverzeichnis

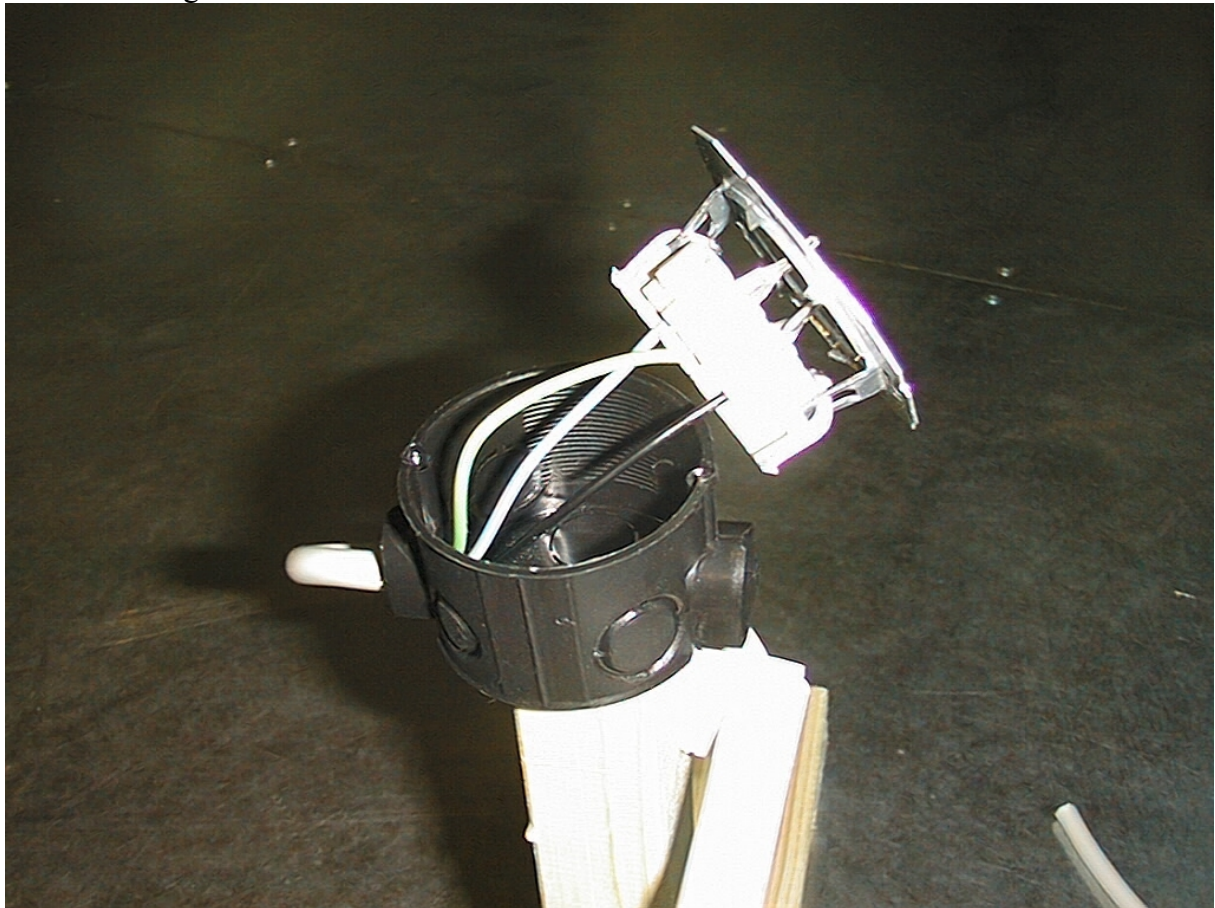
<b>1</b>	<b>GEGENSTAND DER UNTERSUCHUNG UND MEßAUFBAU .....</b>	<b>4</b>
1.1	LCL- UND TCL-MESSUNG.....	8
1.2	SPANNUNGSMESSUNG.....	10
1.3	STROMMESSUNG .....	12
1.4	FELDSTÄRKEMESSUNG.....	14
<b>2</b>	<b>MEßWERTE .....</b>	<b>16</b>
2.1	LCL-MESSUNG .....	16
2.2	SPANNUNGSMESSUNG.....	24
2.3	STROMMESSUNG .....	36
2.4	FELDSTÄRKEMESSUNG.....	51



EMV- Beratungs- und Planungsbüro Prof. Dr.-Ing. K. H. Gonschorek Dr.-Ing. R. Vick	<h1 style="text-align: center;">Meßbericht</h1> <h2 style="text-align: center;">Abstrahlverhalten eines künstlichen Netzes</h2>	Seite 5 von 81  Datum: 29.08.1999
--	---	---

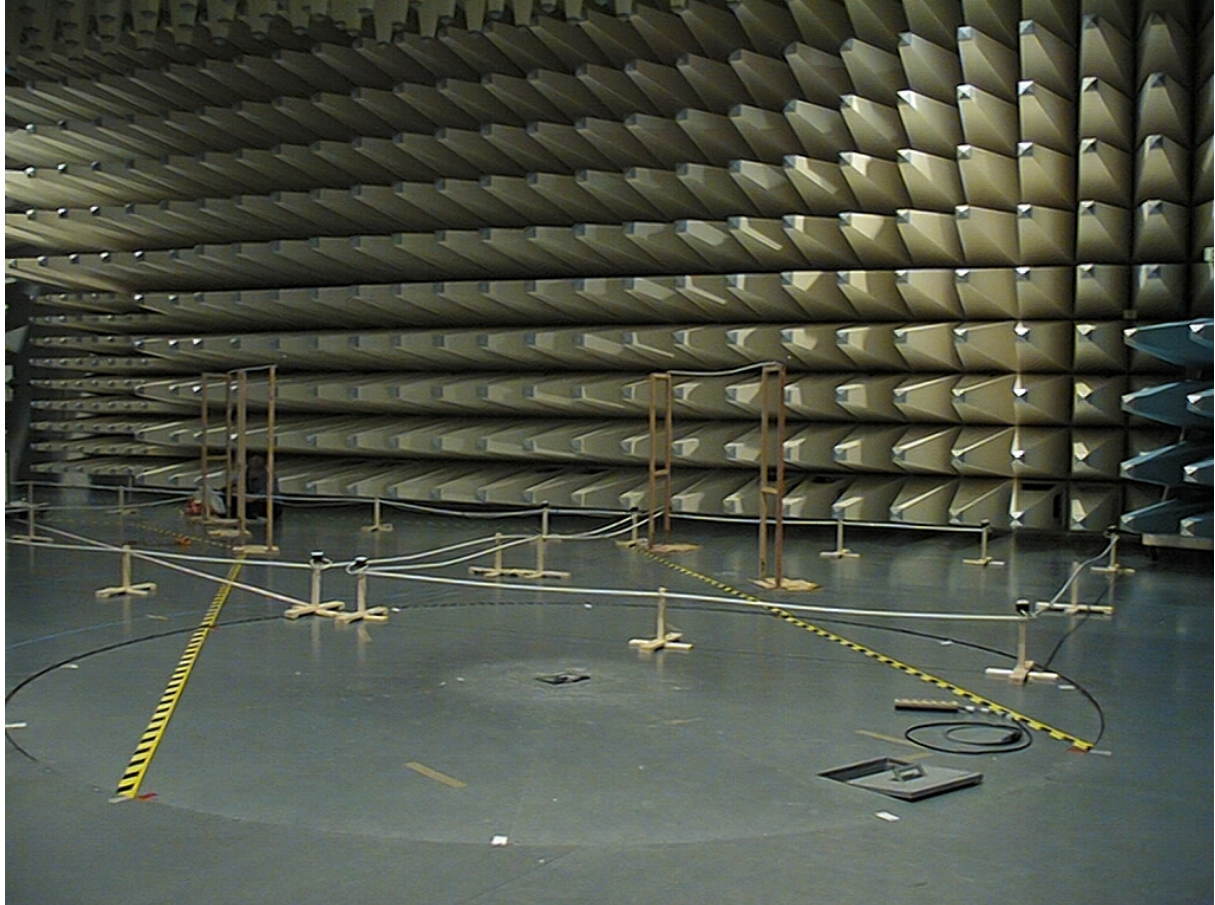
Als Leitung wurde Kabel vom Typ NYM-J 3G 3\*1,5m<sup>2</sup> eingesetzt. An der Einspeisung wurden die Stromzweige mit zwei 16A-Sicherungsautomaten abgesichert. Die Räume waren entsprechend ihrer Größe mit 4 bzw. 5 Steckdosen bestückt und es befand sich in jedem Raum ein Lampenauslaß. Die Lampenstromkreise waren mit Ein/Aus-Schalter bestückt und die Lampen wurden durch 560Ω Widerstände simuliert.

Die Leitungen wurden ca. 0,33 m über dem Boden der Absorberhalle (Groundplane) in Kunststoffrohren verlegt. In ca. 2 m Abstand befanden sich Holzstützen für die Kunststoffrohre. Die Lampenauslässe wurden aus praktischen Gründen nur in einer Höhe von 1,7m installiert, so daß eine einfache Durchführung der Messungen gewährleistet war. Die Montage der Steckdosen und Verteiler erfolgte nach dem Stand der Technik, d.h. mit Schneidklemmtechnik. In den Klemmdosen wurden die einzelnen Kreise über Schneidklemmverbindungen verzweigt. Dazu wurde innerhalb der Klemmdosen eine zusätzliche Kabellänge von etwa 1,5\*Durchmesser der Klemmdose verwendet. Die Steckdosen waren mit zusätzlichen Klemmkontakten für eine Verteilung der Leitung ausgestattet. Dadurch konnten die Steckdosen einfach in die Leitung eingeschleift werden. In Abbildung 2 ist die Montage einer Steckdose dargestellt.



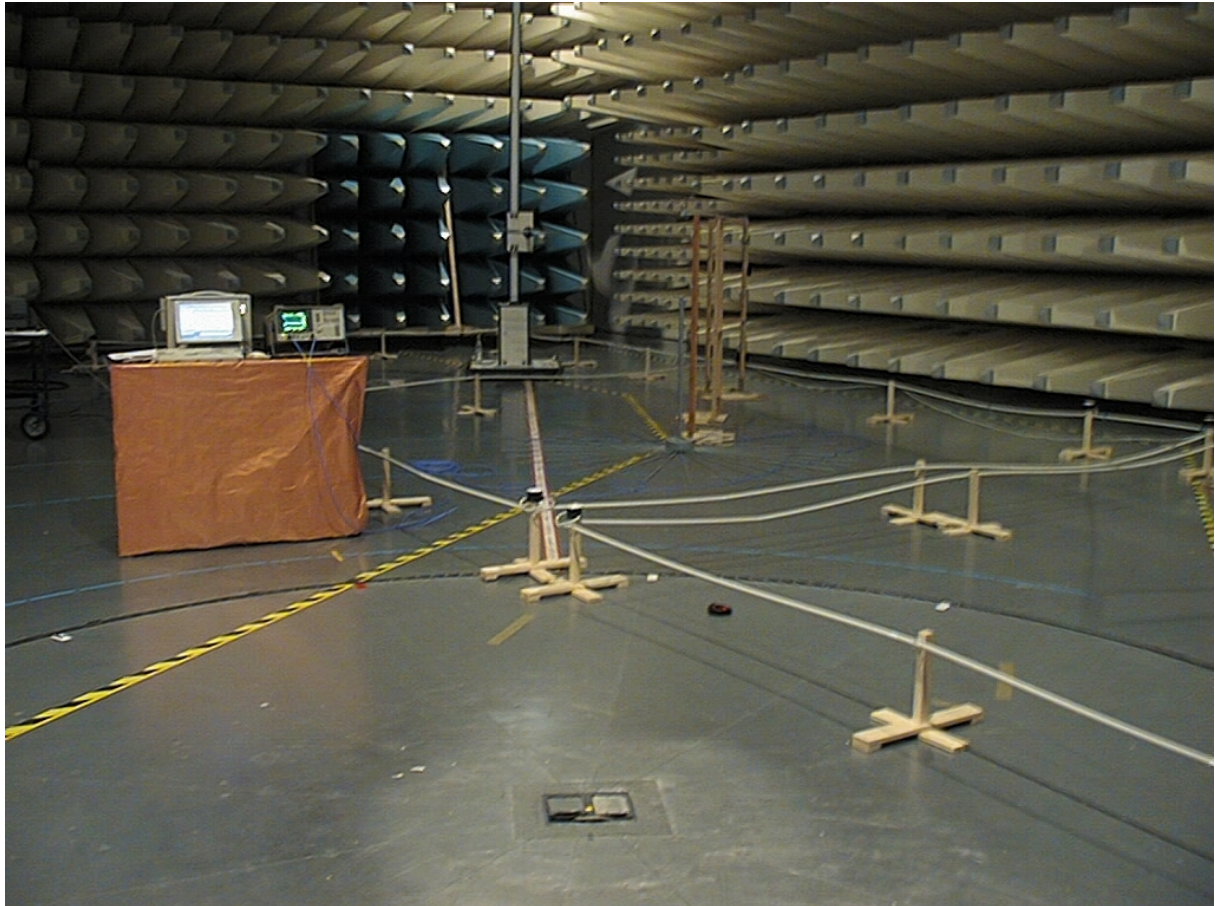
**Abbildung 2: Montage einer Steckdose**

Ein typischer Meßaufbau ist in den folgenden beiden Abbildungen dargestellt.



**Abbildung 3: Meßaufbau in der Absorberhalle**



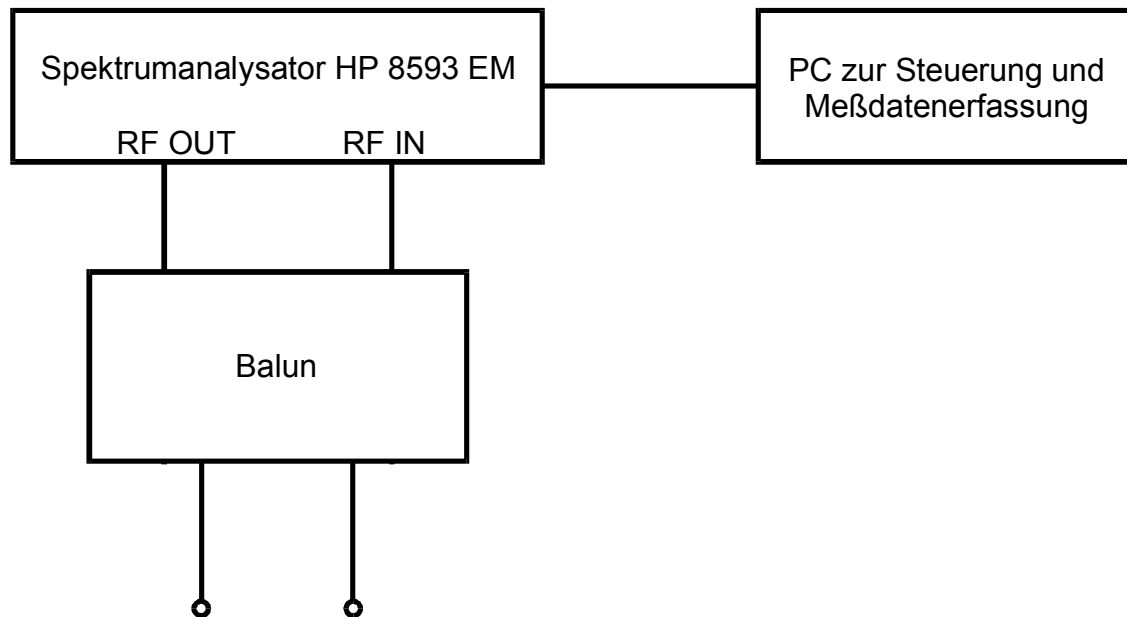


**Abbildung 4: Meßaufbau in der Absorberhalle**

EMV- Beratungs- und Planungsbüro Prof. Dr.-Ing. K. H. Gonschorek Dr.-Ing. R. Vick	<b>Meßbericht</b>  <b>Abstrahlverhalten eines künstlichen Netzes</b>	Seite 8 von 81  Datum: 29.08.1999
--	--	---

## ***1.1 LCL- und TCL-Messung***

Es wurde der Longitudinal Conversion Loss (LCL) an verschiedenen Stellen der Stromkreise gemessen. Der Meßaufbau ist in Abbildung 5 dargestellt. Die Einkopplungen erfolgten zwischen L und N.

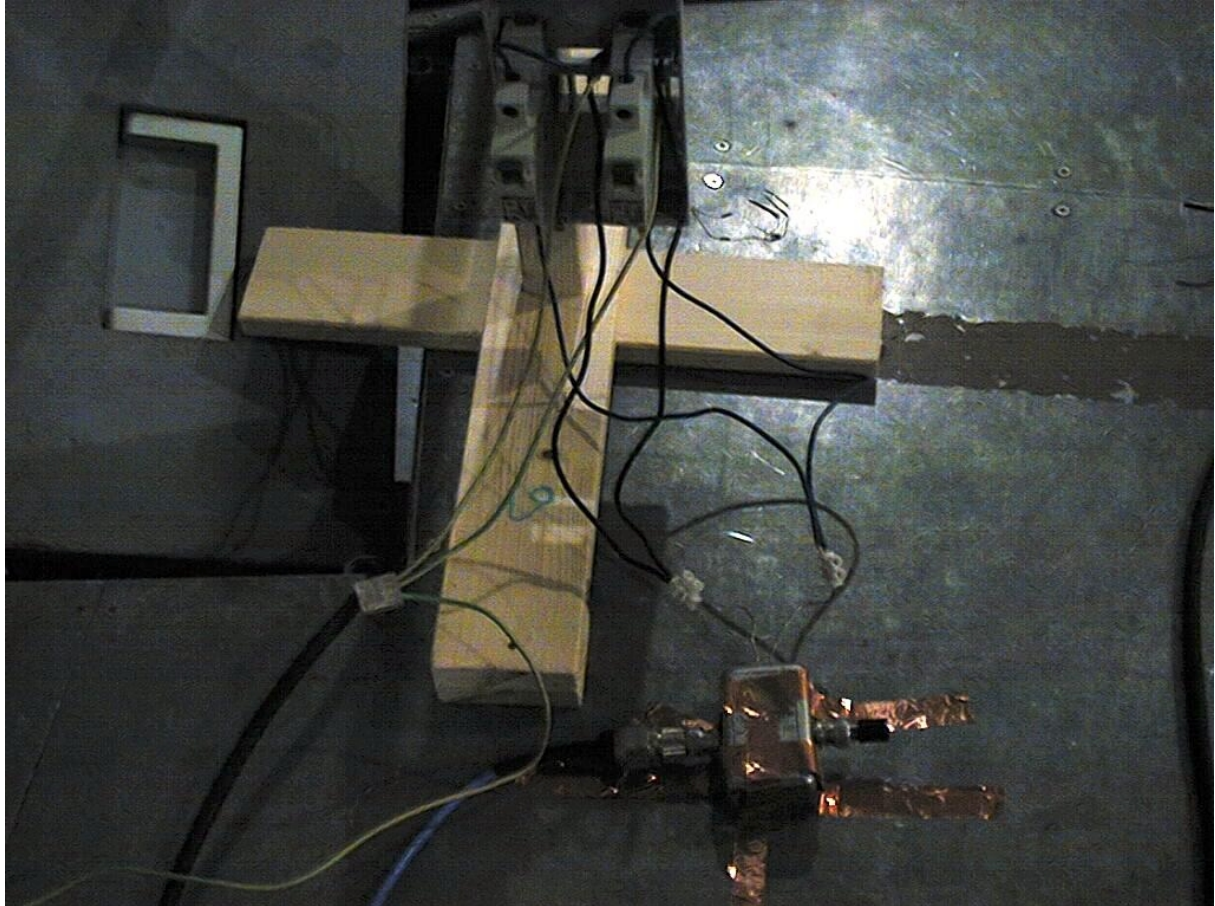


**Abbildung 5: Meßaufbau, LCL- und TCL-Messung**

Verwendete Meßgeräte und Meßhilfsmittel:

- Spektrumanalysator HP 8593 EM (Hewlett Packard)
- Balun 0322 BF (North Hills Signal Processing)

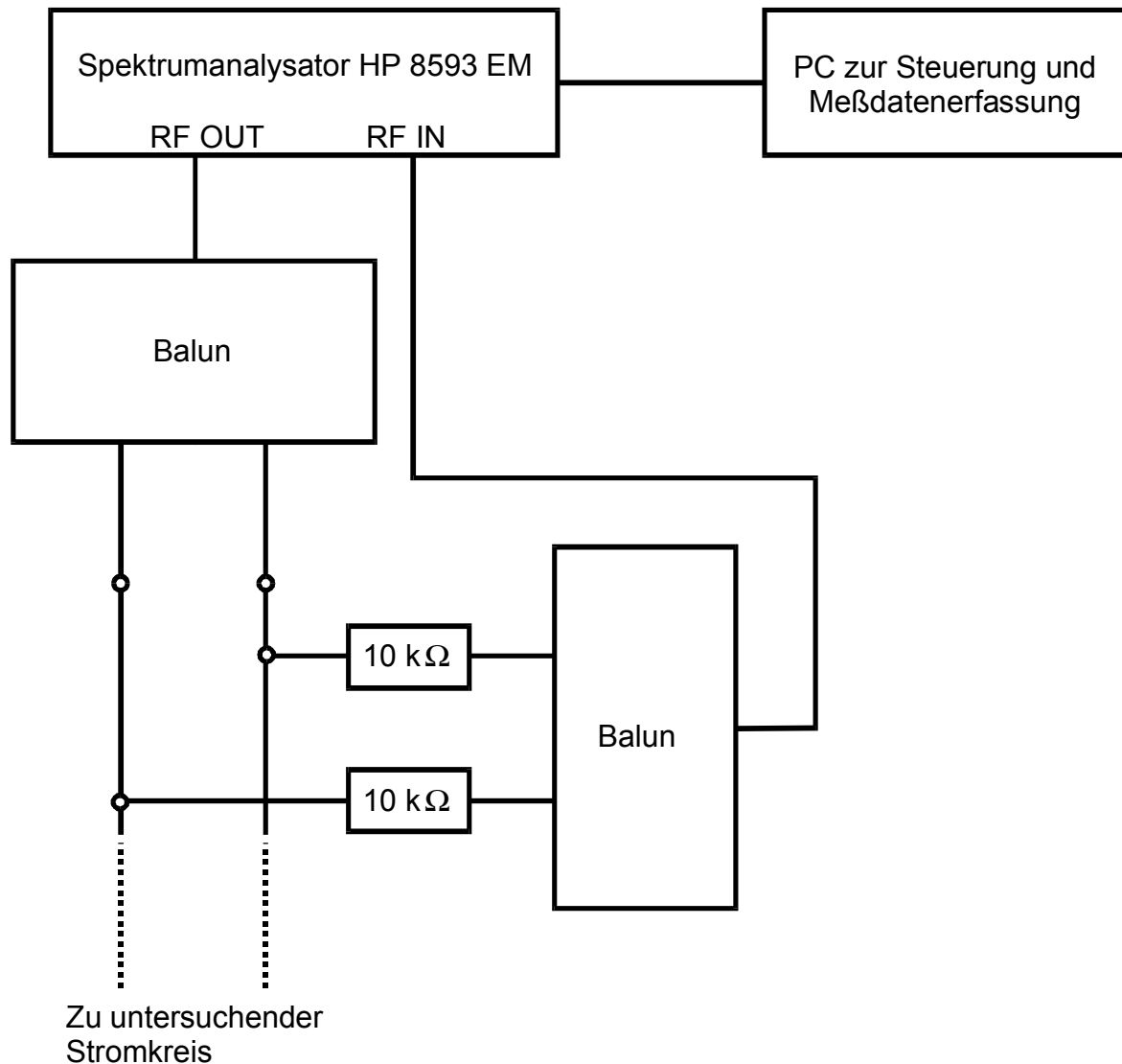
Die Einkopplung mittels des Baluns in Stromkreis S01 bei P0, ist in der folgenden Abbildung dargestellt.



**Abbildung 6: Meßaufbau, Einkopplung in P0 vor der Sicherung**

## 1.2 Spannungsmessung

Es wurde die symmetrische und die asymmetrische Spannung an verschiedenen Stellen der Stromkreise gemessen. Der Meßaufbau ist in Abbildung 7 dargestellt. Die Einkopplungen erfolgten symmetrisch zwischen L und N bzw. asymmetrisch zwischen L-N und Masse (metallische Grundfläche der Absorberhalle).



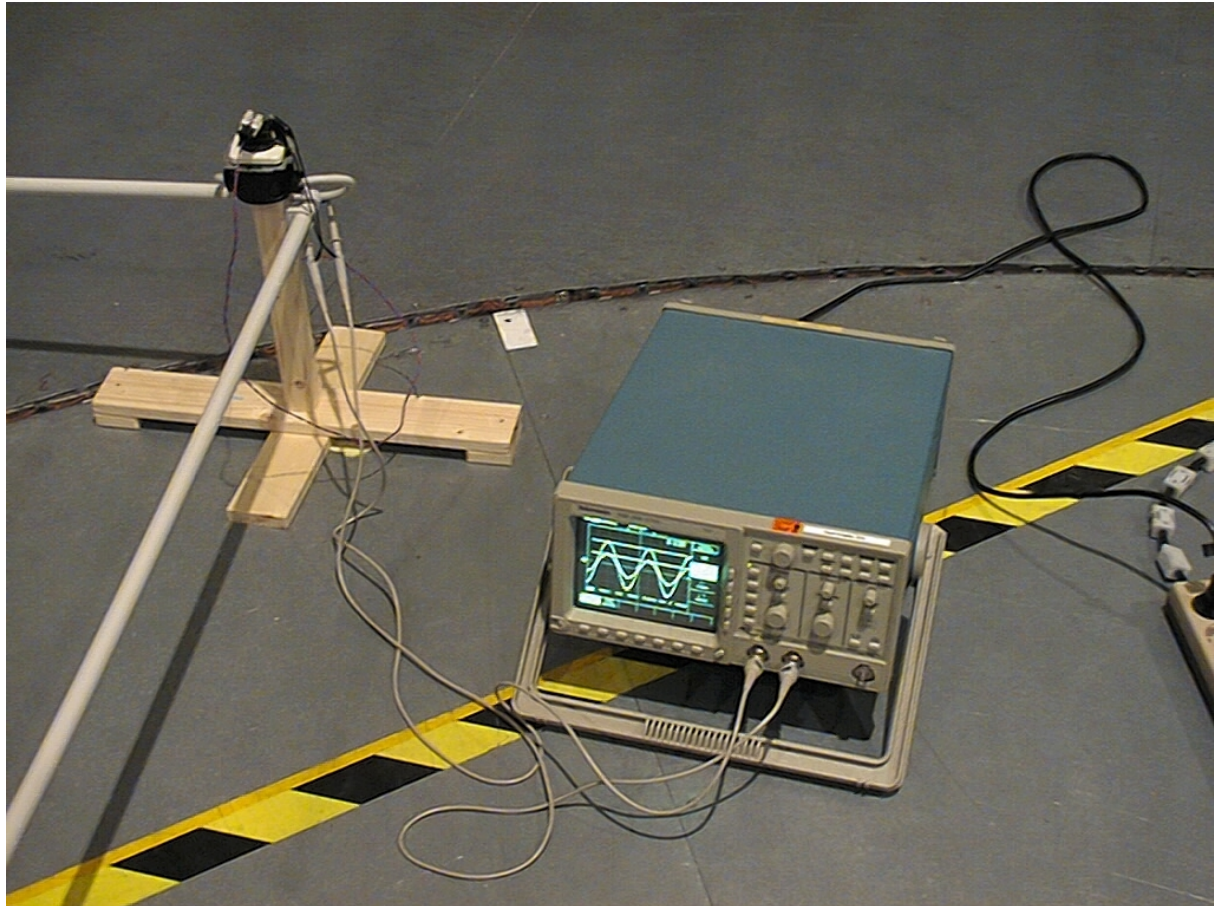
**Abbildung 7: Meßaufbau, Spannungsmessung**

Verwendete Meßgeräte und Meßhilfsmittel:

- Spektrumanalysator HP 8593 EM (Hewlett Packard)
- Balun 0322 BF (North Hills Signal Processing)
- Oszilloskop TDS 350 (Tektronics)



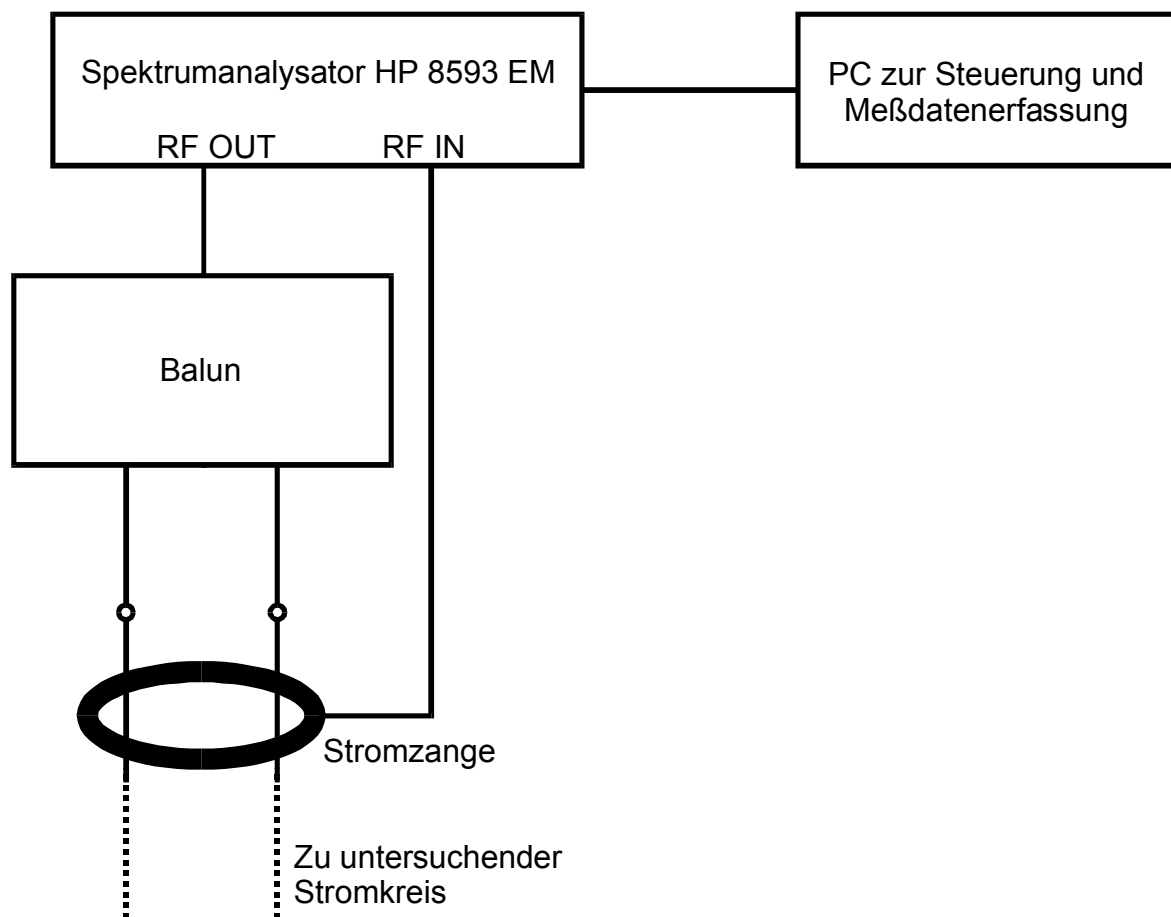
Die Rückwirkungsfreiheit der Spannungsmessung mit Balun und Vorwiderstand wurde durch Messungen mittels 1:10-Tastköpfen und einem Oszilloskop überprüft. Der Aufbau ist in Abbildung 8 dargestellt.



**Abbildung 8: Überprüfung der Rückwirkungsfreiheit der Spannungsmessung mit Balun und Vorwiderständen durch Spannungsmessung mittels Oszilloskop**

### 1.3 Strommessung

Es wurde die asymmetrische Stromverteilung entlang der Stromkreise gemessen. Der Abstand der Meßpunkte betrug ca. 0,5 m. Der Meßaufbau ist in Abbildung 9 dargestellt. Die Einkopplungen erfolgten symmetrisch zwischen L und N bzw. asymmetrisch zwischen L-N und Masse (metallische Grundfläche der Absorberhalle).

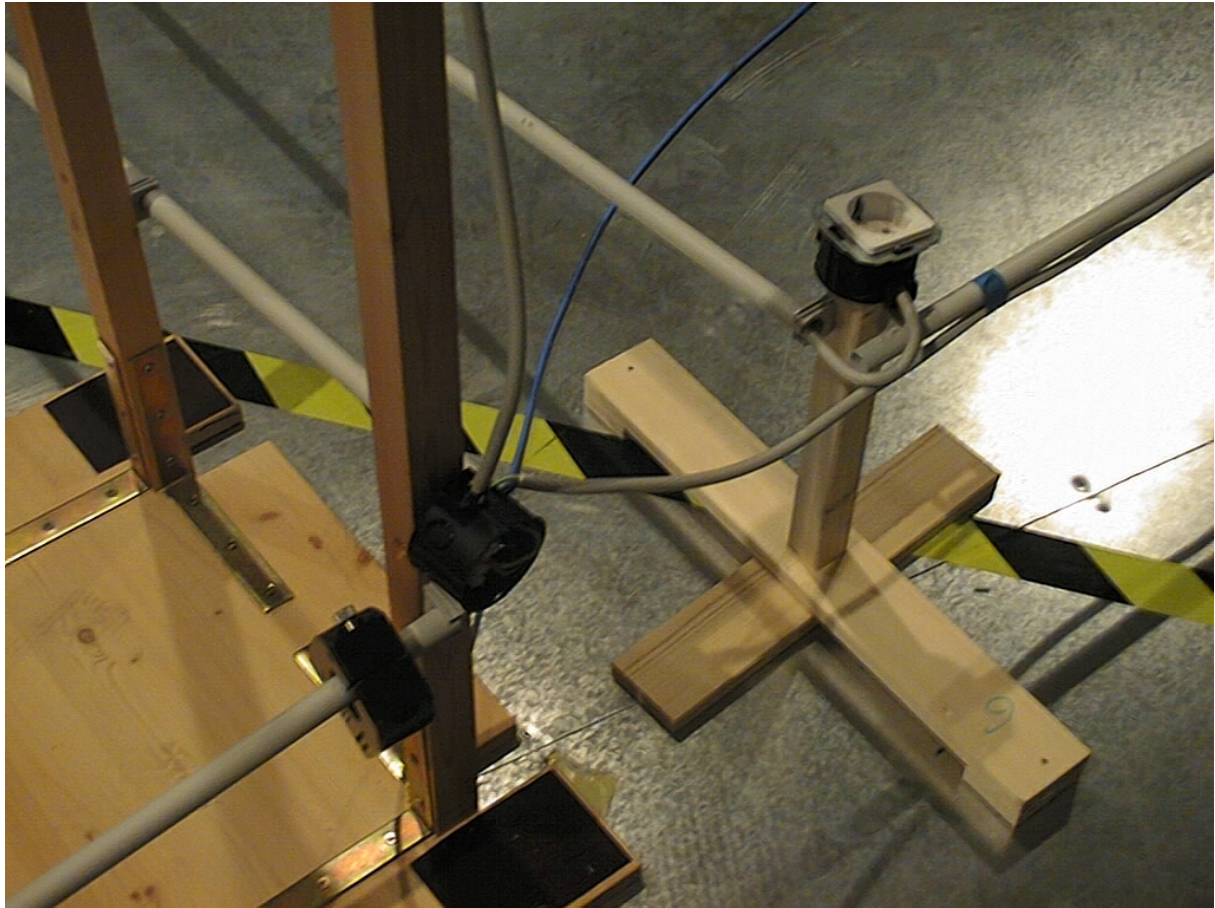


**Abbildung 9: Meßaufbau, Strommessung**

Verwendete Meßgeräte und Meßhilfsmittel:

- Spektrumanalysator HP 8593 EM (Hewlett Packard)
- Balun 0322 BF (North Hills Signal Processing)
- Stromzange Type 6741-1 (Solar Electronics)

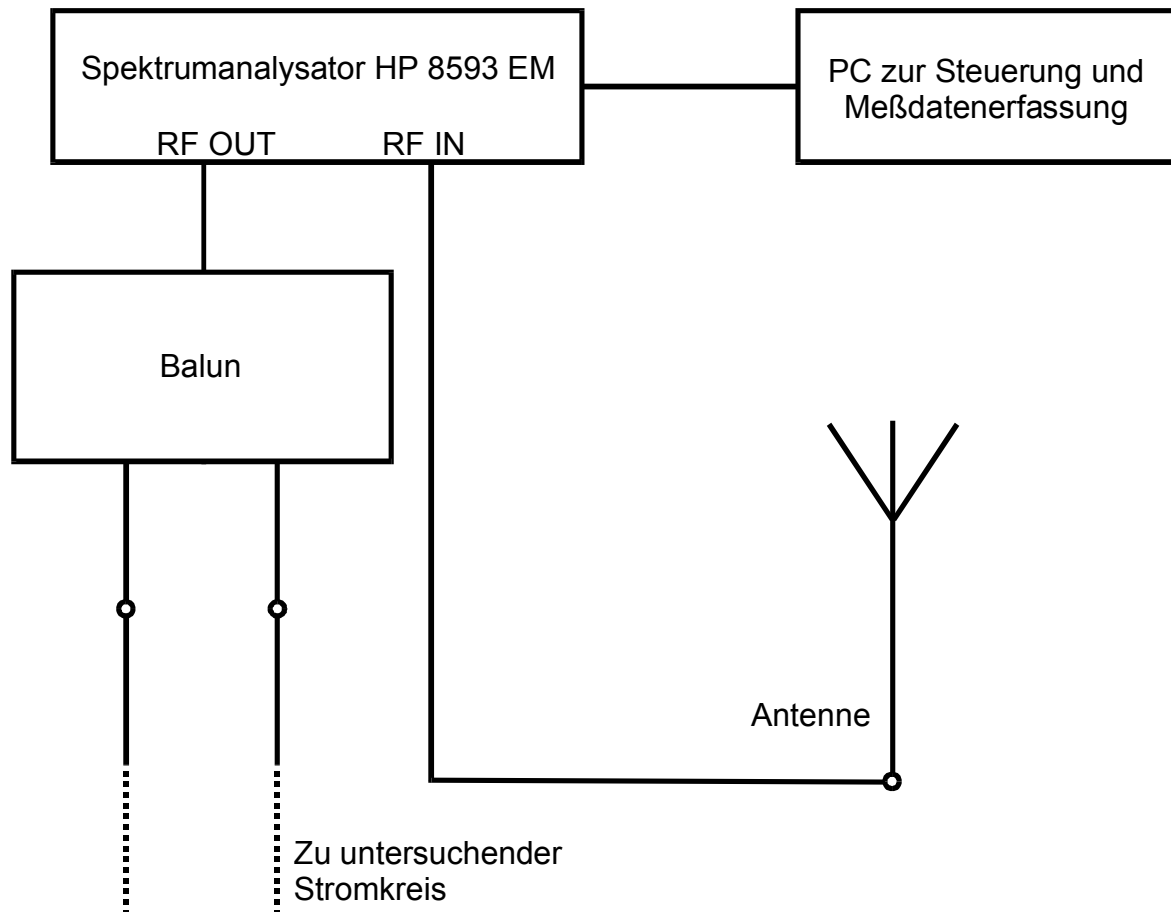
In der Abbildung 10 ist die Messung des asymmetrischen Stromes mittels Stromzange im Stromkreis S0 hinter P4 (Abzweig von der Zuleitung in die Lampenleitung sowie die kurze und lange Leitung in Raum 0) dargestellt.



**Abbildung 10: Messung des asymmetrischen Stromes mittels Stromzange**

## 1.4 Feldstärkemessung

Es wurde die elektrische und magnetische Feldstärke an verschiedenen Orten in der Nähe der Stromkreise S0 und S1 gemessen. Der Meßaufbau ist in Abbildung 11 dargestellt. Die Einkopplungen erfolgten symmetrisch zwischen L und N der Stromkreise S0, S1 und S01.



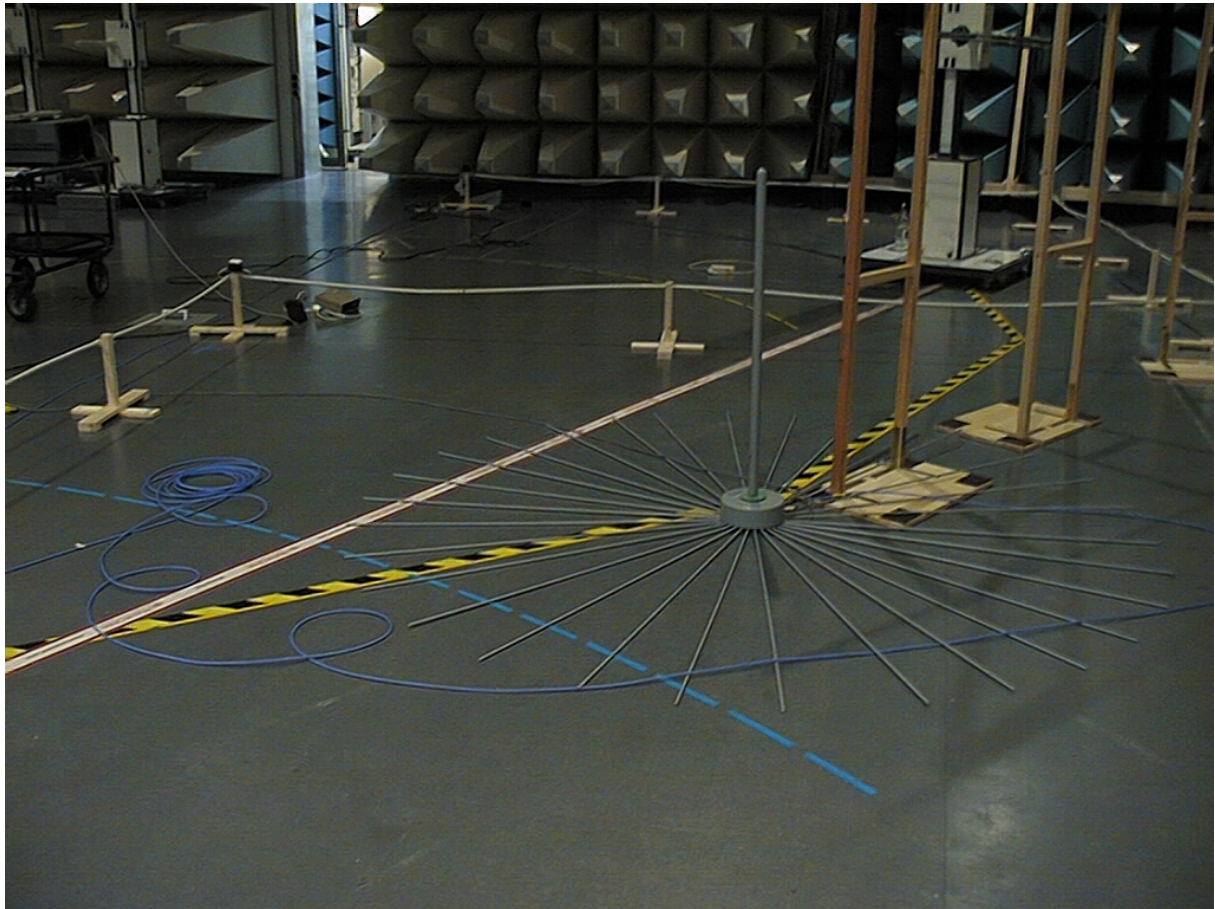
**Abbildung 11: Meßaufbau, Feldstärkemessung**

Verwendete Meßgeräte und Meßhilfsmittel:

- Spektrumanalysator HP 8593 EM (Hewlett Packard)
- Balun 0322 BF (North Hills Signal Processing)
- Stabantenne HFH2-Z1
- Schleifenantenne HFH2-Z2



Der Aufbau zur Messung der elektrischen Feldstärke ist in Abbildung 12 dargestellt.

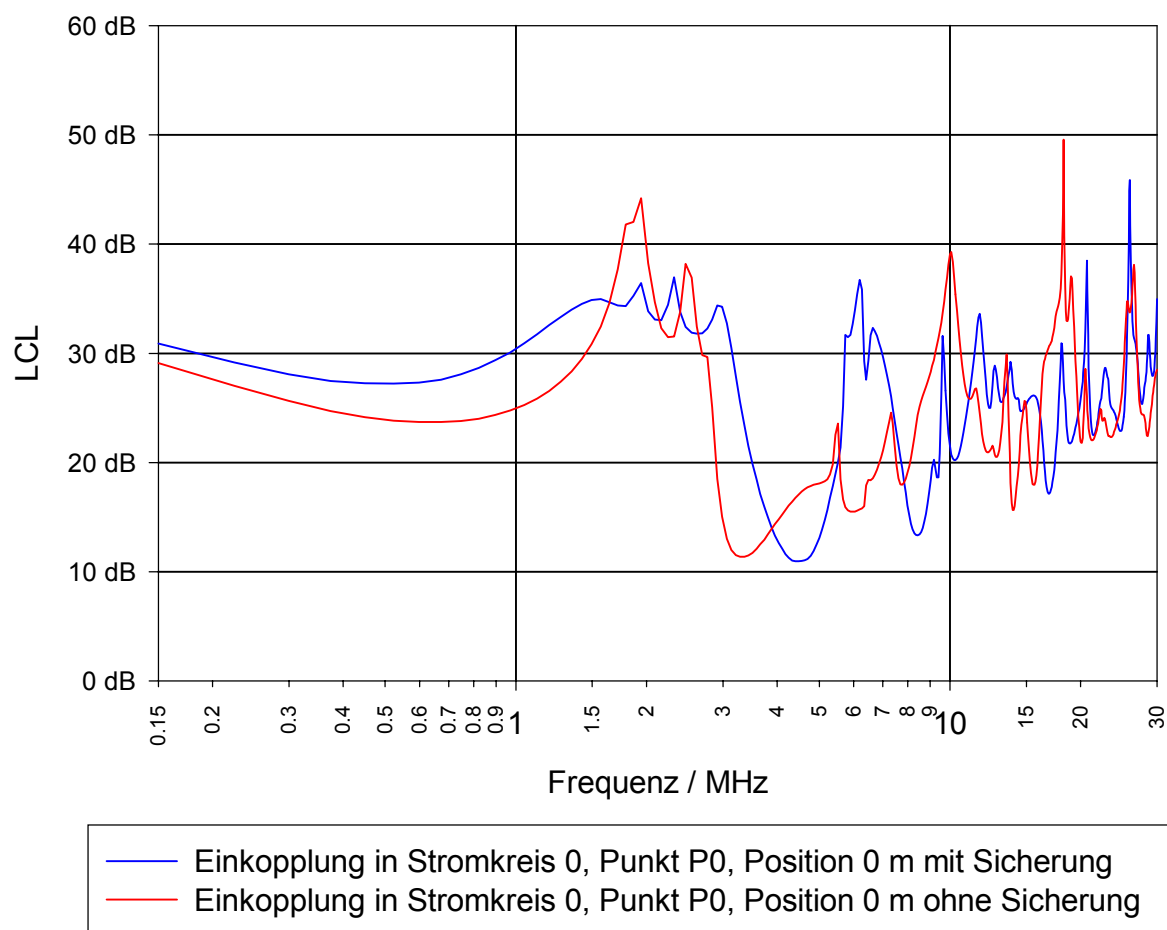


**Abbildung 12: Meßaufbau zur Bestimmung der elektrischen Feldstärke**

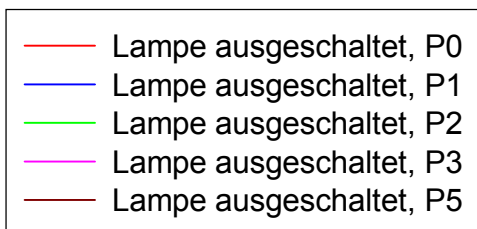
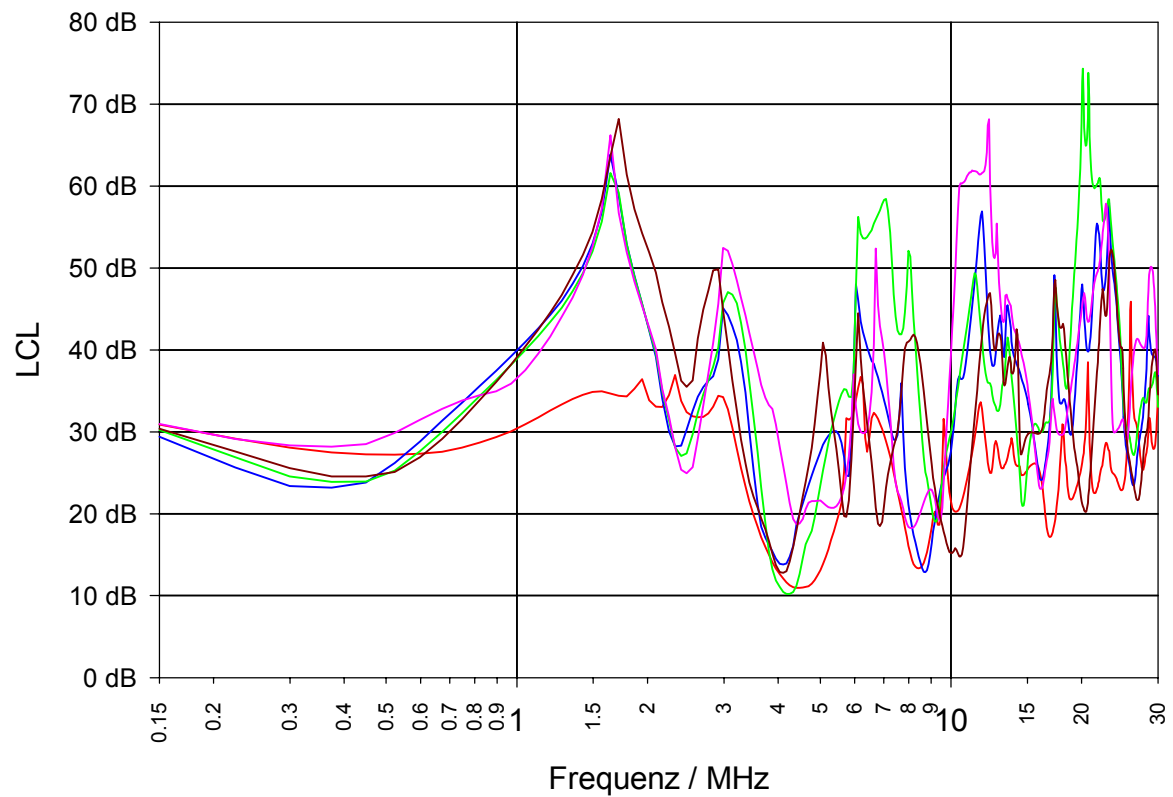
## 2 Meßwerte

### 2.1 LCL-Messung

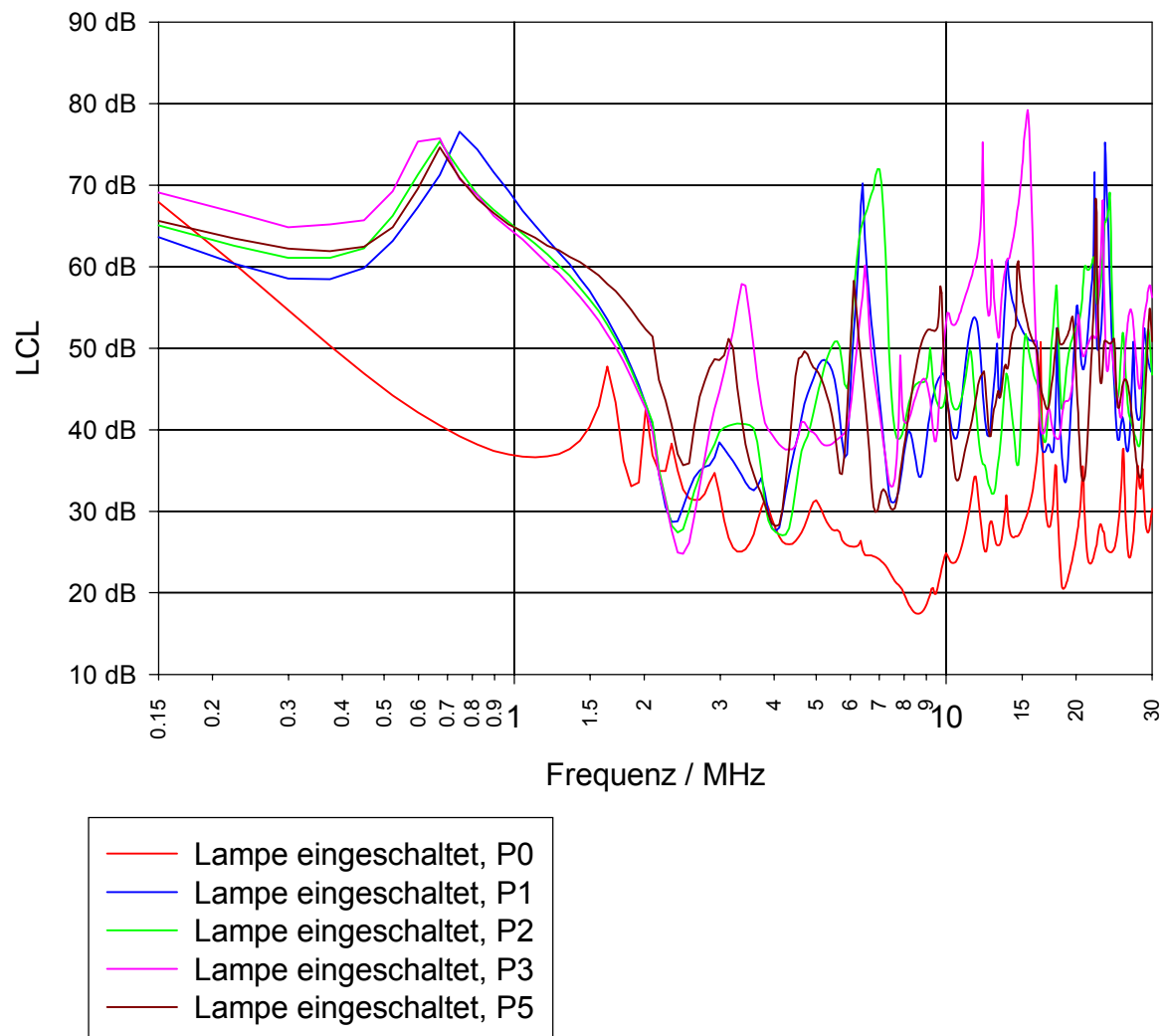
Es wurde der LCL der Stromkreise S0, S1 und S01 an der Einspeisestelle am Sicherungskasten (P0) sowie an weiteren Punkten innerhalb der Stromkreise, an denen Schutzkontakt-Steckdosen montiert waren, gemessen. Die Ergebnisse sind in den folgenden Diagrammen dargestellt.



**Abbildung 13: LCL bei Einkopplung vor und hinter der Sicherung**

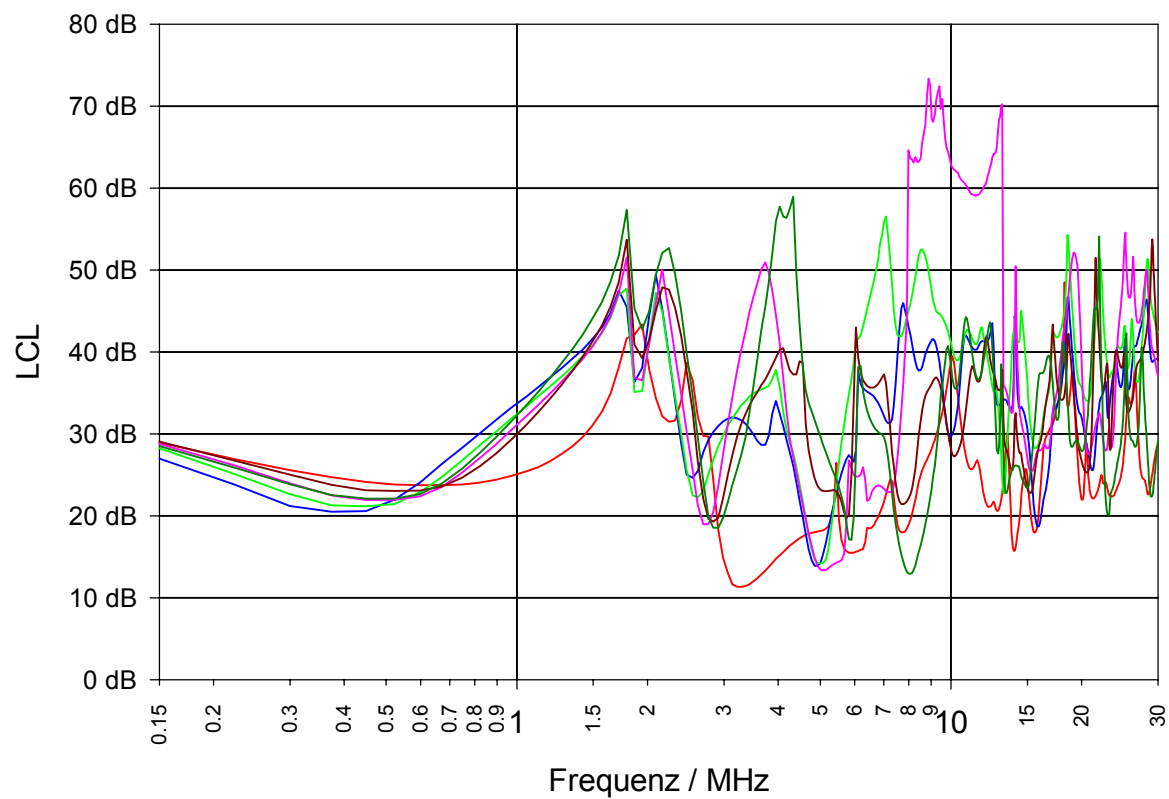


**Abbildung 14: LCL Stromkreis 0, Lampe 0 ausgeschaltet**



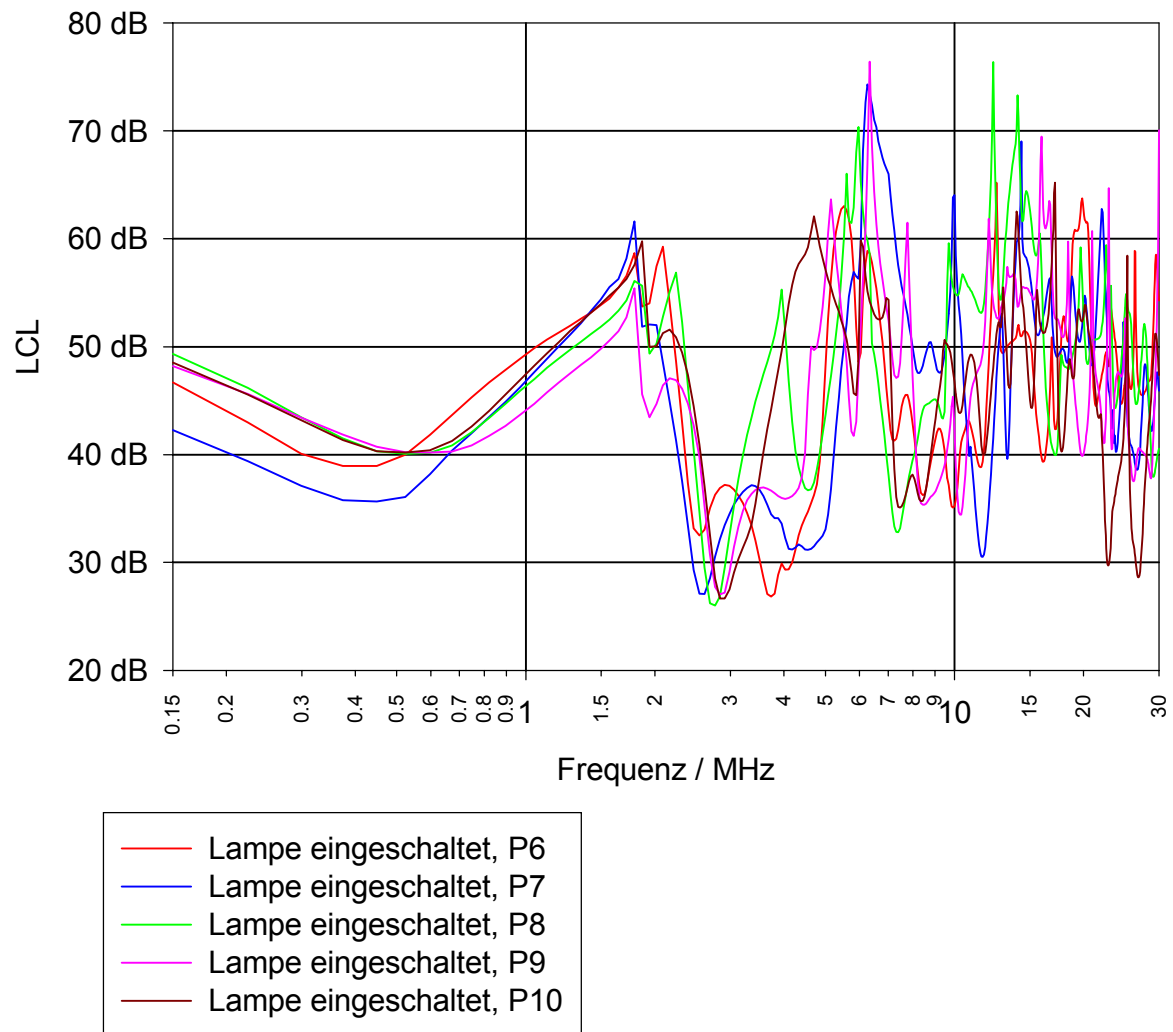
**Abbildung 15: LCL Stromkreis 0, Lampe 0 eingeschaltet**



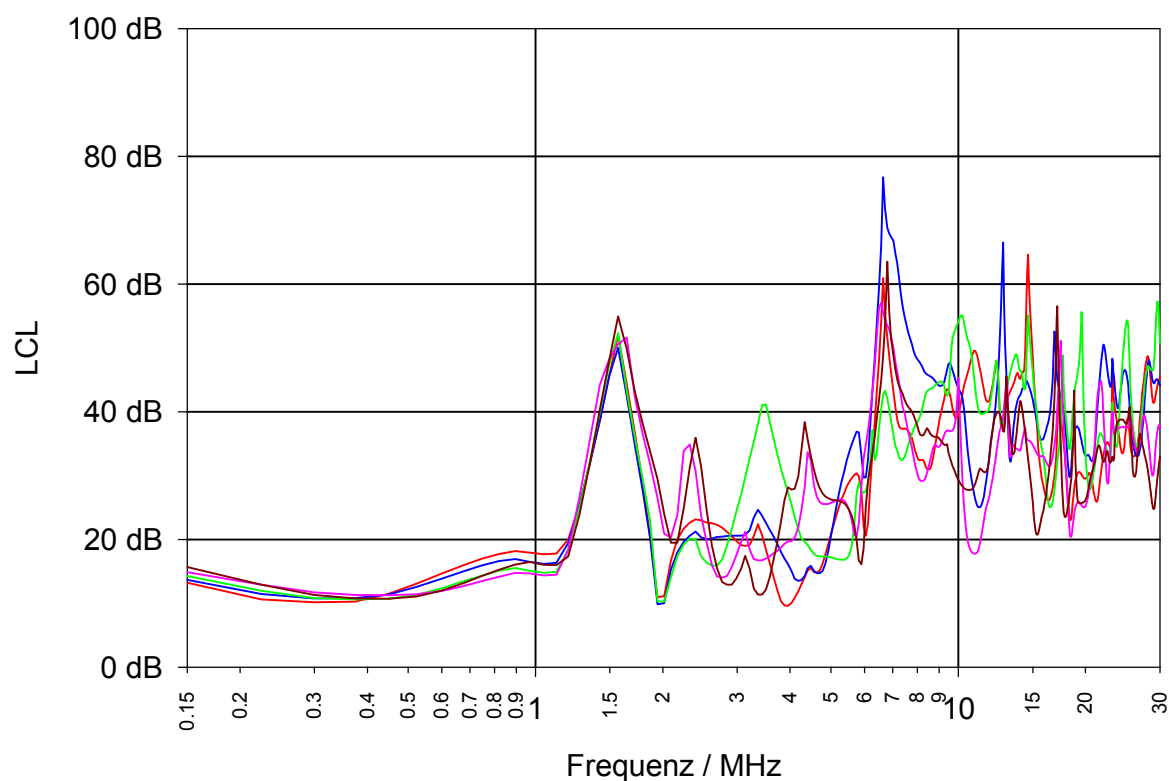


- Lampe ausgeschaltet, P0
- Lampe ausgeschaltet, P6
- Lampe ausgeschaltet, P7
- Lampe ausgeschaltet, P8
- Lampe ausgeschaltet, P9
- Lampe ausgeschaltet, P10

**Abbildung 16: LCL Stromkreis 1, Lampe 1 ausgeschaltet**

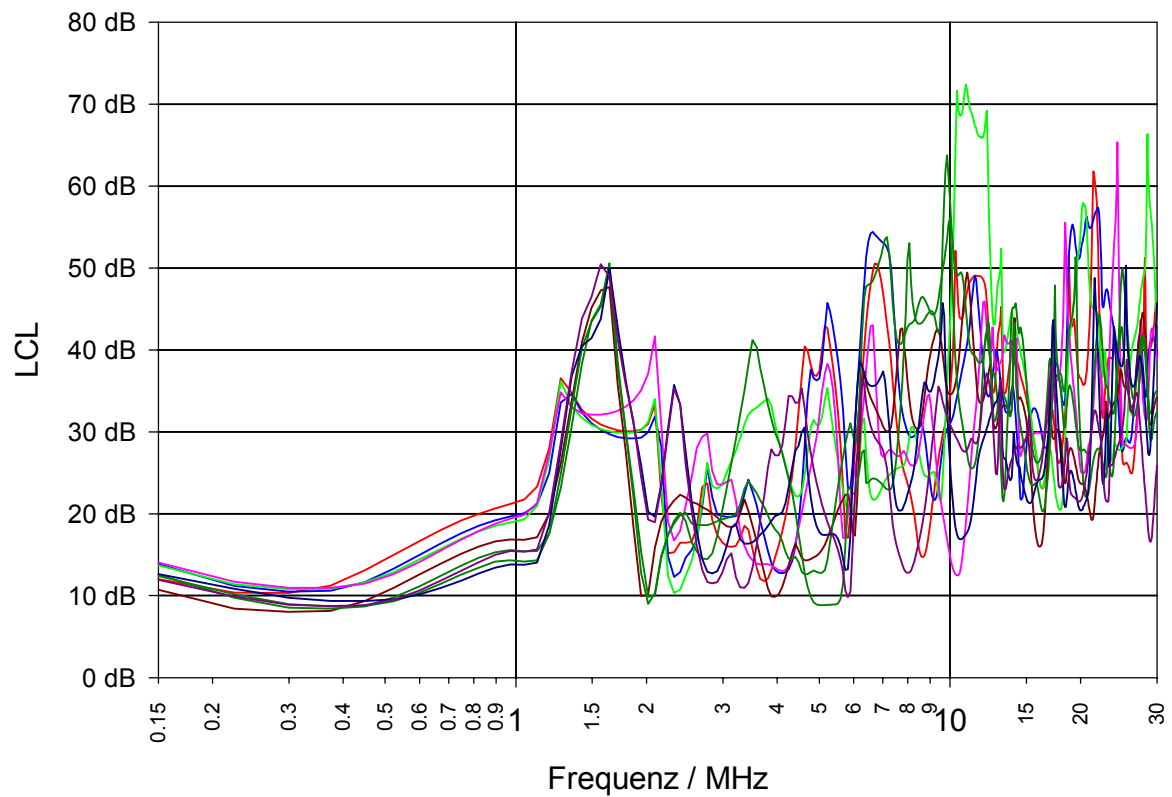


**Abbildung 17: LCL Stromkreis 1, Lampe 1 eingeschaltet**



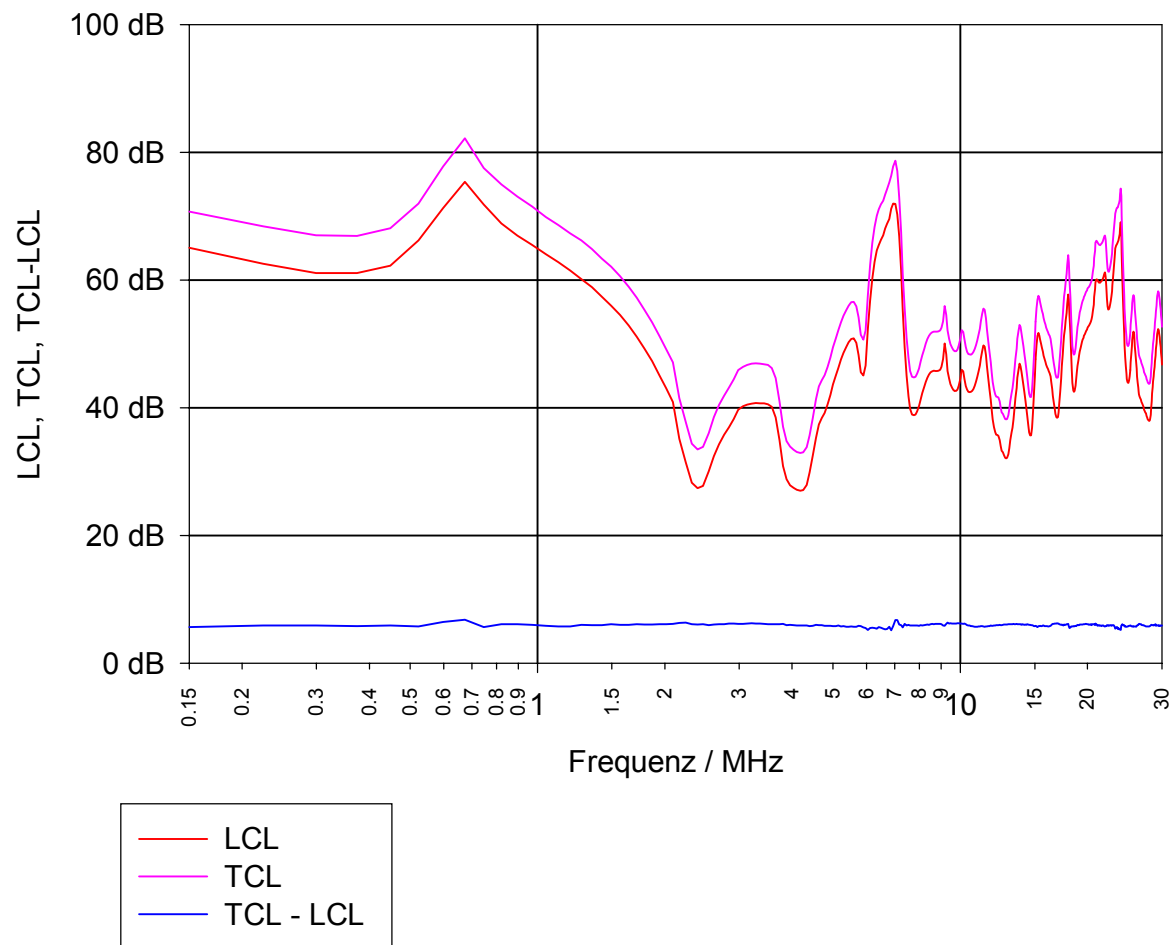
- Stromkreise 0 u 1, Lampe 0 ausgeschaltet, Lampe 1 eingeschaltet, P6
- Stromkreise 0 u 1, Lampe 0 ausgeschaltet, Lampe 1 eingeschaltet, P7
- Stromkreise 0 u 1, Lampe 0 ausgeschaltet, Lampe 1 eingeschaltet, P8
- Stromkreise 0 u 1, Lampe 0 ausgeschaltet, Lampe 1 eingeschaltet, P9
- Stromkreise 0 u 1, Lampe 0 ausgeschaltet, Lampe 1 eingeschaltet, P10

**Abbildung 18: LCL Stromkreis S01, Lampe 0 ausgeschaltet, Lampe 1 eingeschaltet**



- Stromkreise 0 und 1, Lampen 0 und 1 ausgeschaltet, P1
- Stromkreise 0 und 1, Lampen 0 und 1 ausgeschaltet, P2
- Stromkreise 0 und 1, Lampen 0 und 1 ausgeschaltet, P3
- Stromkreise 0 und 1, Lampen 0 und 1 ausgeschaltet, P5
- Stromkreise 0 und 1, Lampen 0 und 1 ausgeschaltet, P6
- Stromkreise 0 und 1, Lampen 0 und 1 ausgeschaltet, P7
- Stromkreise 0 und 1, Lampen 0 und 1 ausgeschaltet, P8
- Stromkreise 0 und 1, Lampen 0 und 1 ausgeschaltet, P9
- Stromkreise 0 und 1, Lampen 0 und 1 ausgeschaltet, P10

Abbildung 19: LCL Stromkreis S01, Lampen ausgeschaltet



**Abbildung 20: Vergleich von TCL und LCL**

## 2.2 Spannungsmessung

Es wurde die symmetrische und asymmetrische Spannung der Stromkreise S0, S1 und S01 an der Einspeisestelle am Sicherungskasten (P0) sowie an weiteren Punkten innerhalb der Stromkreise, an denen Schutzkontakt-Steckdosen montiert waren, gemessen. Die Ergebnisse sind in den folgenden Diagrammen dargestellt.

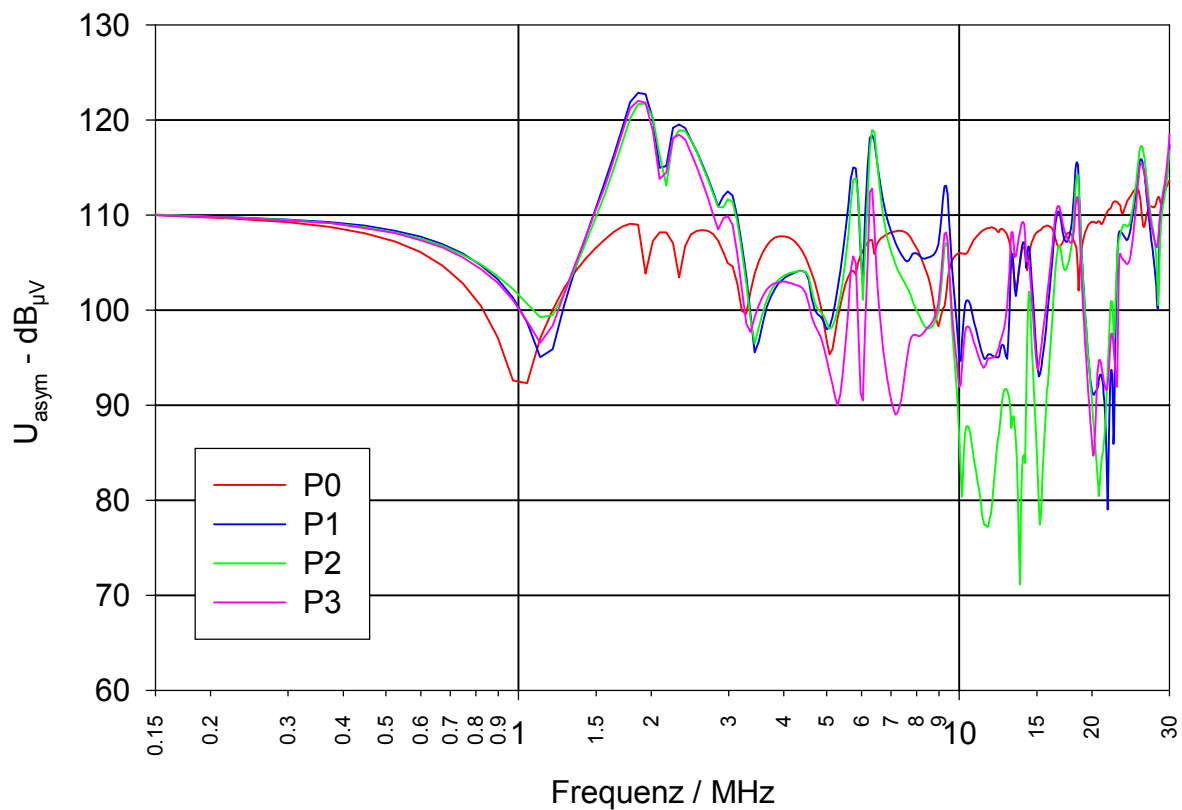
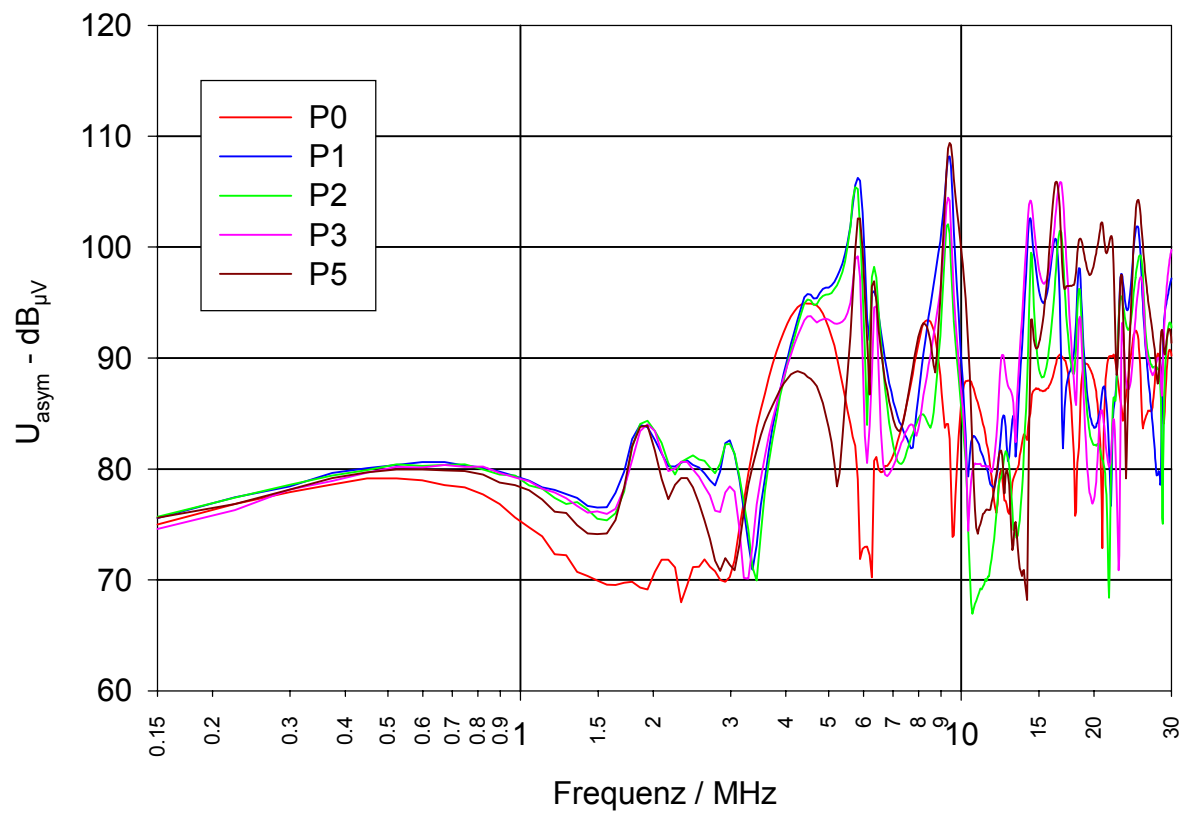
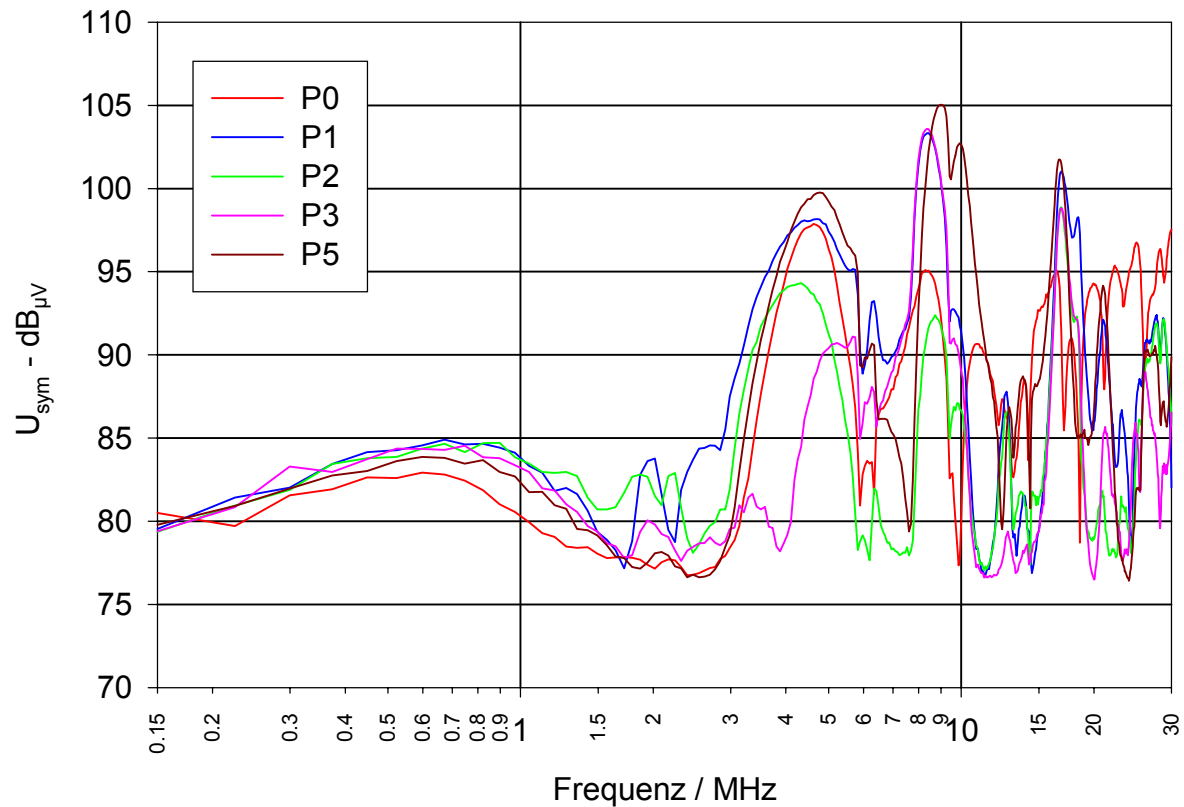


Abbildung 21: Asymmetrische Spannung, Stromkreis S0, asymmetrische Einkopplung



**Abbildung 22: Asymmetrische Spannung, Stromkreis S0, symmetrische Einkopplung**



**Abbildung 23: Symmetrische Spannung, Stromkreis S0, asymmetrische Einkopplung**



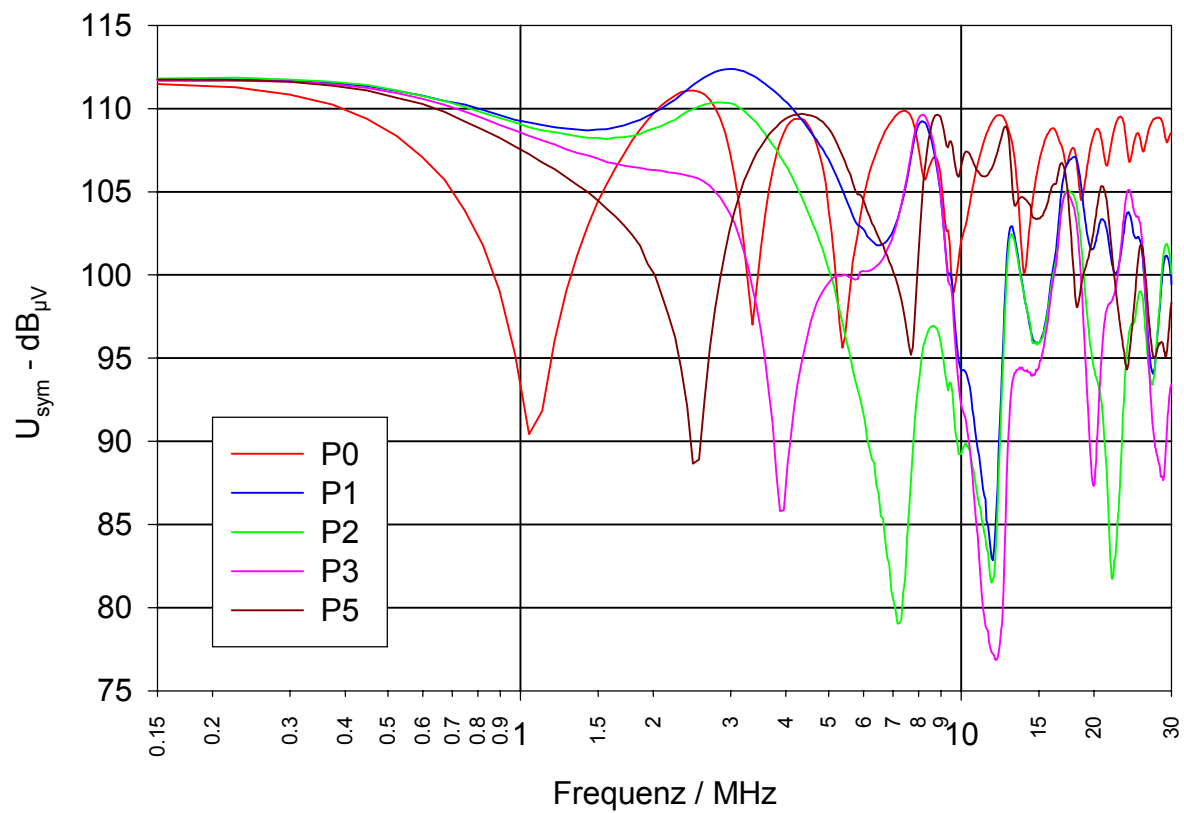


Abbildung 24: Symmetrische Spannung, Stromkreis S0, symmetrische Einkopplung

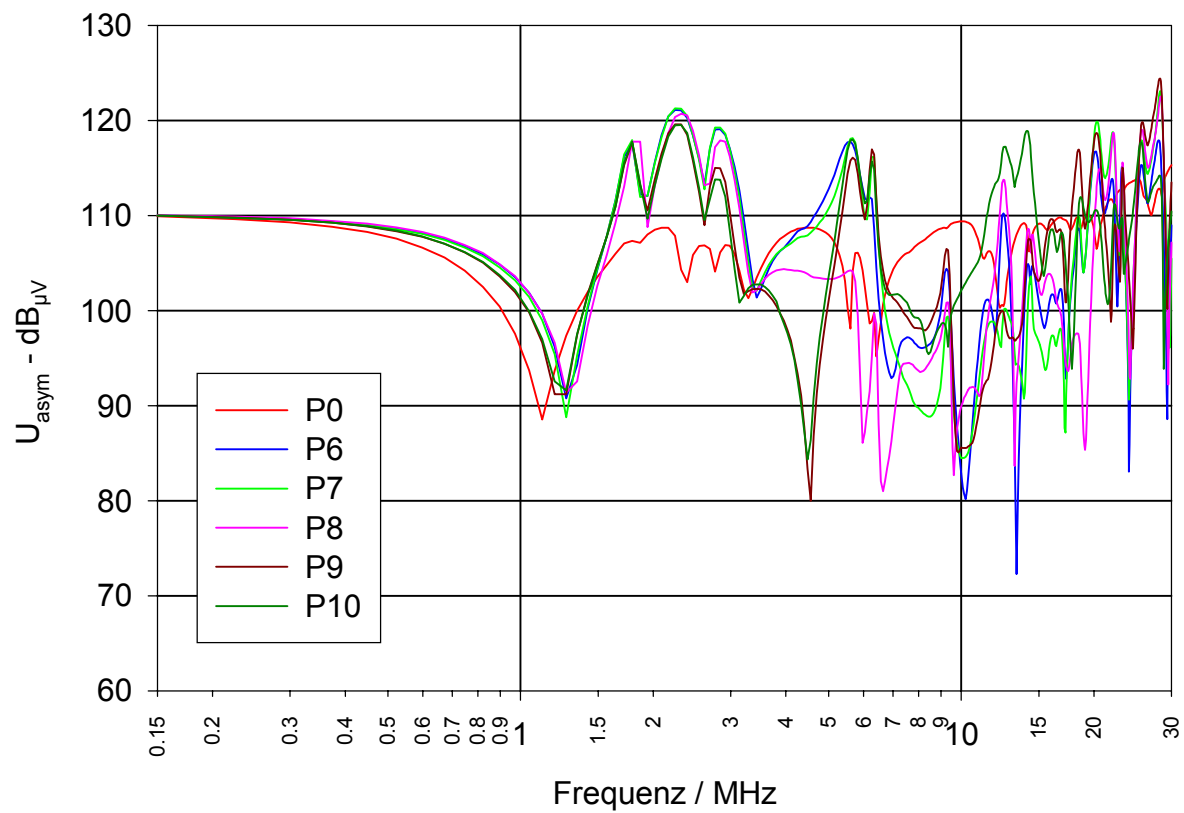
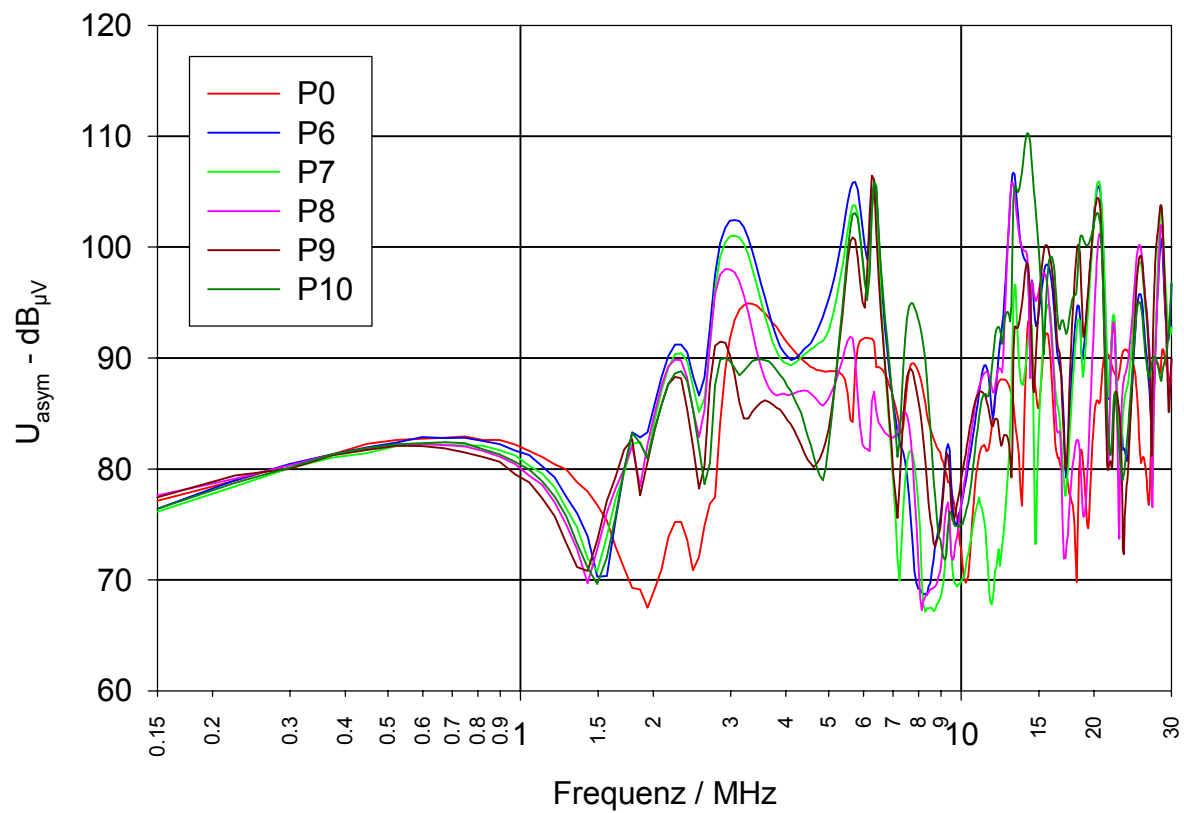


Abbildung 25: Asymmetrische Spannung, Stromkreis S1, asymmetrische Einkopplung



**Abbildung 26: Asymmetrische Spannung, Stromkreis S1, symmetrische Einkopplung**

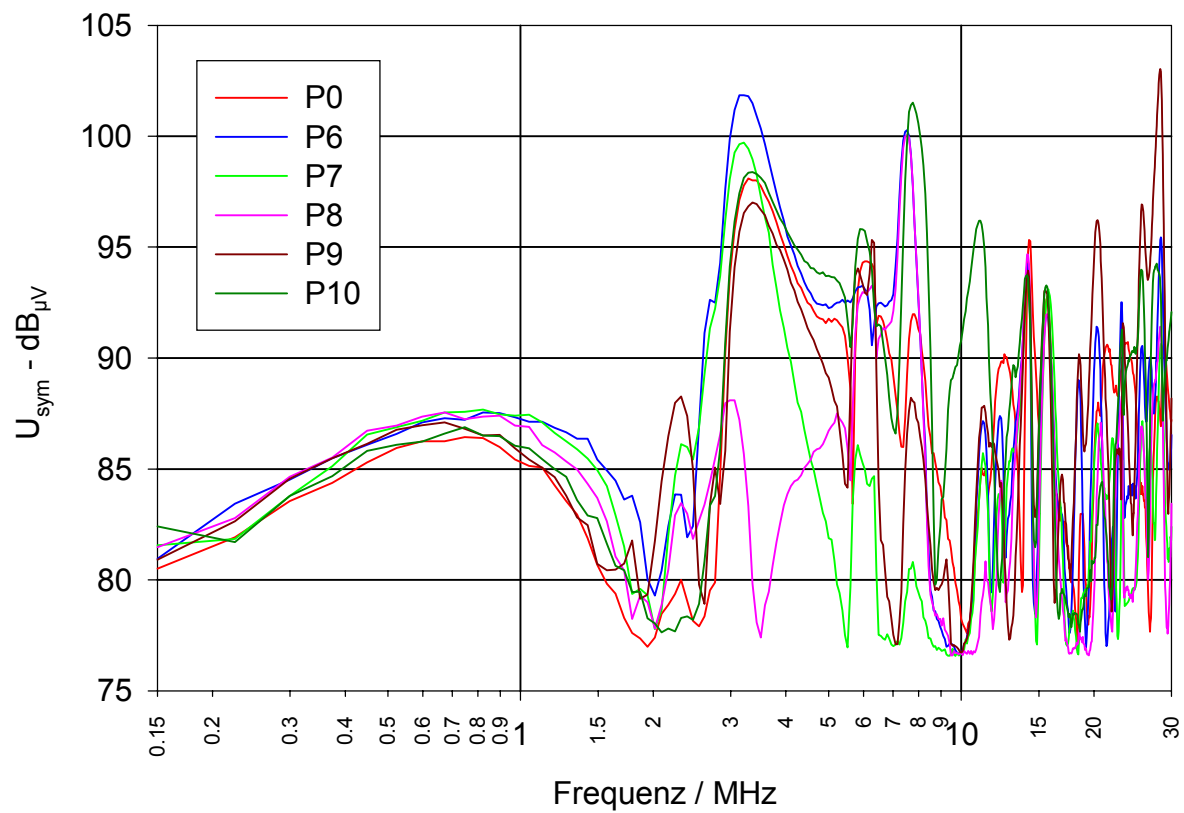


Abbildung 27: Symmetrische Spannung, Stromkreis S1, asymmetrische Einkopplung

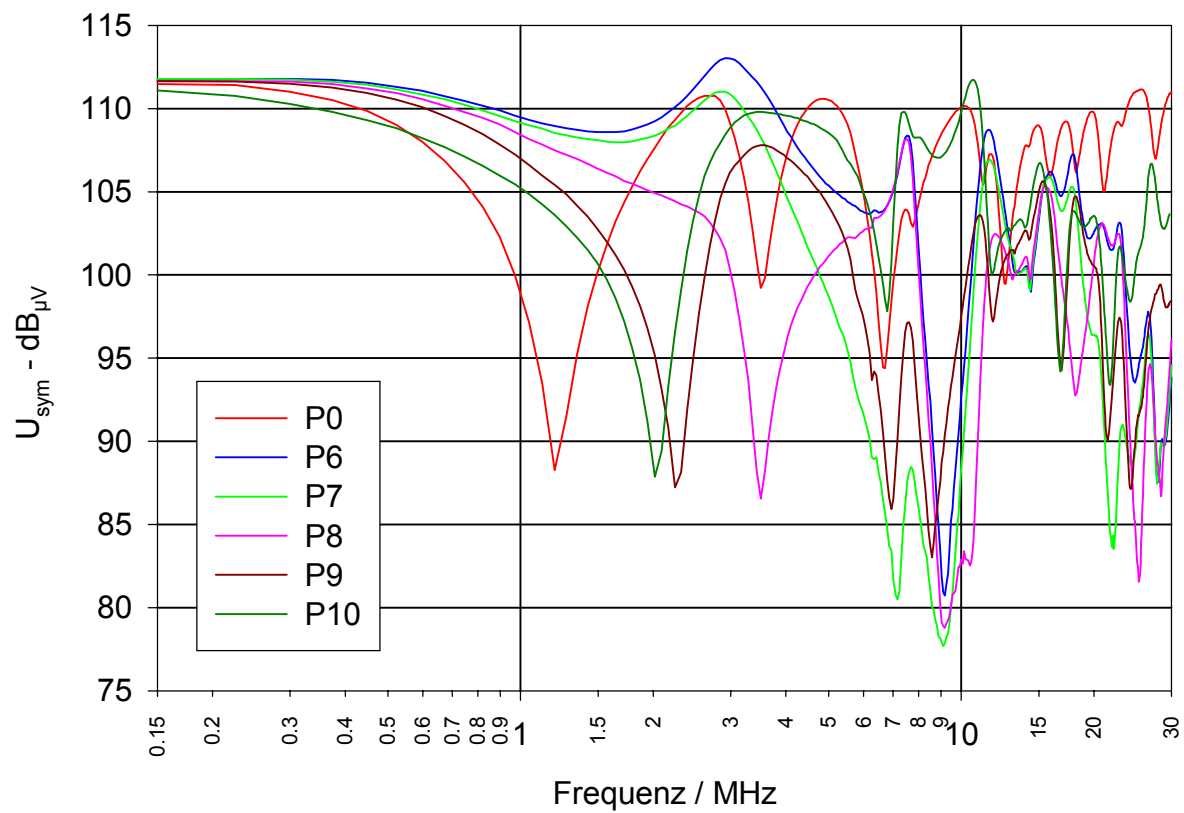


Abbildung 28: Symmetrische Spannung, Stromkreis S1, symmetrische Einkopplung

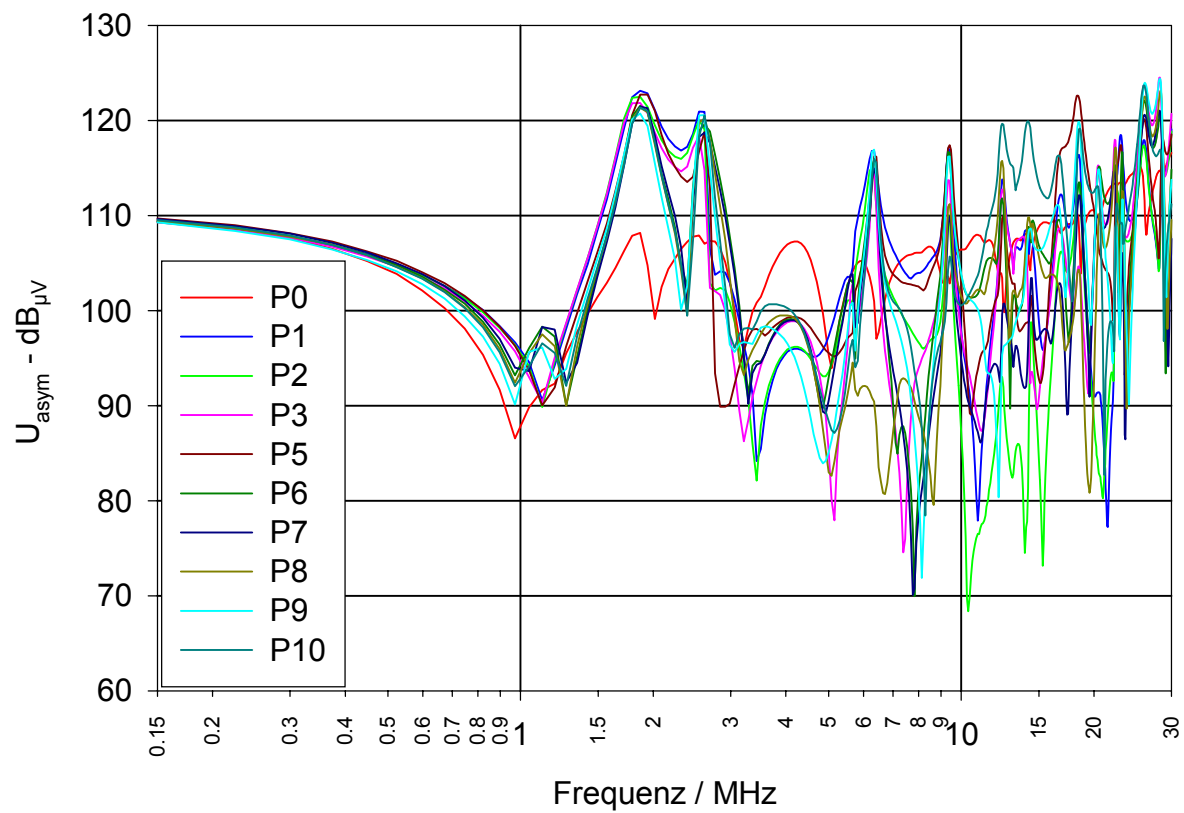
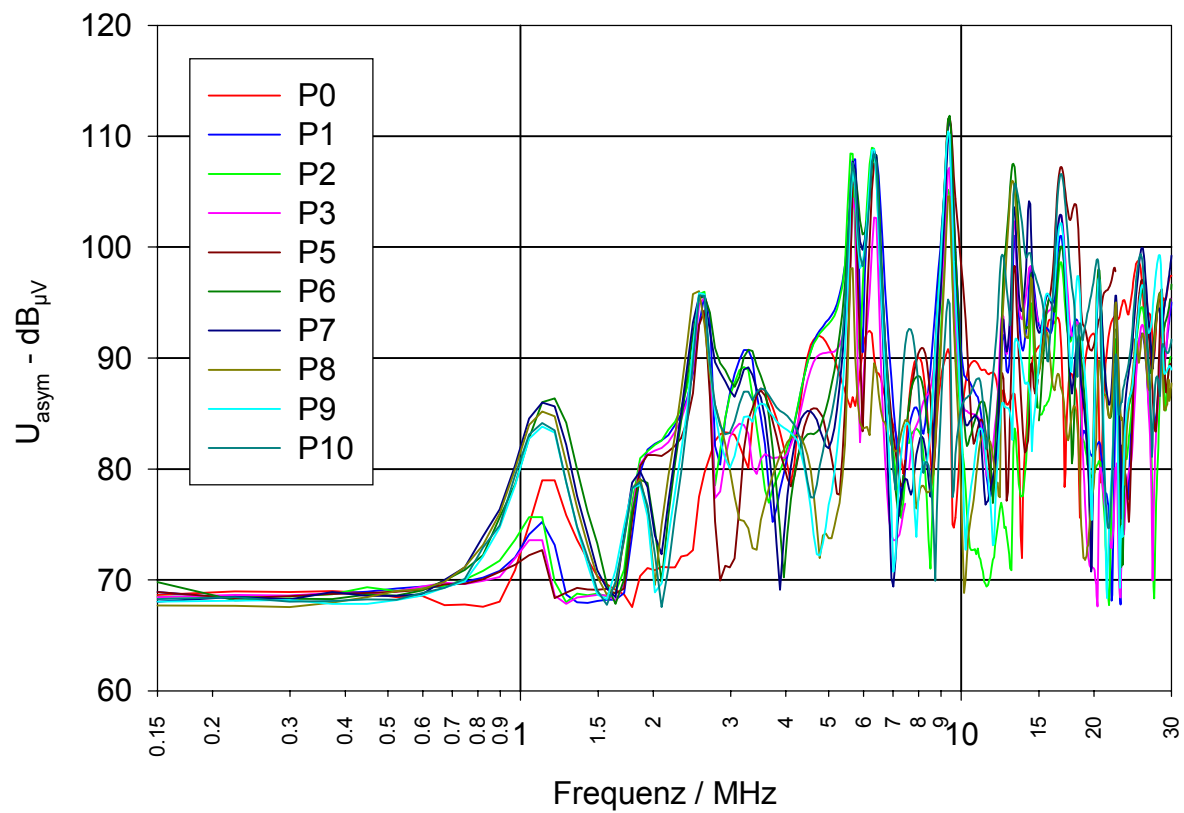


Abbildung 29: Asymmetrische Spannung, Stromkreis S01, asymmetrische Einkopplung



**Abbildung 30: Asymmetrische Spannung, Stromkreis S01, symmetrische Einkopplung**

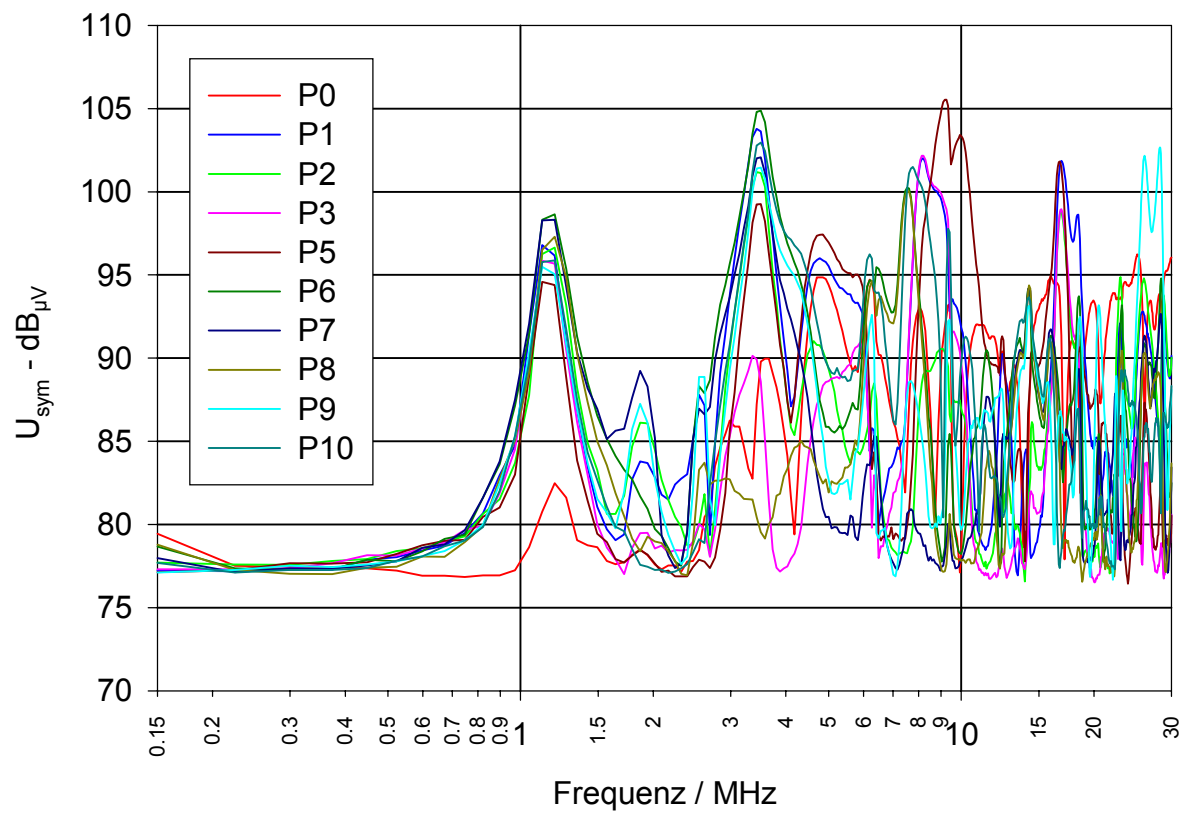


Abbildung 31: Symmetrische Spannung, Stromkreis S01, asymmetrische Einkopplung



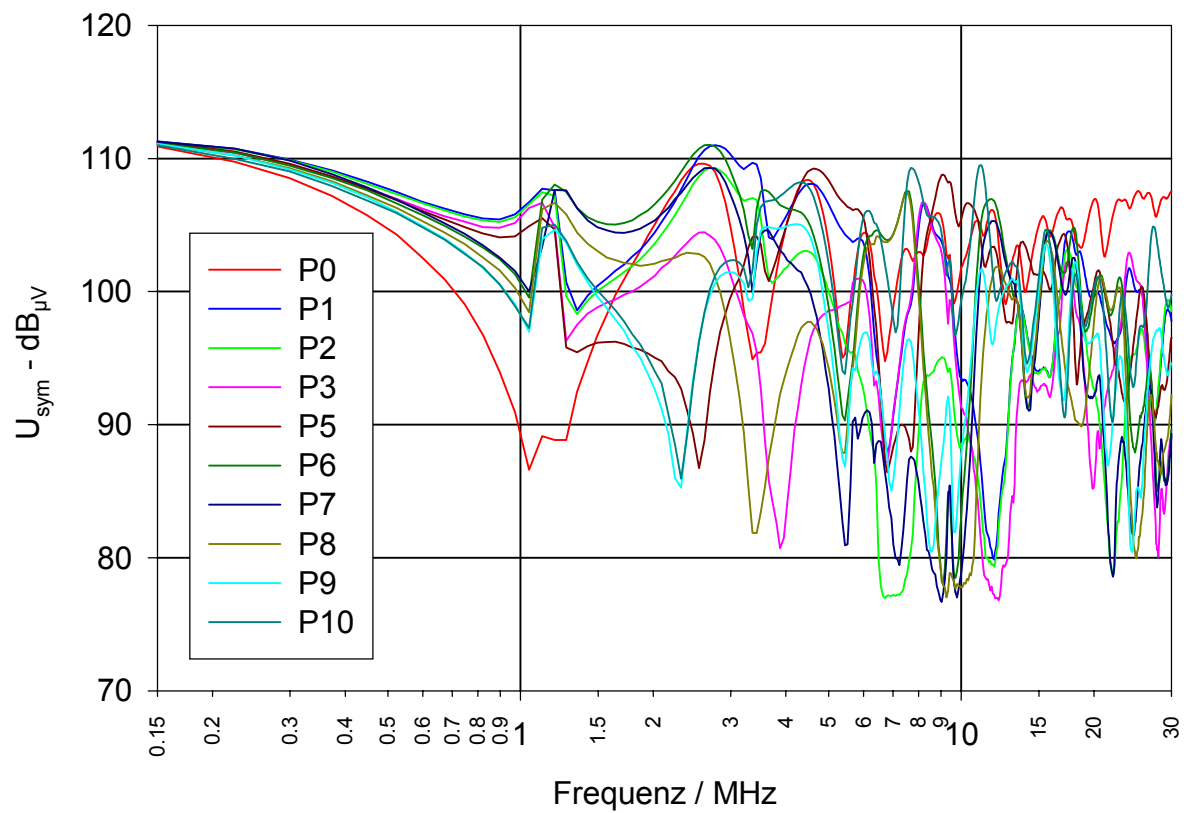


Abbildung 32: Symmetrische Spannung, Stromkreis S01, symmetrische Einkopplung

EMV- Beratungs- und Planungsbüro Prof. Dr.-Ing. K. H. Gonschorek Dr.-Ing. R. Vick	<div>Meßbericht</div> <div><b>Abstrahlverhalten eines künstlichen Netzes</b></div>	Seite 36 von 81  Datum: 29.08.1999
--	--	--

## ***2.3 Strommessung***

Es wurde die Verteilung des asymmetrischen Stromes der Stromkreise S0, S1 und S01 gemessen. Dabei wurde eine Stromzange verwendet und alle 0.5 m die asymmetrischen Ströme gemessen. Die Ergebnisse sind in den folgenden Diagrammen dargestellt.

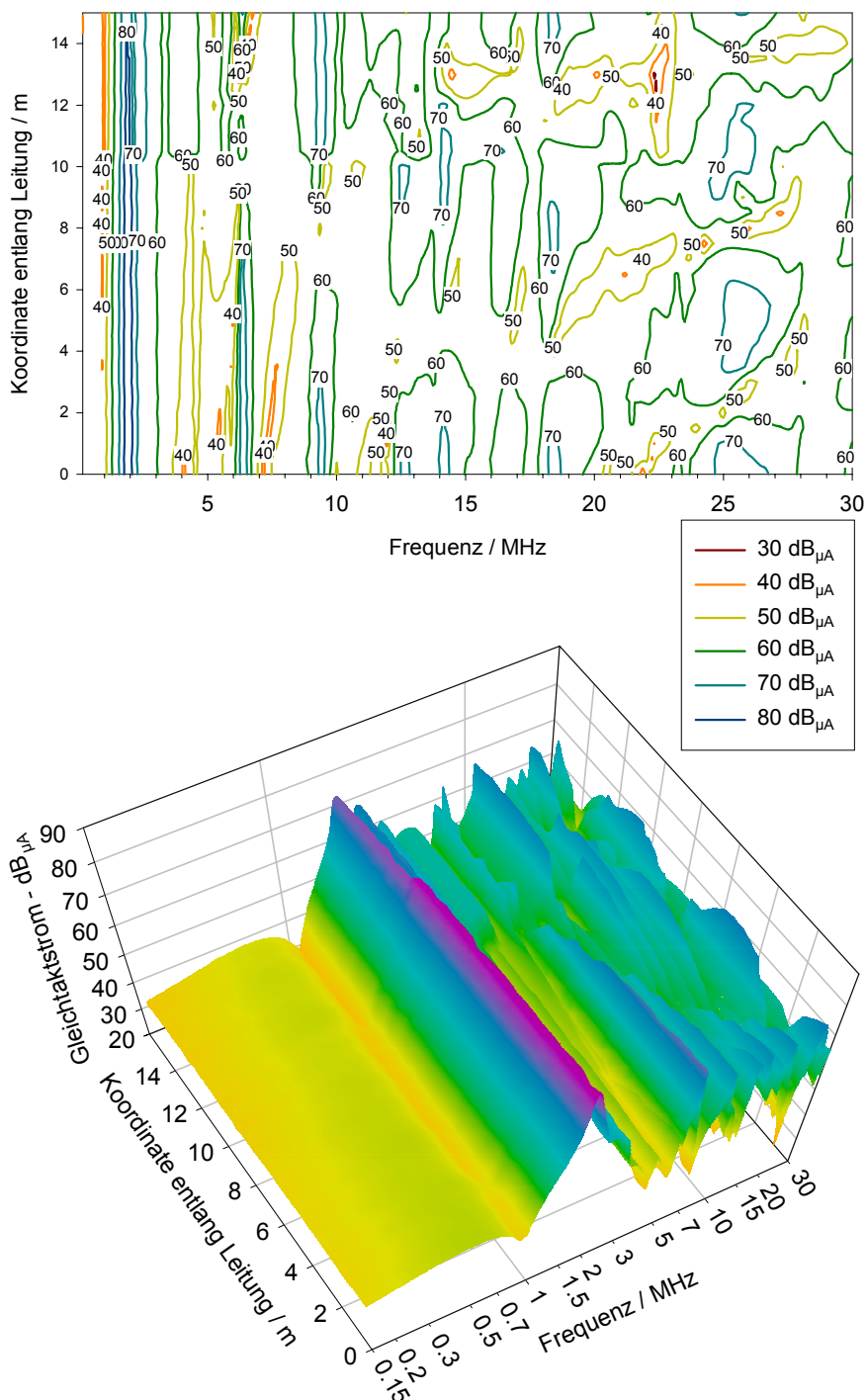


Abbildung 33: Stromverteilung, Stromkreis S0, Zuleitung, Einkopplung asymmetrisch P0

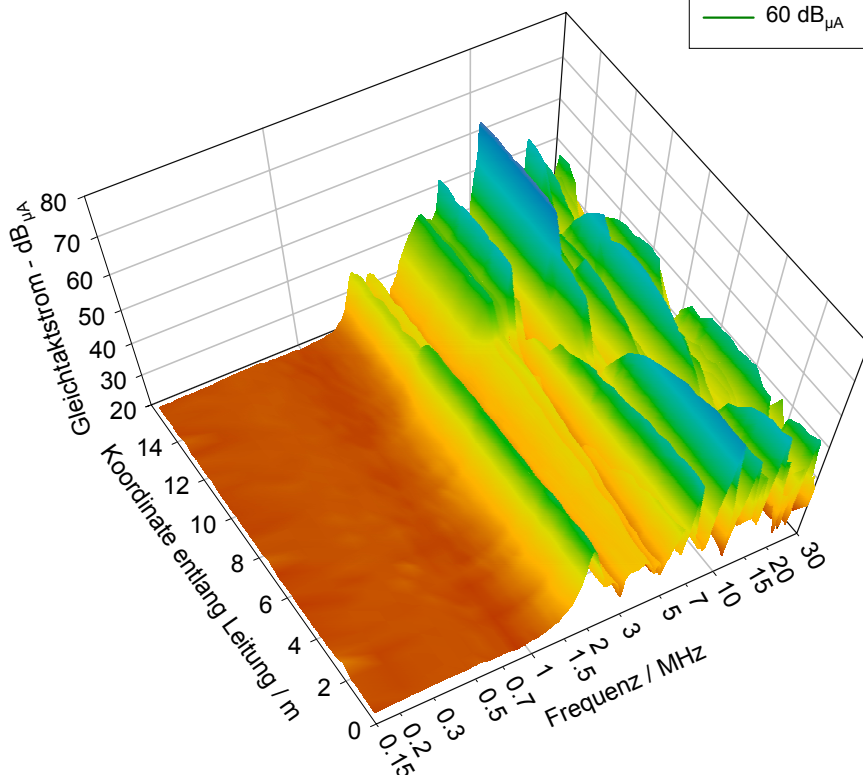
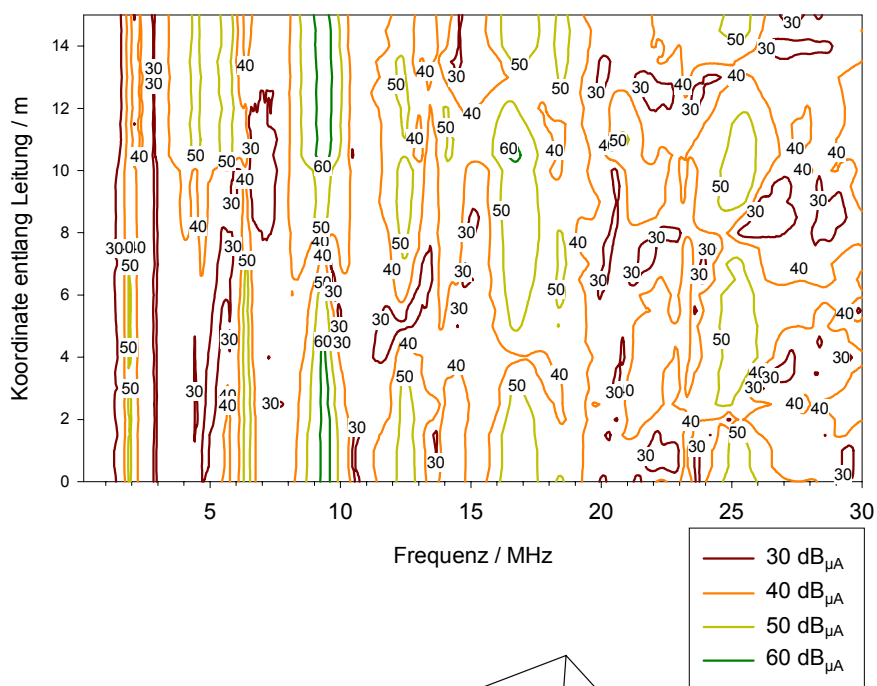


Abbildung 34: Stromverteilung, Stromkreis S0, Zuleitung, Einkopplung symmetrisch P0

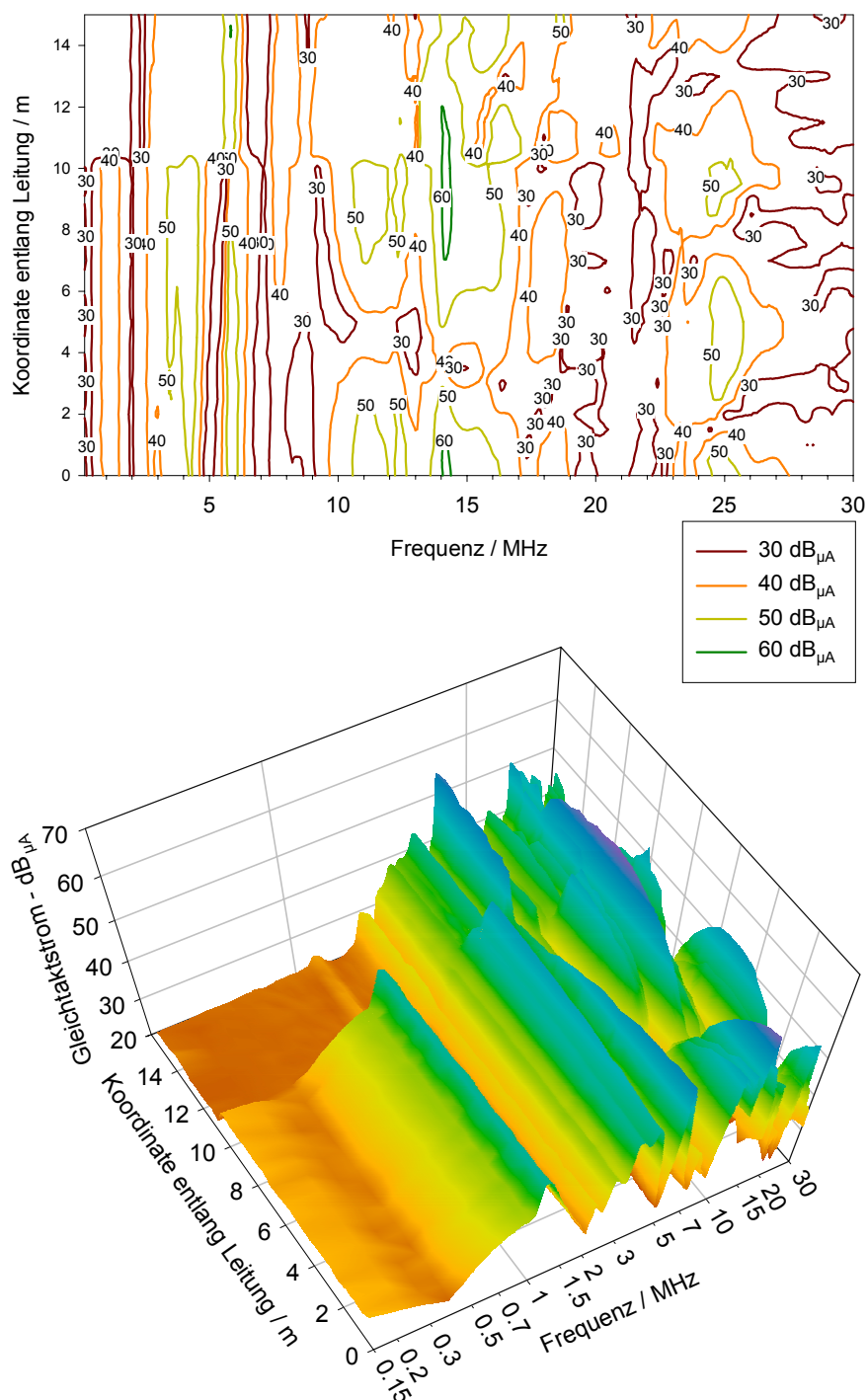


Abbildung 35: Stromverteilung, Stromkreis S0, Zuleitung, Einkopplung symmetrisch P9

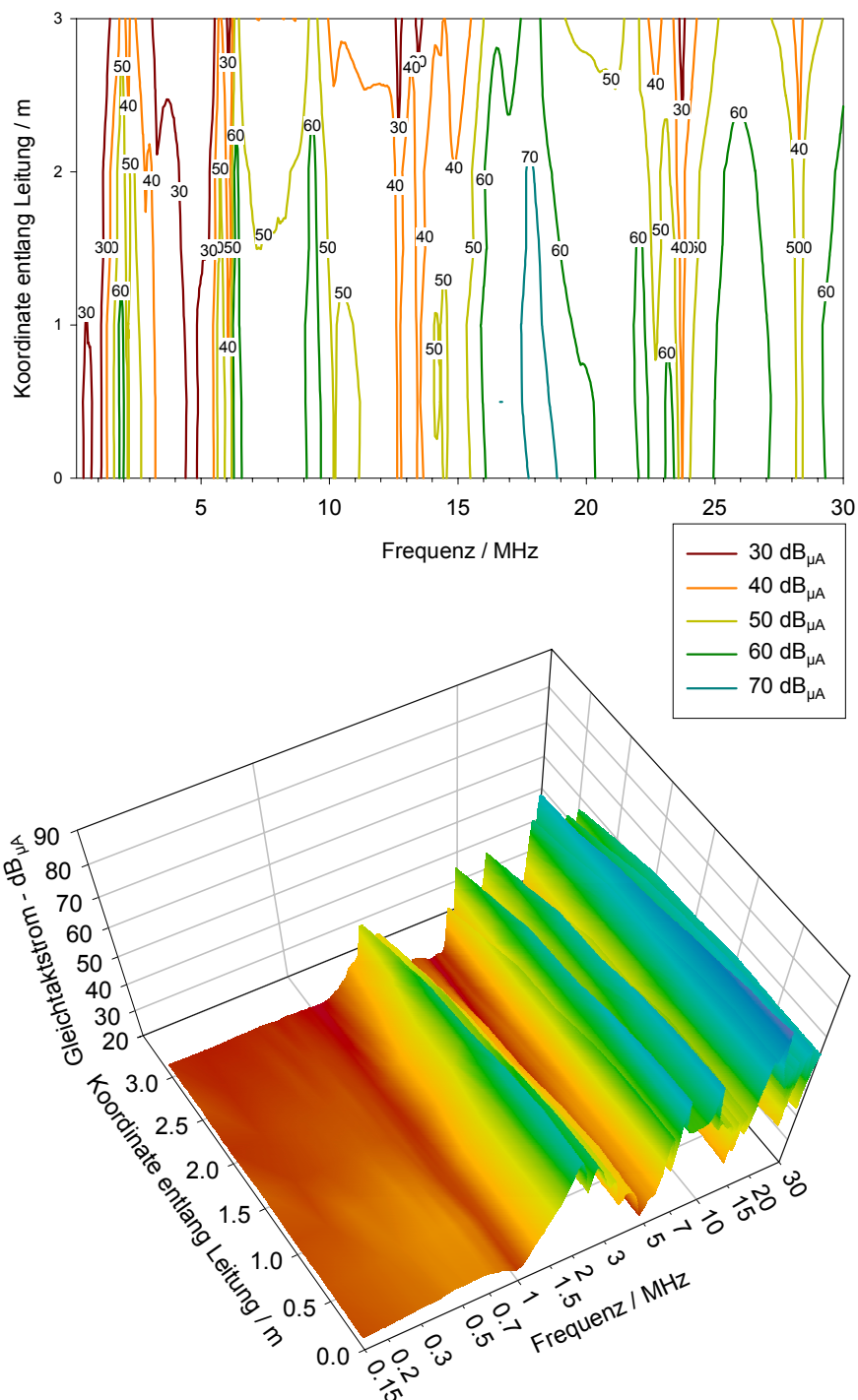


Abbildung 36: Stromverteilung, Stromkreis S0, kurze Leitung in Raum 0, Einkopplung asymmetrisch P0

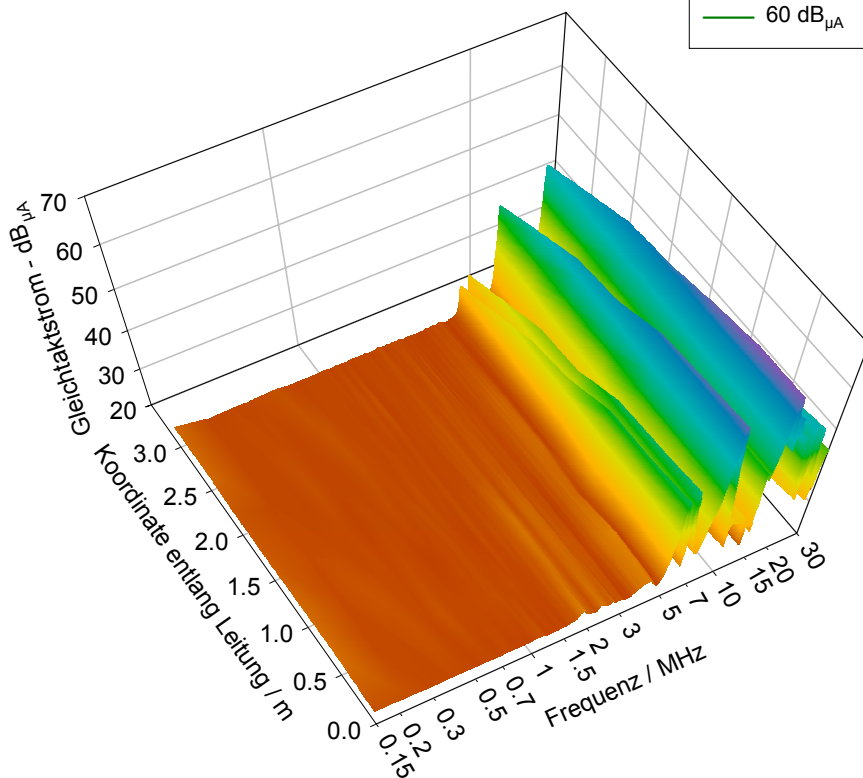
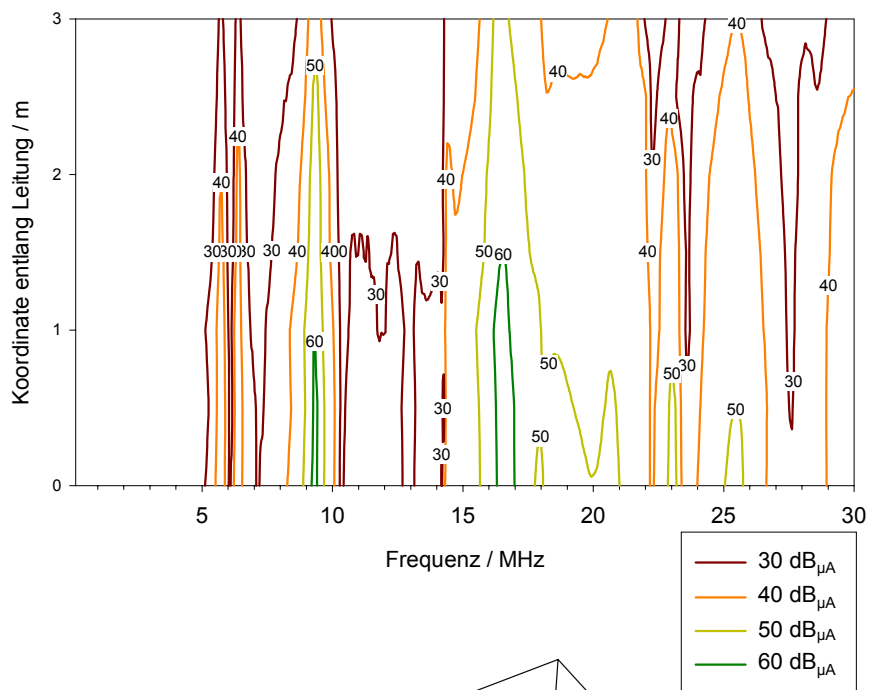


Abbildung 37: Stromverteilung, Stromkreis S0, kurze Leitung in Raum 0, Einkopplung symmetrisch P0

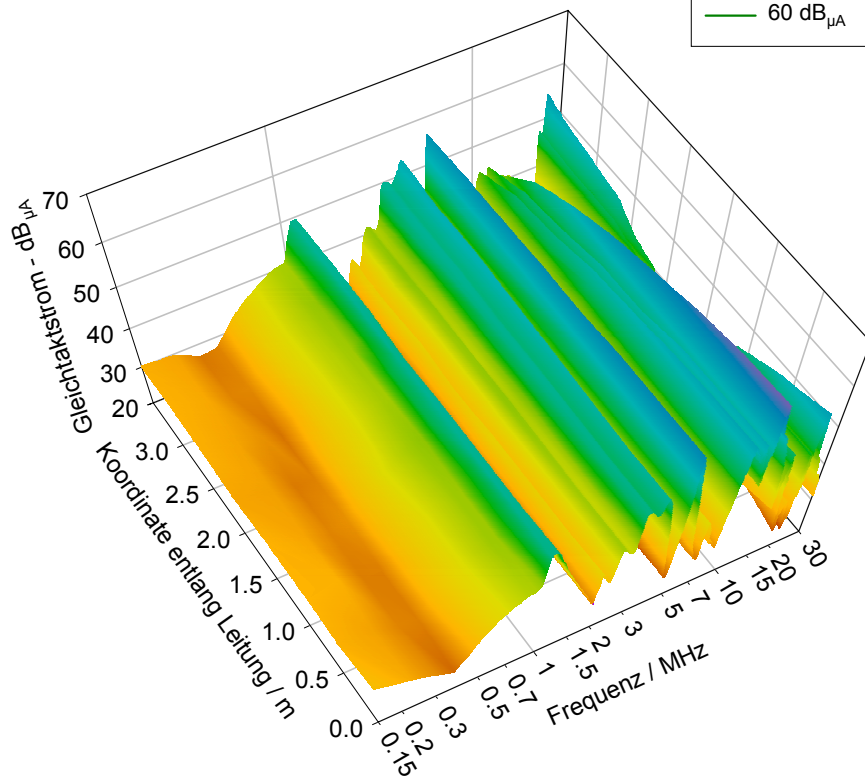
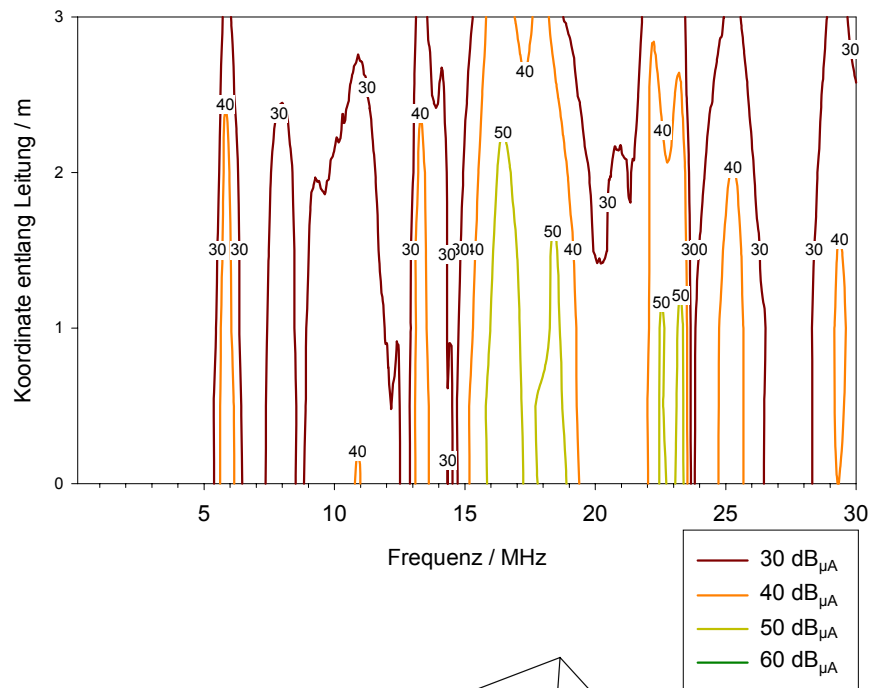


Abbildung 38: Stromverteilung, Stromkreis S0, kurze Leitung in Raum 0, Einkopplung symmetrisch P9



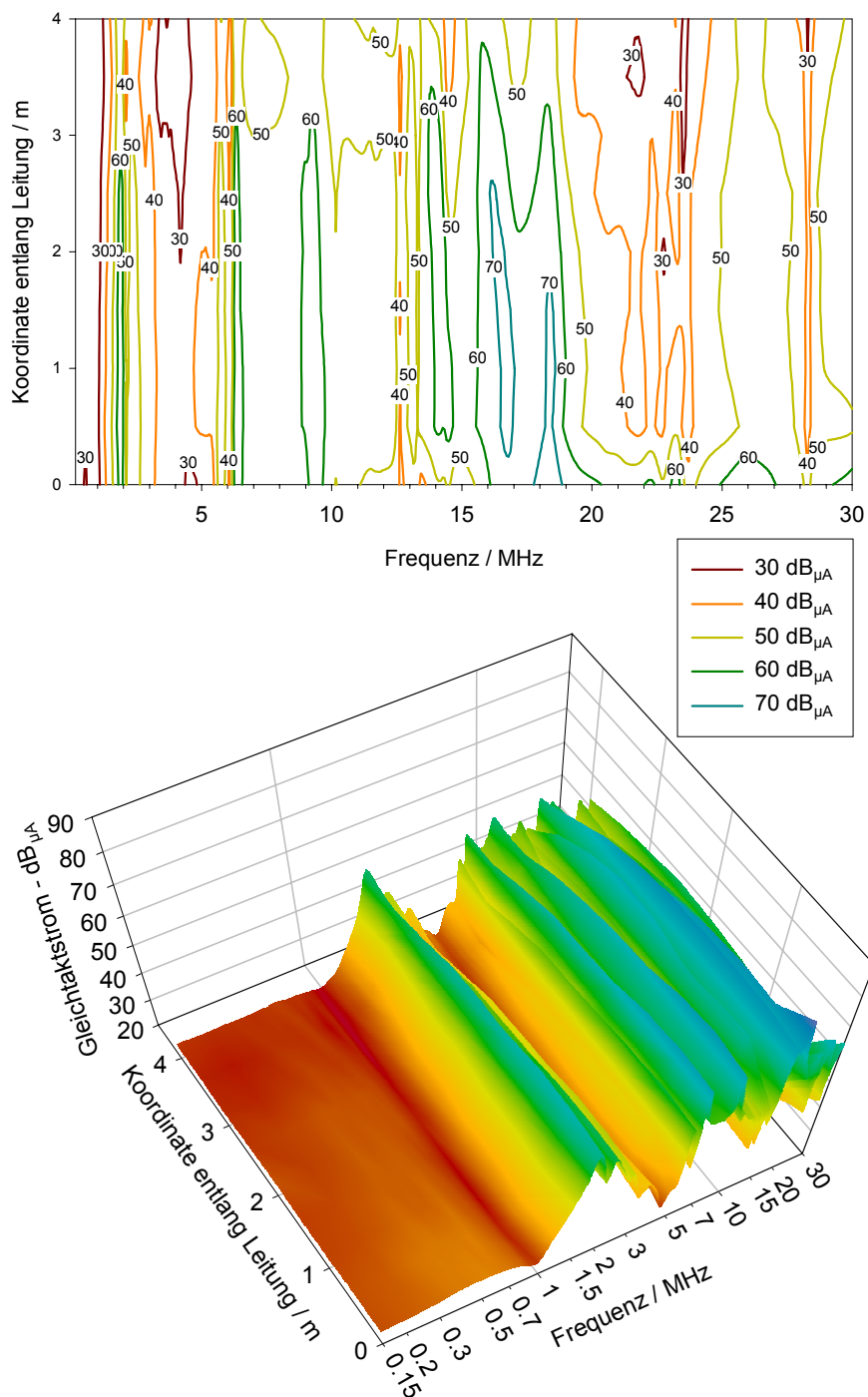


Abbildung 39: Stromverteilung, Stromkreis S0, Lampenleitung in Raum 0, Einkopplung asymmetrisch P0

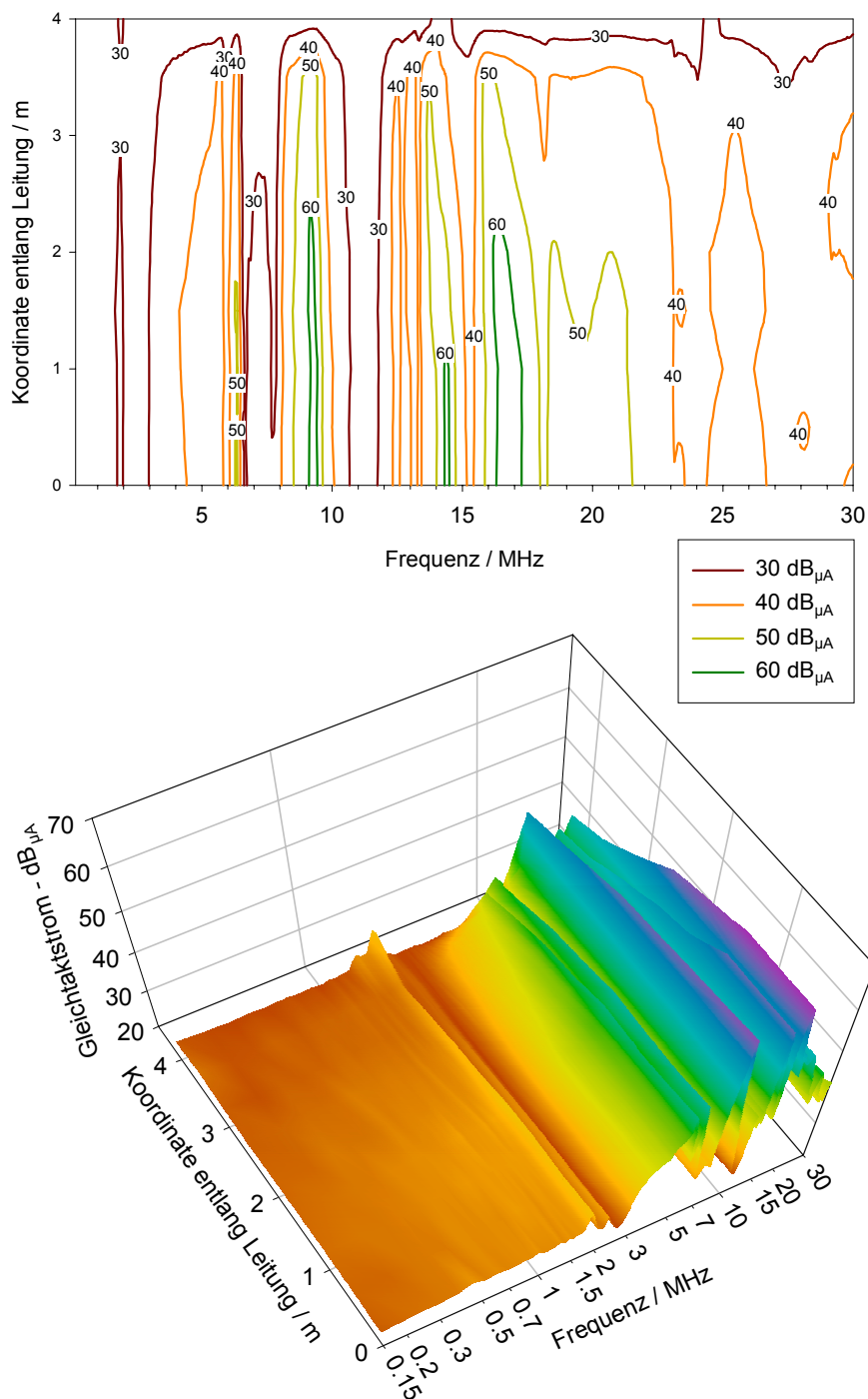


Abbildung 40: Stromverteilung, Stromkreis S0, Lampenleitung in Raum 0, Einkopplung symmetrisch P0

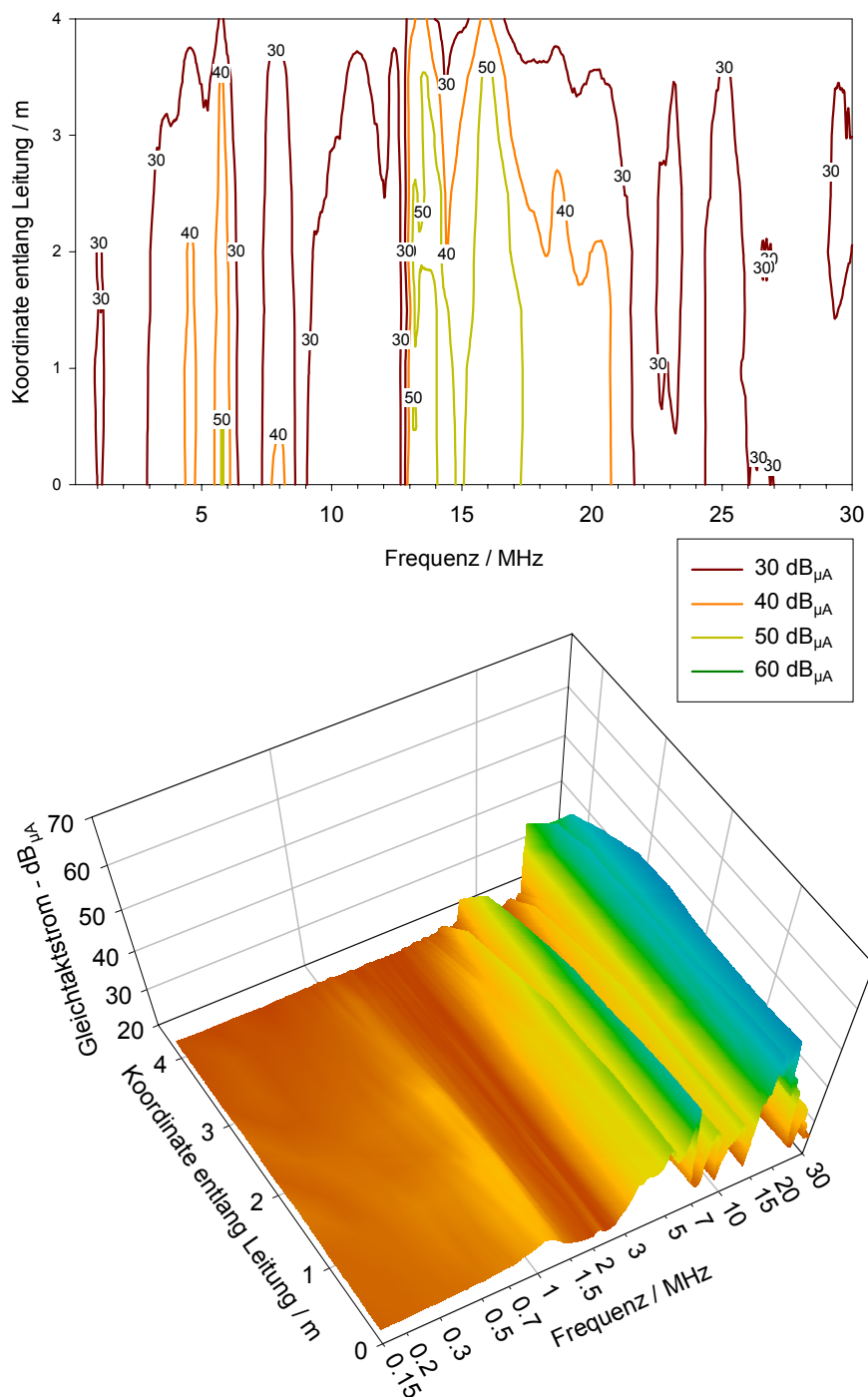


Abbildung 41: Stromverteilung, Stromkreis S0, Lampenleitung in Raum 0, Einkopplung symmetrisch P9

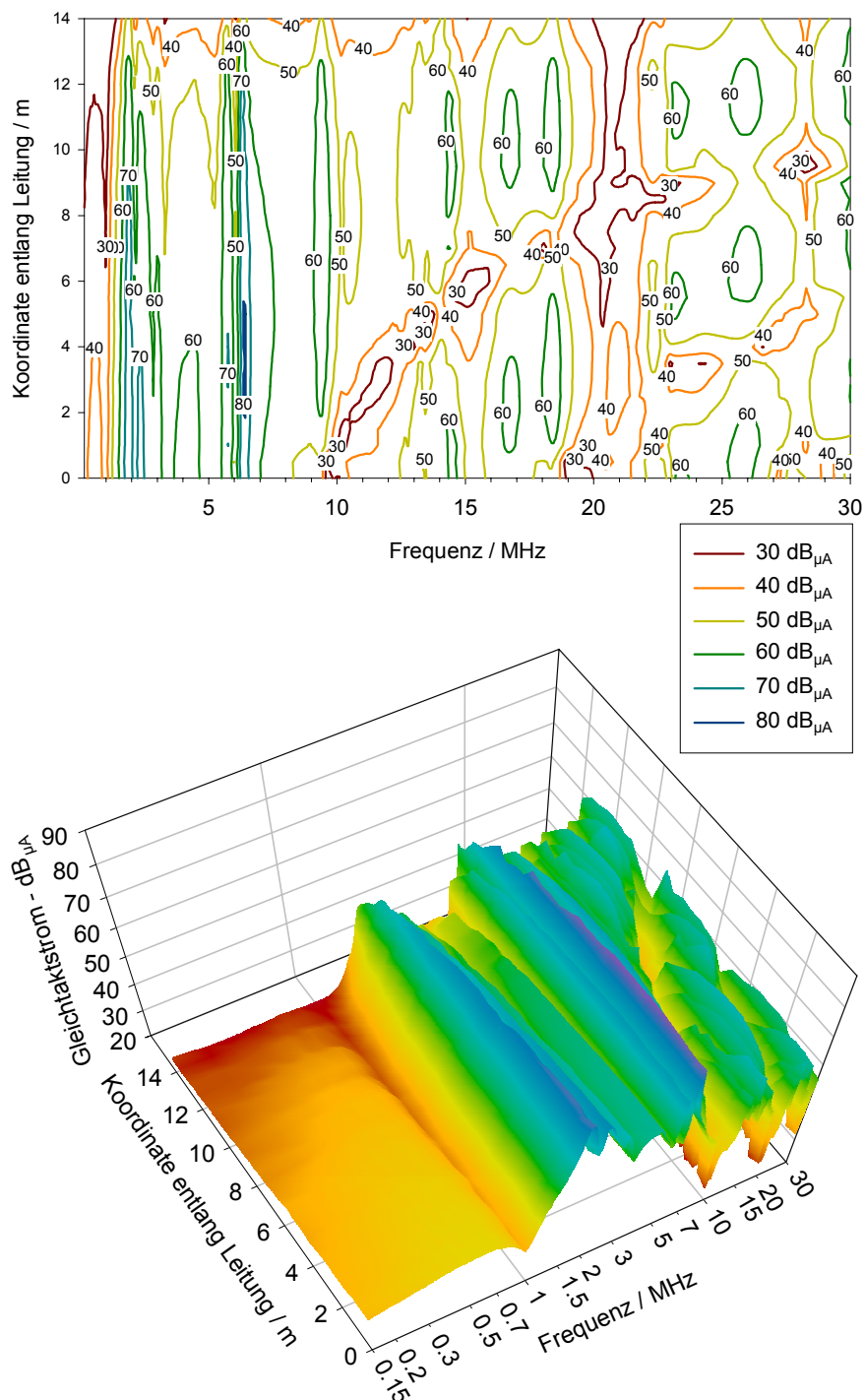


Abbildung 42: Stromverteilung, Stromkreis S0, lange Leitung in Raum 0, Einkopplung asymmetrisch P0

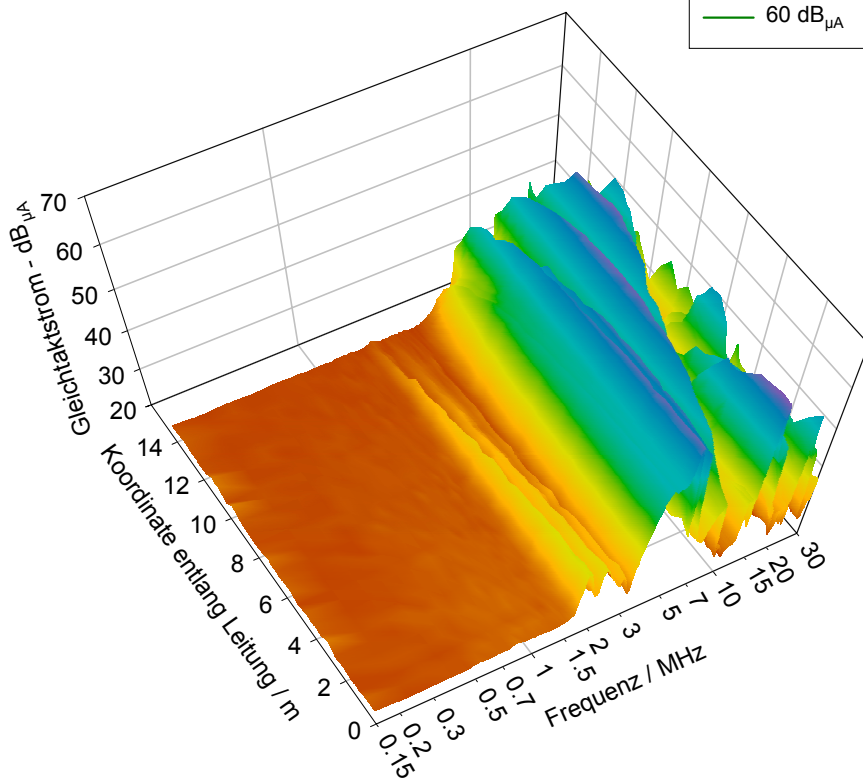
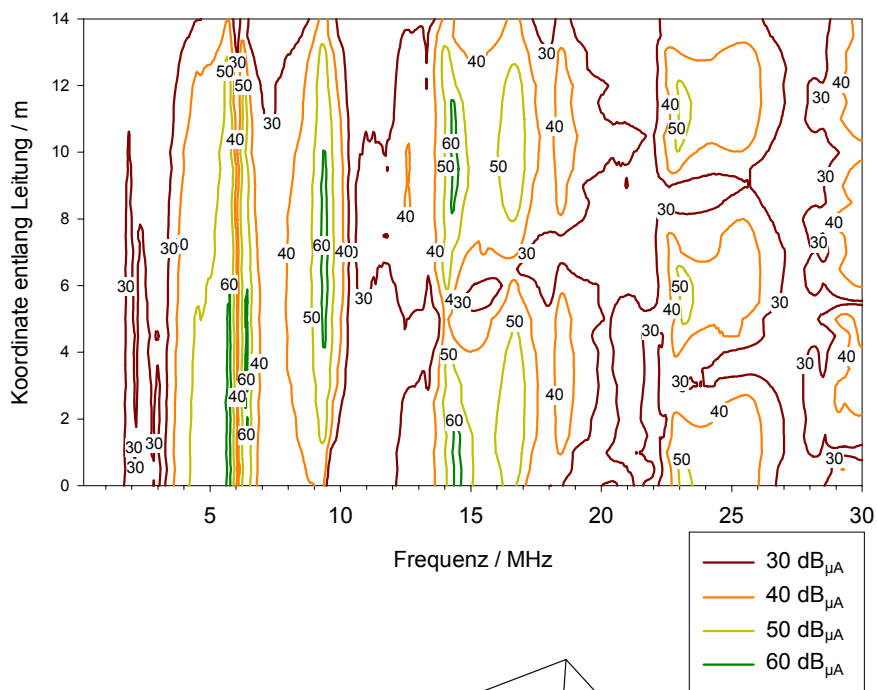


Abbildung 43: Stromverteilung, Stromkreis S0, lange Leitung in Raum 0, Einkopplung symmetrisch P0

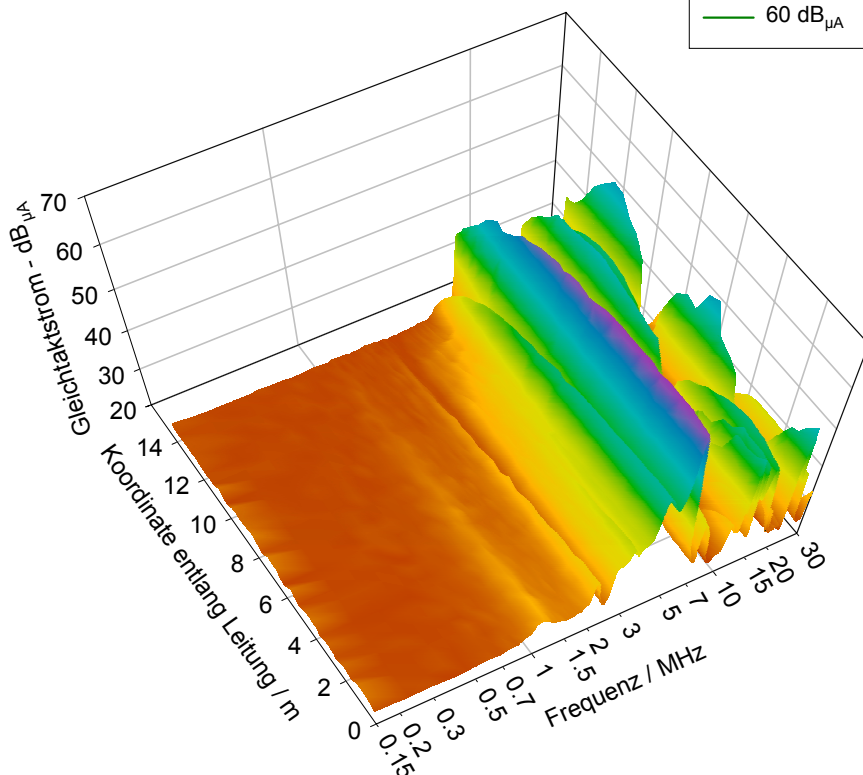
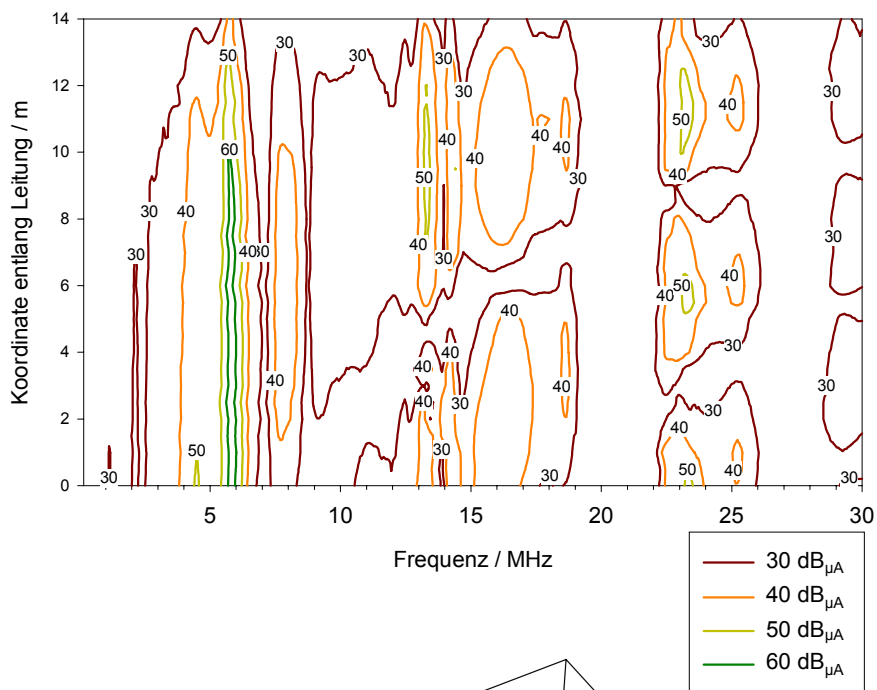


Abbildung 44: Stromverteilung, Stromkreis S0, lange Leitung in Raum 0, Einkopplung symmetrisch P9

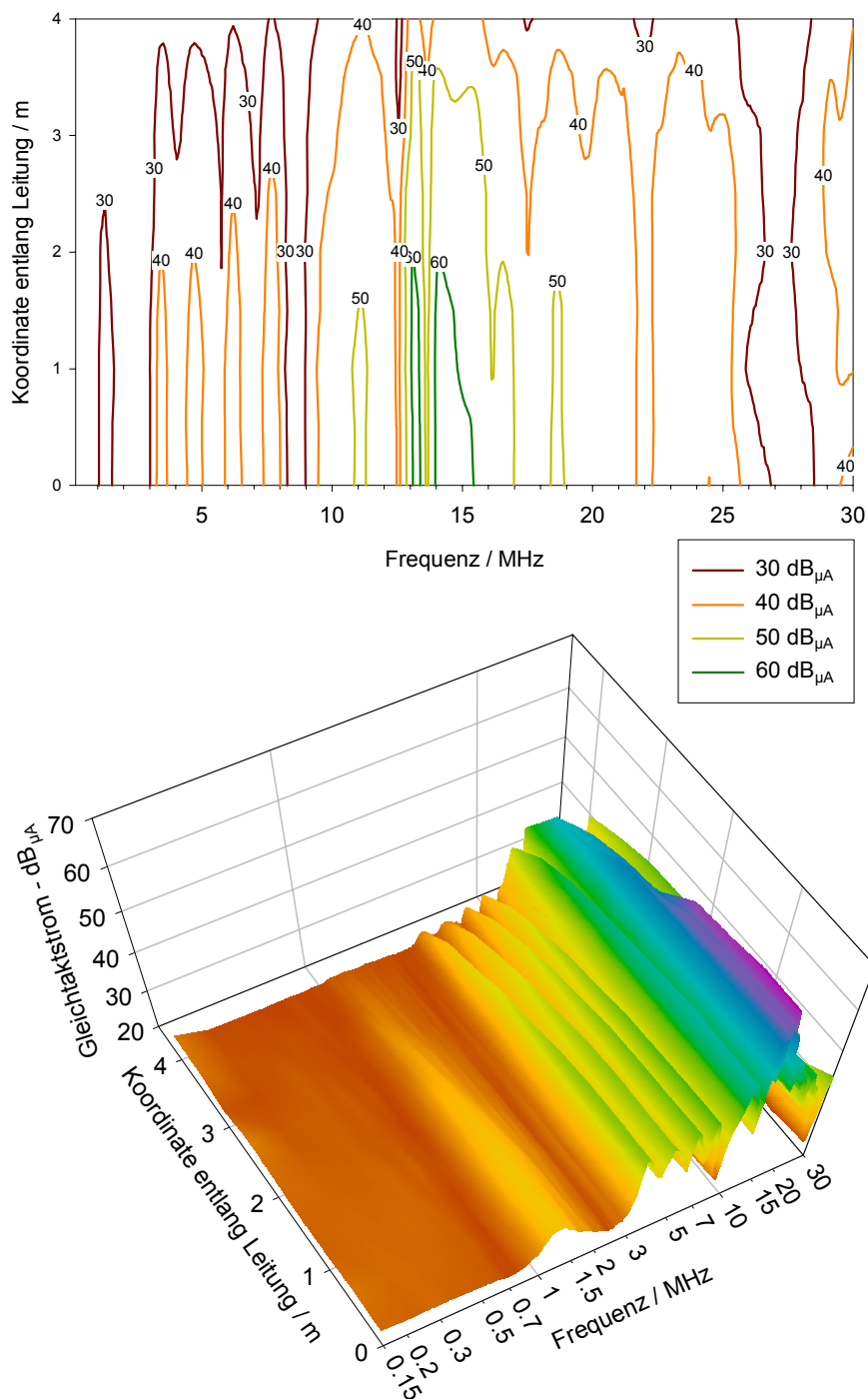


Abbildung 45: Stromverteilung, Stromkreis S1, Lampenleitung in Raum 1, Einkopplung symmetrisch P9



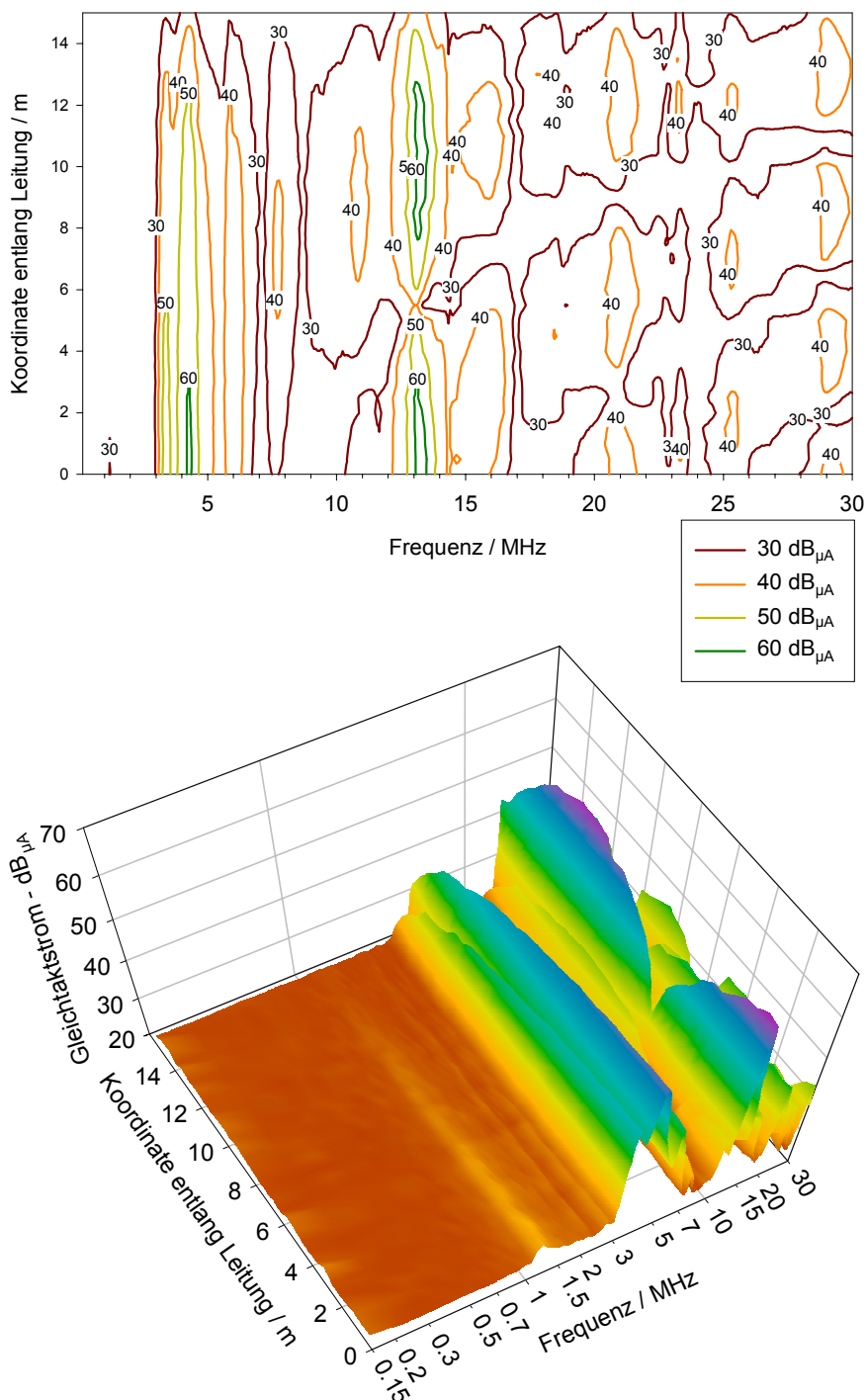


Abbildung 46: Stromverteilung, Stromkreis S1, lange Leitung in Raum 0, Einkopplung symmetrisch P9



## 2.4 Feldstärkemessung

Es wurden die elektrischen und magnetischen Feldstärken an 21 Meßpunkten in der Absorberhalle gemessen. Die Position der Meßpunkte ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Einspeisung war bei allen Feldstärkemessungen symmetrisch. Die magnetische Feldstärke wurde mit dem Fernfeldwellenwiderstand von  $377 \Omega$  multipliziert und in der gleichen Einheit wie die elektrische Feldstärke dargestellt. Die Messung der elektrischen Feldstärke erfolgte in der Polarisierung senkrecht zum Kabinenboden auf dem Kabinenboden. Die Messung der magnetischen Feldstärke erfolgte in alle drei Raumrichtungen in ca. 1 m Höhe über dem Kabinenboden. Die magnetische Gesamtfeldstärke wurde aus der Quadratwurzel der Summe der Quadrate der Einzelfeldstärken berechnet. In den Diagrammen wurde ausschließlich diese Gesamtfeldstärke dargestellt.

In den Box Plots sind alle Feldstärkewerte des gesamten Frequenzbereich für jeden Meßpunkt erfaßt, d.h. es erfolgt keine frequenzabhängige Auswertung. Ansonsten wurden die Daten aller Meßpunkte für die frequenzabhängige Darstellungen genutzt.

In einem Teil der Abbildungen wurde die einzukoppelnde symmetrische Spannung dargestellt, die die Mindestnutzfeldstärke gem. § 45 Abs. 2 TKG, Stand 29.10.1998 hervorruft (vgl. Abbildung 47)

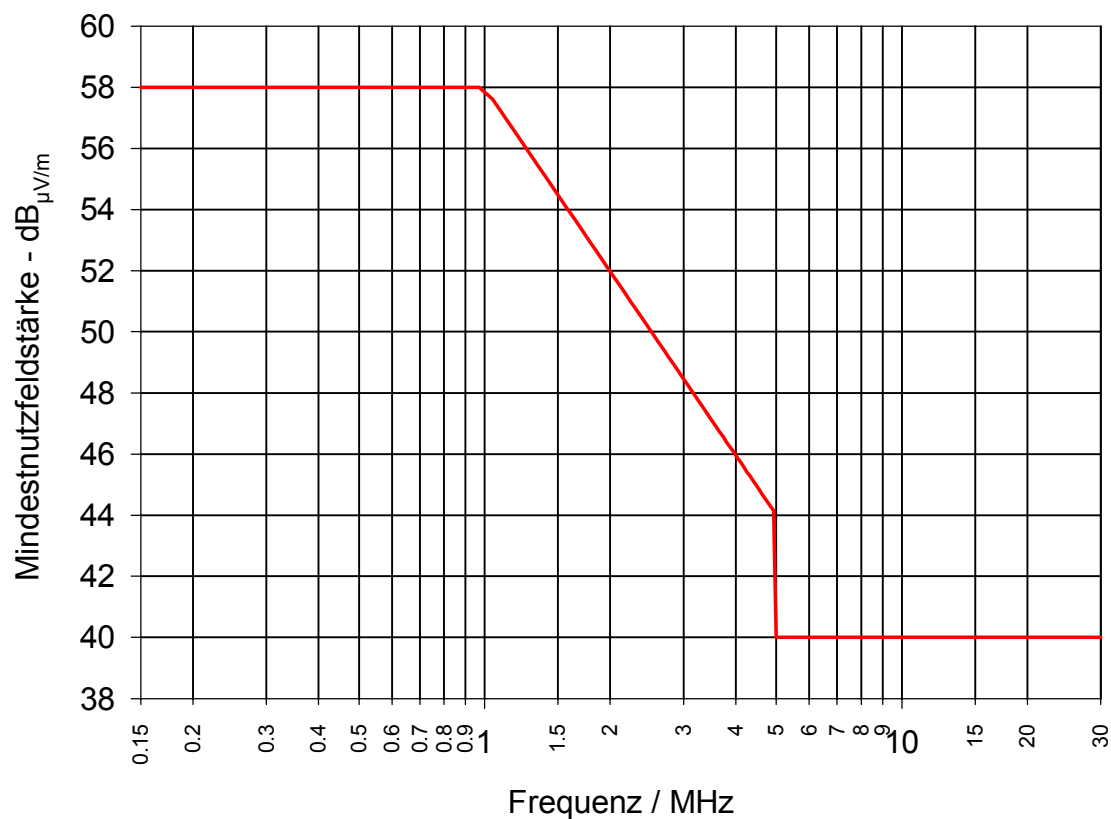


Abbildung 47: Mindestnutzfeldstärke gem. § 45 Abs. 2 TKG, Stand 29.10.1998

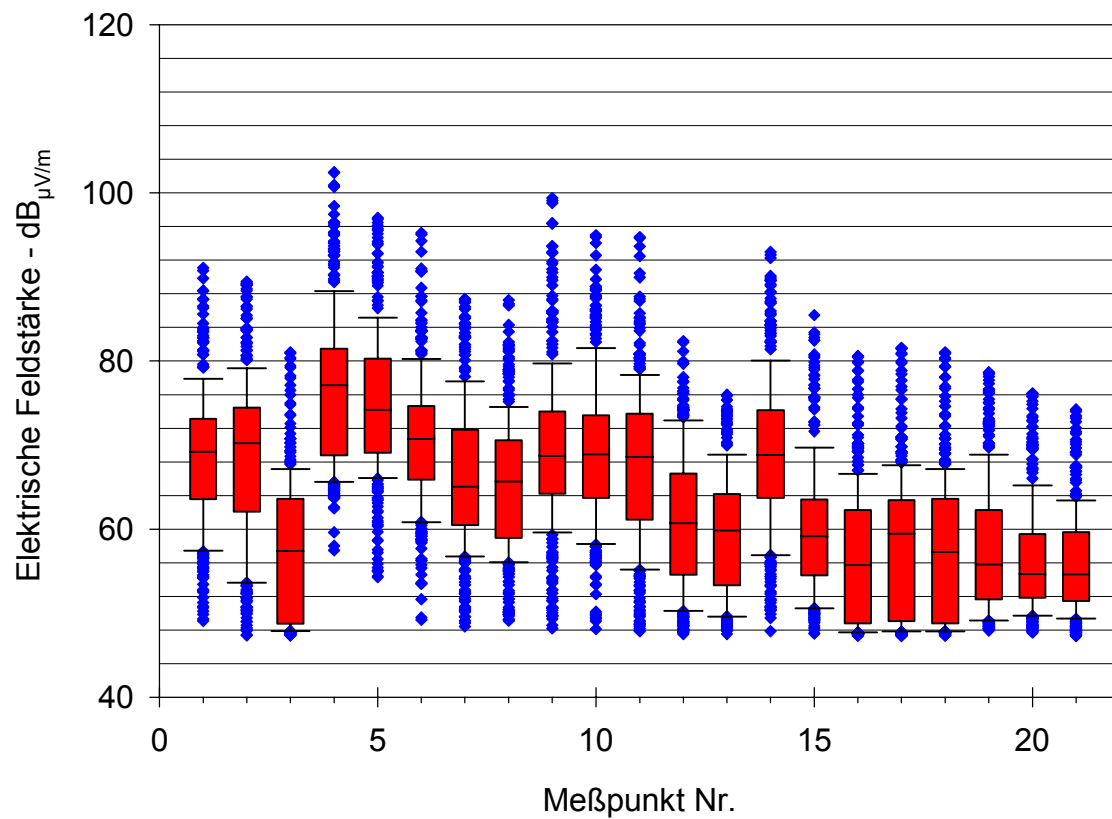
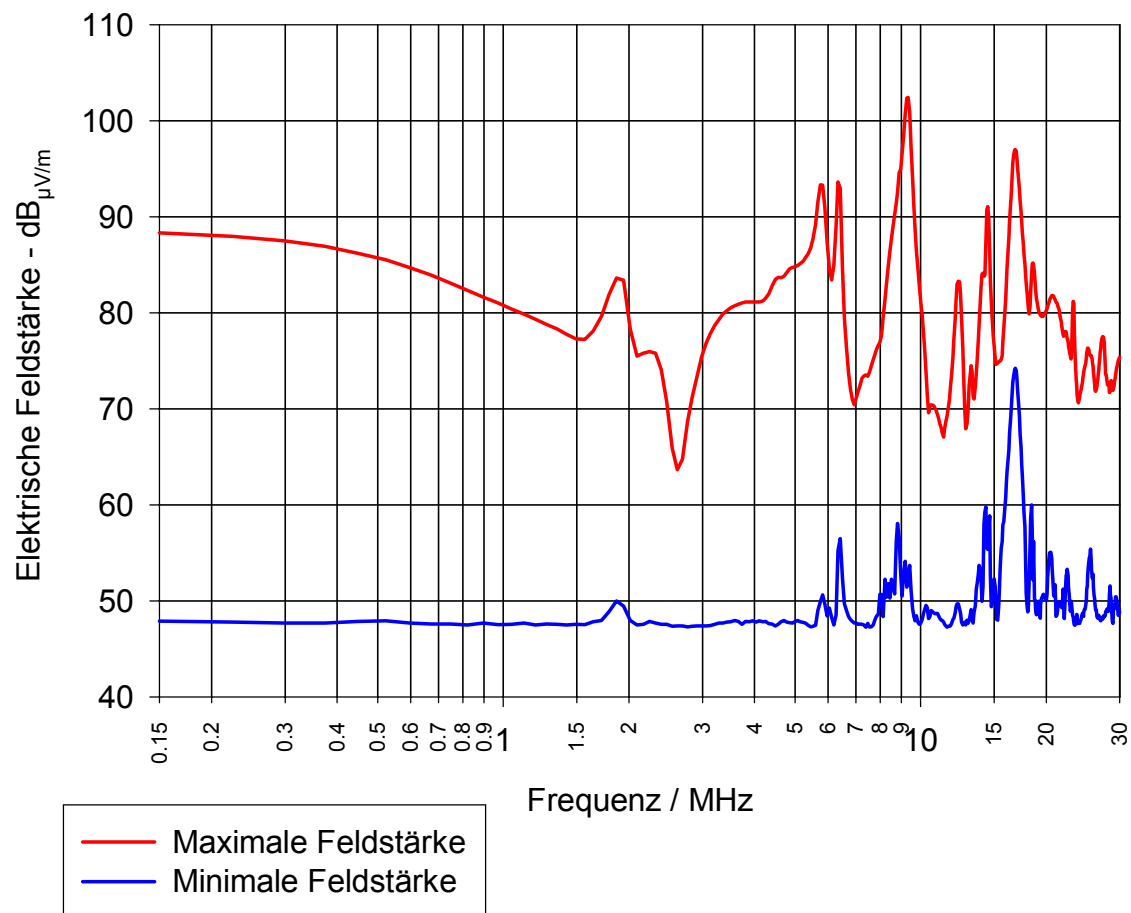
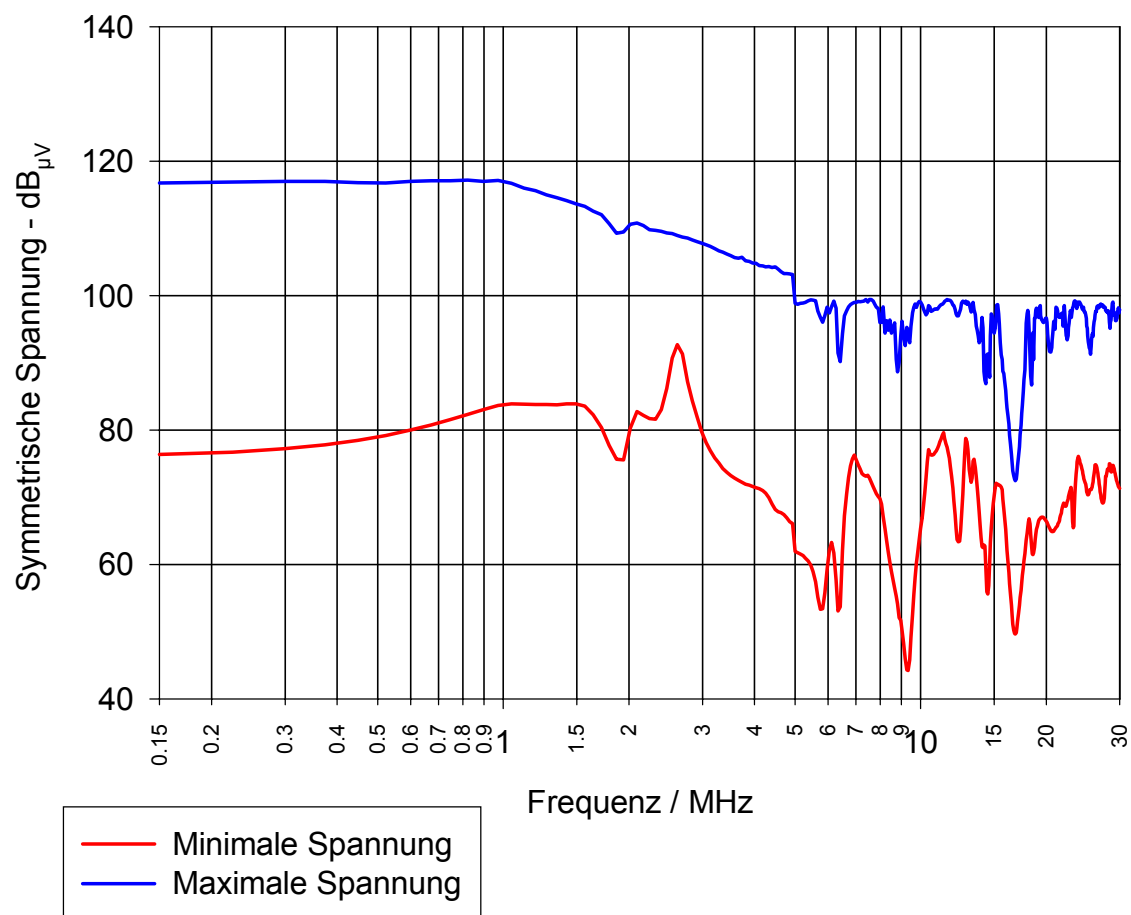


Abbildung 48: Elektrische Feldstärke, Einkopplung symmetrisch in Stromkreis S0 bei P0, Box Plot



**Abbildung 49: Minimale und maximale elektrische Feldstärken, Einkopplung symmetrisch in Stromkreis S0 bei P0**



**Abbildung 50: Elektrische Feldstärke, Spannung die die Mindestnutzfeldstärke hervorruft, Einkopplung symmetrisch in Stromkreis S0 bei P0**

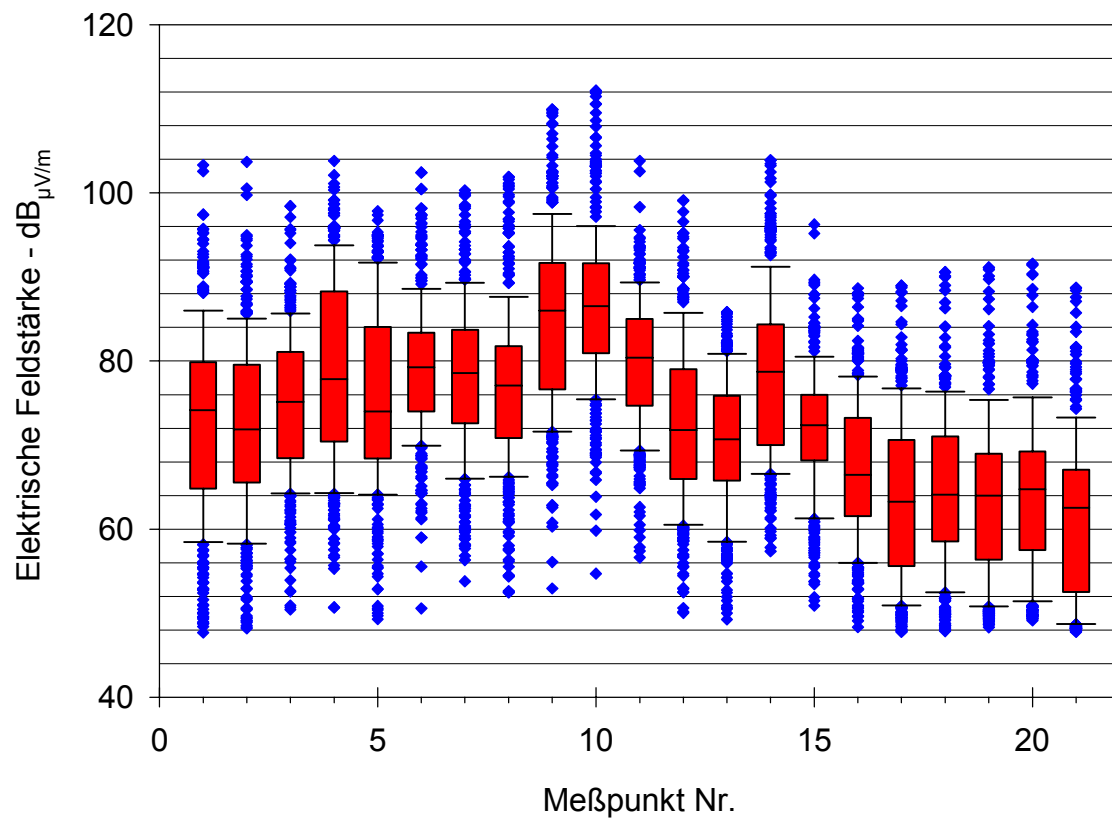
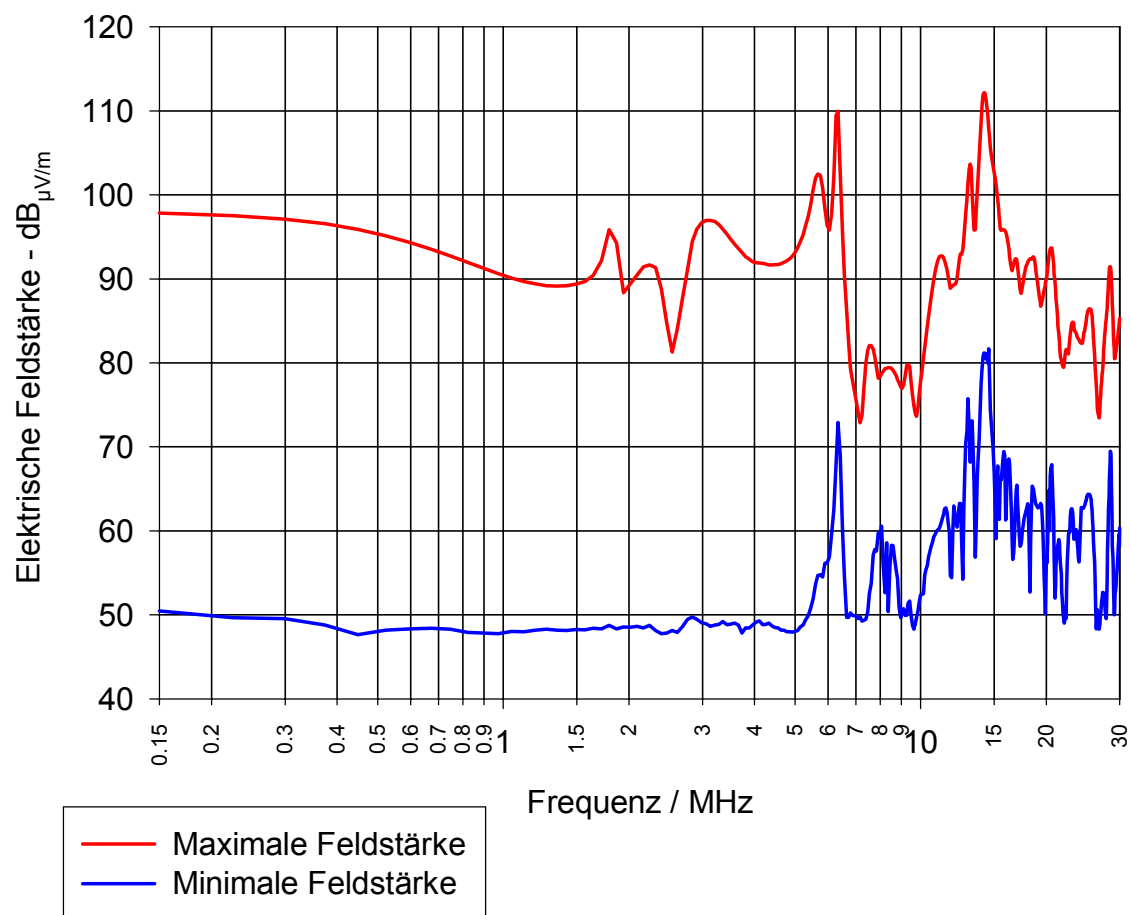
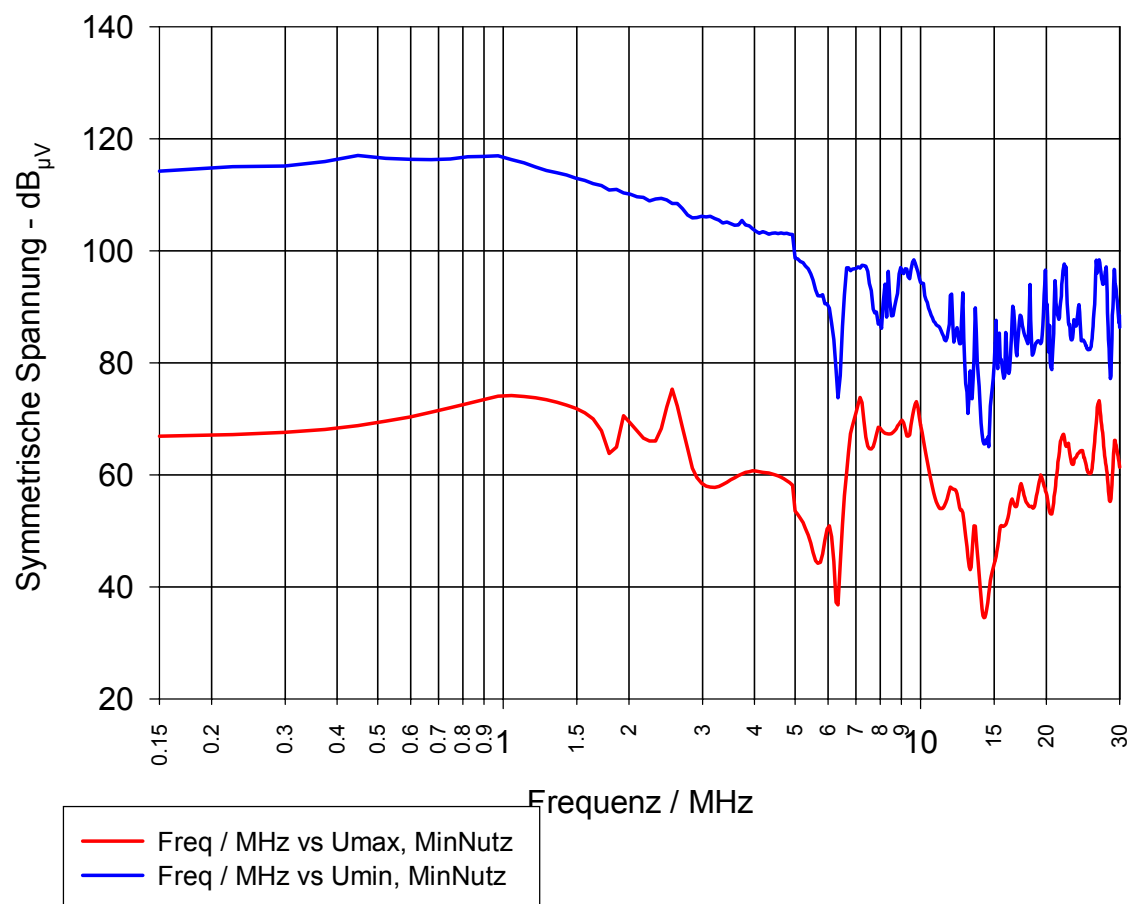


Abbildung 51: Elektrische Feldstärke, Einkopplung symmetrisch in Stromkreis S1 bei P0, Box Plot



**Abbildung 52: Minimale und maximale elektrische Feldstärken, Einkopplung symmetrisch in Stromkreis S1 bei P0**



**Abbildung 53: Elektrische Feldstärke, Spannung die die Mindestnutzfeldstärke hervorruft, Einkopplung symmetrisch in Stromkreis S1 bei P0**

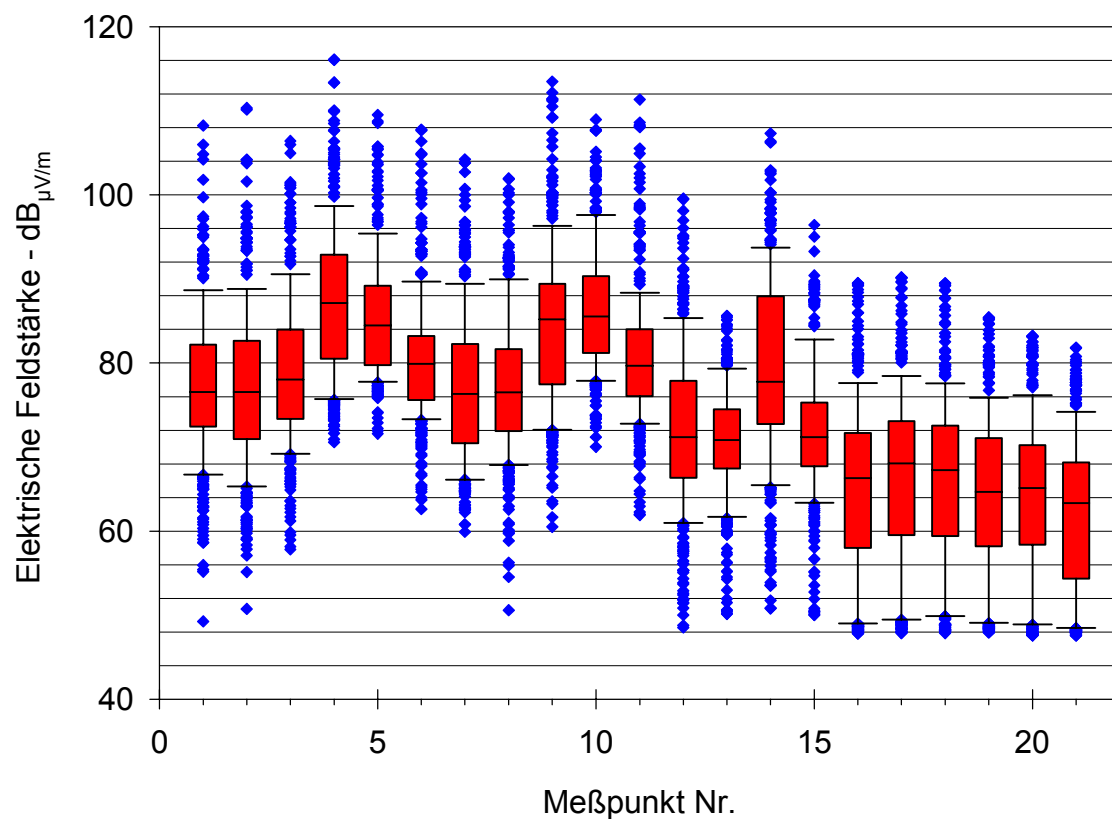
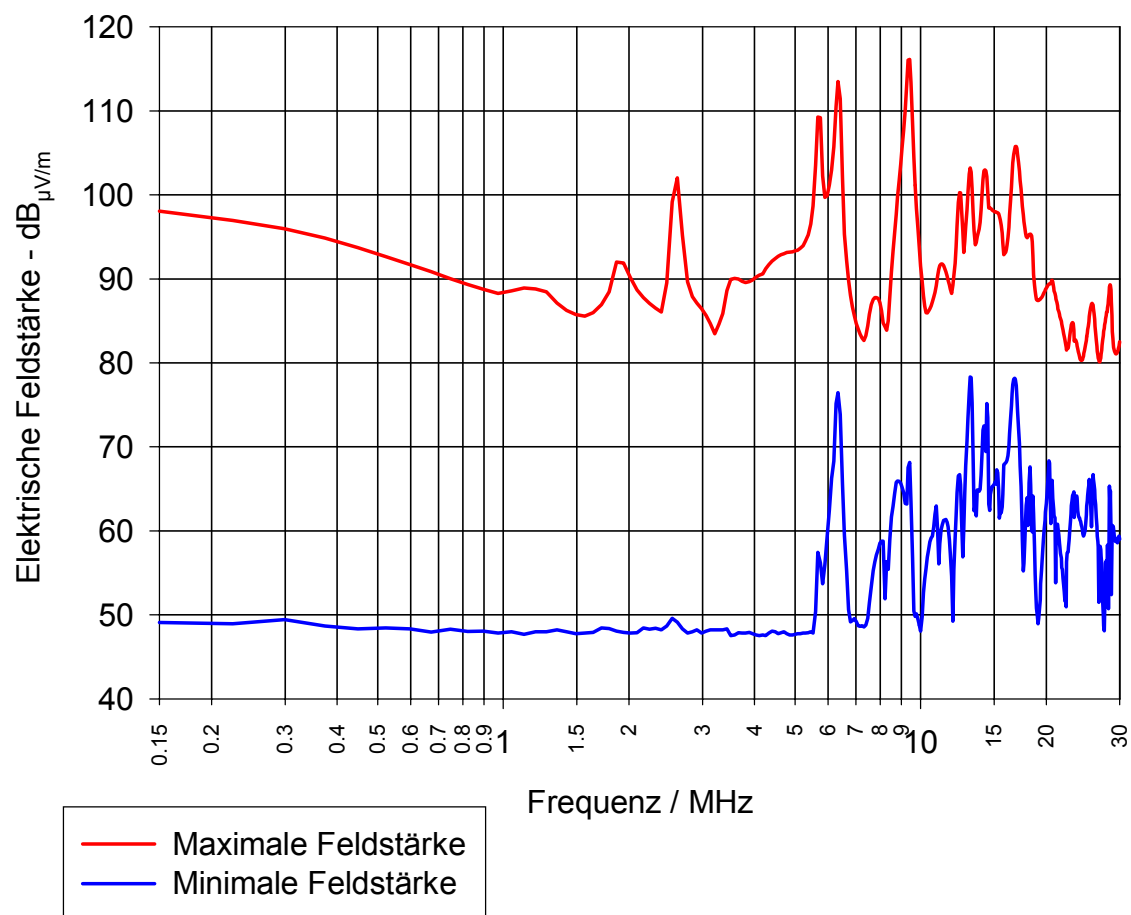
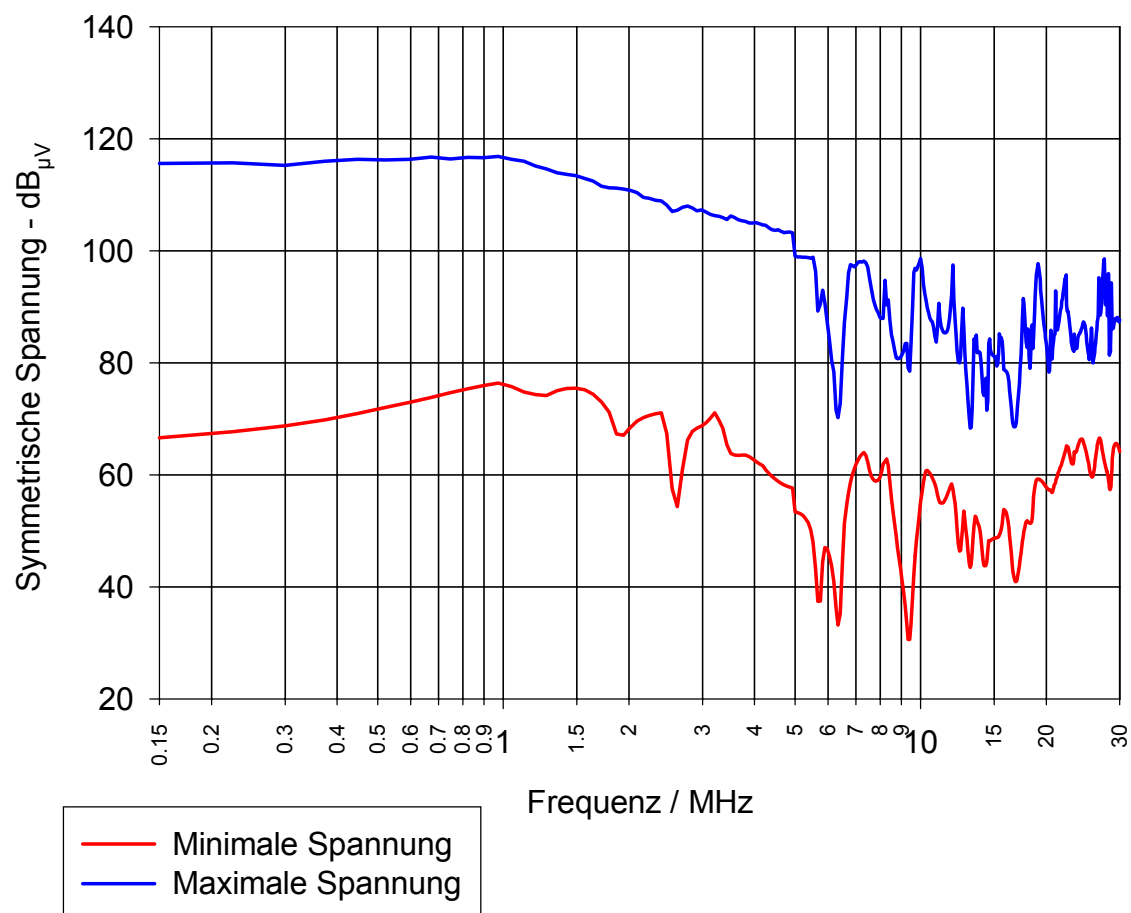


Abbildung 54: Elektrische Feldstärke, Einkopplung symmetrisch in Stromkreis S01 bei P0, Box Plot





**Abbildung 55: Minimale und maximale elektrische Feldstärken, Einkopplung symmetrisch in Stromkreis S01 bei P0**



**Abbildung 56: Elektrische Feldstärke, Spannung die die Mindestnutzfeldstärke hervorruft, Einkopplung symmetrisch in Stromkreis S01 bei P0**

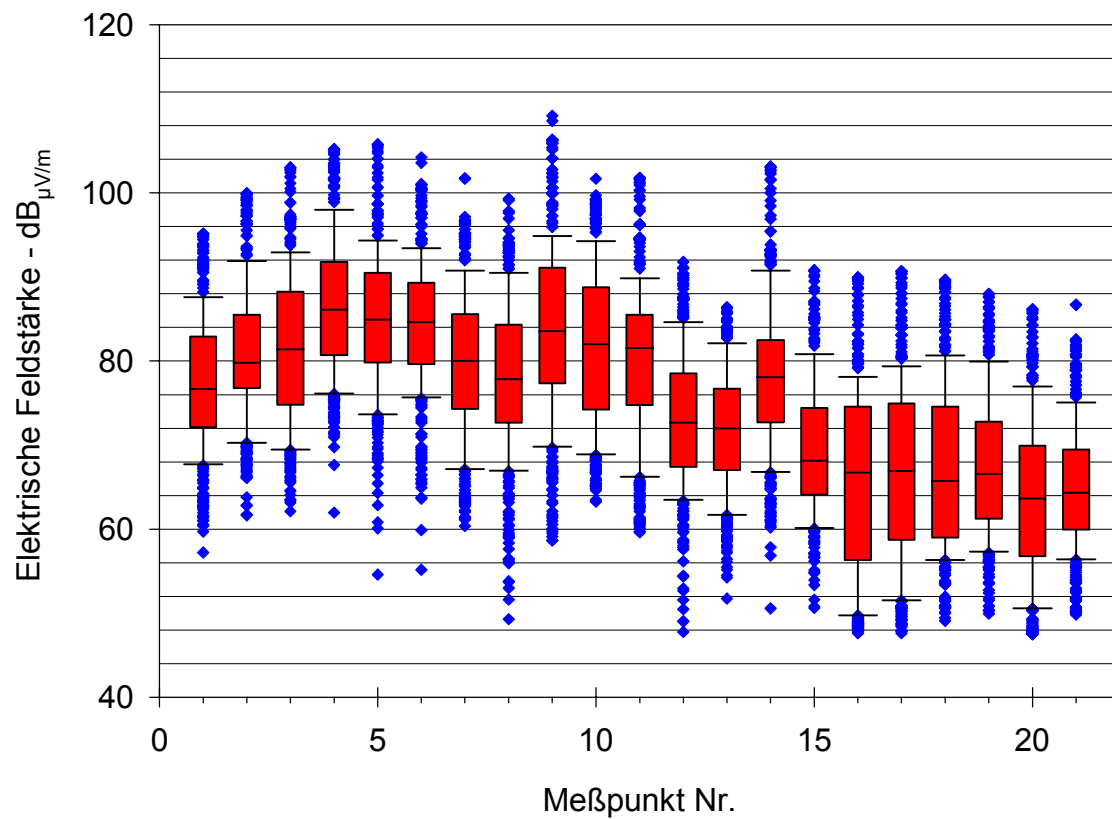
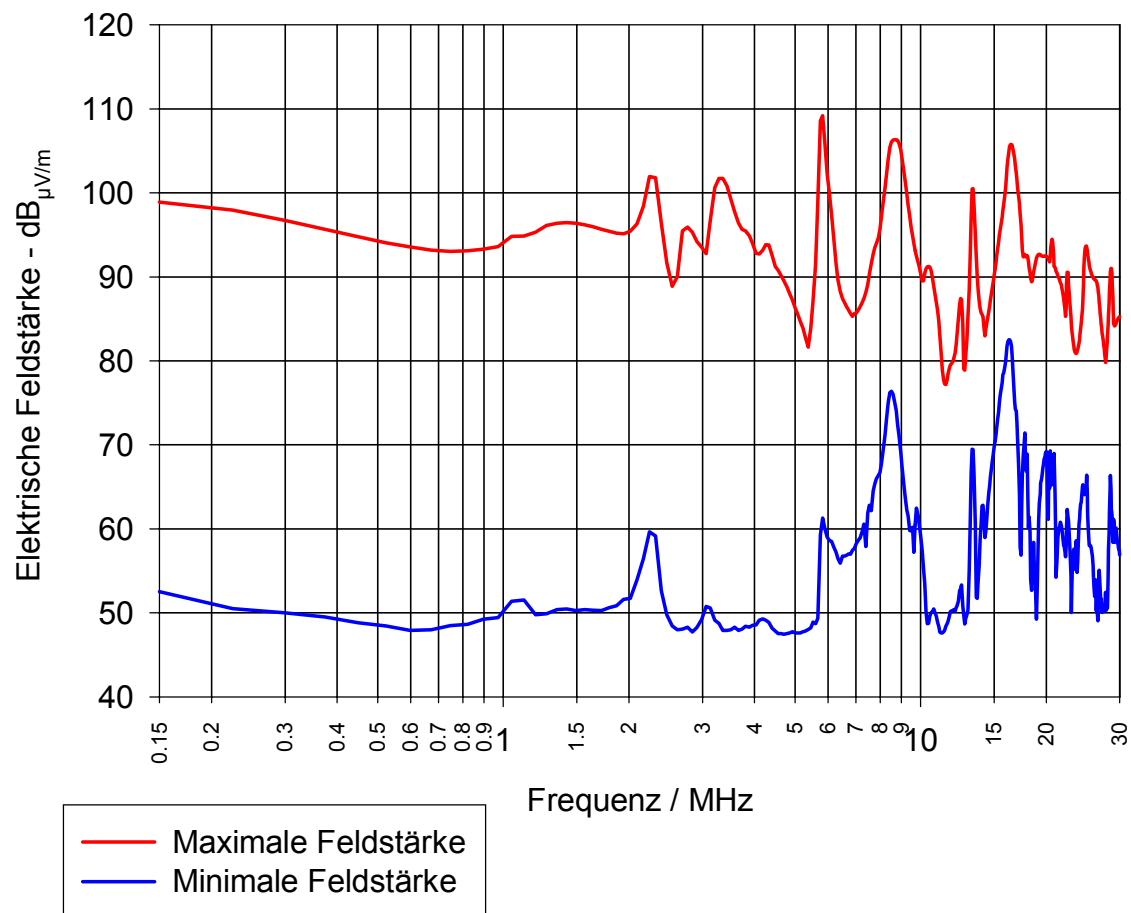
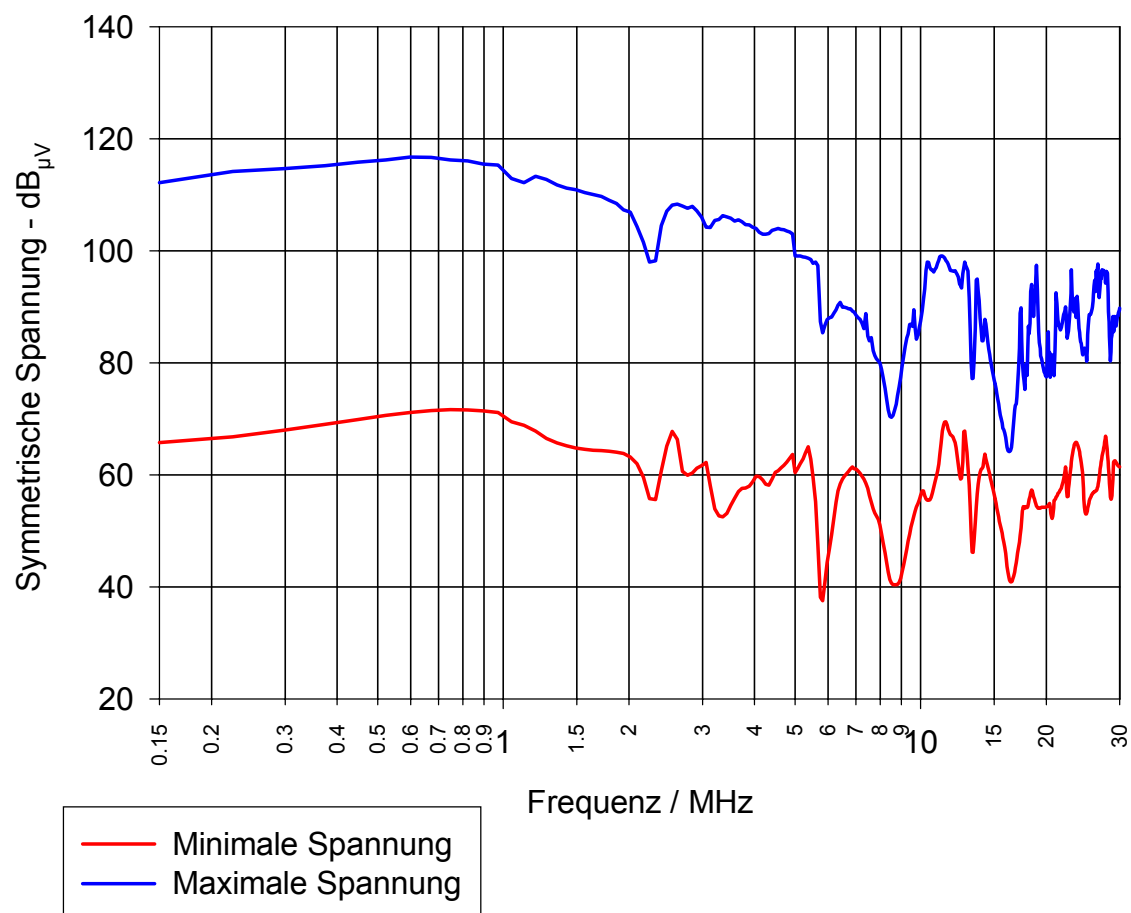


Abbildung 57: Elektrische Feldstärke, Einkopplung symmetrisch in Stromkreis S01 bei P1, Box Plot



**Abbildung 58: Minimale und maximale elektrische Feldstärken, Einkopplung symmetrisch in Stromkreis S01 bei P1**



**Abbildung 59: Elektrische Feldstärke, Spannung die die Mindestnutzfeldstärke hervorruft, Einkopplung symmetrisch in Stromkreis S01 bei P1**

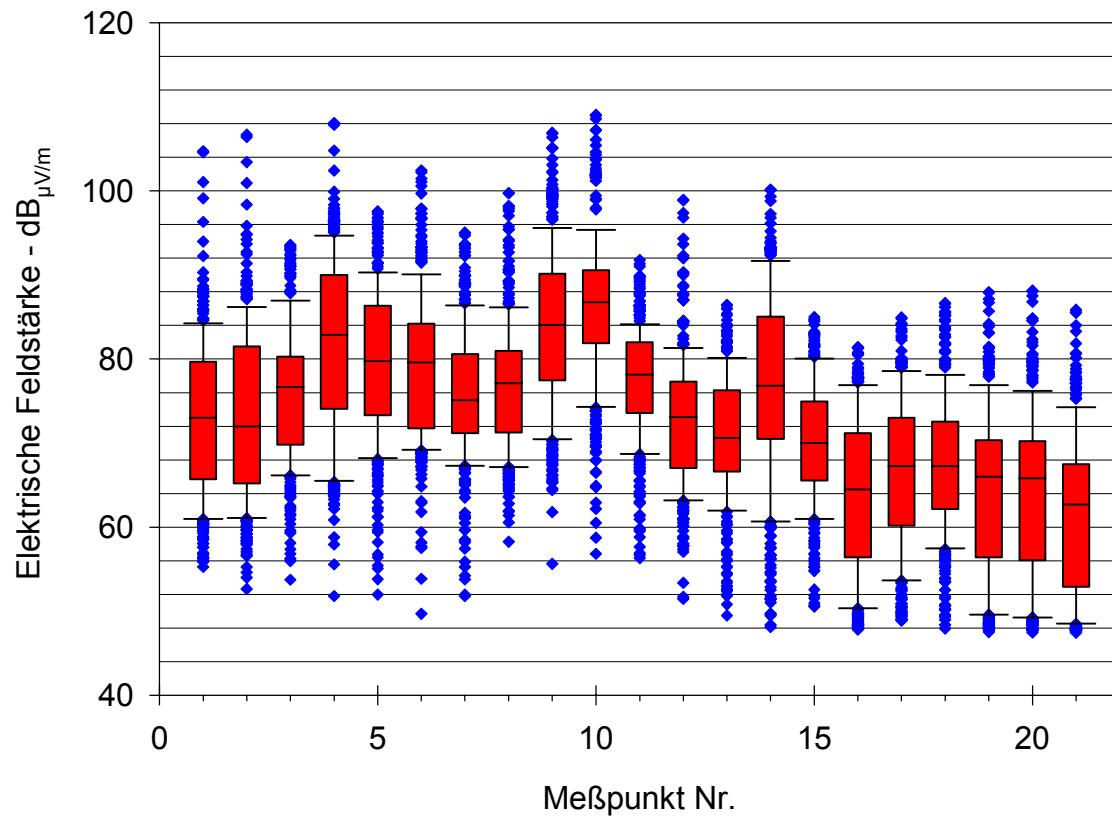
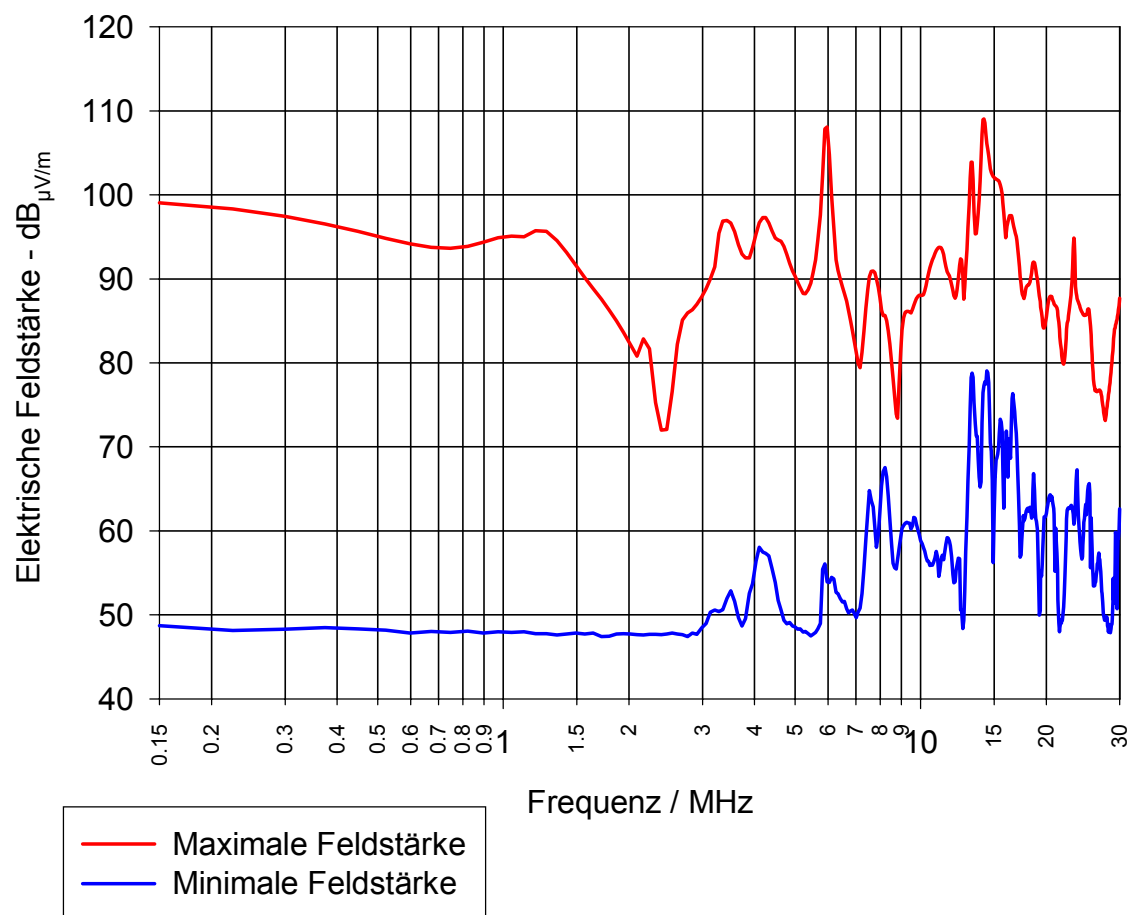
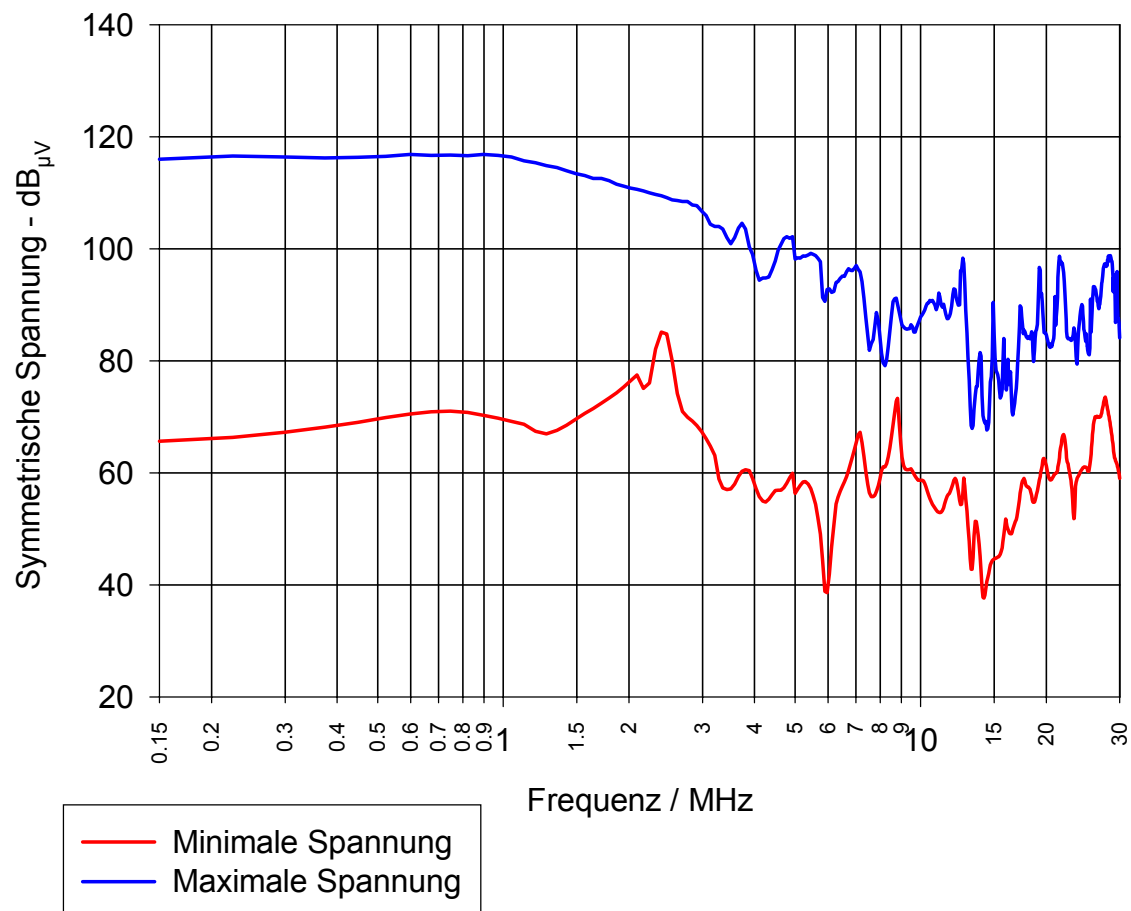


Abbildung 60: Elektrische Feldstärke, Einkopplung symmetrisch in Stromkreis S01 bei P9, Box Plot



**Abbildung 61: Minimale und maximale elektrische Feldstärken, Einkopplung symmetrisch in Stromkreis S01 bei P9**



**Abbildung 62: Elektrische Feldstärke, Spannung die die Mindestnutzfeldstärke hervorruft, Einkopplung symmetrisch in Stromkreis S01 bei P9**



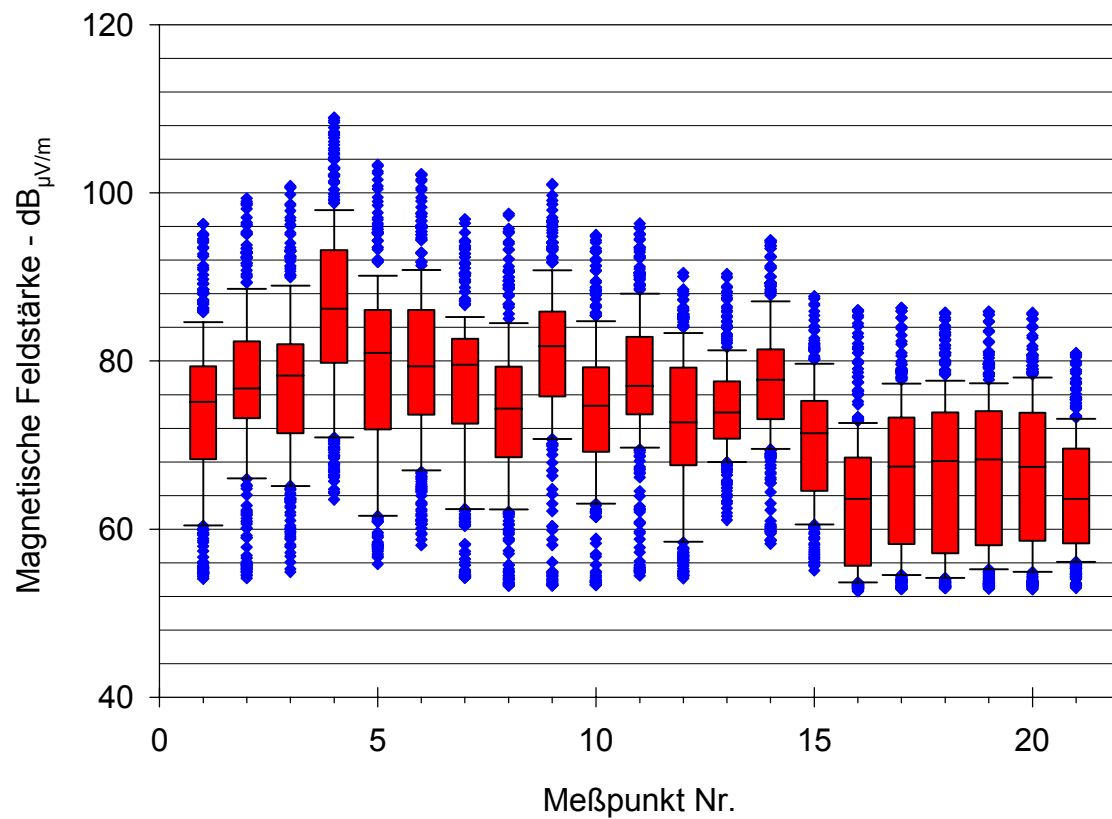
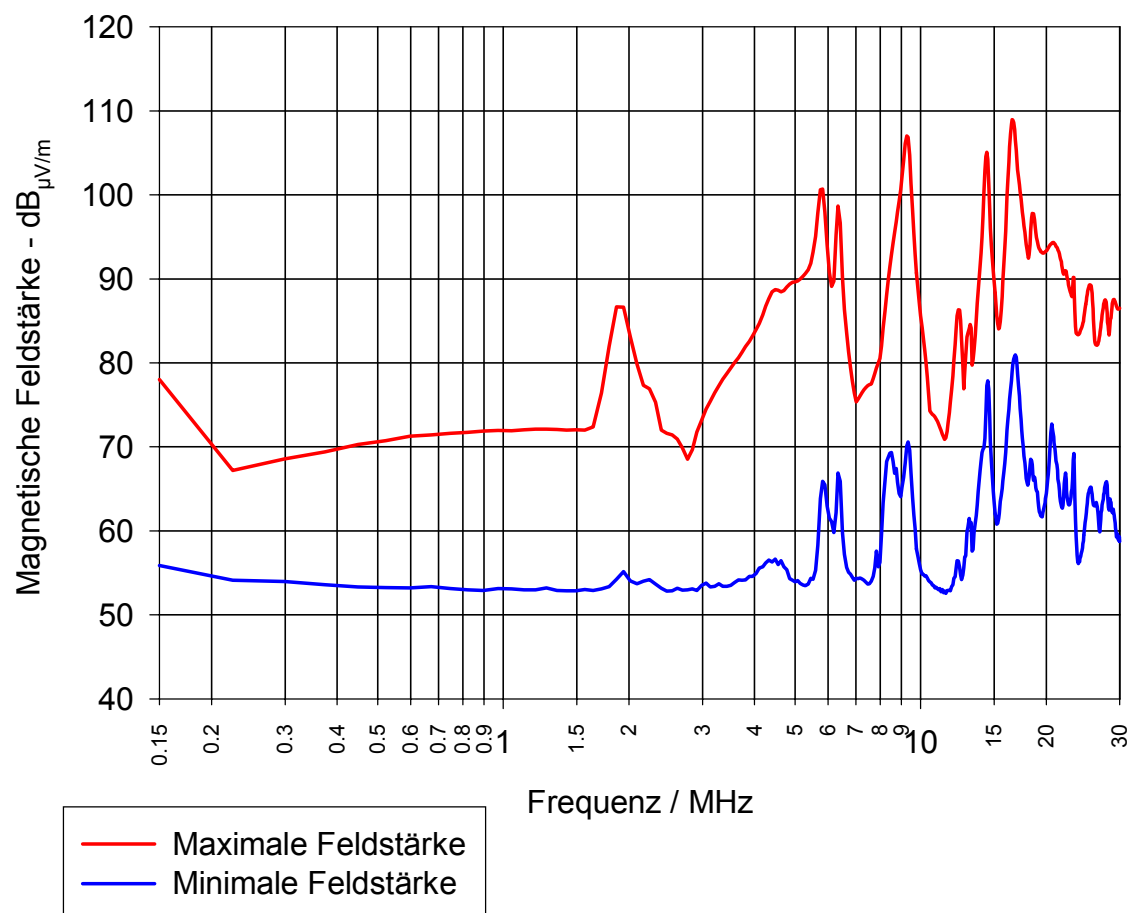
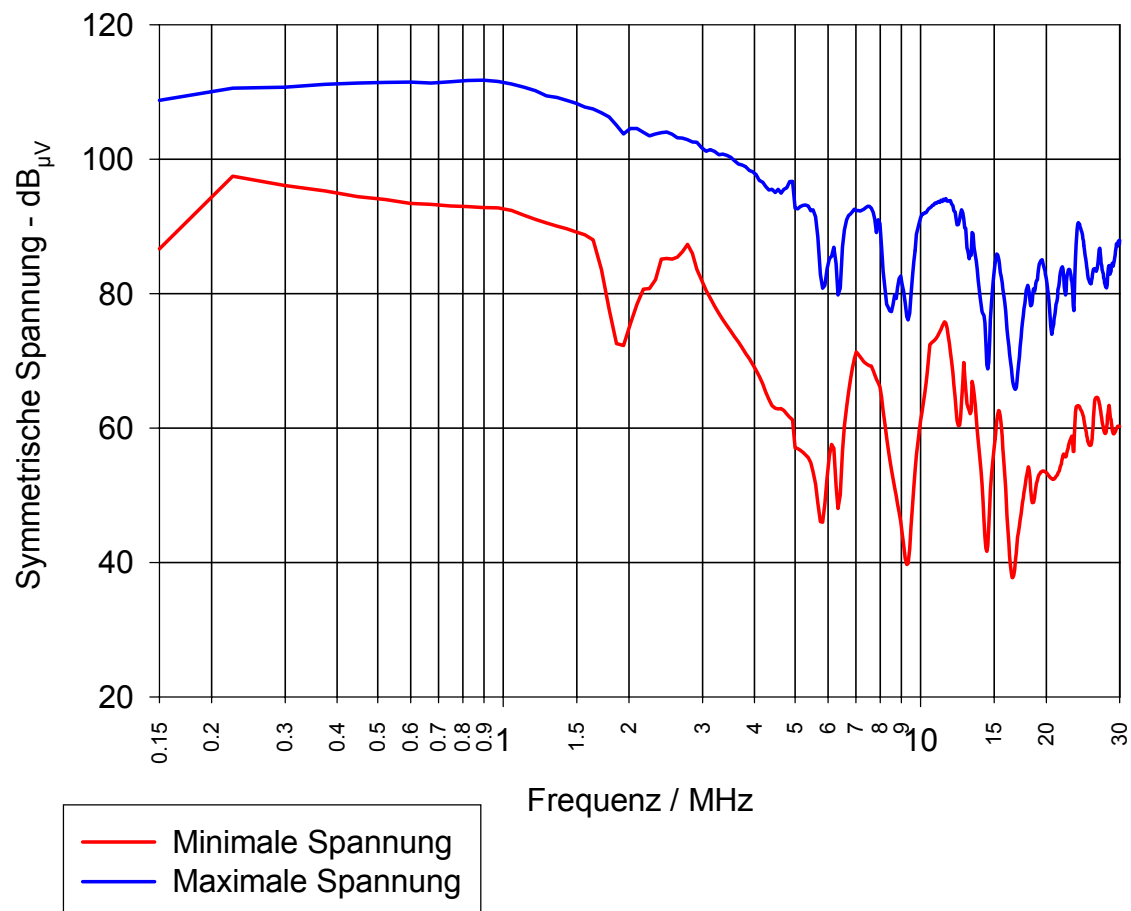


Abbildung 63: Magnetische Feldstärke, Einkopplung symmetrisch in Stromkreis S0 bei P0, Box Plot



**Abbildung 64: Minimale und maximale magnetische Feldstärken, Einkopplung symmetrisch in Stromkreis S0 bei P0**



**Abbildung 65: Magnetische Feldstärke, Spannung die die Mindestnutzfeldstärke hervorruft, Einkopplung symmetrisch in Stromkreis S0 bei P0**

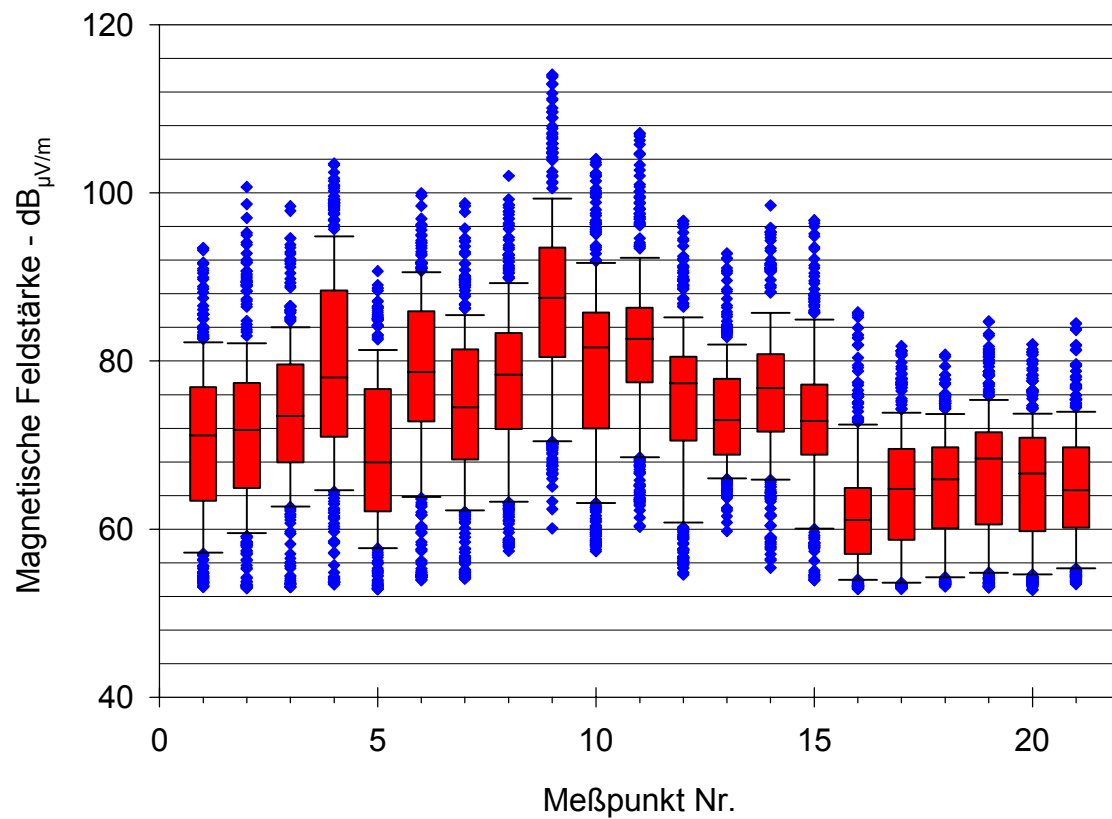
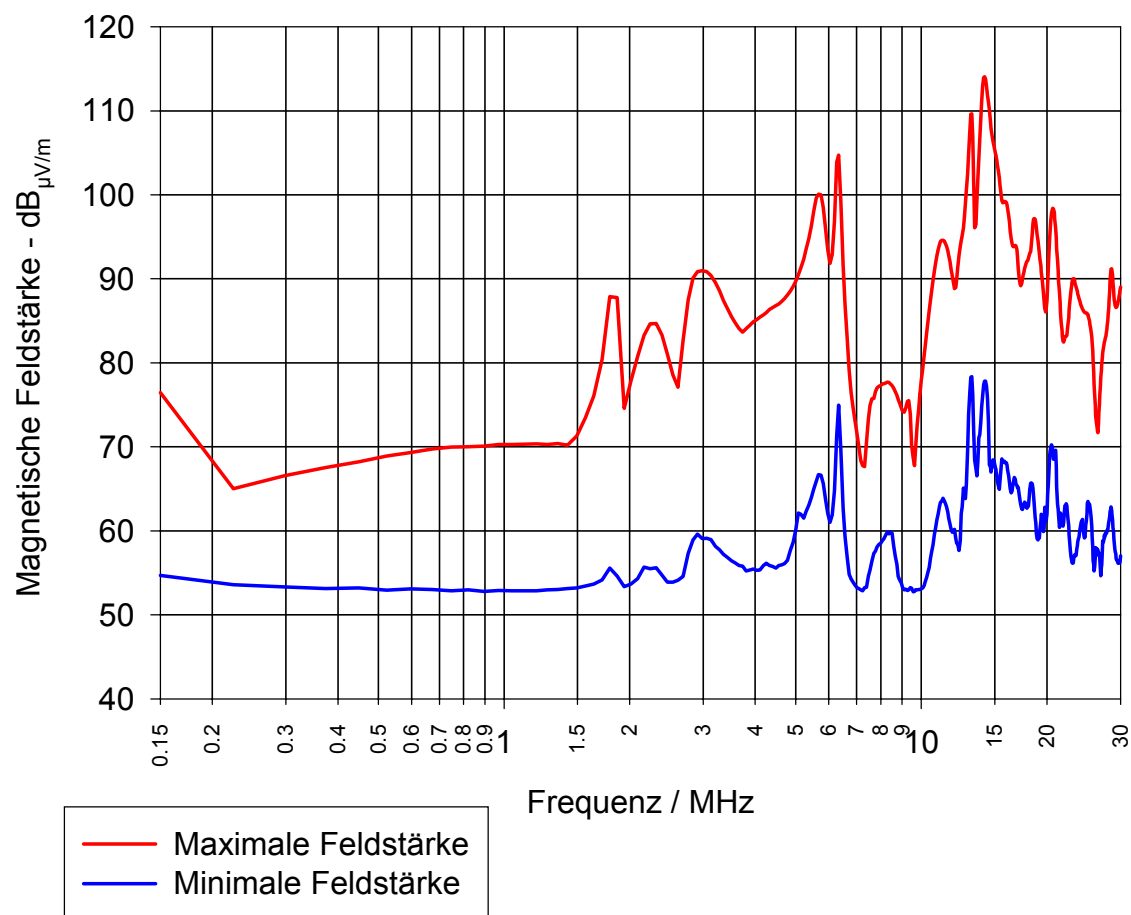
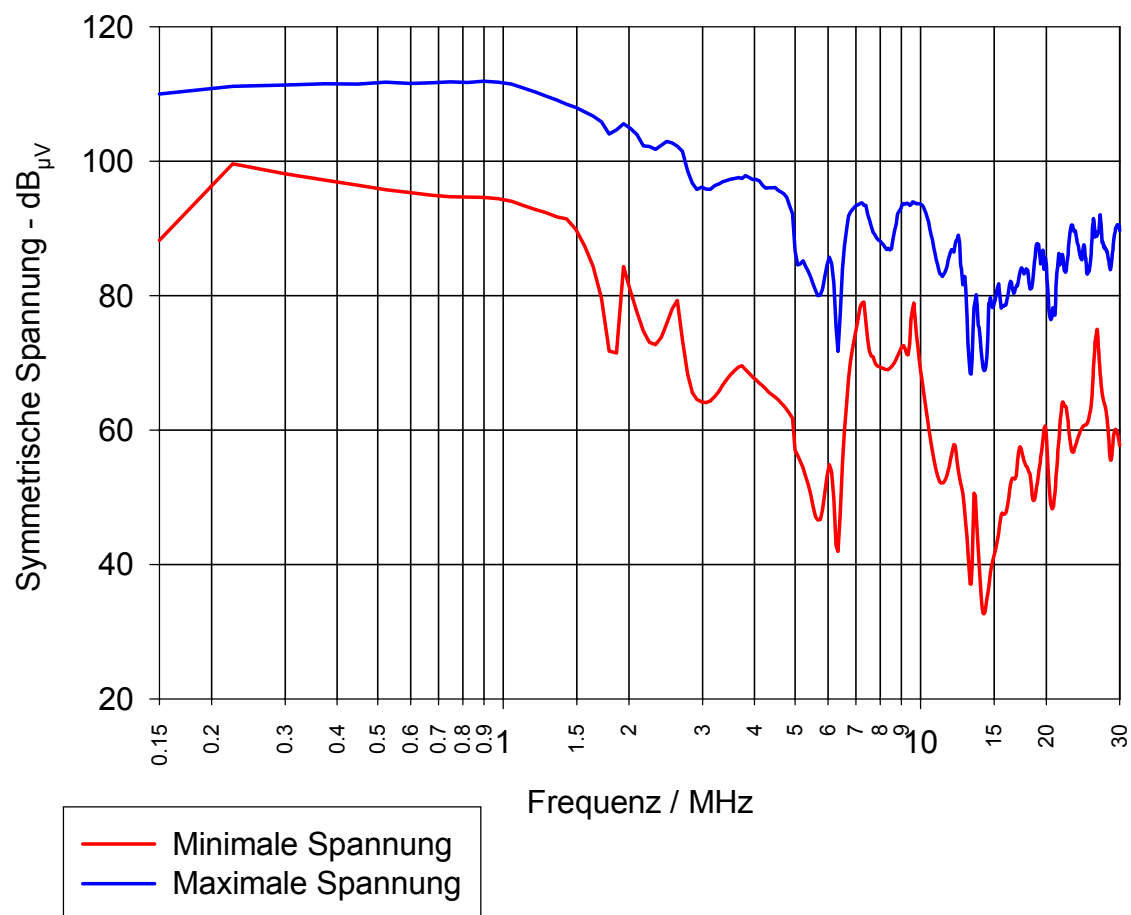


Abbildung 66: Magnetische Feldstärke, Einkopplung symmetrisch in Stromkreis S1 bei P0, Box Plot



**Abbildung 67: Minimale und maximale magnetische Feldstärken, Einkopplung symmetrisch in Stromkreis S1 bei P0**



**Abbildung 68: Magnetische Feldstärke, Spannung die die Mindestnutzfeldstärke hervorruft, Einkopplung symmetrisch in Stromkreis S1 bei P0**

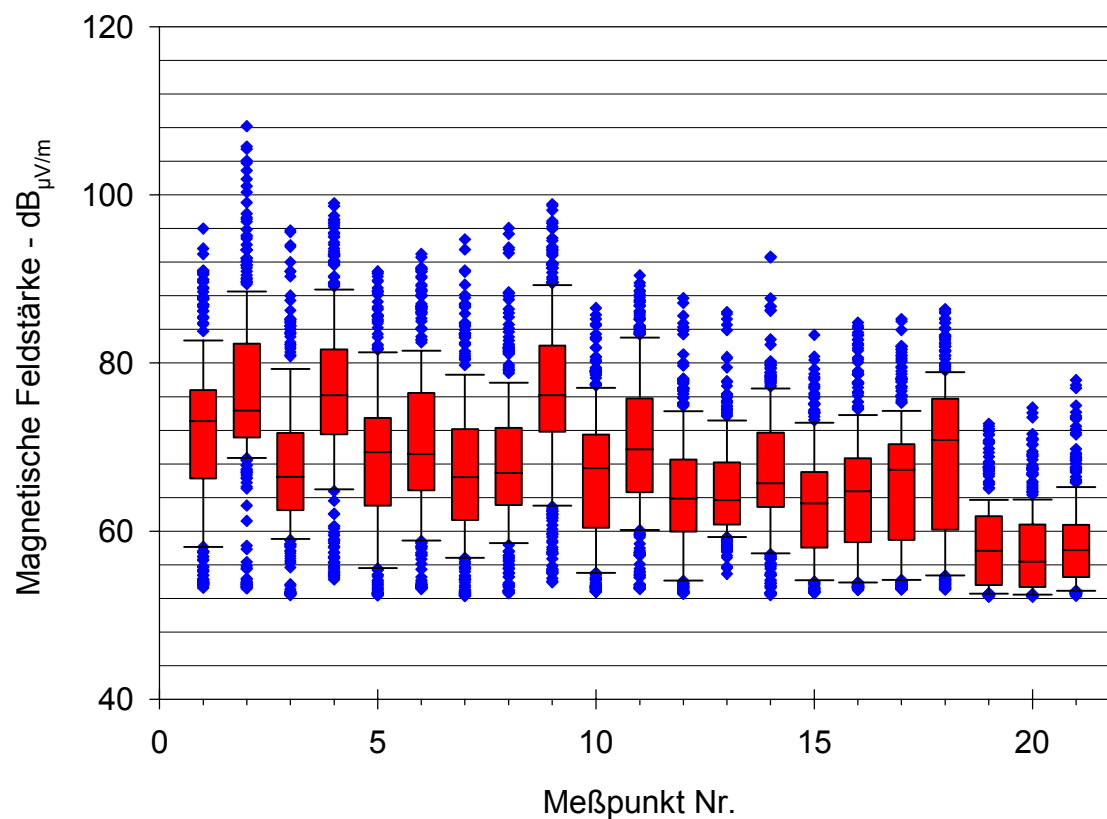
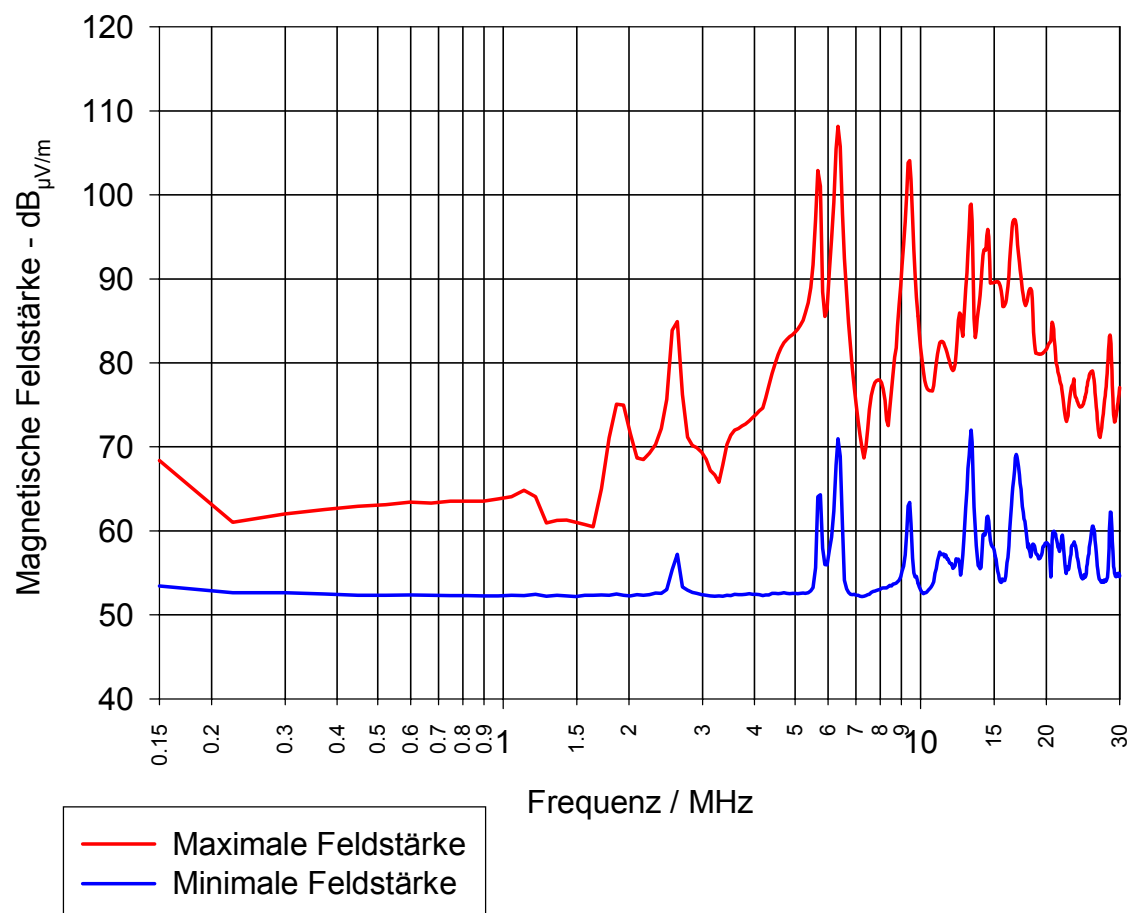
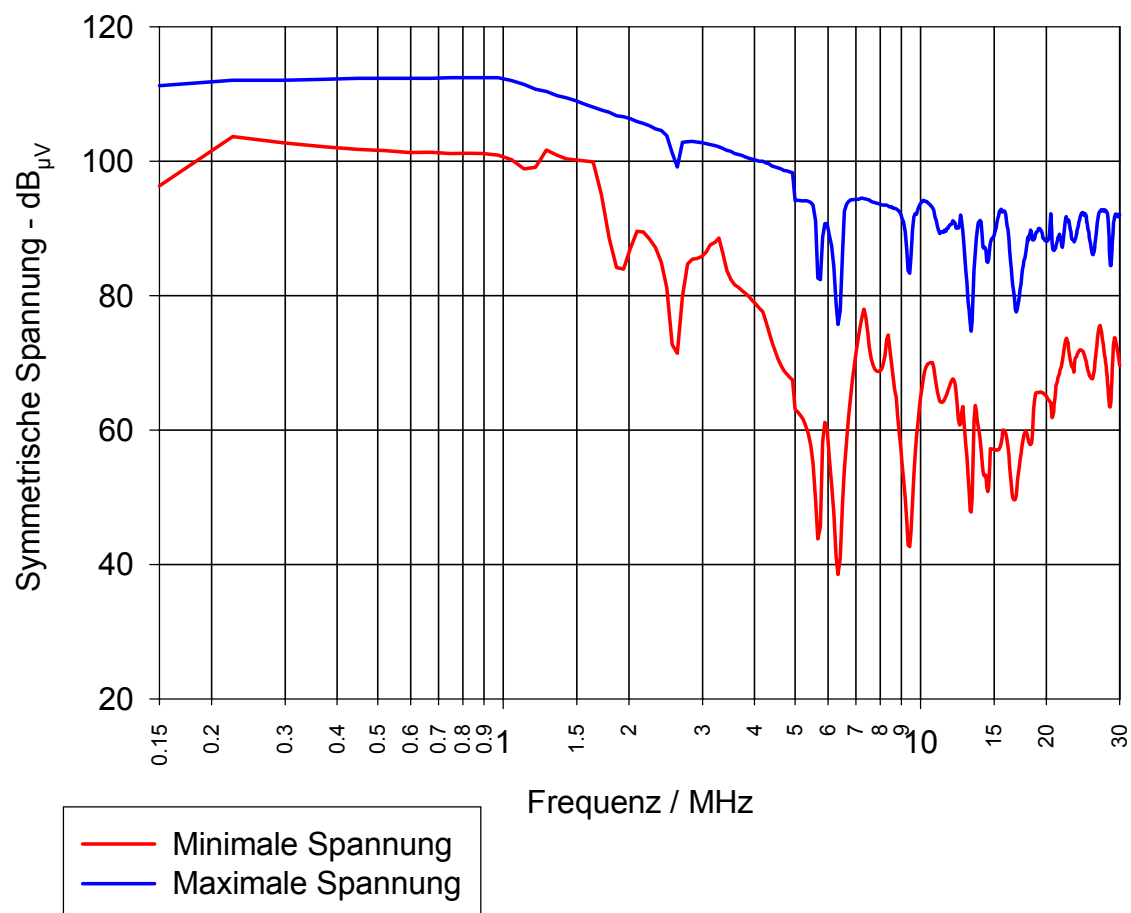


Abbildung 69: Magnetische Feldstärke, Einkopplung symmetrisch in Stromkreis S01 bei P0, Box Plot



**Abbildung 70: Minimale und maximale magnetische Feldstärken, Einkopplung symmetrisch in Stromkreis S01 bei P0**





**Abbildung 71: Magnetische Feldstärke, Spannung die die Mindestnutzfeldstärke hervorruft, Einkopplung symmetrisch in Stromkreis S01 bei P0**

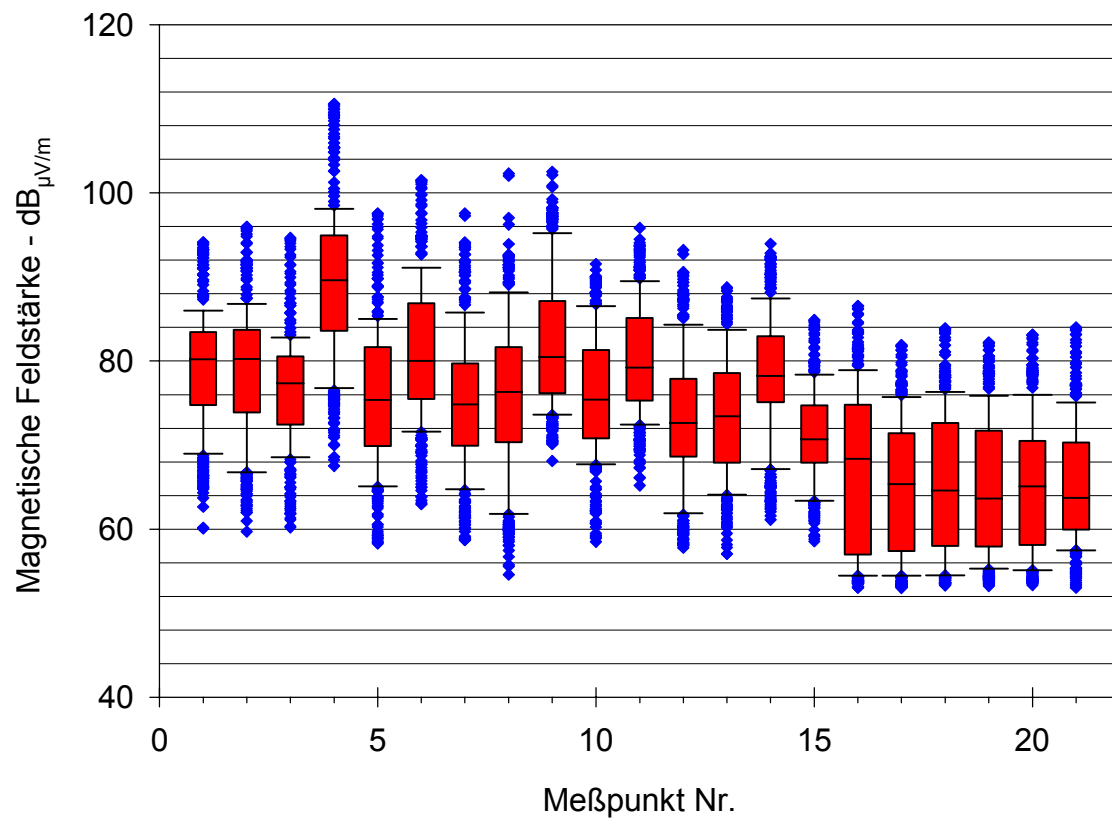
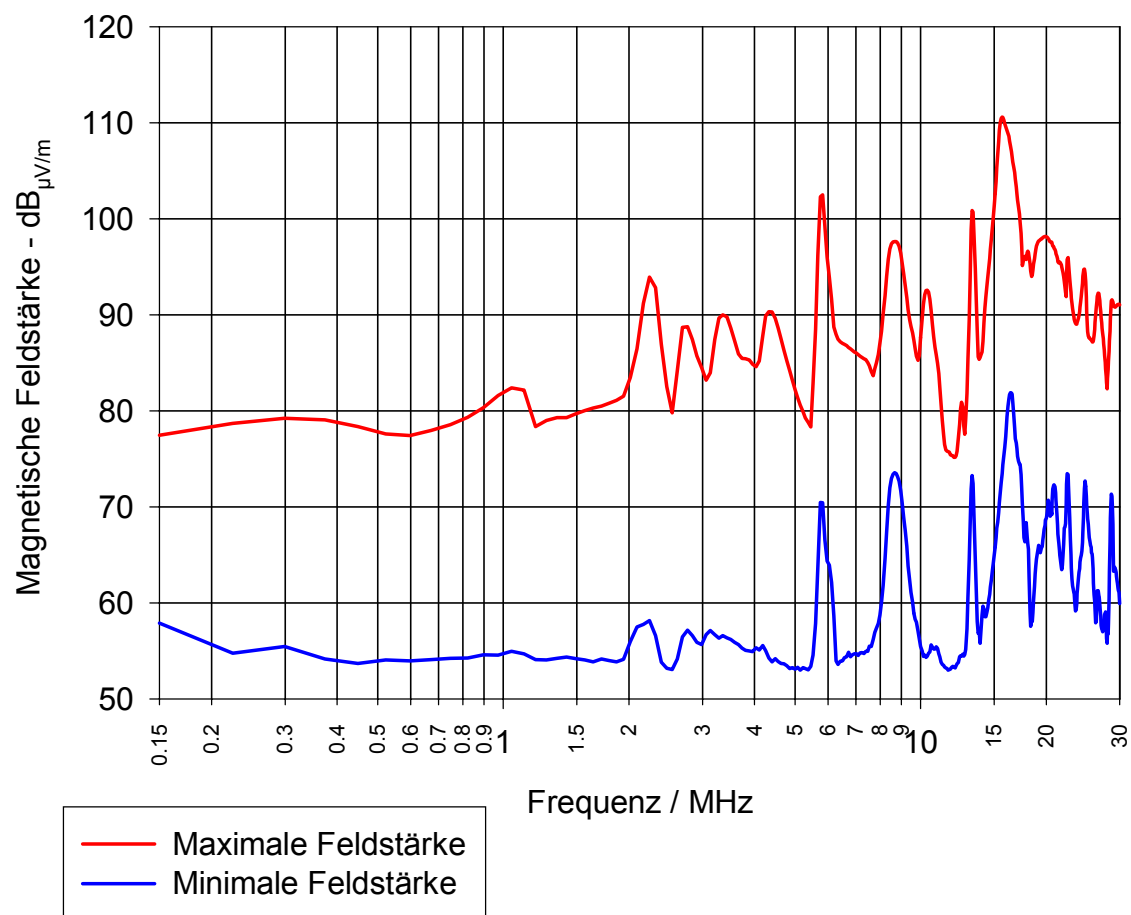
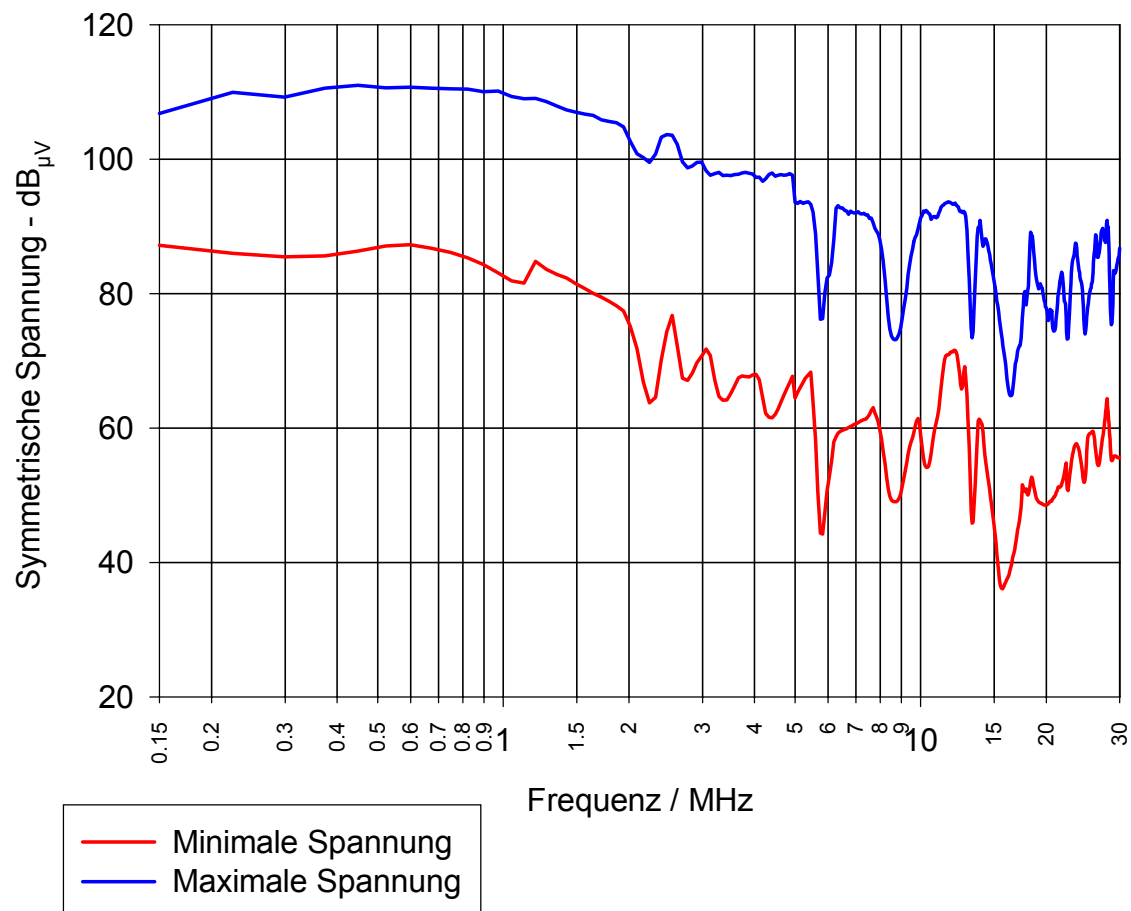


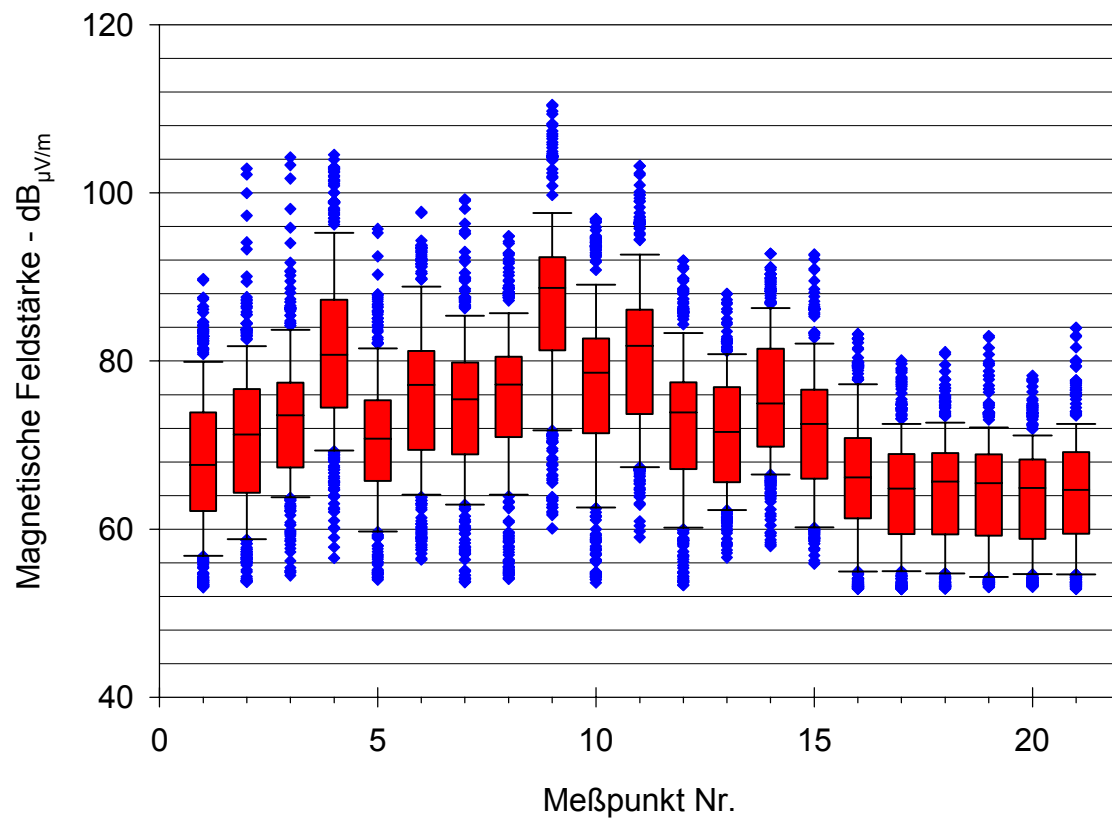
Abbildung 72: Magnetische Feldstärke, Einkopplung symmetrisch in Stromkreis S01 bei P1, Box Plot



**Abbildung 73: Minimale und maximale magnetische Feldstärken, Einkopplung symmetrisch in Stromkreis S01 bei P1**



**Abbildung 74: Magnetische Feldstärke, Spannung die die Mindestnutzfeldstärke hervorruft, Einkopplung symmetrisch in Stromkreis S01 bei P1**



**Abbildung 75: Magnetische Feldstärke, Einkopplung symmetrisch in Stromkreis S01 bei P9, Box Plot**

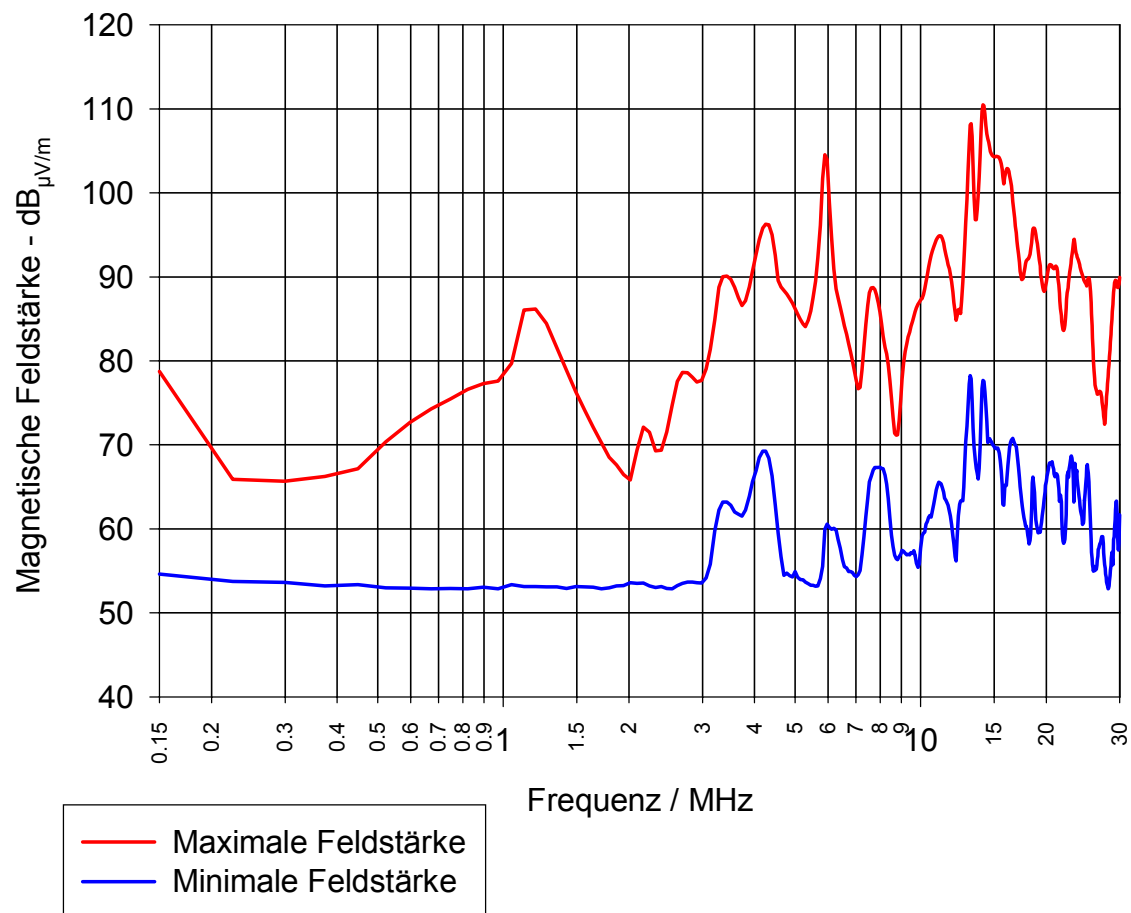
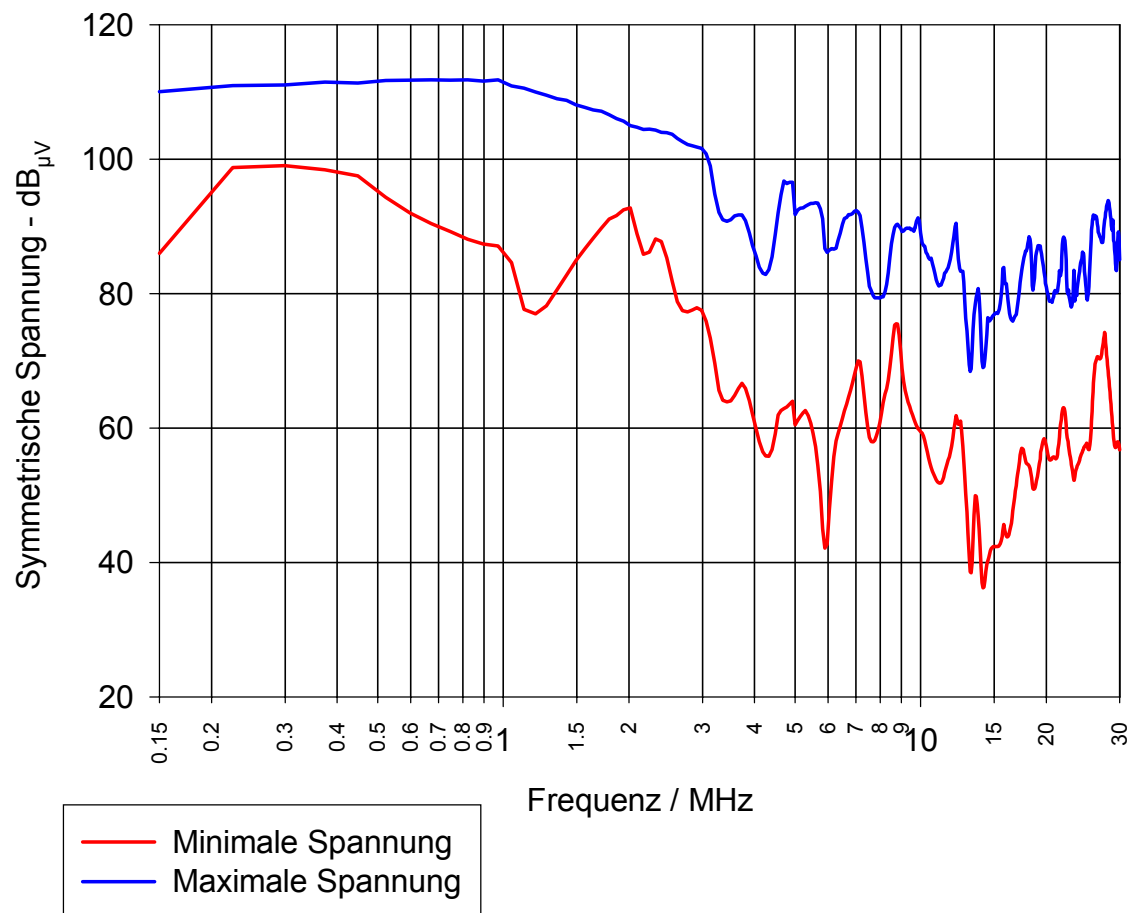


Abbildung 76: Minimale und maximale magnetische Feldstärken, Einkopplung symmetrisch in Stromkreis S01 bei P9



**Abbildung 77: Magnetische Feldstärke, Spannung die die Mindestnutzfeldstärke hervorruft, Einkopplung symmetrisch in Stromkreis S01 bei P9**