

# Vermessung elektromagnetischer Felder im Umfeld ausgesuchter W-LAN-HotSpots auf dem Gelände der Universität des Saarlandes - Messbericht -

Auftraggeber	Universität des Saarlandes Amt für Arbeits- und Umweltschutz und IT-Servicezentrum Stuhlsatzenhausweg Gebäude 36.2 66123 Saarbrücken
Auftragnehmer	FITT gGmbH Goebenstraße 40 66117 Saarbrücken Tel. (0681) 58 67 – 641
Messort	Campus der Universität des Saarlandes
Datum der Messung	06.07. und 10.07.2009
Messzeitraum	06.07.2009 - 11:30 Uhr bis 14:30 Uhr 10.07.2009 - 12:00 Uhr bis 12:30 Uhr
Ort und Datum	Saarbrücken, den 18/ November 2009

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung .....	4
2	Durchführung der Messung.....	5
2.1	Messorte .....	5
2.2	Auswertung und Beurteilung der Messergebnisse .....	7
3	Zusammenfassung der Messergebnisse .....	7
4	Anhang .....	14
4.1	Abbildungsverzeichnis .....	14
4.2	Die Messgrößen hochfrequenter elektromagnetischer Felder .....	16
4.3	Verwendete Messgeräte, Messverfahren .....	17
4.4	Messungenauigkeit, Bestimmung der Maximalimmission.....	17
4.5	Qualitätssicherung .....	17
4.6	Aktuelle Grenzwertsituation.....	18
4.7	Summenbildung nach der VDE 0848/26. BImSchV .....	20
4.8	Auflistung und Bezeichnung der Messstandorte.....	21
4.9	Messdiagramme.....	25

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Untersuchte Frequenzbereiche.....	4
Tabelle 2	Ermittelte Maximalwerte je Messort, Messungen 1-40.....	8
Tabelle 3	Ermittelte Maximalwerte je Messort, Messungen 41-55.....	9
Tabelle 4	Beurteilung der Messungen nach Summe3 BNetzA .....	10
Tabelle 5	Beurteilung der Messungen nach Summe3 BNetzA .....	11
Tabelle 6	Grenzwerte verschiedener Frequenzbereiche .....	19
Tabelle 7	Tabellarische Auflistung der Messstandorte 1-8.....	21
Tabelle 8	Tabellarische Auflistung der Messstandorte 9-11 .....	22

Abbildungsverzeichnis

In Teil 2 aufgeführt

Seite 14

# Teil 1

## Ergebnis der Messung

## 1 Aufgabenstellung

Die steigende Anzahl der W-LAN Access Points, sowohl in den Büroräumen als auch auf dem Gelände der Universität des Saarlandes, führte zu umfangreichen Diskussionen hinsichtlich dem damit verbunden Anstieg der Gesamtmission elektromagnetischer Felder. Zur Beurteilung der aktuellen elektrischen Feldsituation beauftragte die Universität des Saarlandes, Vertreten durch Herrn Dipl.-Ing. Neisius, Rechenzentrum, die Fitt GmbH zur Erhebung und Beurteilung der vorliegenden Feldstärken an exemplarisch dafür ausgewählten Messorten auf dem Campus der Universität.

Dabei wurden folgende Frequenzbereiche im Rahmen der Erhebung untersucht:

Bezeichnung	Von	Bis
W-LAN <sup>1</sup> 2.4	2.4 GHz	2.5 GHz
W-LAN 5	5.1 GHz	5.8 GHz
GSM <sup>2</sup> -900	860 MHz	960 MHz
GSM-1800	1800 MHz	2000 MHz
UMTS <sup>3</sup>	2.1 GHz	2.2 GHz

**Tabelle 1      Untersuchte Frequenzbereiche**

In Absprache mit Herr Dipl.-Ing. Neisius wurden die unter Punkt 4.8 aufgeführten Messstandorte ausgewählt. Herr Neisius begleitete die gesamte Untersuchung und ermöglichte so einen reibungslosen Ablauf der Messdurchführung.

Die erste Messdurchführung fand am 06.07.2009 in der Zeit zwischen 11:30 Uhr und 14:30 Uhr statt. Aus technischen Gründen wurde die Außenmessung an Position 7 zu einem nachfolgenden Termin, am 10.07.2009 im Zeitraum von 12:00 bis 12:30 Uhr durchgeführt.

<sup>1</sup> Wireless Local Area Network

<sup>2</sup> Global System for Mobile Communications

<sup>3</sup> Universal Mobile Telecommunication System

## 2 Durchführung der Messung

### 2.1 Messorte

Die Messdatenerhebung beinhaltet die Untersuchung der elektrischen Feldstärke an 11 Messpunkten. Diese befinden sich im direkten Umfeld von insgesamt vier W-LAN Access Points. Bei der Auswahl der Standorte wurden drei im Gebäudeinneren befindliche Hotspots und ein Outdoor Hotspot, Position 7, berücksichtigt.

Die drei nachfolgend aufgeführten Lageskizzen zeigen die jeweiligen Positionen der Messstandorte. Eine tabellarische Auflistung der Messstandorte befindet sich im Anhang unter Punkt 4.8. Die betreffende Tabelle beinhaltet sowohl die Messbezeichnung, den Messort als auch den untersuchten Frequenzbereich.



Abbildung 1 Lageskizze der Messpunkte 1 bis 4

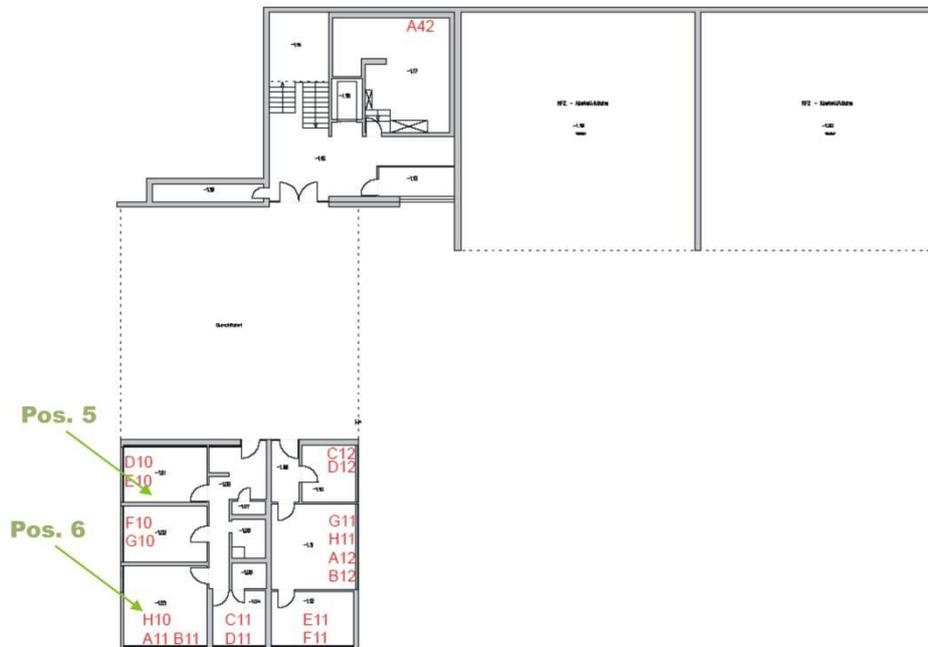


Abbildung 2 Lagekizze der Messpunkte 5 und 6

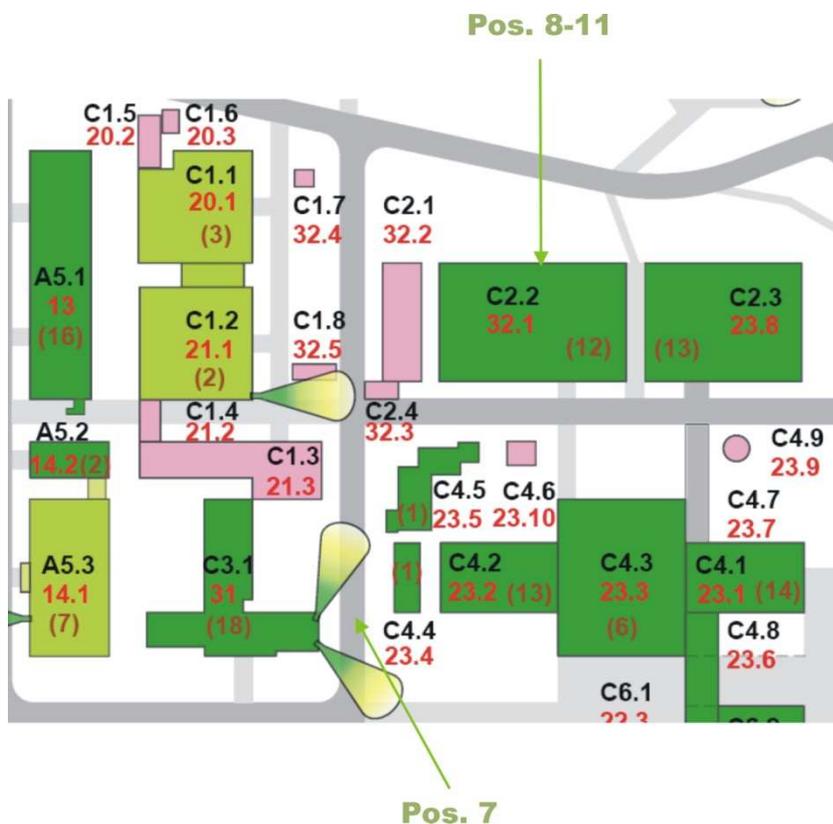


Abbildung 3 Lageplan der Messpunkte 7 bis 11

## **2.2 Auswertung und Beurteilung der Messergebnisse**

Die an den jeweiligen Messorten erfassten elektrischen Feldstärken sind im Anhang unter Punkt 4.9 graphisch dargestellt. Die Diagramme zeigen die elektrische Feldstärke als Funktion der Frequenz und die so genannte Ausschöpfung des Grenzwertes. Das erste Diagramm des jeweils untersuchten Frequenzbereichs zeigt den Verlauf der gemessenen elektrischen Feldstärke in V/m und gleichzeitig den für den Frequenzbereich aktuell gültigen Grenzwert. Das zweite sich daran anschließende Messdiagramm stellt den Unterschreitungsfaktor zum Grenzwert in Promille dar. Diese Darstellung verdeutlicht den Abstand des Messwertes zum Grenzwert.

Der verwendete halblogarithmische Maßstab zur Darstellung der elektrischen Feldstärke ist für technische Laien in der Regel schwer verständlich. Daher wird im unteren Diagramm, jeder Seite, für die aktuelle Messung die Ausschöpfung des frequenzabhängigen Grenzwertes in einem linearen Maßstab in Promille dargestellt. Diese Darstellungsweise soll die Bewertung der am Ort vorherrschenden elektromagnetischen Felder erleichtern.

## **3 Zusammenfassung der Messergebnisse**

Der zu jeder Messung ermittelte Maximalwert der elektrischen Feldstärke und die damit verbundene Ausschöpfung des Grenzwertes wurden in Tabelle 2 und Tabelle 3 zusammengestellt. Die sich daran anschließenden Tabelle 4 und 5 zeigt das Ergebnis der Beurteilung der Gesamtmission nach dem Bewertungskriterium der Summe<sup>3</sup> der BNetzA<sup>4</sup> im betrachteten Frequenzbereich. Eine Erläuterung zur Analyse der Messergebnisse nach der Summe<sup>5</sup> ist im Anhang unter Punkt 4.7 detailliert aufgeführt.

---

<sup>4</sup> Bundesnetzagentur (ehem. RegTP – Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post)

<sup>5</sup> Summenbetrachtung auf Grundlage der BNetzA – siehe hierzu Seite 20

Messung	Messort	Frequenz [MHz]	gem. Feldstärke [V/m] (a)	Grenzwert, GW [V/m] (b)	Ausschöpfung GW [Promille] (c)
1	Pos. 1	2434,40	0,934	61,00	15,315
2	Pos. 1	5504,80	0,415	61,00	6,805
3	Pos. 1	929,40	0,025	41,92	0,604
4	Pos. 1	1897,60	0,312	59,90	5,208
5	Pos. 1	2150,80	0,007	61,00	0,109
6	Pos. 2	2438,20	0,267	61,00	4,375
7	Pos. 2	5494,40	0,108	61,00	1,763
8	Pos. 2	929,20	0,053	41,91	1,268
9	Pos. 2	1897,60	0,521	59,90	8,705
10	Pos. 2	2152,40	0,012	61,00	0,205
11	Pos. 3	2435,60	0,192	61,00	3,155
12	Pos. 3	5499,60	0,067	61,00	1,095
13	Pos. 3	929,40	0,016	41,92	0,384
14	Pos. 3	1884,80	0,348	59,69	5,834
15	Pos. 3	2199,00	0,006	61,00	0,091
16	Pos. 4	2438,00	0,176	61,00	2,893
17	Pos. 4	5502,00	0,077	61,00	1,266
18	Pos. 4	929,20	0,100	41,91	2,384
19	Pos. 4	1890,80	0,169	59,79	2,820
20	Pos. 4	2152,60	0,028	61,00	0,462
21	Pos. 5	2464,40	0,520	61,00	8,529
22	Pos. 5	5697,50	0,131	61,00	2,144
23	Pos. 5	941,80	0,086	42,20	2,044
24	Pos. 5	1841,60	0,039	59,01	0,660
25	Pos. 5	2168,80	0,018	61,00	0,302
26	Pos. 6	2462,00	0,145	61,00	2,377
27	Pos. 6	5696,00	0,048	61,00	0,789
28	Pos. 6	941,80	0,139	42,20	3,288
29	Pos. 6	940,76	0,155	42,17	3,668
30	Pos. 6	2113,60	0,023	61,00	0,383
31	Pos. 7	2462,40	0,124	61,00	2,026
32	Pos. 7	5112,80	0,043	61,00	0,699
33	Pos. 7	943,80	0,318	42,24	7,539
34	Pos. 7	1844,00	0,234	59,05	3,966
35	Pos. 7	2168,40	0,303	61,00	4,967
36	Pos. 8	2411,20	0,363	61,00	5,957
37	Pos. 8	5636,40	0,315	61,00	5,171
38	Pos. 8	941,80	0,031	42,20	0,742
39	Pos. 8	1846,40	0,029	59,08	0,485
40	Pos. 8	2152,00	0,023	61,00	0,378

**Tabelle 2      Ermittelte Maximalwerte je Messort, Messungen 1-40**

Messung	Messort	Frequenz [MHz]	gem. Feldstärke [V/m] (a)	Grenzwert, GW [V/m] (b)	Ausschöpfung GW [Promille] (c)
41	Pos. 9	2410,80	0,225	61,00	3,683
42	Pos. 9	5641,20	0,221	61,00	3,625
43	Pos. 9	941,80	0,035	42,20	0,821
44	Pos. 9	1860,40	0,011	59,31	0,182
45	Pos. 9	2167,40	0,011	61,00	0,177
46	Pos. 10	2409,20	0,054	61,00	0,890
47	Pos. 10	5637,60	0,057	61,00	0,937
48	Pos. 10	942,00	0,031	42,20	0,730
49	Pos. 10	1846,40	0,014	59,08	0,229
50	Pos. 10	2166,00	0,011	61,00	0,183
51	Pos. 11	2413,20	0,062	61,00	1,014
52	Pos. 11	5641,60	0,050	61,00	0,814
53	Pos. 11	944,00	0,016	42,25	0,374
54	Pos. 11	1846,40	0,011	59,08	0,193
55	Pos. 11	2152,60	0,009	61,00	0,155

**Tabelle 3      Ermittelte Maximalwerte je Messort, Messungen 41-55**

Erläuterung:

- ( a ) Die maximal gemessene elektrische Feldstärke je Messung
- ( b ) Der Grenzwert der elektrischen Feldstärke nach der 26. BImSchV (Bundes-Immissions-Schutzverordnung in der 26. Fassung)
- ( c ) Ausschöpfung des Grenzwertes der elektrischen Feldstärke

Messung	Messort	Bedingung 3, BNetzA	Unterschreitung
1	Pos. 1	0,0011997	834
2	Pos. 1	0,0003573	2.799
3	Pos. 1	0,0000002	5.300.094
4	Pos. 1	0,0000590	16.952
5	Pos. 1	0,0000000	25.942.090
6	Pos. 2	0,0002065	4.843
7	Pos. 2	0,0000452	22.122
8	Pos. 2	0,0000009	1.071.987
9	Pos. 2	0,0001008	9.921
10	Pos. 2	0,0000004	2.577.835
11	Pos. 3	0,0000632	15.814
12	Pos. 3	0,0000070	143.294
13	Pos. 3	0,0000001	11.466.074
14	Pos. 3	0,0000503	19.876
15	Pos. 3	0,0000000	- *
16	Pos. 4	0,0000605	16.539
17	Pos. 4	0,0000138	72.579
18	Pos. 4	0,0000023	436.026
19	Pos. 4	0,0000079	126.990
20	Pos. 4	0,0000013	790.969
21	Pos. 5	0,0011958	836
22	Pos. 5	0,0000218	45.972
23	Pos. 5	0,0000049	204.689
24	Pos. 5	0,0000025	395.111
25	Pos. 5	0,0000015	679.945
26	Pos. 6	0,0000449	22.271
27	Pos. 6	0,0000005	2.178.824
28	Pos. 6	0,0000129	77.410
29	Pos. 6	0,0000423	23.641
30	Pos. 6	0,0000023	431.150
31	Pos. 7	0,0000599	16.685
32	Pos. 7	0,0000008	1.183.903
33	Pos. 7	0,0000702	14.243
34	Pos. 7	0,0000717	13.938
35	Pos. 7	0,0002058	4.859
36	Pos. 8	0,0001565	6.389
37	Pos. 8	0,0003397	2.944
38	Pos. 8	0,0000005	1.963.999
39	Pos. 8	0,0000012	831.559
40	Pos. 8	0,0000011	950.151

**Tabelle 4 Beurteilung der Messungen nach Summe3 BNetzA**

Messung	Messort	Bedingung 3, BNetzA	Unterschreitung
41	Pos. 9	0,0000565	17.704
42	Pos. 9	0,0000758	13.201
43	Pos. 9	0,0000004	2.273.829
44	Pos. 9	0,0000002	4.750.164
45	Pos. 9	0,0000003	3.813.531
46	Pos. 10	0,0000081	123.911
47	Pos. 10	0,0000049	202.860
48	Pos. 10	0,0000003	2.971.659
49	Pos. 10	0,0000002	5.196.291
50	Pos. 10	0,0000002	4.137.334
51	Pos. 11	0,0000046	218.239
52	Pos. 11	0,0000010	988.739
53	Pos. 11	0,0000002	5.659.107
54	Pos. 11	0,0000001	7.498.359
55	Pos. 11	0,0000002	4.796.462

**Tabelle 5 Beurteilung der Messungen nach Summe3 BNetzA**

\* - An Position 3 konnte kein UMTS-Signal detektiert werden.

---

*Prof. Dr. W. Langguth*

Zusammenfassend lässt sich folgendes feststellen:

An keinem der untersuchten Messorte wurde zum Zeitpunkt der Messdatenerhebung eine Überschreitung der aktuell geltenden Grenzwerte festgestellt.

Nach der derzeit geltenden Grenzwertgebung wurden damit an allen Messpunkten die Grenzwerte der 26. BImSchV<sup>6</sup> deutlich unterschritten.

Die höchste Immission konnte an Position 1 im Frequenzbereich W-LAN 2.4 GHz zu 0.934 V/m ermittelt werden. Dies ergibt eine Unterschreitung des Grenzwertes nach der 26. BImSchV um den Faktor 834.

Saarbrücken, 18.11.2009

---

<sup>6</sup> Bundes Immissionsschutz Verordnung in der 26. Fassung

## Teil 2

# Anhang Technische Hintergründe und Bilddokumentation

## 4 Anhang

### 4.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Lageskizze der Messpunkte 1 bis 4.....	5
Abbildung 2	Lageskizze der Messpunkte 5 und 6.....	6
Abbildung 3	Lageplan der Messpunkte 7 bis 11 .....	6
Abbildung 4	Pos. 1 und 2 (v.l.n.r) .....	23
Abbildung 5	Pos. 3 und 4 (v.l.n.r) .....	23
Abbildung 6	Pos. 5 und 6 (v.l.n.r.) .....	23
Abbildung 7	Pos. 7 und 8 (v.l.n.r) .....	24
Abbildung 8	Pos. 9 und 10 .....	24
Abbildung 9	UNI1, Darstellung des Mess- und Grenzwertes.....	25
Abbildung 10	UNI1, Ausschöpfung der Grenzwerte in Prozent.....	25
Abbildung 11	UNI2, Darstellung des Mess- und Grenzwertes.....	26
Abbildung 12	UNI2, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	26
Abbildung 13	UNI3, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	27
Abbildung 14	UNI3, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	27
Abbildung 15	UNI4, Darstellung des Mess- und Grenzwertes.....	28
Abbildung 16	UNI4, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	28
Abbildung 17	UNI5, Darstellung des Mess- und Grenzwertes.....	29
Abbildung 18	UNI5, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	29
Abbildung 19	UNI6, Darstellung des Mess- und Grenzwertes.....	30
Abbildung 20	UNI6, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	30
Abbildung 21	UNI7, Darstellung des Mess- und Grenzwertes.....	31
Abbildung 22	UNI7, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	31
Abbildung 23	UNI8, Darstellung des Mess- und Grenzwertes.....	32
Abbildung 24	UNI8, Ausschöpfung der Grenzwerte in Prozent.....	32
Abbildung 25	UNI9, Darstellung des Mess- und Grenzwertes.....	33
Abbildung 26	UNI9, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	33
Abbildung 27	UNI10, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	34
Abbildung 28	UNI10, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	34
Abbildung 29	UNI11, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	35
Abbildung 30	UNI11, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	35
Abbildung 31	UNI12, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	36
Abbildung 32	UNI12, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	36
Abbildung 33	UNI13, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	37
Abbildung 34	UNI13, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	37
Abbildung 35	UNI14, Darstellung des Mess- und Grenzwertes.....	38
Abbildung 36	UNI14, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	38
Abbildung 37	UNI15, Darstellung des Mess- und Grenzwertes.....	39
Abbildung 38	UNI15, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	39
Abbildung 39	UNI16, Darstellung des Mess- und Grenzwertes.....	40
Abbildung 40	UNI16, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	40
Abbildung 41	UNI17, Darstellung des Mess- und Grenzwertes.....	41
Abbildung 42	UNI17, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	41
Abbildung 43	UNI18, Darstellung des Mess- und Grenzwertes.....	42
Abbildung 44	UNI18, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	42
Abbildung 45	UNI19, Darstellung des Mess- und Grenzwertes.....	43
Abbildung 46	UNI19, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	43
Abbildung 47	UNI20, Darstellung des Mess- und Grenzwertes.....	44
Abbildung 48	UNI20, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	44
Abbildung 49	UNI21, Darstellung des Mess- und Grenzwertes.....	45
Abbildung 50	UNI21, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	45
Abbildung 51	UNI22, Darstellung des Mess- und Grenzwertes.....	46
Abbildung 52	UNI22, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	46
Abbildung 53	UNI23, Darstellung des Mess- und Grenzwertes.....	47
Abbildung 54	UNI23, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	47
Abbildung 55	UNI24, Darstellung des Mess- und Grenzwertes.....	48
Abbildung 56	UNI24, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	48
Abbildung 57	UNI25, Darstellung des Mess- und Grenzwertes.....	49
Abbildung 58	UNI25, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	49
Abbildung 59	UNI26, Darstellung des Mess- und Grenzwertes.....	50
Abbildung 60	UNI26, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	50
Abbildung 61	UNI27, Darstellung des Mess- und Grenzwertes.....	51

Abbildung 62	UNI27, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	51
Abbildung 63	UNI28, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	52
Abbildung 64	UNI28, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	52
Abbildung 65	UNI29, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	53
Abbildung 66	UNI29, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	53
Abbildung 67	UNI30, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	54
Abbildung 68	UNI30, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	54
Abbildung 69	UNI31, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	55
Abbildung 70	UNI31, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	55
Abbildung 71	UNI32, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	56
Abbildung 72	UNI32, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	56
Abbildung 73	UNI33, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	57
Abbildung 74	UNI33, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	57
Abbildung 75	UNI34, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	58
Abbildung 76	UNI34, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	58
Abbildung 77	UNI35, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	59
Abbildung 78	UNI35, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	59
Abbildung 79	UNI36, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	60
Abbildung 80	UNI36, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	60
Abbildung 81	UNI37, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	61
Abbildung 82	UNI37, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	61
Abbildung 83	UNI38, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	62
Abbildung 84	UNI38, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	62
Abbildung 85	UNI39, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	63
Abbildung 86	UNI39, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	63
Abbildung 87	UNI40, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	64
Abbildung 88	UNI40, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	64
Abbildung 89	UNI41, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	65
Abbildung 90	UNI41, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	65
Abbildung 91	UNI42, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	66
Abbildung 92	UNI42, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	66
Abbildung 93	UNI43, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	67
Abbildung 94	UNI43, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	67
Abbildung 95	UNI44, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	68
Abbildung 96	UNI44, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	68
Abbildung 97	UNI45, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	69
Abbildung 98	UNI45, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	69
Abbildung 99	UNI46, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	70
Abbildung 100	UNI46, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	70
Abbildung 101	UNI47, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	71
Abbildung 102	UNI47, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	71
Abbildung 103	UNI48, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	72
Abbildung 104	UNI48, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	72
Abbildung 105	UNI49, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	73
Abbildung 106	UNI49, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	73
Abbildung 107	UNI50, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	74
Abbildung 108	UNI50, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	74
Abbildung 109	UNI51, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	75
Abbildung 110	UNI51, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	75
Abbildung 111	UNI52, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	76
Abbildung 112	UNI52, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	76
Abbildung 113	UNI53, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	77
Abbildung 114	UNI53, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	77
Abbildung 115	UNI54, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	78
Abbildung 116	UNI54, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	78
Abbildung 117	UNI55, Darstellung des Mess- und Grenzwertes .....	79
Abbildung 118	UNI55, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent .....	79

## **4.2 Die Messgrößen hochfrequenter elektromagnetischer Felder**

Für die Beurteilung der Feldintensität in der Umgebung von Hochfrequenzquellen werden üblicherweise die folgenden Größen verwendet:

- Die elektrische Feldstärke **E** in Volt pro Meter.
- Die Leistungsflussdichte **S** in Watt pro Quadratmeter oder Mikrowatt pro Quadratcentimeter ( Mikrowatt = Millionstel Watt).

Die Leistungsflussdichte in Mikrowatt pro Quadratcentimeter gibt die in einer Fläche von einem Quadratcentimeter fließende Leistungsmenge der durch die elektromagnetische Welle transportierten Hochfrequenzenergie an.

Im Fernfeld einer Antenne stehen Leistungsflussdichte, elektrische und magnetische Feldstärke in einem festen Verhältnis zueinander. Alle drei Größen sind im Fernfeld also äquivalent, ähnlich wie Stromaufnahme und Leistungsverbrauch bei Elektrogeräten. Bei allen hier durchgeführten Messungen kann von Fernfeldbedingungen ausgegangen werden, da man sich ausreichend weit von der Antenne entfernt befindet. Ausreichend bedeutet hierbei, dass sich der Messort um mindestens das 10fache der größten Wellenlänge von der Antenne befindet. In Zahlen ausgedrückt; bei GSM 1800 liegt eine Wellenlänge von 0,16 m vor. Somit kann bei einem Abstand von 1,6 m von Fernfeldbedingungen ausgegangen werden. Der kleinste Abstand zur Antenne war während der Messung ca. 5m. Für die Beurteilung der Feldintensität in den bei dieser Untersuchung auftretenden Abständen zur Antenne genügt also die Angabe einer der o. a. drei Größen. In der Auswertung, wird die elektrische Feldstärke als Größe für die Immissionswerte verwendet, um einen direkten Vergleich mit den in der 26. BImSchV angegebenen Grenzwerten, zu ermöglichen.

Die gemessenen Immissionswerte sind in den Grafiken zu diesem Bericht für jeden Messpunkt ausführlich dokumentiert.

### **4.3 Verwendete Messgeräte, Messverfahren**

Im Rahmen der Immissionsmessungen wurden die folgenden Messgeräte eingesetzt:

- |                                  |        |                       |
|----------------------------------|--------|-----------------------|
| 1. Messempfänger Rhode & Schwarz | ESPI   | (Seriennummer 100049) |
| 2. Messantenne Schwarzbeck       | USLP   | (Seriennummer 255)    |
| 3. Koaxialkabel Nokia            | RG 213 | (10m)                 |

Mittels des Messempfängers und einer geeigneten Messantenne wurden Frequenz und Empfangspegel der einzelnen am Messort zu untersuchenden Signale festgestellt. Unter Verwendung der Kalibrierdaten der verwendeten Messantenne und unter Berücksichtigung der Dämpfung der Messkabel kann damit die am Messort herrschende Feldstärke, zum Zeitpunkt der Messung, bestimmt werden. Durch manuelles Ausrichten der Antenne (Schwenkmethode) wurde jeweils die Stärkste am Messpunkt vorhandene Immission gemessen.

### **4.4 Messungenauigkeit, Bestimmung der Maximalimmission**

Bei Feldstärkemessungen muss stets mit einer Gerätebedingten Messunsicherheit von typisch  $\pm 3$  dB gerechnet werden. Gründe dafür sind unvermeidbare Restfehler bei der Kalibrierung von Messantennen, die entsprechende Messtoleranz des Spektrumanalysators und die Unsicherheiten der Kabelkalibrierung. Zur Kompensation wurden alle Messwerte um diesen Unsicherheitsfaktor erhöht, d.h. die in diesem Bericht angegebenen Feldstärkewerte sind, gegenüber der vor Ort abgelesenen Anzeige des Messgerätes, zur Sicherheit um den Faktor 1,4 angehoben.

### **4.5 Qualitätssicherung**

Für alle verwendeten Messantennen liegen die entsprechenden Wandlungsfaktoren als Kalibrierdaten der Hersteller in Tabellenform vor.

Die aktiven Geräte (insbesondere der Spektrumanalysator) wurden sowohl vor als auch nach der Messaktion auf ihre ordnungsgemäße Funktion und ihre Frequenz- und Amplitudengenauigkeit hin überprüft. Die letzte Werkskalibrierung des Messempfängers fand im Oktober 2006 statt. Die frequenzabhängigen Dämpfungswerte der bei den Messungen eingesetzten Kabel sind ebenfalls dokumentiert.

## **4.6 Aktuelle Grenzwertsituation**

### Basisgrenzwert

Die derzeitige Grenzwertbestimmung für Hochfrequenzfelder bezieht sich ausschließlich auf eine Begrenzung der thermischen Belastung der Menschen. Man geht derzeit davon aus, dass eine Leistungsaufnahme von 0.08 Watt [W] pro Kilogramm [kg] Körpergewicht, gemittelt über den gesamten Körper, gesundheitlich unbedenklich ist. Eine Aufnahme dieser Leistung würde einer Temperaturerhöhung im menschlichen Körper um etwa 0.02°C entsprechen. Dieser Grenzwert ist in der 26. Bundesimmissionsschutzverordnung (26. BImSchV<sup>7</sup>) festgelegt und wird als spezifische Absorptionsrate (SAR) bezeichnet. Um mögliche Spitzenwerte, die bei der Mittelung im menschlichen Körper auftreten können, zu beschränken, ist der Maximalwert der SAR auf 2 W/kg in Teilvolumina von 10 g des Körpergewebes zusätzlich nach oben beschränkt. Diese Grenzwerte der Spezifischen Absorptionsrate werden als so genannte Basisgrenzwerte bezeichnet, die in jedem Fall bei einer 24-stündigen Befeldung von Personen einzuhalten sind (WHO<sup>8</sup>, ICNIRP<sup>9</sup>).

### Referenzgrenzwert

Nachdem der Basisgrenzwert in seiner Ausprägung auf die Umwelt in der Umgebung einer Basisstation oder sonstigen Sendeanlagen messtechnisch nur sehr schwer zu erfassen ist, hat man Grenzwerte für messtechnisch einfacher zugänglichere Messgrößen definiert. Die Vermessung der Referenzgrenzwerte erlauben eine einfachere Überprüfung der Basisgrenzwerte: Statt des SAR-Wertes misst man die elektrische Feldstärke des Hochfrequenzfeldes. Das elektrische Feld wird in der physikalischen Einheit Volt pro Meter [V/m] angegeben. Nachdem die Leistungsaufnahme des Menschen von der Frequenz des elektromagnetischen Feldes abhängt (sie nimmt in den hier relevanten Frequenzbereichen mit wachsender Frequenz ab) ist die Grenzfrequenz für die elektrische Feldstärke ebenfalls frequenzabhängig: Sie nimmt mit wachsender Frequenz zu. Diese Grenzwerte werden als Referenzgrenzwerte bezeichnet. Die Einhaltung des Referenzgrenzwertes sichert die Einhaltung des grundlegenden Basisgrenzwertes.

Neben der elektrischen Feldstärke wird häufig die so genannte Leistungsflussdichte verwendet. Diese kann aus der gemessenen Feldstärke berechnet werden.

<sup>7</sup> Bundes-Immissionsschutzverordnung

<sup>8</sup> World Health Organization - Weltgesundheitsorganisation

<sup>9</sup> unabhängige Kommission für den Schutz vor Nichtionisierender Strahlung

Die Werte der Referenzgrenzwerte für das elektrische Feld sind für verschiedene Frequenzen in der folgenden Tabelle wiedergegeben:

Referenzgrenzwert	Rundfunk, Fernsehen	GSM-900	GSM-1800	UMTS, 2.1 GHz	WLAN *, 2.4 und 5 GHz
E [V/m]	27.5-38.6	42.0	58.0	61	61
S [W/m <sup>2</sup> ] <sup>10</sup>	2.0-3.95	4.68	8.92	9.78	9.78

Tabelle 6 Grenzwerte verschiedener Frequenzbereiche

\* Der angegebene Referenzgrenzwert gilt nach der 26. BImSchV für die Bewertung der elektrischen Feldstärke im Rahmen einer EMVU Betrachtung. Generell schreibt die BNetzA für den Betrieb von W-LAN Access Points eine maximale EIRP<sup>11</sup> von 100mW/m<sup>2</sup> vor, die einer elektrischen Feldstärke am Ort der Senderquelle von 6.14 V/m entspricht.

<sup>10</sup> S – Leistungsflussdichte gemessen in Watt pro Quadratmeter

<sup>11</sup> EIRP – Äquivalente isotrope Strahlungsleistung

#### 4.7 Summenbildung nach der VDE 0848/26. BImSchV

Um eine Bewertung der Gesamtbelastung von Personen durch gleichzeitig wirkende hochfrequente Felder verschiedener Frequenzen zu ermöglichen, wurde die Bedingung 3 der Summationsbildung nach der Bundesnetzagentur (BNetzA) eingeführt. Diese Summenformeln wurden von der Internationalen Kommission zum Schutz vor Nichtionisierenden Strahlung (ICNIRP) erarbeitet und vom Europäischen Rat (Empfehlung vom 12. Juli 1999, 1999/19/EG) empfohlen.

Im unteren Frequenzbereich wird die Wirkung elektromagnetischer Felder dominant durch die Induktion von elektrischen Strömen im menschlichen Körper beschrieben. Ist die Summe der Verhältnisse der gemessenen elektrischen Feldstärke und der Grenzfeldstärke über die verschiedenen Frequenzen kleiner als 1, so geht man davon aus, dass die Gesamtbelastung in diesem Frequenzbereich für den Menschen unbedenklich ist.

$$\sum_{i=1\text{MHz}}^{1\text{MHz}} \frac{E_i}{E_{\text{Grenz},i}} + \sum_{i>1\text{MHz}}^{10\text{MHz}} \frac{E_i}{E_{\text{Grenz},i}} \leq 1 \quad (\text{Bedingung 1, BNetzA})$$

Im oberen Frequenzbereich wird die Wirkung elektromagnetischer Felder dominant durch die Wärmewirkung der elektromagnetischen Felder im menschlichen Körper beschrieben. Ist die Summe des Quadrats der Verhältnisse der für jede Frequenz gemessenen Feldstärke zur Grenzfeldstärke kleiner als 1, so geht man davon aus, dass die Gesamtbelastung in diesem Frequenzbereich unbedenklich ist. Für die hier durchgeführte Messung wurde die Beziehung

$$\sum_{i=100\text{kHz}}^{1\text{MHz}} \left( \frac{E_i}{E_{\text{Grenz},i}} \right)^2 + \sum_{i>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left( \frac{E_i}{E_{\text{Grenz},i}} \right)^2 \leq 1 \quad (\text{Bedingung 3, BNetzA})$$

ausgewertet.

Zu den vorliegenden Messungen in den betreffenden Frequenzbereichen kommt die Bedingung 3 zur Anwendung. Die Unterschreitung als Faktor bezieht sich dabei ausschließlich auf die Bedingung 3 (Energiedichte).

#### 4.8 Auflistung und Bezeichnung der Messstandorte

Messung	Bez.	Position	Ort	Messbereich
1	UNI1	Pos. 1	Geb. 36.2, Raum 1.20	WLAN, 2.4
2	UNI2	Pos. 1	Geb. 36.2, Raum 1.20	WLAN, 5
3	UNI3	Pos. 1	Geb. 36.2, Raum 1.20	GSM-900
4	UNI4	Pos. 1	Geb. 36.2, Raum 1.20	GSM-1800
5	UNI5	Pos. 1	Geb. 36.2, Raum 1.20	UMTS
6	UNI6	Pos. 2	Geb. 36.2, Raum 1.06	WLAN, 2.5
7	UNI7	Pos. 2	Geb. 36.2, Raum 1.06	WLAN, 6
8	UNI8	Pos. 2	Geb. 36.2, Raum 1.06	GSM-2700
9	UNI9	Pos. 2	Geb. 36.2, Raum 1.06	GSM-3600
10	UNI10	Pos. 2	Geb. 36.2, Raum 1.06	UMTS
11	UNI11	Pos. 3	Geb. 36.2, Raum 1.20	WLAN, 2.6
12	UNI12	Pos. 3	Geb. 36.2, Raum 1.20	WLAN, 7
13	UNI13	Pos. 3	Geb. 36.2, Raum 1.20	GSM-4500
14	UNI14	Pos. 3	Geb. 36.2, Raum 1.20	GSM-5400
15	UNI15	Pos. 3	Geb. 36.2, Raum 1.20	UMTS
16	UNI16	Pos. 4	Geb. 36.2, Raum 1.08	WLAN, 2.7
17	UNI17	Pos. 4	Geb. 36.2, Raum 1.08	WLAN, 8
18	UNI18	Pos. 4	Geb. 36.2, Raum 1.08	GSM-6300
19	UNI19	Pos. 4	Geb. 36.2, Raum 1.08	GSM-7200
20	UNI20	Pos. 4	Geb. 36.2, Raum 1.08	UMTS
21	UNI21	Pos. 5	Geb. C3.1, Raum 1.01	WLAN, 2.8
22	UNI22	Pos. 5	Geb. C3.1, Raum 1.01	WLAN, 9
23	UNI23	Pos. 5	Geb. C3.1, Raum 1.01	GSM-8100
24	UNI24	Pos. 5	Geb. C3.1, Raum 1.01	GSM-9000
25	UNI25	Pos. 5	Geb. C3.1, Raum 1.01	UMTS
26	UNI26	Pos. 6	Geb. C3.1, Raum 1.03	WLAN, 2.9
27	UNI27	Pos. 6	Geb. C3.1, Raum 1.03	WLAN, 10
28	UNI28	Pos. 6	Geb. C3.1, Raum 1.03	GSM-9900
29	UNI29	Pos. 6	Geb. C3.1, Raum 1.03	GSM-10800
30	UNI30	Pos. 6	Geb. C3.1, Raum 1.03	UMTS
31	UNI31	Pos. 7	Campus C3.1 - C4.4	WLAN, 2.10
32	UNI32	Pos. 7	Campus C3.1 - C4.4	WLAN, 11
33	UNI33	Pos. 7	Campus C3.1 - C4.4	GSM-11700
34	UNI34	Pos. 7	Campus C3.1 - C4.4	GSM-12600
35	UNI35	Pos. 7	Campus C3.1 - C4.4	UMTS
36	UNI36	Pos. 8	C2.2, Raum 0.32	WLAN, 2.11
37	UNI37	Pos. 8	C2.2, Raum 0.32	WLAN, 12
38	UNI38	Pos. 8	C2.2, Raum 0.32	GSM-13500
39	UNI39	Pos. 8	C2.2, Raum 0.32	GSM-14400
40	UNI40	Pos. 8	C2.2, Raum 0.32	UMTS

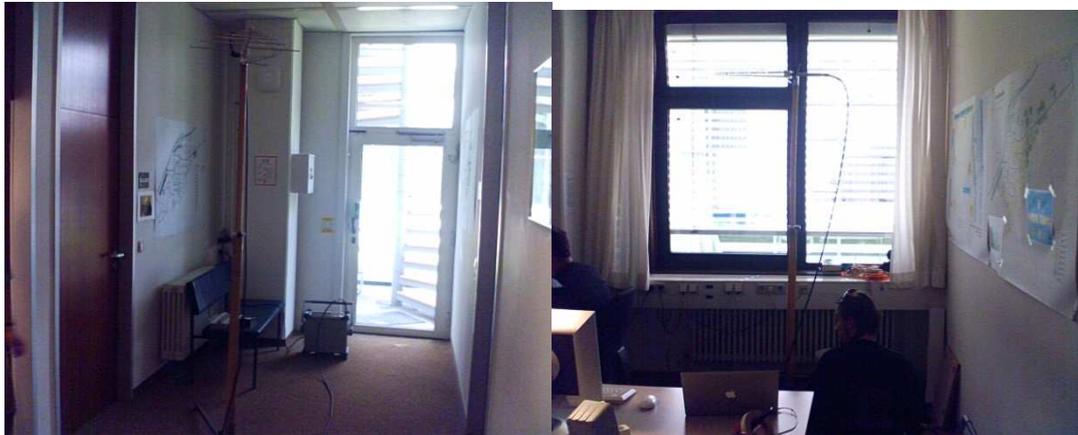
**Tabelle 7      Tabellarische Auflistung der Messstandorte 1-8**

*Prof. Dr. W. Langguth*

<b>Messung</b>	<b>Bez.</b>	<b>Position</b>	<b>Ort</b>	<b>Messbereich</b>
41	UNI41	Pos. 9	C2.2, Raum 0.34	WLAN, 2.12
42	UNI42	Pos. 9	C2.2, Raum 0.34	WLAN, 13
43	UNI43	Pos. 9	C2.2, Raum 0.34	GSM-15300
44	UNI44	Pos. 9	C2.2, Raum 0.34	GSM-16200
45	UNI45	Pos. 9	C2.2, Raum 0.34	UMTS
46	UNI46	Pos. 10	C2.2, Raum 0.29	WLAN, 2.13
47	UNI47	Pos. 10	C2.2, Raum 0.29	WLAN, 14
48	UNI48	Pos. 10	C2.2, Raum 0.29	GSM-17100
49	UNI49	Pos. 10	C2.2, Raum 0.29	GSM-18000
50	UNI50	Pos. 10	C2.2, Raum 0.29	UMTS
51	UNI51	Pos. 11	C2.2, Aufenthaltsraum	WLAN, 2.14
52	UNI52	Pos. 11	C2.2, Aufenthaltsraum	WLAN, 15
53	UNI53	Pos. 11	C2.2, Aufenthaltsraum	GSM-18900
54	UNI54	Pos. 11	C2.2, Aufenthaltsraum	GSM-19800
55	UNI55	Pos. 11	C2.2, Aufenthaltsraum	UMTS

**Tabelle 8      Tabellarische Auflistung der Messstandorte 9-11**

**Bilddokumentation der Messstandorte**



**Abbildung 4 Pos. 1 und 2 (v.l.n.r)**



**Abbildung 5 Pos. 3 und 4 (v.l.n.r)**



**Abbildung 6 Pos. 5 und 6 (v.l.n.r)**



**Abbildung 7 Pos. 7 und 8 (v.l.n.r)**



**Abbildung 8 Pos. 9 und 10**

## 4.9 Messdiagramme

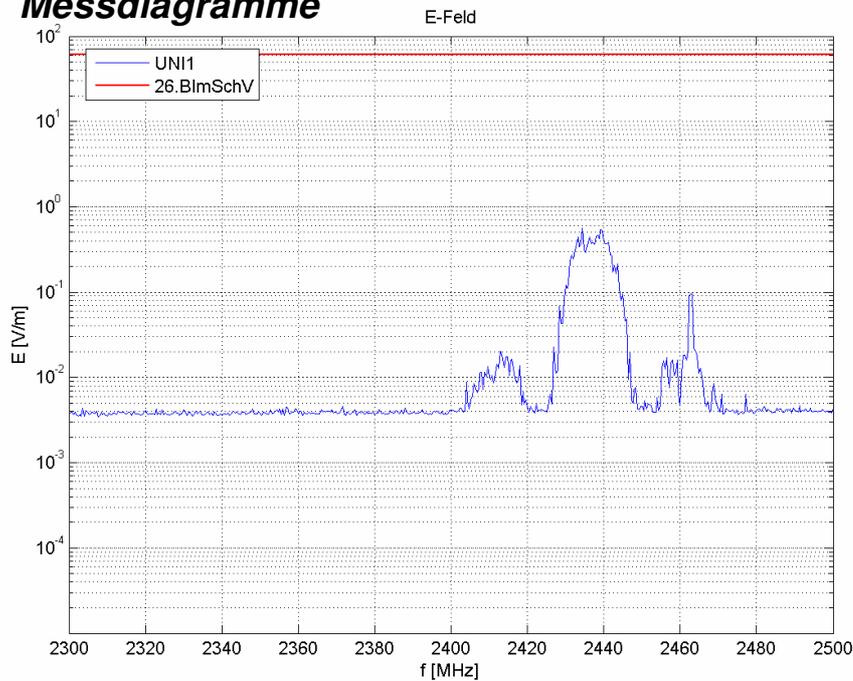


Abbildung 9 UNI1, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

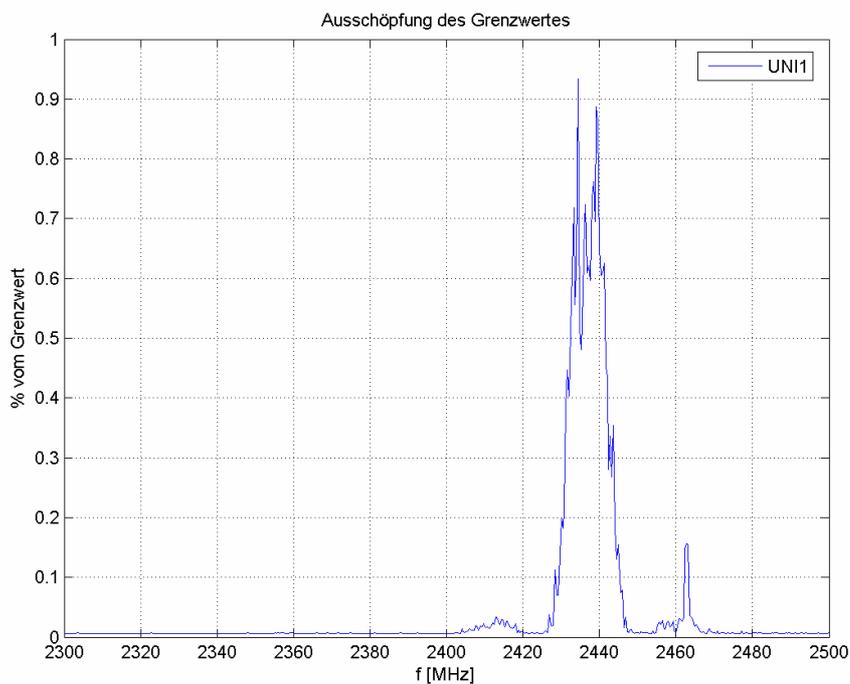


Abbildung 10 UNI1, Ausschöpfung der Grenzwerte in Prozent

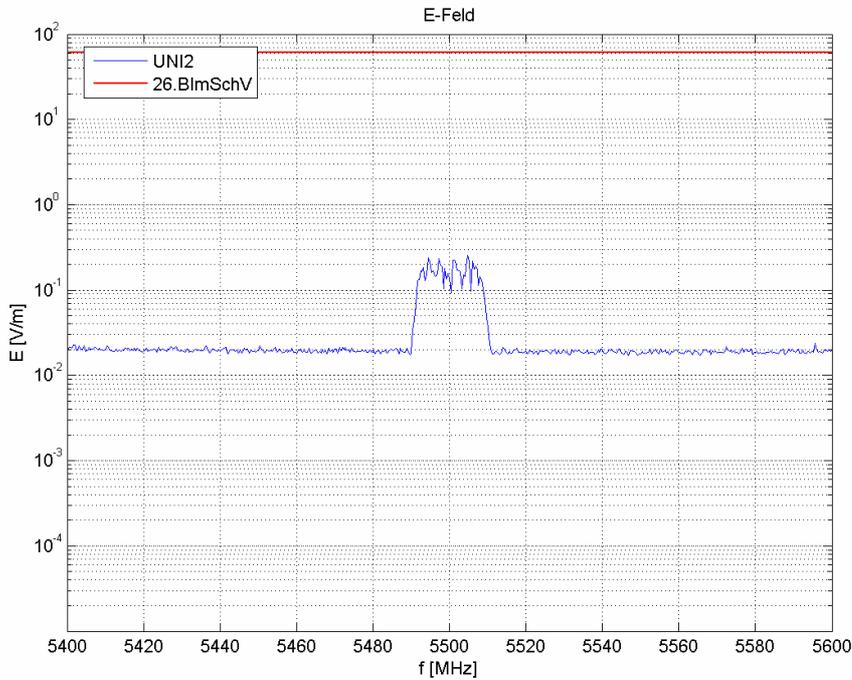


Abbildung 11 UNI2, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

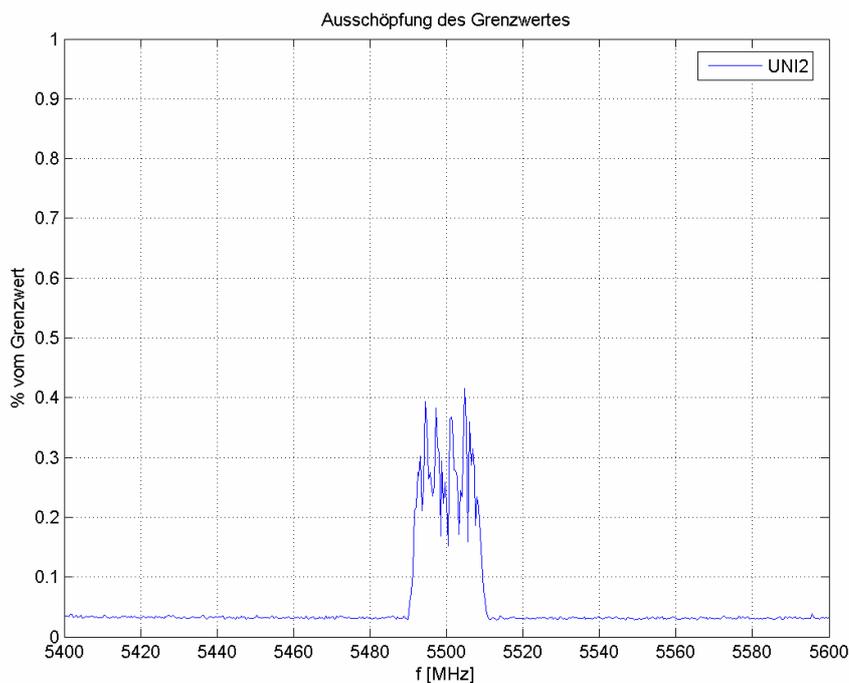


Abbildung 12 UNI2, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

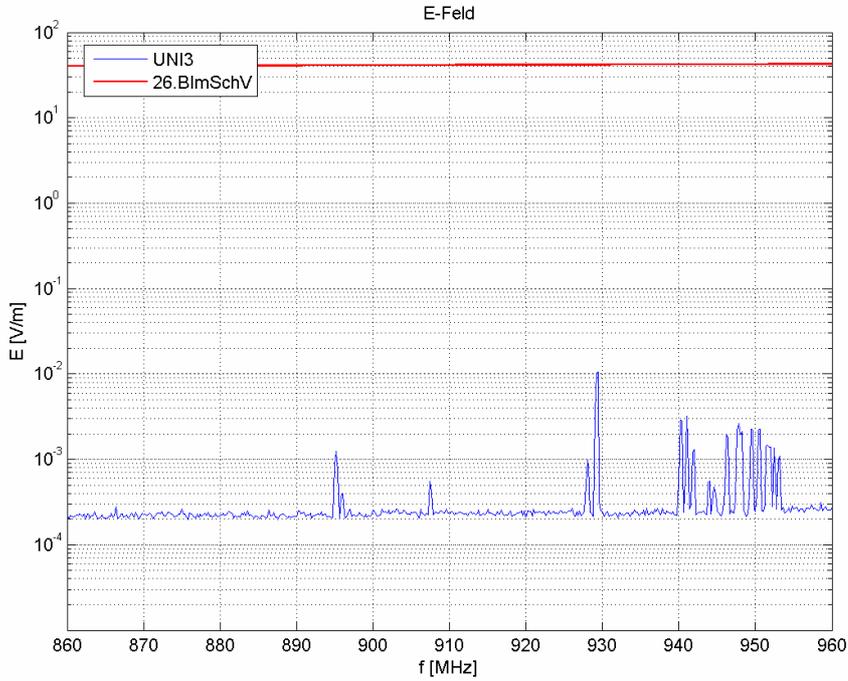


Abbildung 13 UNI3, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

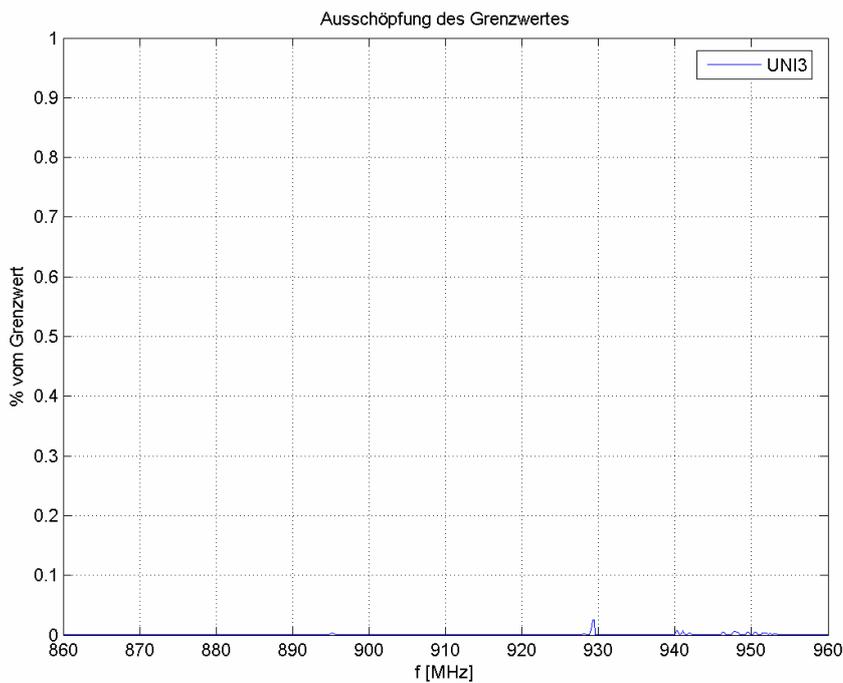


Abbildung 14 UNI3, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

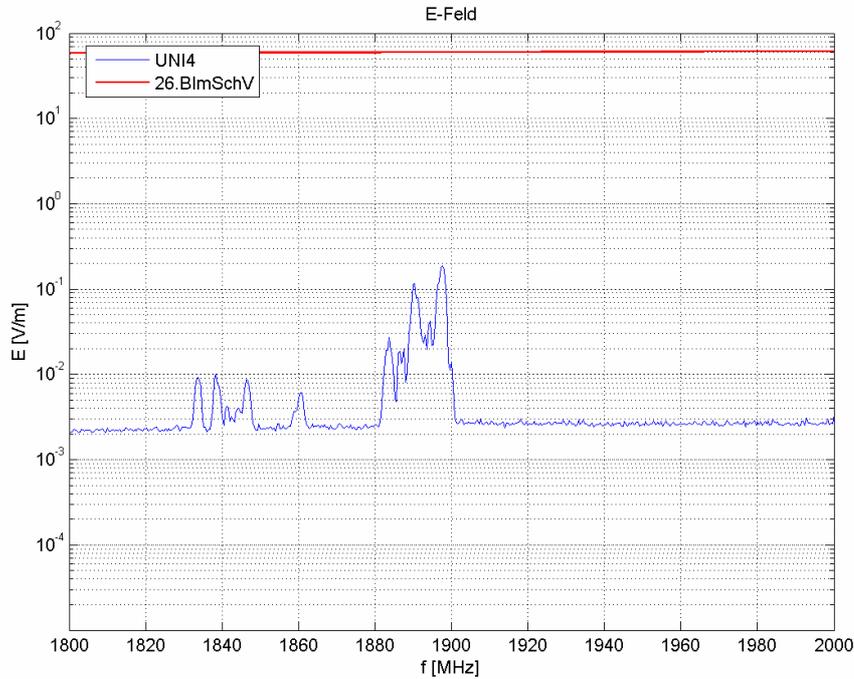


Abbildung 15 UNI4, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

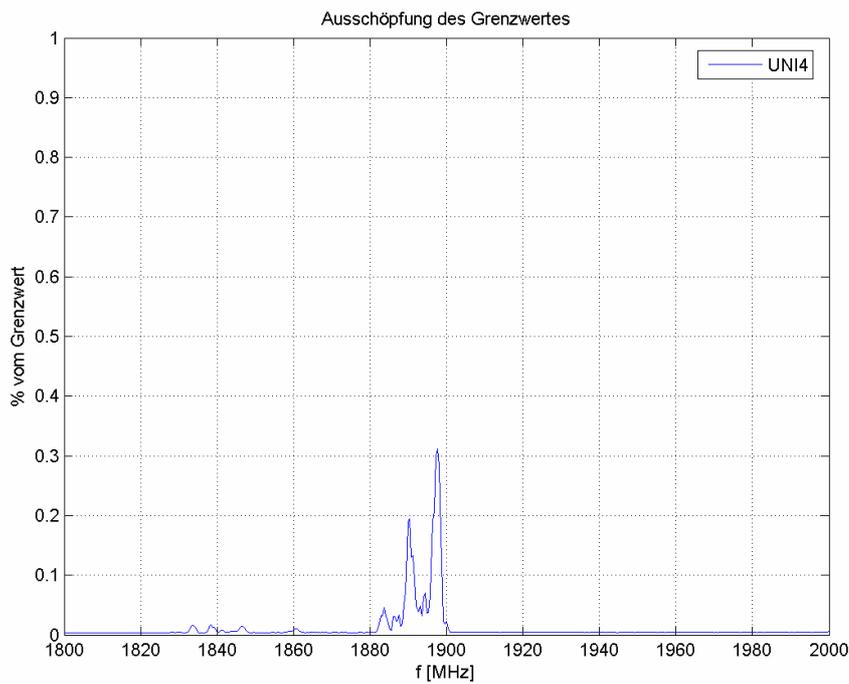


Abbildung 16 UNI4, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

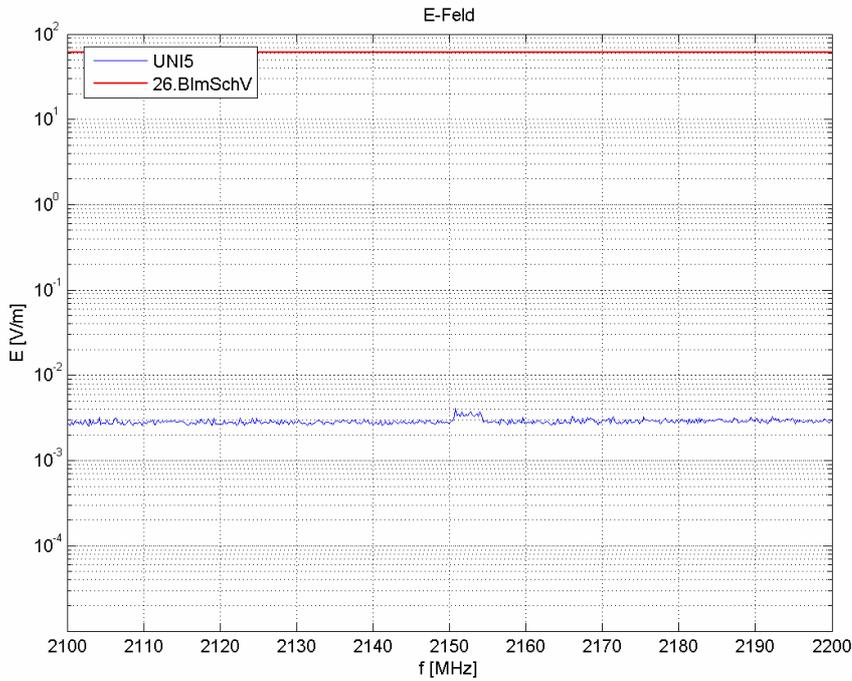


Abbildung 17 UNI5, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

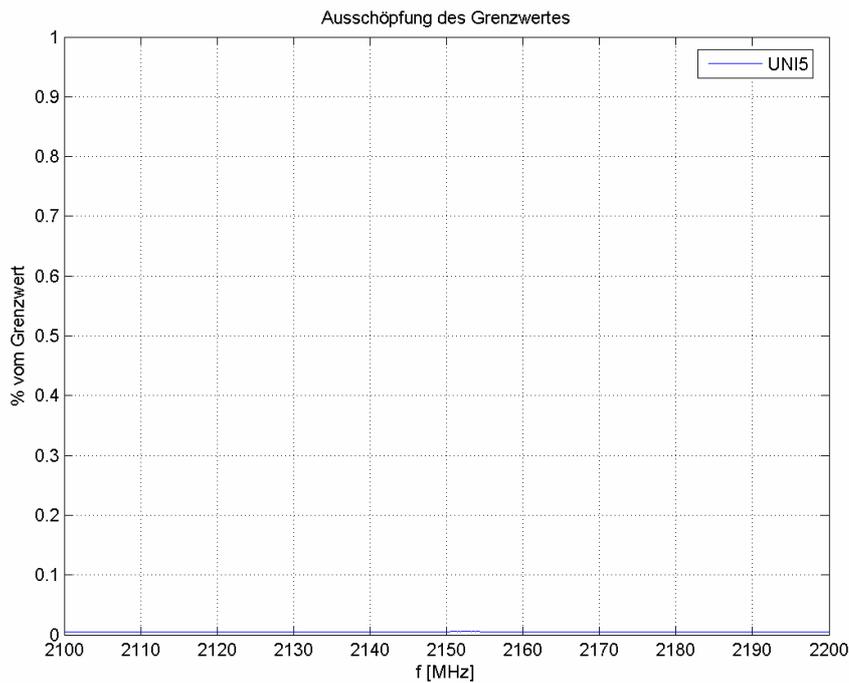


Abbildung 18 UNI5, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

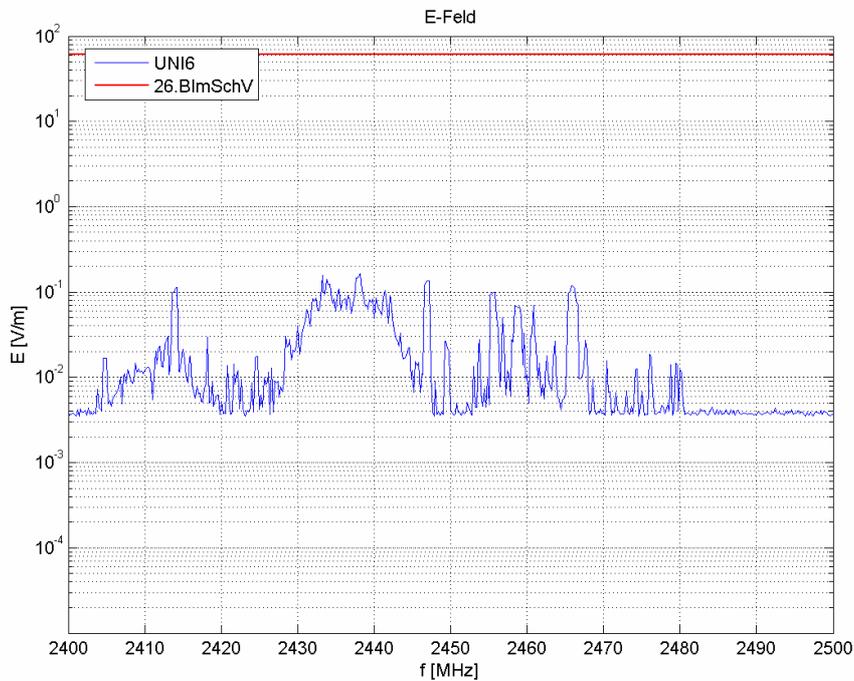


Abbildung 19 UNI6, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

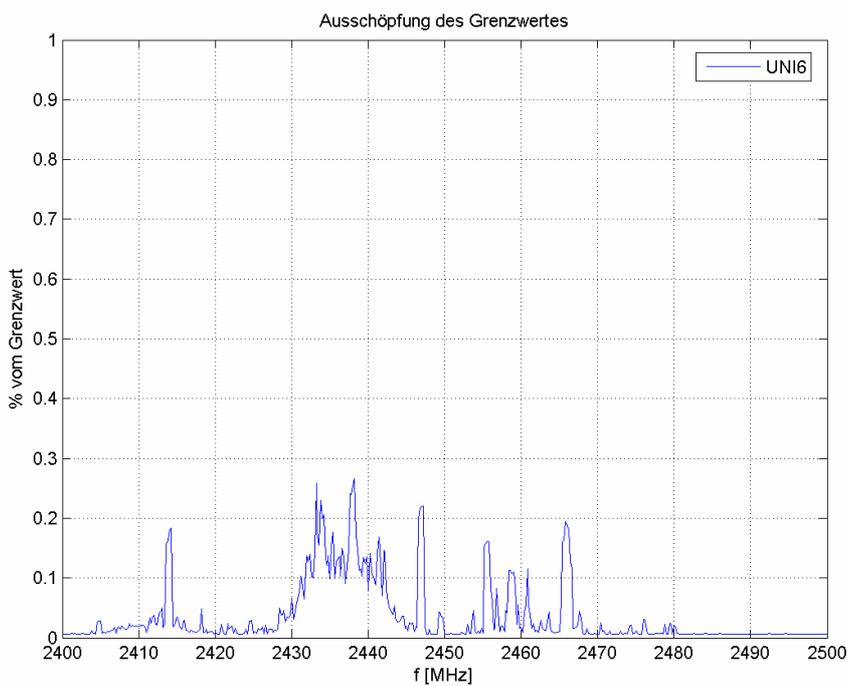


Abbildung 20 UNI6, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

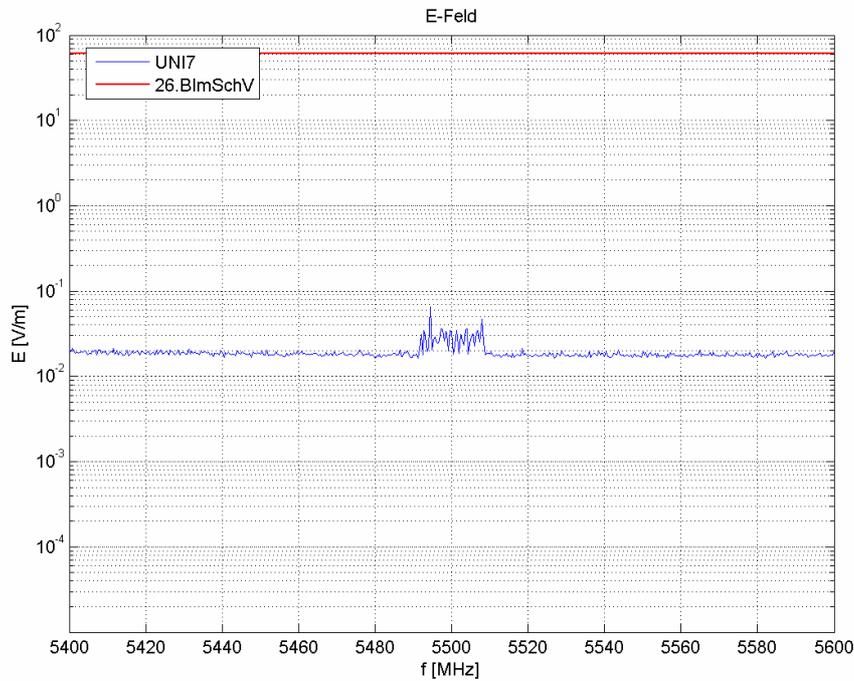


Abbildung 21 UNI7, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

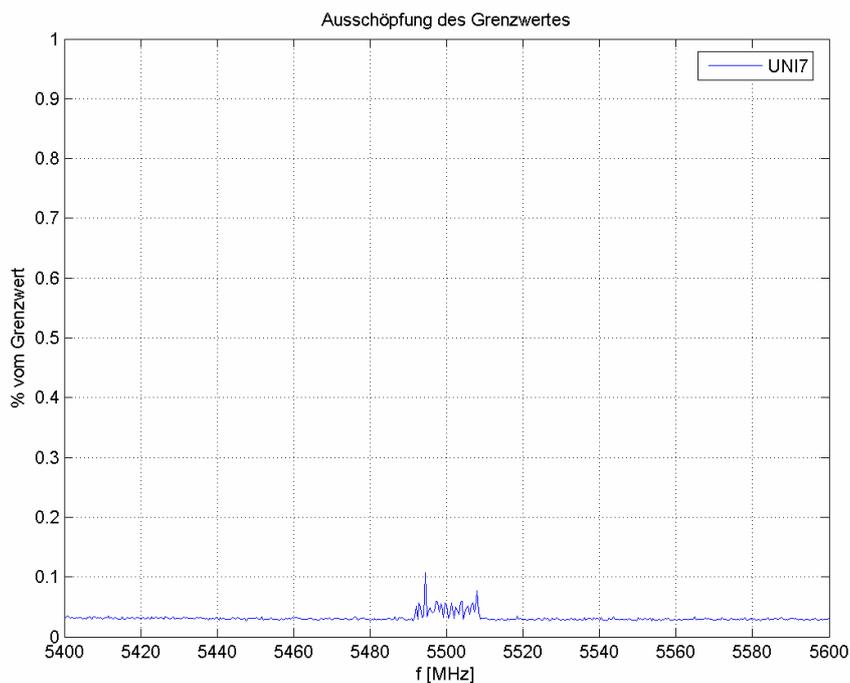


Abbildung 22 UNI7, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

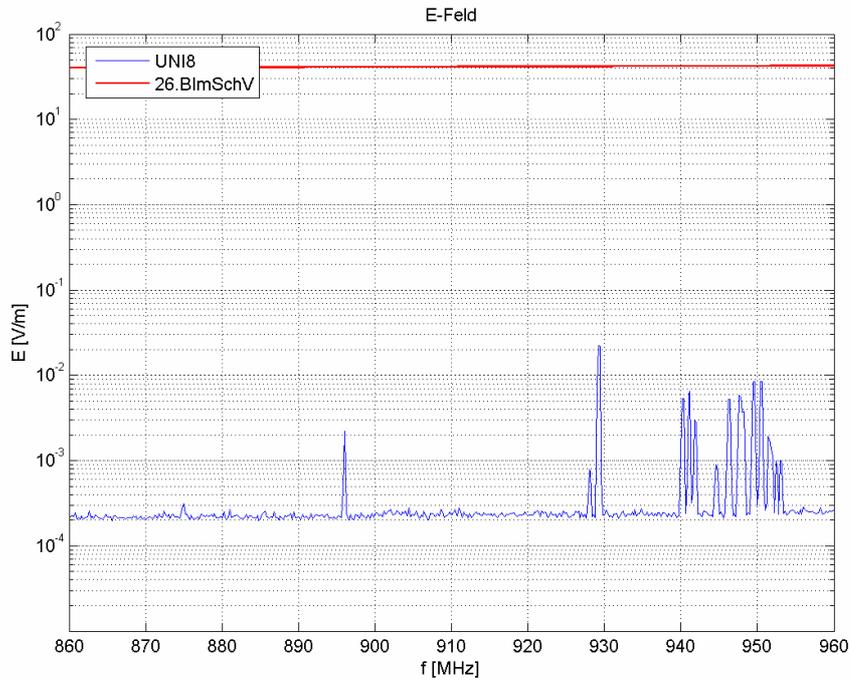


Abbildung 23 UNI8, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

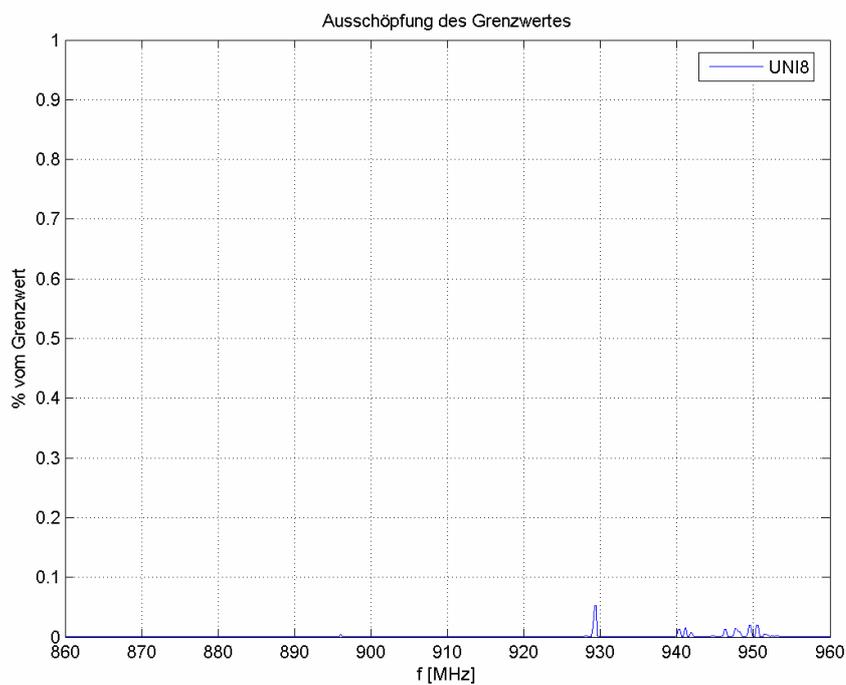


Abbildung 24 UNI8, Ausschöpfung der Grenzwerte in Prozent

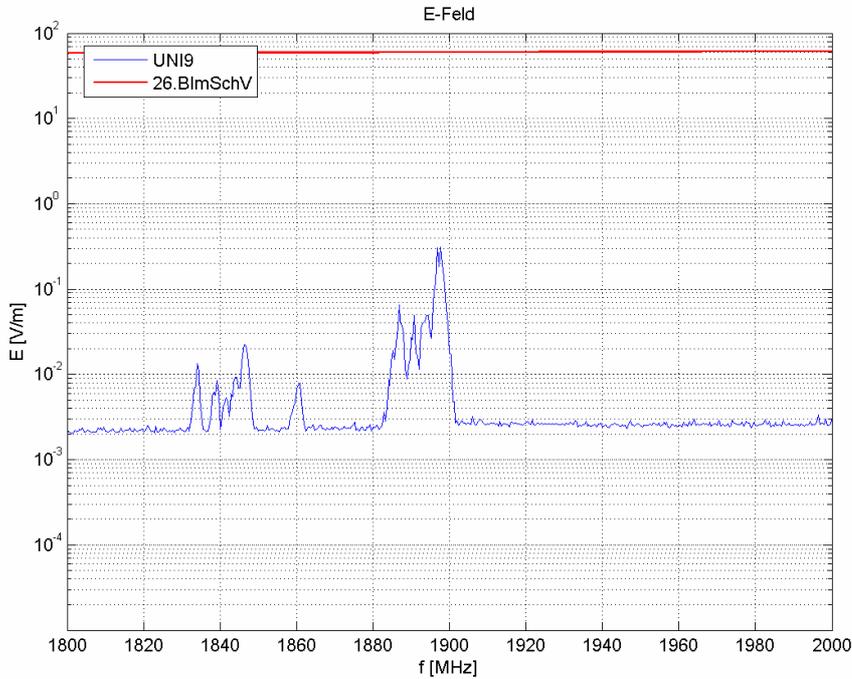


Abbildung 25 UNI9, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

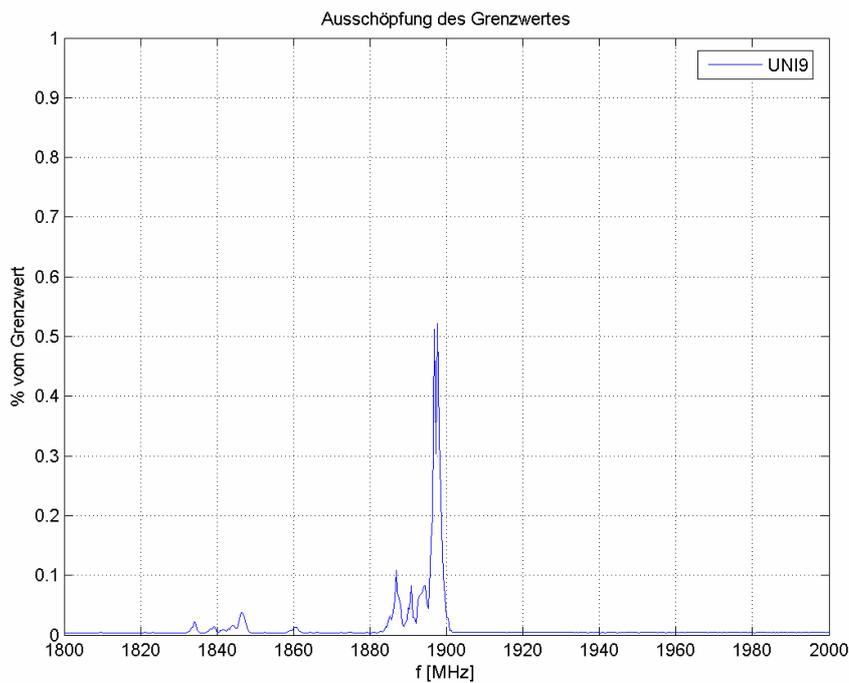


Abbildung 26 UNI9, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

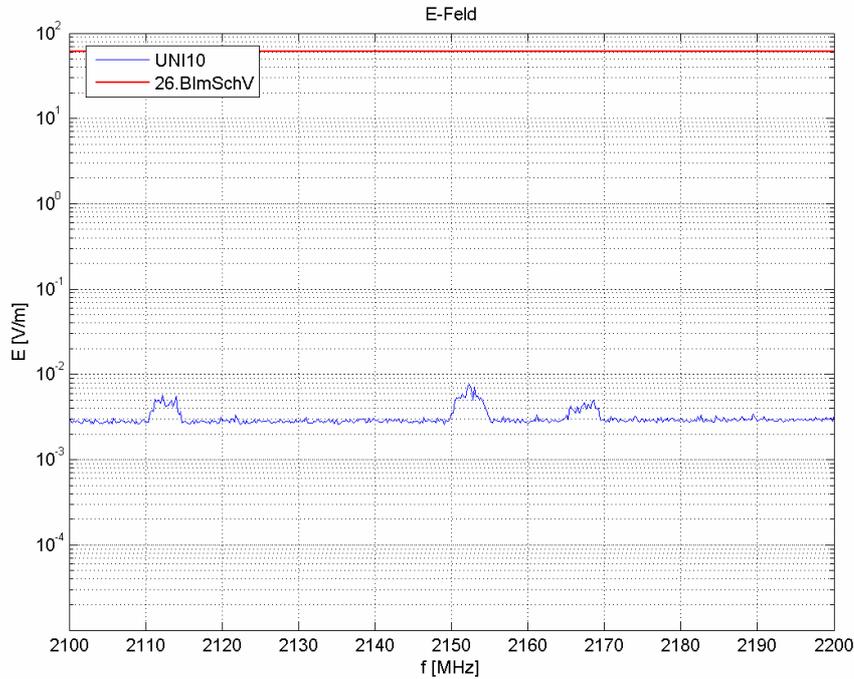


Abbildung 27 UNI10, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

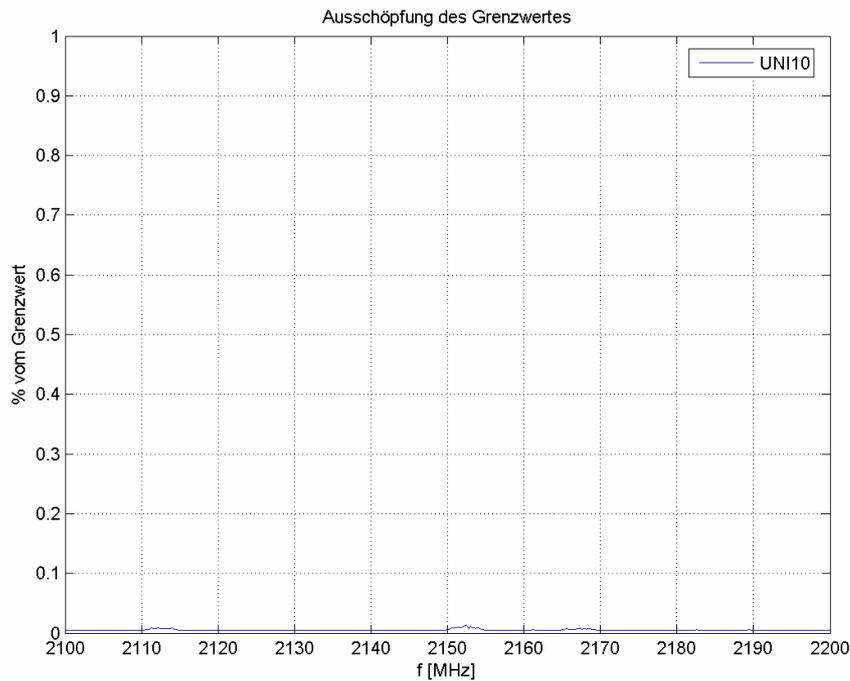


Abbildung 28 UNI10, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

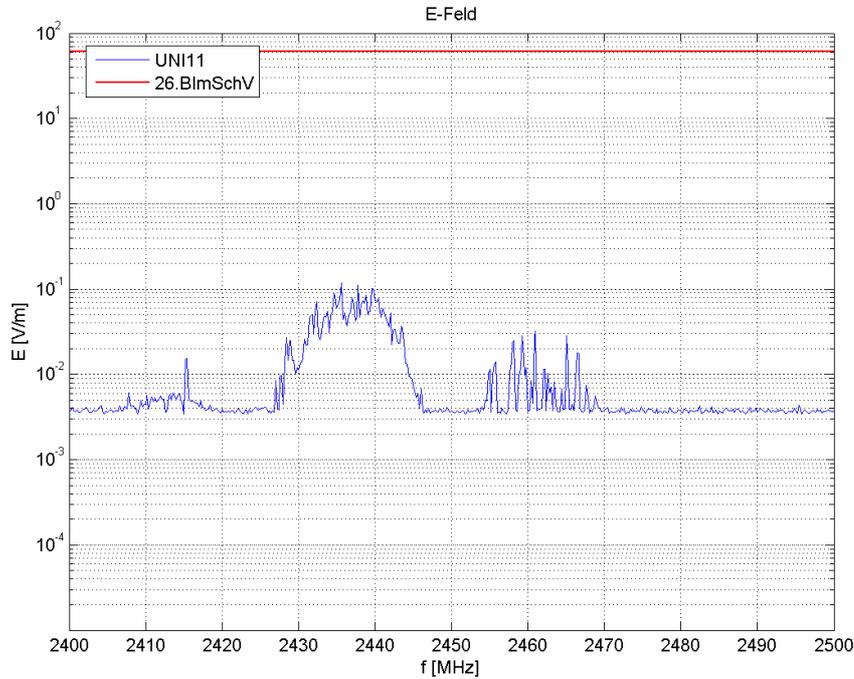


Abbildung 29 UNI11, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

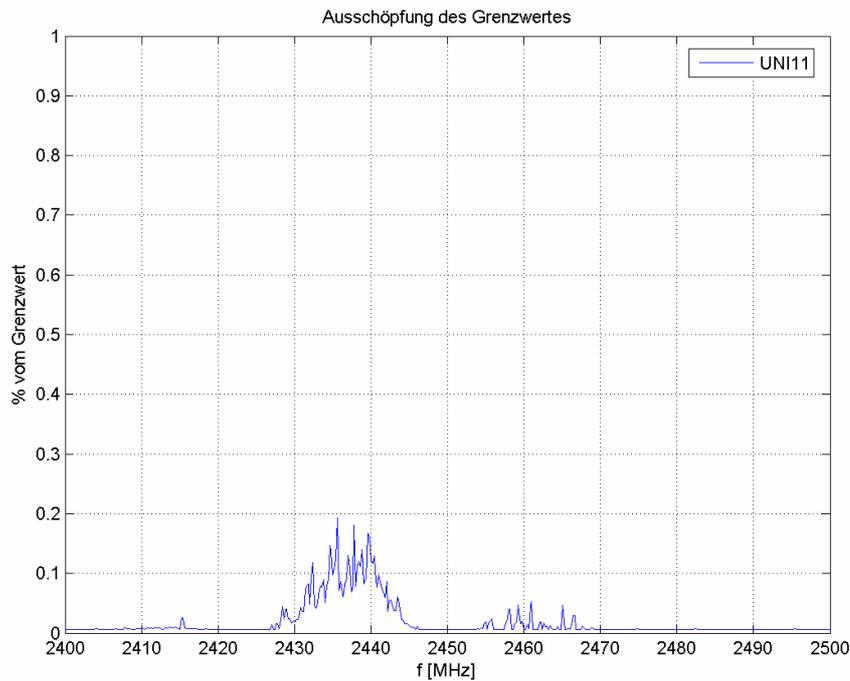


Abbildung 30 UNI11, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

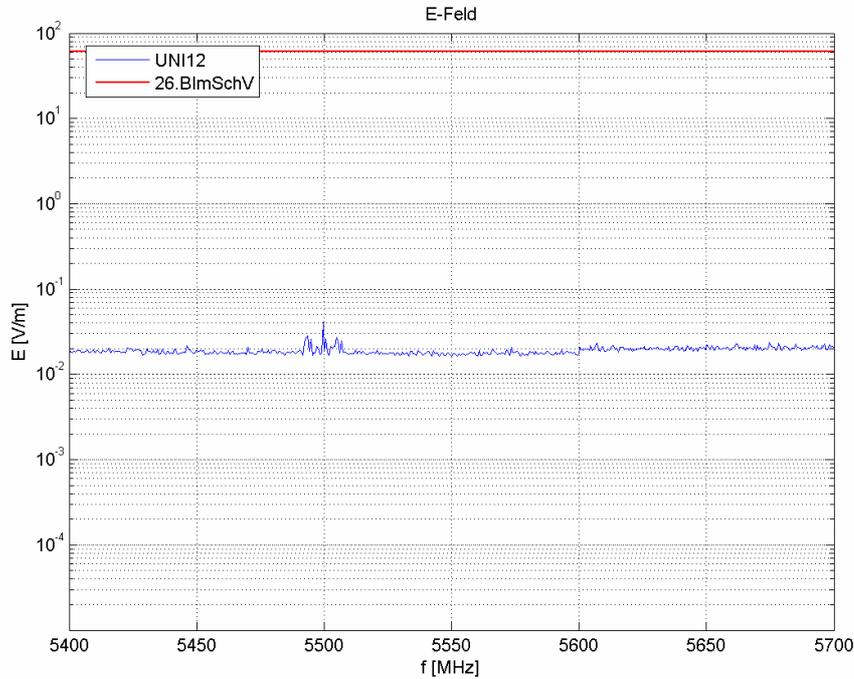


Abbildung 31 UNI12, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

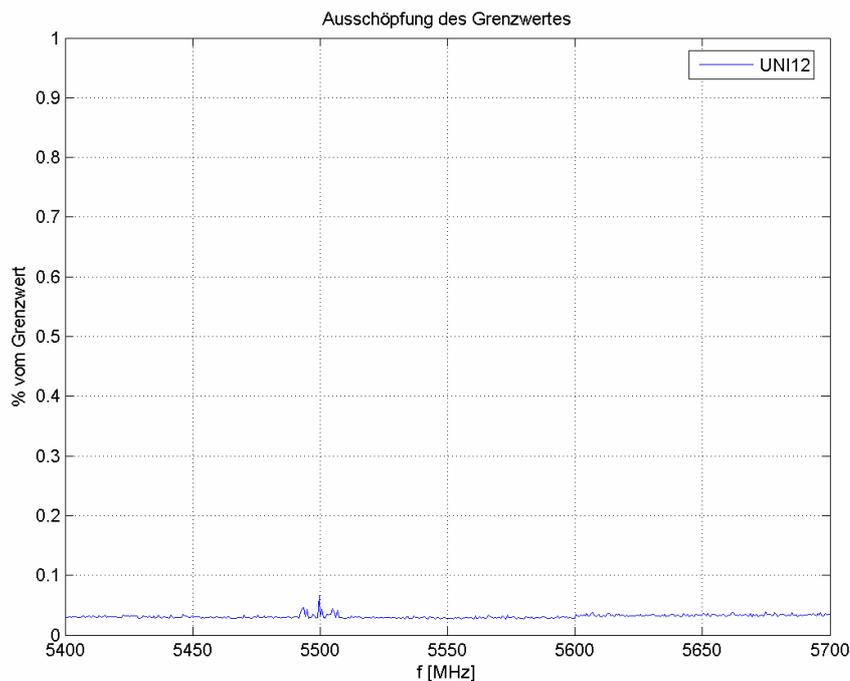


Abbildung 32 UNI12, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

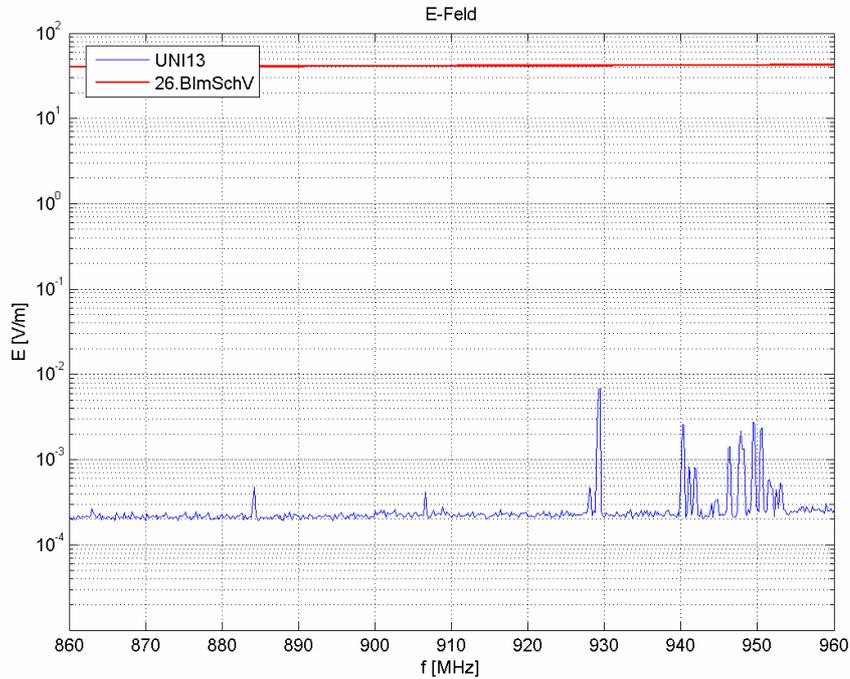


Abbildung 33 UNI13, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

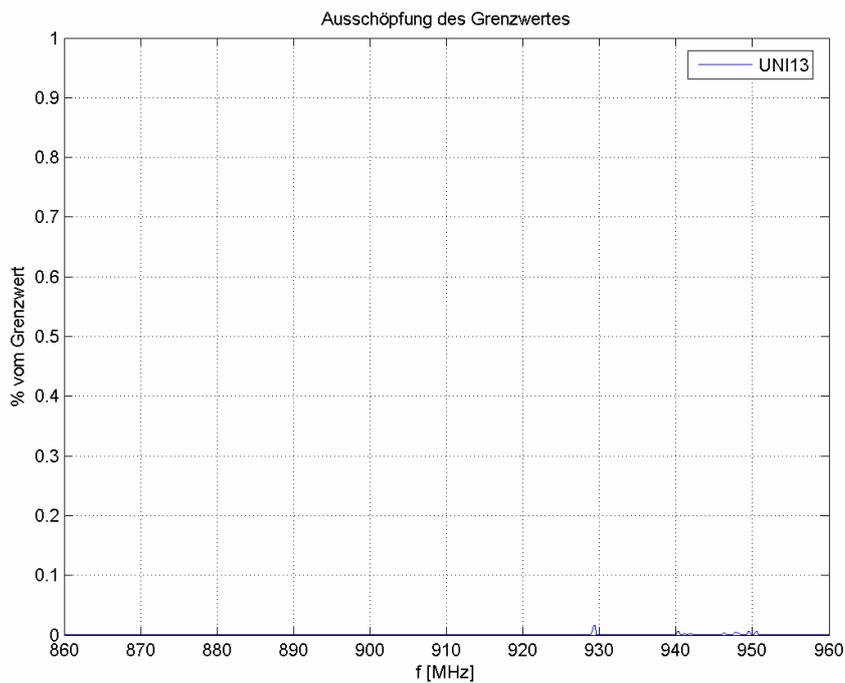


Abbildung 34 UNI13, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

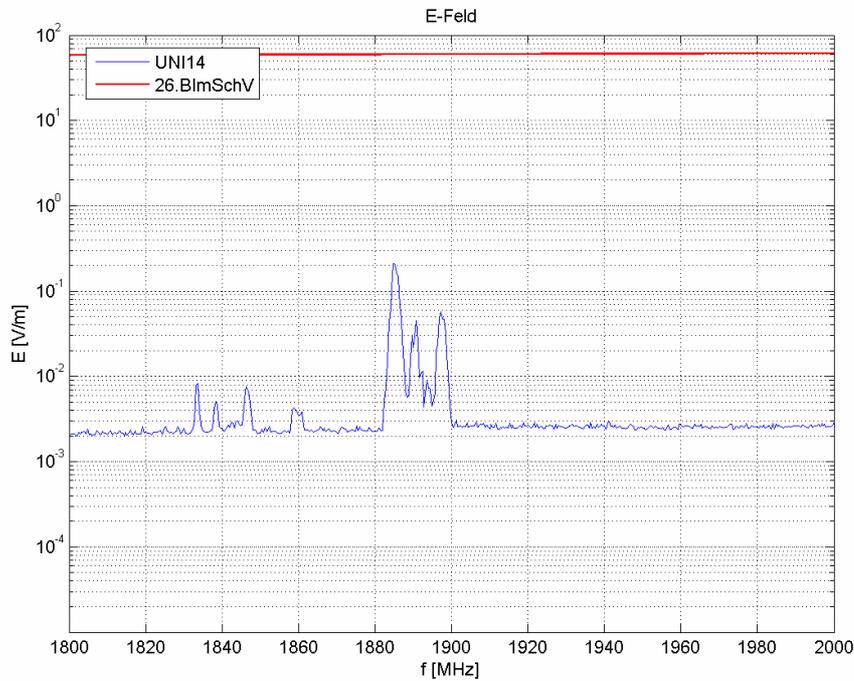


Abbildung 35 UNI14, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

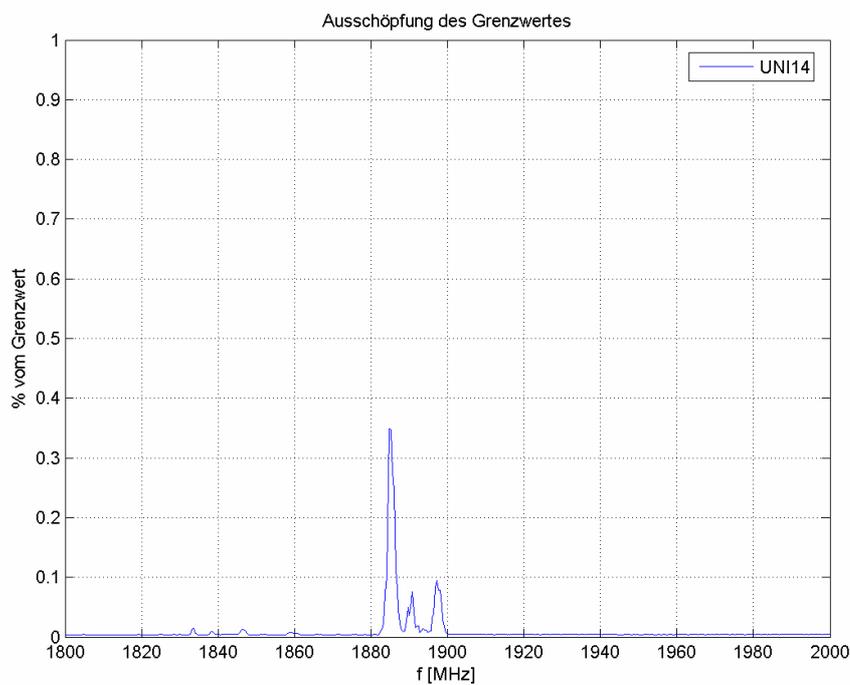


Abbildung 36 UNI14, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

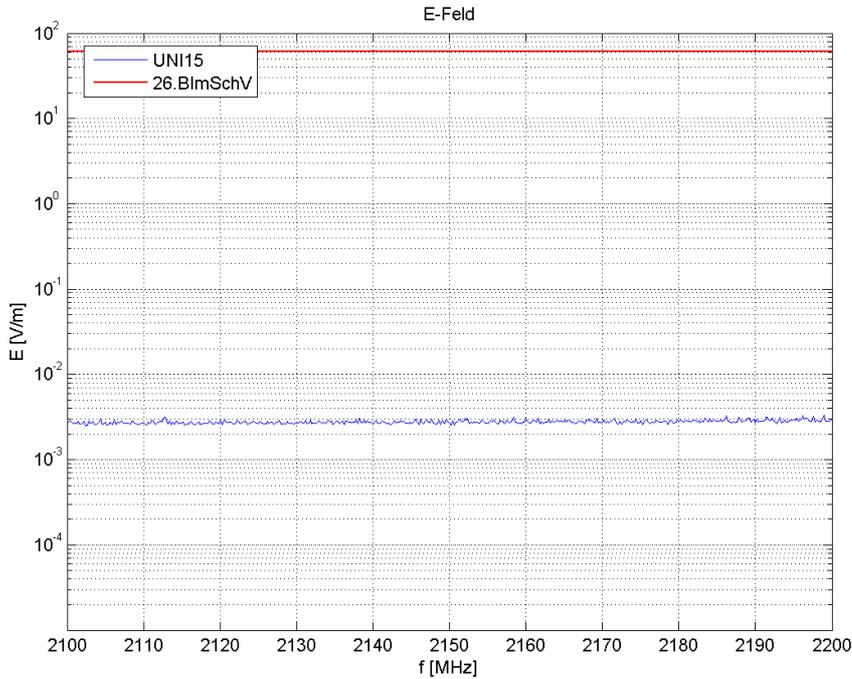


Abbildung 37 UNI15, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

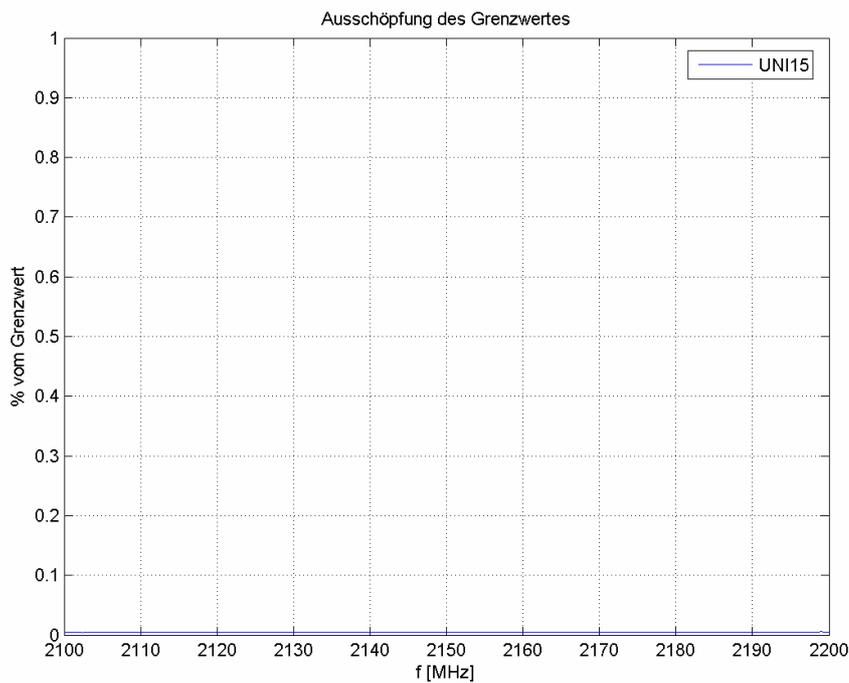


Abbildung 38 UNI15, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

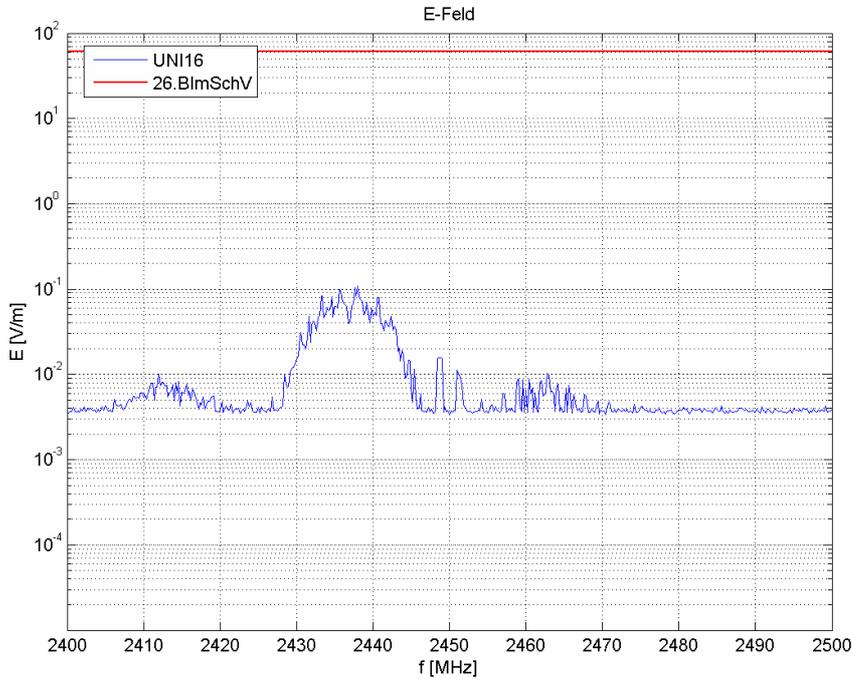


Abbildung 39 UNI16, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

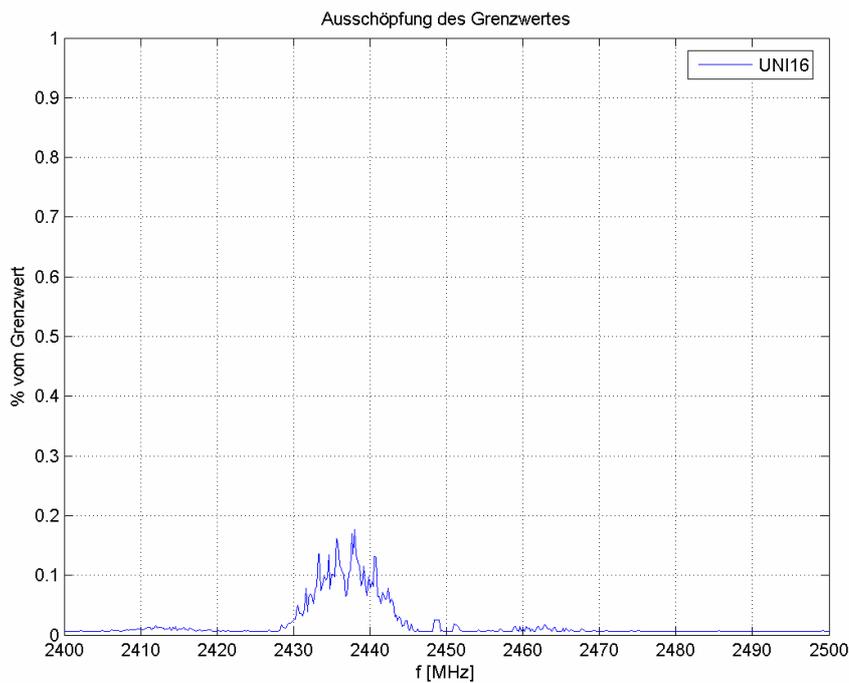


Abbildung 40 UNI16, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

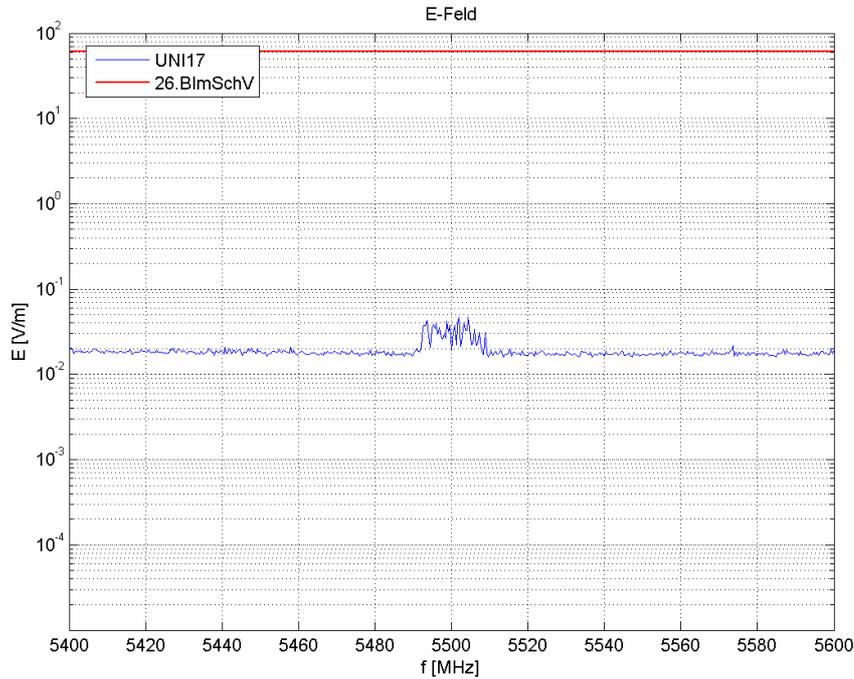


Abbildung 41 UNI17, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

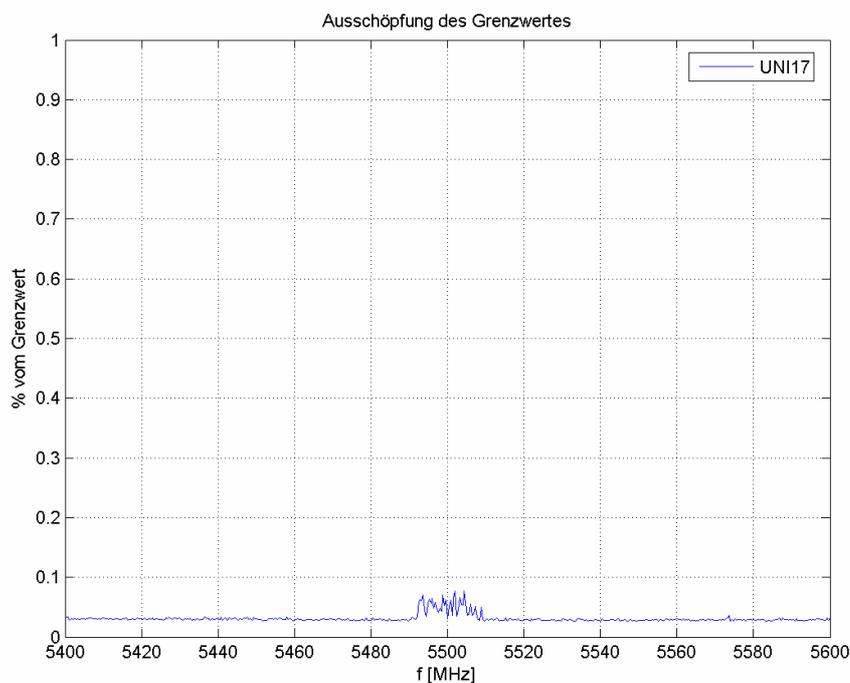


Abbildung 42 UNI17, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

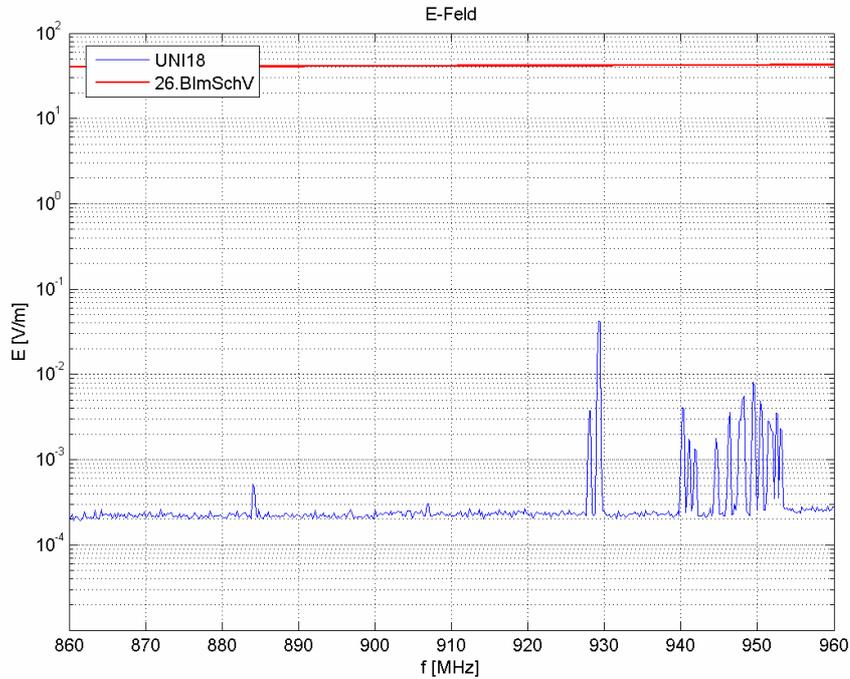


Abbildung 43 UNI18, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

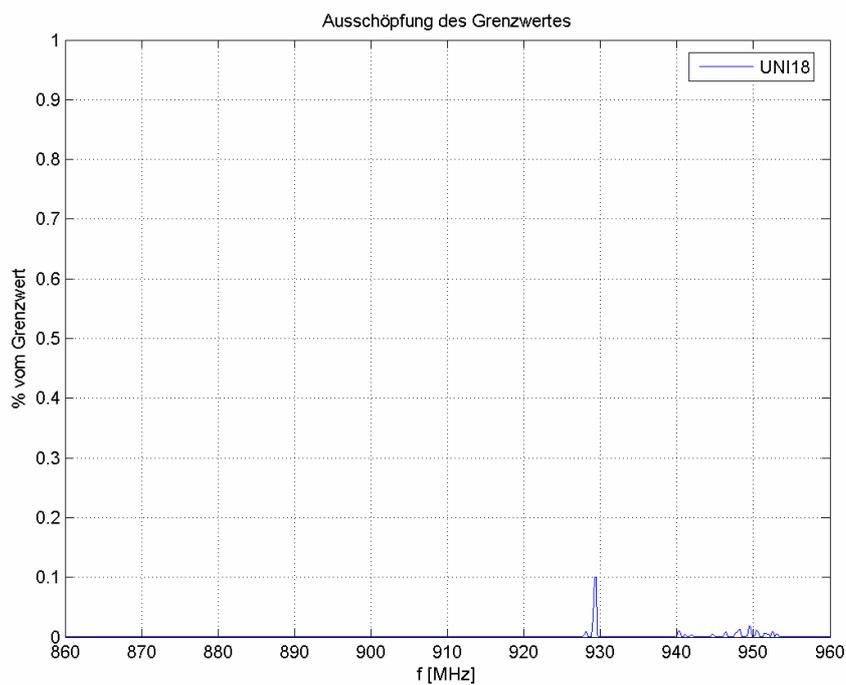


Abbildung 44 UNI18, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

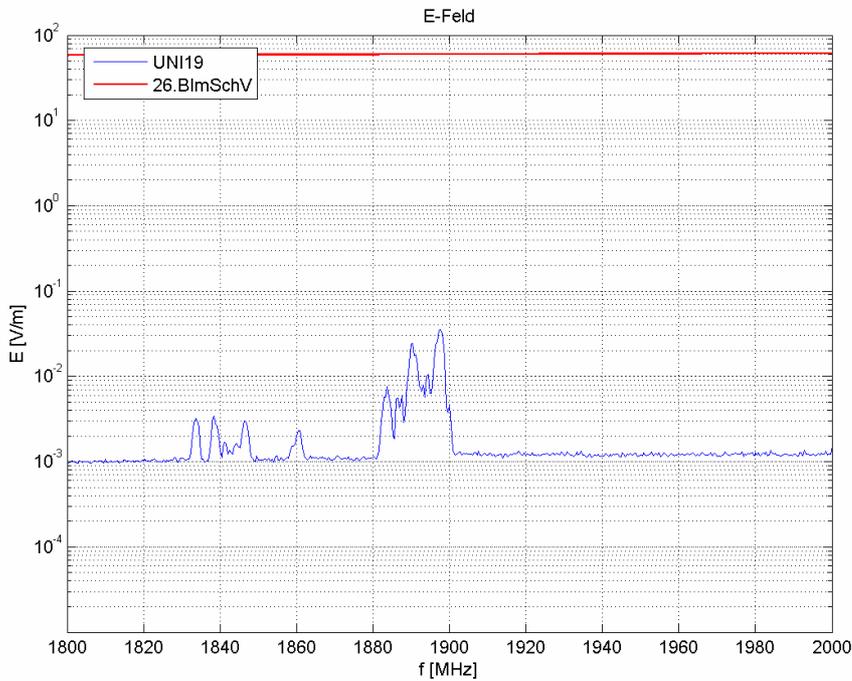


Abbildung 45 UNI19, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

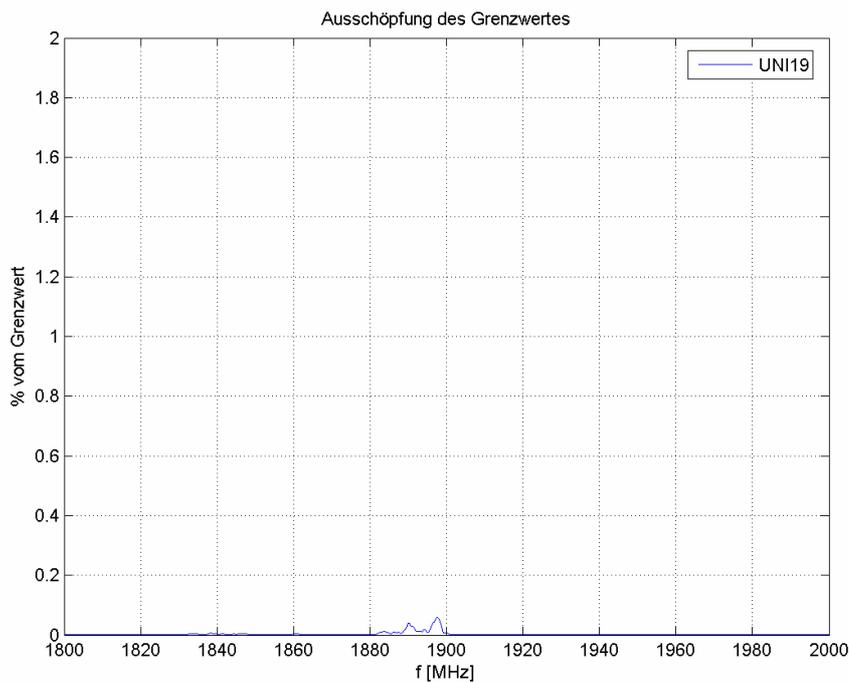


Abbildung 46 UNI19, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

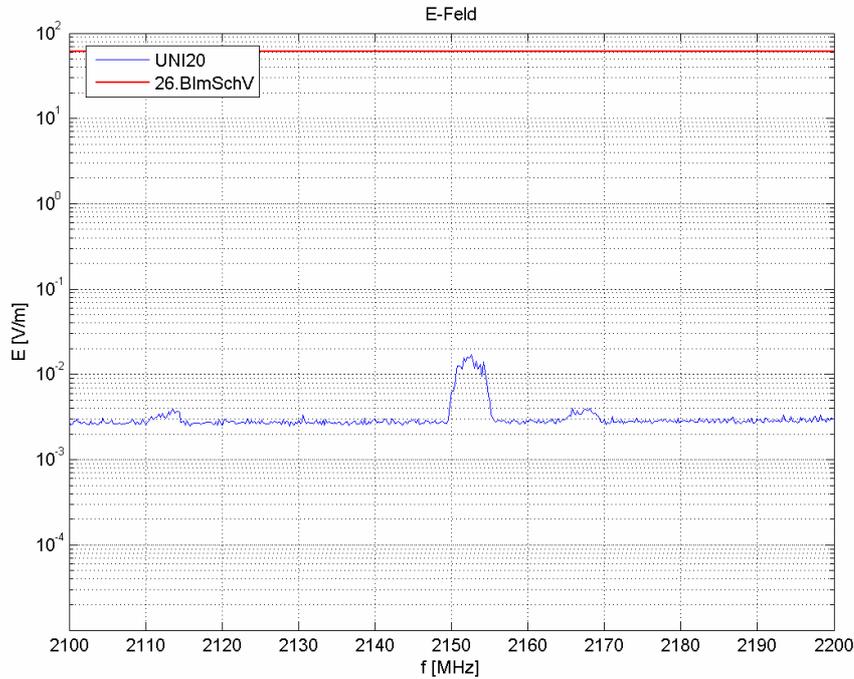


Abbildung 47 UNI20, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

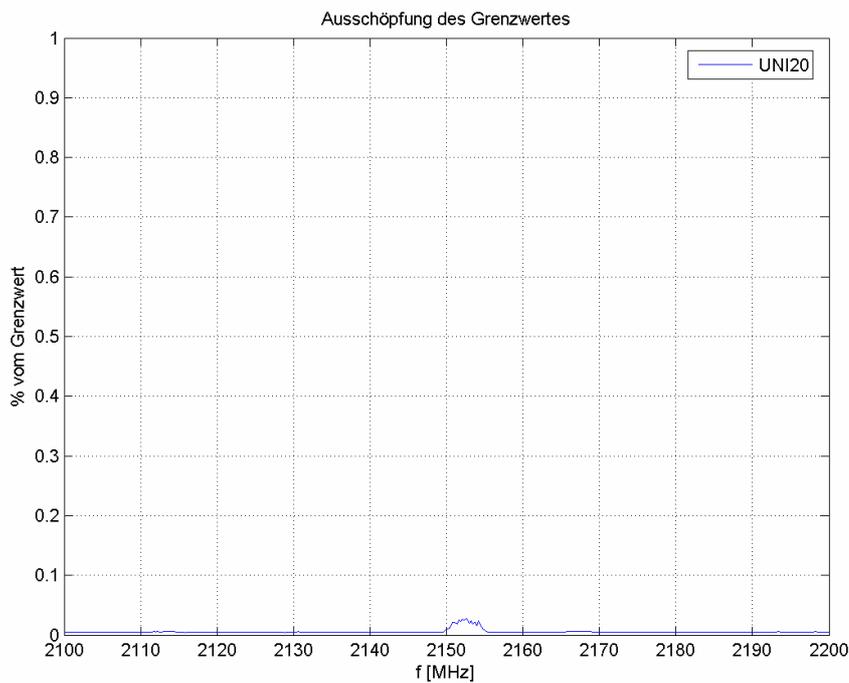


Abbildung 48 UNI20, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

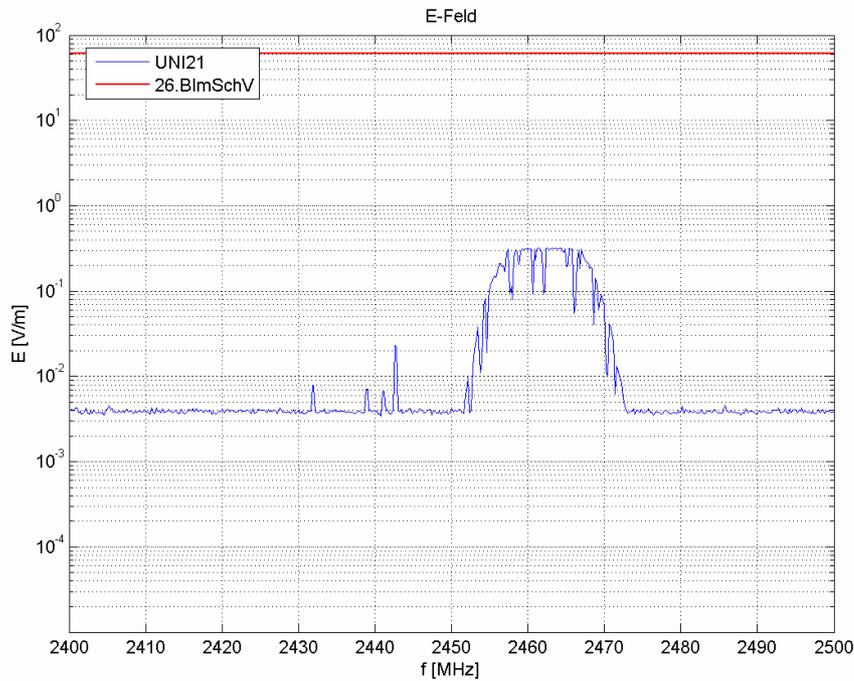


Abbildung 49 UNI21, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

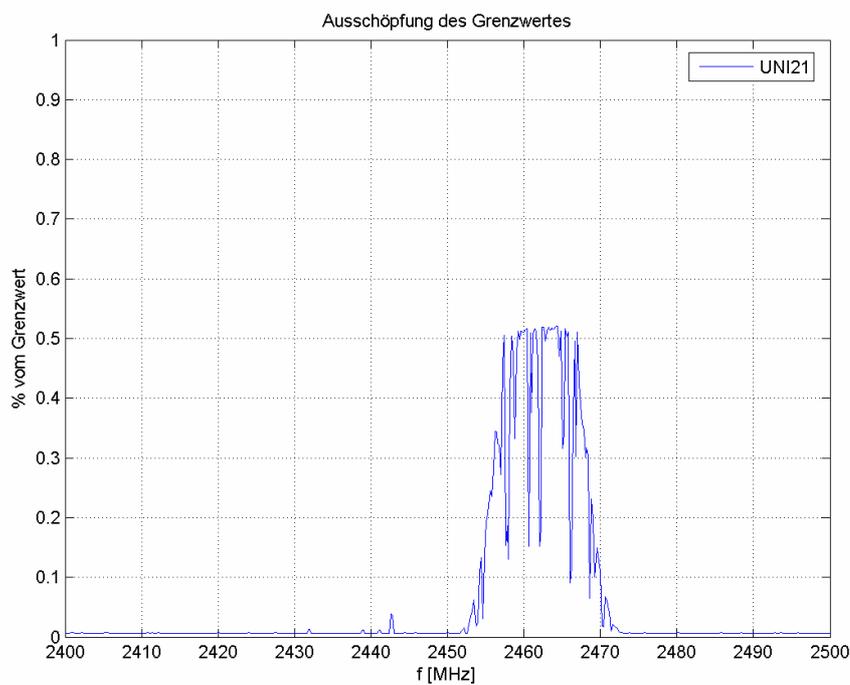


Abbildung 50 UNI21, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

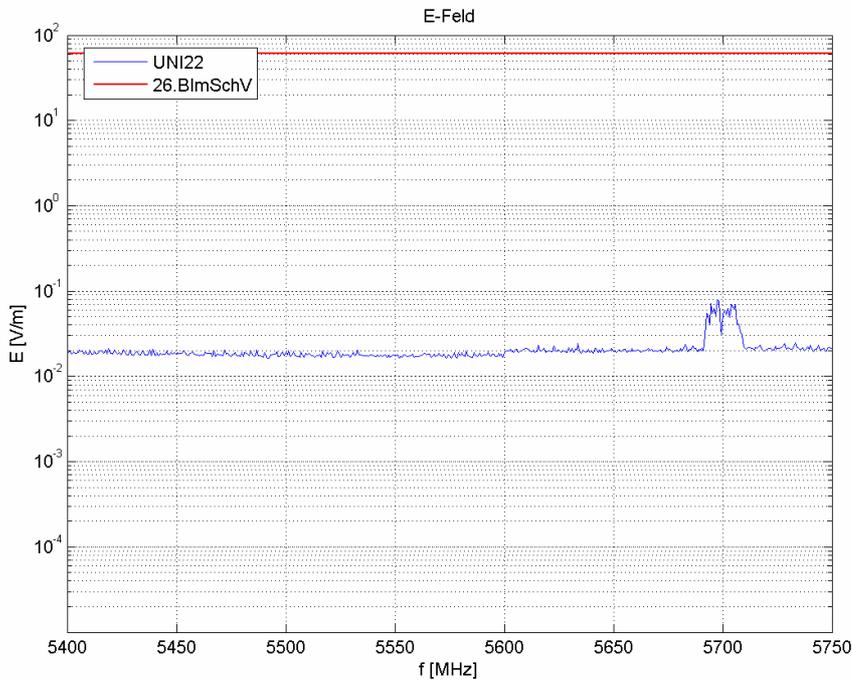


Abbildung 51 UNI22, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

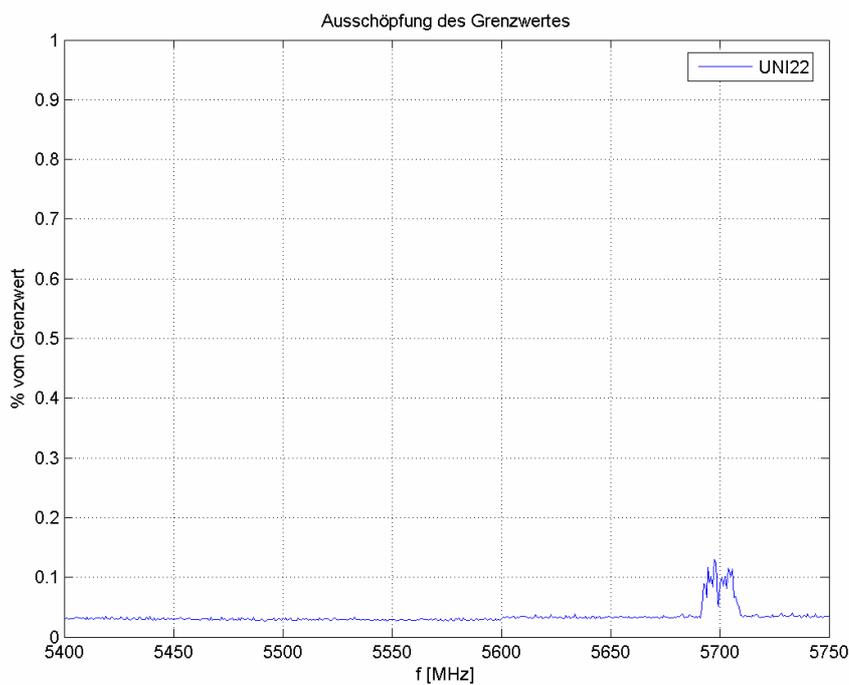


Abbildung 52 UNI22, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

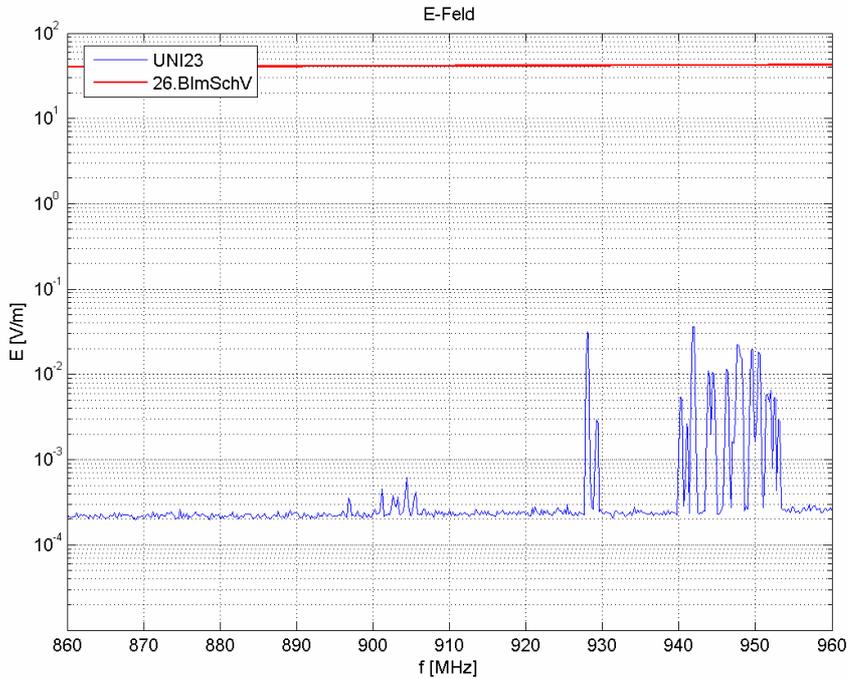


Abbildung 53 UNI23, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

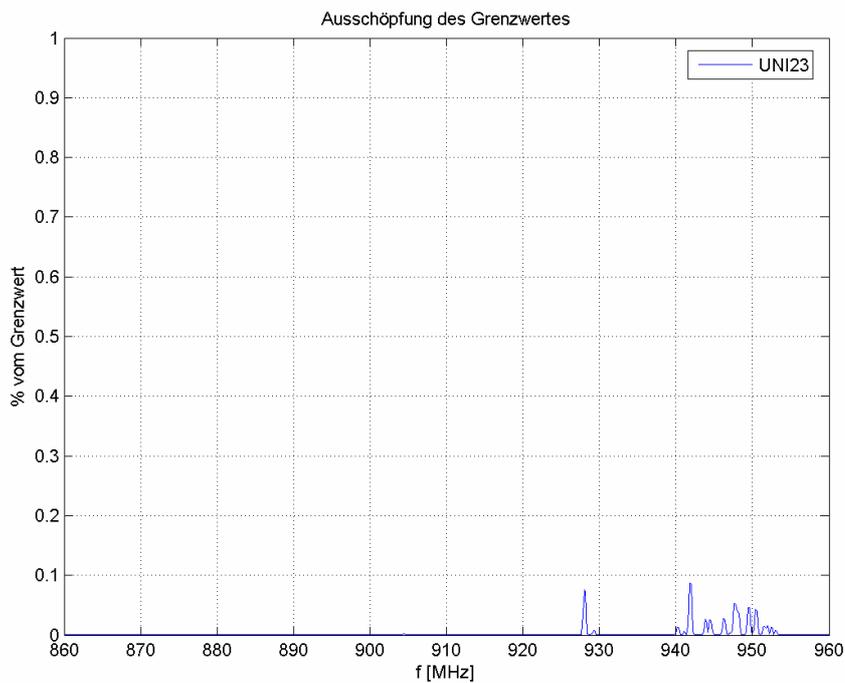


Abbildung 54 UNI23, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

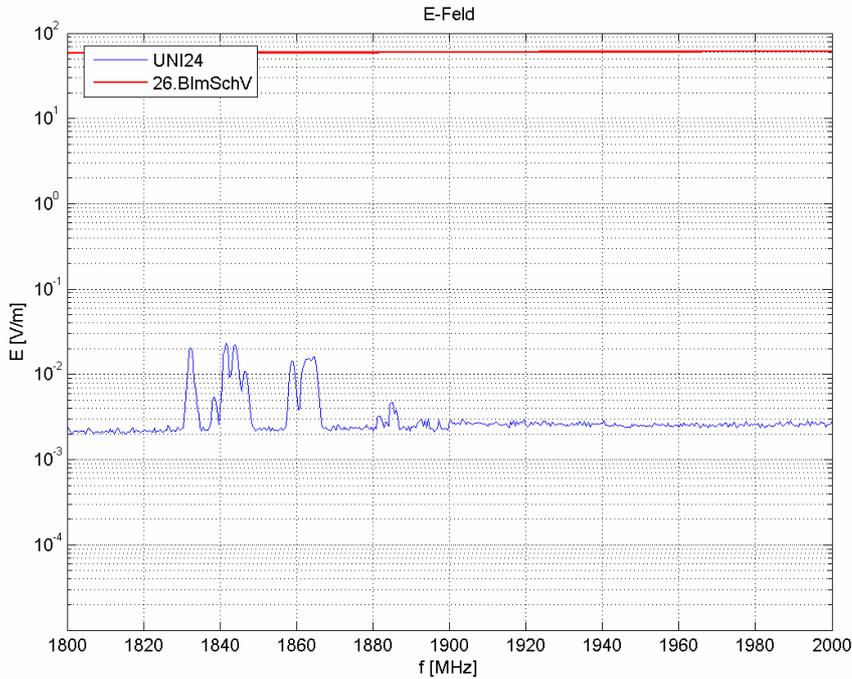


Abbildung 55 UNI24, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

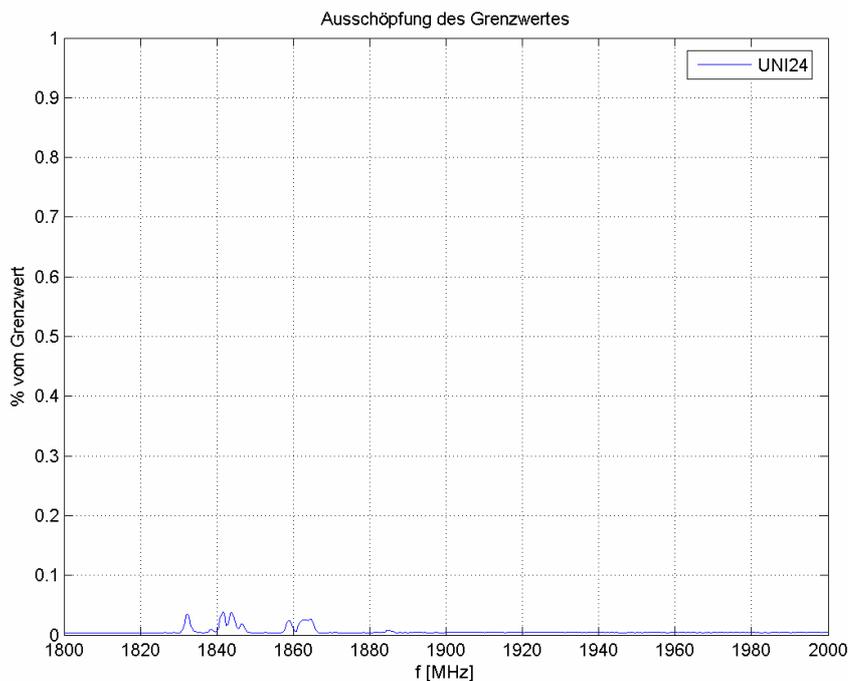


Abbildung 56 UNI24, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

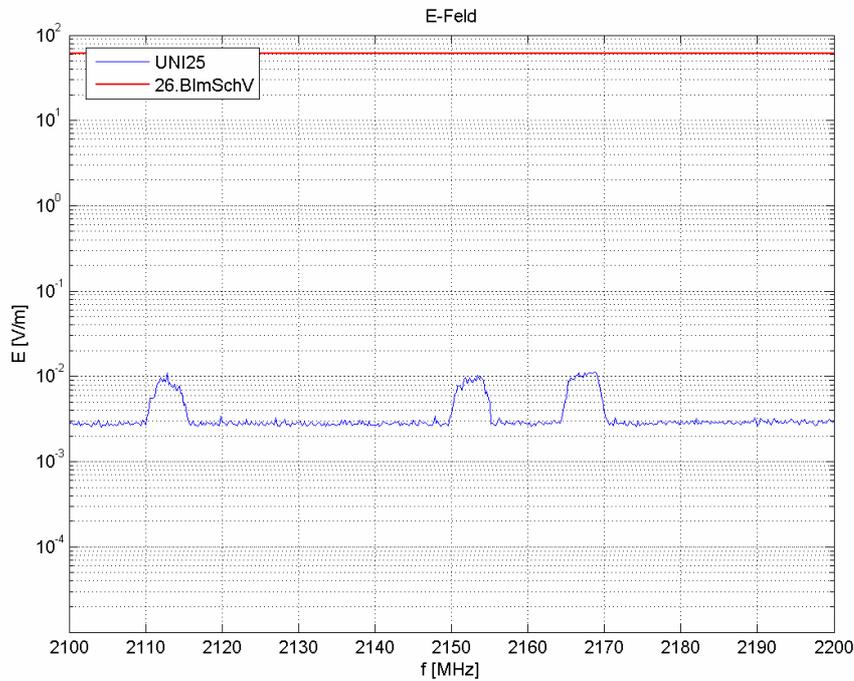


Abbildung 57 UNI25, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

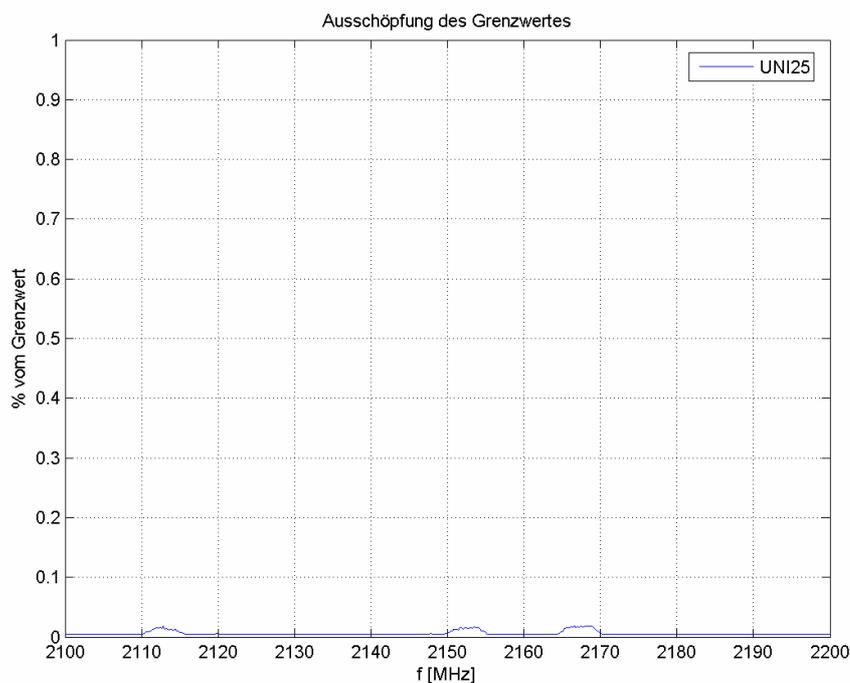


Abbildung 58 UNI25, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

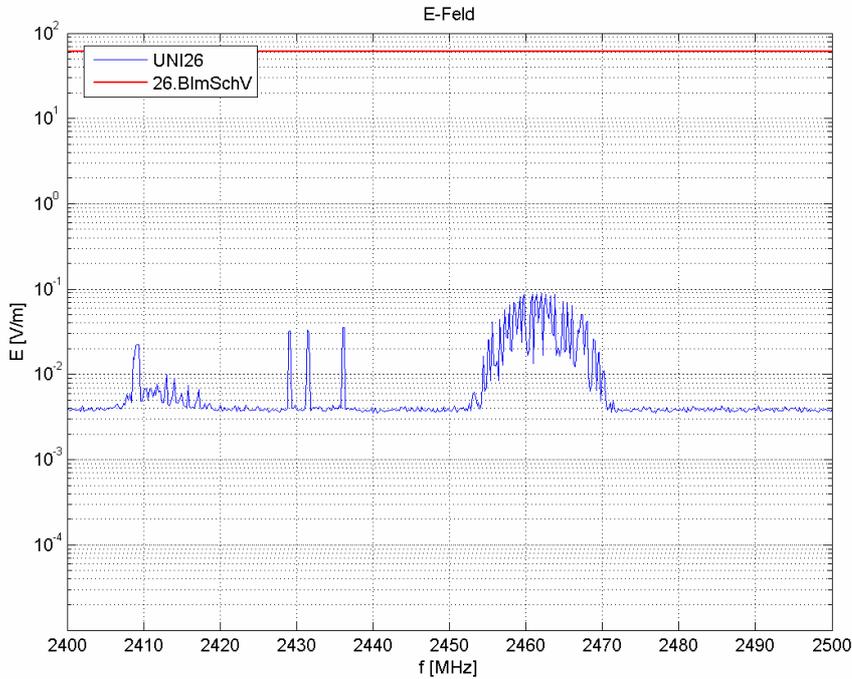


Abbildung 59 UNI26, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

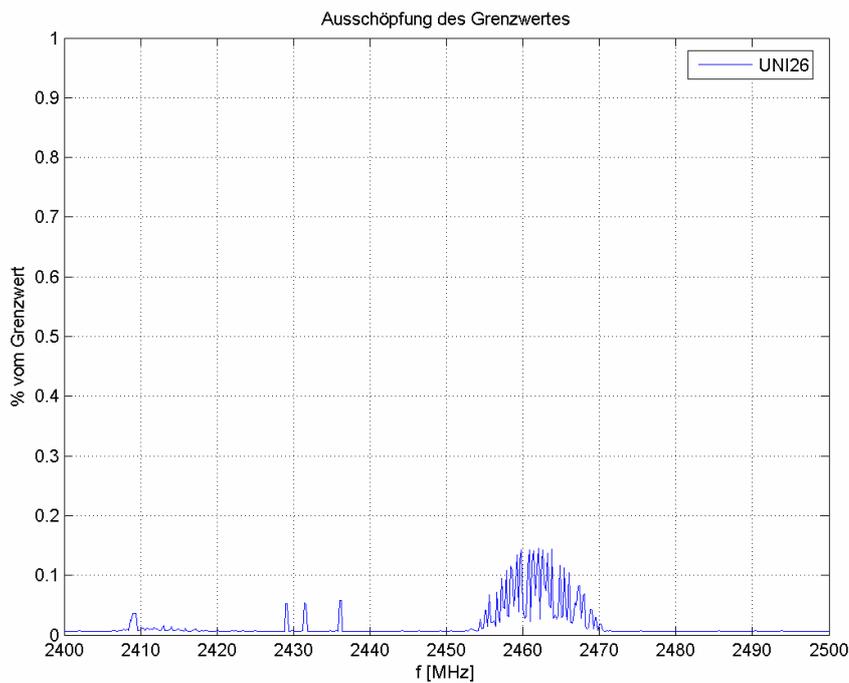


Abbildung 60 UNI26, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

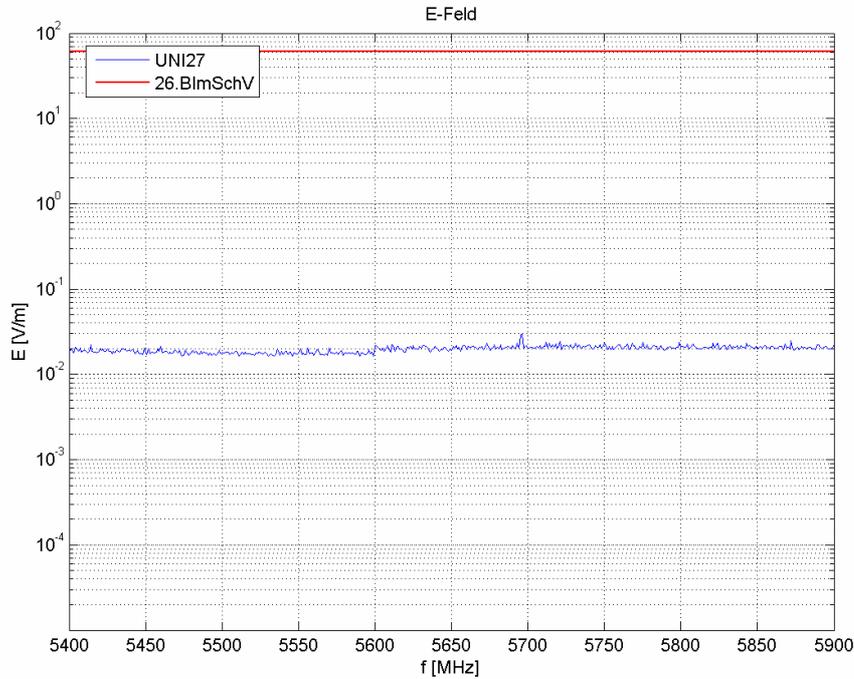


Abbildung 61 UNI27, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

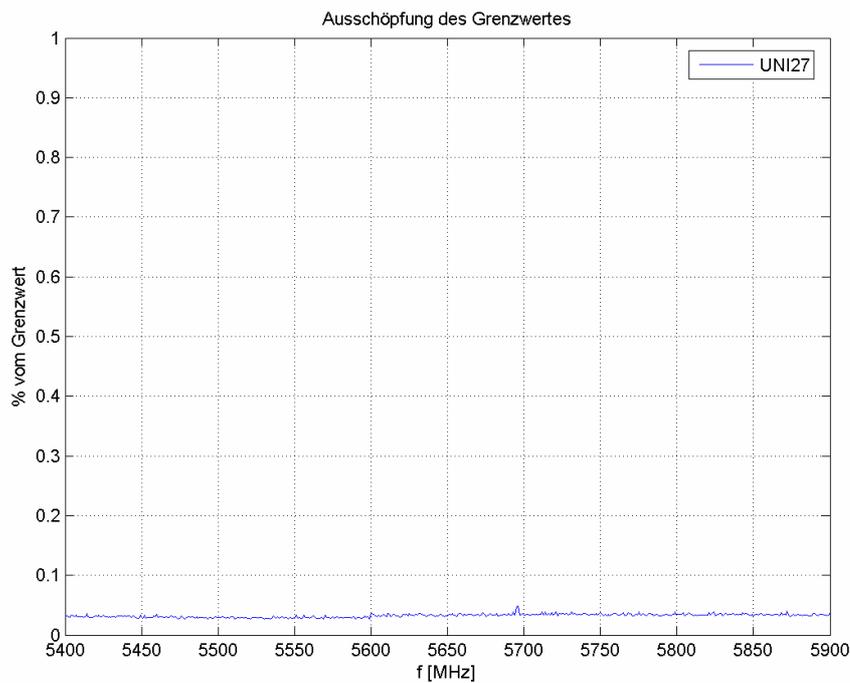


Abbildung 62 UNI27, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

Prof. Dr. W. Langguth

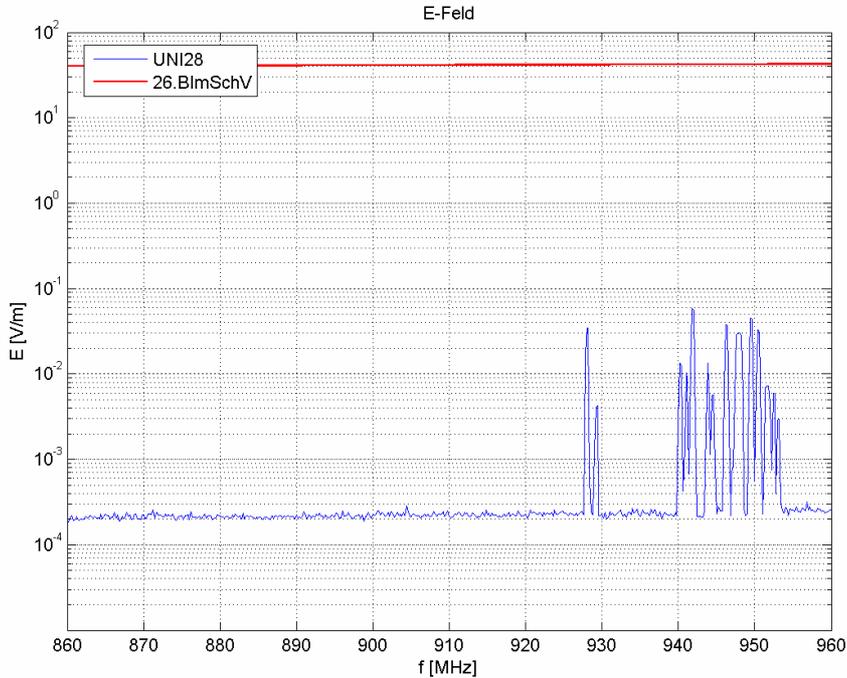


Abbildung 63 UNI28, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

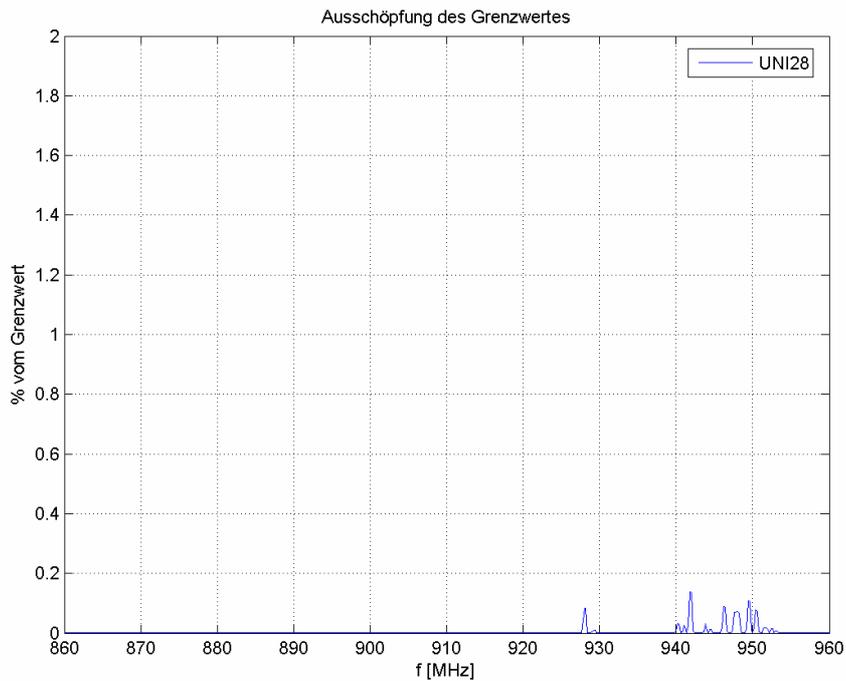


Abbildung 64 UNI28, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

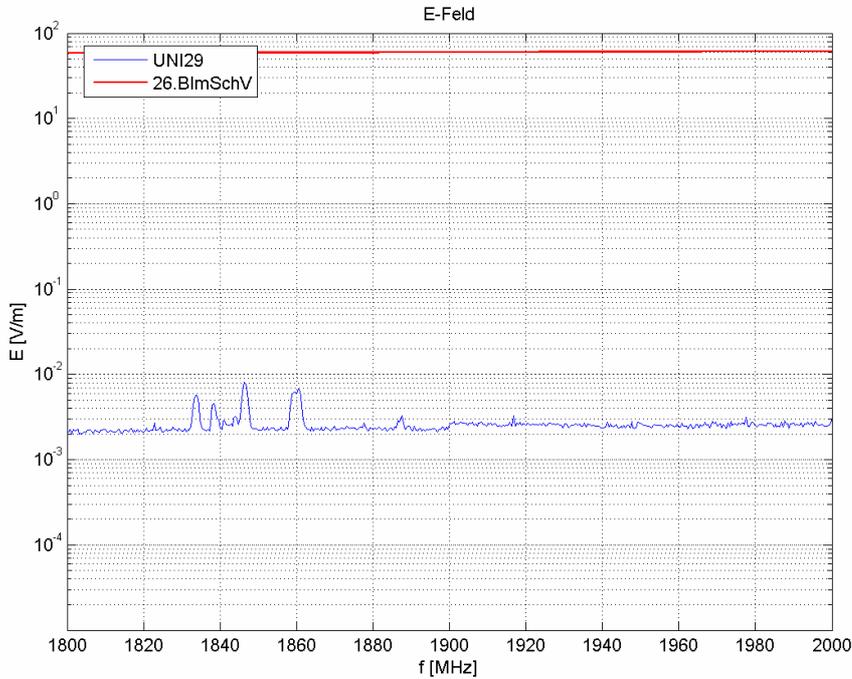


Abbildung 65 UNI29, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

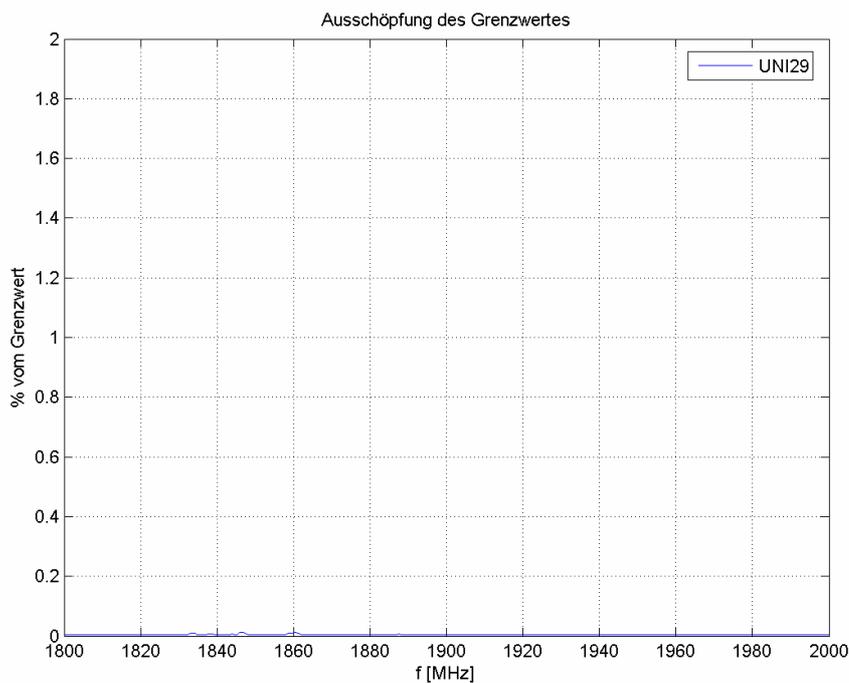


Abbildung 66 UNI29, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

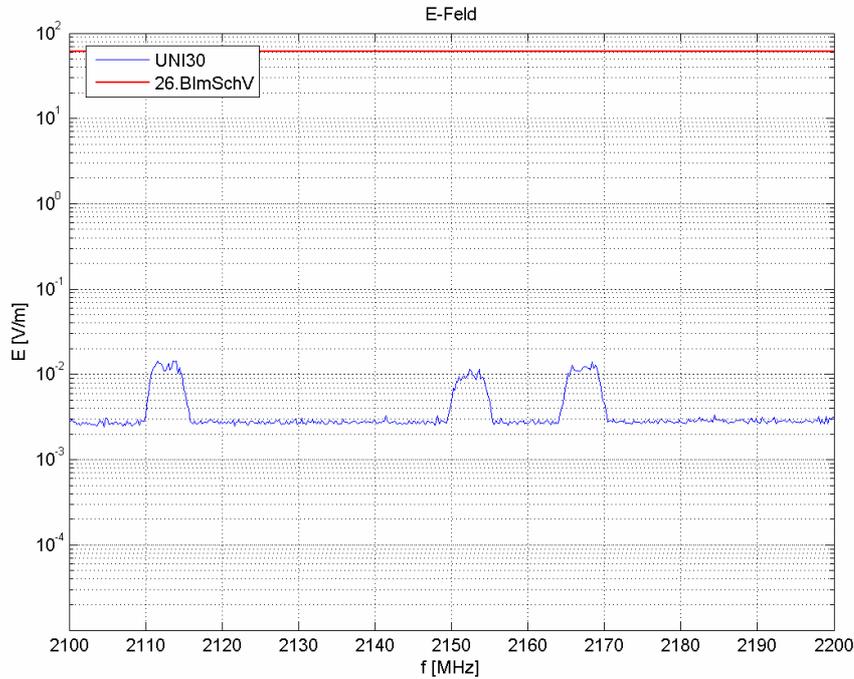


Abbildung 67 UNI30, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

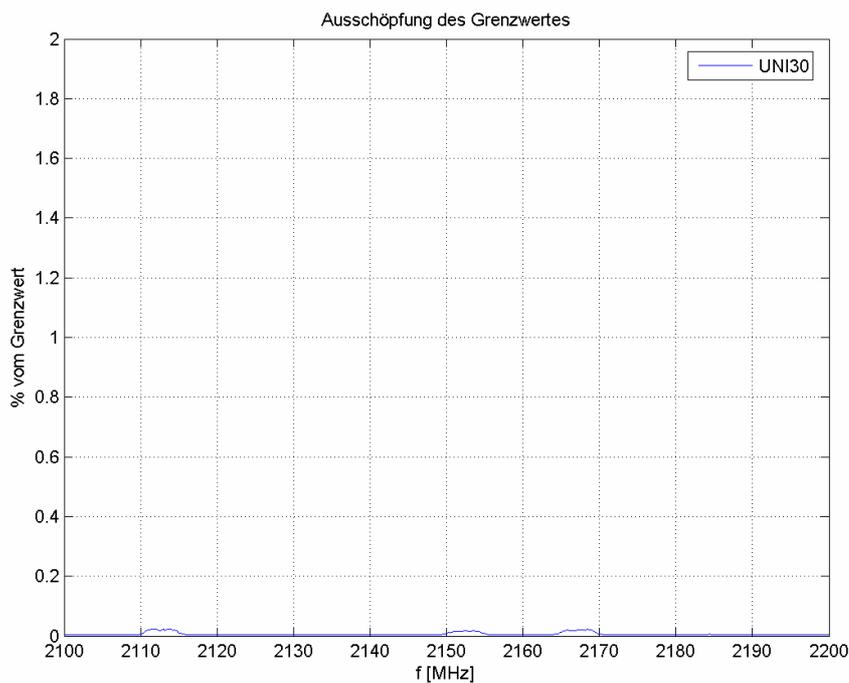


Abbildung 68 UNI30, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

Prof. Dr. W. Langguth

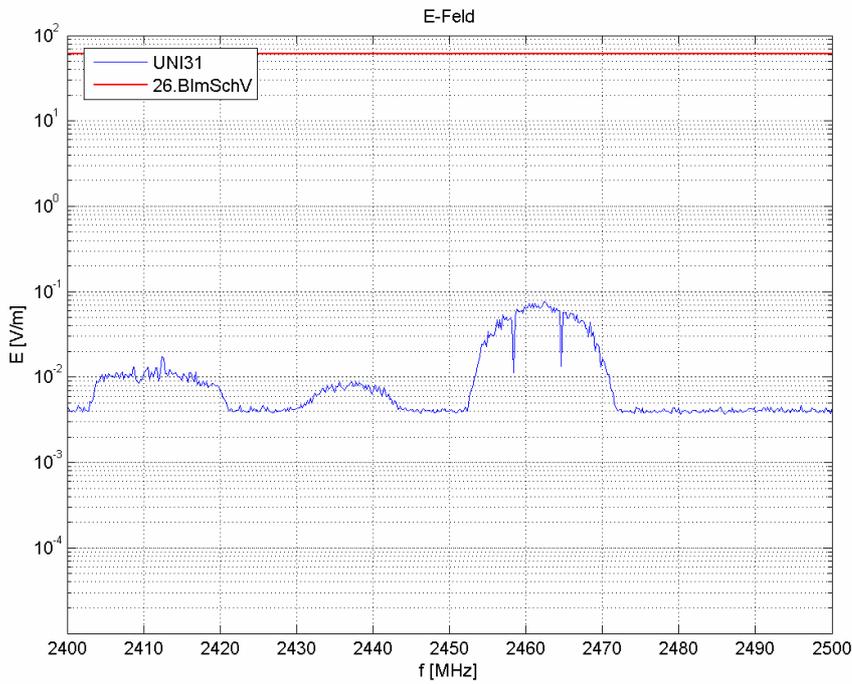


Abbildung 69 UNI31, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

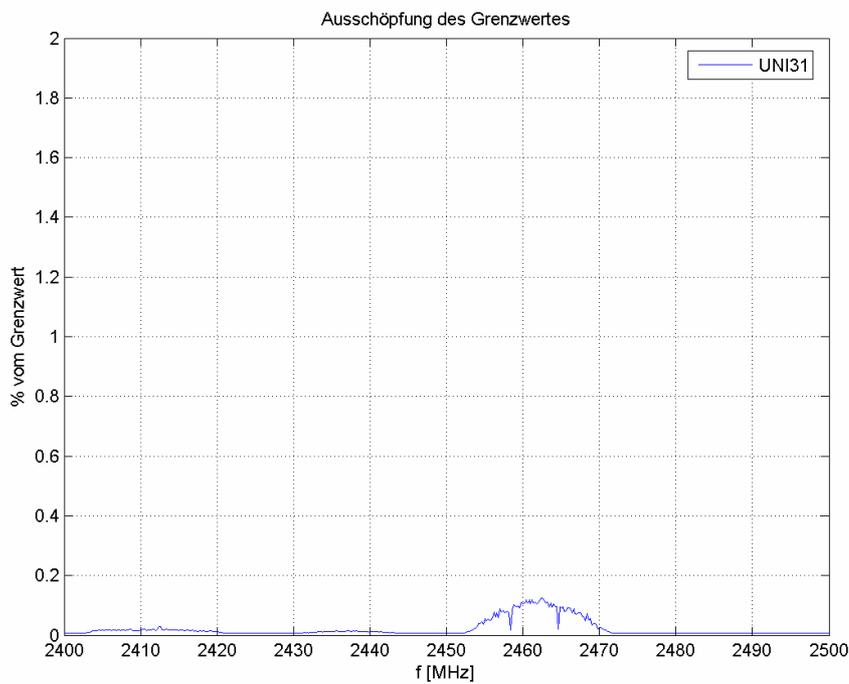


Abbildung 70 UNI31, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

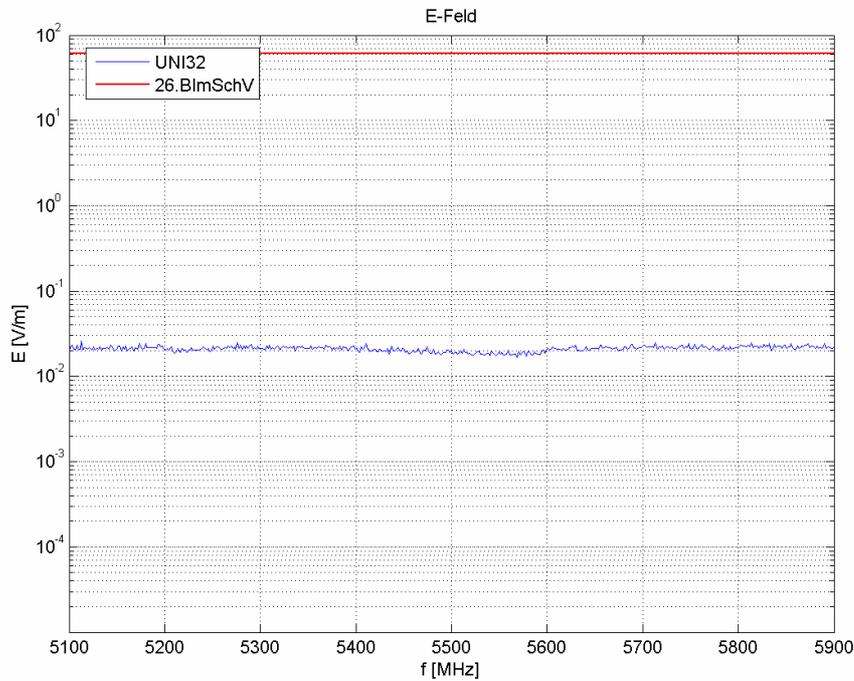


Abbildung 71 UNI32, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

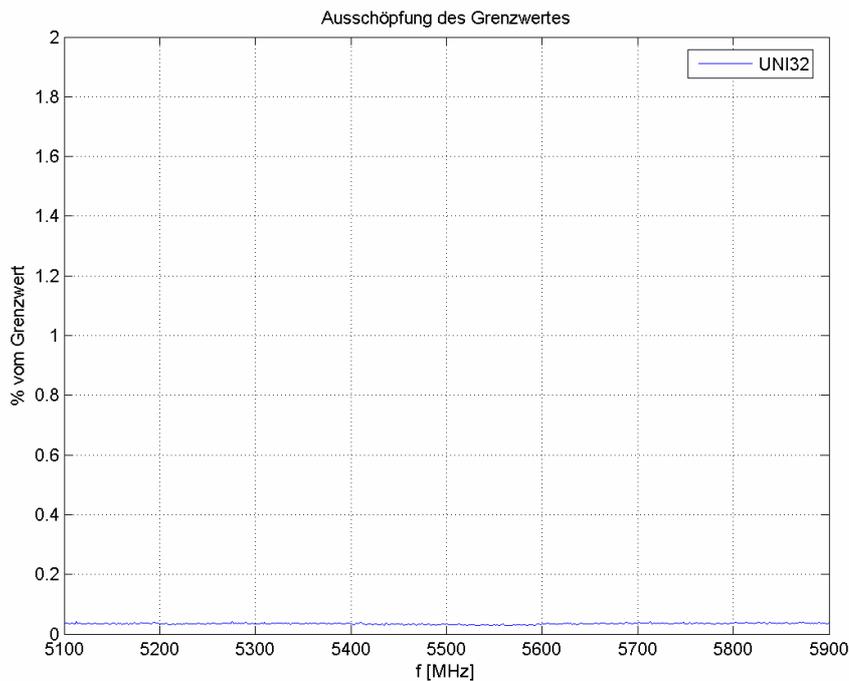


Abbildung 72 UNI32, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

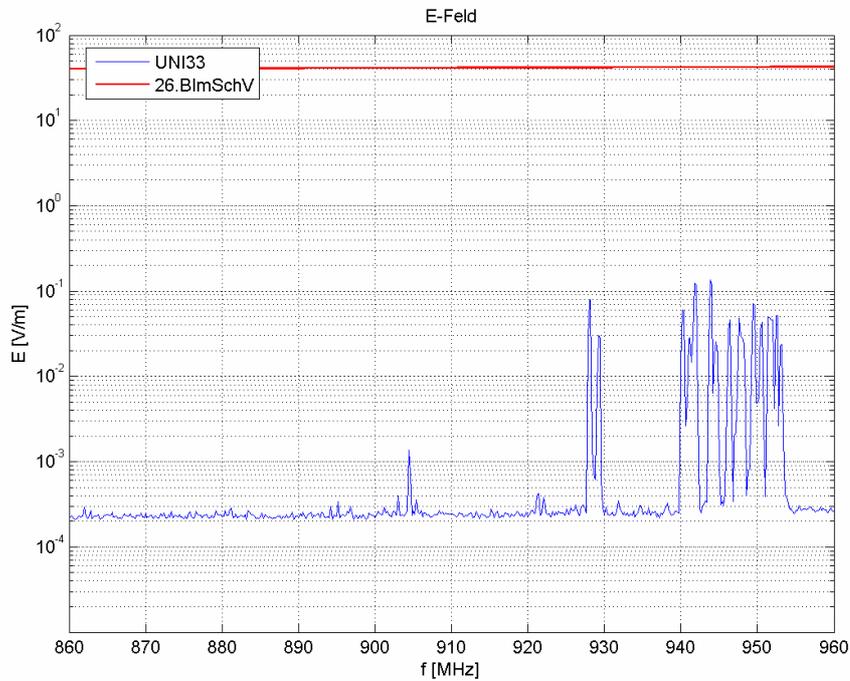


Abbildung 73 UNI33, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

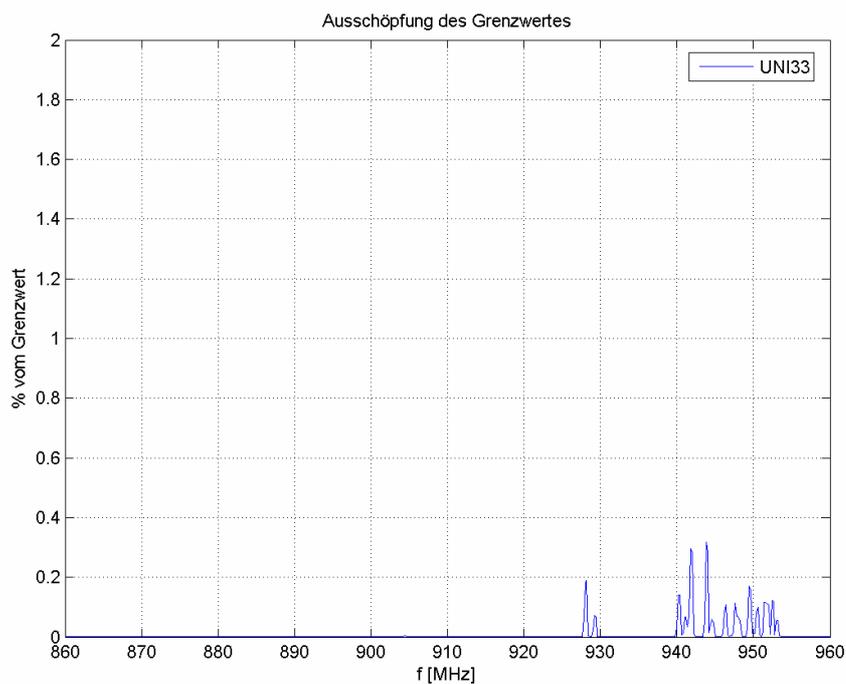


Abbildung 74 UNI33, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

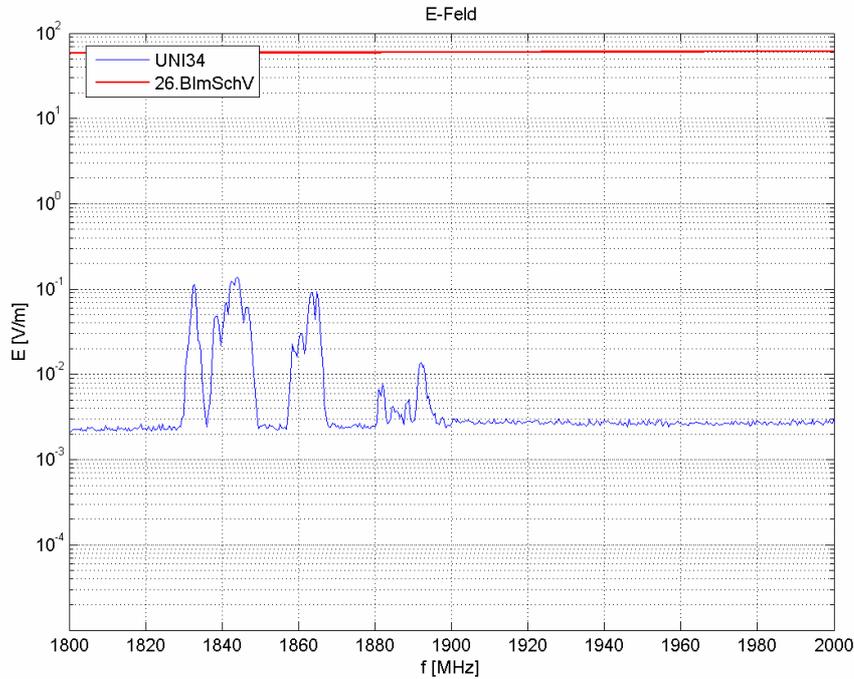


Abbildung 75 UNI34, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

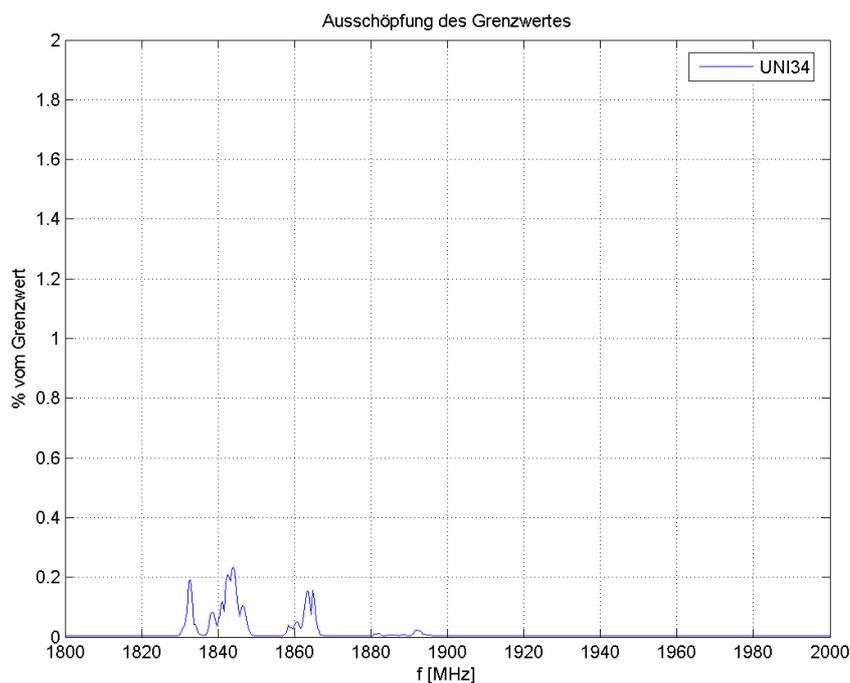


Abbildung 76 UNI34, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

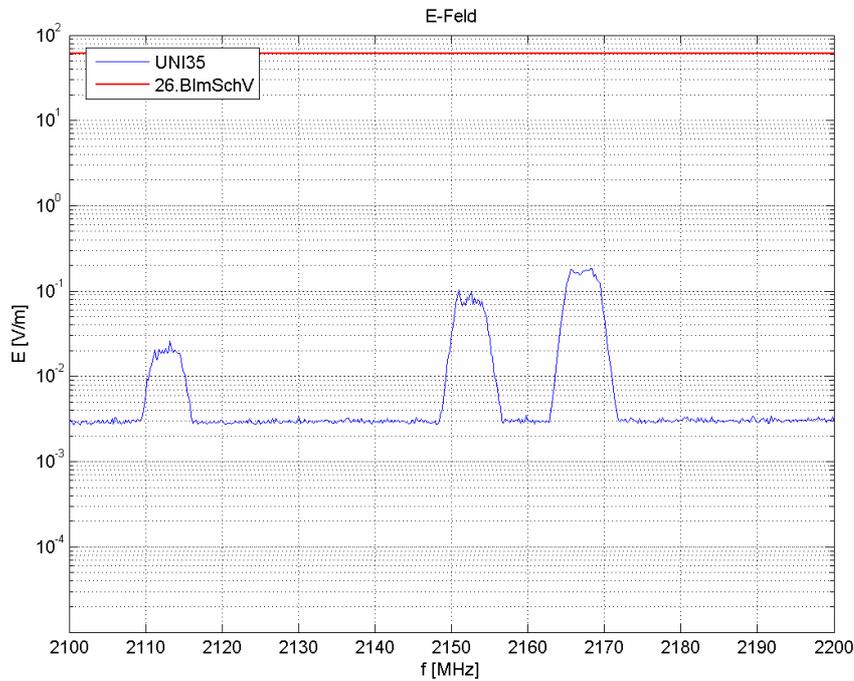


Abbildung 77 UNI35, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

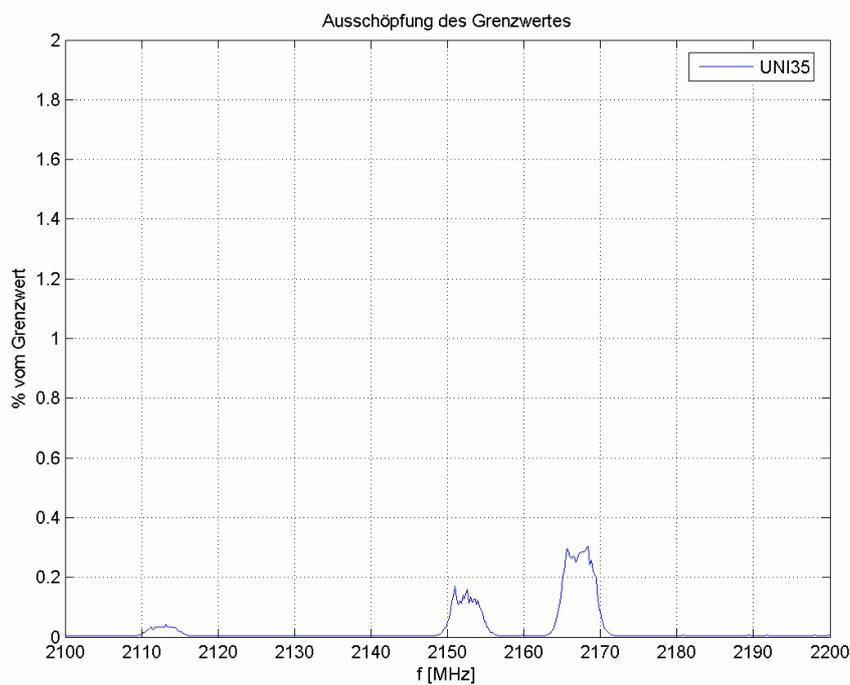


Abbildung 78 UNI35, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

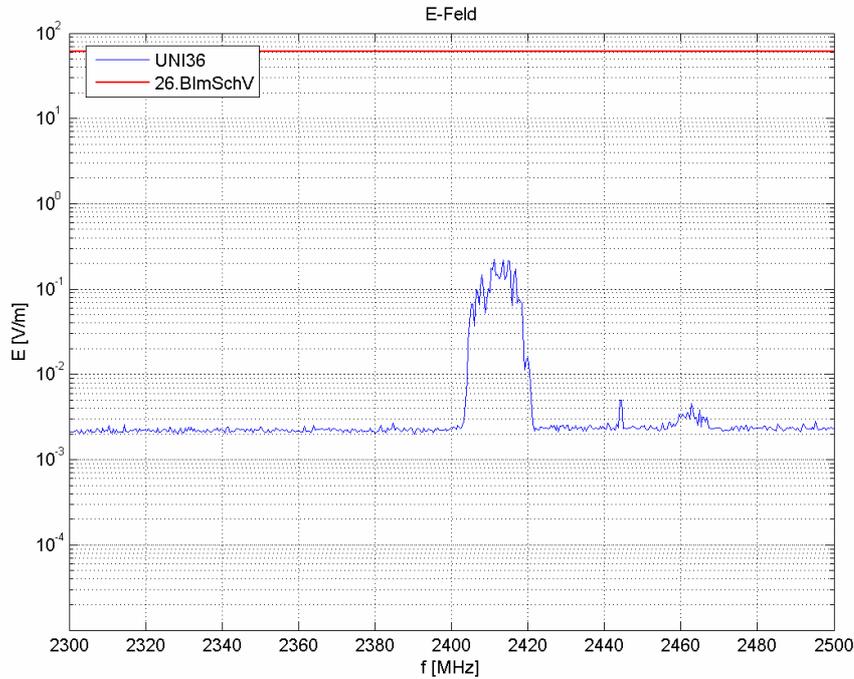


Abbildung 79 UNI36, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

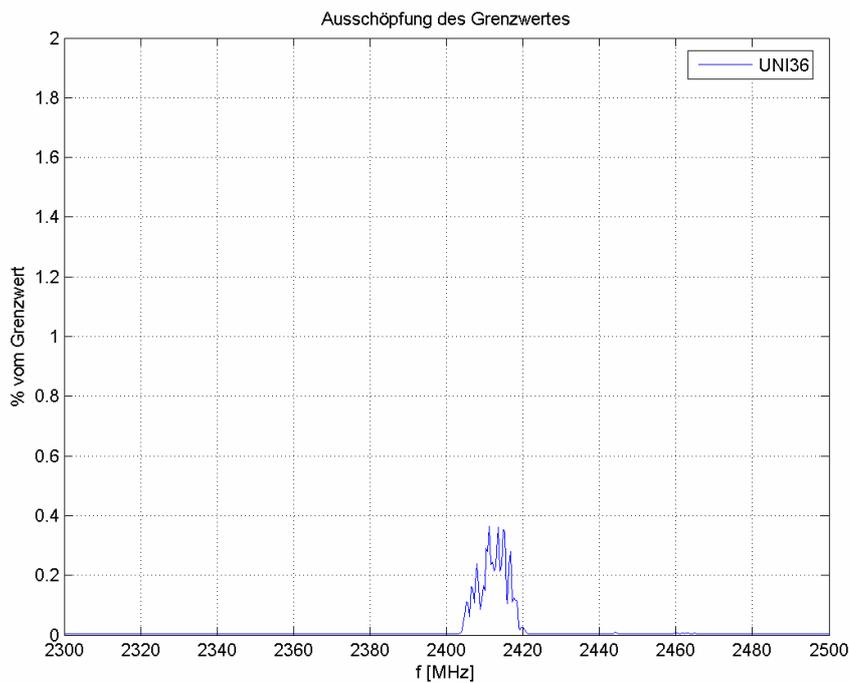


Abbildung 80 UNI36, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

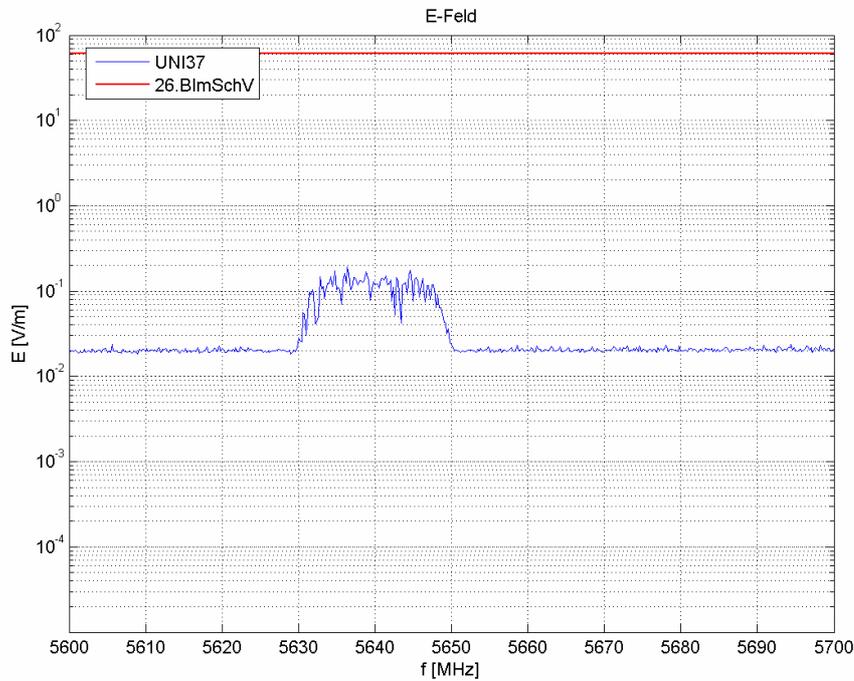


Abbildung 81 UNI37, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

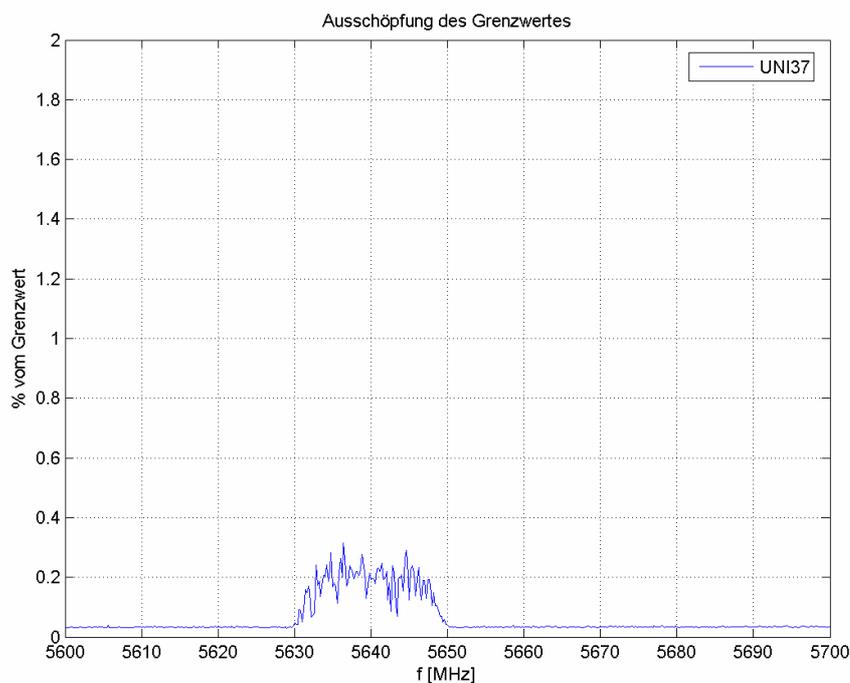


Abbildung 82 UNI37, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

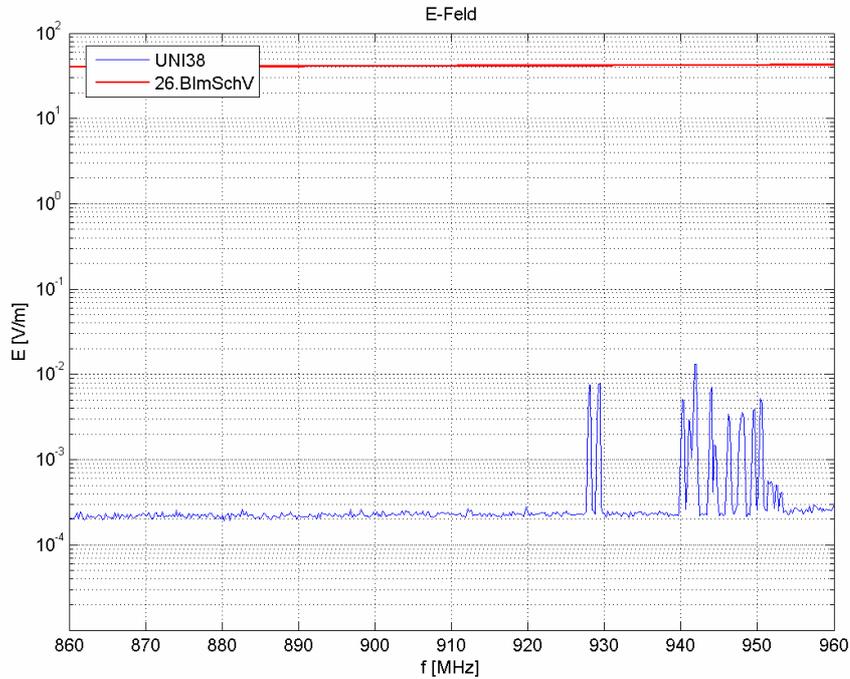


Abbildung 83 UNI38, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

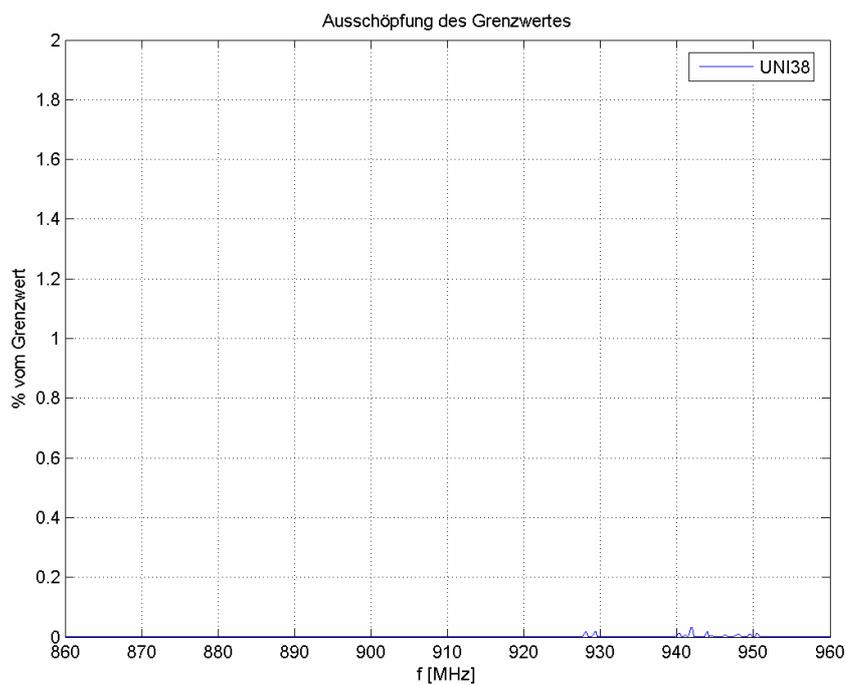


Abbildung 84 UNI38, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

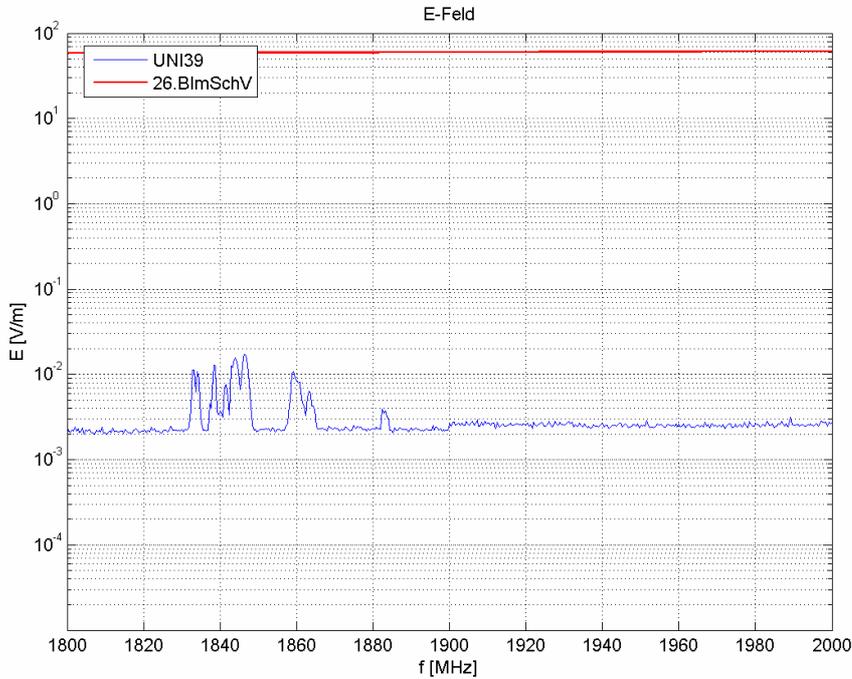


Abbildung 85 UNI39, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

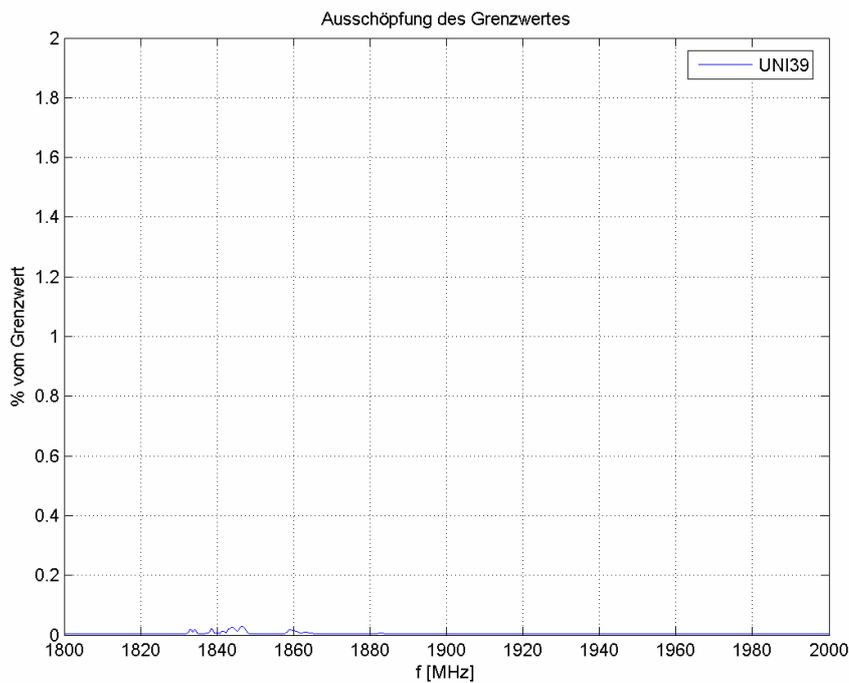


Abbildung 86 UNI39, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

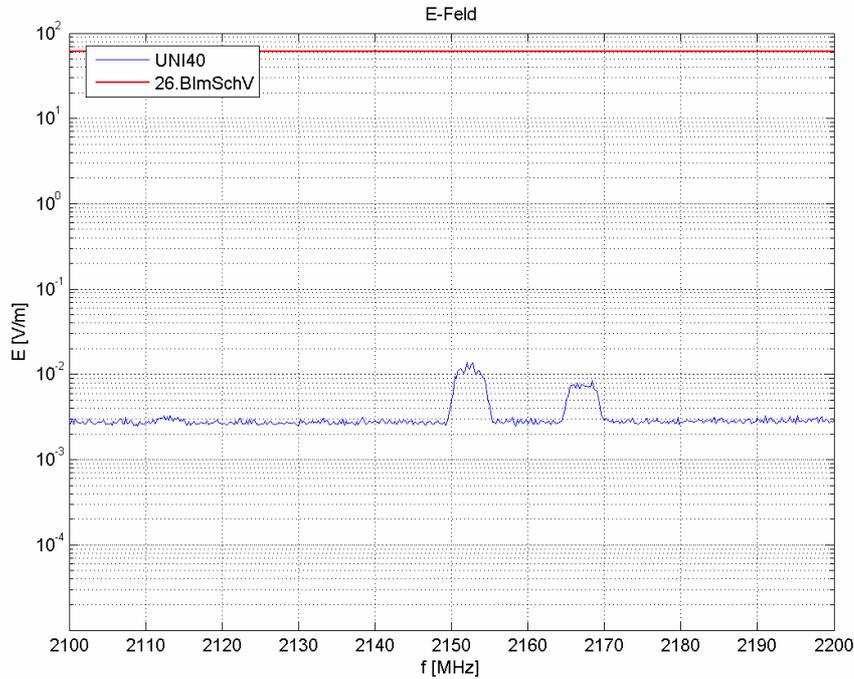


Abbildung 87 UNI40, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

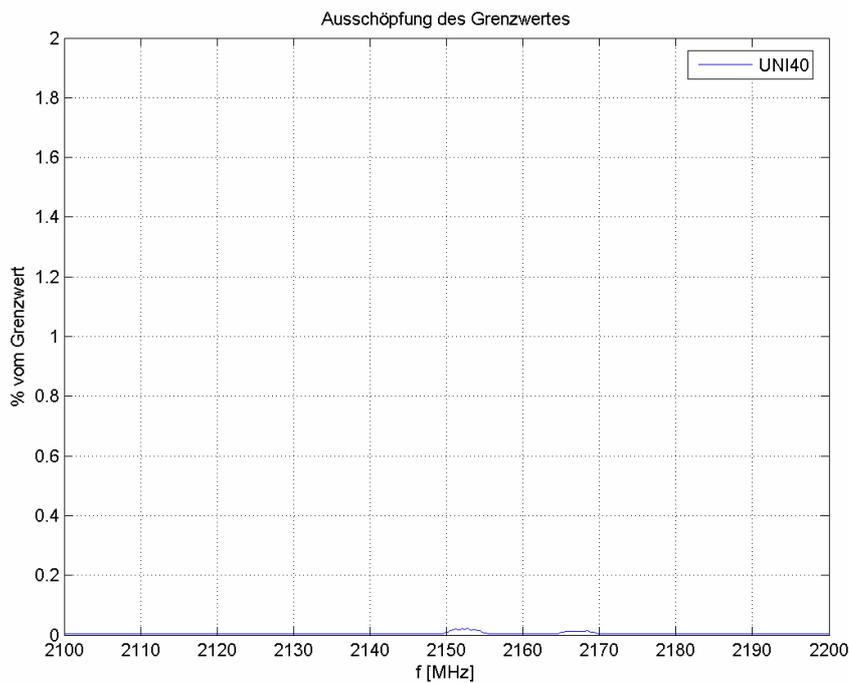


Abbildung 88 UNI40, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

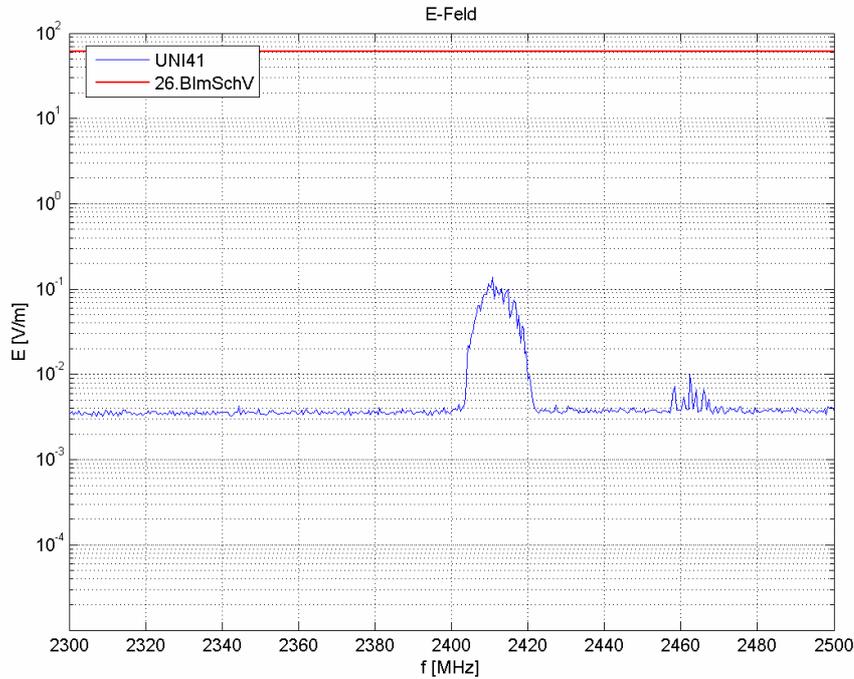


Abbildung 89 UNI41, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

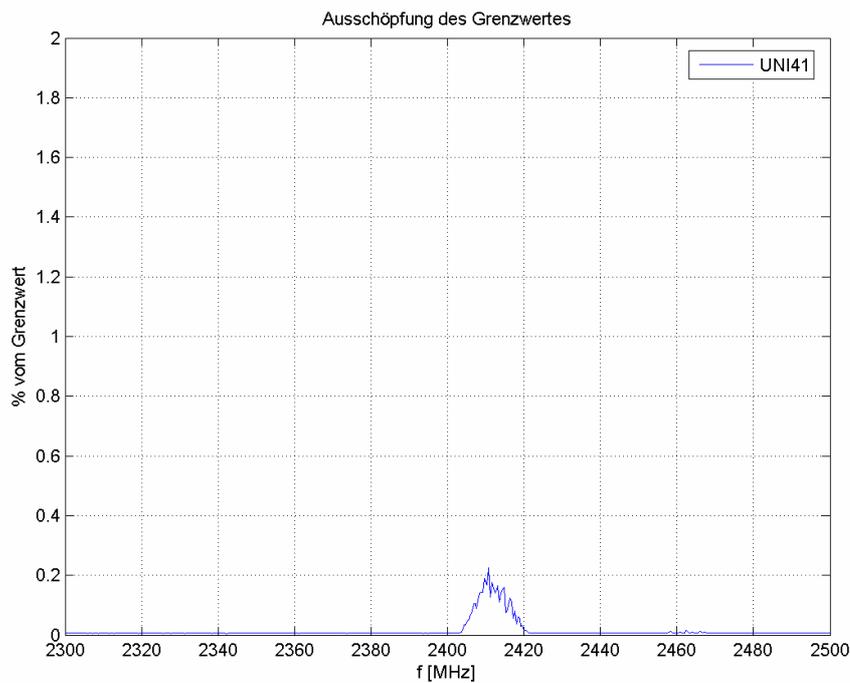


Abbildung 90 UNI41, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

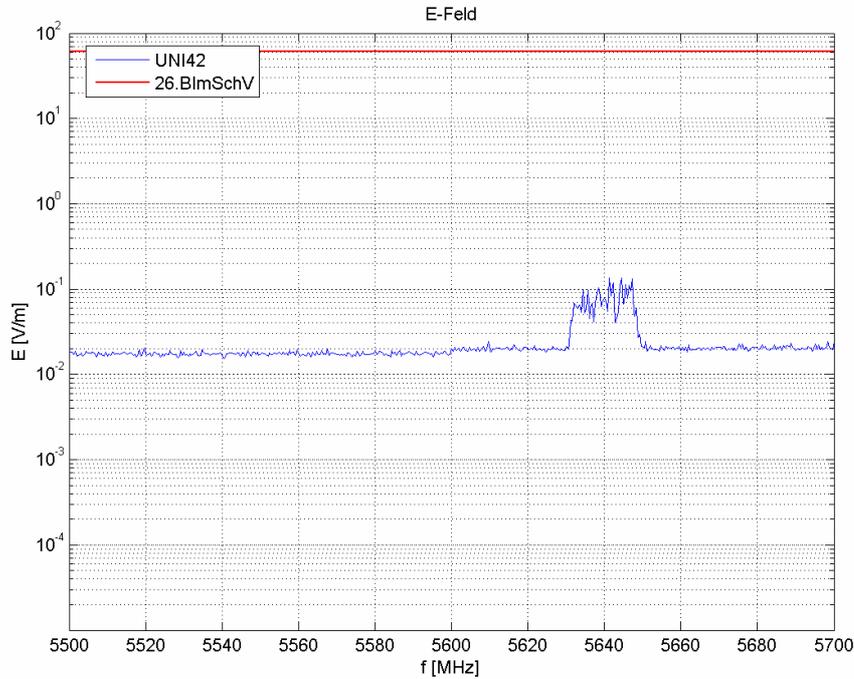


Abbildung 91 UNI42, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

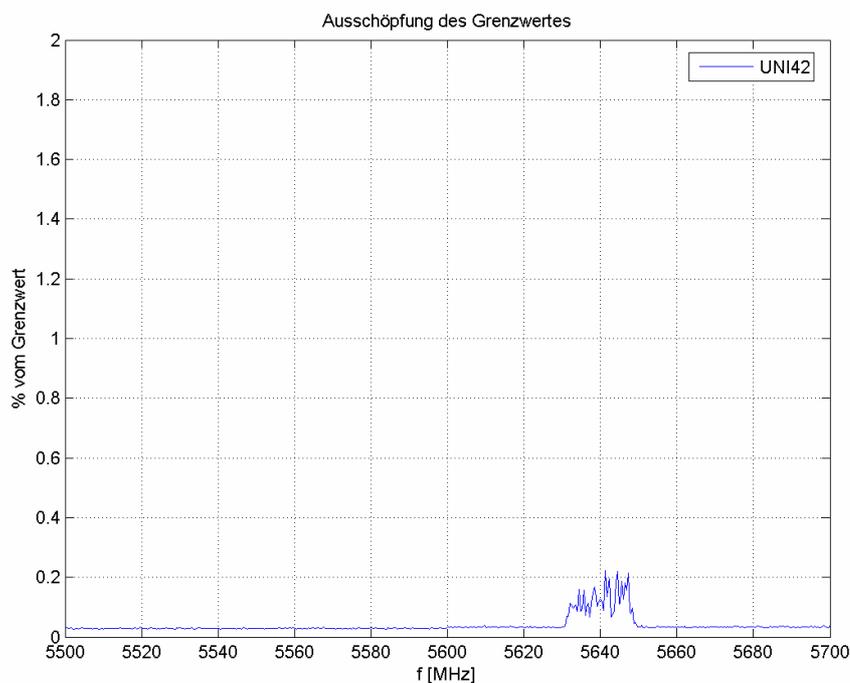


Abbildung 92 UNI42, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

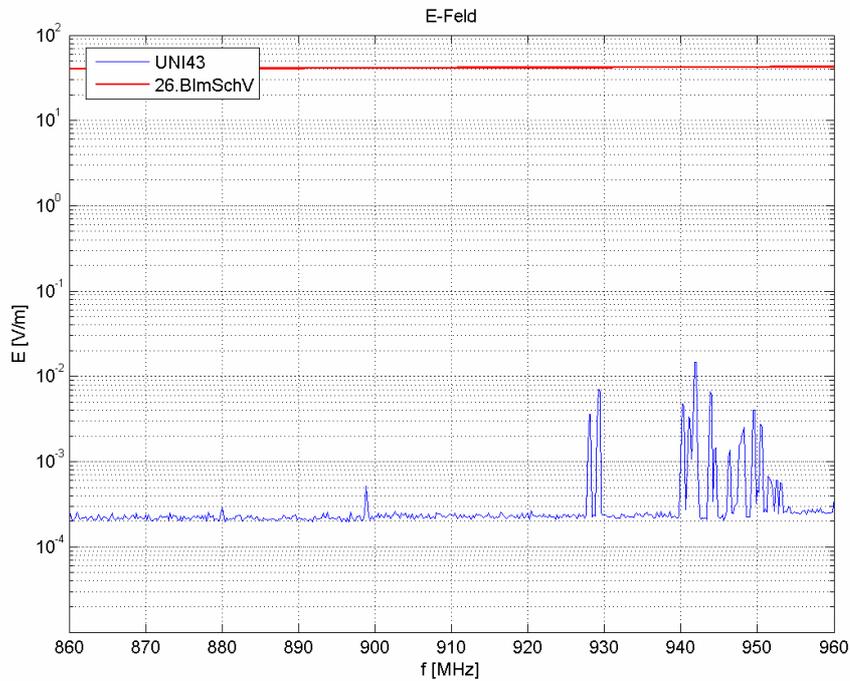


Abbildung 93 UNI43, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

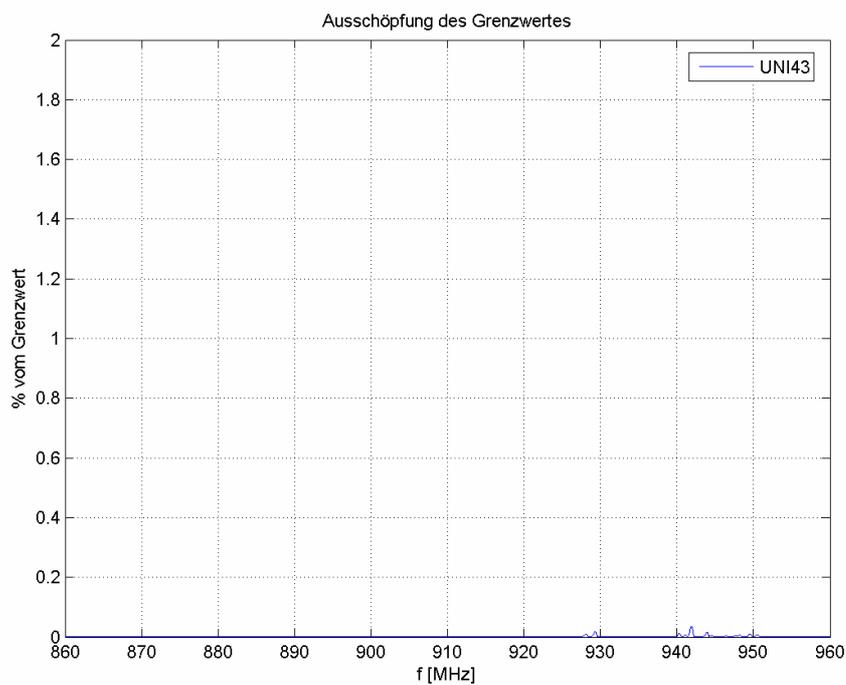


Abbildung 94 UNI43, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

Prof. Dr. W. Langguth

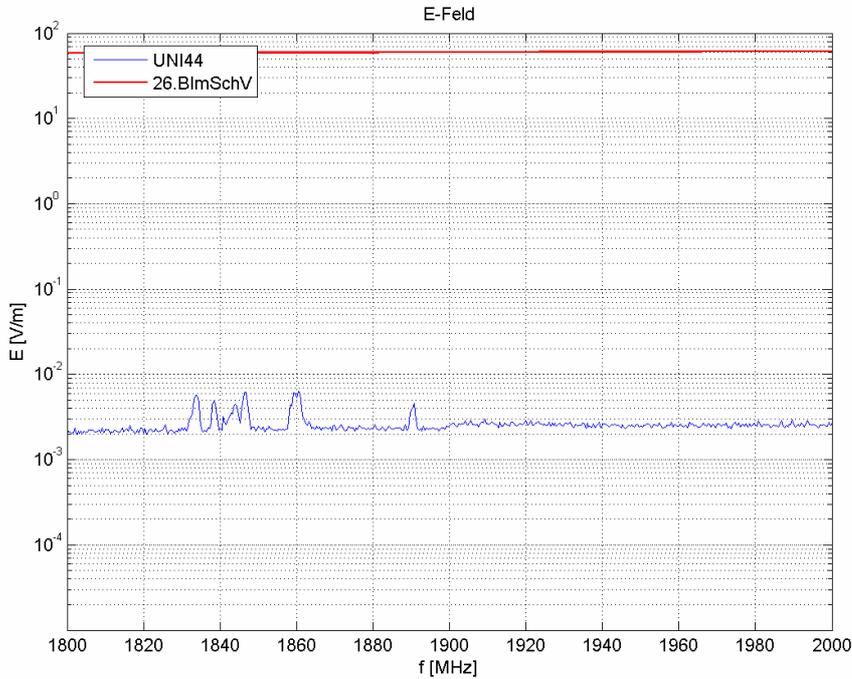


Abbildung 95 UNI44, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

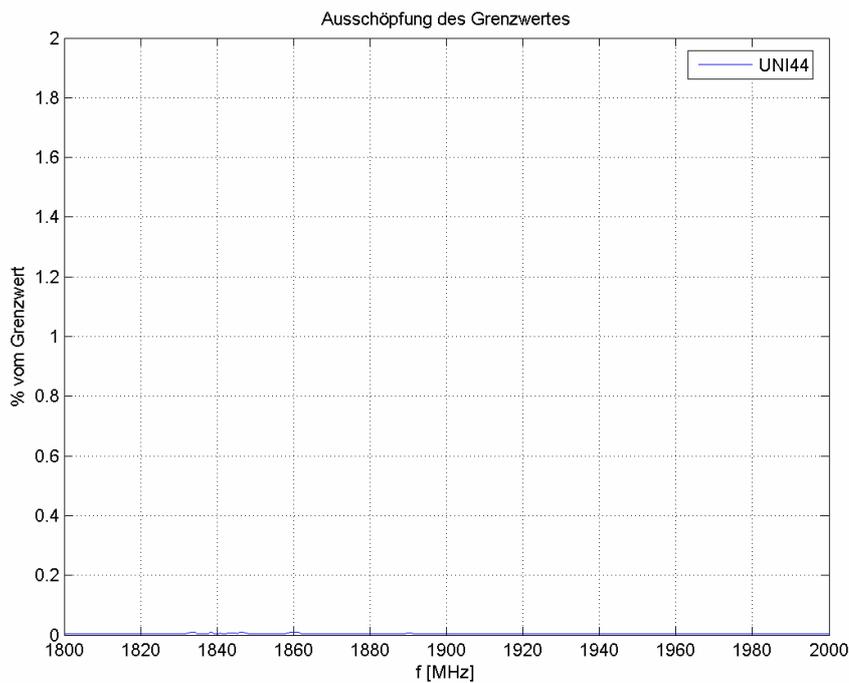


Abbildung 96 UNI44, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

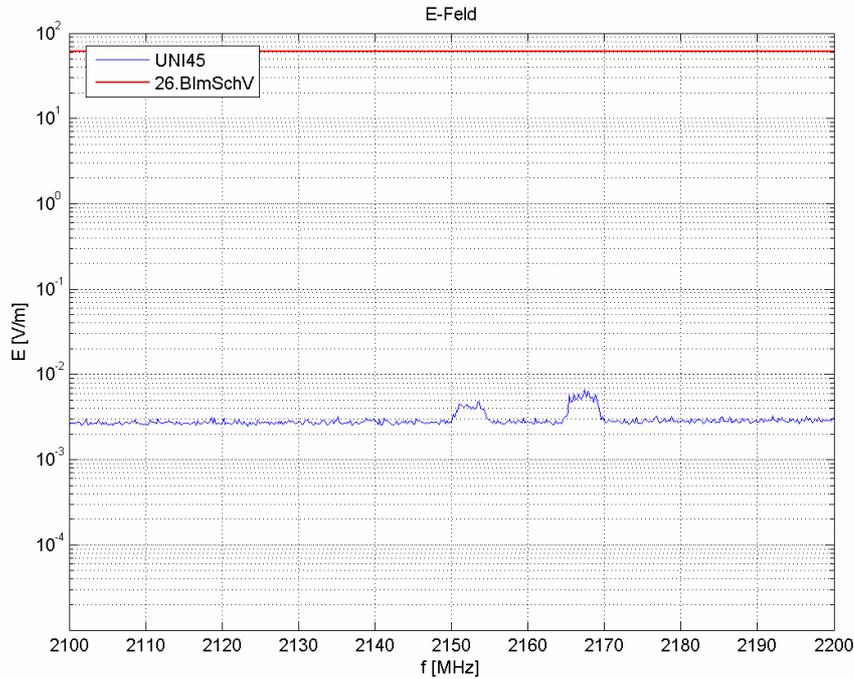


Abbildung 97 UNI45, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

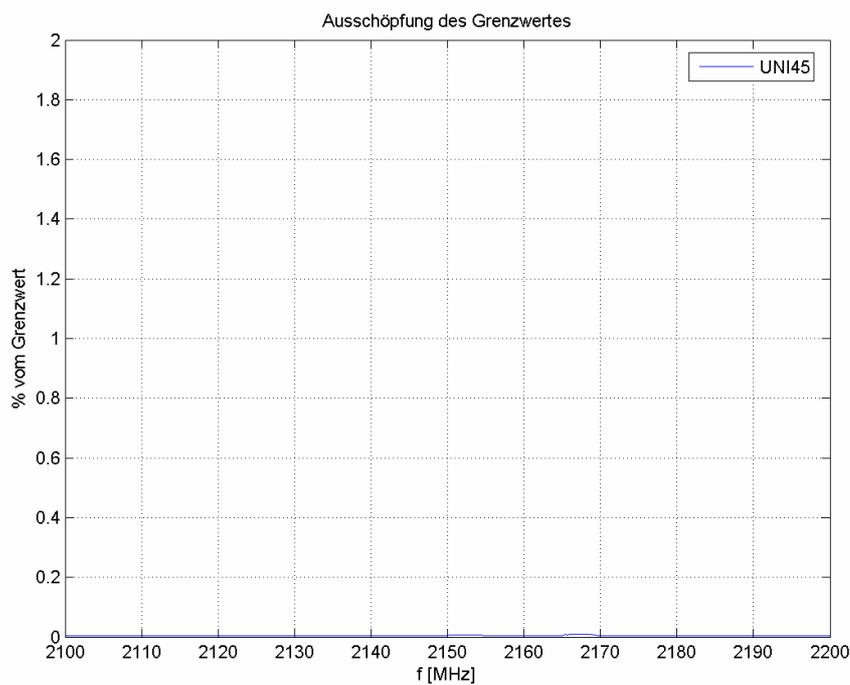


Abbildung 98 UNI45, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

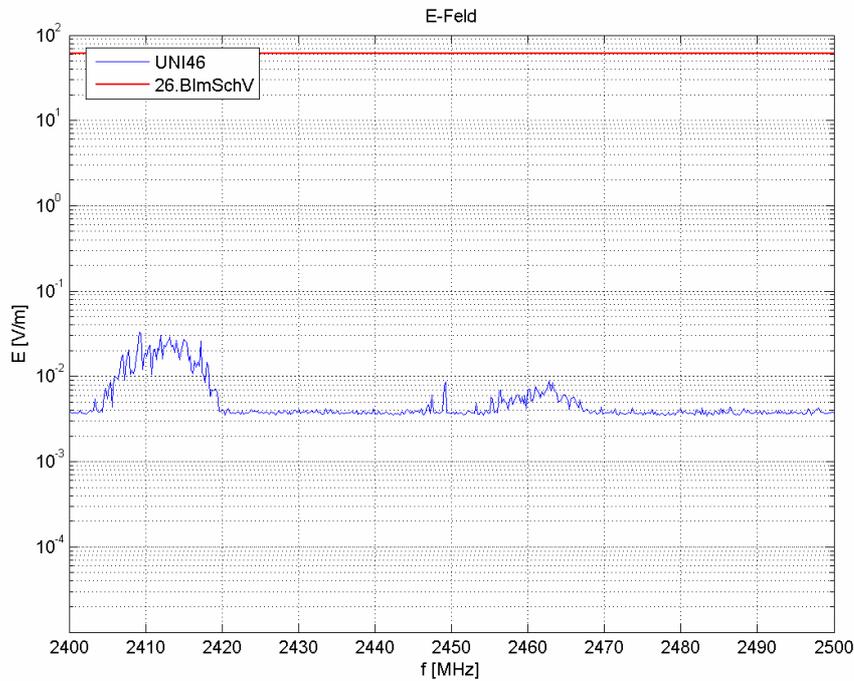


Abbildung 99 UNI46, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

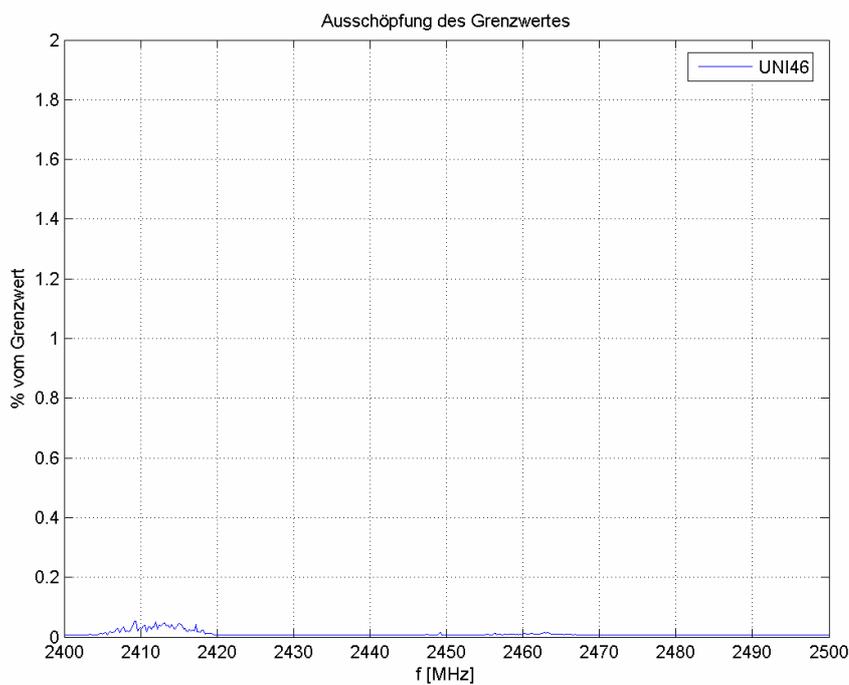


Abbildung 100 UNI46, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

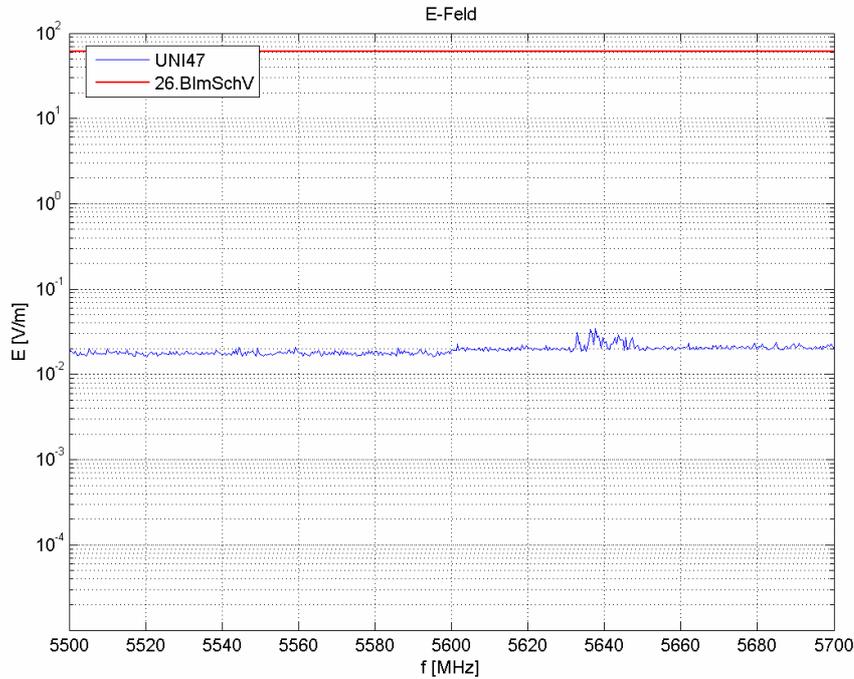


Abbildung 101 UNI47, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

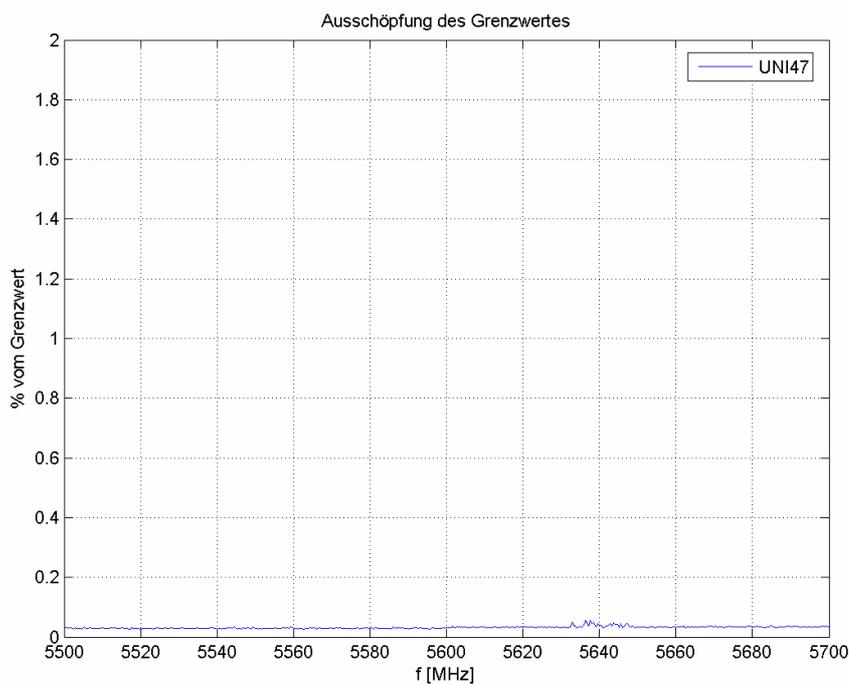


Abbildung 102 UNI47, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

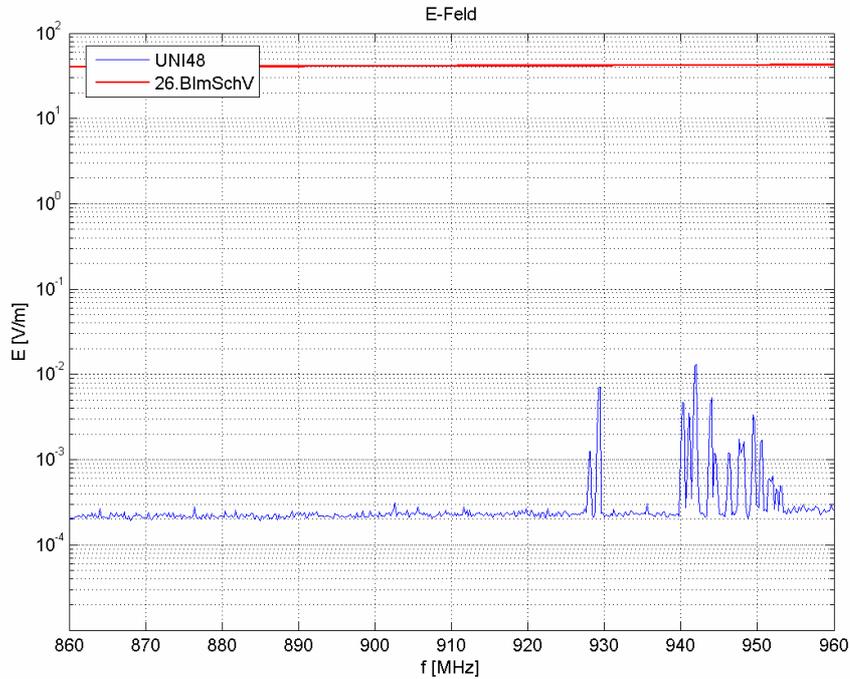


Abbildung 103 UNI48, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

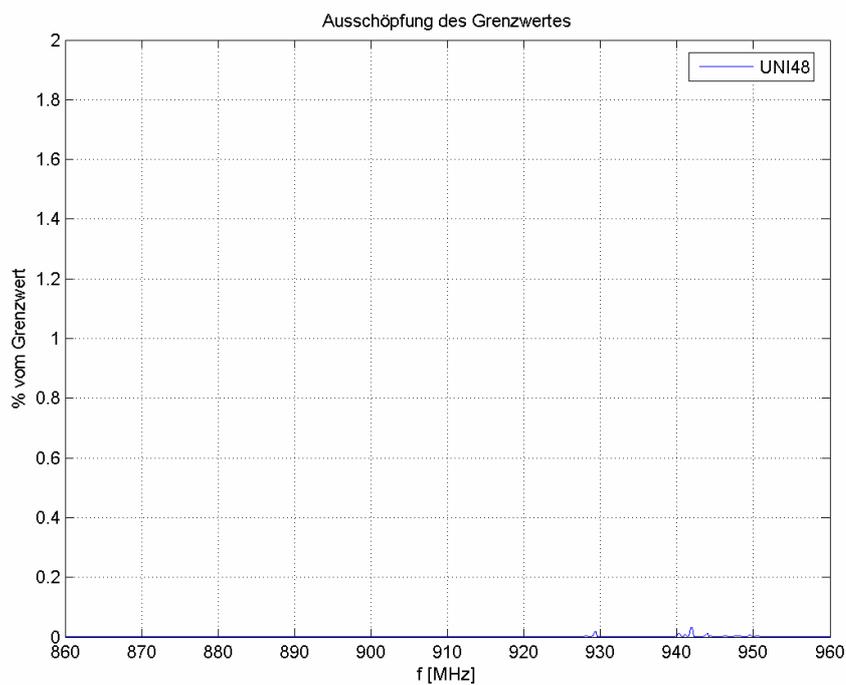


Abbildung 104 UNI48, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

Prof. Dr. W. Langguth

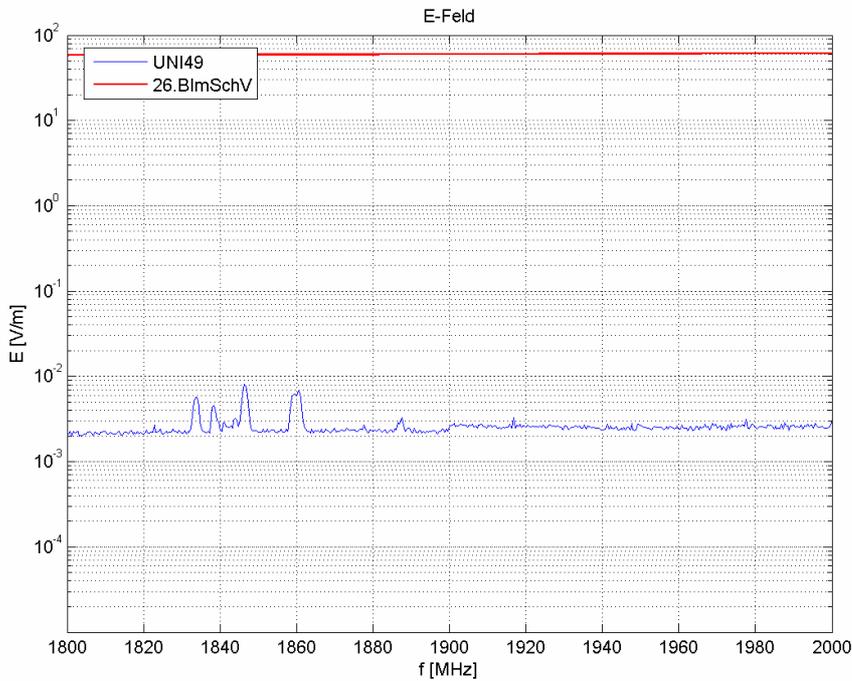


Abbildung 105 UNI49, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

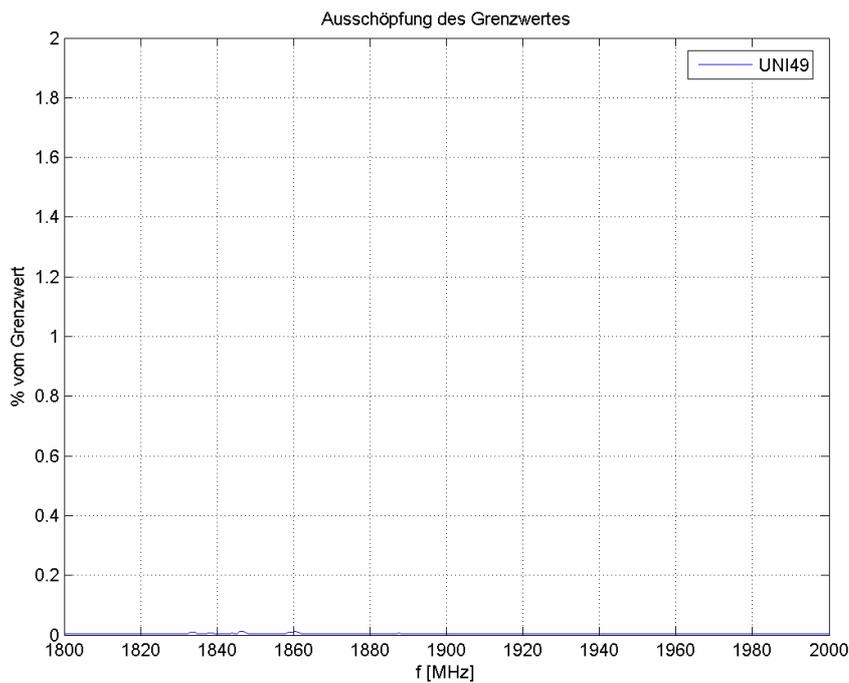


Abbildung 106 UNI49, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

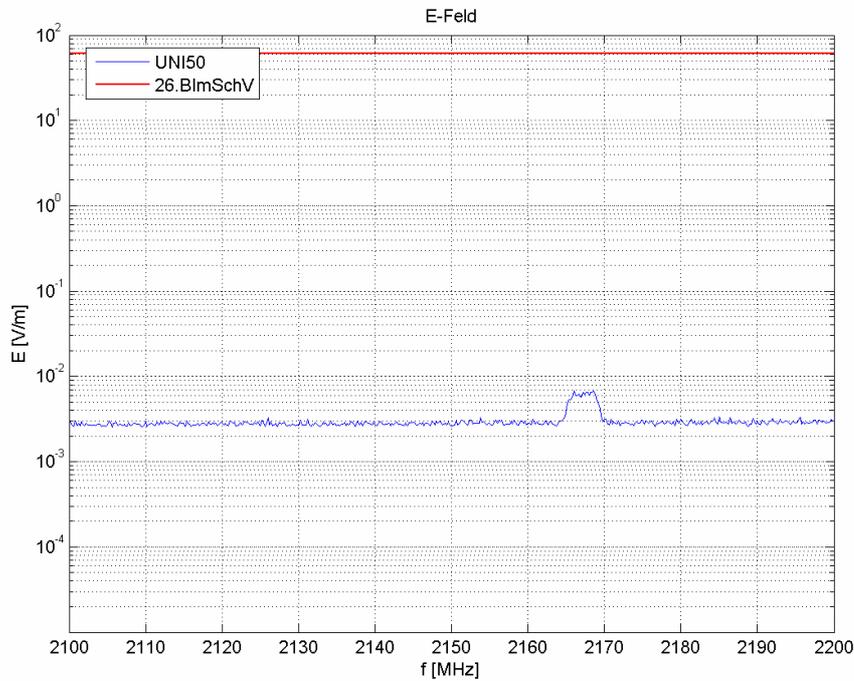


Abbildung 107 UNI50, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

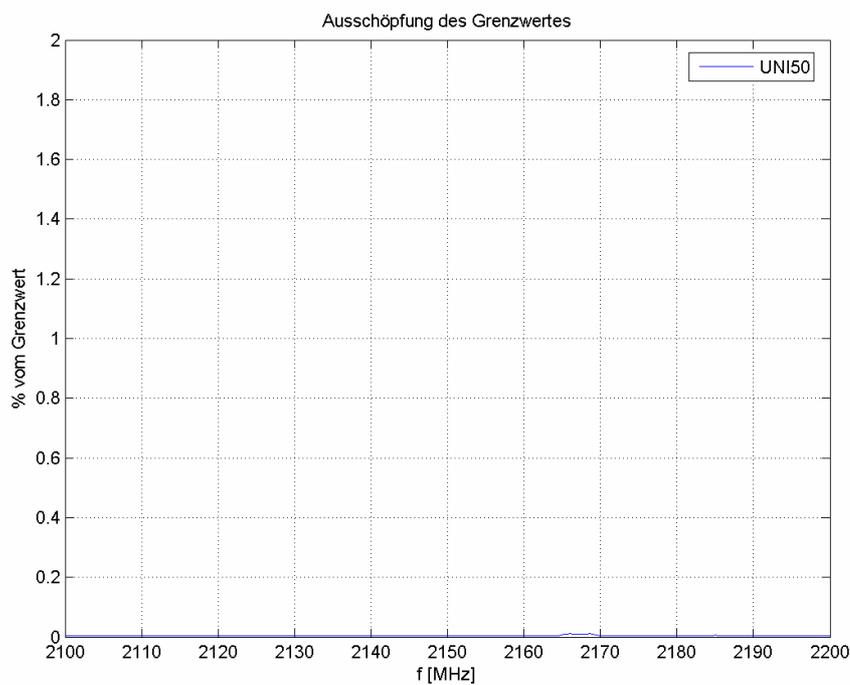


Abbildung 108 UNI50, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

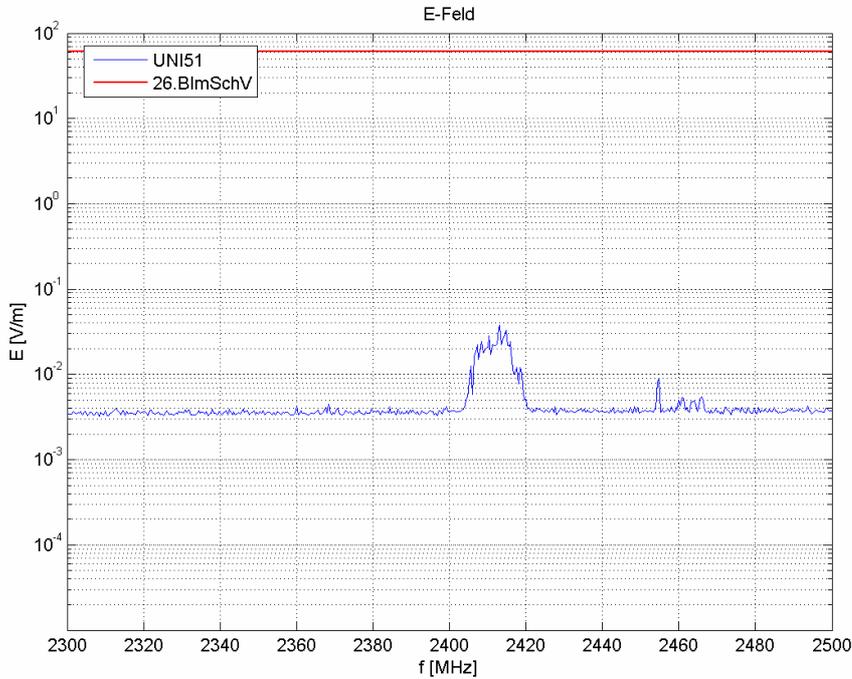


Abbildung 109 UNI51, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

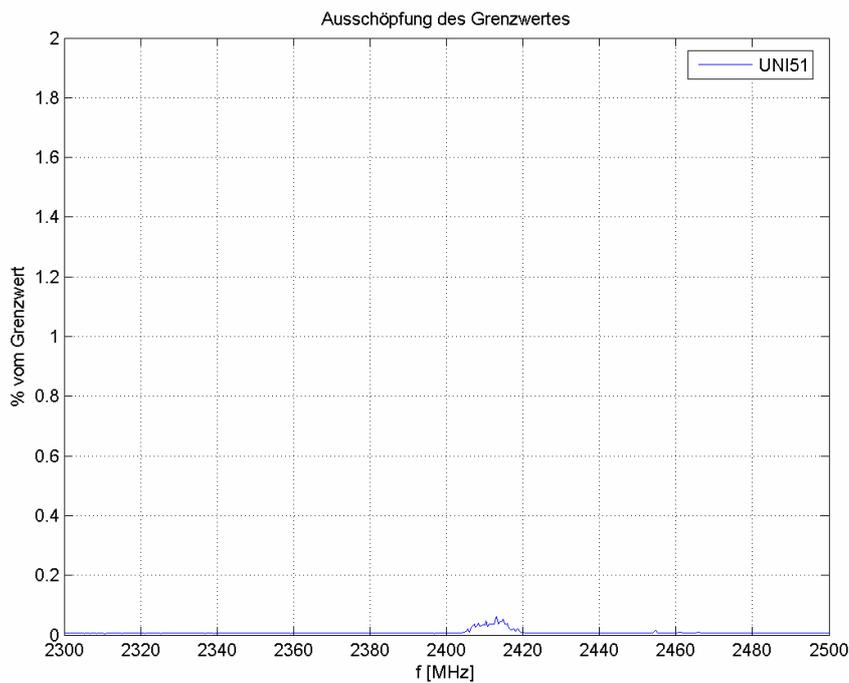


Abbildung 110 UNI51, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

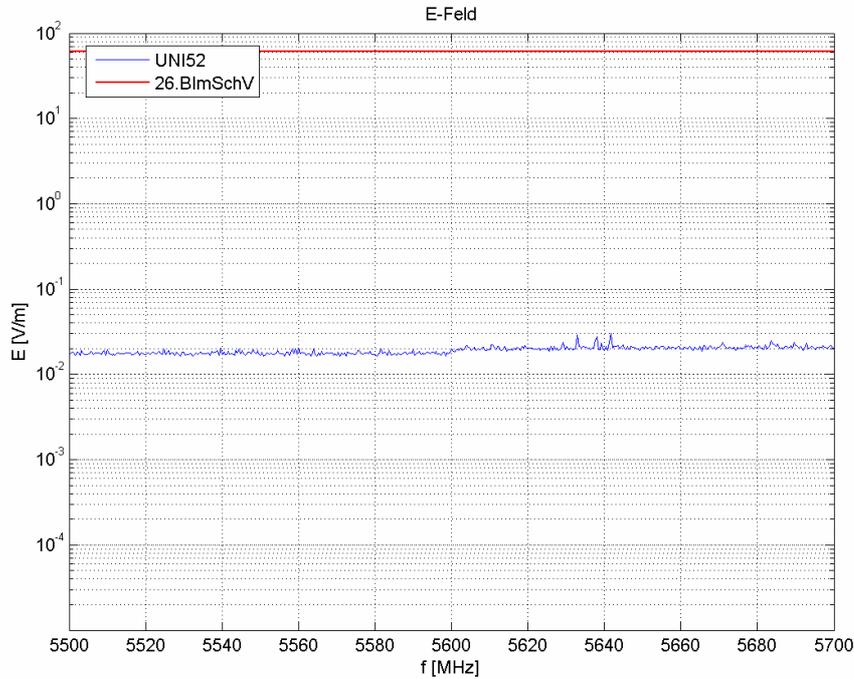


Abbildung 111 UNI52, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

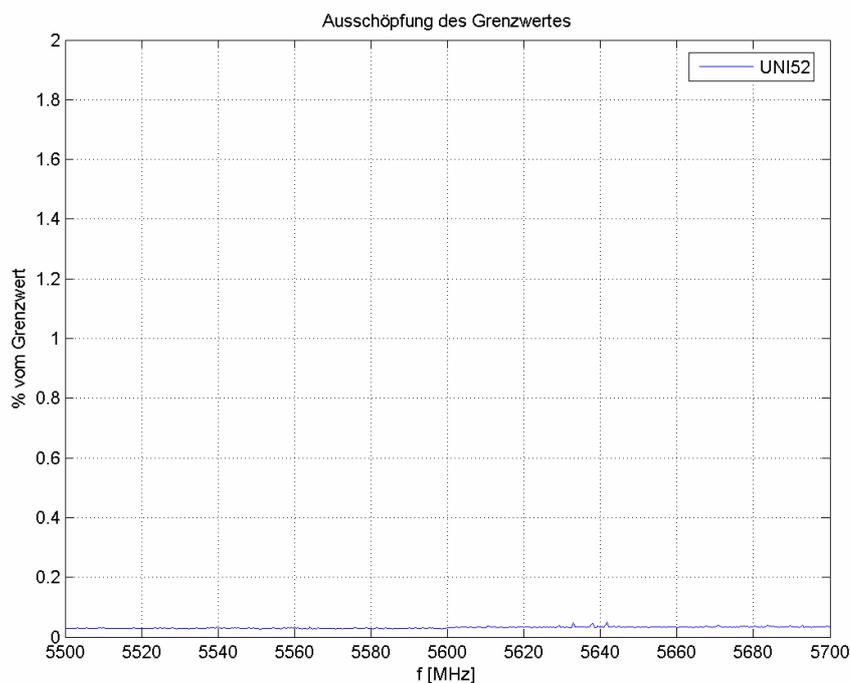


Abbildung 112 UNI52, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

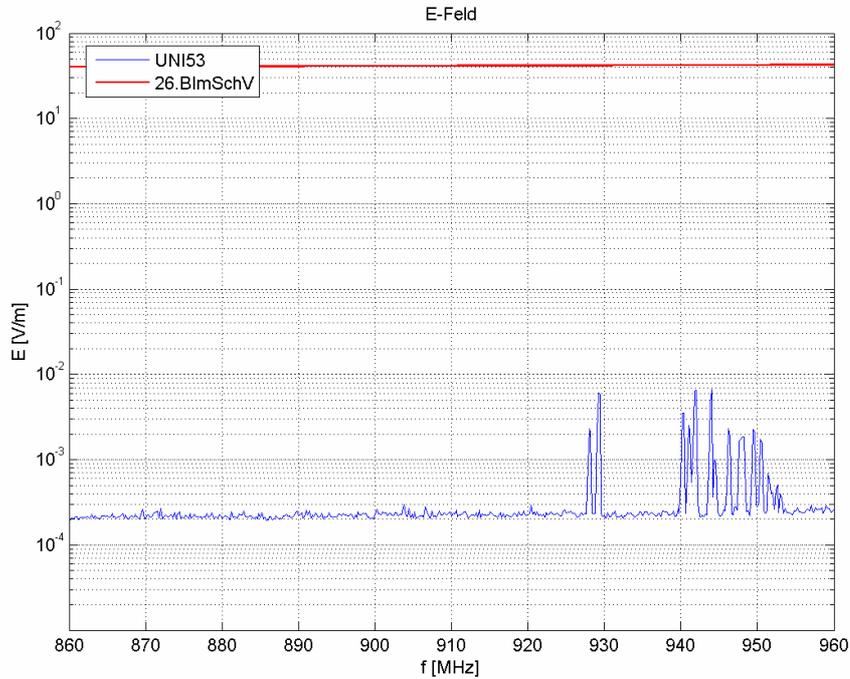


Abbildung 113 UNI53, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

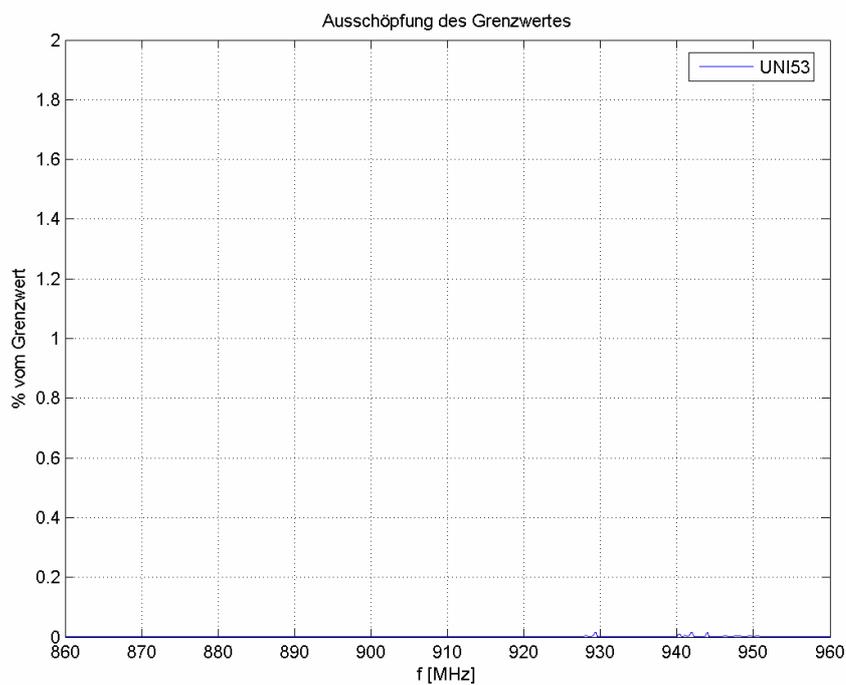


Abbildung 114 UNI53, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

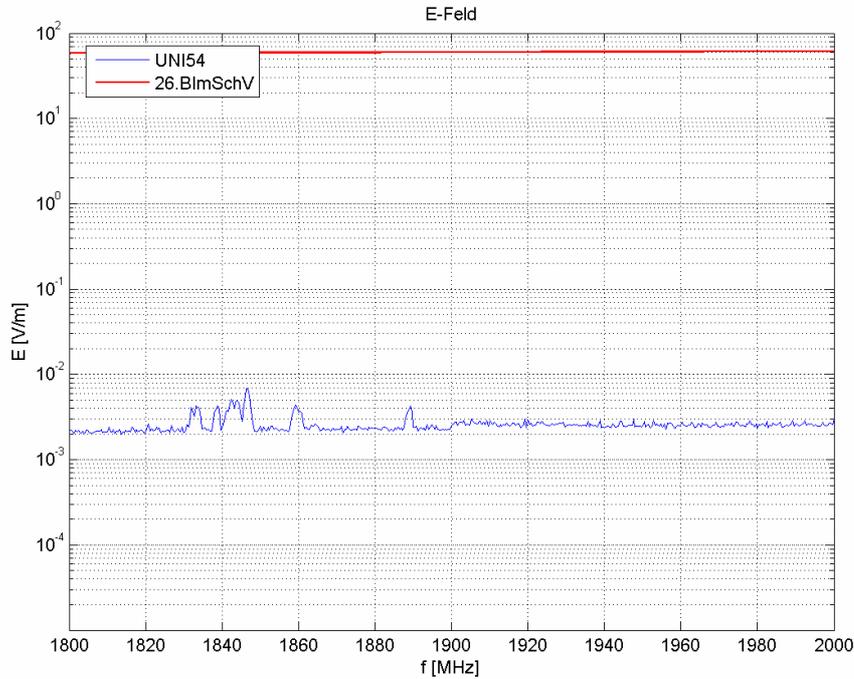


Abbildung 115 UNI54, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

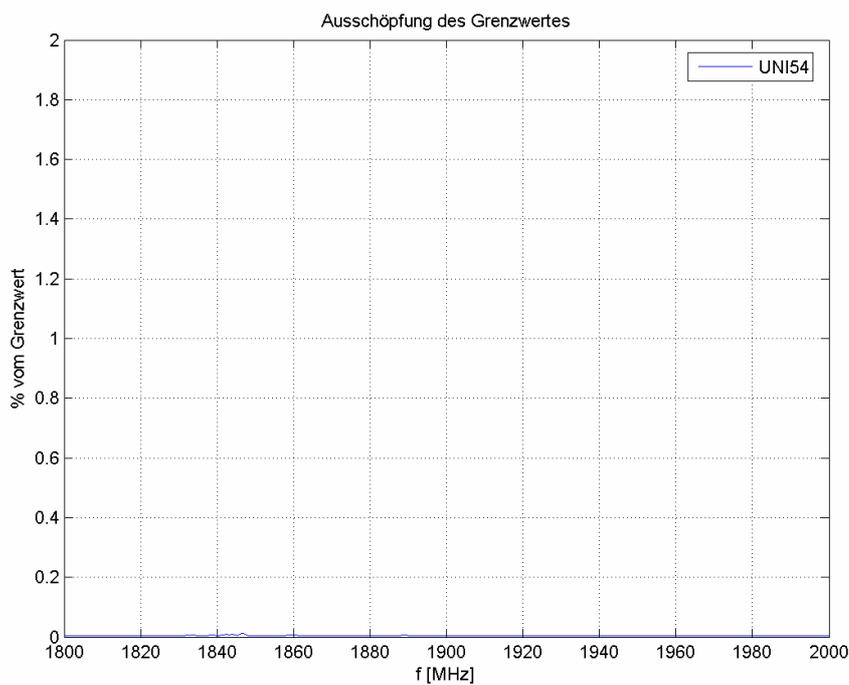


Abbildung 116 UNI54, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent

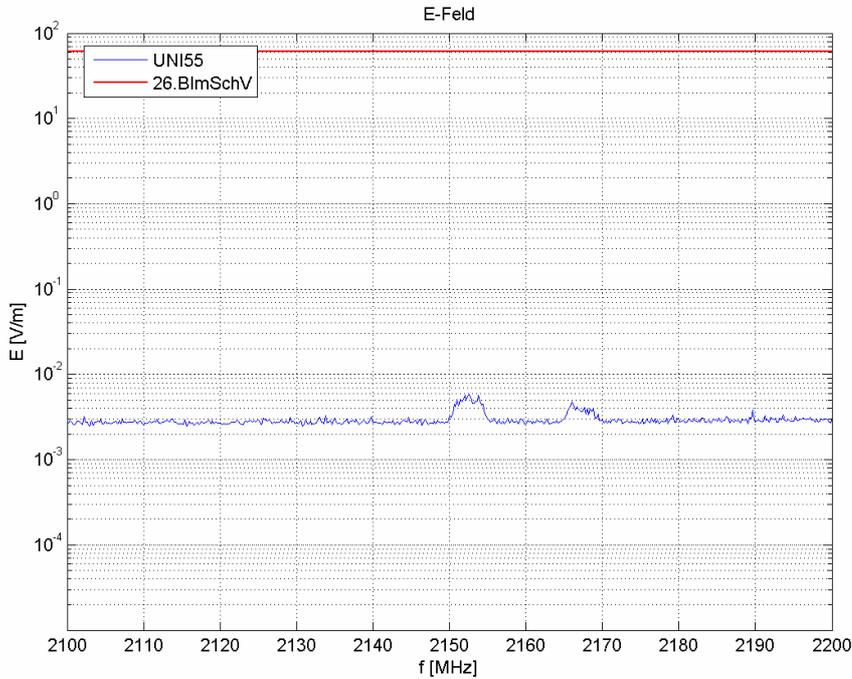


Abbildung 117 UNI55, Darstellung des Mess- und Grenzwertes

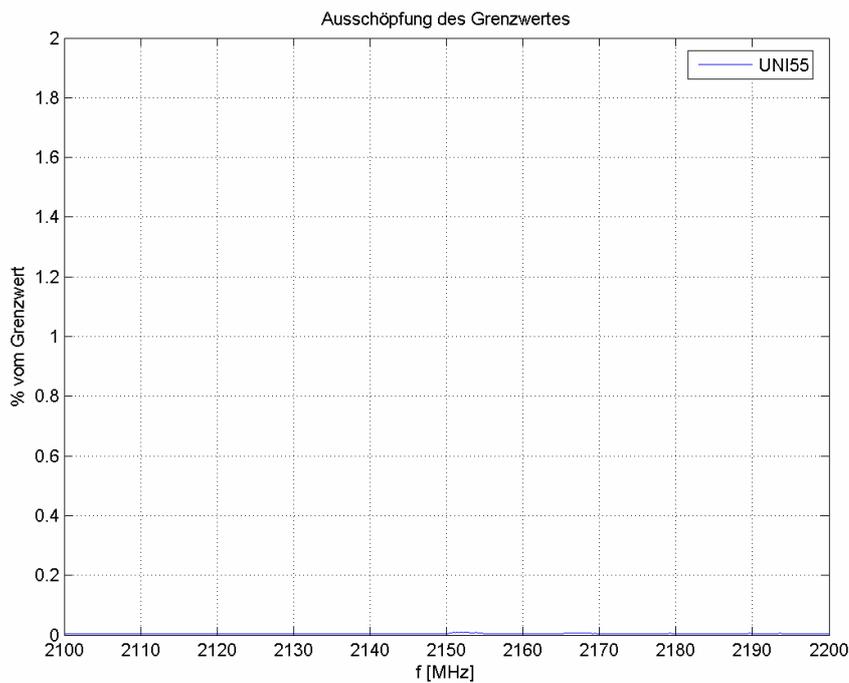


Abbildung 118 UNI55, Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent