

9.9 Mess-Szenario Flugzeug (Boeing 747)

Ein weiteres Mess-Szenario waren Messungen im Flugzeug. Hierbei sollte mit mehreren aktiven Handys und sich bewegenden Personen festgestellt werden, ob es an einem definierten Platz im Flugzeug zu Feldstärkeüberhöhungen kommen kann.

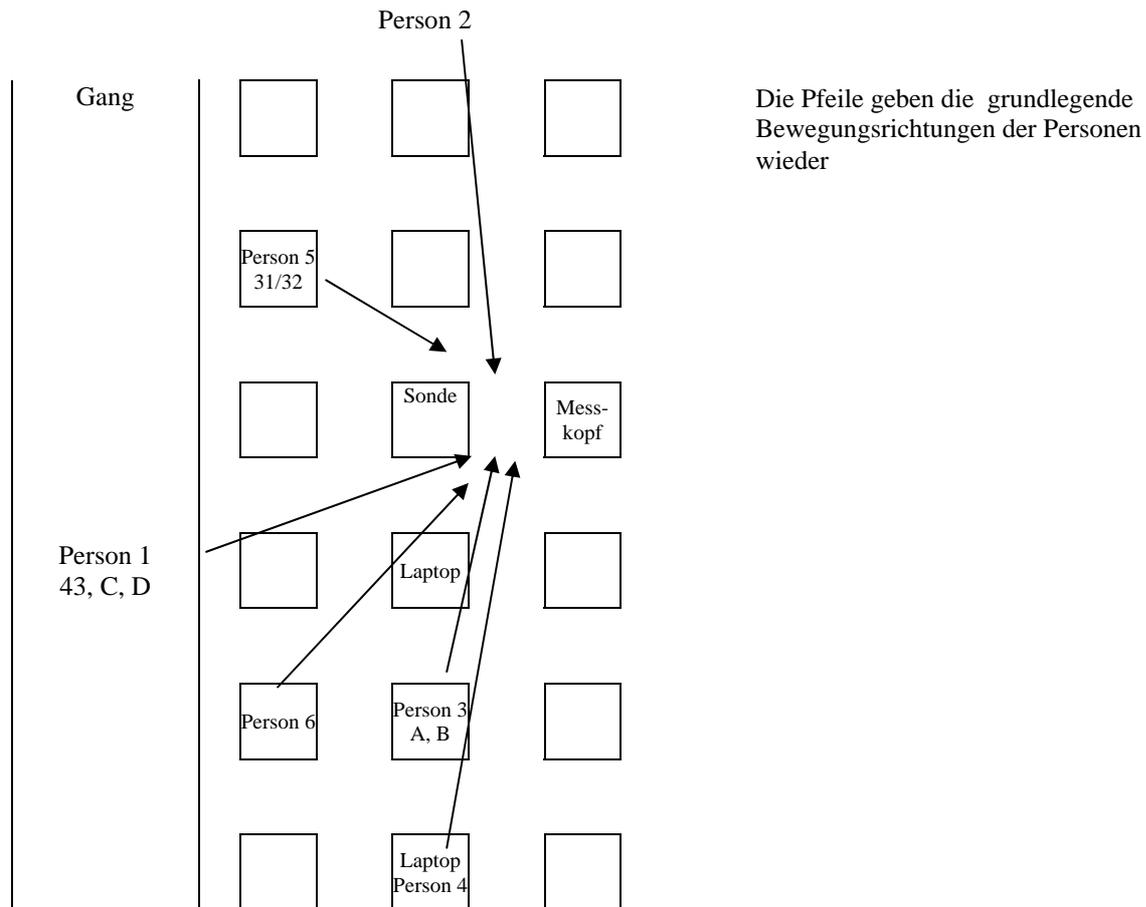


Abbildung 298

Abbildung 298 zeigt als Lageplan die Anordnung von Sitzen, Mess-Sonden, Messkopf und beteiligten Personen.

Abbildung 299 zeigt die Innenansicht der Boeing 747 Typ 200 anlässlich der ersten Besichtigung. Die Bestuhlung besteht aus 3 Reihen vom Fenster, erster Mittelgang, dann anschließend wieder drei Reihen. (Die Farbunterschiede bei den Fotos beruht auf der unterschiedlichen Farbverwaltung der eingesetzten Kameras.)

Abbildung 300 und **Abbildung 302** zeigen zwei der Versuchspersonen, die sich in Richtung des Maschek-Messkopfes (schwarze Kugel) und der links davon platzierten E-Feldsonde bewegen.

Abbildung 301 zeigt einen Teil der verkabelten Handys.



Abbildung 299



Abbildung 300



Abbildung 301



Abbildung 302

9.1.1 Erste Messreihe um ca. 15:00 Uhr

Eine erste Messreihe wurde um 14:40 nachmittags begonnen. Bei dieser ersten Messreihe waren insgesamt sechs Mobiltelefone aktiv, davon waren zwei Mobiltelefone im E-Plus-Netz (nur 1800 MHz), zwei Telefone im D1-Netz davon ein Mehrbandgerät (900 MHz und 1800 MHz) und ein Einbandgerät (nur 900 MHz; IMEI-Nr...5642) und vier Telefone im D2-Netz (900 MHz und 1800 MHz) eingebucht.

Die Mobiltelefone wurden ab 14:50 eingeschaltet und die Personen näherten sich, während sie permanent sprachen, den Passagierplätzen auf denen die Sonde und der Maschek-Messkopf platziert waren. Auch bei diesen Messungen wurde permanent gesprochen, um die Aktivierung des DTX-Modus zu verhindern. Wäre nicht gesprochen worden, wäre der DTX-Modus aktiv geworden und die Emissionen wären extrem zurückgegangen.

Die **Abbildung 303** zeigt die von der EMR-Feldsonde gemessene Leistungsdichte in W/m^2 , der Grenzwert beträgt bei 900 MHz $4,5 W/m^2$ und bei 1800 MHz $9 W/m^2$. **Abbildung 304** ist die Darstellung der **Abbildung 303** in 90-facher Vergrößerung. Aus der Grafik ist zu erkennen, dass ohne Telefonate (bis 14:50) auch bei 90-facher Vergrößerung kein Wert festzustellen ist, d. h. im Leerlauf war im Flugzeug kein störendes Fremdfeld vorhanden.

Jedoch selbst bei sechs aktiven Telefonaten und sich auf die Messgeräte (Maschek-Messkopf und EMR-Sonde) hinzu bewegend Personen kommt es zu keinen Feldstärkewerten, die auch nur annähernd in den Bereich des Grenzwertes erreichen.

Eine einzelne Spitze tritt zu dem Zeitpunkt auf, bei dem - wie auch bei anderen Messungen - bewusst eines der Mobiltelefone direkt bei der Sonde platziert wurde, um auf dem Display des Messgerätes eine Anzeige zu erkennen.

Auf dem Platz neben der Sonde war der Maschek-Messkopf platziert. Auch der Maschek-Messkopf zeigt keine Werte an, die auch nur annähernd die Nähe des Grenzwertes von 2 Watt/kg erreichen. (**Abbildung 305**). Erst in 50-facher Vergrößerung (**Abbildung 306**) sind Werte und die beiden Spitzen beim Funktionstest durch ein Mobiltelefon zu erkennen.

Zusammenfassend ist zu bewerten, dass bei der Nutzung von sechs Mobiltelefonen direkt in der Nähe der beiden Messplätze, es zu keinen relevanten Feldstärkeüberhöhungen kommt.

Tabelle 47 zeigt die Daten, die aus dem Maschek-Messkopf ausgelesen wurden. **Tabelle 46** die Werte für die EMR-Feldsonde.

Abbildung 307 zeigt die Daten an der Schnittstelle 31. Hierbei handelt es sich um ein D1-Mobiltelefon. Interessant ist das Regelverhalten dieses Mobiltelefones, das ausführlich in **Tabelle 48** dargestellt ist. Obwohl die Feldversorgung an dieser Stelle auch für das D1-Netz sehr gut ist - nach Einbuchen in einen Kanal beginnt sofort der Regelvorgang -, ist dieses Mobiltelefon in einem permanenten Umbuchungszustand verhaftet. Aus den Daten in **Tabelle 48**, bei der die Kanalnummern farblich unterlegt sind, ist dies sehr gut zu erkennen. Z. B. befindet sich das Mobiltelefon um die Uhrzeit 15:03:48 im Kanal 35, nachdem es dort heruntergeregelt wurde, wechselt es um 15:03:54 in den Kanal 17, auch noch im GSM 900-

Netz, nachdem es auch dort auf 500 mW herunter geregelt wurde, wechselt es um 15:04:00 in den Kanal 591 im GSM 1800-Netz, um dann von 1000 mW auf 640 mW herunter zu regeln, um 14:04:06, also sechs Sekunden später, springt es jedoch wieder in einen GSM 900-Kanal, regelt dort von 2000 mW herunter bis auf 31 mW und springt dann um 15:04:22, also 15 Sekunden, nachdem es sich in diesen Kanal eingebucht hat und schon sehr weit aufgrund der guten Feldversorgung herunter geregelt hat, in einen anderen Kanal (Kanal 17), beginnt dort wieder mit 2000 mW, regelt dann wieder herunter auf nur 31 mW, um dann um 15:04:48, 24 Sekunden später, wieder in einen Kanal im GSM 1800 MHz-Netz zu wechseln und dann wieder herunterzuregeln, 10 Sekunden später springt es in einen Kanal im GSM 900 MHz-Netz, regelt dann von 2 Watt wieder herunter auf 199 mW, um nur 10 Sekunden später wieder in einen anderen Kanal des GSM 900-Netzes zu springen, wechselt 10 Sekunden später wiederum in einen GSM 1800-Kanal, in dem es ca. vier Sekunden bleibt, um dann wieder einen GSM 900-Kanal zu nutzen, in diesem Kanal bleibt es nur sechs Sekunden, wechselt dann wiederum in einen Kanal des GSM 1800-Netzes, in dem es ebenfalls ca. sechs Sekunden bleibt, um dann wieder in einen Kanal des GSM 900-Netzes zu wechseln.

Auch an der Fortsetzung der **Tabelle 48** ist zu erkennen, dass bei diesem eingebuchten Mobiltelefon ein permanenter Wechsel die Regel ist.

Diese permanenten Wechsel führen natürlich zu einer höheren gemittelten Leistung, die ohne Wechsel sehr viel niedriger wäre. D. h. dieses Mobiltelefon, angeschlossen an der Schnittstelle 31, bringt einen hohen Emissionsbeitrag sowohl im GSM 900- als auch im GSM 1800-Netz.

Nur wenige Zentimeter entfernt von dem Schnittstellen-31-Mobiltelefon war ein anderes Mobiltelefon im gleichen D1-Netz an die Schnittstelle 32 angeschlossen.

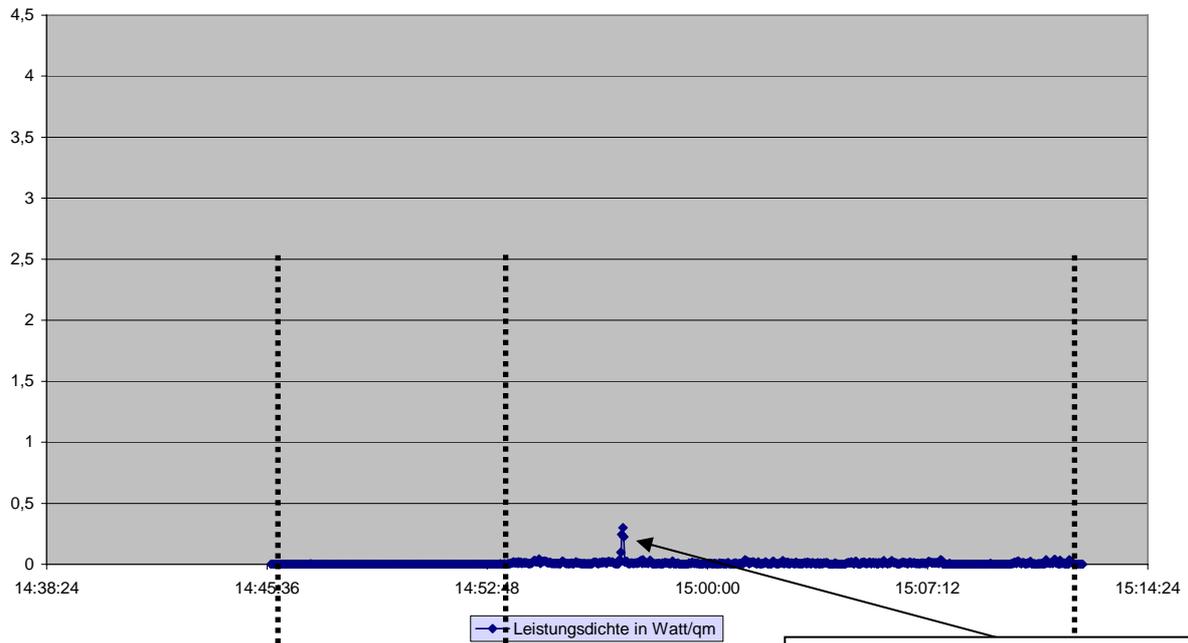
Bei diesem Mobiltelefon handelte es sich um ein Nokia 6110 (Einbandgerät für 900 MHz). Da dieses Telefon nicht in das GSM 1800 Netz wechseln kann, ist ein völlig anderes Regelverhalten zu erkennen. Das Mobiltelefon bucht sich (in **Tabelle 49** ist ein Ausschnitt aus dem Datensatz dargestellt) in das GSM 900-Netz ein und regelt dann die Leistung herunter. Ab und zu wird dennoch der Kanal gewechselt. Der Beitrag zur Strahlungsimmission, der von diesem Handy ausgeht, ist viel geringer.

Auch an diesen Daten ist zu erkennen, dass es nicht vorhersehbar ist, mit welcher Leistung ein Mobiltelefon im Wirkbetrieb senden wird. Zwei Telefone, nur wenige Zentimeter von einander entfernt, eines am linken Ohr, das andere am rechten Ohr, können aufgrund des Netzregelverhaltens und der Netzlast in völlig unterschiedlichen Kanälen, teilweise auch Basisstationen oder Frequenzbändern 1800 oder 900 MHz eingebucht sein, und völlig unterschiedliche Beiträge zur Immission leisten.

Abbildung 311 zeigt ein an der Schnittstelle 37 angeschlossenes Mobiltelefon im D2-Netz. Hier ist ein eindeutiges klares Regelverhalten zu erkennen, das Mobiltelefon bucht sich im 900 MHz-Netz ein, regelt dann weiter herunter und bleibt in diesem Kanal. Ein anderes Telefon, nur wenige Zentimeter entfernt, im gleichen Netz, hat ein abweichendes Regelverhalten, dies ist in **Abbildung 313** zu erkennen, **Tabelle 50** zeigt die entsprechenden Daten aus den Netzmonitor-Dateien. Es tritt ein Kanalwechsel auf, dies ist beim Hochregeln auf 2000 mW zu sehen, es bleibt jedoch an dieser Lokalität im GSM 900-Netz.

Die Schnittstellen 42 und 41 waren belegt mit Mobiltelefonen, die im E-Plus-Netz eingebucht waren. E-Plus verfügte zu dem damaligen Zeitpunkt an dem Messort nur über 1800 MHz-Bänder. Erkennbar ist eine verhältnismäßig hohe Sendeleistung mit Kanalwechseln aufgrund der an dieser Stelle nicht so guten Feldversorgung. In **Abbildung 339** bleibt das Mobiltelefon die gesamte Zeit in einem Kanal bei der Leistung von 1000 mW.

EMR, Boeing_13 08.06.2006



EMR-Funktionstest durch Heranführen einer Emissionsquelle

Abbildung 303

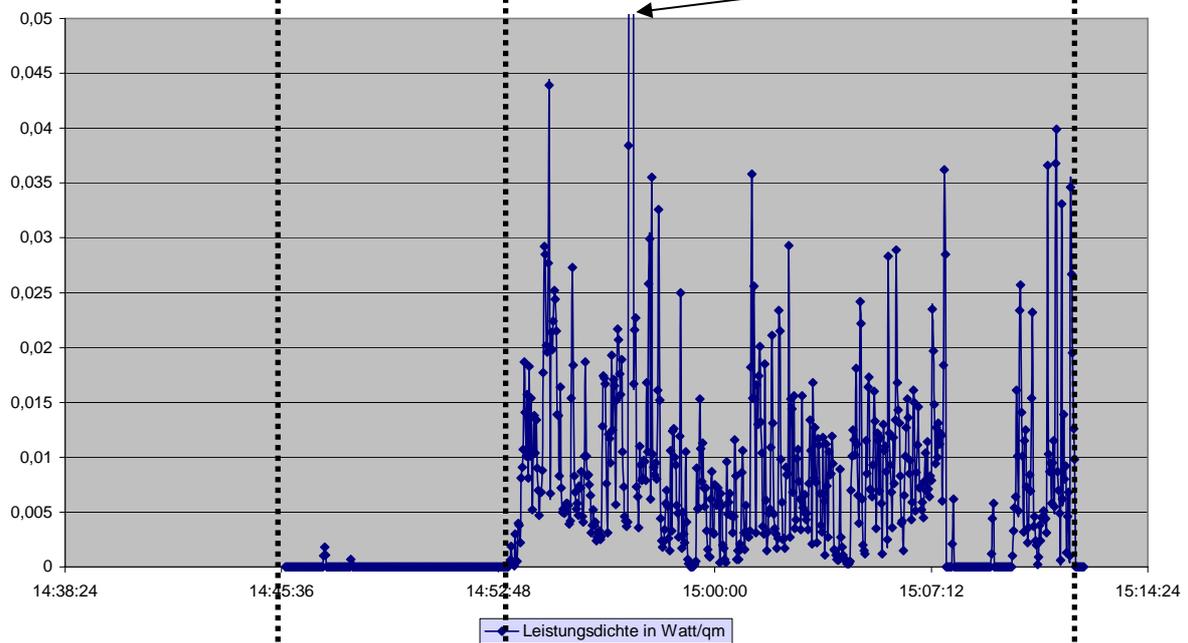


Abbildung 304 (90-fache Vergrößerung)

Handys im Leerlauf

6 Handys mit und ohne Sprechen in der Nähe der E-Feld-Messsonde

START					
EMR-300 - H-0005 - V03,01	Probe: 18	type: E	Datum: 8. Juni 2006		
Calibr Factor: 0,900	Unit: W/m*m	Max: OFF	Average: OFF		
Index	Time	x	y	z	Eff
220	14:53:02,0	0	0	0	0
221	14:53:04,0	0	0	0	0
222	14:53:06,0	0	0	0	0
223	14:53:08,0	0	0	0	0
224	14:53:10,0	0	0	0,0002	0,0002
225	14:53:12,0	0	0,0001	0,0005	0,0006
226	14:53:14,0	0,0003	0,0003	0,0013	0,0019
227	14:53:16,0	0,0001	0,0001	0,0003	0,0005
228	14:53:18,0	0,0001	0,0001	0,0002	0,0004
229	14:53:20,0	0	0	0,0001	0,0001
230	14:53:22,0	0,0007	0,0007	0,0016	0,003
231	14:53:24,0	0	0,0001	0,0004	0,0005
232	14:53:26,0	0,0001	0	0,0004	0,0005
233	14:53:28,0	0,0016	0,0006	0,0018	0,004
234	14:53:30,0	0,0025	0,0003	0,001	0,0038
235	14:53:32,0	0,0012	0,0003	0,0007	0,0022
236	14:53:34,0	0,0048	0,0015	0,0018	0,0081
237	14:53:36,0	0,0044	0,0018	0,0029	0,0091
238	14:53:38,0	0,0055	0,0015	0,0037	0,0107
239	14:53:40,0	0,0102	0,0022	0,0063	0,0187
240	14:53:42,0	0,0058	0,0017	0,0066	0,0141
241	14:53:44,0	0,0052	0,0013	0,0036	0,0101
242	14:53:46,0	0,0056	0,0032	0,0069	0,0157
243	14:53:48,0	0,0018	0,0009	0,0054	0,0081
244	14:53:50,0	0,0053	0,0033	0,0097	0,0183
245	14:53:52,0	0,0017	0,0021	0,0063	0,0101
246	14:53:54,0	0,0029	0,0023	0,0102	0,0154
247	14:53:56,0	0,0031	0,0009	0,0012	0,0052
248	14:53:58,0	0,0061	0,0012	0,003	0,0103
249	14:54:00,0	0,0072	0,0023	0,0043	0,0138
250	14:54:02,0	0,0062	0,0012	0,003	0,0104
251	14:54:04,0	0,0068	0,0033	0,0033	0,0134
252	14:54:06,0	0,0054	0,002	0,0016	0,009
253	14:54:08,0	0,0054	0,0008	0,0008	0,007
254	14:54:10,0	0,0033	0,001	0,0004	0,0047
255	14:54:12,0	0,0026	0,0008	0,0034	0,0068
256	14:54:14,0	0,004	0,0013	0,0015	0,0068
257	14:54:16,0	0,0039	0,0011	0,0038	0,0088
258	14:54:18,0	0,0049	0,0027	0,0101	0,0177
259	14:54:20,0	0,0136	0,0017	0,0139	0,0292
260	14:54:22,0	0,014	0,0025	0,012	0,0285
261	14:54:24,0	0,0084	0,0044	0,0074	0,0202
262	14:54:26,0	0,0081	0,0035	0,008	0,0196
263	14:54:28,0	0,0104	0,0043	0,013	0,0277
264	14:54:30,0	0,0267	0,0051	0,0121	0,0439
265	14:54:32,0	0,0035	0,0014	0,0018	0,0067
266	14:54:34,0	0,0114	0,0036	0,0064	0,0214
267	14:54:36,0	0,0101	0,0037	0,006	0,0198
268	14:54:38,0	0,0119	0,0037	0,0068	0,0224
269	14:54:40,0	0,0142	0,002	0,009	0,0252
270	14:54:42,0	0,0139	0,0021	0,0084	0,0244
271	14:54:44,0	0,0117	0,0041	0,0057	0,0215
272	14:54:46,0	0,0066	0,0033	0,004	0,0139
273	14:54:48,0	0,0076	0,0027	0,0035	0,0138
274	14:54:50,0	0,0046	0,0017	0,002	0,0083
275	14:54:52,0	0,0114	0,0024	0,0026	0,0164

Tabelle 46

Maschek GSM 900, 747-1
08.06.2006

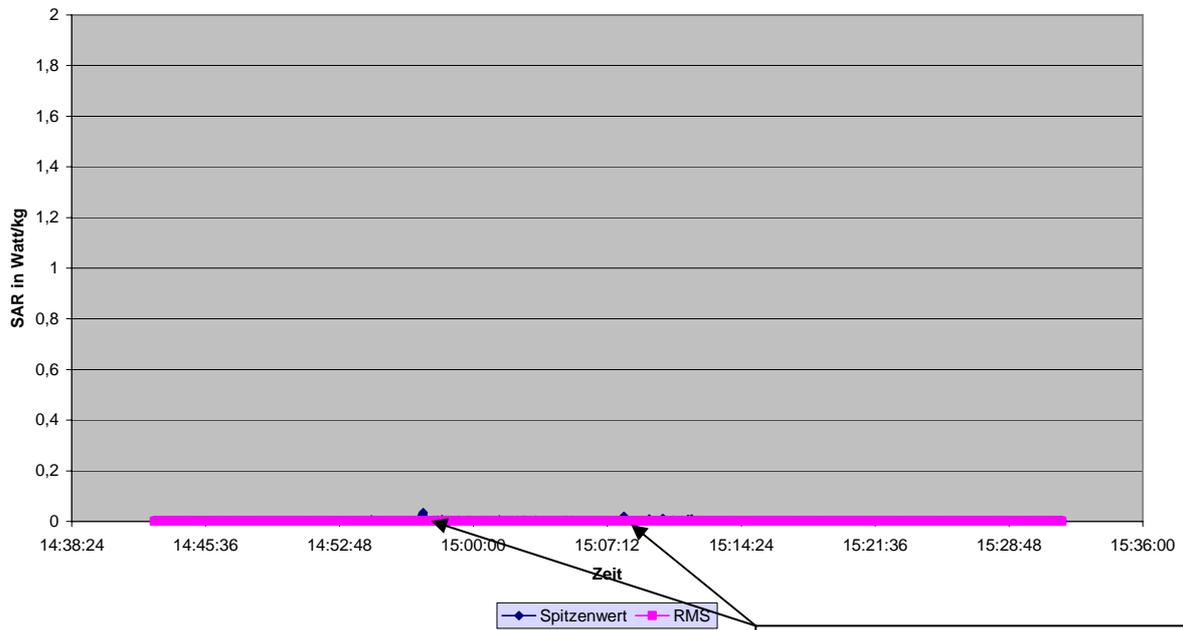


Abbildung 305

Funktionstest durch Heranführen einer Emissionsquelle

Maschek GSM 900, 747-1
08.06.2006

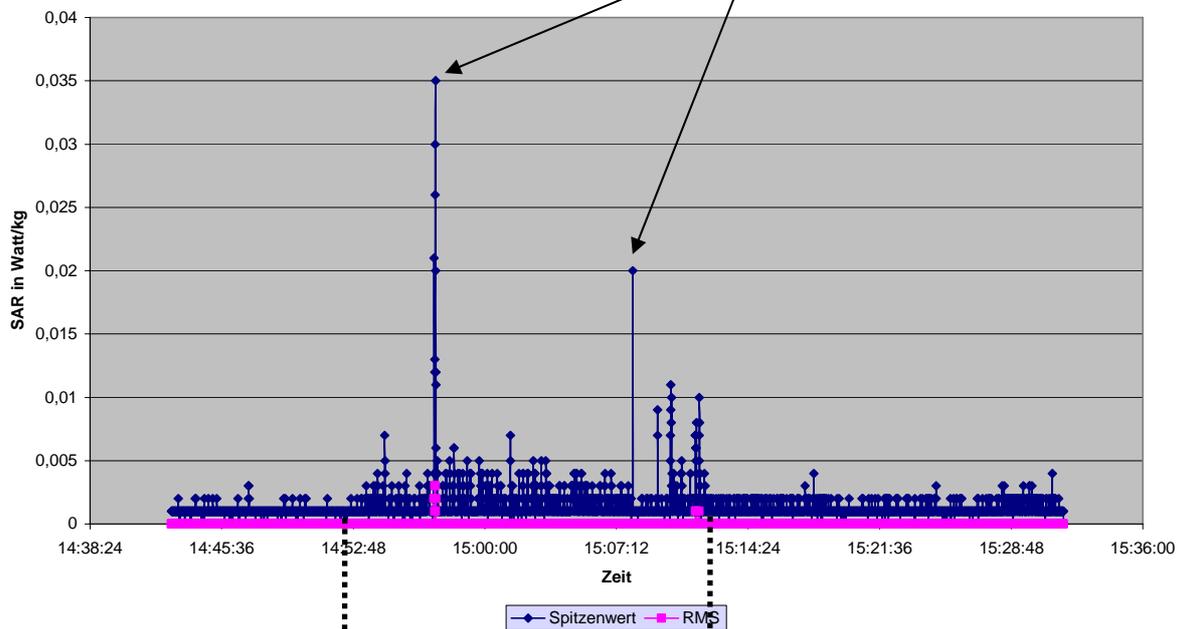


Abbildung 306 (50-fache Vergrößerung)

Messzyklus

Datum	Uhrzeit	Spitzenwert	RSM-Wert	Netz
08.06.06	14:57:03	0,001	0	GSM-900
08.06.06	14:57:04	0,001	0	GSM-900
08.06.06	14:57:05	0,001	0	GSM-900
08.06.06	14:57:05	0,001	0	GSM-900
08.06.06	14:57:06	0,001	0	GSM-900
08.06.06	14:57:06	0,001	0	GSM-900
08.06.06	14:57:07	0,001	0	GSM-900
08.06.06	14:57:08	0,001	0	GSM-900
08.06.06	14:57:08	0,001	0	GSM-900
08.06.06	14:57:09	0,001	0	GSM-900
08.06.06	14:57:09	0	0	GSM-900
08.06.06	14:57:10	0,001	0	GSM-900
08.06.06	14:57:11	0,002	0	GSM-900
08.06.06	14:57:11	0,002	0	GSM-900
08.06.06	14:57:12	0,002	0	GSM-900
08.06.06	14:57:12	0,004	0	GSM-900
08.06.06	14:57:13	0,021	0,002	GSM-900
08.06.06	14:57:14	0,002	0	GSM-900
08.06.06	14:57:14	0,001	0	GSM-900
08.06.06	14:57:15	0,001	0	GSM-900
08.06.06	14:57:15	0,012	0	GSM-900
08.06.06	14:57:16	0,013	0,001	GSM-900
08.06.06	14:57:16	0,026	0,003	GSM-900
08.06.06	14:57:17	0,03	0,003	GSM-900
08.06.06	14:57:18	0,035	0,001	GSM-900
08.06.06	14:57:18	0,02	0,002	GSM-900
08.06.06	14:57:19	0,012	0,002	GSM-900
08.06.06	14:57:19	0,011	0	GSM-900
08.06.06	14:57:20	0,006	0	GSM-900
08.06.06	14:57:21	0,002	0	GSM-900
08.06.06	14:57:21	0,001	0	GSM-900
08.06.06	14:57:22	0,001	0	GSM-900
08.06.06	14:57:22	0,003	0	GSM-900
08.06.06	14:57:23	0,004	0	GSM-900
08.06.06	14:57:24	0,005	0	GSM-900
08.06.06	14:57:24	0,004	0	GSM-900
08.06.06	14:57:25	0,002	0	GSM-900
08.06.06	14:57:25	0,001	0	GSM-900
08.06.06	14:57:26	0,001	0	GSM-900
08.06.06	14:57:27	0,002	0	GSM-900
08.06.06	14:57:27	0,001	0	GSM-900
08.06.06	14:57:28	0,001	0	GSM-900
08.06.06	14:57:28	0,001	0	GSM-900
08.06.06	14:57:29	0,001	0	GSM-900
08.06.06	14:57:29	0,001	0	GSM-900

Tabelle 47

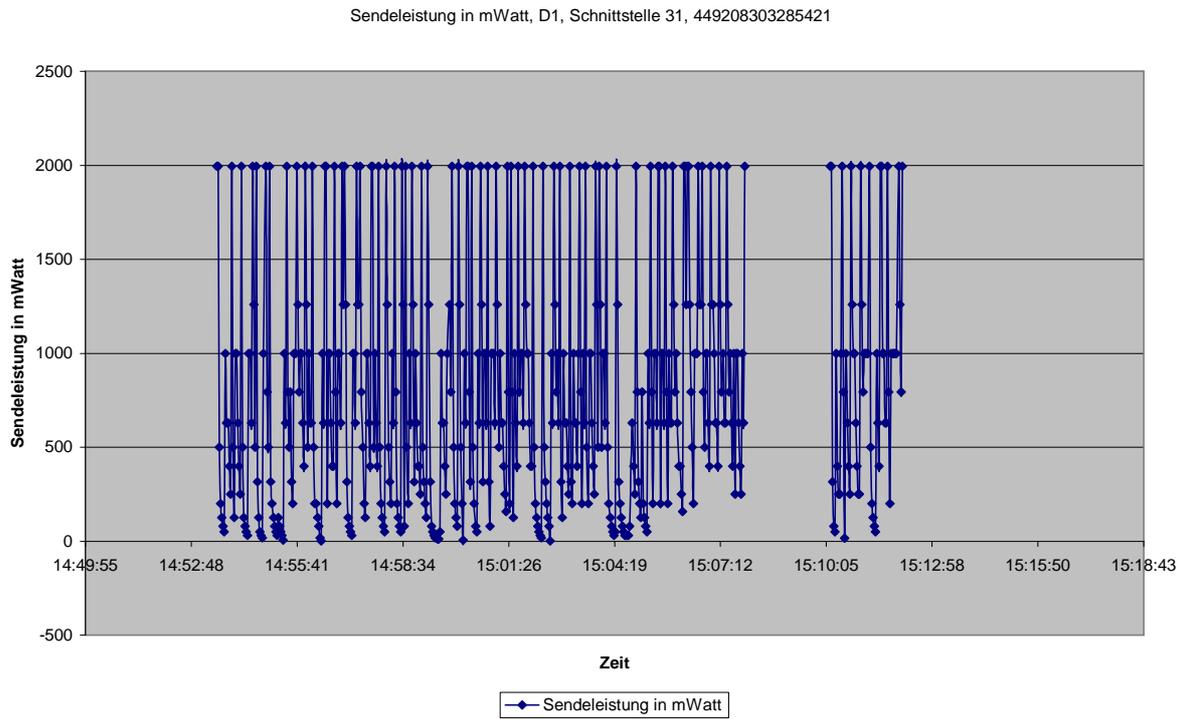


Abbildung 307

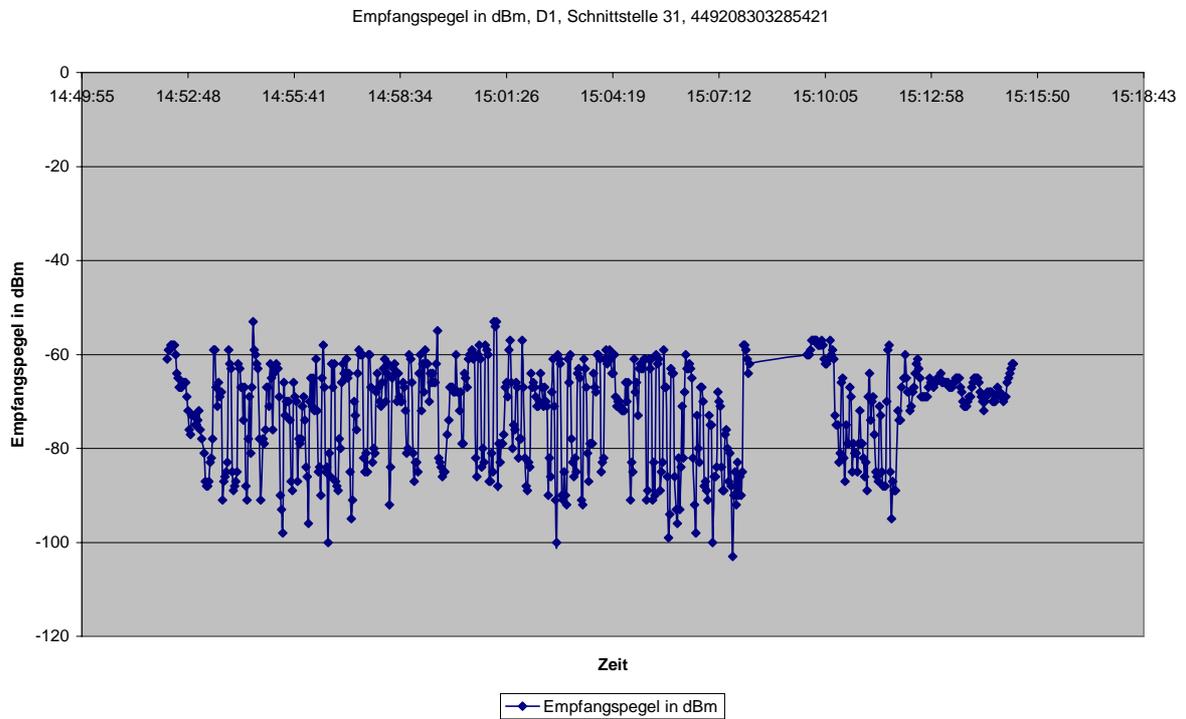


Abbildung 308

Datum	Uhrzeit	Cell-ID	Rufzone	Netz-ID	Empfangs- pegel in dBm	Sendelst. in mW	Kanal- nummer
08.06.2006	15:03:48	25022	26638	26201	-64	1995	35
08.06.2006	15:03:50	21720	26638	26201	-67	1258	35
08.06.2006	15:03:52	21720	26638	26201	-68	501	35
08.06.2006	15:03:54	21720	26638	26201	-60	1995	17
08.06.2006	15:03:56	13004	26638	26201	-60	1258	17
08.06.2006	15:03:58	13004	26638	26201	-61	501	17
08.06.2006	15:04:00	13004	26638	26201	-85	1000	591
08.06.2006	15:04:02	25022	26638	26201	-83	1000	591
08.06.2006	15:04:04	25022	26638	26201	-82	630	591
08.06.2006	15:04:06	25022	26638	26201	-61	1995	35
08.06.2006	15:04:08	21720	26638	26201	-59	501	35
08.06.2006	15:04:10	21720	26638	26201	-62	199	35
08.06.2006	15:04:12	21720	26638	26201	-61	125	35
08.06.2006	15:04:14	21720	26638	26201	-59	79	35
08.06.2006	15:04:16	21720	26638	26201	-61	50	35
08.06.2006	15:04:18	21720	26638	26201	-64	31	35
08.06.2006	15:04:20	21720	26638	26201	-64	50	35
08.06.2006	15:04:22	21720	26638	26201	-60	1995	17
08.06.2006	15:04:24	13004	26638	26201	-69	1258	17
08.06.2006	15:04:26	13004	26638	26201	-71	316	17
08.06.2006	15:04:28	13004	26638	26201	-70	199	17
08.06.2006	15:04:30	13004	26638	26201	-70	125	17
08.06.2006	15:04:32	13004	26638	26201	-71	79	17
08.06.2006	15:04:34	13004	26638	26201	-72	50	17
08.06.2006	15:04:36	13004	26638	26201	-72	31	17
08.06.2006	15:04:38	13004	26638	26201	-72	31	17
08.06.2006	15:04:40	13004	26638	26201	-66	31	17
08.06.2006	15:04:42	13004	26638	26201	-70	31	17
08.06.2006	15:04:44	13004	26638	26201	-66	79	17
08.06.2006	15:04:48	25022	26638	26201	-91	630	591
08.06.2006	15:04:50	25022	26638	26201	-83	398	591
08.06.2006	15:04:52	25022	26638	26201	-85	251	591
08.06.2006	15:04:54	25022	26638	26201	-61	1995	35
08.06.2006	15:04:56	21720	26638	26201	-68	794	35
08.06.2006	15:04:58	21720	26638	26201	-66	316	35
08.06.2006	15:05:00	21720	26638	26201	-73	199	35
08.06.2006	15:05:02	21720	26638	26201	-63	125	17
08.06.2006	15:05:04	13004	26638	26201	-62	794	17
08.06.2006	15:05:06	13004	26638	26201	-63	199	17
08.06.2006	15:05:08	13004	26638	26201	-63	125	17
08.06.2006	15:05:10	13004	26638	26201	-61	79	17
08.06.2006	15:05:12	13004	26638	26201	-61	50	17
08.06.2006	15:05:14	13004	26638	26201	-91	1000	591
08.06.2006	15:05:16	25022	26638	26201	-89	630	591
08.06.2006	15:05:18	25022	26638	26201	-61	1995	35
08.06.2006	15:05:20	21720	26638	26201	-63	794	35
08.06.2006	15:05:22	21720	26638	26201	-61	199	35
08.06.2006	15:05:24	21720	26638	26201	-91	1000	591
08.06.2006	15:05:26	25022	26638	26201	-83	1000	591
08.06.2006	15:05:28	25022	26638	26201	-90	630	591
08.06.2006	15:05:30	25022	26638	26201	-60	1995	17
08.06.2006	15:05:32	13004	26638	26201	-62	1995	17
08.06.2006	15:05:34	13004	26638	26201	-61	199	17
08.06.2006	15:05:36	13004	26638	26201	-89	1000	591
08.06.2006	15:05:38	25022	26638	26201	-85	1000	591
08.06.2006	15:05:40	25022	26638	26201	-83	630	591
08.06.2006	15:05:42	25022	26638	26201	-59	1995	35
08.06.2006	15:05:44	21720	26638	26201	-67	794	35
08.06.2006	15:05:46	21720	26638	26201	-67	199	35
08.06.2006	15:05:48	21720	26638	26201	-86	1000	598
08.06.2006	15:05:50	25160	26638	26201	-99	630	598
08.06.2006	15:05:52	25160	26638	26201	-94	630	598

Datum	Uhrzeit	Cell-ID	Rufzone	Netz-ID	Empfangs- pegel in dBm	Sendelst. in mW	Kanal- nummer
08.06.2006	15:05:54	25160	26638	26201	-63	1995	35
08.06.2006	15:06:00	25022	26638	26201	-86	1000	591
08.06.2006	15:06:02	25022	26638	26201	-93	630	591
08.06.2006	15:06:04	25022	26638	26201	-96	398	591
08.06.2006	15:06:06	25022	26638	26201	-82	398	591
08.06.2006	15:06:08	25022	26638	26201	-93	251	591
08.06.2006	15:06:10	25022	26638	26201	-84	158	591
08.06.2006	15:06:12	25022	26638	26201	-71	1995	17
08.06.2006	15:06:14	13004	26638	26201	-82	1995	17
08.06.2006	15:06:16	13004	26638	26201	-68	1258	17
08.06.2006	15:06:18	13004	26638	26201	-60	1995	35
08.06.2006	15:06:20	21720	26638	26201	-63	1995	35
08.06.2006	15:06:22	21720	26638	26201	-63	1258	35
08.06.2006	15:06:24	21720	26638	26201	-62	794	35
08.06.2006	15:06:26	21720	26638	26201	-63	501	35
08.06.2006	15:06:28	21720	26638	26201	-65	199	35
08.06.2006	15:06:30	21720	26638	26201	-82	1000	598
08.06.2006	15:06:32	25160	26638	26201	-92	1000	598
08.06.2006	15:06:34	25160	26638	26201	-98	1000	598
08.06.2006	15:06:36	25160	26638	26201	-73	1995	26
08.06.2006	15:06:38	25703	26638	26201	-80	1258	26
08.06.2006	15:06:40	25703	26638	26201	-83	1258	26
08.06.2006	15:06:42	25703	26638	26201	-67	1995	35
08.06.2006	15:06:44	21720	26638	26201	-67	794	35
08.06.2006	15:06:46	21720	26638	26201	-70	501	35
08.06.2006	15:06:48	21720	26638	26201	-88	1000	598
08.06.2006	15:06:50	25160	26638	26201	-87	1000	598
08.06.2006	15:06:52	25160	26638	26201	-89	630	598
08.06.2006	15:06:54	25160	26638	26201	-91	398	598
08.06.2006	15:06:56	25160	26638	26201	-73	1995	26
08.06.2006	15:06:58	25703	26638	26201	-75	1258	26
08.06.2006	15:07:00	25703	26638	26201	-75	1258	26
08.06.2006	15:07:02	25703	26638	26201	-100	1000	598
08.06.2006	15:07:04	25160	26638	26201	-86	630	598
08.06.2006	15:07:06	25160	26638	26201	-86	630	598
08.06.2006	15:07:08	25160	26638	26201	-84	398	598
08.06.2006	15:07:10	25160	26638	26201	-68	1995	35
08.06.2006	15:07:12	21720	26638	26201	-70	1258	35
08.06.2006	15:07:14	21720	26638	26201	-71	794	35
08.06.2006	15:07:16	21720	26638	26201	-84	1000	598
08.06.2006	15:07:18	25160	26638	26201	-89	630	598
08.06.2006	15:07:20	25160	26638	26201	-89	630	598
08.06.2006	15:07:22	25160	26638	26201	-77	1995	26
08.06.2006	15:07:24	25703	26638	26201	-76	1258	26
08.06.2006	15:07:26	25703	26638	26201	-80	794	26
08.06.2006	15:07:28	25703	26638	26201	-87	1000	598
08.06.2006	15:07:30	25160	26638	26201	-81	630	598
08.06.2006	15:07:32	25160	26638	26201	-88	398	598
08.06.2006	15:07:34	25160	26638	26201	-103	1000	598
08.06.2006	15:07:36	25160	26638	26201	-90	251	598
08.06.2006	15:07:38	25160	26638	26201	-85	1000	598
08.06.2006	15:07:40	25160	26638	26201	-92	1000	598
08.06.2006	15:07:42	25160	26638	26201	-83	630	598
08.06.2006	15:07:44	25160	26638	26201	-90	398	598
08.06.2006	15:07:46	25160	26638	26201	-86	251	598
08.06.2006	15:07:48	25160	26638	26201	-90	1000	598
08.06.2006	15:07:50	25160	26638	26201	-85	630	598
08.06.2006	15:07:52	21720	26638	26201	-58	1995	35

Tabelle 48

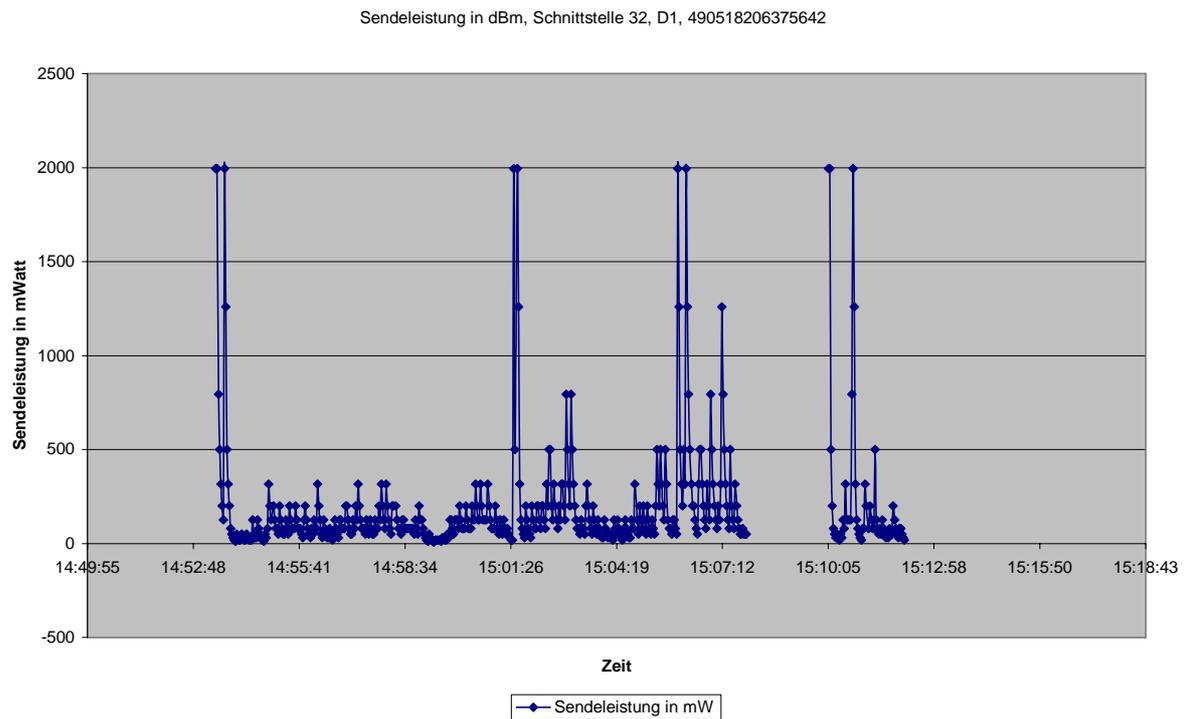


Abbildung 309 (Nokia 6110, nur 900 MHz)

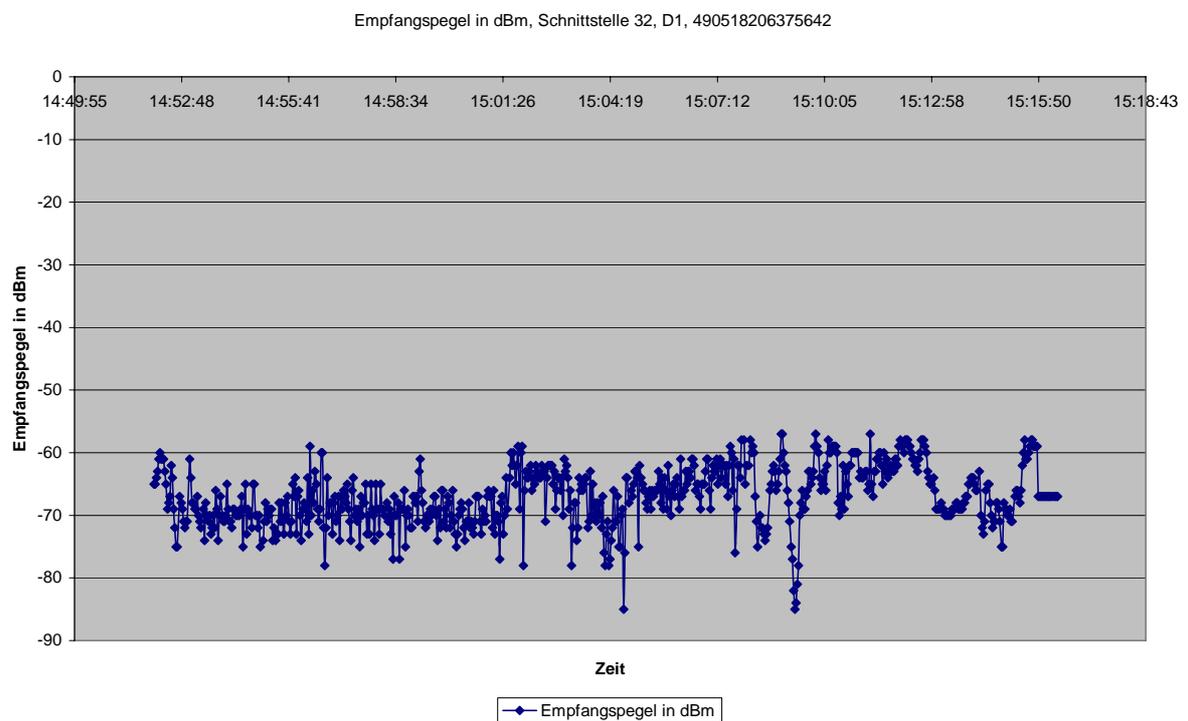


Abbildung 310

Datum	Uhrzeit	Cell-ID	Rufzone	Netz-ID	Empfangs- pegel in dBm	Sendelst. in mW	Kanal- nummer
08.06.2006	15:01:07	21720	26638	26201	-67	50	35
08.06.2006	15:01:09	21720	26638	26201	-72	125	35
08.06.2006	15:01:11	21720	26638	26201	-66	79	35
08.06.2006	15:01:13	21720	26638	26201	-73	50	35
08.06.2006	15:01:15	21720	26638	26201	-70	125	35
08.06.2006	15:01:17	21720	26638	26201	-70	79	35
08.06.2006	15:01:19	21720	26638	26201	-71	50	35
08.06.2006	15:01:21	21720	26638	26201	-77	79	35
08.06.2006	15:01:23	21720	26638	26201	-68	50	35
08.06.2006	15:01:25	21720	26638	26201	-67	31	35
08.06.2006	15:01:27	21720	26638	26201	-73	19	35
08.06.2006	15:01:29	21720	26638	26201	-70	19	35
08.06.2006	15:01:31	21720	26638	26201	-64	1995	17
08.06.2006	15:01:33	13004	26638	26201	-69	501	17
08.06.2006	15:01:37	13004	26638	26201	-64	1995	35
08.06.2006	15:01:39	21720	26638	26201	-60	1258	35
08.06.2006	15:01:41	21720	26638	26201	-62	316	35
08.06.2006	15:01:43	21720	26638	26201	-60	125	35
08.06.2006	15:01:45	21720	26638	26201	-62	79	35
08.06.2006	15:01:47	21720	26638	26201	-65	50	35
08.06.2006	15:01:49	21720	26638	26201	-62	31	35
08.06.2006	15:01:51	21720	26638	26201	-59	199	35
08.06.2006	15:01:53	21720	26638	26201	-69	125	35
...
08.06.2006	15:05:31	21720	26638	26201	-66	501	35
08.06.2006	15:05:33	21720	26638	26201	-66	316	35
08.06.2006	15:05:35	21720	26638	26201	-66	199	35
08.06.2006	15:05:37	21720	26638	26201	-63	125	35
08.06.2006	15:05:39	21720	26638	26201	-65	501	35
08.06.2006	15:05:41	21720	26638	26201	-68	316	35
08.06.2006	15:05:43	21720	26638	26201	-64	125	35
08.06.2006	15:05:45	21720	26638	26201	-69	79	35
08.06.2006	15:05:47	21720	26638	26201	-64	79	35
08.06.2006	15:05:49	21720	26638	26201	-66	50	35
08.06.2006	15:05:51	21720	26638	26201	-69	125	35
08.06.2006	15:05:53	21720	26638	26201	-62	125	35
08.06.2006	15:05:55	21720	26638	26201	-67	79	35
08.06.2006	15:05:57	21720	26638	26201	-70	50	35
08.06.2006	15:05:59	21720	26638	26201	-66	1995	17
08.06.2006	15:06:01	13004	26638	26201	-65	1258	17
08.06.2006	15:06:03	13004	26638	26201	-67	501	17
08.06.2006	15:06:05	13004	26638	26201	-65	316	17
08.06.2006	15:06:07	13004	26638	26201	-64	199	17
08.06.2006	15:06:09	13004	26638	26201	-67	501	17
08.06.2006	15:06:11	13004	26638	26201	-69	316	17
08.06.2006	15:06:13	13004	26638	26201	-61	1995	35
08.06.2006	15:06:15	21720	26638	26201	-67	1258	35
08.06.2006	15:06:17	21720	26638	26201	-66	794	35
08.06.2006	15:06:19	21720	26638	26201	-66	501	35
08.06.2006	15:06:21	21720	26638	26201	-63	316	35
08.06.2006	15:06:23	21720	26638	26201	-65	199	35
08.06.2006	15:06:25	21720	26638	26201	-63	199	35
08.06.2006	15:06:27	21720	26638	26201	-63	125	35
08.06.2006	15:06:29	21720	26638	26201	-64	79	35

Tabelle 49

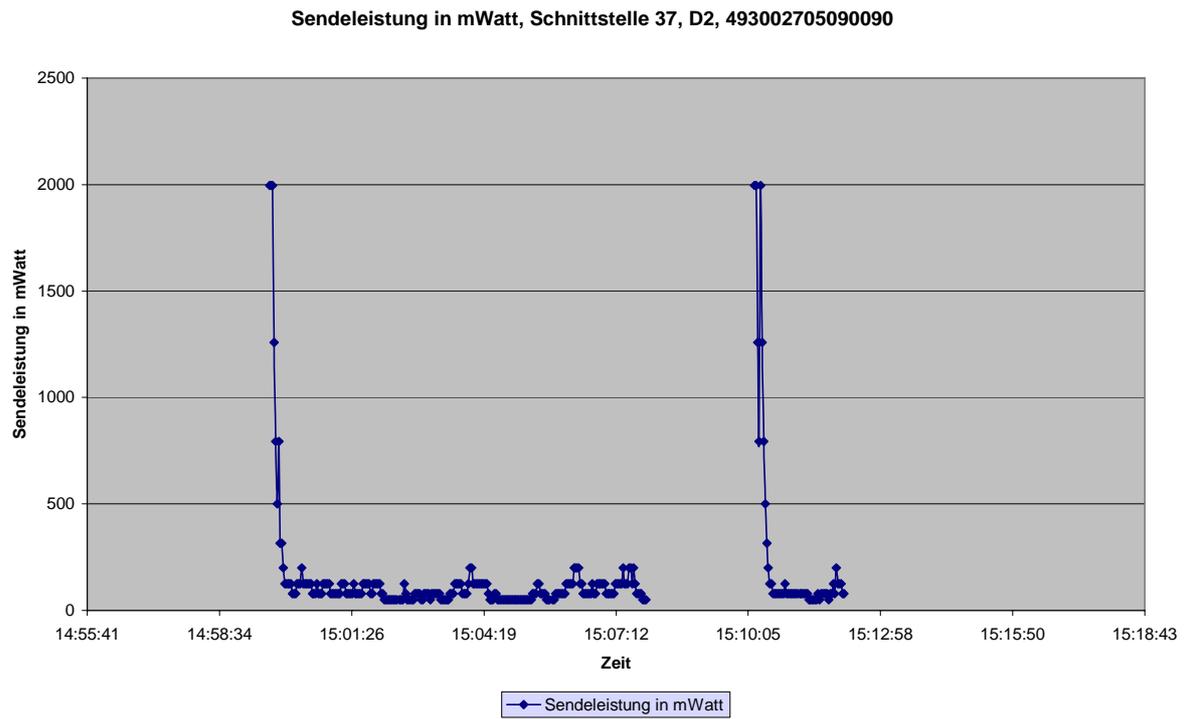


Abbildung 311

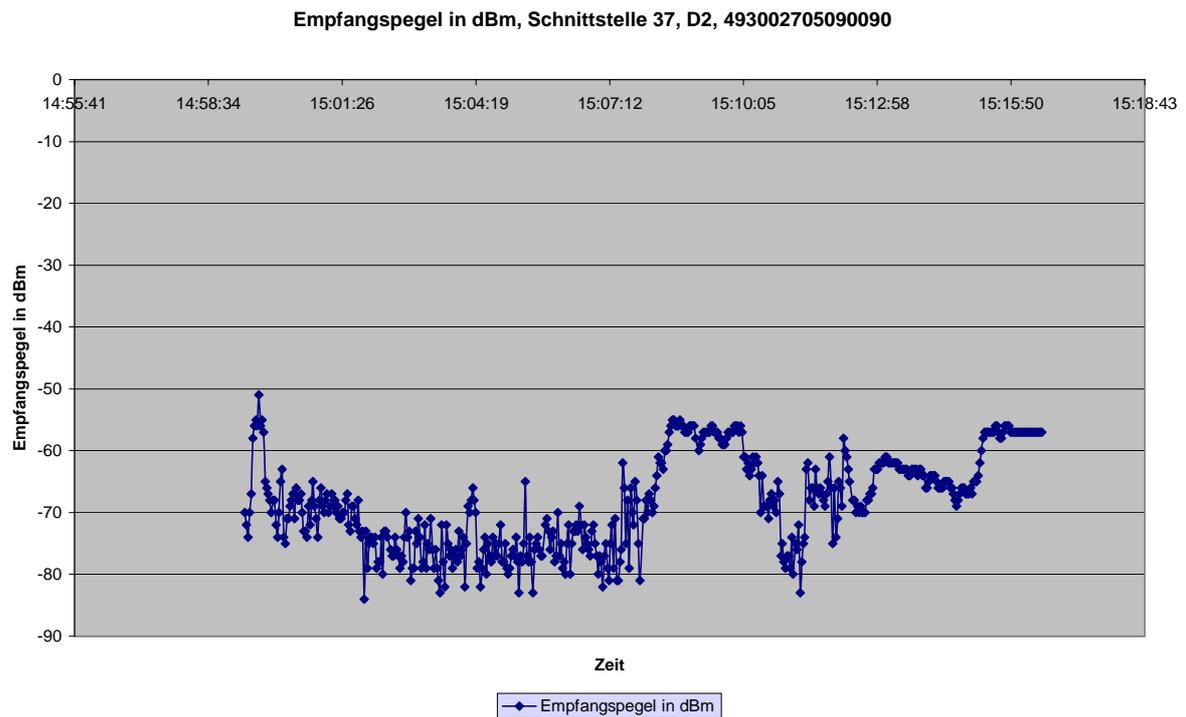


Abbildung 312

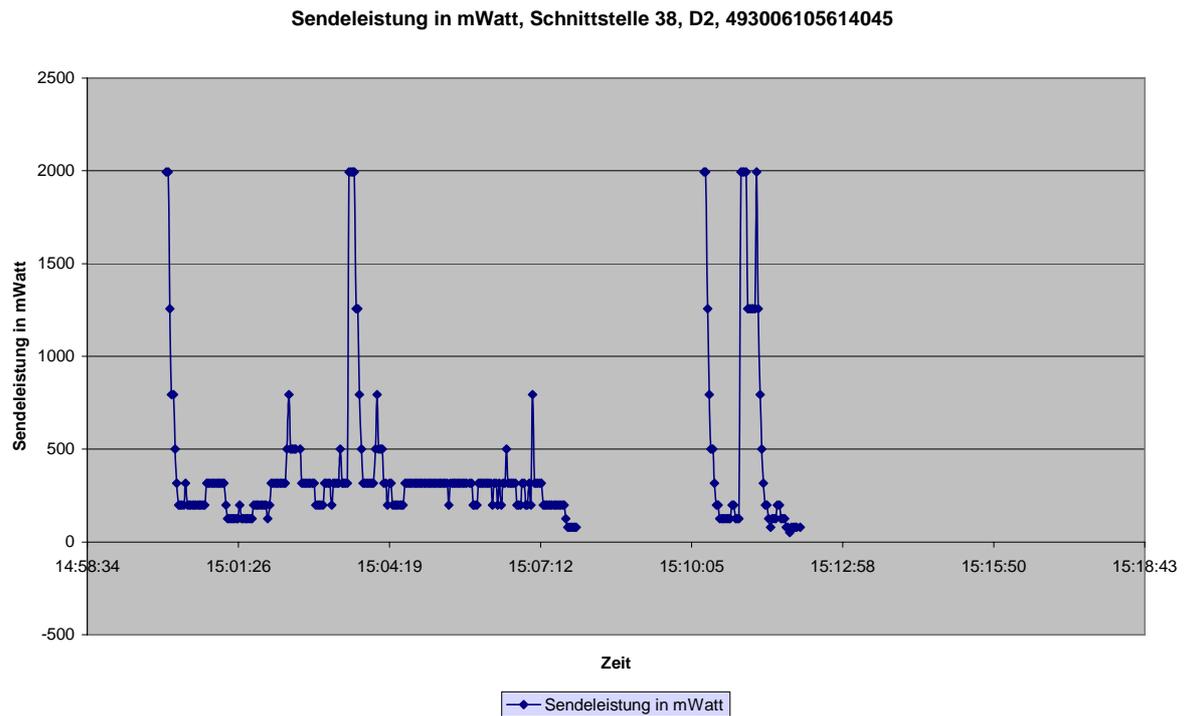


Abbildung 313

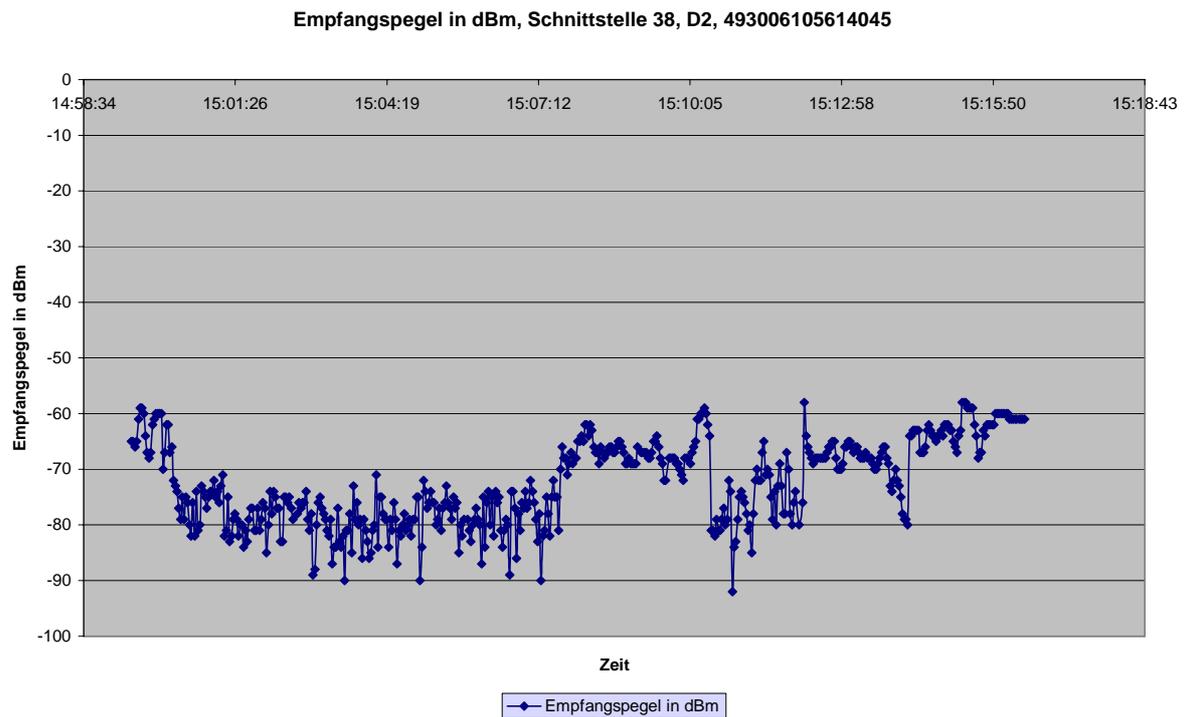


Abbildung 314

Datum	Uhrzeit	Cell-ID	Rufzone	Netz-ID	Empangs- pegel in dBm	Sendelst. in mW	Kanal- nummer
08.06.2006	15:02:47	5392	622	26202	-74	316	104
08.06.2006	15:02:49	5392	622	26202	-79	316	104
08.06.2006	15:02:51	5392	622	26202	-81	316	104
08.06.2006	15:02:53	5392	622	26202	-78	316	104
08.06.2006	15:02:55	5392	622	26202	-89	199	104
08.06.2006	15:02:57	5392	622	26202	-88	199	104
08.06.2006	15:02:59	5392	622	26202	-80	199	104
08.06.2006	15:03:01	5392	622	26202	-76	199	104
08.06.2006	15:03:03	5392	622	26202	-75	199	104
08.06.2006	15:03:05	5392	622	26202	-77	316	104
08.06.2006	15:03:07	5392	622	26202	-78	316	104
08.06.2006	15:03:09	5392	622	26202	-79	316	104
08.06.2006	15:03:11	5392	622	26202	-81	316	104
08.06.2006	15:03:13	5392	622	26202	-82	199	104
08.06.2006	15:03:15	5392	622	26202	-79	316	104
08.06.2006	15:03:17	5392	622	26202	-87	316	104
08.06.2006	15:03:19	5392	622	26202	-84	316	104
08.06.2006	15:03:21	5392	622	26202	-84	316	104
08.06.2006	15:03:23	5392	622	26202	-77	501	104
08.06.2006	15:03:25	5392	622	26202	-83	316	104
08.06.2006	15:03:27	5392	622	26202	-84	316	104
08.06.2006	15:03:29	5392	622	26202	-82	316	104
08.06.2006	15:03:31	5392	622	26202	-90	316	104
08.06.2006	15:03:33	5392	622	26202	-81	1995	121
08.06.2006	15:03:35	30722	622	26202	-81	1995	121
08.06.2006	15:03:37	30722	622	26202	-78	1995	121
08.06.2006	15:03:39	5392	622	26202	-85	1995	104
08.06.2006	15:03:41	5392	622	26202	-73	1258	104
08.06.2006	15:03:43	5392	622	26202	-79	1258	104
08.06.2006	15:03:45	5392	622	26202	-76	794	104
08.06.2006	15:03:47	5392	622	26202	-80	501	104
08.06.2006	15:03:49	5392	622	26202	-79	316	104
08.06.2006	15:03:51	5392	622	26202	-86	316	104
08.06.2006	15:03:53	5392	622	26202	-79	316	104
08.06.2006	15:03:55	5392	622	26202	-81	316	104
08.06.2006	15:03:57	5392	622	26202	-83	316	104
08.06.2006	15:03:59	5392	622	26202	-86	316	104
08.06.2006	15:04:01	5392	622	26202	-85	316	104
08.06.2006	15:04:03	5392	622	26202	-81	501	104
08.06.2006	15:04:05	5392	622	26202	-80	794	104
08.06.2006	15:04:07	5392	622	26202	-71	501	104
08.06.2006	15:04:09	5392	622	26202	-84	501	104
08.06.2006	15:04:11	5392	622	26202	-75	501	104
08.06.2006	15:04:13	5392	622	26202	-75	316	104
08.06.2006	15:04:15	5392	622	26202	-78	316	104
08.06.2006	15:04:17	5392	622	26202	-79	199	104
08.06.2006	15:04:19	5392	622	26202	-79	316	104
08.06.2006	15:04:21	5392	622	26202	-84	316	104
08.06.2006	15:04:23	5392	622	26202	-79	199	104
08.06.2006	15:04:25	5392	622	26202	-81	199	104
08.06.2006	15:04:27	5392	622	26202	-76	199	104
08.06.2006	15:04:29	5392	622	26202	-79	199	104
08.06.2006	15:04:31	5392	622	26202	-87	199	104
08.06.2006	15:04:33	5392	622	26202	-81	199	104
08.06.2006	15:04:35	5392	622	26202	-82	199	104
08.06.2006	15:04:37	5392	622	26202	-80	316	104

Tabelle 50

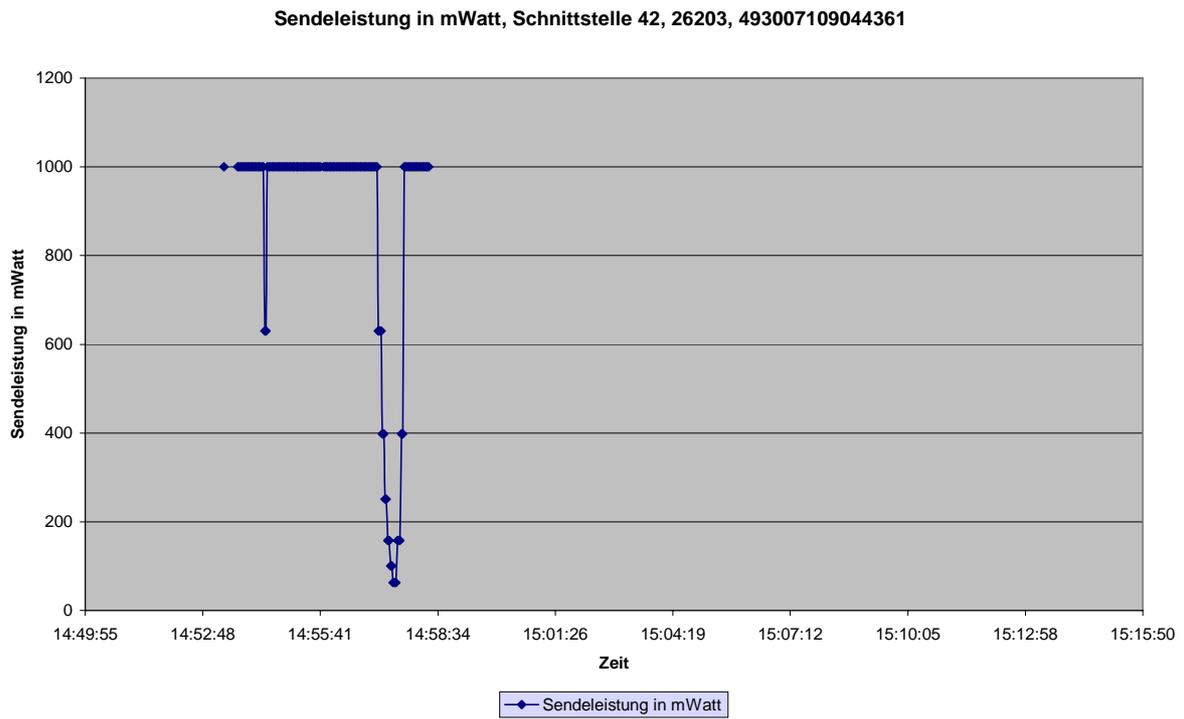


Abbildung 315

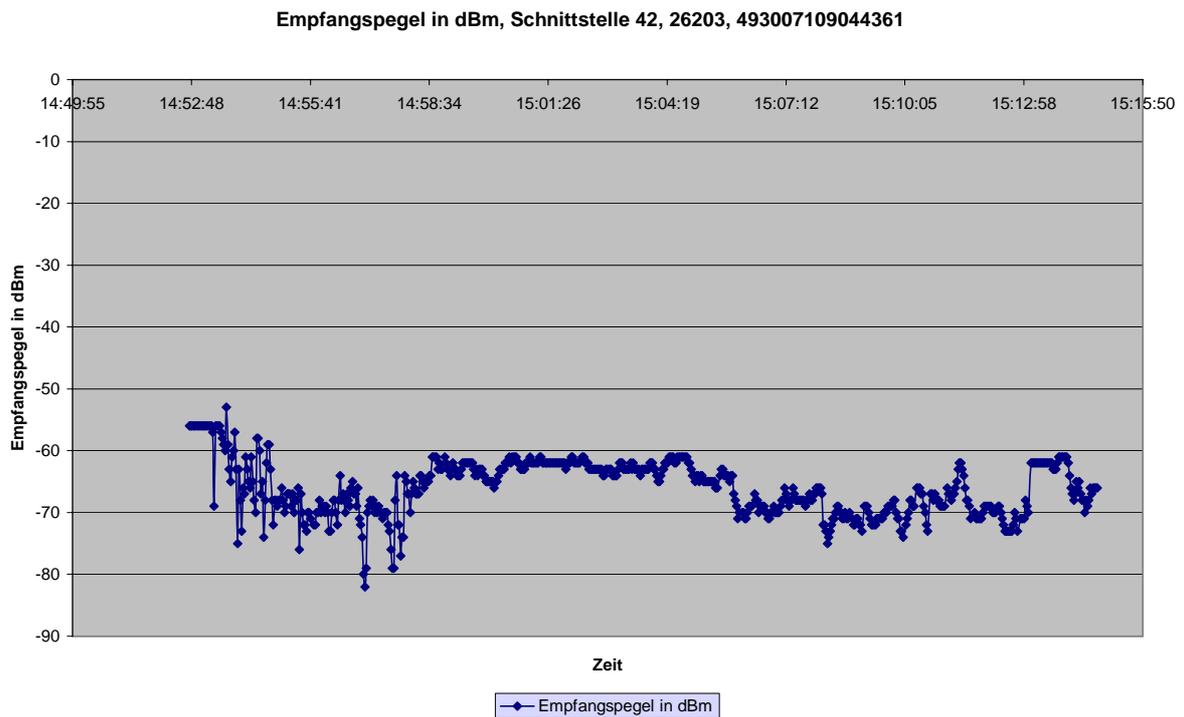


Abbildung 316

Uhrzeit	Datum	Cell-ID	Rufzone	Netz-ID	Empfangs- pegel in dBm	Sendelst. in mW	Kanal- nummer
08.06.2006	14:54:05	41358	688	26203	-67	1000	798
08.06.2006	14:54:07	41358	688	26203	-61	1000	798
08.06.2006	14:54:09	41358	688	26203	-63	1000	798
08.06.2006	14:54:11	41358	688	26203	-65	1000	798
08.06.2006	14:54:13	41358	688	26203	-66	1000	798
08.06.2006	14:54:15	41358	688	26203	-61	1000	835
08.06.2006	14:54:17	41338	688	26203	-65	1000	835
08.06.2006	14:54:19	41338	688	26203	-68	630	835
08.06.2006	14:54:21	41338	688	26203	-70	630	835
08.06.2006	14:54:23	41338	688	26203	-58	1000	798
08.06.2006	14:54:25	41358	688	26203	-58	1000	798
08.06.2006	14:54:27	41358	688	26203	-60	1000	798
08.06.2006	14:54:29	41358	688	26203	-67	1000	798
08.06.2006	14:54:31	41358	688	26203	-65	1000	798
08.06.2006	14:54:33	41358	688	26203	-74	1000	798
08.06.2006	14:54:35	41358	688	26203	-68	1000	798
08.06.2006	14:54:37	41358	688	26203	-62	1000	798
08.06.2006	14:54:39	41358	688	26203	-59	1000	798
...
08.06.2006	14:56:44	41358	688	26203	-67	1000	798
08.06.2006	14:56:46	41358	688	26203	-67	1000	798
08.06.2006	14:56:48	41358	688	26203	-69	1000	798
08.06.2006	14:56:50	41358	688	26203	-66	1000	798
08.06.2006	14:56:52	41358	688	26203	-71	1000	798
08.06.2006	14:56:54	41358	688	26203	-72	1000	798
08.06.2006	14:56:56	41358	688	26203	-74	1000	798
08.06.2006	14:56:58	41358	688	26203	-80	1000	798
08.06.2006	14:57:00	41358	688	26203	-82	1000	798
08.06.2006	14:57:02	41358	688	26203	-79	1000	835
08.06.2006	14:57:04	41338	688	26203	-70	1000	835
08.06.2006	14:57:06	41338	688	26203	-69	630	835
08.06.2006	14:57:08	41338	688	26203	-68	630	835
08.06.2006	14:57:10	41338	688	26203	-69	630	835
08.06.2006	14:57:12	41338	688	26203	-68	398	835
08.06.2006	14:57:14	41338	688	26203	-70	398	835
08.06.2006	14:57:16	41338	688	26203	-69	251	835
08.06.2006	14:57:18	41338	688	26203	-70	251	835
08.06.2006	14:57:20	41338	688	26203	-69	158	835
08.06.2006	14:57:22	41338	688	26203	-70	158	835
08.06.2006	14:57:24	41338	688	26203	-70	100	835
08.06.2006	14:57:26	41338	688	26203	-71	100	835
08.06.2006	14:57:28	41338	688	26203	-70	63	835
08.06.2006	14:57:30	41338	688	26203	-70	63	835
08.06.2006	14:57:32	41338	688	26203	-70	63	835
08.06.2006	14:57:34	41338	688	26203	-72	158	835
08.06.2006	14:57:36	41338	688	26203	-73	158	835
08.06.2006	14:57:38	41338	688	26203	-76	158	835
08.06.2006	14:57:40	41338	688	26203	-79	398	835
08.06.2006	14:57:42	41338	688	26203	-79	398	835
08.06.2006	14:57:44	41358	688	26203	-68	1000	798
08.06.2006	14:57:46	41358	688	26203	-64	1000	798
08.06.2006	14:57:48	41358	688	26203	-72	1000	798
08.06.2006	14:57:50	41358	688	26203	-72	1000	798
08.06.2006	14:57:52	41358	688	26203	-77	1000	798
08.06.2006	14:57:54	41358	688	26203	-74	1000	798
08.06.2006	14:57:56	41358	688	26203	-74	1000	798
08.06.2006	14:57:58	41358	688	26203	-64	1000	798
08.06.2006	14:58:00	41358	688	26203	-65	1000	798
08.06.2006	14:58:02	41358	688	26203	-67	1000	798

Tabelle 51

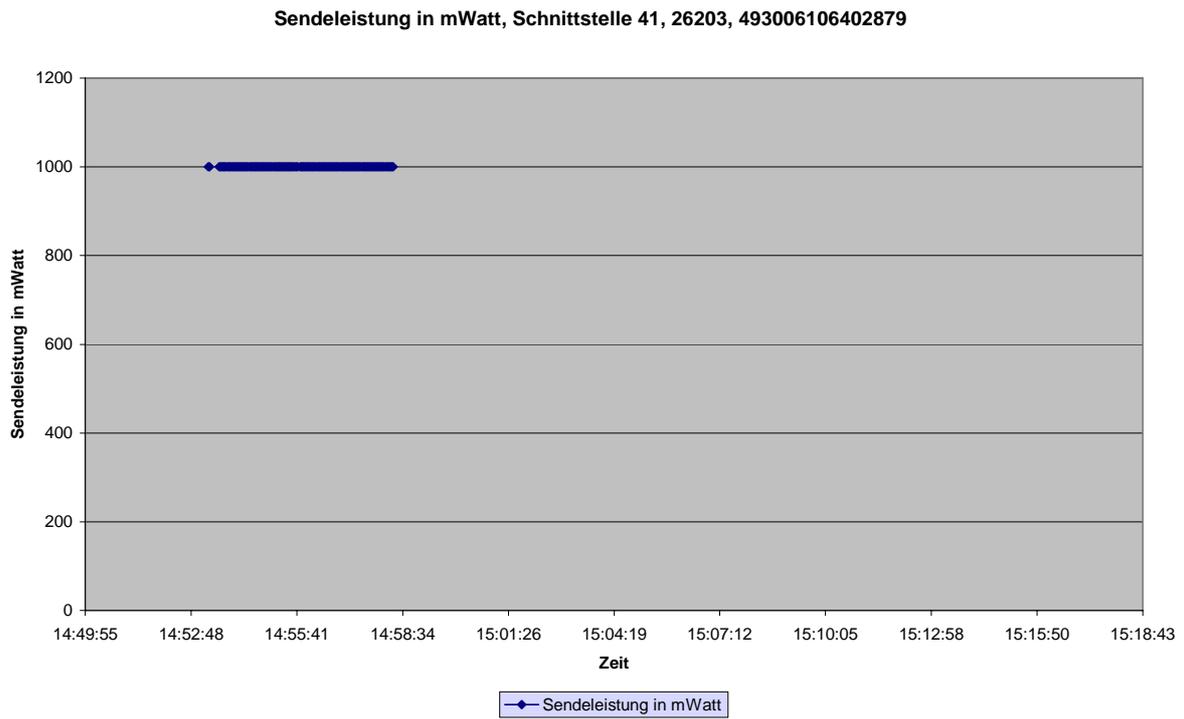


Abbildung 317

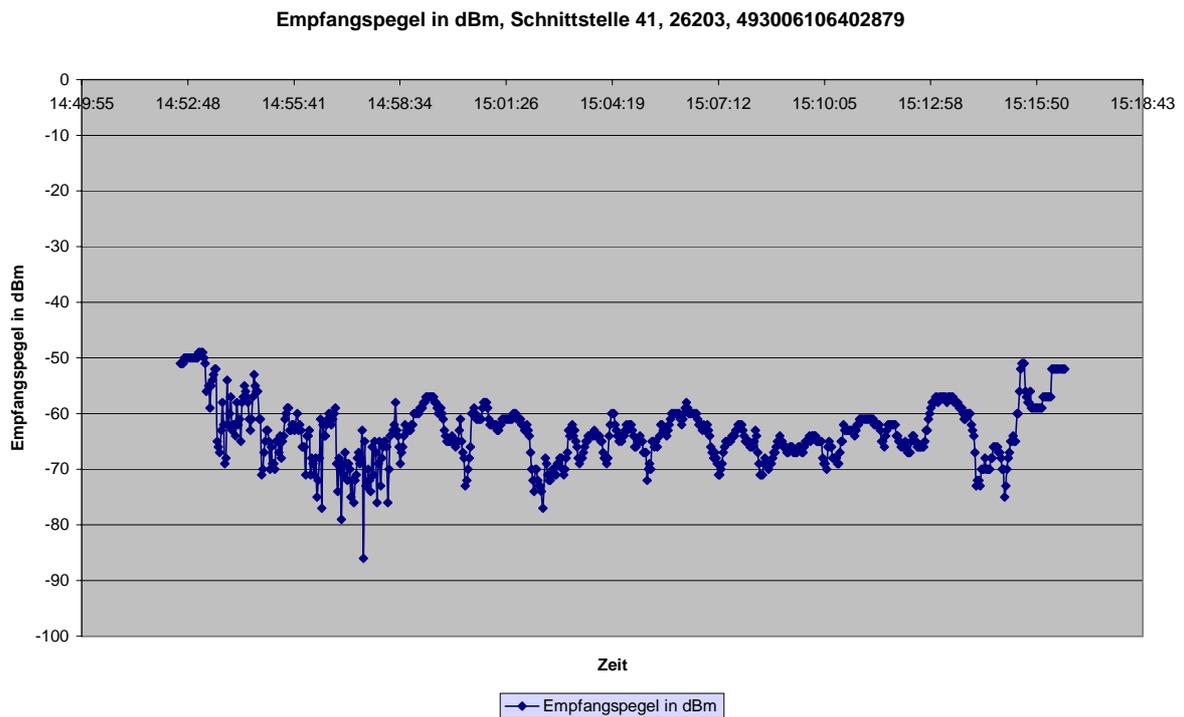


Abbildung 318

9.9.2 Zweite Messreihe um ca. 15:29 Uhr

Ein zweiter Messdurchgang fand im Zeitraum zwischen 15:27 und 15:32 statt. Bei dieser Messreihe wurde mit 8 aktiven Mobiltelefonen gemessen.

Es wurden sechs Mobiltelefone eingebucht im Vodafone D2-Netz und zwei Mobiltelefone eingebucht im T-Mobile-D1-Netz benutzt. Es sollte untersucht werden, mit welcher Stärke 900 MHz-Telefone, die von permanent sprechenden Versuchspersonen in Richtung der Messsonde und Messkopf bewegt werden, zu Reflexionen im Flugzeuginnenraum führen können.

Abbildung 319 zeigt die Leistungsdichte in W/m^2 für diesen Messdurchgang. Erst in 90-facher Vergrößerung (**Abbildung 320**) sind Werte zu erkennen, die während der Messungen registriert wurden. Diese Werte sind sehr gering, der erkennbare Maximalwert von $0,02 W/m^2$ ist um das 200-fache unterhalb des Grenzwertes. **Tabelle 52** zeigt die dazugehörigen Daten.

Abbildung 321 zeigt die Monitordaten des an der Schnittstelle 31 angeschlossenen D1-Telefons. Anhand dieser Grafikdaten und der **Tabelle 53** ist zu erkennen, dass dieses Mobiltelefon, das Gleiche geschah auch während der ersten Messreihe, nicht nur den Kanal, sondern auch den Frequenzbereich häufig wechselte. Es sprang immer zwischen der GSM-900 und der GSM-1800 Frequenz, obwohl die Feldversorgung im GSM-900-Netz sehr gut war. Aus diesem Grund brachte dieses Telefon Emissionsbeiträge sowohl im GSM-900- als auch im GSM-1800 Bereich. Die breitbandige Messsonde hatte beide Bänder berücksichtigt.

Das an der Schnittstelle 32 angeschlossene zweite D1-Telefon (**Abbildung 323** und **Abbildung 324**, Empfangspegel) regelt bei einem Kanalwechsel stark herunter, sodass die Sendeleistung, die von diesem Telefon ausgeht, sehr viel geringer ist, als die von dem an der anderen Schnittstelle angeschlossenen Telefon.

Die sechs im D2-Netz eingebuchten Telefone (**Abbildung 325**, **Abbildung 327**, **Abbildung 329**, **Abbildung 331**, **Abbildung 333** und **Abbildung 335** zeigen jeweils die Sendeleistungswerte) regeln sehr stark herunter und führen keine Kanalwechsel durch.

Entscheidende Beiträge zur Strahlungsimmission liefern häufige Kanalwechsel. Jeder Kanalwechsel bewirkt ein Hochregeln der Sendeleistung auf 2 Watt oder 1 Watt bei GSM 1800; erst danach kann wieder der Abregelvorgang beginnen.

Findet kein Kanalwechsel statt und ist die Feldversorgung gut, so bleibt das Mobiltelefon verhältnismäßig stabil bei einer niedrigen Sendeleistung.

EMR Boeing_13
08.06.2006

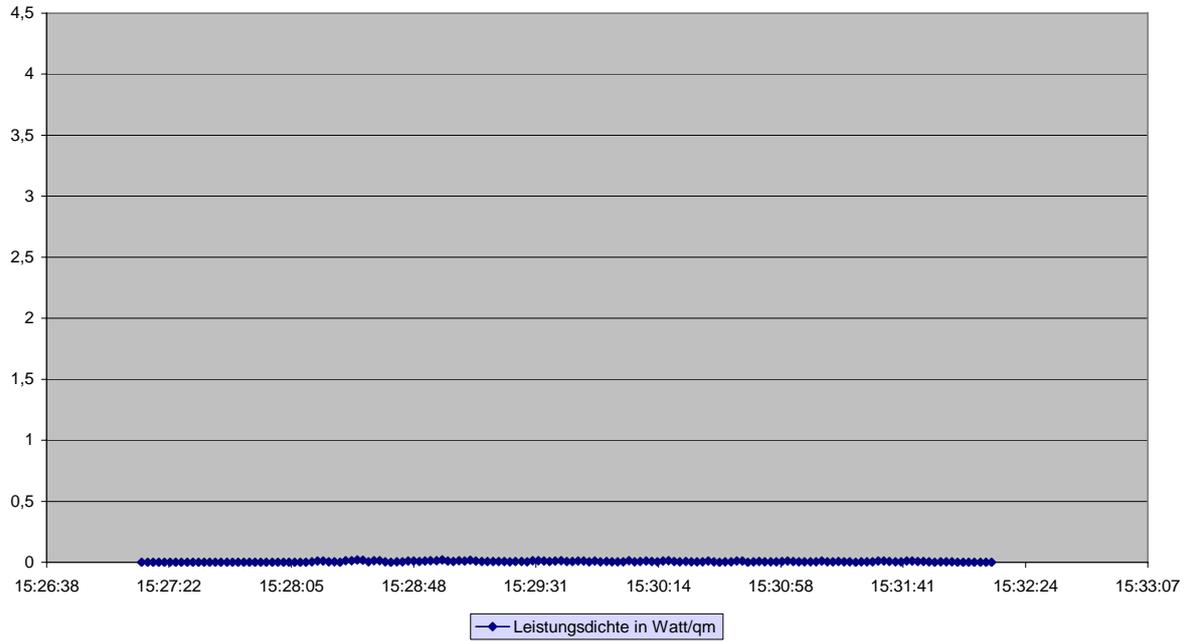


Abbildung 319

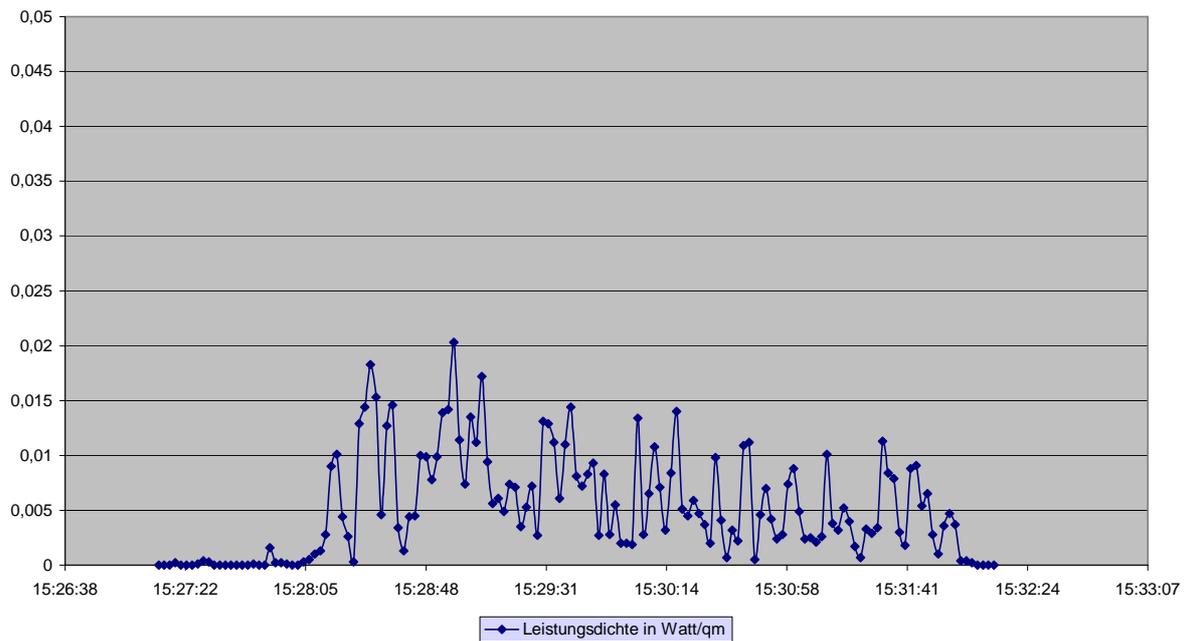


Abbildung 320 (in 90-facher Vergrößerung)

START					
EMR-300 - H-0005 - V03,01		Probe: 18	type: E	Datum: 6. Juni 2006	
Calibr 0,900	Factor:	Unit: W/m²m	Max: OFF	Average: OFF	
Index	Time	x	y	z	Eff
26	15:28:02,0	0	0	0	0
27	15:28:04,0	0,0002	0,0001	0	0,0003
28	15:28:06,0	0,0002	0,0001	0,0002	0,0005
29	15:28:08,0	0,0002	0,0006	0,0002	0,001
30	15:28:10,0	0,0003	0,0009	0,0001	0,0013
31	15:28:12,0	0,0008	0,0018	0,0002	0,0028
32	15:28:14,0	0,0035	0,0023	0,0032	0,009
33	15:28:16,0	0,0026	0,0034	0,0041	0,0101
34	15:28:18,0	0,0014	0,0018	0,0012	0,0044
35	15:28:20,0	0,0012	0,0007	0,0007	0,0026
36	15:28:22,0	0,0001	0,0001	0,0001	0,0003
37	15:28:24,0	0,002	0,0009	0,01	0,0129
38	15:28:26,0	0,0023	0,0013	0,0108	0,0144
39	15:28:28,0	0,0023	0,0085	0,0075	0,0183
40	15:28:30,0	0,0024	0,009	0,0039	0,0153
41	15:28:32,0	0,0006	0,0025	0,0015	0,0046
42	15:28:34,0	0,0043	0,001	0,0074	0,0127
43	15:28:36,0	0,0037	0,0009	0,01	0,0146
44	15:28:38,0	0,0014	0,0008	0,0012	0,0034
45	15:28:40,0	0,0005	0,0005	0,0003	0,0013
46	15:28:42,0	0,0008	0,0027	0,0009	0,0044
47	15:28:44,0	0,0021	0,0008	0,0016	0,0045
48	15:28:46,0	0,0029	0,0006	0,0065	0,01
49	15:28:48,0	0,0024	0,0012	0,0063	0,0099
50	15:28:50,0	0,0018	0,0013	0,0047	0,0078
51	15:28:52,0	0,0023	0,001	0,0066	0,0099
52	15:28:54,0	0,0024	0,0025	0,009	0,0139
53	15:28:56,0	0,002	0,0044	0,0078	0,0142
54	15:28:58,0	0,002	0,0105	0,0078	0,0203
55	15:29:00,0	0,0016	0,0053	0,0045	0,0114
56	15:29:02,0	0,0021	0,0021	0,0032	0,0074
57	15:29:04,0	0,0039	0,0018	0,0078	0,0135
58	15:29:06,0	0,0031	0,0015	0,0066	0,0112
59	15:29:08,0	0,0026	0,0087	0,0059	0,0172
60	15:29:10,0	0,0013	0,0049	0,0032	0,0094
61	15:29:12,0	0,0015	0,0026	0,0015	0,0056
62	15:29:14,0	0,0016	0,003	0,0015	0,0061
63	15:29:16,0	0,0013	0,0022	0,0014	0,0049
64	15:29:18,0	0,0017	0,0033	0,0024	0,0074
65	15:29:20,0	0,0015	0,0032	0,0024	0,0071
66	15:29:22,0	0,0005	0,0017	0,0013	0,0035
67	15:29:24,0	0,0011	0,0027	0,0015	0,0053
68	15:29:26,0	0,0011	0,0019	0,0042	0,0072
69	15:29:28,0	0,0009	0,0007	0,0011	0,0027
70	15:29:30,0	0,0032	0,0016	0,0083	0,0131
71	15:29:32,0	0,0028	0,0017	0,0084	0,0129
72	15:29:34,0	0,0037	0,0014	0,0061	0,0112
73	15:29:36,0	0,0017	0,0012	0,0032	0,0061
74	15:29:38,0	0,0016	0,0044	0,005	0,011
75	15:29:40,0	0,0012	0,0075	0,0057	0,0144
76	15:29:42,0	0,0013	0,0033	0,0035	0,0081
77	15:29:44,0	0,0016	0,0023	0,0033	0,0072
78	15:29:46,0	0,0017	0,0012	0,0054	0,0083

Tabelle 52

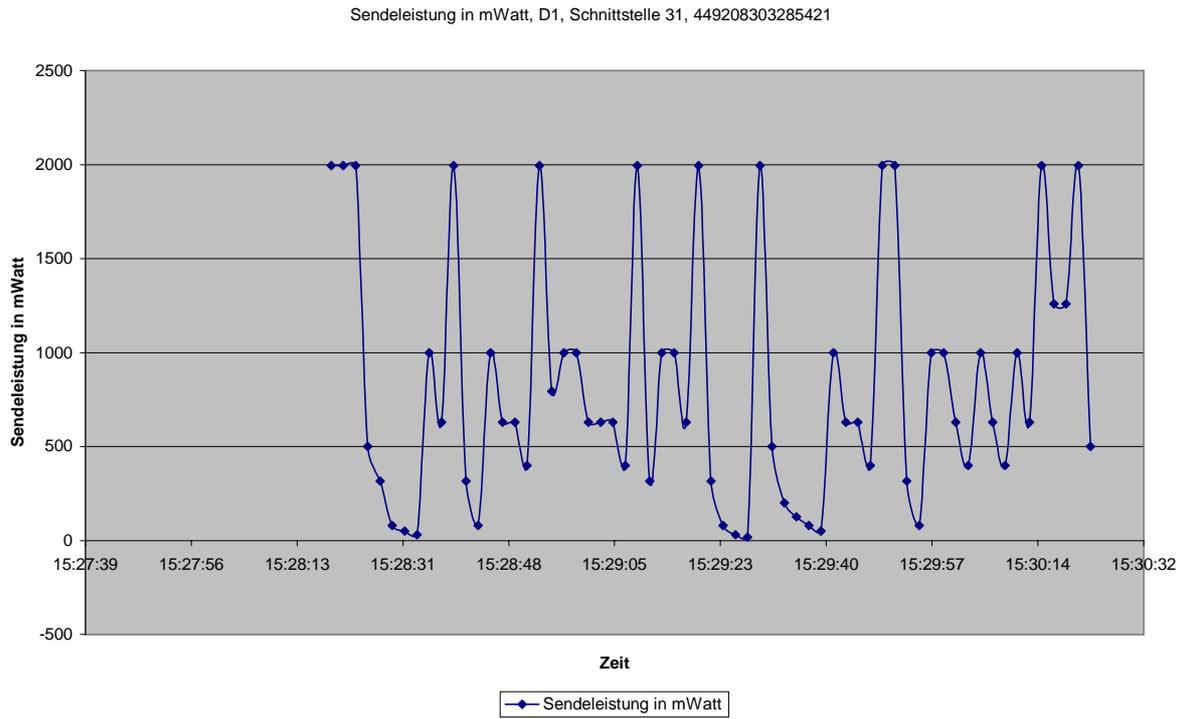


Abbildung 321

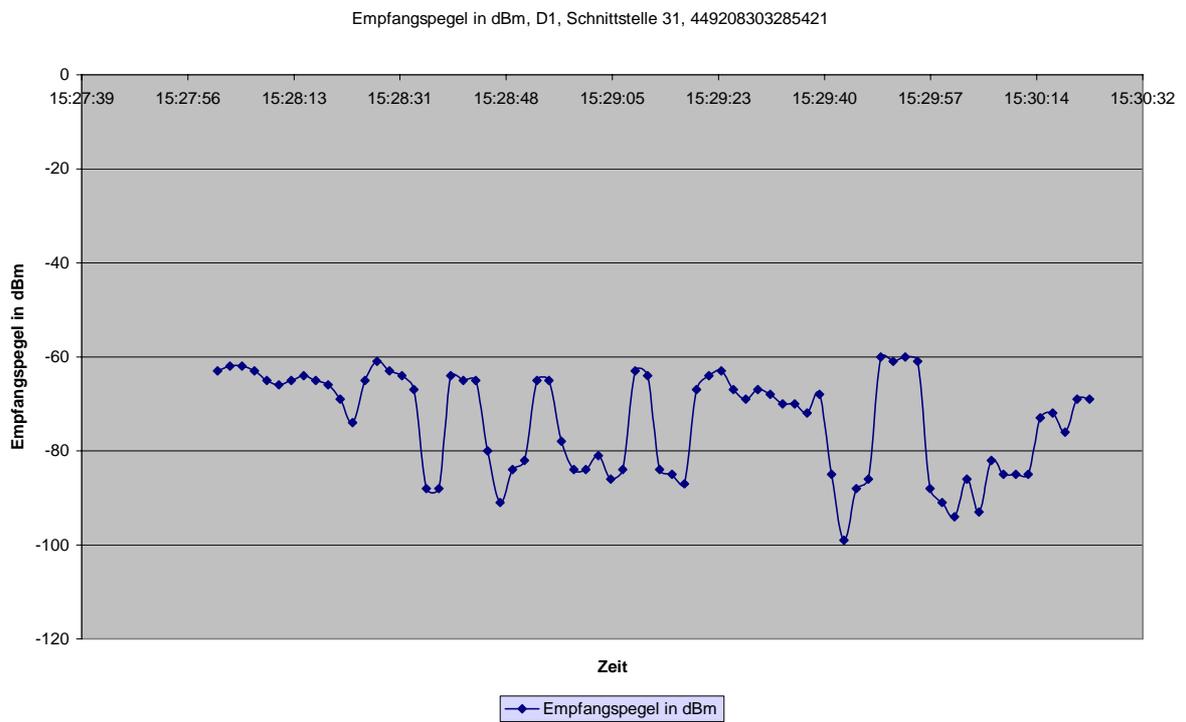


Abbildung 322

>>>>Log starting at 08.06.2006 15:27:57(2.3.2.623R / NOKIA 6150 (2260/ 5.22) on FBUS / 449208303285421)

Datum	Uhrzeit	Cell-ID	Rufzone	Netz-ID	Empfangs- pegel in dBm	Sendelst. in mW	Kanal- nummer
08.06.2006	15:28:19	21720	26638	26201	-66	1995	35
08.06.2006	15:28:21	21720	26638	26201	-69	1995	35
08.06.2006	15:28:23	21720	26638	26201	-74	1995	35
08.06.2006	15:28:25	21720	26638	26201	-65	501	35
08.06.2006	15:28:27	21720	26638	26201	-61	316	35
08.06.2006	15:28:29	21720	26638	26201	-63	79	35
08.06.2006	15:28:31	21720	26638	26201	-64	50	35
08.06.2006	15:28:33	21720	26638	26201	-67	31	35
08.06.2006	15:28:35	21720	26638	26201	-88	1000	591
08.06.2006	15:28:37	25022	26638	26201	-88	630	591
08.06.2006	15:28:39	25022	26638	26201	-64	1995	17
08.06.2006	15:28:41	13004	26638	26201	-65	316	17
08.06.2006	15:28:43	13004	26638	26201	-65	79	17
08.06.2006	15:28:45	13004	26638	26201	-80	1000	591
08.06.2006	15:28:47	25022	26638	26201	-91	630	591
08.06.2006	15:28:49	25022	26638	26201	-84	630	591
08.06.2006	15:28:51	25022	26638	26201	-82	398	591
08.06.2006	15:28:53	25022	26638	26201	-65	1995	35
08.06.2006	15:28:55	21720	26638	26201	-65	794	35
08.06.2006	15:28:57	21720	26638	26201	-78	1000	591
08.06.2006	15:28:59	25022	26638	26201	-84	1000	591
08.06.2006	15:29:01	25022	26638	26201	-84	630	591
08.06.2006	15:29:03	25022	26638	26201	-81	630	591
08.06.2006	15:29:05	25022	26638	26201	-86	630	591
08.06.2006	15:29:07	25022	26638	26201	-84	398	591
08.06.2006	15:29:09	25022	26638	26201	-63	1995	17
08.06.2006	15:29:11	13004	26638	26201	-64	316	17
08.06.2006	15:29:13	13004	26638	26201	-84	1000	591
08.06.2006	15:29:15	25022	26638	26201	-85	1000	591
08.06.2006	15:29:17	25022	26638	26201	-87	630	591
08.06.2006	15:29:19	25022	26638	26201	-67	1995	35
08.06.2006	15:29:21	21720	26638	26201	-64	316	35
08.06.2006	15:29:23	21720	26638	26201	-63	79	35
08.06.2006	15:29:25	21720	26638	26201	-67	31	35
08.06.2006	15:29:27	21720	26638	26201	-69	19	35
08.06.2006	15:29:29	21720	26638	26201	-67	1995	17
08.06.2006	15:29:31	13004	26638	26201	-68	501	17
08.06.2006	15:29:33	13004	26638	26201	-70	199	17
08.06.2006	15:29:35	13004	26638	26201	-70	125	17
08.06.2006	15:29:37	13004	26638	26201	-72	79	17
08.06.2006	15:29:39	13004	26638	26201	-68	50	17
08.06.2006	15:29:41	13004	26638	26201	-85	1000	591
08.06.2006	15:29:43	25022	26638	26201	-99	630	591
08.06.2006	15:29:45	25022	26638	26201	-88	630	591
08.06.2006	15:29:47	25022	26638	26201	-86	398	591
08.06.2006	15:29:49	25022	26638	26201	-60	1995	35
08.06.2006	15:29:51	21720	26638	26201	-61	1995	35
08.06.2006	15:29:53	21720	26638	26201	-60	316	35
08.06.2006	15:29:55	21720	26638	26201	-61	79	35
08.06.2006	15:29:57	21720	26638	26201	-88	1000	598
08.06.2006	15:29:59	25160	26638	26201	-91	1000	598
08.06.2006	15:30:01	25160	26638	26201	-94	630	598
08.06.2006	15:30:03	25160	26638	26201	-86	398	598
08.06.2006	15:30:05	25160	26638	26201	-93	1000	598
08.06.2006	15:30:07	25160	26638	26201	-82	630	598

Tabelle 53

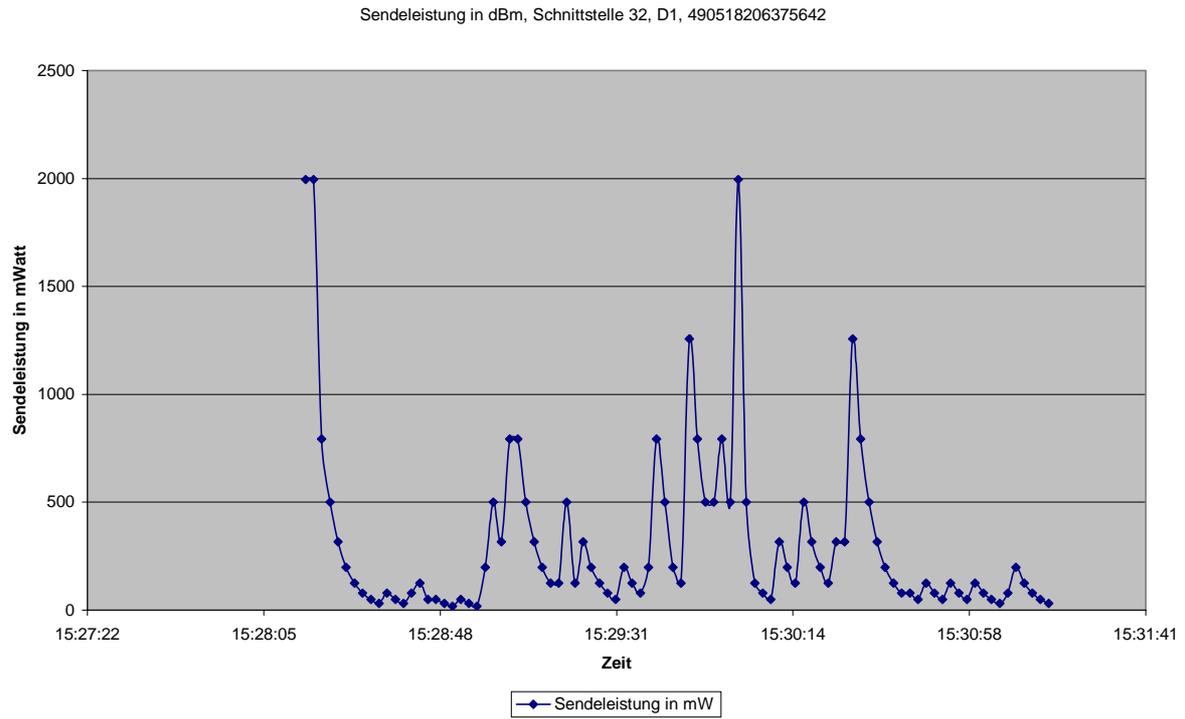


Abbildung 323 (Nokia 6110, nur 900 MHz)

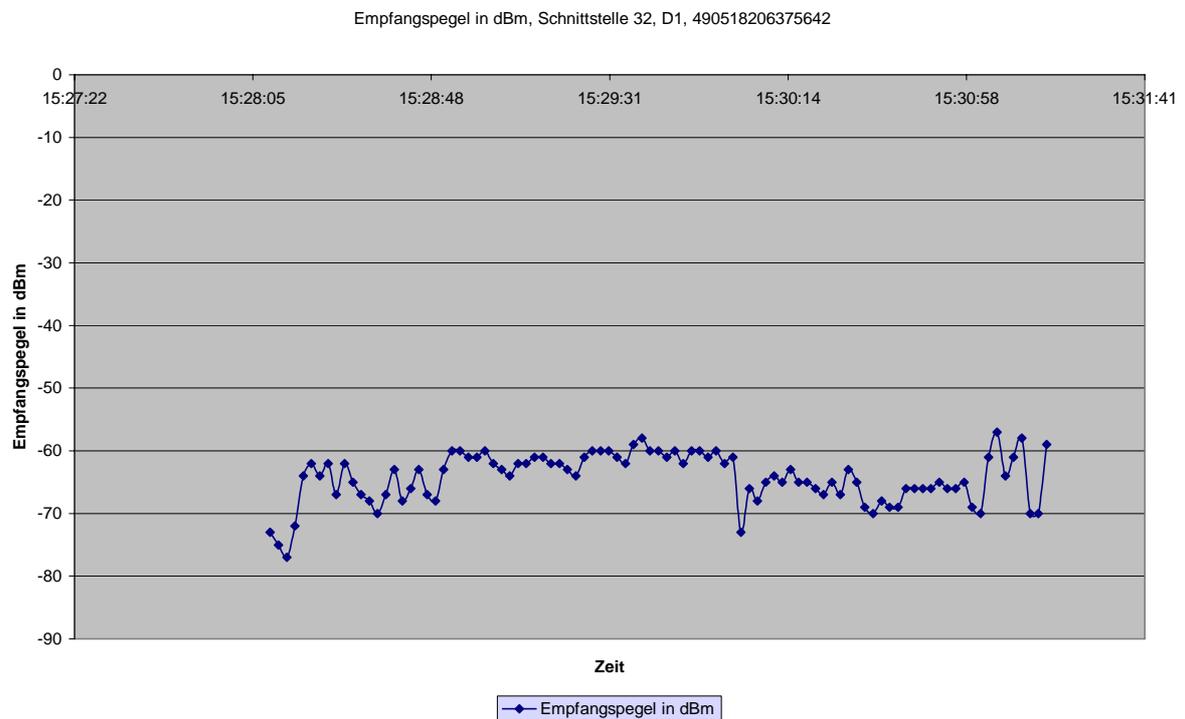


Abbildung 324

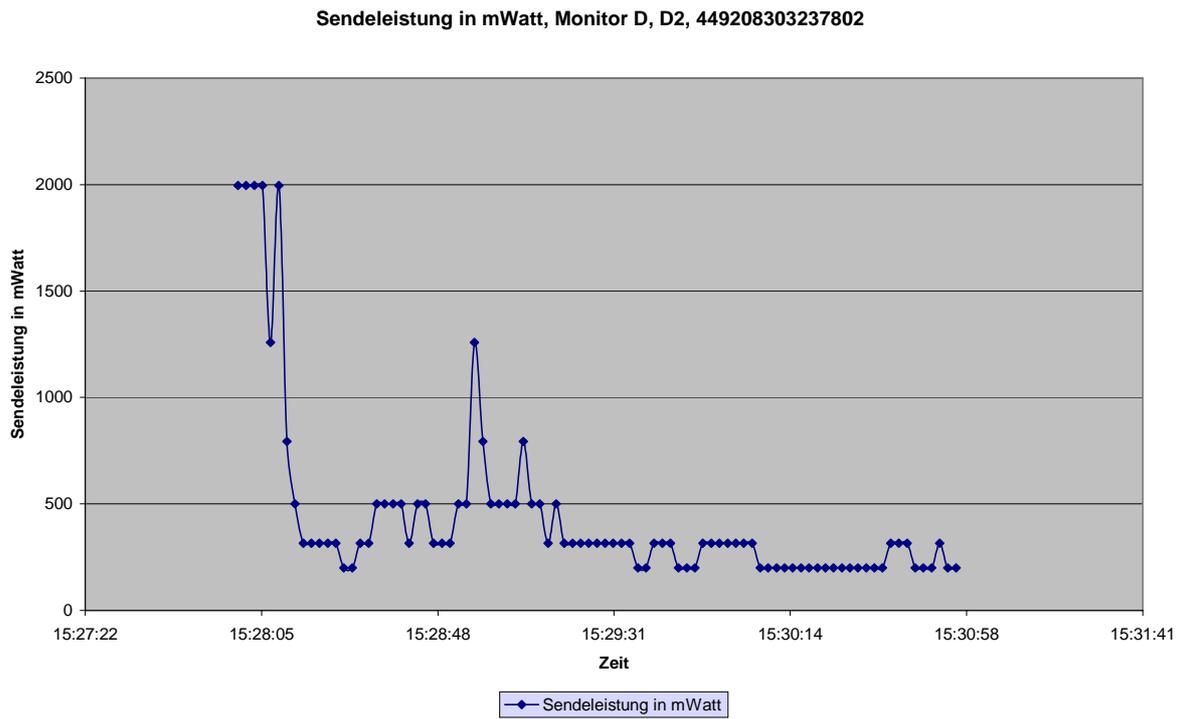


Abbildung 325

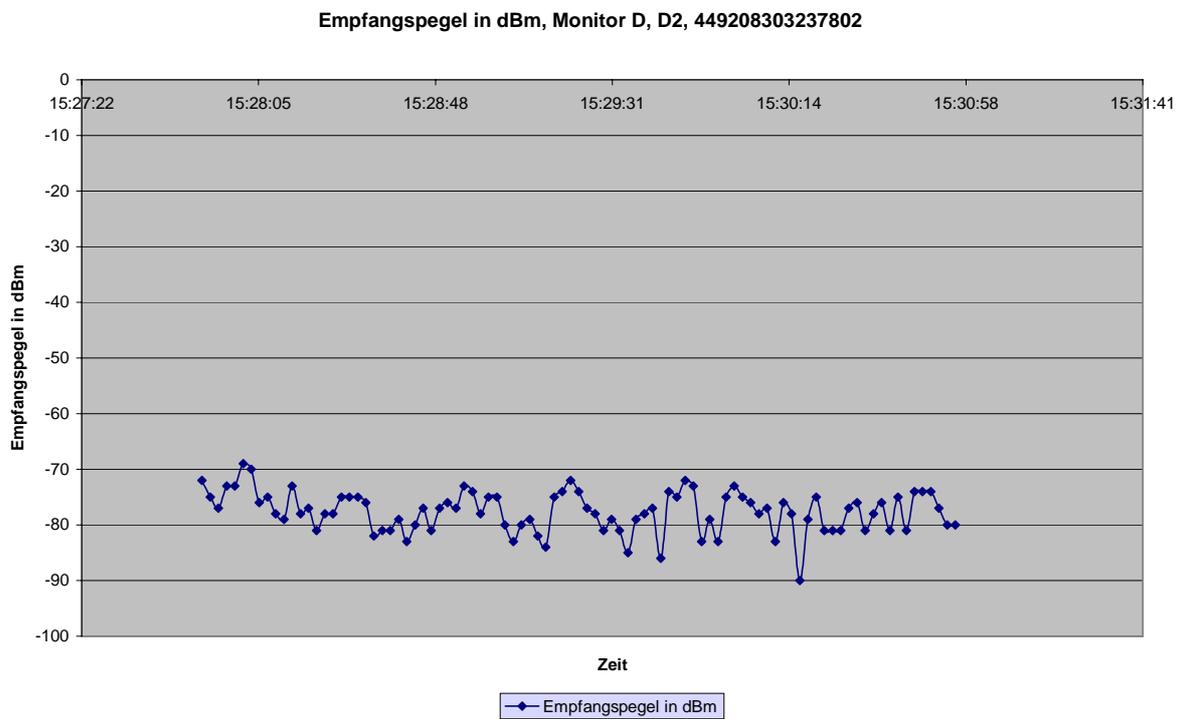


Abbildung 326

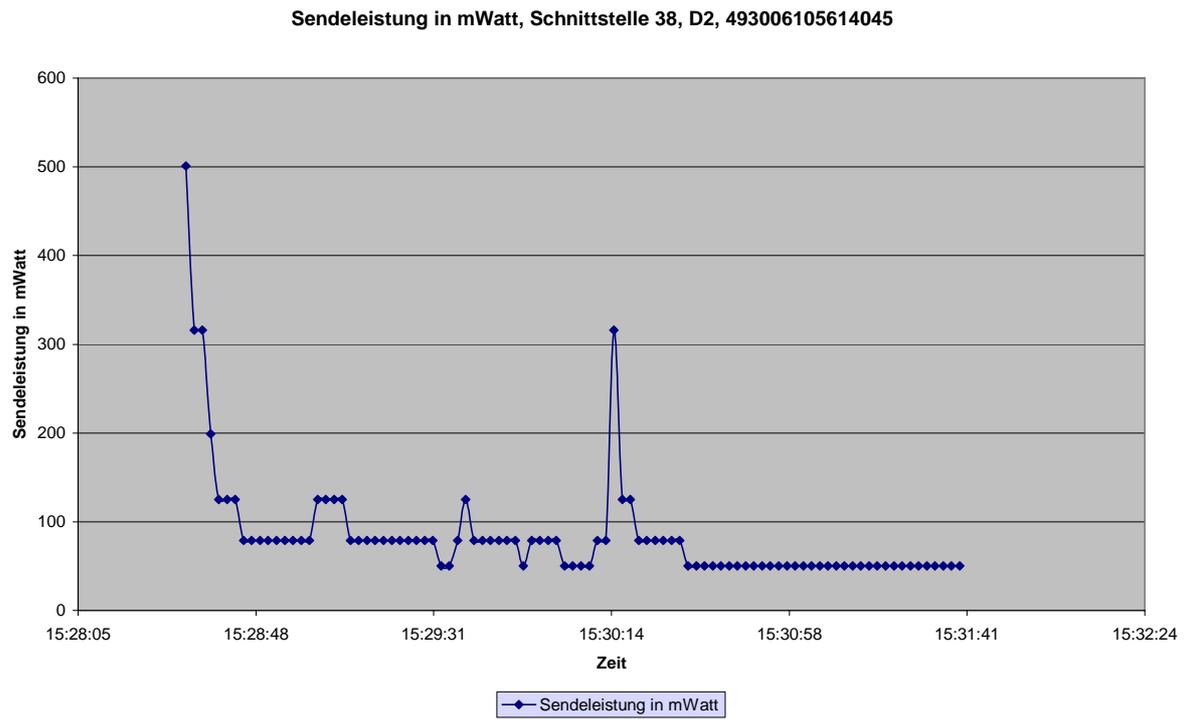


Abbildung 327

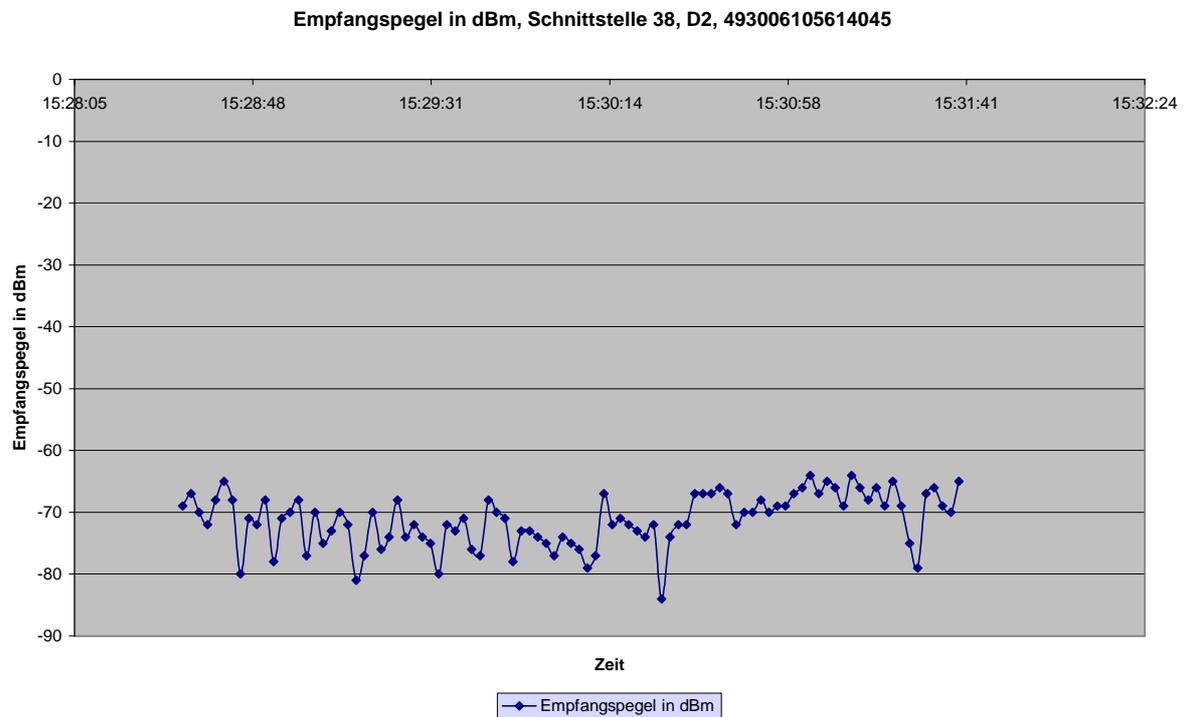


Abbildung 328

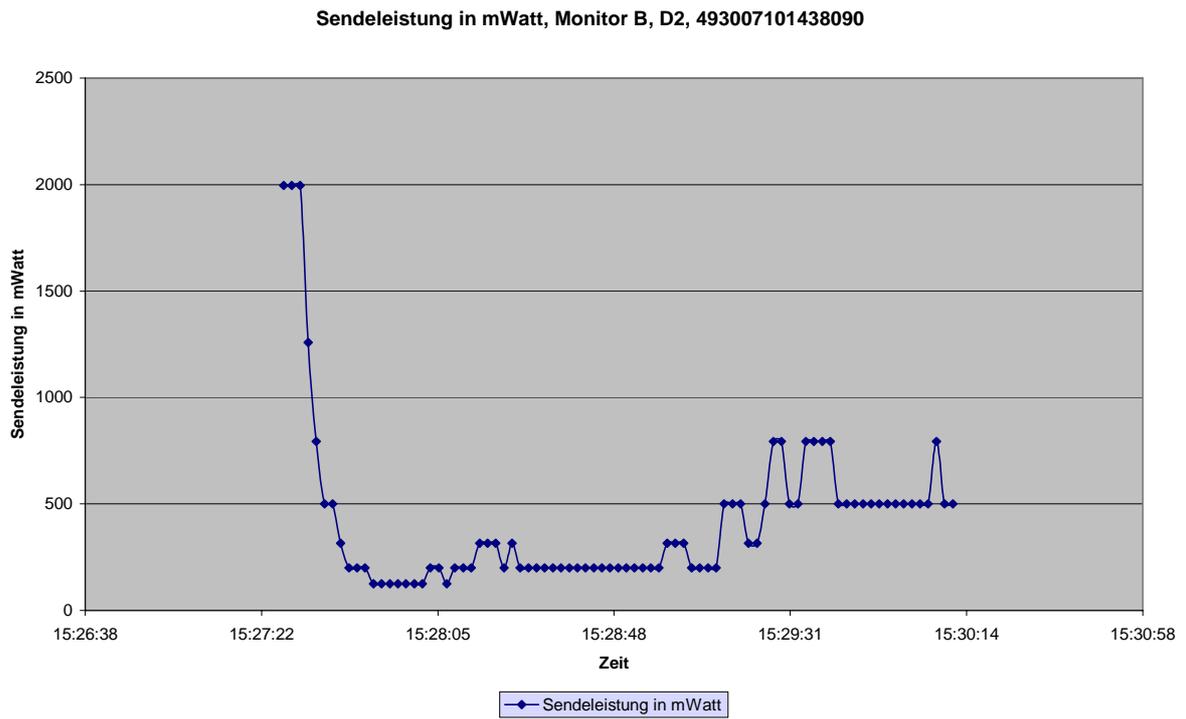


Abbildung 329

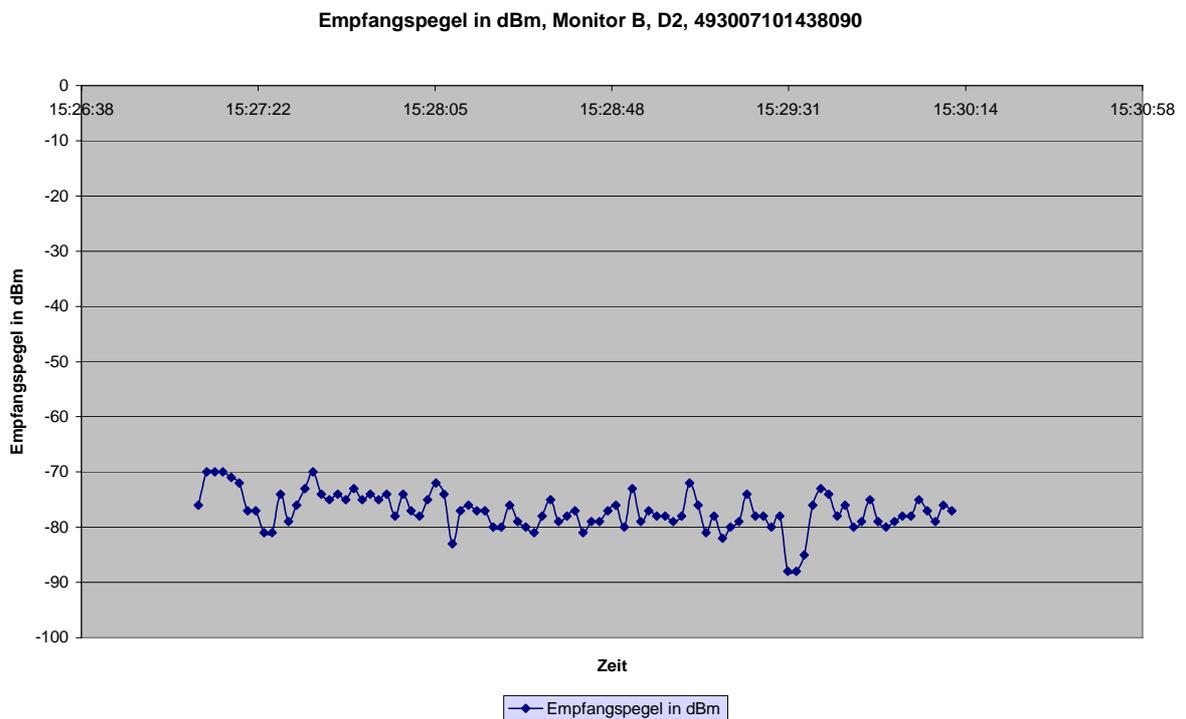


Abbildung 330

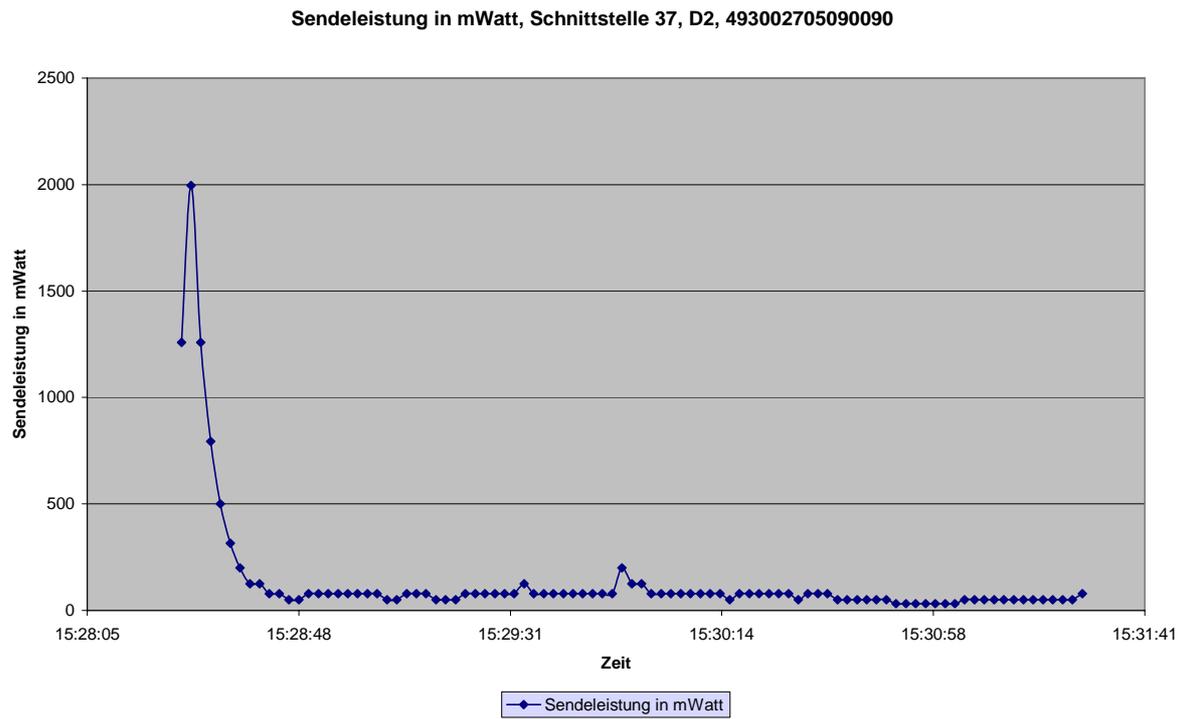


Abbildung 331

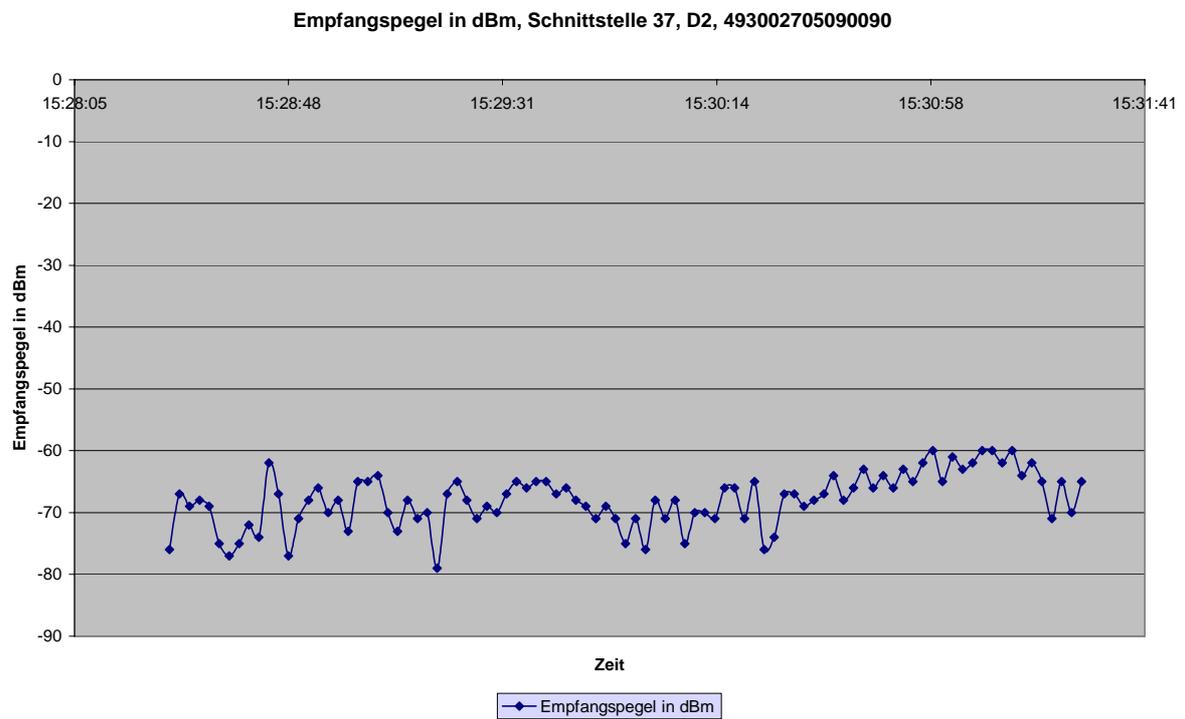


Abbildung 332

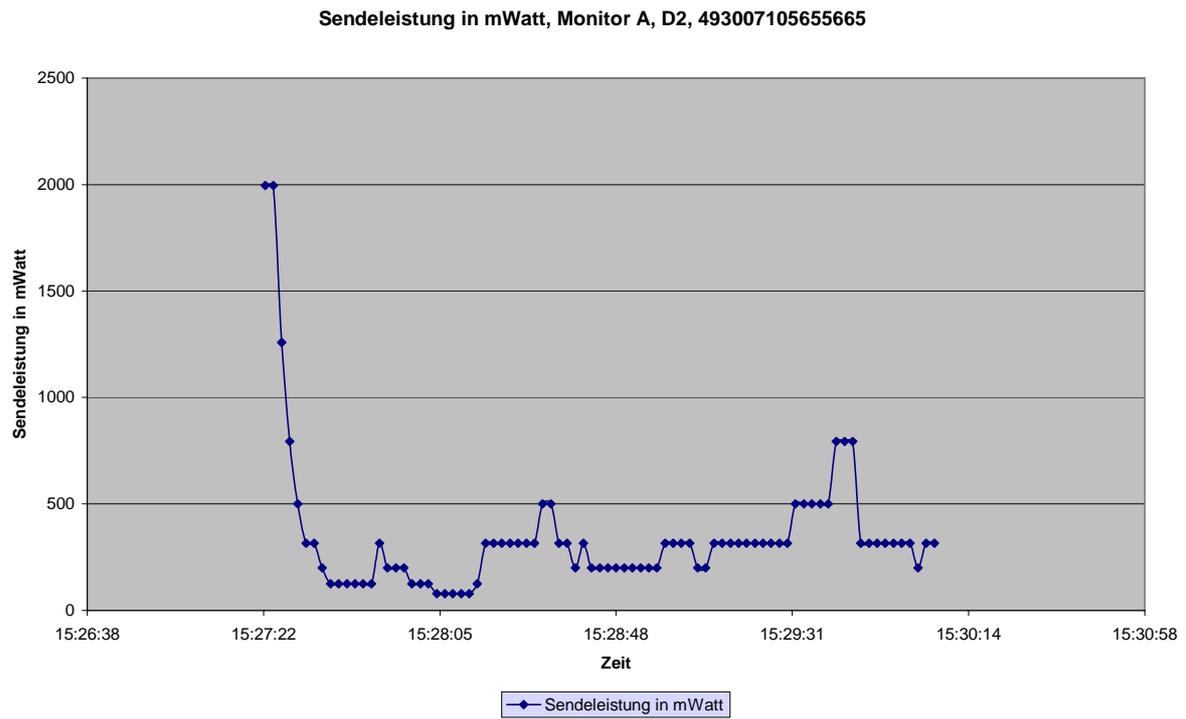


Abbildung 333

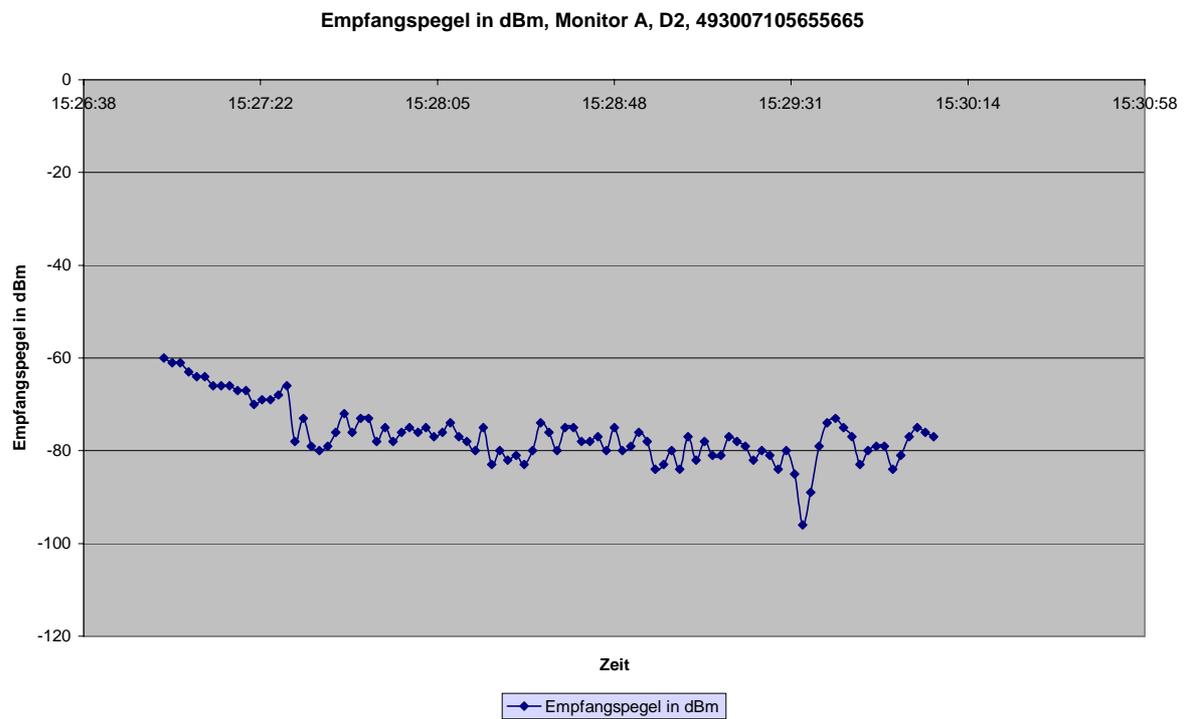


Abbildung 334

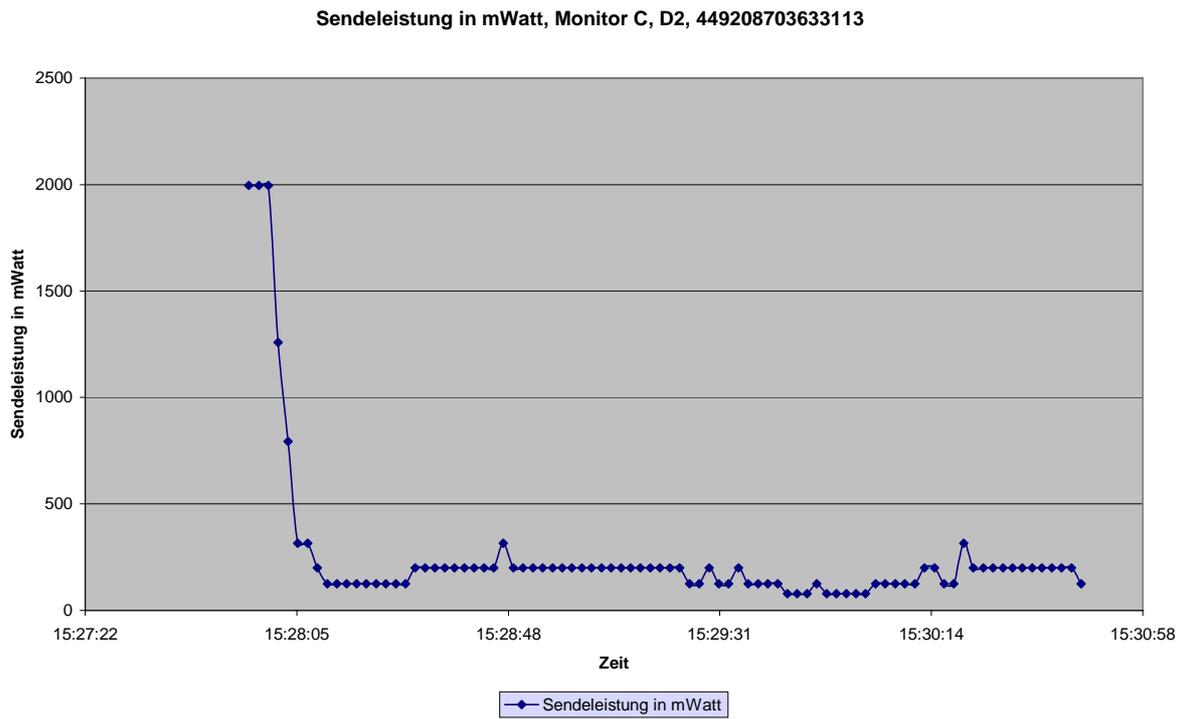


Abbildung 335

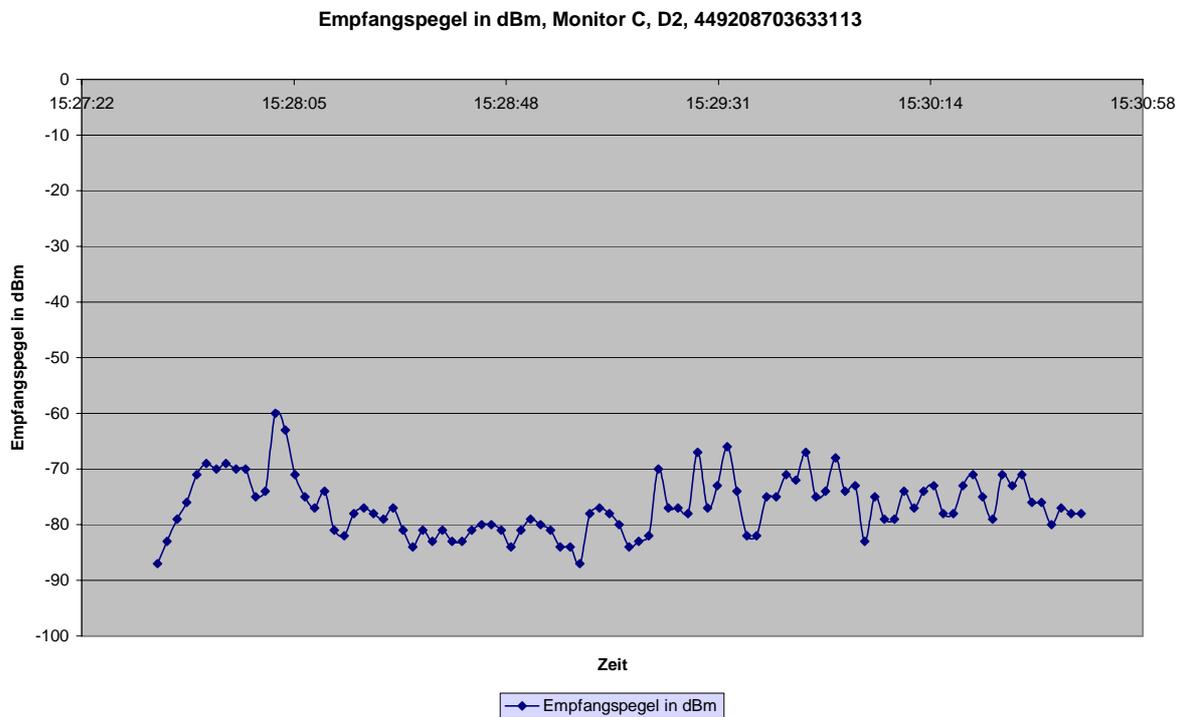


Abbildung 336

9.9.3 Messreihe um ca. 15:48 Uhr

Eine dritte Messreihe erfolgte im Zeitraum zwischen 15:44 und 15:52.

Bei dieser dritten Messreihe wurden zwei Telefone im D1-Netz eingesetzt (ein Mobiltelefon des Typs Nokia 6150, d. h. ein Gerät, das sowohl 900 als auch 1800 MHz-Frequenzen nutzen kann, an der Schnittstelle 31 und ein Nokia 6110, das nur im 900 MHz-Bereich arbeiten kann, an Schnittstelle 32).

Zusätzlich wurden zwei E-Plus-Mobiltelefone (1800 MHz-Netz) an den Schnittstellen 41 und 42 verwendet.

Zwölf D2-Vodafone-Karten wurden mit zweibandigen Mobiltelefonen an den Schnittstellen 36, 37, 38, 43, 33, 35, 44, 45, A, B, C und D verwendet.

(Bei der nachträglichen Auswertung der Messdaten zeigte sich, dass die von den Schnittstellen 33, 35, 44 und 45 gelieferten Daten nicht auszuwerten waren, sei es, weil die Handys wieder aus dem Netz ausgebucht wurden oder sich selbst ausschalteten.)

Insgesamt wurden bei dieser Messreihe 16 Mobiltelefone eingesetzt. Die Personen sprachen wiederum permanent und bewegten sich in Richtung der Plätze mit dem Mashek-Messkopf und der E-Feldsonde.

Abbildung 337 zeigt die Daten der EMR-Feldsonde, die gemessene Leistungsdichte wurde in **Abbildung 338** noch um den Faktor 90 vergrößert, und auch hier ist zu erkennen, dass bei der gleichzeitigen Nutzung von 12 aktiven Mobiltelefonen der Grenzwert bei weitem nicht erreicht werden konnte.

Abbildung 339 zeigt als Grafik die Daten des SAR-Wertes, **Abbildung 340** die gleichen Daten in 40-facher Vergrößerung. Auch bei dieser Messreihe mit 12 Mobiltelefonen ist klar zu erkennen, dass zwar Pegelwerte gemessen wurden, diese jedoch weit vom Grenzwert entfernt waren.

Abbildung 341 und **Abbildung 342** zeigen an der Schnittstelle 31 die Monitordaten des Nokia 6150, eines Zweibandgerätes. An dieser Stelle im Flugzeug kam es im D1-Netz zu einem sprunghaften Wechsel zwischen den GSM-900 und den GSM-1800 Frequenzen; ein Regelvorgang der auch schon an anderer Stelle der Flugzeugmessungen ausführlich kommentiert wurde.

Das an der Schnittstelle 32 angeschlossene D1-Einbandtelefon Nokia 6110 (Monitordaten in **Abbildung 343** und **Abbildung 344**) konnte den Frequenzbereich nicht wechseln, daher blieb es im 900 MHz Bereich und wurde aufgrund der guten Feldversorgung - von der Basisstation gesteuert - herunter geregelt.

Abbildung 345, **Abbildung 346**, **Abbildung 347**, **Abbildung 348**, **Abbildung 349**, **Abbildung 350**, **Abbildung 351**, **Abbildung 352**, **Abbildung 353**, **Abbildung 354**, **Abbildung 355**, **Abbildung 356**, **Abbildung 357**, **Abbildung 358**, **Abbildung 359** und **Abbildung 360** zeigen die Monitordaten (Sendeleistung und Empfangspegel) für die in den D2-Netzen eingebuchten Mobiltelefone.

Da die Feldversorgung an dieser Lokalität im D2-Netz sehr gut war, wurde - von der Basisstation gesteuert - die Sendeleistung herunter geregelt; die emittierte Sendeleistung der Mobiltelefone war somit sehr gering.

Hingegen war - dies ist aus **Abbildung 361, Abbildung 362, Abbildung 363 und Abbildung 364** zu erkennen - die Feldversorgung im E-Plus-Netz nicht so gut, sodass die Mobiltelefone den größten Teil der Zeit mit voller Sendeleistung im 1800 MHz Bereich sendeten.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass auch bei der Verwendung einer höheren Anzahl von Mobiltelefonen sich an den Immissionswerten in der Nähe des Maschek-Messkopf und der EMR-Feldsonde nichts grundlegend ändert.

Reflexionen, die zu Feldstärkeerhöhungen führen, waren nicht festzustellen. Zwar waren die EMR-Messsonde und der Messkopf stationär, jedoch bewegten sich die Personen, sodass Feldstärkeüberhöhungen hätten festgestellt werden können, wenn sie denn vorhanden gewesen wären.

Auch dieses Mess-Szenario zeigt, dass eine erhöhte Anzahl von Mobiltelefonen nicht direkt mit einer höheren Immissionsbelastung korreliert ist.

Entscheidend sind die Strahlungsemissionswerte der einzelnen Mobiltelefone, und diese können aufgrund des Regelverhaltens in Abhängigkeit der Feldversorgung, des Regelalgorithmus, des Einbuchungsverhaltens und der damit in Zusammenhang stehenden Netzlast sehr unterschiedlich sein.

Auch ist unbedingt die Absorption durch die beteiligten telefonierenden Personen zu berücksichtigen.

Die Strahlungsemission der Mobiltelefone kann zwischen 2 Watt und 3 mW im 900-MHz Frequenzbereich variieren, d. h., ein einziges Mobiltelefon kann mit einer Sendeleistung von 2 Watt die gleiche Strahlungsemission bewirken, wie 666 Telefone, die jeweils mit 3 mW senden.

Nimmt man realistisch für jedes Telefon auch eine einzige telefonierende Person an, so ist die Strahlungsemission von 666 Telefonen (mit jeweils 3 mW Sendeleistung) an 666 Köpfen gehalten selbstverständlich geringer, als die Strahlungsemission von einem einzigen Mobiltelefon mit 2000 mW am Kopf einer einzigen Person.

Jede Person absorbiert die Strahlungsleistung mit der ganzen Körperfläche und eine hohe Zahl von Personen absorbiert mehr der frei ausgesendeten elektromagnetischen Wellen als eine Person. Daher sind bei einer hohen Zahl von Personen das Auftreten von reflektierten Wellen und eine dadurch entstehende Überlagerung und Feldstärkeüberhöhung nicht möglich. Insofern ist der Gedanke, mit höheren Personenzahlen und höheren Handyzahlen zu arbeiten, um dadurch Reflexionen festzustellen, - bei Berücksichtigung realer Emissionswerte - vom Ansatz nicht tragfähig.

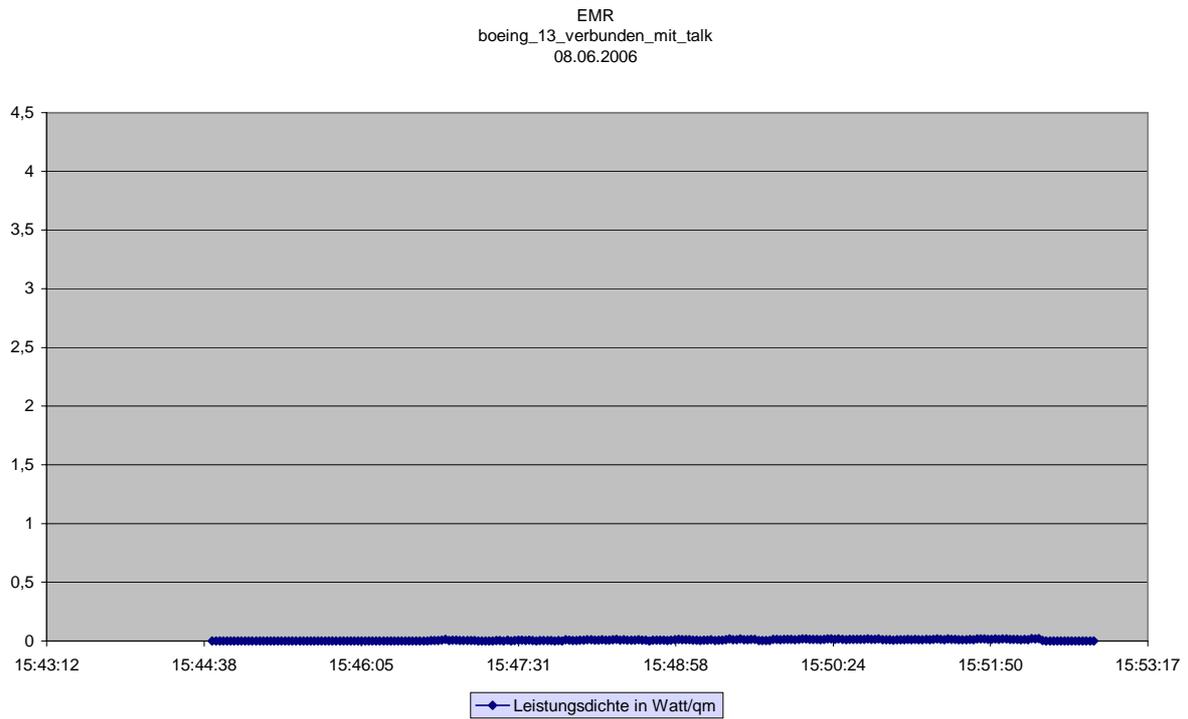


Abbildung 337

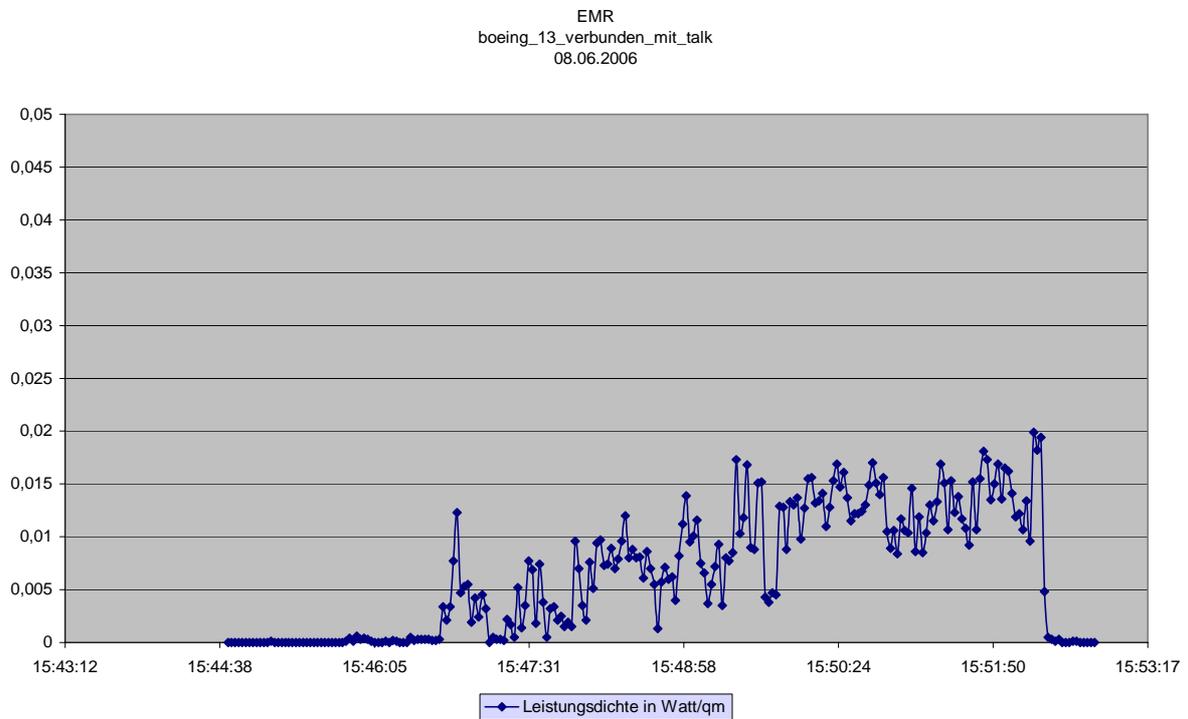


Abbildung 338 (in 90-facher Vergrößerung)

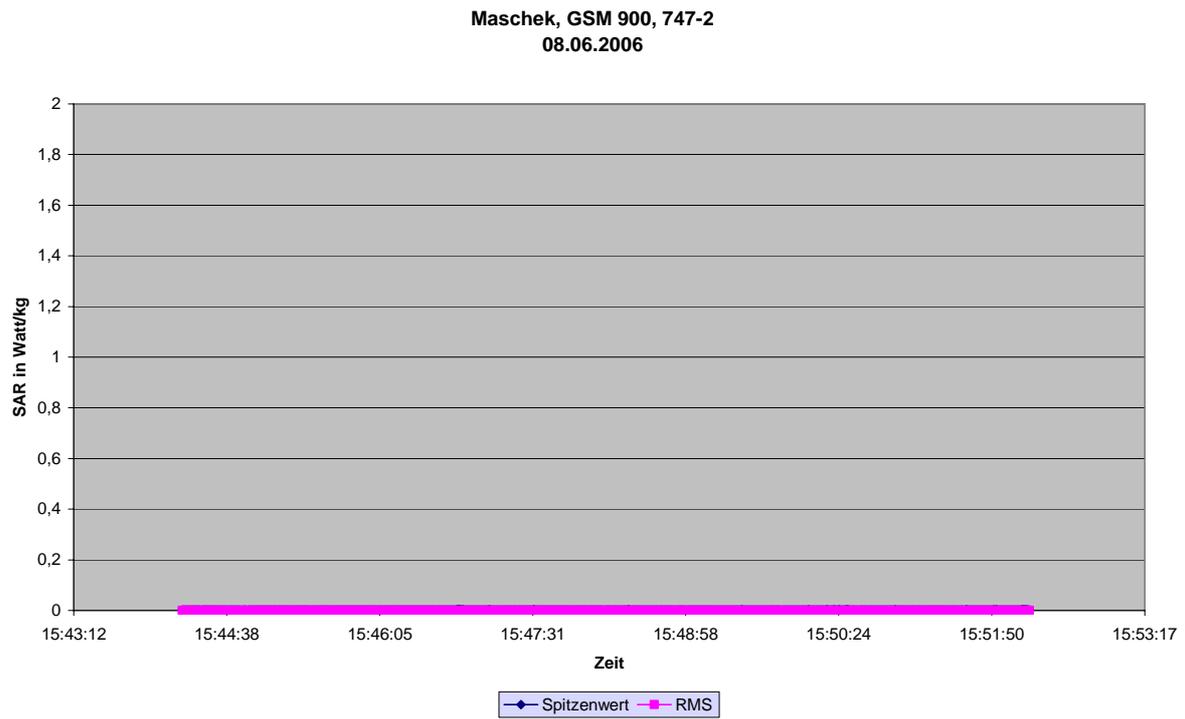


Abbildung 339

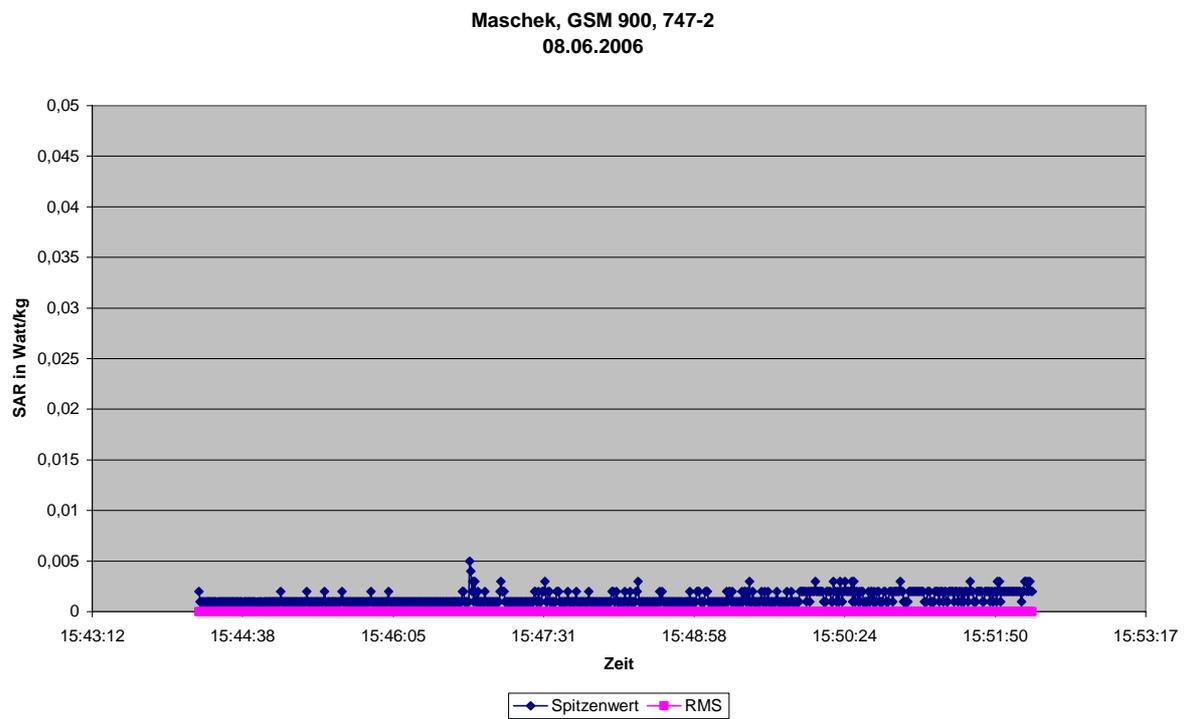


Abbildung 340 (in 40-facher Vergrößerung)

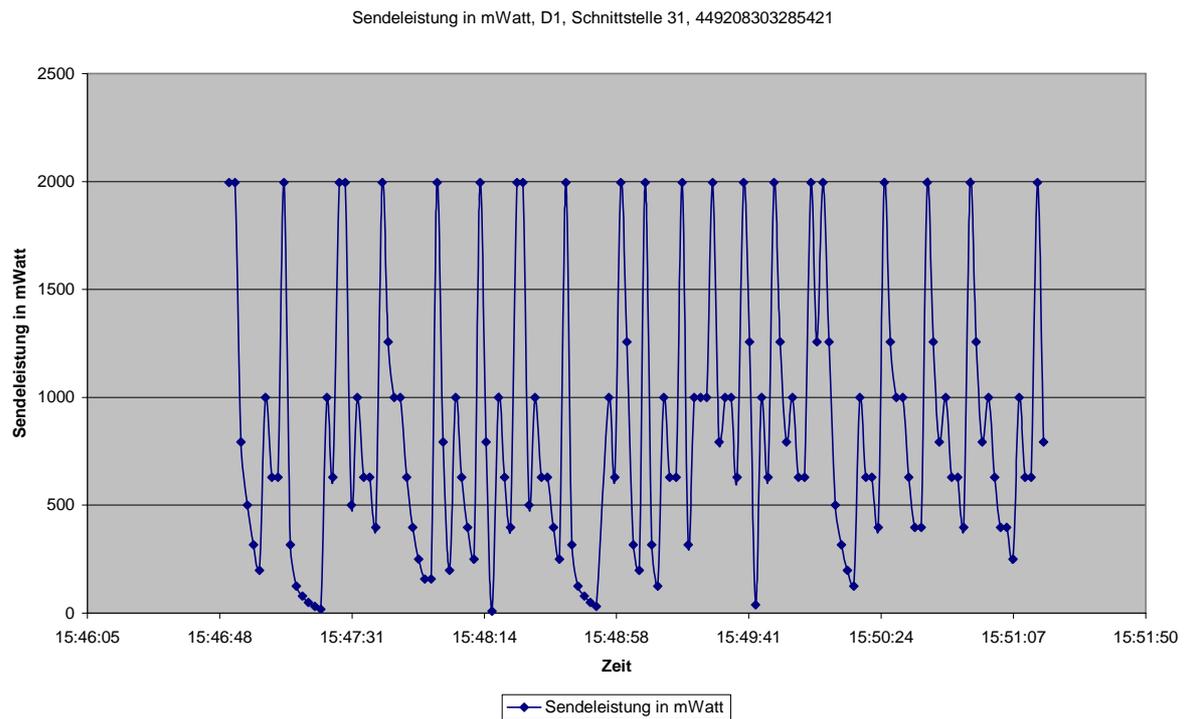


Abbildung 341

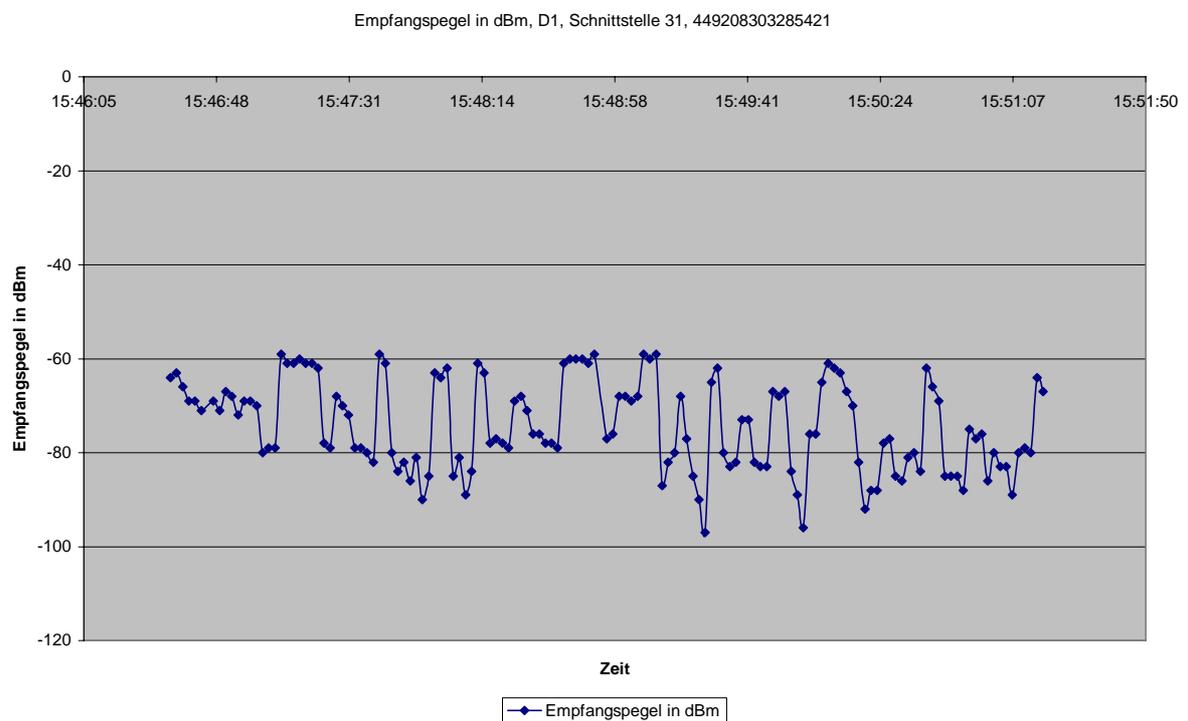


Abbildung 342

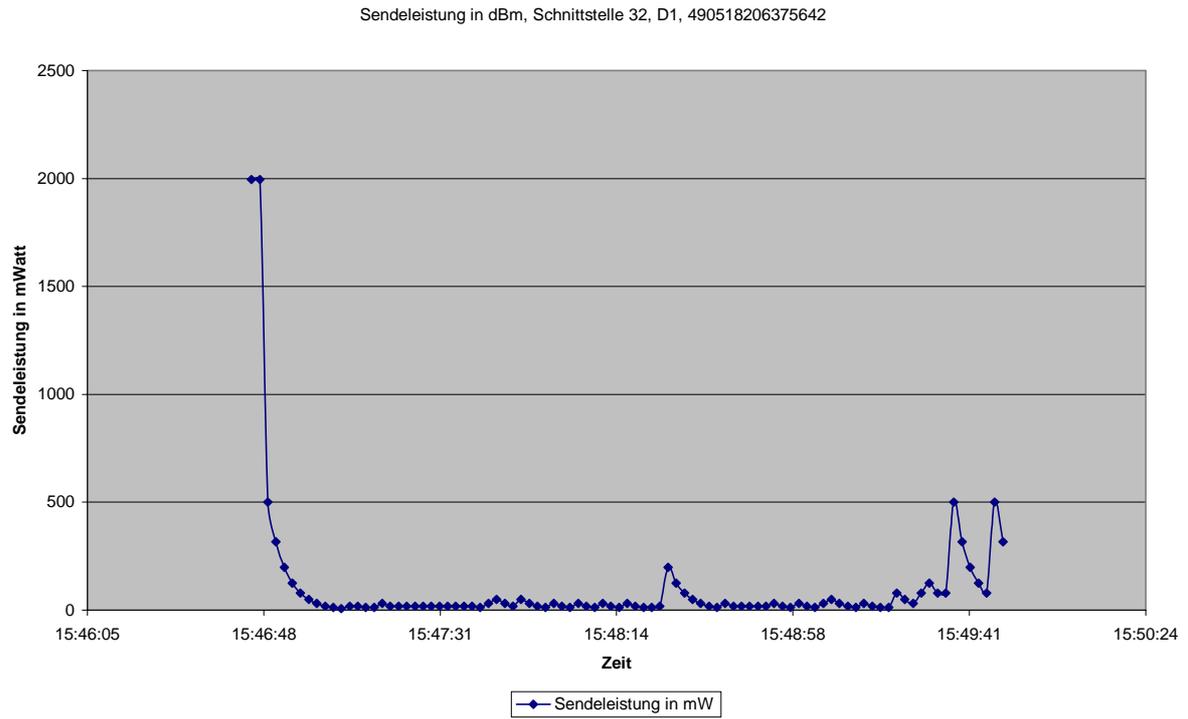


Abbildung 343 (Nokia 6110, nur 900 MHz)

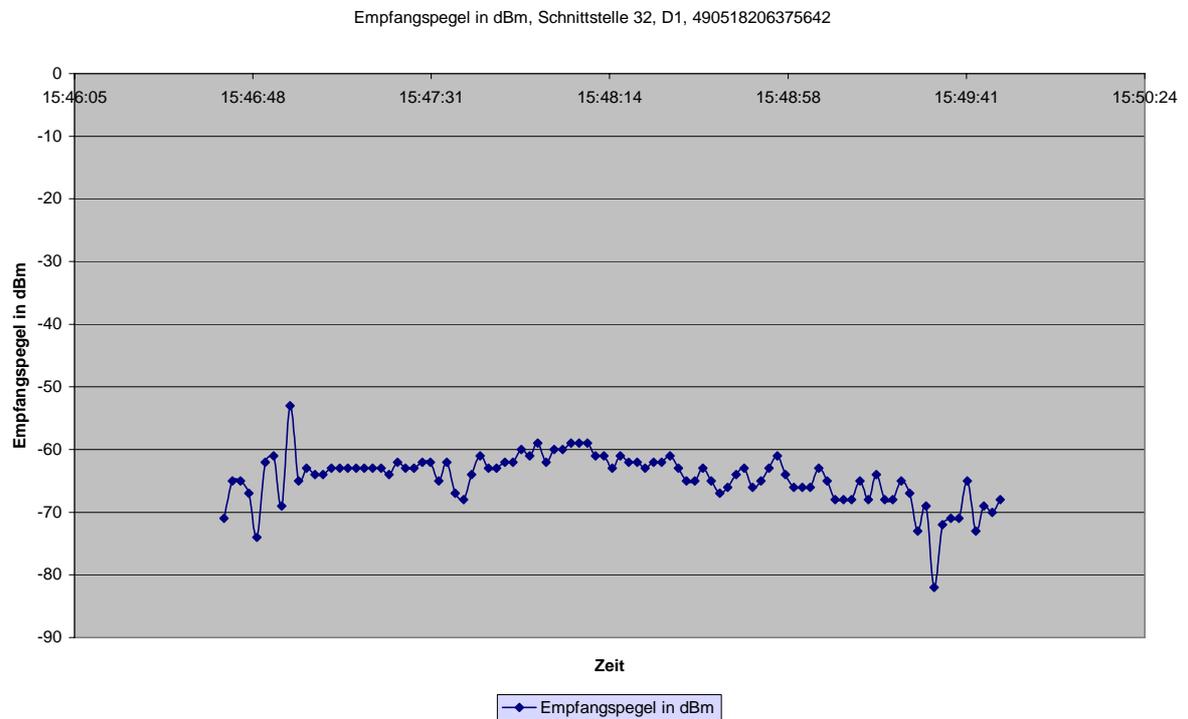


Abbildung 344

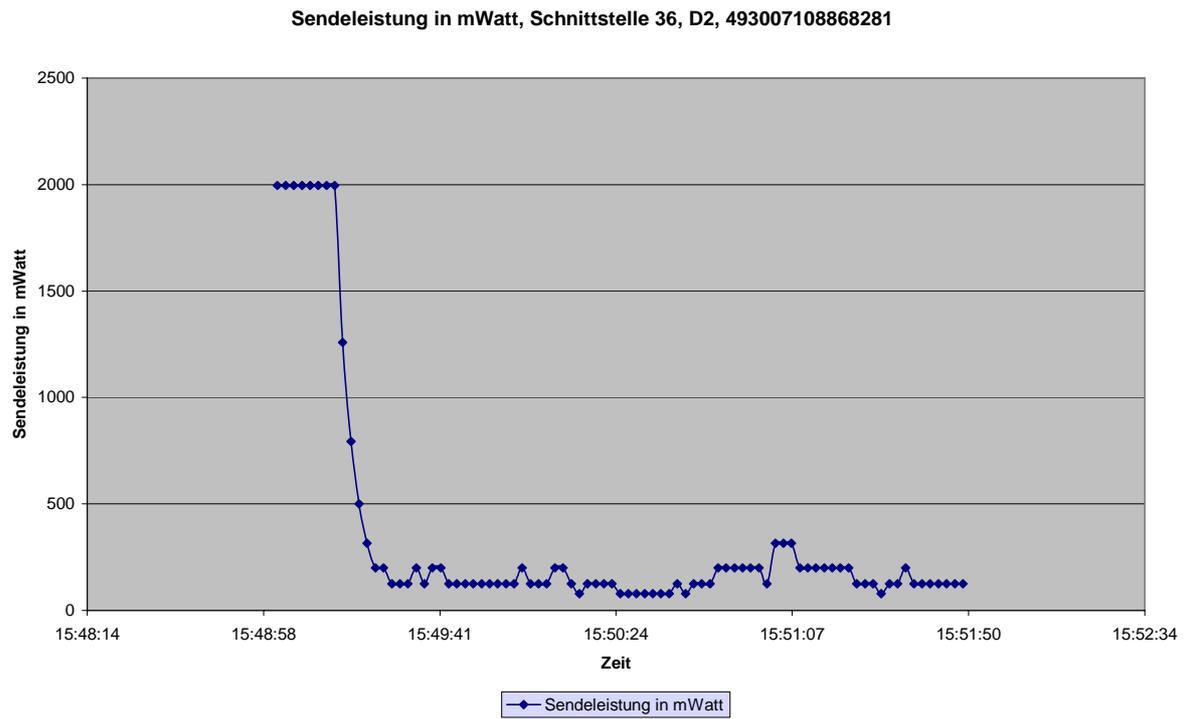


Abbildung 345

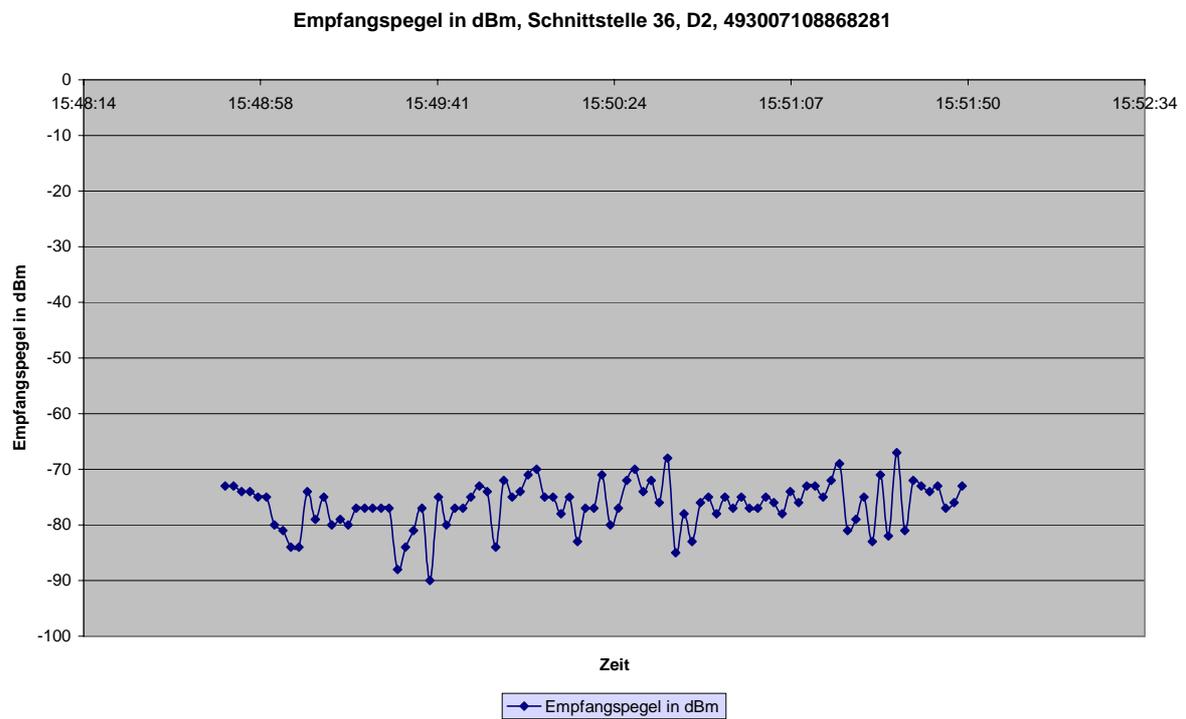


Abbildung 346

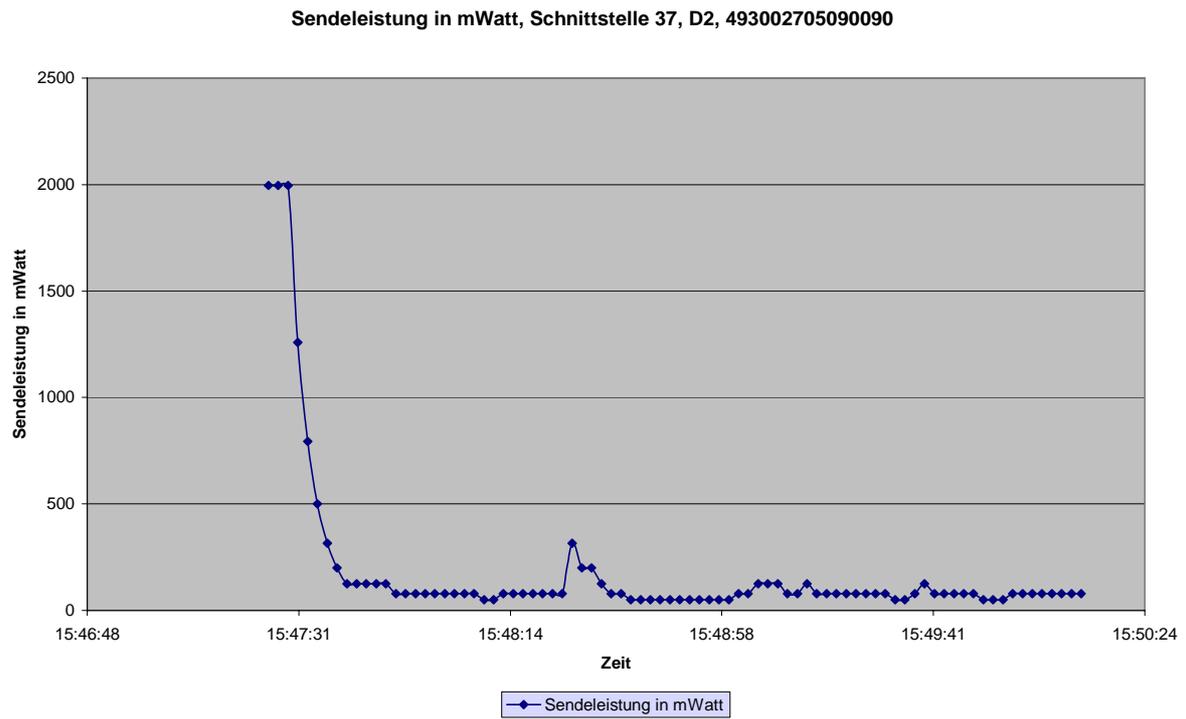


Abbildung 347

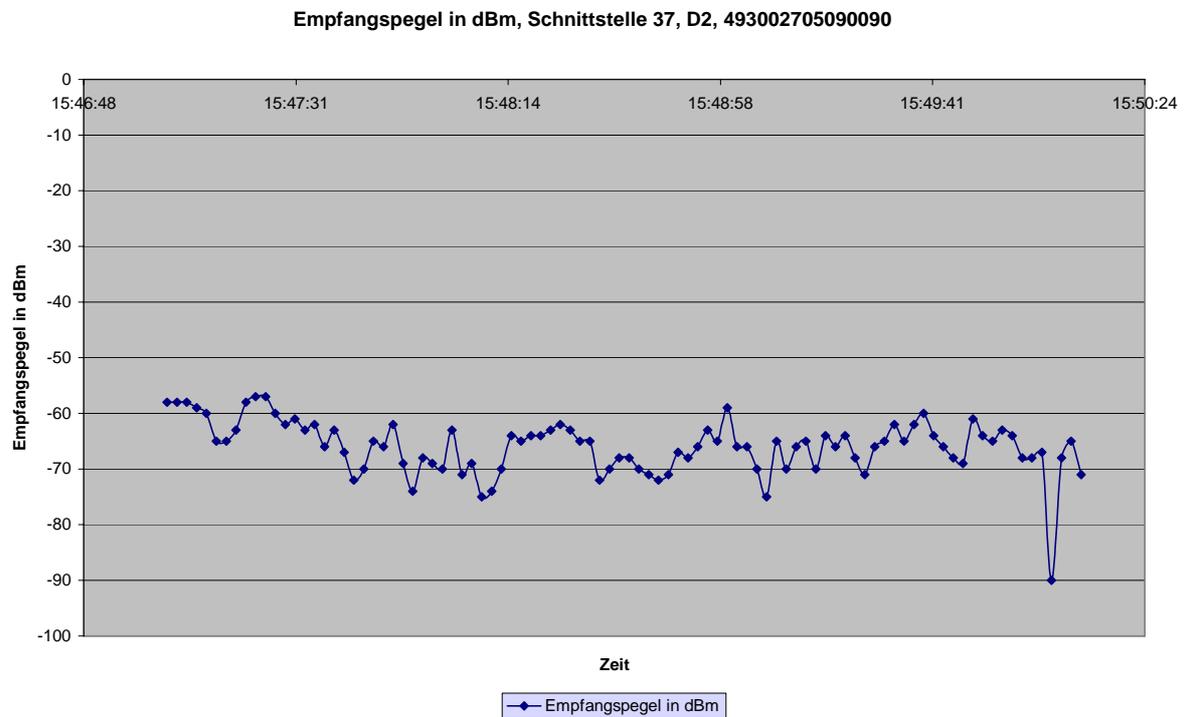


Abbildung 348

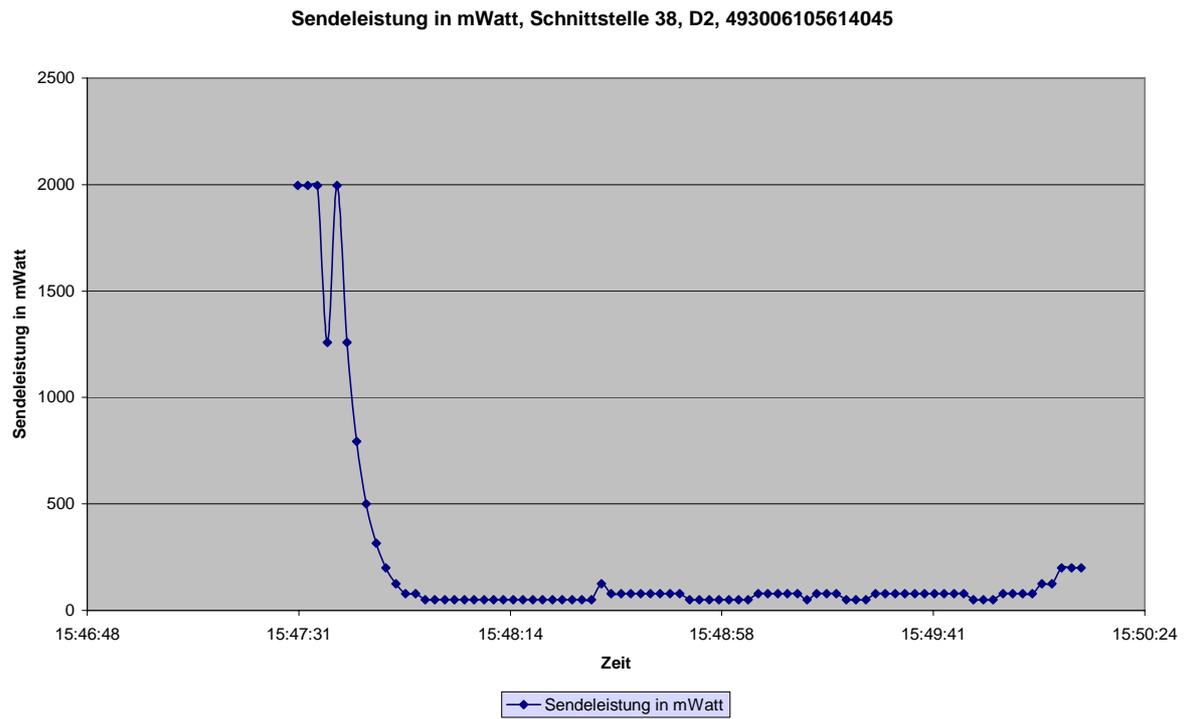


Abbildung 349

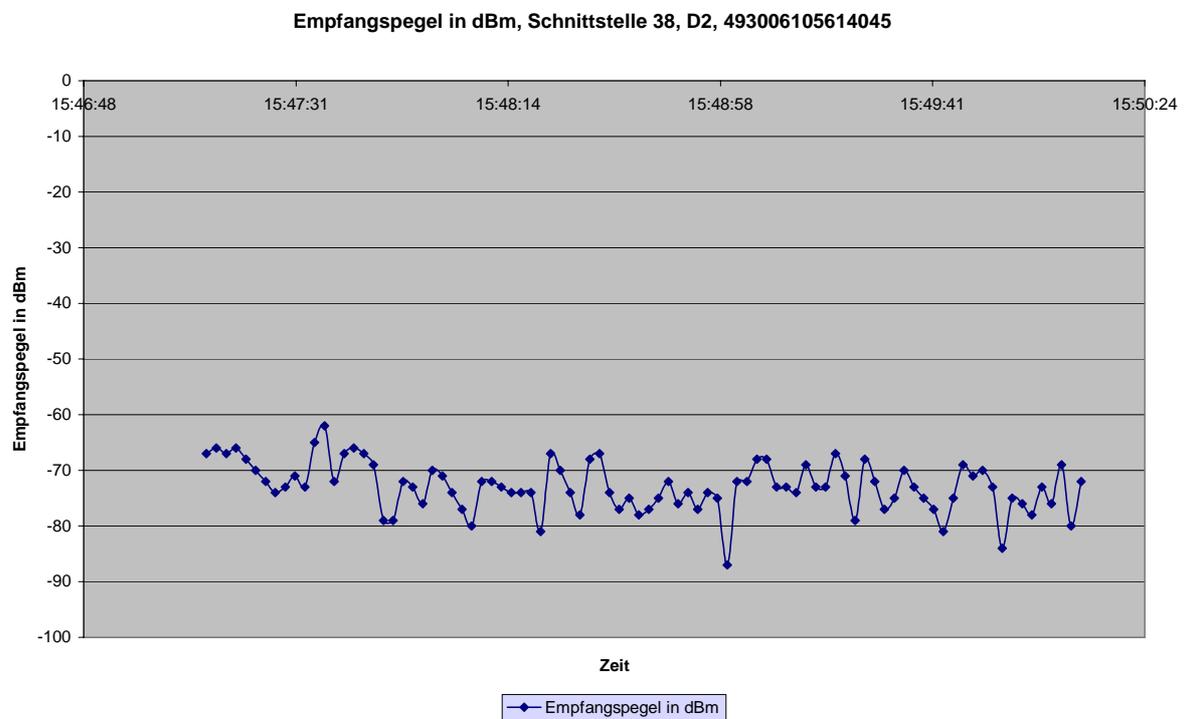


Abbildung 350

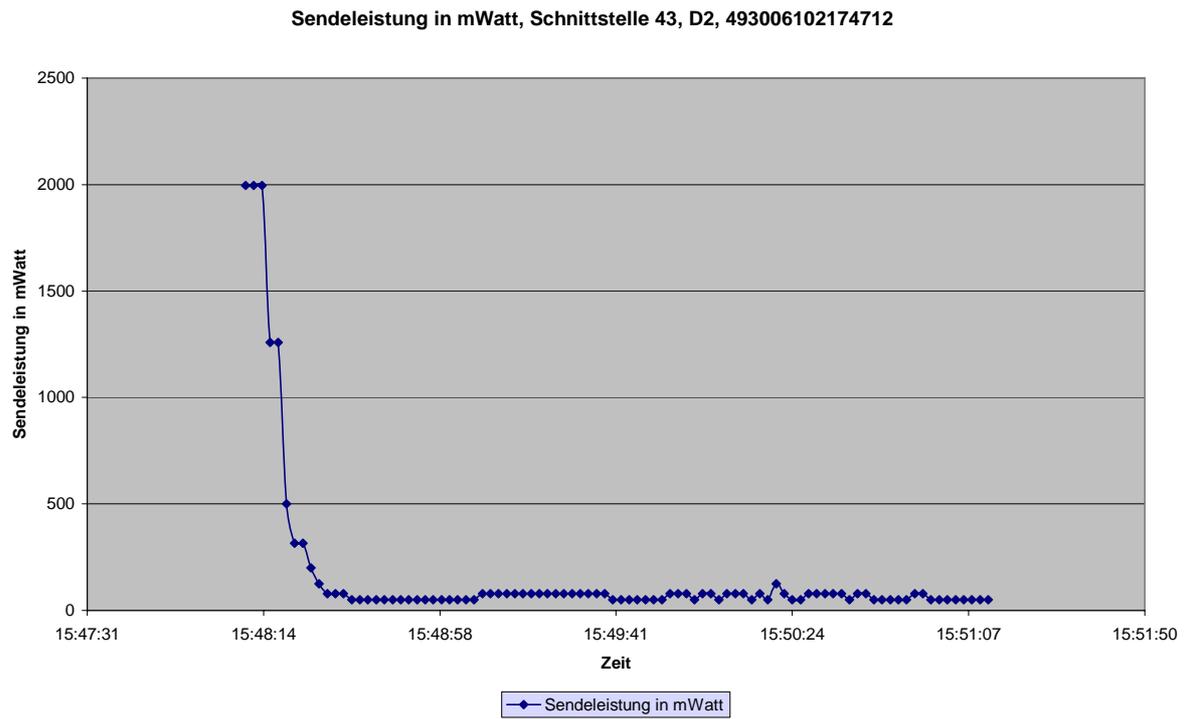


Abbildung 351

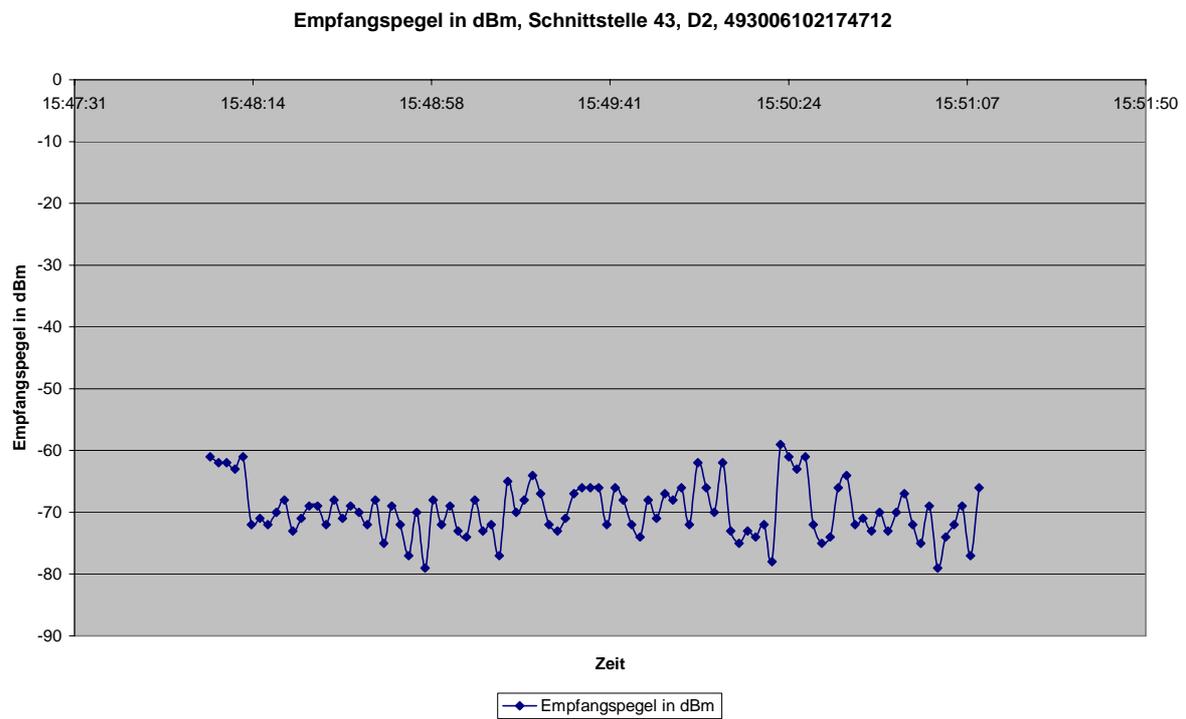


Abbildung 352

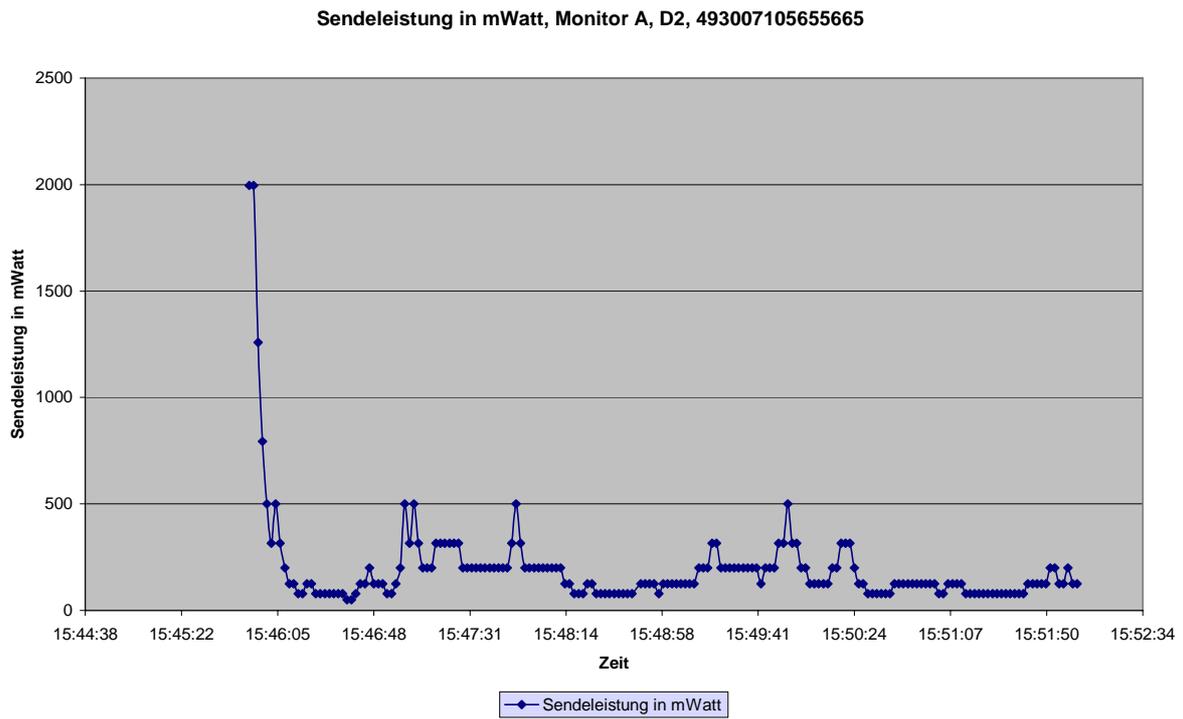


Abbildung 353

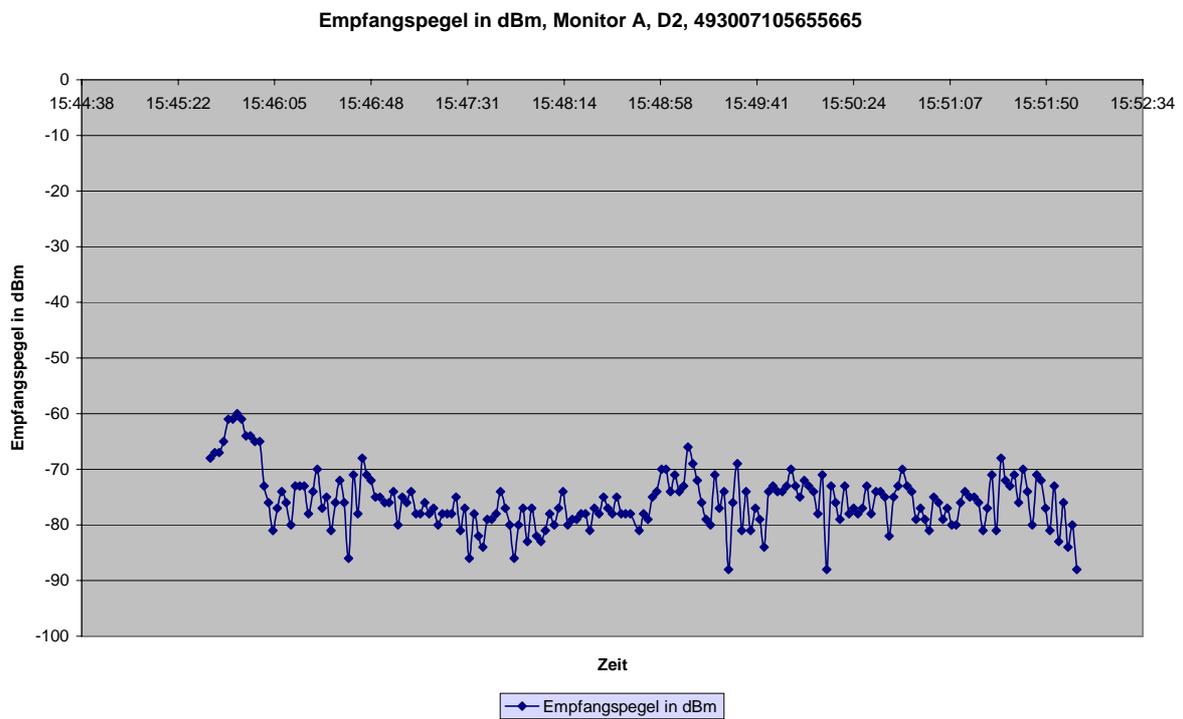


Abbildung 354

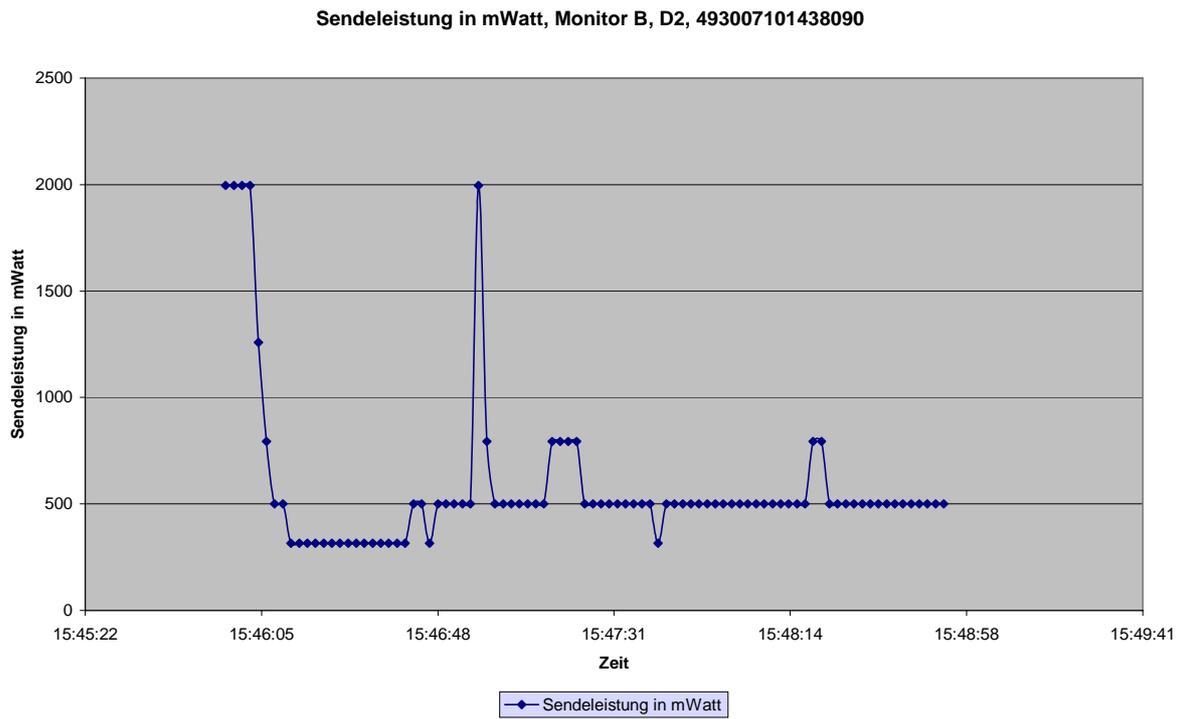


Abbildung 355

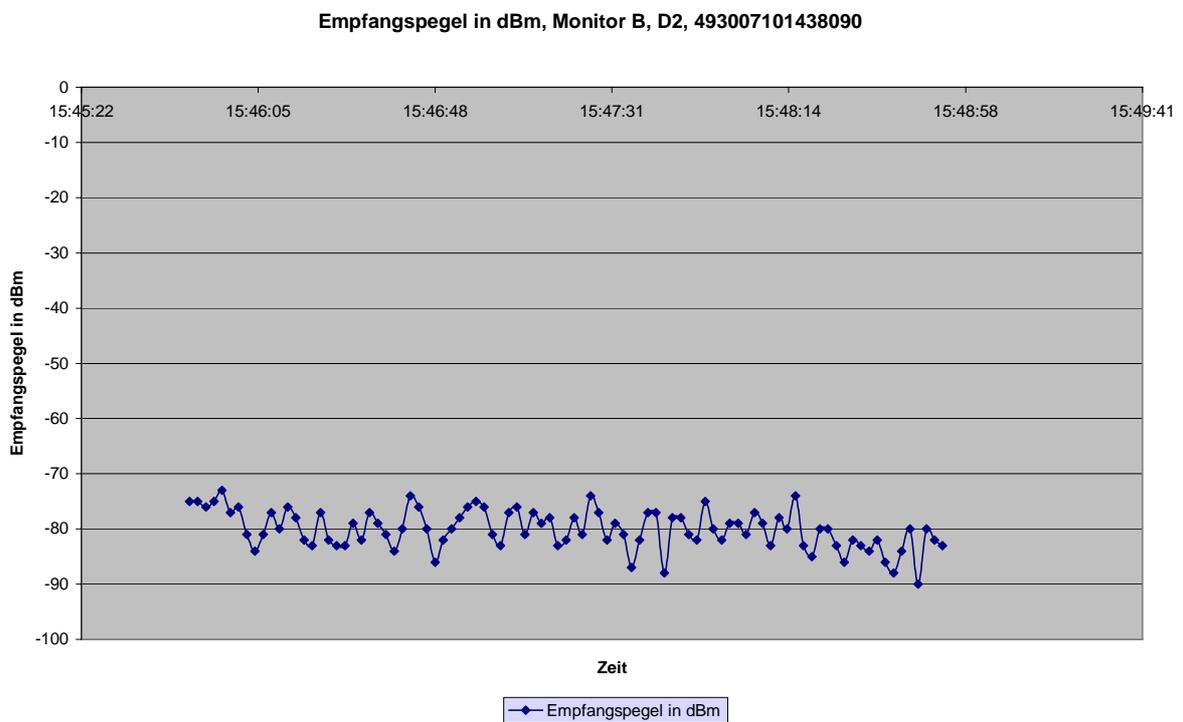


Abbildung 356

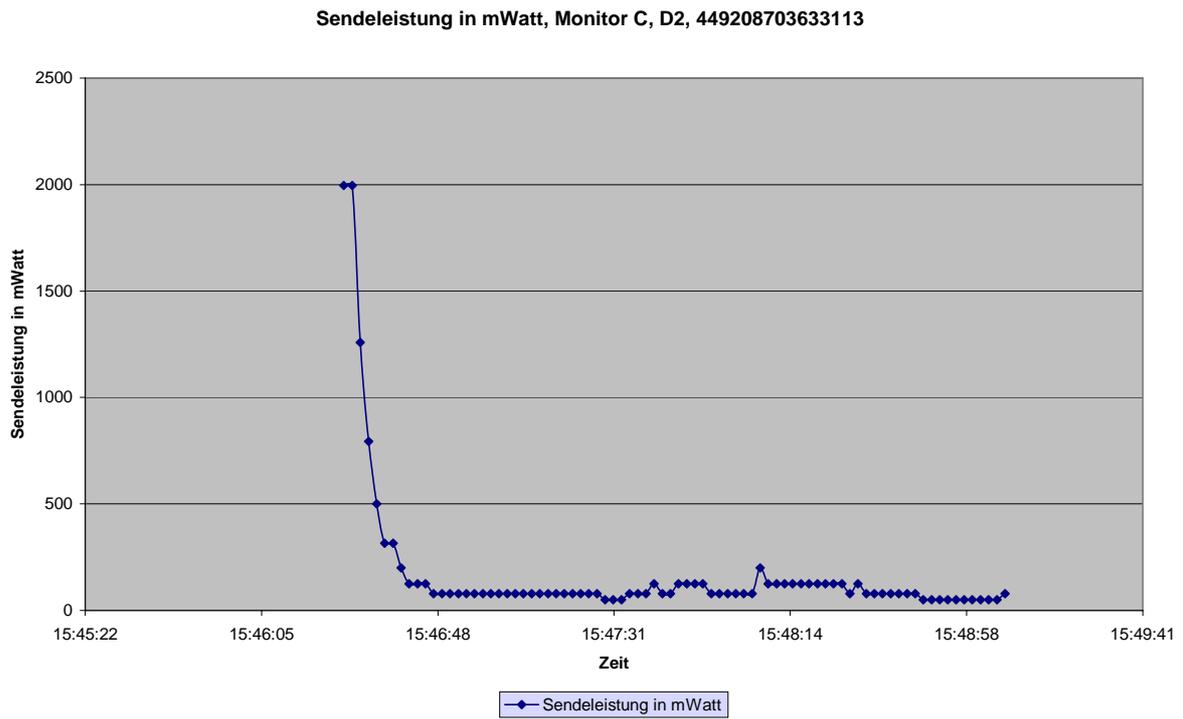


Abbildung 357

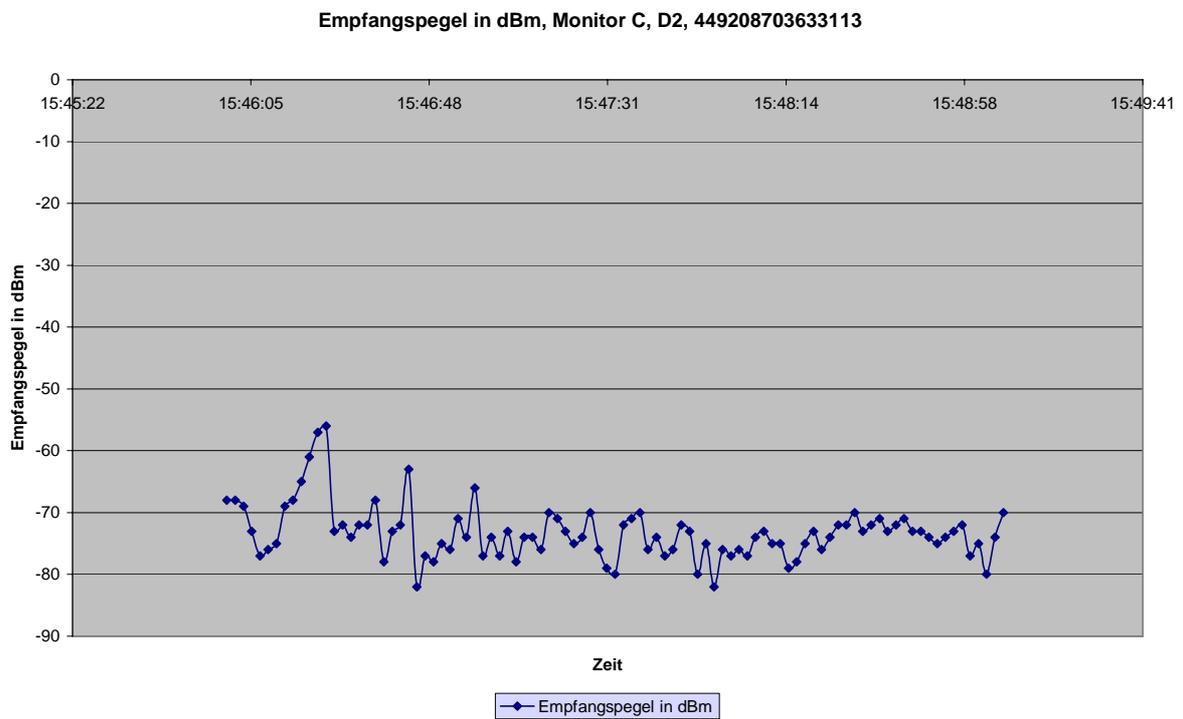


Abbildung 358

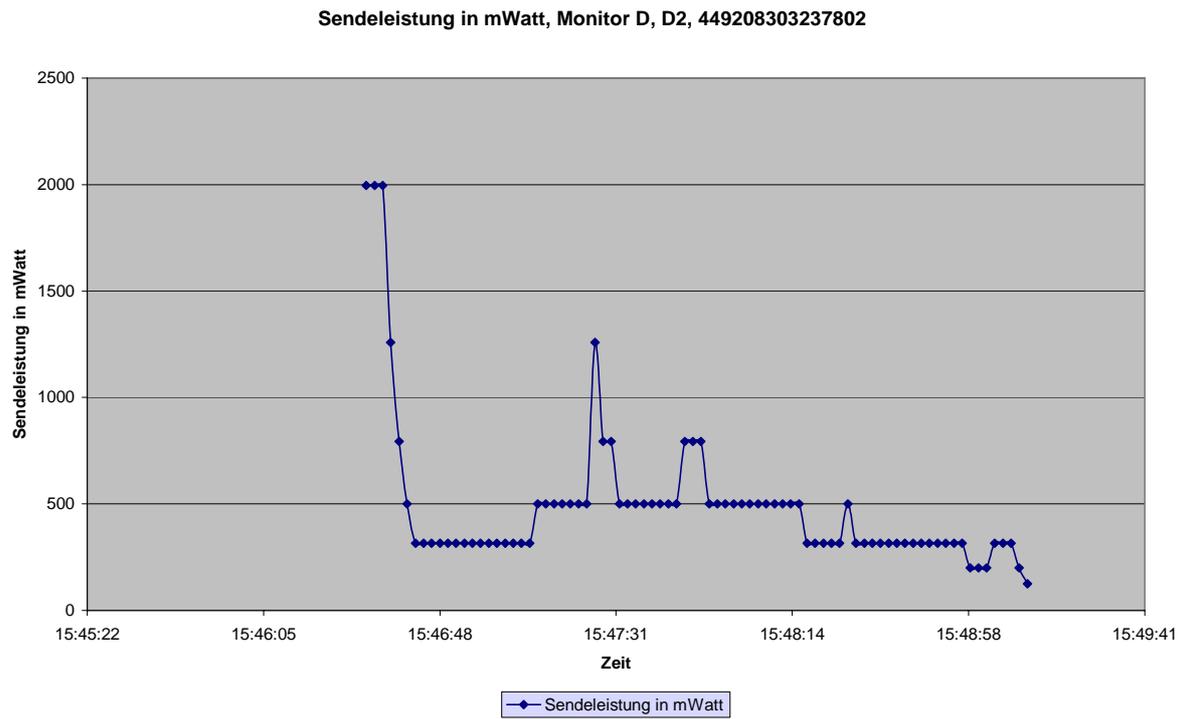


Abbildung 359

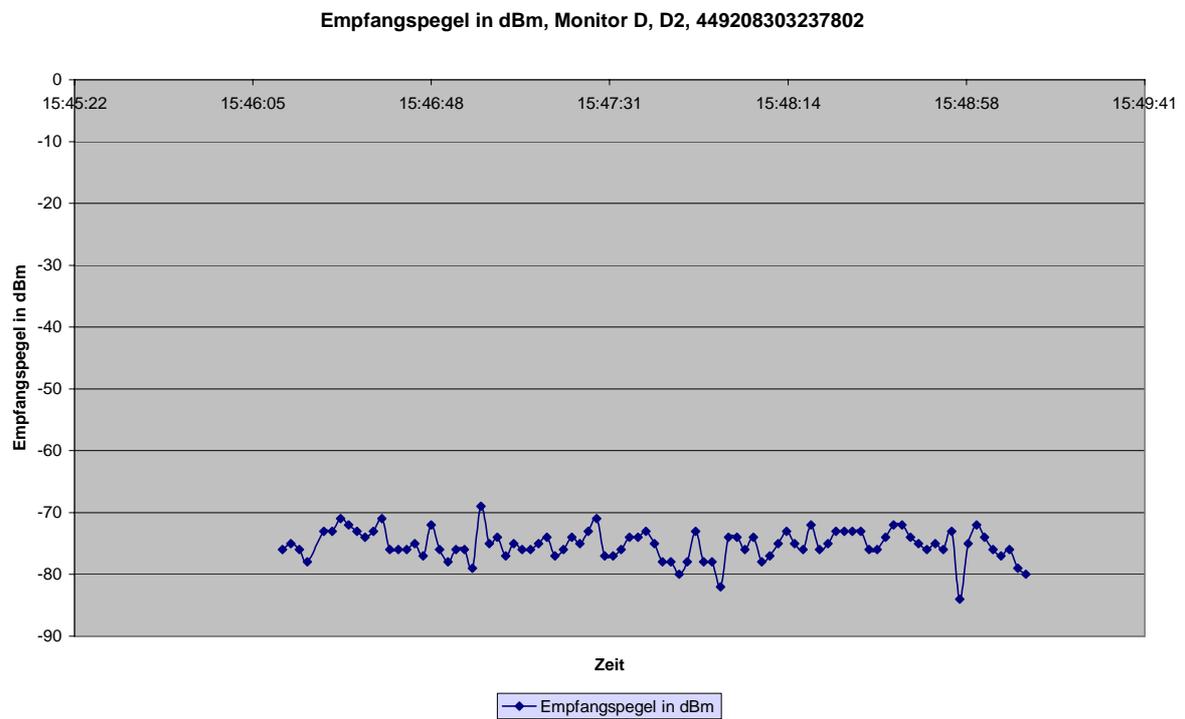


Abbildung 360

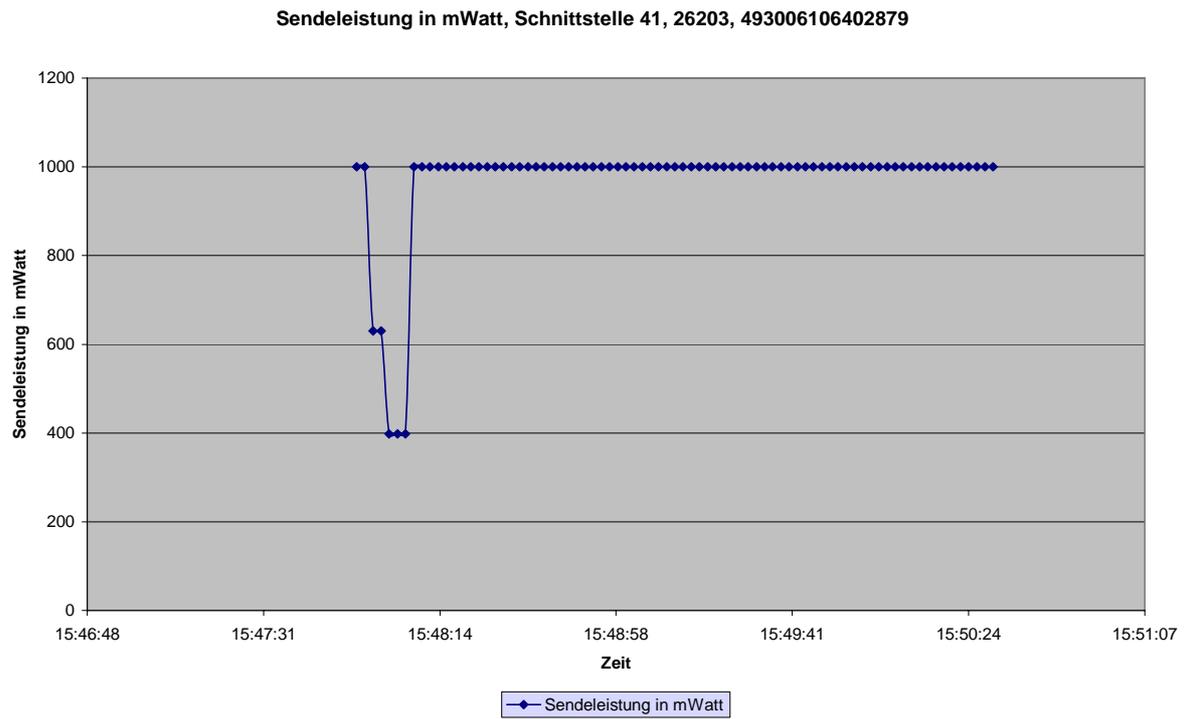


Abbildung 361

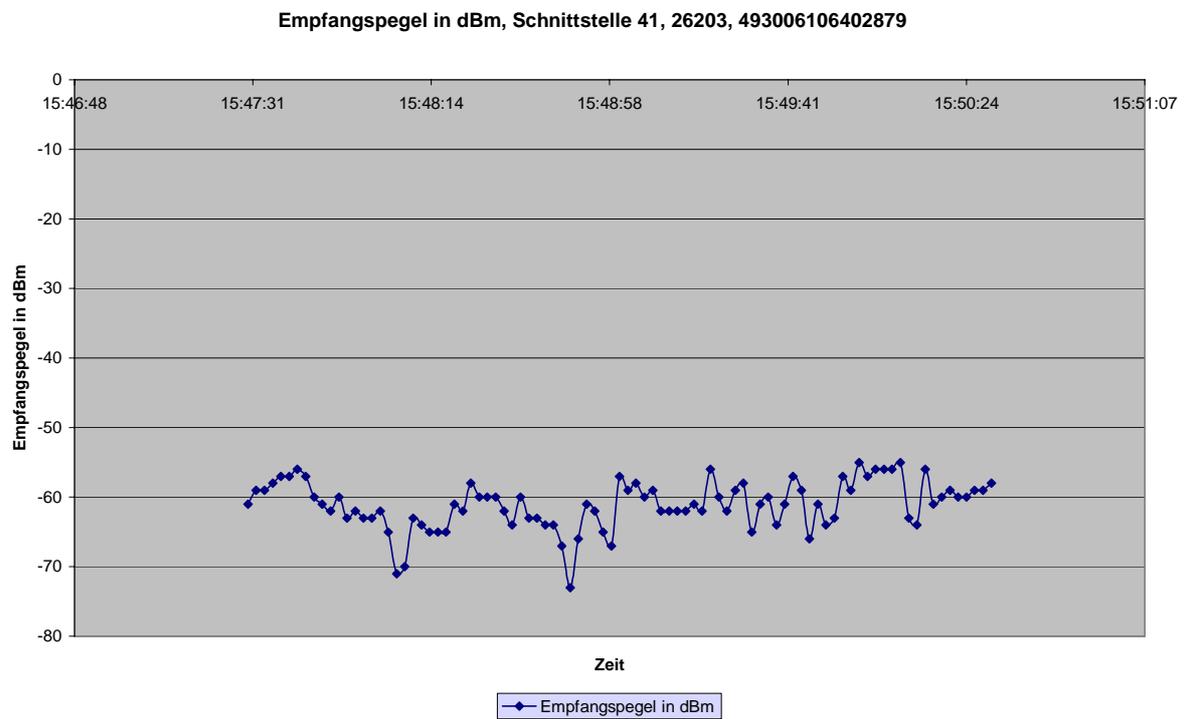


Abbildung 362

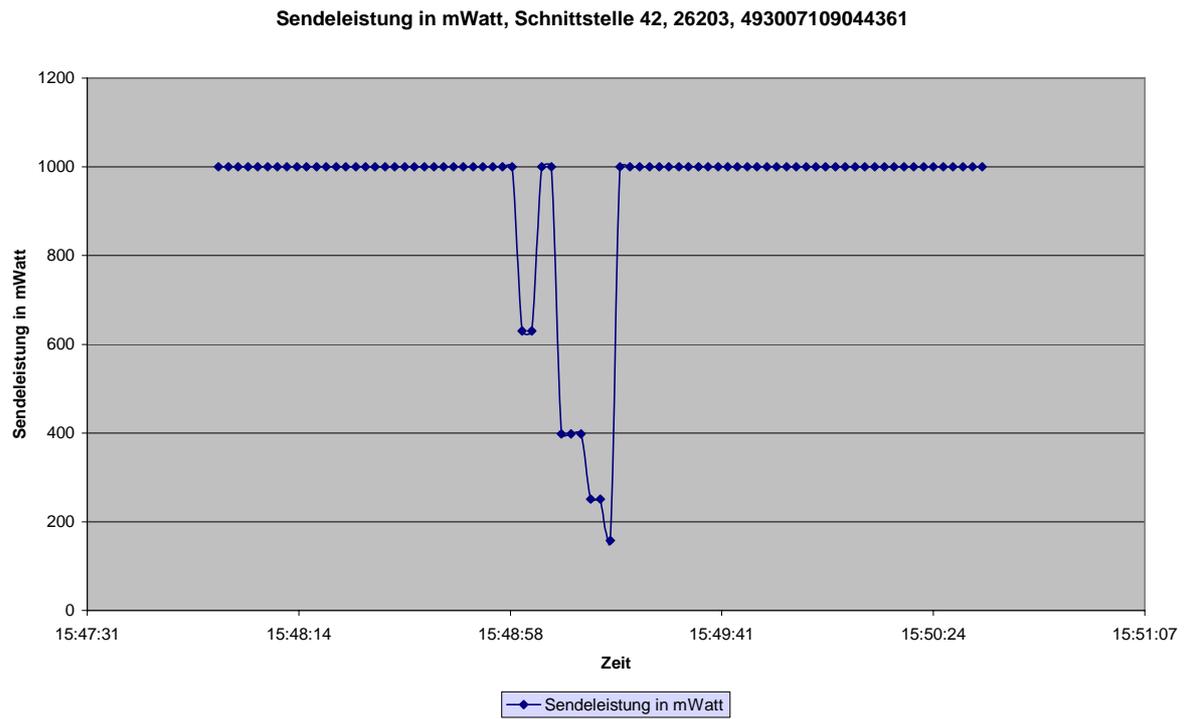


Abbildung 363



Abbildung 364

9.9.4 Vierte Messreihe um ca. 16:00 (UMTS)

Ergänzende UMTS-Messungen

Zusätzlich wurden noch Messungen mit dem UMTS-Mobiltelefon bei einem Gang durch das Flugzeug durchgeführt.

Die **Abbildung 372** und **Abbildung 373** zeigen die am SAR-Messkopf gemessenen Werte während der UMTS-Messphase. Die Messwerte waren immer – unabhängig von der Entfernung nahe Null und gleich; wahrscheinlich wurde die Leistung des am PC angebrachten Bluetooth-Adapters gemessen.

Alles in allem haben diese UMTS-Messungen gezeigt, dass die durch UMTS verursachte Immission äußerst gering ist.

Bei der Auswertung der Messungen muss beachtet werden, dass die Strahlungsemission der Hilfsgeräte, hier Bluetooth-Übertragung, genauso wie die die Strahlungsemission der zu messenden Quelle zu berücksichtigen sind.

Um dies exemplarisch auch zu zeigen, wurden die UMTS-Messungen um Bluetooth Messungen ergänzt.



Abbildung 365

Abbildung 365 zeigt die Versuchsperson mit dem UMTS-Telefon am Ohr beim Beginn des Ganges durch das Flugzeug.

Abbildung 366 zeigt die E-Feldsonde in Berührung mit dem Bluetooth-Adapter. Das UMTS-Messtelefon vom Typ Nokia NTM 6650 verfügt über eine integrierte Bluetooth-Schnittstelle, so dass vom UMTS-Telefon über Bluetooth zu dem am PC angeschlossenen Bluetooth-Adapter die Messdaten übertragen wurden. Um festzustellen, ob ein Einfluss des Bluetooth-Adapters auf die gemessenen Feldwerte besteht, wurde Bluetooth separat vermessen.



Abbildung 366



Abbildung 367

In **Abbildung 367** ist das Heranhalten des Bluetooth-Adapters an den Maschek-Messkopf zu erkennen. Die Daten werden im PC im Vordergrund angezeigt und abgespeichert.

In **Abbildung 368** ist die Datengraphik aus dem Maschek-Messkopf auf dem Bildschirm des PCs dargestellt; der Bluetooth-Adapter ist am Maschek-Messkopf erkennbar.

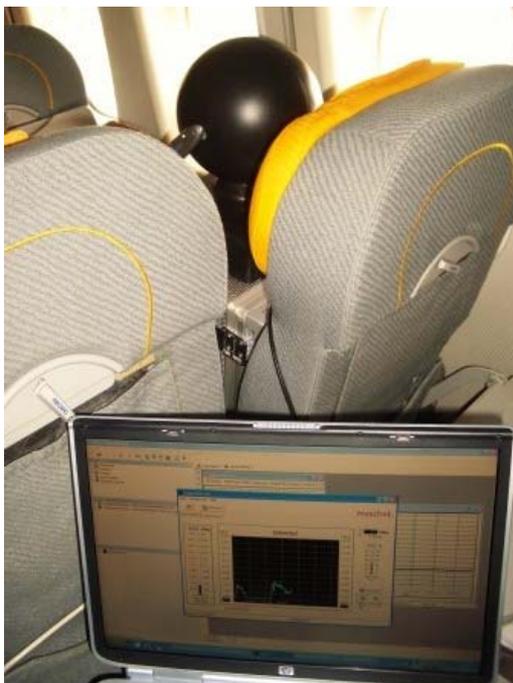


Abbildung 368

In **Abbildung 369** sind der Empfangspegel und der Sendeleistungspegel des Mess-UMTS-Mobiltelefons dargestellt, der über die Fokus Infocom Software ausgelesen wurde.

Anhand der Werte in **Tabelle 54** ist zu sehen, dass das Mobiltelefon im Vodafone D2-Netz eingebucht war, das an dieser Messstelle im Flugzeug eine sehr gute Feldversorgung hat.

Sendeleistungswerte von -40 dB (entspricht $0,1 \mu\text{W}$) bis -20 dB (entspricht $10 \mu\text{W}$) zeigen, dass die Sendeleistung in diesem Fall um ca. 20 dB schwankt.

Es zeigt aber auch, dass die Sendeleistung absolut gesehen, sehr gering ist. In diesem Fall tritt einmal der wahrscheinlich singuläre Fall auf, dass die Sendeleistung des UMTS-Telefons so gering ist wie der Empfangspegel an dieser Stelle. Da die Sendeleistung des UMTS-Telefons extrem gering ist, ist bei den EMR-Feldmessungen kein Immissionspegel zu erwarten.

Um das EMR-Gerät zu testen, wurde der Bluetooth-Adapter einmalig an die EMR-Feldsonde gehalten, die zu diesem Zeitpunkt auftretenden Leistungsdichtewerte sind in **Abbildung 370** und **Abbildung 371** eingetragen; in der übrigen Zeit wurden die summierten UMTS- und Bluetooth Werte von der EMR-Sonde gemessen. Die Daten hierzu finden sich in **Tabelle 55**.

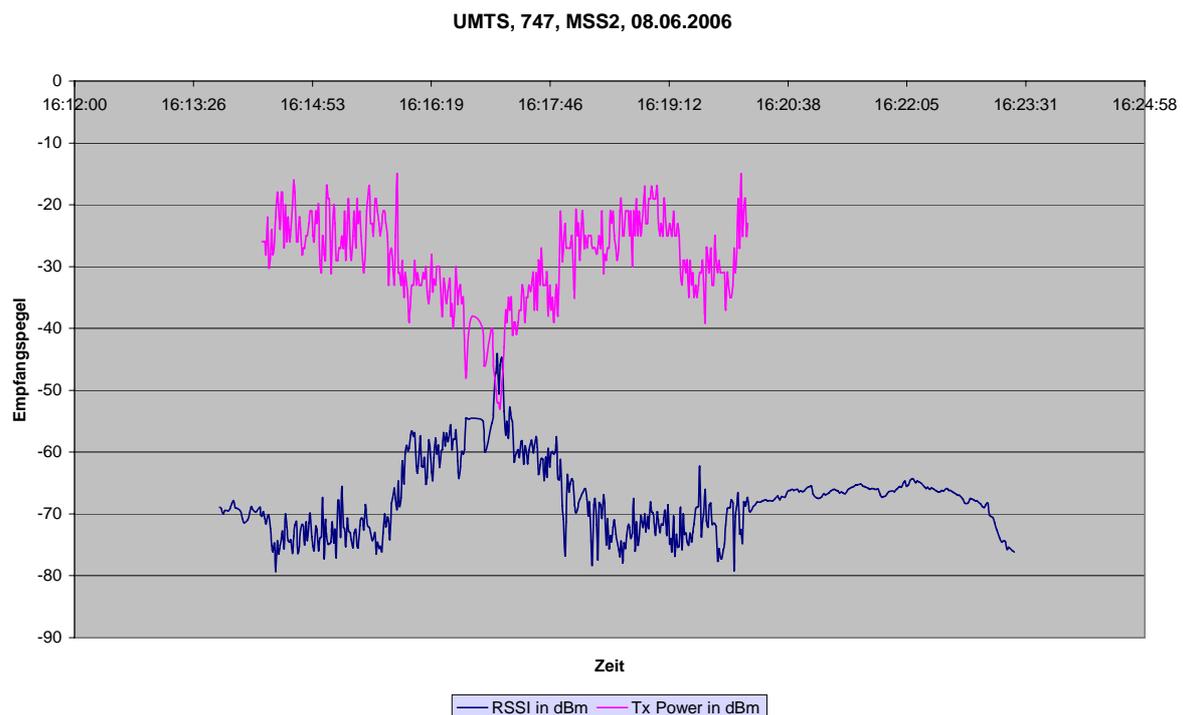


Abbildung 369

Date	Time	RSSI	Tx Power	UARFCN
08.06.2006	16:16:56,230	-54,90000153	-40	10564
08.06.2006	16:16:57,420	-57,20000076	-46	10564
08.06.2006	16:16:58,260	-60	-46	10564
08.06.2006	16:17:03,420	-55,29999924	-40	10564
08.06.2006	16:17:04,230	-54	-46	10564
08.06.2006	16:17:05,250	-47,90000153	-48	10564
08.06.2006	16:17:06,250	-47,20000076	-50	10564
08.06.2006	16:17:07,280	-44,09999847	-52	10564
08.06.2006	16:17:08,250	-50,59999847	-52	10564
08.06.2006	16:17:09,230	-45,90000153	-53	10564
08.06.2006	16:17:10,230	-44,70000076	-49	10564
08.06.2006	16:17:11,230	-47,09999847	-47	10564
08.06.2006	16:17:12,230	-53,40000153	-43	10564
08.06.2006	16:17:13,230	-57,29999924	-37	10564
08.06.2006	16:17:14,230	-55	-39	10564
08.06.2006	16:17:15,250	-57,79999924	-35	10564
08.06.2006	16:17:16,230	-52,79999924	-37	10564
08.06.2006	16:17:17,230	-54,59999847	-35	10564
08.06.2006	16:17:18,230	-55,09999847	-41	10564
08.06.2006	16:17:19,230	-61,5	-39	10564
08.06.2006	16:17:20,230	-60,59999847	-39	10564
08.06.2006	16:17:21,230	-60,20000076	-41	10564
08.06.2006	16:17:22,230	-59,59999847	-39	10564
08.06.2006	16:17:23,250	-60,90000153	-37	10564
08.06.2006	16:17:24,260	-58,29999924	-37	10564
08.06.2006	16:17:25,230	-58,20000076	-33	10564
08.06.2006	16:17:26,260	-62	-35	10564
08.06.2006	16:17:27,230	-59	-39	10564
08.06.2006	16:17:28,250	-60,09999847	-35	10564
08.06.2006	16:17:29,230	-61,90000153	-35	10564
08.06.2006	16:17:30,250	-59,70000076	-33	10564
08.06.2006	16:17:31,230	-58,70000076	-34	10564
08.06.2006	16:17:32,250	-58,09999847	-33	10564
08.06.2006	16:17:33,230	-60,09999847	-31	10564
08.06.2006	16:17:34,280	-59	-37	10564
08.06.2006	16:17:35,250	-57,5	-31	10564
08.06.2006	16:17:36,250	-59,29999924	-37	10564
08.06.2006	16:17:37,230	-63,59999847	-29	10564
08.06.2006	16:17:38,230	-62,09999847	-33	10564
08.06.2006	16:17:39,230	-61	-27	10564
08.06.2006	16:17:40,210	-61,20000076	-33	10564
08.06.2006	16:17:41,250	-64,59999847	-33	10564
08.06.2006	16:17:42,280	-60,79999924	-33	10564
08.06.2006	16:17:43,230	-64,09999847	-31	10564
08.06.2006	16:17:44,250	-59,40000153	-38	10564
08.06.2006	16:17:45,230	-62,40000153	-33	10564
08.06.2006	16:17:46,250	-60,20000076	-37	10564
08.06.2006	16:17:47,260	-59,90000153	-35	10564
08.06.2006	16:17:48,230	-60,29999924	-39	10564
08.06.2006	16:17:49,230	-60	-35	10564
08.06.2006	16:17:50,230	-57,59999847	-33	10564
08.06.2006	16:17:51,230	-64,30000305	-38	10564
08.06.2006	16:17:52,230	-64,5	-29	10564
08.06.2006	16:17:53,230	-61,20000076	-21	10564
08.06.2006	16:17:54,230	-68,69999695	-29	10564
08.06.2006	16:17:55,230	-70,90000153	-27	10564
08.06.2006	16:17:56,250	-76,80000305	-23	10564
08.06.2006	16:17:57,210	-71,19999695	-27	10564
08.06.2006	16:17:58,230	-63,70000076	-27	10564
08.06.2006	16:17:59,230	-66,5	-27	10564

Tabelle 54

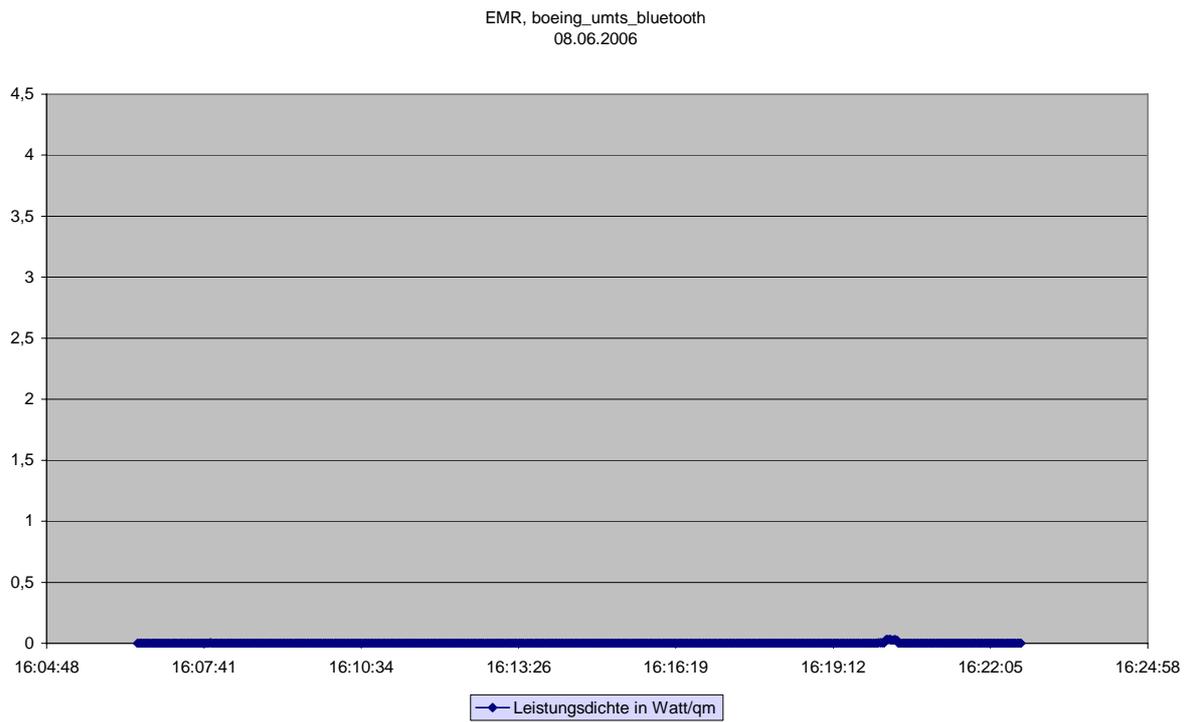


Abbildung 370

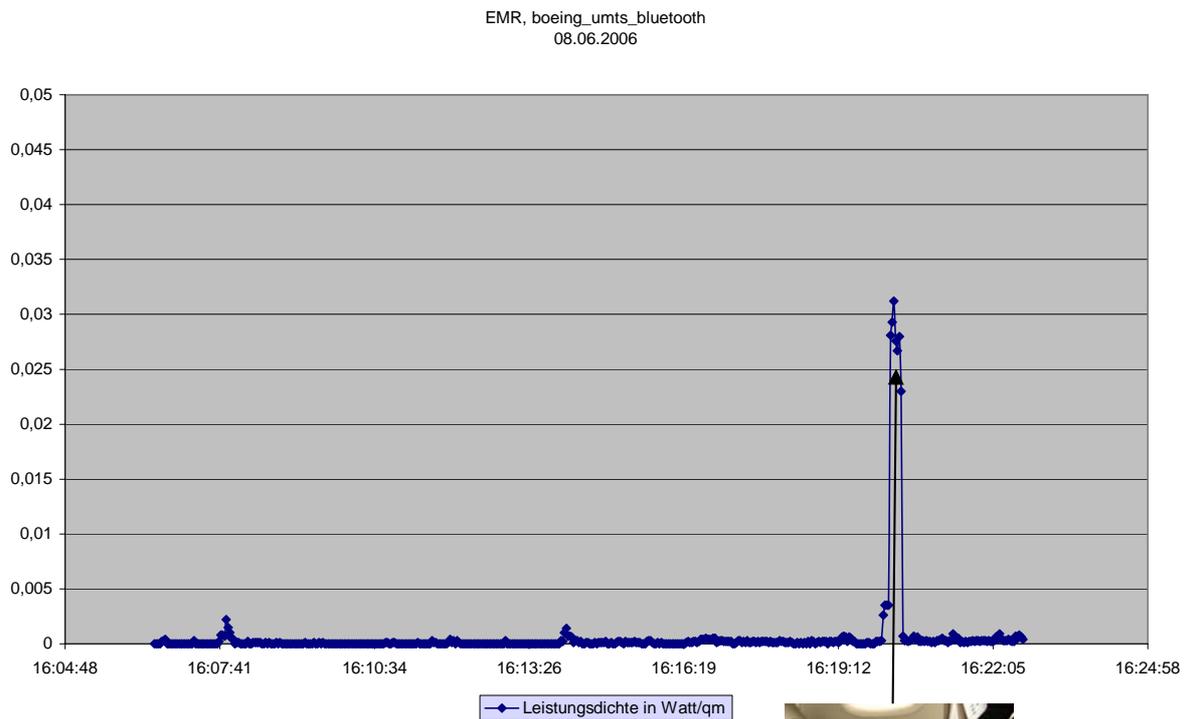


Abbildung 371



START					
EMR-300 - H-0005 - V03,01		Probe: 18	type: E	Datum: 8. Juni 2006	
Calibr Factor: 0,900		Unit: W/m*m	Max: OFF	Average: OFF	
Index	Time	x	y	z	Eff
383	16:19:12,0	0	0	0,0001	0,0001
384	16:19:14,0	0	0,0001	0,0001	0,0002
385	16:19:16,0	0,0001	0,0004	0,0001	0,0006
386	16:19:18,0	0,0001	0,0005	0,0001	0,0007
387	16:19:20,0	0,0001	0,0004	0,0001	0,0006
388	16:19:22,0	0	0,0001	0,0001	0,0002
389	16:19:24,0	0,0003	0,0003	0	0,0006
390	16:19:26,0	0,0001	0,0003	0,0001	0,0005
391	16:19:28,0	0	0,0001	0,0001	0,0002
392	16:19:30,0	0	0,0001	0,0001	0,0002
393	16:19:32,0	0	0	0	0
394	16:19:34,0	0	0	0	0
395	16:19:36,0	0	0	0	0
396	16:19:38,0	0	0	0	0
397	16:19:40,0	0	0	0	0
398	16:19:42,0	0	0	0	0
399	16:19:44,0	0	0	0,0001	0,0001
400	16:19:46,0	0	0	0,0001	0,0001
401	16:19:48,0	0	0	0	0
402	16:19:50,0	0	0	0	0
403	16:19:52,0	0	0	0	0
404	16:19:54,0	0	0,0001	0,0001	0,0002
405	16:19:56,0	0	0,0001	0,0001	0,0002
406	16:19:58,0	0	0,0001	0,0001	0,0002
407	16:20:00,0	0,0001	0,0001	0,0001	0,0003
408	16:20:02,0	0,0016	0,0009	0,0001	0,0026
409	16:20:04,0	0,0015	0,0019	0,0001	0,0035
410	16:20:06,0	0,0015	0,0019	0,0001	0,0035
411	16:20:08,0	0,0015	0,0019	0,0001	0,0035
412	16:20:10,0	0,0144	0,0088	0,0049	0,0281
413	16:20:12,0	0,0153	0,0094	0,0046	0,0293
414	16:20:14,0	0,0165	0,01	0,0047	0,0312
415	16:20:16,0	0,0148	0,0089	0,0039	0,0276
416	16:20:18,0	0,0146	0,0086	0,0035	0,0267
417	16:20:20,0	0,0155	0,0092	0,0033	0,028
418	16:20:22,0	0,0129	0,0069	0,0032	0,023
419	16:20:24,0	0,0002	0,0004	0,0001	0,0007
420	16:20:26,0	0,0002	0	0,0001	0,0003
421	16:20:28,0	0,0002	0	0,0001	0,0003
422	16:20:30,0	0,0002	0	0	0,0002
423	16:20:32,0	0,0002	0	0,0001	0,0003
424	16:20:34,0	0,0002	0,0001	0,0001	0,0004
425	16:20:36,0	0,0004	0,0002	0,0001	0,0007
426	16:20:38,0	0,0001	0,0002	0,0001	0,0004
427	16:20:40,0	0,0003	0,0002	0,0001	0,0006
428	16:20:42,0	0,0001	0,0001	0	0,0002
429	16:20:44,0	0,0001	0,0001	0	0,0002
430	16:20:46,0	0,0001	0,0001	0,0001	0,0003
431	16:20:48,0	0,0001	0,0001	0	0,0002
432	16:20:50,0	0,0001	0,0001	0,0001	0,0003
433	16:20:52,0	0,0001	0,0001	0	0,0002
434	16:20:54,0	0,0001	0,0001	0	0,0002
435	16:20:56,0	0	0,0001	0	0,0001

Tabelle 55

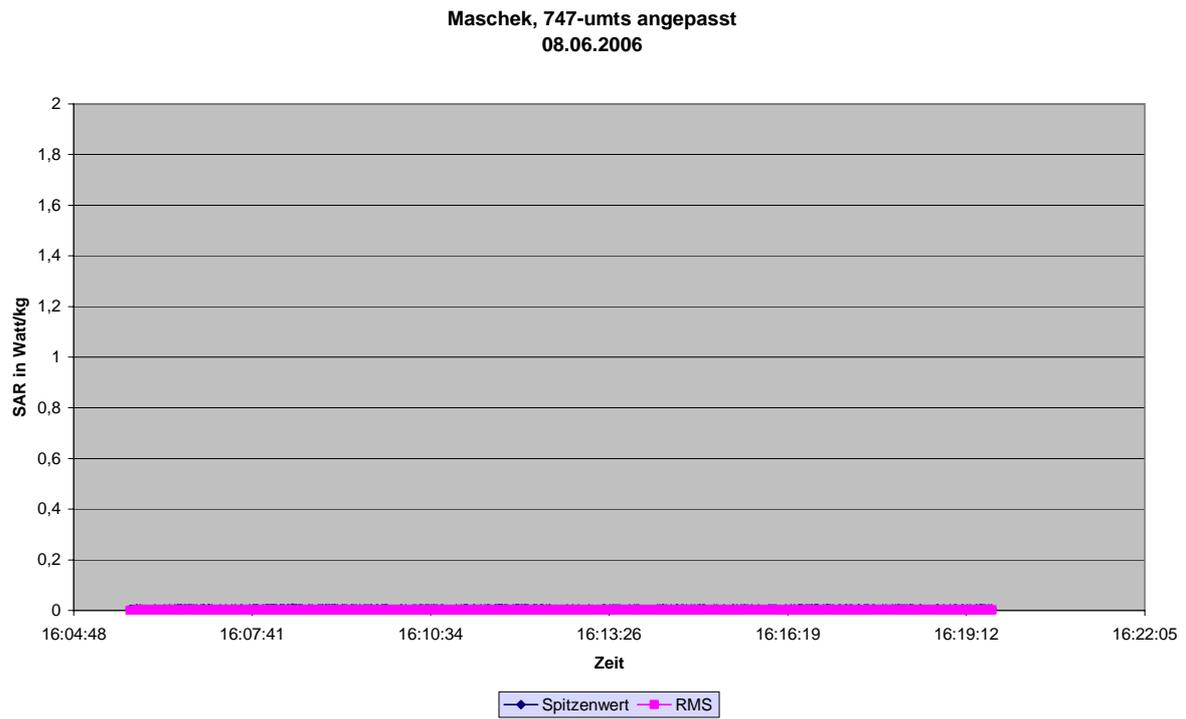


Abbildung 372

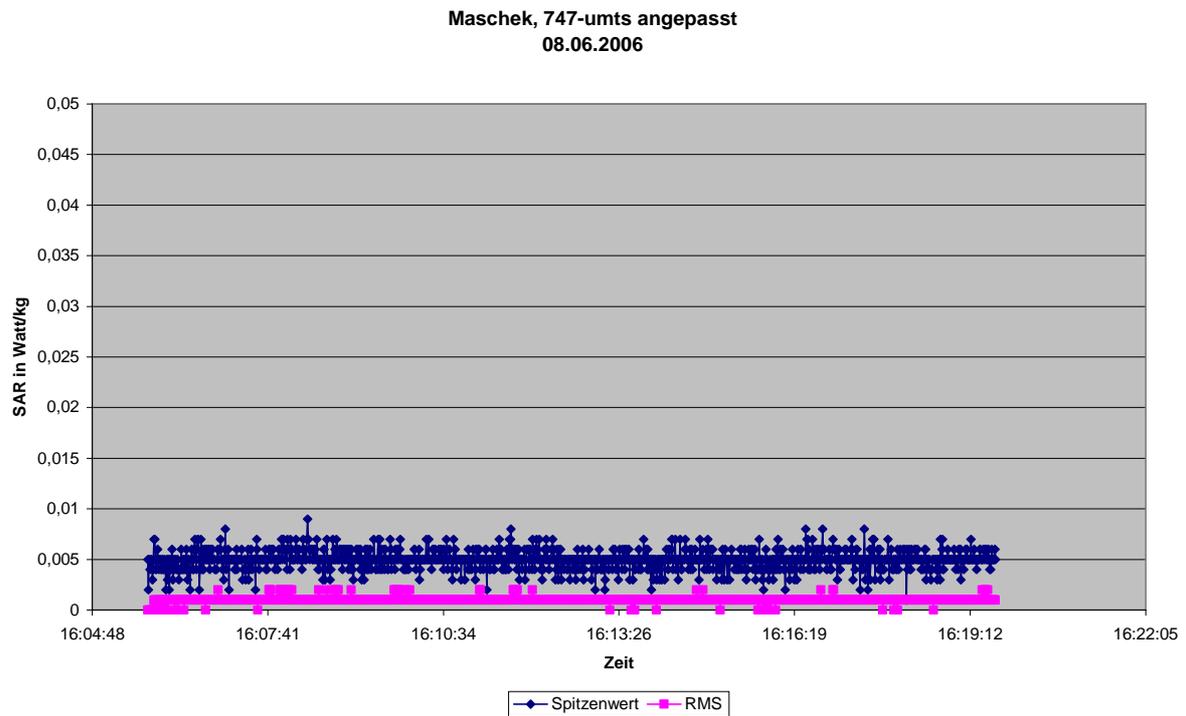


Abbildung 373 (in 40-facher Vergrößerung)

Maschek UMTS (über GSM 1800), 747-umts2
08.06.2006

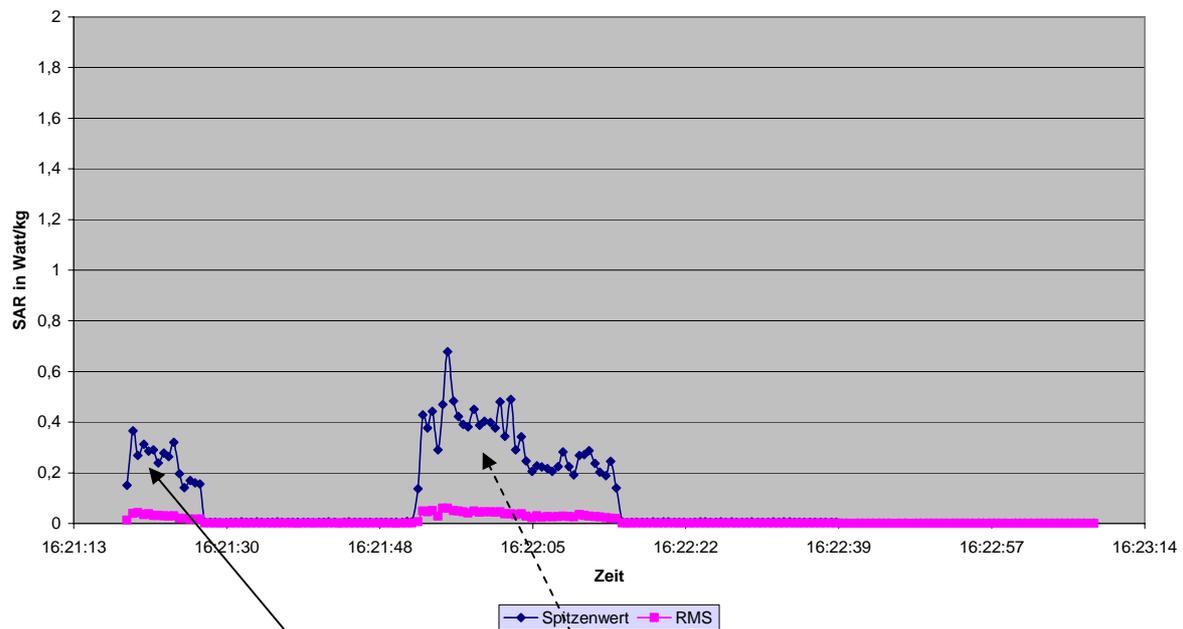


Abbildung 374

In **Abbildung 374** sind die Werte eingetragen, die im Maschek-Messkopf gemessen werden, wenn der Bluetooth-Adapter direkt an den Kopf, und zwar an die Messsonde im Messkopf, gehalten wird.

Der SAR-Wert für Bluetooth ist höher als der für UMTS. Bluetooth sendet stärker als das UMTS-Handy, sodass die mit der EMR-Sonde gemessenen Werte von Bluetooth stammen und nicht von UMTS. Die mit der EMR-Sonde gemessenen Werte waren im Bereich der Grenzepfindlichkeit des Messgerätes.

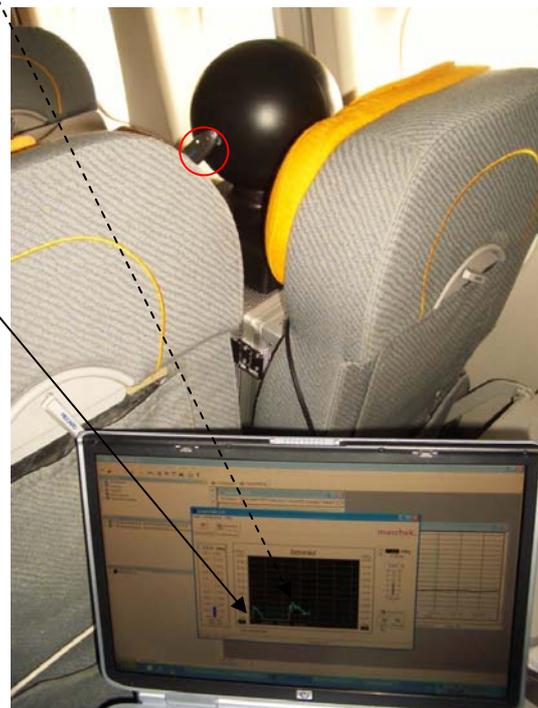


Abbildung 375

In **Abbildung 375** ist die Datengraphik aus dem Maschek-Messkopf auf dem Bildschirm des PCs dargestellt; der Bluetooth-Adapter ist am Maschek-Messkopf zu erkennen (roter Ring).

9.10 Mess-Szenario Mittelklasse-Limousine (Audi A2) und BMW Cabrio (Stoffdach)

Ein weiteres Mess-Szenario war die Vermessung eines Audi A2 in Bezug auf Reflexionen und Feldstärkeüberhöhungen.

Abbildung 376 zeigt das zu vermessende Fahrzeug, einen Audi A2.



Abbildung 376

Abbildung 377 gibt Fahrzeugdaten wieder
(z.B. Colorverglasung)



Abbildung 377



Abbildung 378

Abbildung 378 zeigt die Versuchspersonen in ihrer Sitzposition außerhalb des Fahrzeuges für die ergänzenden Messungen ohne Fahrzeugumhüllung.



Abbildung 379

Abbildung 379 zeigt den Versuchsaufbau im Fahrzeug: Der Maschek-Messkopf ist in der Mitte der Rücksitzbank platziert und davor die EMR-E-Feldsonde.

9.10.1 Erste Messreihe, Leerlaufmessungen (um ca. 10:43 Uhr)

Der erste Messdurchgang bestand aus Leerlaufmessungen im Fahrzeug (Die zugehörigen Leistungsdichtewerte sind in **Abbildung 380** und in **Abbildung 381** dargestellt.).

Die Leerlaufmessungen wurden einige Minuten später noch einmal wiederholt. Die hierbei von der EMR-Feldsonde gemessenen Leistungsdichtewerte sind in **Abbildung 382** und **Abbildung 383**, diese in 100-facher Vergrößerung dargestellt.

Die Feldstärke im Fahrzeug war im Leerlauf nahezu 0, die Feldstärkespitze, die in 100-facher Vergrößerung deutlich erkennbar ist, kann sehr gut von der in der Nähe vorbeiführenden S-Bahnlinie mit Haltestelle herrühren. Da die Sonde breitbandig misst, nimmt sie auch etwaige Störgrößen, die bei der elektrisch betriebenen S-Bahn bei An- und Abfahrt und bei Funkenüberschlag an der Oberleitung auftreten, mit auf.

Abbildung 384 und **Abbildung 385** zeigen die während der zweiten Leerlaufmessung vom Mashek-Messkopf aufgenommenen Werte. **Abbildung 385** ist die 40-fache Vergrößerung aus **Abbildung 384**. Der **Abbildung 385** zu erkennende kurzfristig erhöhte Wert ist durch den Funktionstest mit einer Emissionsquelle entstanden.

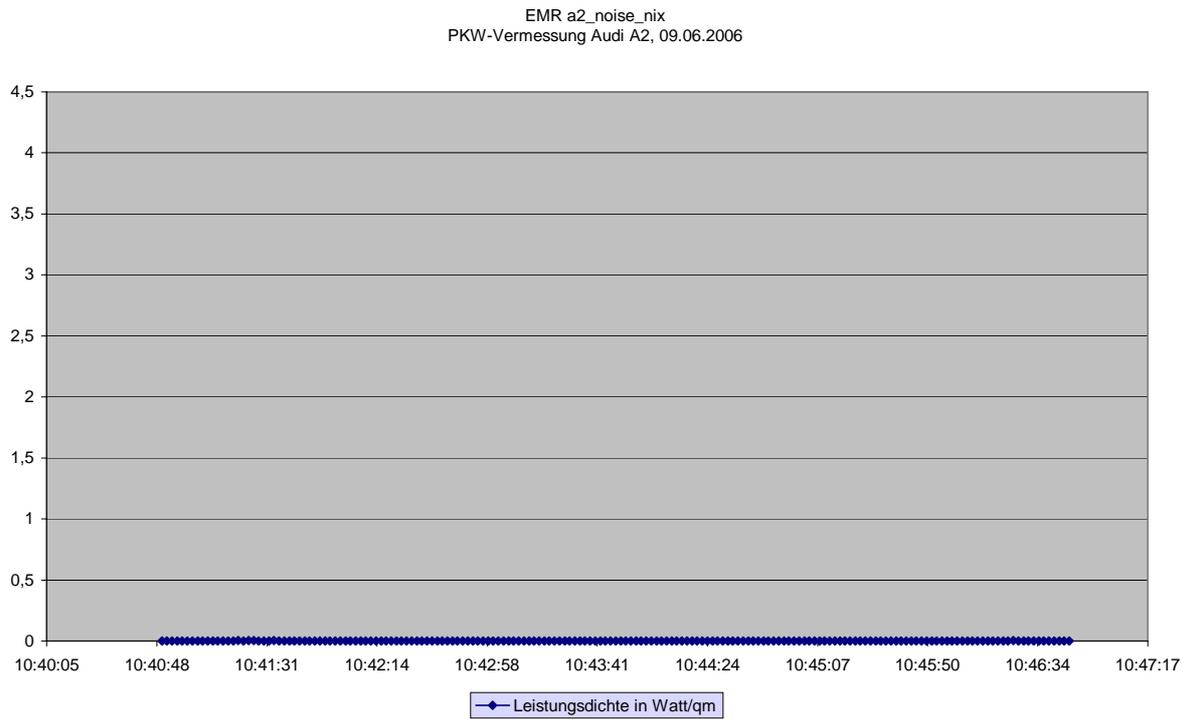


Abbildung 380

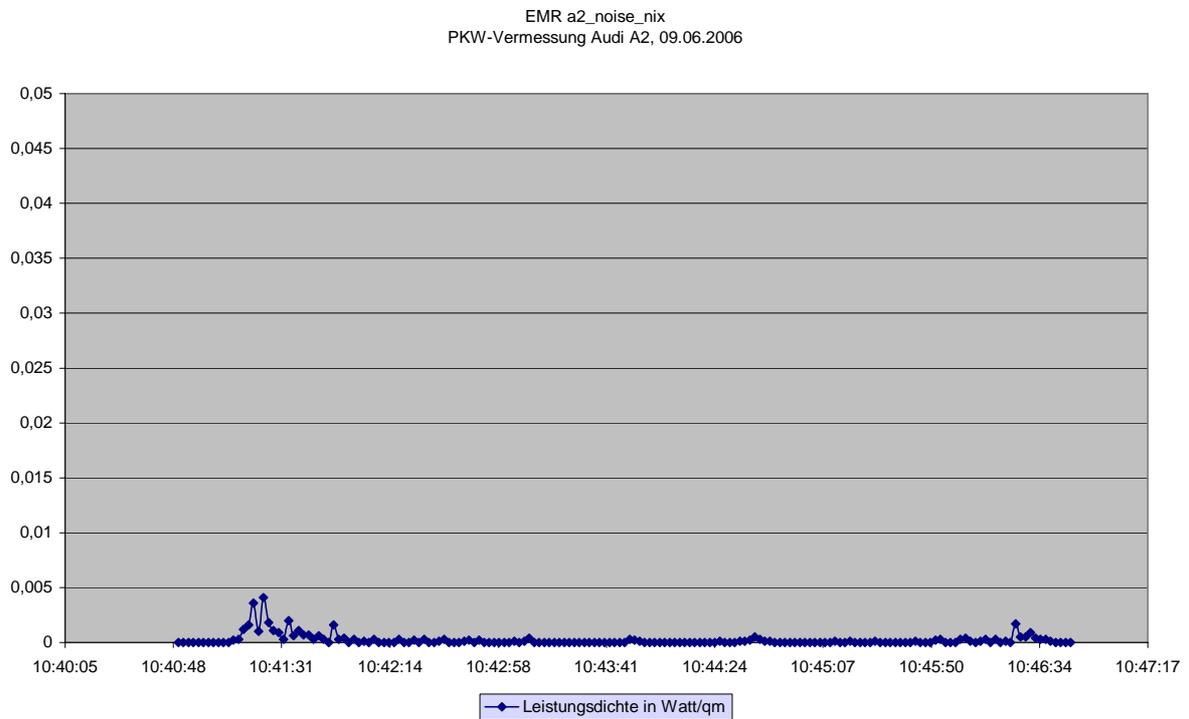


Abbildung 381

9.10.2 Messreihe, zweite Leerlaufmessungen (um ca. 10:55 Uhr)

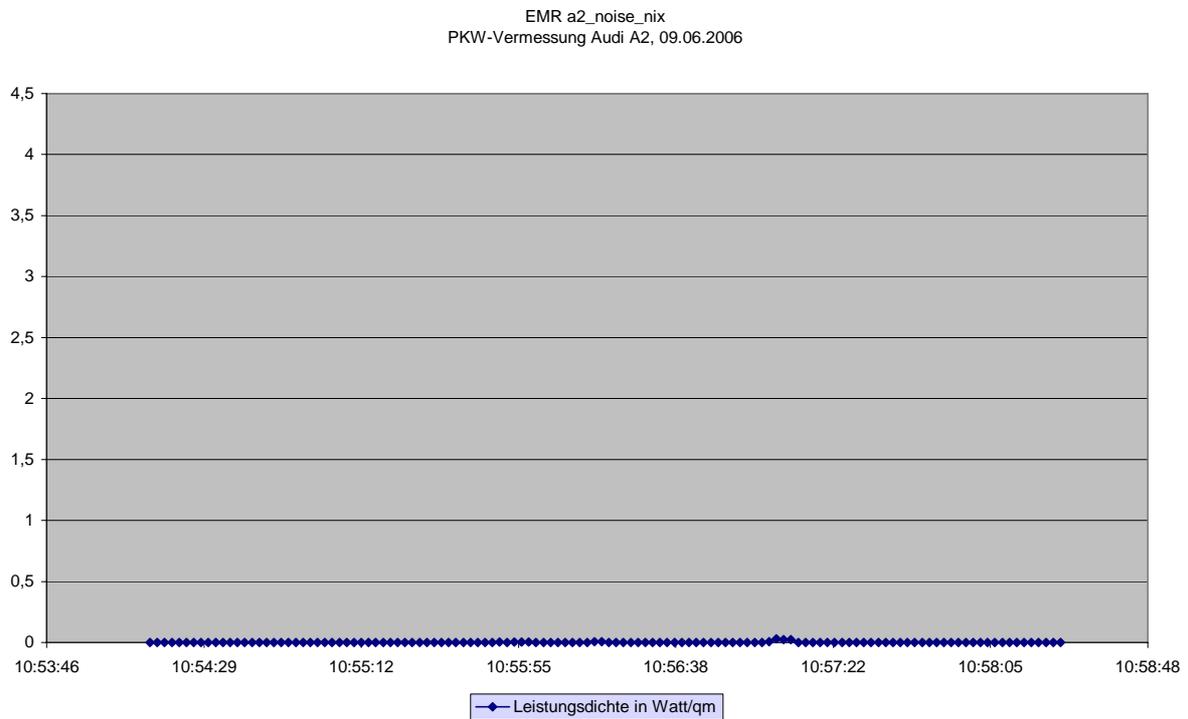


Abbildung 382

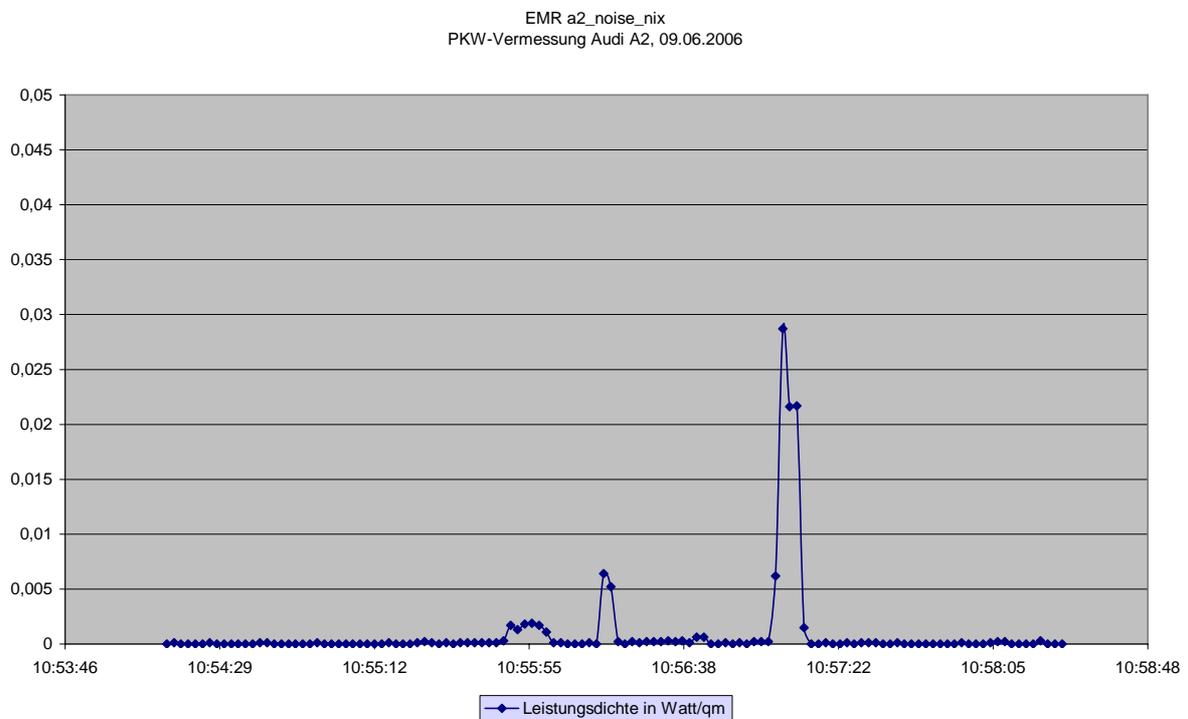


Abbildung 383

Maschek (GSM 900 und 1800 (höhere Werte)), A2-1
09.06.2006

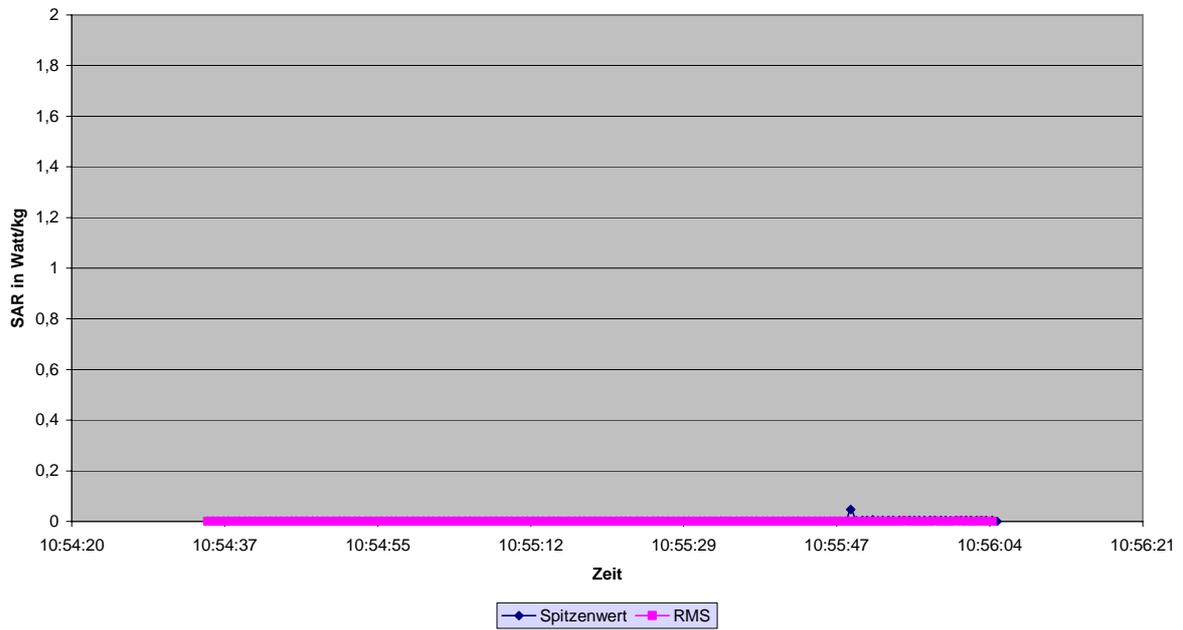


Abbildung 384

Maschek (GSM 900 und 1800 (höhere Werte)), A2-1
09.06.2006

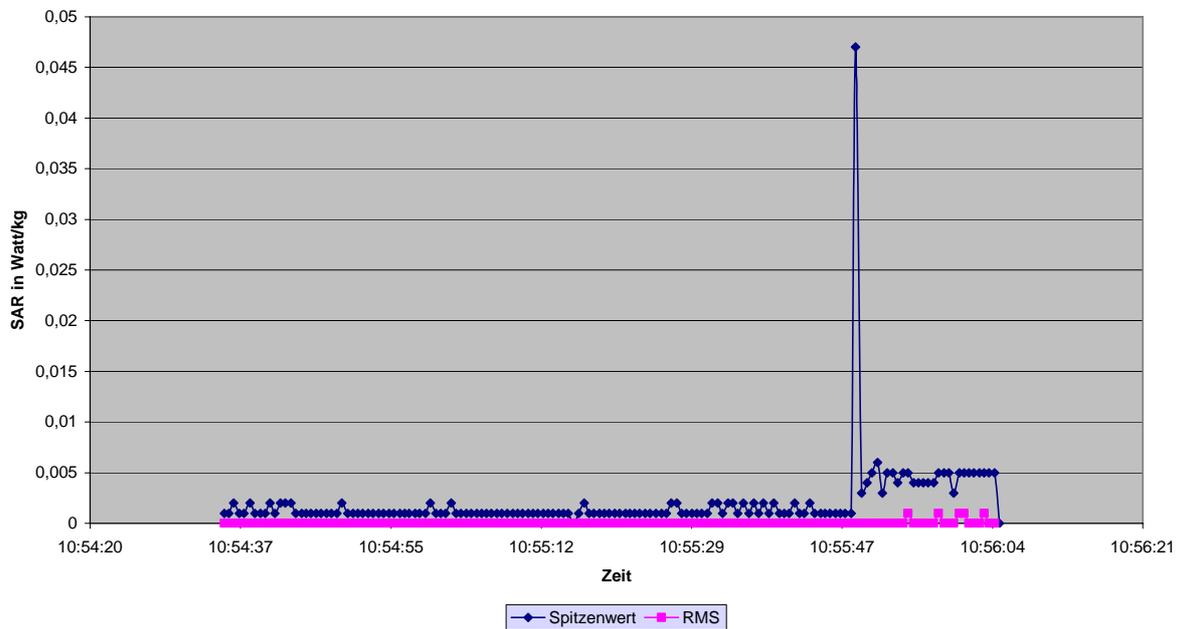


Abbildung 385

9.10.3 Messreihe mit vier aktiven Handys (um ca. 11:03 Uhr)

Beginnend um 11:00 Uhr bis ca. 11:10 Uhr wurde der Messdurchgang mit aktiven Mobilfunktelefonaten und fester Sonde durchgeführt.

Der Fahrer benutzt ein Mobilfunkgerät im D1-Netz, der Beifahrer eines im D2-Netz, die hinter dem Beifahrer sitzende Person ein Gerät im E-Plus-Netz und die hinter dem Fahrer sitzende Person ein Gerät im D2-Netz.

Abbildung 386 zeigt die mit der E-Feldsonde gemessene Leistungsdichte in der Mitte der Rücksitzbank, die Konfiguration ist in **Abbildung 379** dargestellt. **Abbildung 387** ist eine 60-fache Vergrößerung hieraus, d. h. auch bei vier telefonierenden Personen im Fahrzeug ist an einem fest definierten Platz, hier ein Kindersitz auf der Rücksitzbank, kein Feldstärkewert, der auch nur annähernd in der Nähe des Grenzwertes von $4,5 \text{ W/m}^2$ liegt, festzustellen.

Abbildung 388 zeigt die Daten am Monitor-A eines im D1-Netz eingebuchten Mobilfunkendgerätes. Die zugehörige **Tabelle 56** zeigt die ausgelesenen Daten.

Erkennbar ist das starke Regelungsverhalten von 2 Watt (dem Maximal- und Startwert im 900 MHz-Netz) herunter bis auf 3 mW (dem niedrigsten Wert im 900 MHz-Netz). Der Kanal 31 wird konstant beibehalten. Anhand des Empfangspegels in **Abbildung 389** ist zu erkennen, dass zuerst, bevor das Mobilteil sich einbucht, der hohe Pegel des Basiskontrollkanals angezeigt wird, nach dem Einbuchen wird jedoch der Empfangspegel des Kommunikationskanals angezeigt. Es wird - wie auch an anderer Stelle bereits erwähnt - nicht nur die Sendeleistung des Mobilteils herunter geregelt, sondern auch die Sendeleistung der Basisstation herunter geregelt, d. h., der Empfangspegel sinkt in diesem Fall um ca. 30 dB.

Abbildung 390 zeigt die Monitordaten für das im D2-Netz eingebuchte Mobilfunkendgerät. Auch beim D2-Netz ist der Empfang sehr gut.

Hier passiert jedoch Folgendes – das ist in **Tabelle 57** sehr gut zu erkennen – (D2 wie auch D1 verfügen sowohl über 900er als auch über 1800er-Frequenzen): Am Beginn bucht sich das Mobilteil im Kanal 73, den es im Leerlauf schon empfangen hat, ein, um dann später einen Kanalwechsel ins 1800 MHz-Netz durchzuführen (11:03:03 Uhr). Die Sendeleistung wird heruntergeregelt, und das Mobilteil bleibt stabil in diesem 1800er-Kanal.

Abbildung 392 zeigt die Sendeleistung des zweiten D2-Gerätes, **Abbildung 393** den entsprechenden Empfangspegel. Obwohl die beiden D2-Geräte nur ca. einen Meter von einander entfernt waren – Fahrer und Beifahrer verwendeten D2 – ist das Regelverhalten aufgrund Kanalwechsel und Frequenzbereichswechsel unterschiedlich, dies ist aus **Tabelle 58** zu erkennen. Das Gerät wechselt innerhalb des GSM 900-Bereiches den Kanal und wechselt anschließend nach GSM 1800, um wieder zurück zu GSM 900 zu wechseln und wieder nach GSM 1800. Diese häufigen Kanalwechsel bewirken jedes Mal ein Hochregeln auf den Maximalwert, der je nach Netzfrequenz 2000 mW oder 1000 mW beträgt.

Wie bereits bei anderen Messungen gezeigt, kann ein völlig unterschiedliches Regelverhalten bei zwei Endgeräten auftreten, die nur wenige cm entfernt sind, dies kann abhängig von der Netzlast sein, von der Empfangsfeldstärke oder von anderen Parametern.

Eine Vorhersage, wie sich ein zusätzliches einzubuchendes Mobilendgerät in dem Netz verhalten wird, ist nicht möglich.

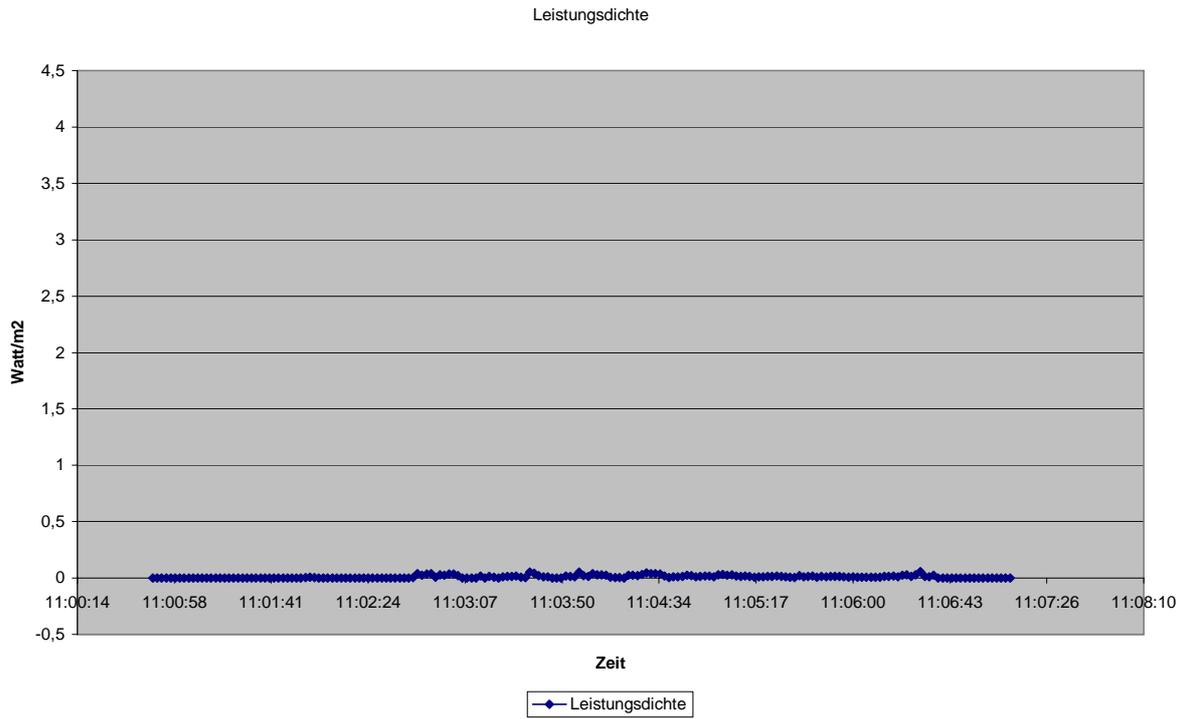


Abbildung 386

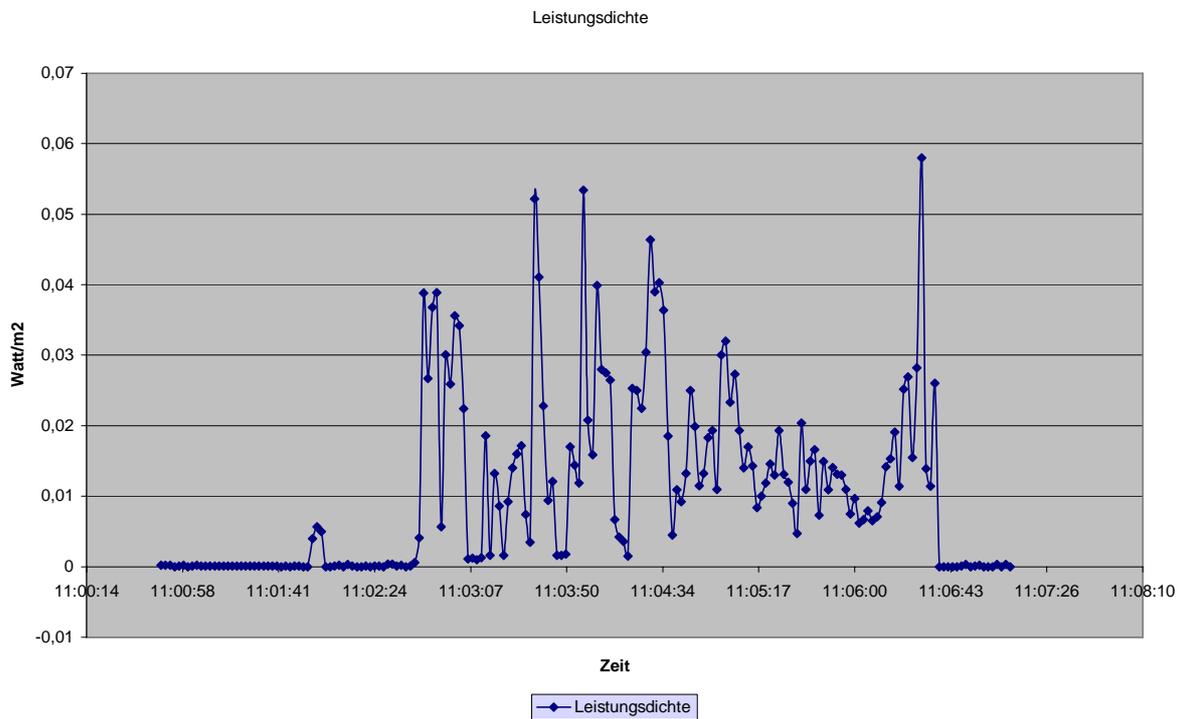


Abbildung 387

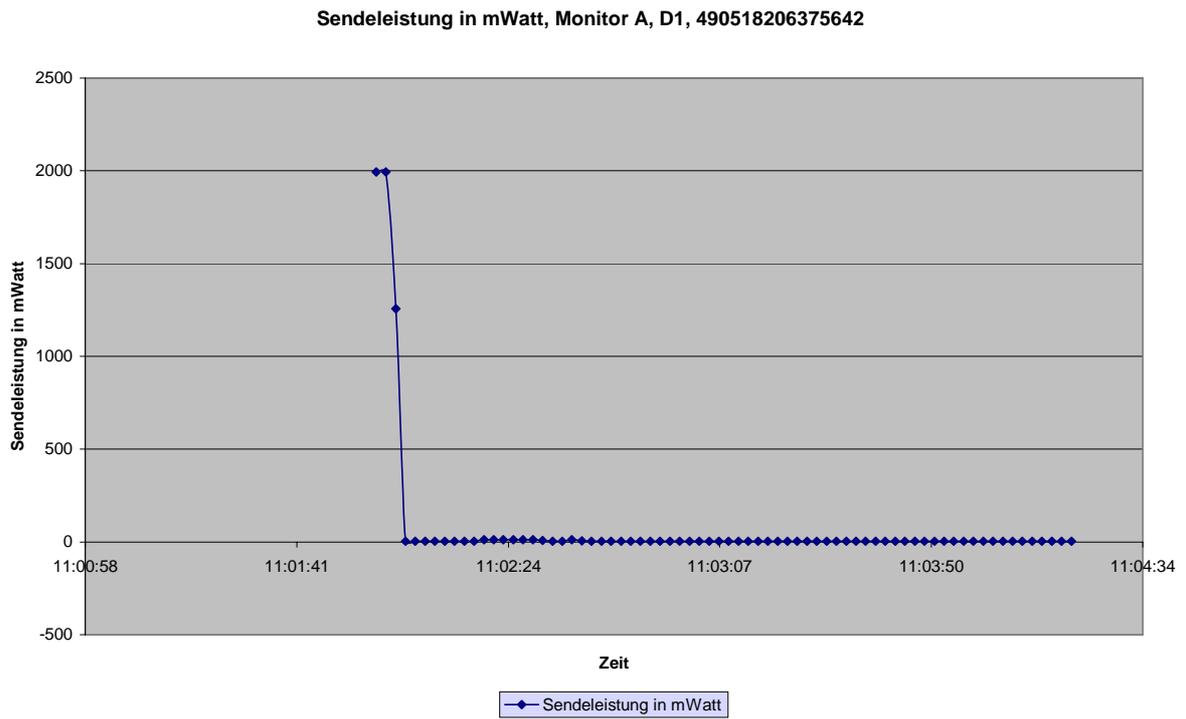


Abbildung 388

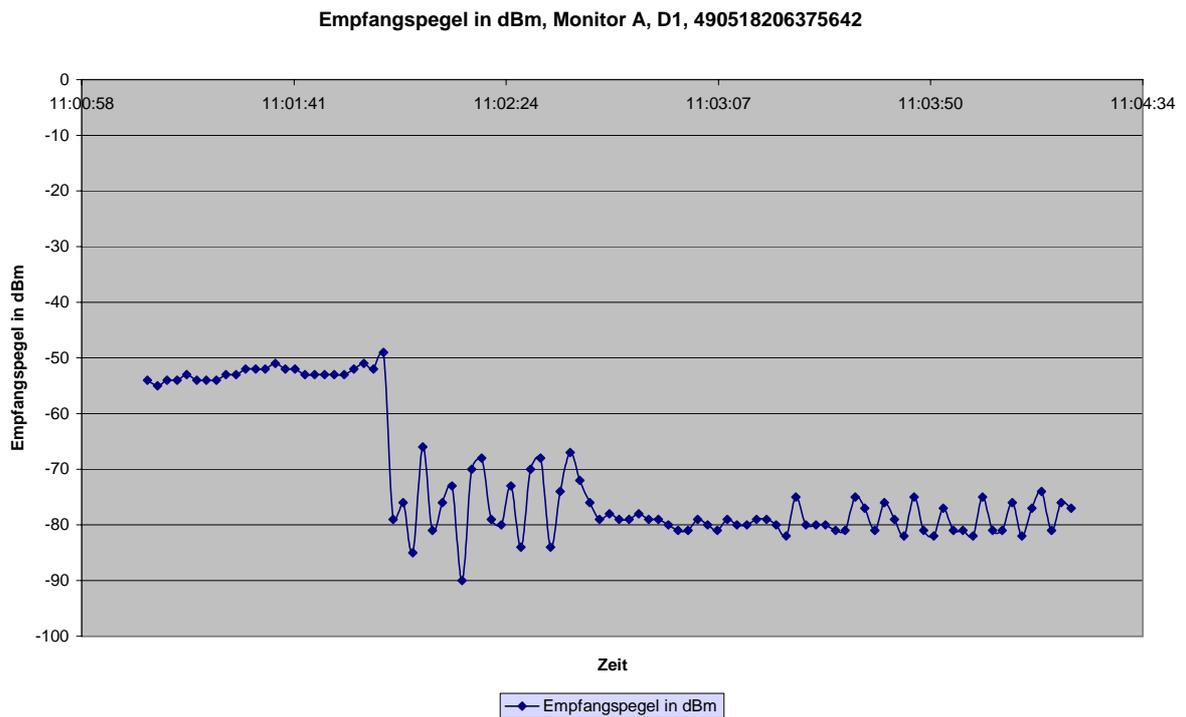


Abbildung 389

Log starting at 09.06.2006 11:01:07(2.3.2.623R / NOKIA 6110 (4300/05.31) on FBUS / 490518206375642)

Datum	Uhrzeit	Cell-ID	Rufzone	Netz-ID	Empfangs- pegel in dBm	Sendelst. in mW	Kanal- nummer
09.06.2006	11:01:57	6299	25857	26201	-52	1995	31
09.06.2006	11:01:59	6299	25857	26201	-49	1995	31
09.06.2006	11:02:01	6299	25857	26201	-79	1258	31
09.06.2006	11:02:03	6299	25857	26201	-76	3	31
09.06.2006	11:02:05	6299	25857	26201	-85	3	31
09.06.2006	11:02:07	6299	25857	26201	-66	3	31
09.06.2006	11:02:09	6299	25857	26201	-81	3	31
09.06.2006	11:02:11	6299	25857	26201	-76	3	31
09.06.2006	11:02:13	6299	25857	26201	-73	3	31
09.06.2006	11:02:15	6299	25857	26201	-90	3	31
09.06.2006	11:02:17	6299	25857	26201	-70	3	31
09.06.2006	11:02:19	6299	25857	26201	-68	12	31
09.06.2006	11:02:21	6299	25857	26201	-79	12	31
09.06.2006	11:02:23	6299	25857	26201	-80	12	31
09.06.2006	11:02:25	6299	25857	26201	-73	12	31
09.06.2006	11:02:27	6299	25857	26201	-84	12	31
09.06.2006	11:02:29	6299	25857	26201	-70	12	31
09.06.2006	11:02:31	6299	25857	26201	-68	7	31
09.06.2006	11:02:33	6299	25857	26201	-84	3	31
09.06.2006	11:02:35	6299	25857	26201	-74	3	31
09.06.2006	11:02:37	6299	25857	26201	-67	12	31
09.06.2006	11:02:39	6299	25857	26201	-72	5	31
09.06.2006	11:02:41	6299	25857	26201	-76	3	31
09.06.2006	11:02:43	6299	25857	26201	-79	3	31
09.06.2006	11:02:45	6299	25857	26201	-78	3	31
09.06.2006	11:02:47	6299	25857	26201	-79	3	31
09.06.2006	11:02:49	6299	25857	26201	-79	3	31
09.06.2006	11:02:51	6299	25857	26201	-78	3	31
09.06.2006	11:02:53	6299	25857	26201	-79	3	31
09.06.2006	11:02:55	6299	25857	26201	-79	3	31
09.06.2006	11:02:57	6299	25857	26201	-80	3	31
09.06.2006	11:02:59	6299	25857	26201	-81	3	31
09.06.2006	11:03:01	6299	25857	26201	-81	3	31
09.06.2006	11:03:03	6299	25857	26201	-79	3	31
09.06.2006	11:03:05	6299	25857	26201	-80	3	31
09.06.2006	11:03:07	6299	25857	26201	-81	3	31
09.06.2006	11:03:09	6299	25857	26201	-79	3	31
09.06.2006	11:03:11	6299	25857	26201	-80	3	31
09.06.2006	11:03:13	6299	25857	26201	-80	3	31
09.06.2006	11:03:15	6299	25857	26201	-79	3	31
09.06.2006	11:03:17	6299	25857	26201	-79	3	31
09.06.2006	11:03:19	6299	25857	26201	-80	3	31
09.06.2006	11:03:21	6299	25857	26201	-82	3	31
09.06.2006	11:03:23	6299	25857	26201	-75	3	31
09.06.2006	11:03:25	6299	25857	26201	-80	3	31
09.06.2006	11:03:27	6299	25857	26201	-80	3	31
09.06.2006	11:03:29	6299	25857	26201	-80	3	31
09.06.2006	11:03:31	6299	25857	26201	-81	3	31
09.06.2006	11:03:33	6299	25857	26201	-81	3	31
09.06.2006	11:03:35	6299	25857	26201	-75	3	31
09.06.2006	11:03:37	6299	25857	26201	-77	3	31
09.06.2006	11:03:39	6299	25857	26201	-81	3	31
09.06.2006	11:03:41	6299	25857	26201	-76	3	31
09.06.2006	11:03:43	6299	25857	26201	-79	3	31
09.06.2006	11:03:45	6299	25857	26201	-82	3	31
09.06.2006	11:03:47	6299	25857	26201	-75	3	31

Tabelle 56

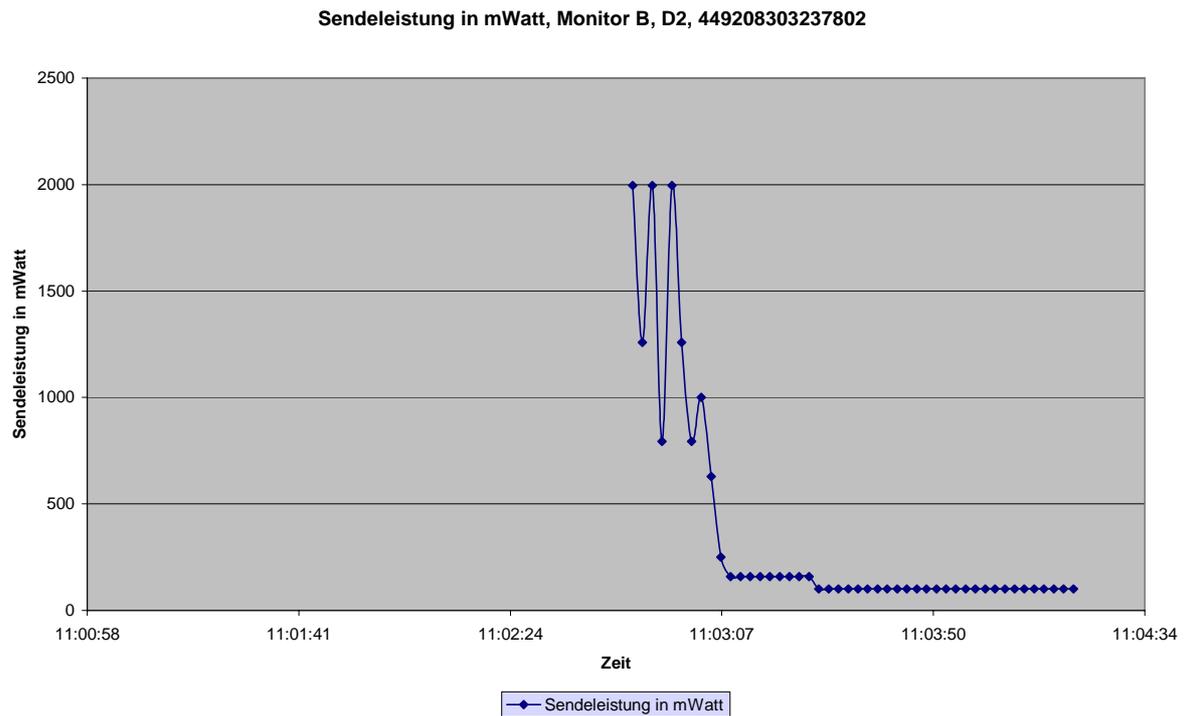


Abbildung 390

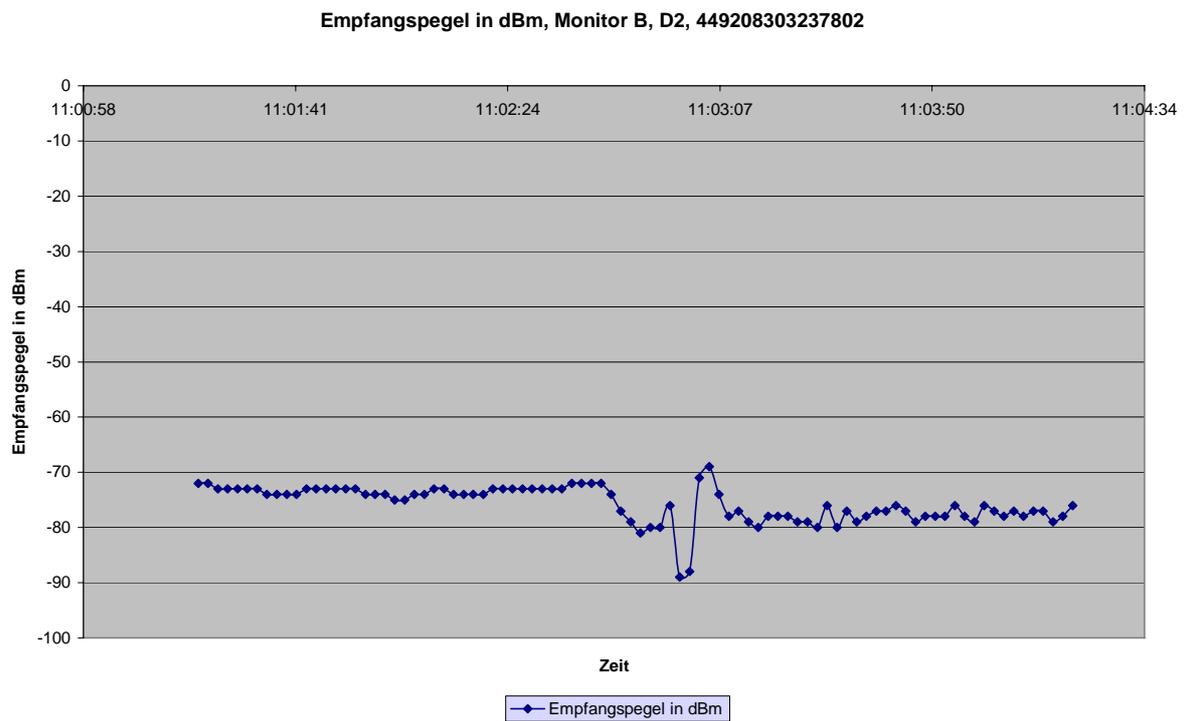


Abbildung 391

Datum	Uhrzeit	Cell-ID	Rufzone	Netz-ID	Empfangs- pegel in dBm	Sendelst. in mW	Kanal- nummer
09.06.2006	11:02:21	14472	615	26202	-73		73
09.06.2006	11:02:23	14472	615	26202	-73		73
09.06.2006	11:02:25	14472	615	26202	-73		73
09.06.2006	11:02:27	14472	615	26202	-73		73
09.06.2006	11:02:29	14472	615	26202	-73		73
09.06.2006	11:02:31	14472	615	26202	-73		73
09.06.2006	11:02:33	14472	615	26202	-73		73
09.06.2006	11:02:35	14472	615	26202	-73		73
09.06.2006	11:02:37	14472	615	26202	-72		73
09.06.2006	11:02:39	14472	615	26202	-72		73
09.06.2006	11:02:41	14472	615	26202	-72		73
09.06.2006	11:02:43	14472	615	26202	-72		73
09.06.2006	11:02:45	14472	615	26202	-74		73
09.06.2006	11:02:47	14472	615	26202	-77		73
09.06.2006	11:02:49	14472	615	26202	-79	1995	73
09.06.2006	11:02:51	14472	615	26202	-81	1258	73
09.06.2006	11:02:53	14472	615	26202	-80	1995	73
09.06.2006	11:02:55	14472	615	26202	-80	794	73
09.06.2006	11:02:57	14472	615	26202	-76	1995	63
09.06.2006	11:02:59	6651	615	26202	-89	1258	63
09.06.2006	11:03:01	6651	615	26202	-88	794	63
09.06.2006	11:03:03	6655	615	26202	-71	1000	734
09.06.2006	11:03:05	6655	615	26202	-69	630	734
09.06.2006	11:03:07	6655	615	26202	-74	251	734
09.06.2006	11:03:09	6655	615	26202	-78	158	734
09.06.2006	11:03:11	6655	615	26202	-77	158	734
09.06.2006	11:03:13	6655	615	26202	-79	158	734
09.06.2006	11:03:15	6655	615	26202	-80	158	734
09.06.2006	11:03:17	6655	615	26202	-78	158	734
09.06.2006	11:03:19	6655	615	26202	-78	158	734
09.06.2006	11:03:21	6655	615	26202	-78	158	734
09.06.2006	11:03:23	6655	615	26202	-79	158	734
09.06.2006	11:03:25	6655	615	26202	-79	158	734
09.06.2006	11:03:27	6655	615	26202	-80	100	734
09.06.2006	11:03:29	6655	615	26202	-76	100	734
09.06.2006	11:03:31	6655	615	26202	-80	100	734
09.06.2006	11:03:33	6655	615	26202	-77	100	734
09.06.2006	11:03:35	6655	615	26202	-79	100	734
09.06.2006	11:03:37	6655	615	26202	-78	100	734
09.06.2006	11:03:39	6655	615	26202	-77	100	734
09.06.2006	11:03:41	6655	615	26202	-77	100	734
09.06.2006	11:03:43	6655	615	26202	-76	100	734
09.06.2006	11:03:45	6655	615	26202	-77	100	734
09.06.2006	11:03:47	6655	615	26202	-79	100	734
09.06.2006	11:03:49	6655	615	26202	-78	100	734
09.06.2006	11:03:51	6655	615	26202	-78	100	734
09.06.2006	11:03:53	6655	615	26202	-78	100	734
09.06.2006	11:03:55	6655	615	26202	-76	100	734
09.06.2006	11:03:57	6655	615	26202	-78	100	734
09.06.2006	11:03:59	6655	615	26202	-79	100	734
09.06.2006	11:04:01	6655	615	26202	-76	100	734
09.06.2006	11:04:03	6655	615	26202	-77	100	734
09.06.2006	11:04:05	6655	615	26202	-78	100	734
09.06.2006	11:04:07	6655	615	26202	-77	100	734
09.06.2006	11:04:09	6655	615	26202	-78	100	734
09.06.2006	11:04:11	6655	615	26202	-77	100	734
09.06.2006	11:04:13	6655	615	26202	-77	100	734
09.06.2006	11:04:15	6655	615	26202	-79	100	734
09.06.2006	11:04:17	6655	615	26202	-78	100	734
09.06.2006	11:04:19	6655	615	26202	-76	100	734

Tabelle 57

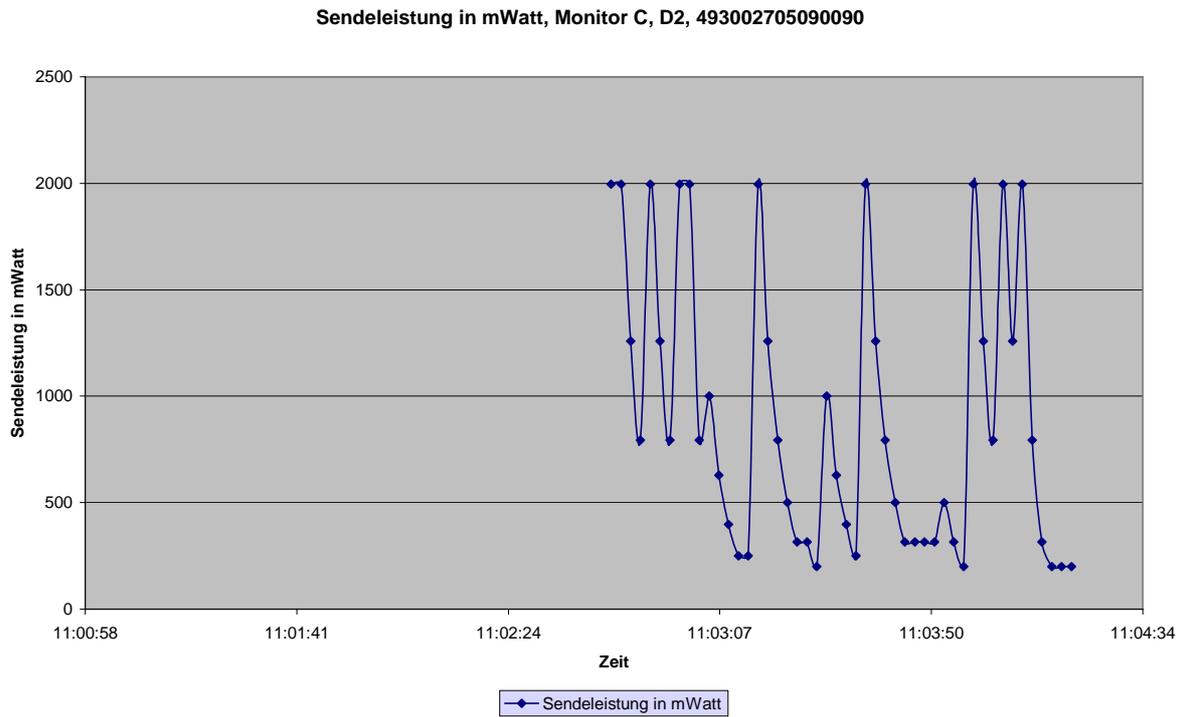


Abbildung 392

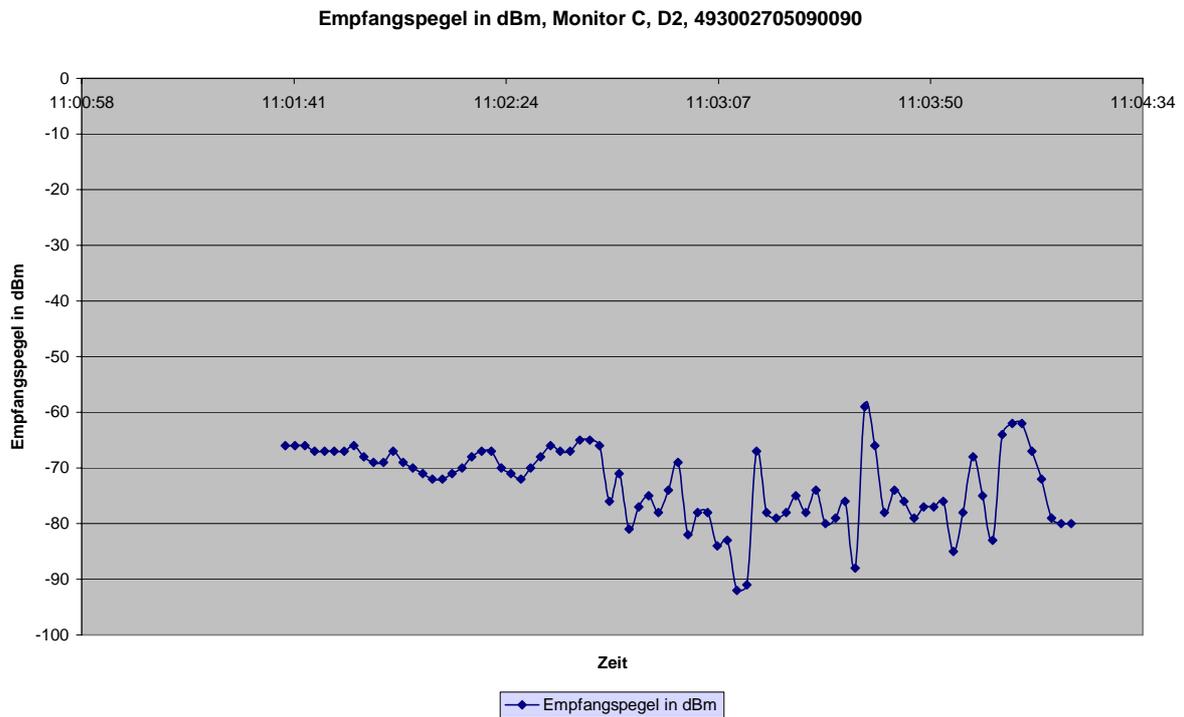


Abbildung 393

Datum	Uhrzeit	Cell-ID	Rufzone	Netz-ID	Empfangs- pegel in dBm	Sendelst. in mW	Kanal- nummer
09.06.2006	11:02:19	6651	615	26202	-67		63
09.06.2006	11:02:21	6651	615	26202	-67		63
09.06.2006	11:02:23	6651	615	26202	-70		63
09.06.2006	11:02:25	6651	615	26202	-71		63
09.06.2006	11:02:27	6651	615	26202	-72		63
09.06.2006	11:02:29	6651	615	26202	-70		63
09.06.2006	11:02:31	6651	615	26202	-68		63
09.06.2006	11:02:33	6651	615	26202	-66		63
09.06.2006	11:02:35	6651	615	26202	-67		63
09.06.2006	11:02:37	6651	615	26202	-67		63
09.06.2006	11:02:39	6651	615	26202	-65		63
09.06.2006	11:02:41	6651	615	26202	-65		63
09.06.2006	11:02:43	6651	615	26202	-66		63
09.06.2006	11:02:45	6651	615	26202	-76	1995	63
09.06.2006	11:02:47	6651	615	26202	-71	1995	63
09.06.2006	11:02:49	6651	615	26202	-81	1258	63
09.06.2006	11:02:51	6651	615	26202	-77	794	63
09.06.2006	11:02:53	14472	615	26202	-75	1995	73
09.06.2006	11:02:55	14472	615	26202	-78	1258	73
09.06.2006	11:02:57	14472	615	26202	-74	794	73
09.06.2006	11:02:59	14472	615	26202	-69	1995	63
09.06.2006	11:03:01	6651	615	26202	-82	1995	63
09.06.2006	11:03:03	6651	615	26202	-78	794	63
09.06.2006	11:03:05	6655	615	26202	-78	1000	734
09.06.2006	11:03:07	6655	615	26202	-84	630	734
09.06.2006	11:03:09	6655	615	26202	-83	398	734
09.06.2006	11:03:11	6655	615	26202	-92	251	734
09.06.2006	11:03:13	6655	615	26202	-91	251	734
09.06.2006	11:03:15	6655	615	26202	-67	1995	63
09.06.2006	11:03:17	6651	615	26202	-78	1258	63
09.06.2006	11:03:19	6651	615	26202	-79	794	63
09.06.2006	11:03:21	6651	615	26202	-78	501	63
09.06.2006	11:03:23	6651	615	26202	-75	316	63
09.06.2006	11:03:25	6651	615	26202	-78	316	63
09.06.2006	11:03:27	6651	615	26202	-74	199	63
09.06.2006	11:03:29	6651	615	26202	-80	1000	734
09.06.2006	11:03:31	6655	615	26202	-79	630	734
09.06.2006	11:03:33	6655	615	26202	-76	398	734
09.06.2006	11:03:35	6655	615	26202	-88	251	734
09.06.2006	11:03:37	6655	615	26202	-59	1995	63
09.06.2006	11:03:39	6651	615	26202	-66	1258	63
09.06.2006	11:03:41	6651	615	26202	-78	794	63
09.06.2006	11:03:43	6651	615	26202	-74	501	63
09.06.2006	11:03:45	6651	615	26202	-76	316	63
09.06.2006	11:03:47	6651	615	26202	-79	316	63
09.06.2006	11:03:49	6651	615	26202	-77	316	63
09.06.2006	11:03:51	6651	615	26202	-77	316	63
09.06.2006	11:03:53	6651	615	26202	-76	501	63
09.06.2006	11:03:55	6651	615	26202	-85	316	63
09.06.2006	11:03:57	6651	615	26202	-78	199	63
09.06.2006	11:03:59	6651	615	26202	-68	1995	73
09.06.2006	11:04:01	14472	615	26202	-75	1258	73
09.06.2006	11:04:03	14472	615	26202	-83	794	73
09.06.2006	11:04:05	14472	615	26202	-64	1995	63
09.06.2006	11:04:07	6651	615	26202	-62	1258	63
09.06.2006	11:04:09	6651	615	26202	-62	1995	63
09.06.2006	11:04:11	6651	615	26202	-67	794	63
09.06.2006	11:04:13	6651	615	26202	-72	316	63
09.06.2006	11:04:15	6651	615	26202	-79	199	63
09.06.2006	11:04:17	6651	615	26202	-80	199	63
09.06.2006	11:04:19	6651	615	26202	-80	199	63

Tabelle 58

Im Gegensatz zu den beiden D-Netzen, die an diesem Messort eine sehr gute Feldversorgung hatten, hat das entsprechende E-Netz an dieser Stelle eine sehr schlechte Feldversorgung. Man sieht dies an dem sehr niedrigen Empfangspegel, der um -90 dBm schwankt. Die Sendeleistung ist in **Abbildung 394** dargestellt und beträgt konstant 1000 mW.

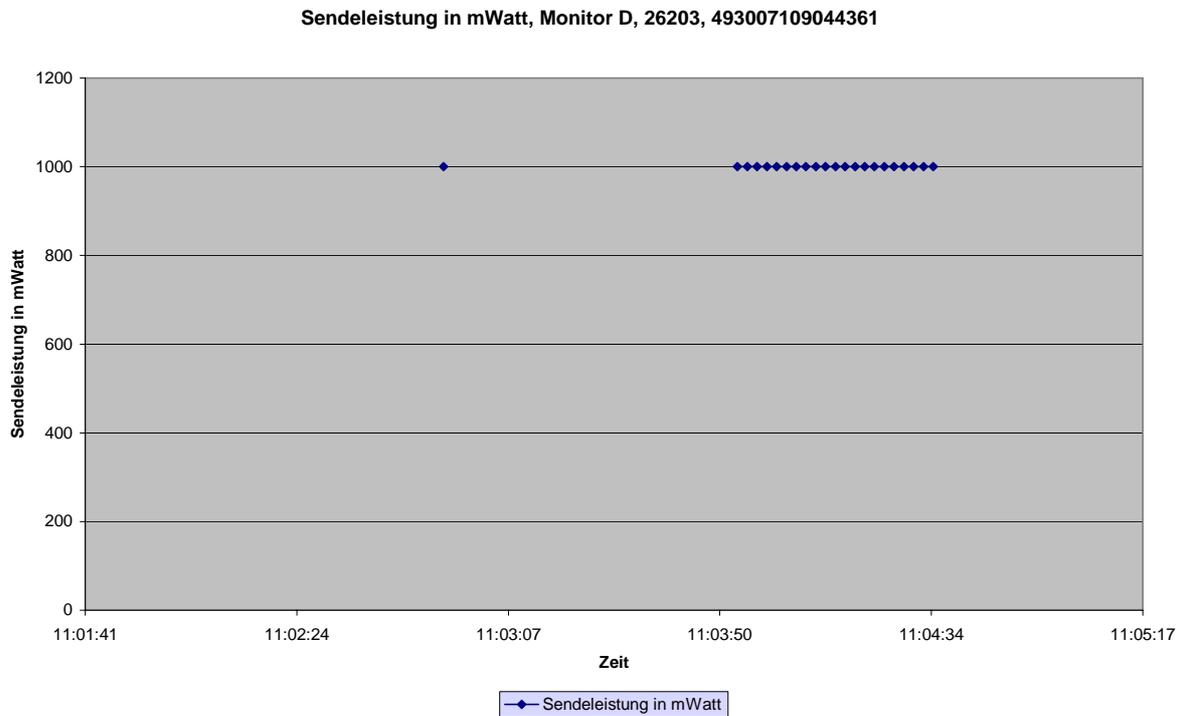


Abbildung 394

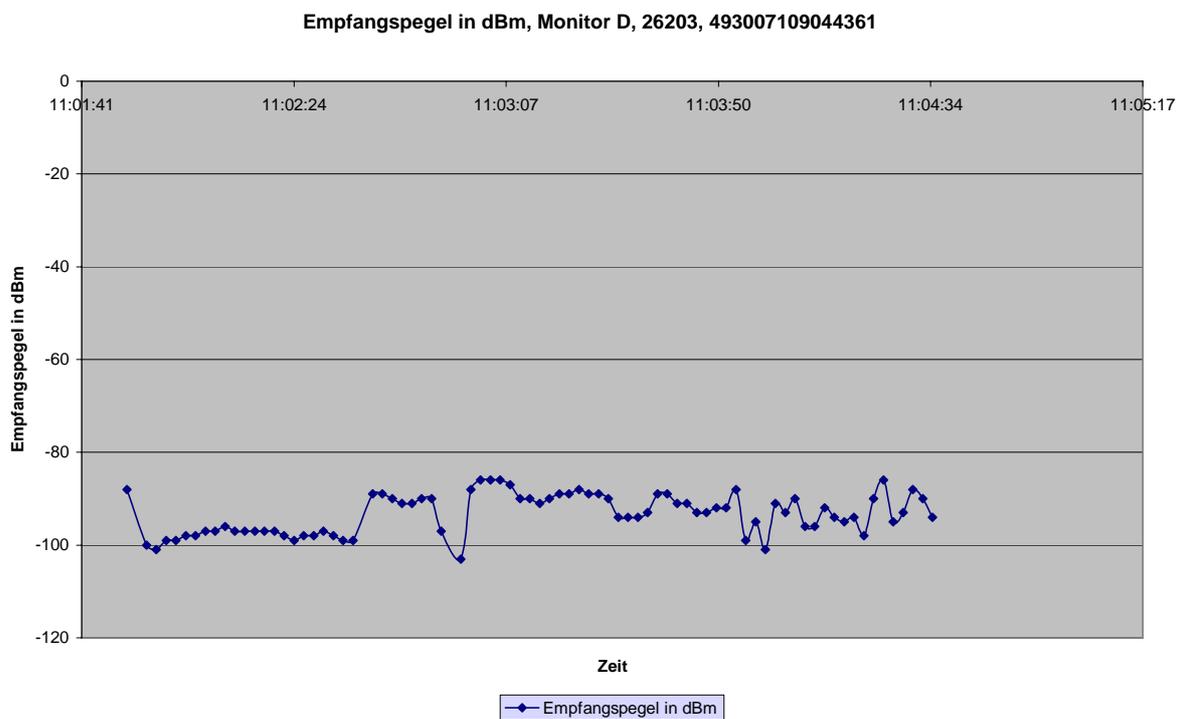


Abbildung 395

In **Abbildung 396** (**Abbildung 397** ist die 20-fache Vergrößerung hieraus) sind die SAR-Werte des Maschek-Messkopfes für zwei verschiedene Szenarien dargestellt.

Von 11:13 Uhr bis 11:25 Uhr wurde mit einer bewegten Sonde und vier aktiven Handys und permanent sprechenden Personen, um den DTX-Modus auszuschalten, gemessen.

In der zweiten Messphase zwischen 11:30 bis 11:34 war dann der Kofferraum des Fahrzeuges geschlossen, um festzustellen, ob dies einen Unterschied in den Messungen bewirkt.

Ein Unterschied ist nicht feststellbar, jedoch ist zu erkennen, dass in der Zeitspanne, in der nicht telefoniert/gesprochen wurde, dies ist die Zeitspanne zwischen den beiden Mess-Szenarien, die Feldbelastung nahezu 0 war. Bei den Leerlaufmessungen – ganz ohne Handys – waren die Werte ähnlich gering.

Abbildung 398 zeigt für die Zeitspanne von 11:15 bis 11:25 die Leistungsdichte.

Während der Maschek-Messkopf in der Messzeit unbewegt stand, wurde die Sonde manuell im Fahrzeug herumbewegt.

In **Abbildung 398** sind die Leistungsdichtewerte bei geöffnetem Kofferraum und in **Abbildung 400** bei geschlossenem Kofferraum aufgetragen.

Unterschiede, falls sie auftreten, sind in diesem Fall nicht besonders zu bewerten, da der Weg der Sonde und die Personenbewegung bei jedem Durchgang unterschiedlich sein können und die Immissionsbelastung im Fahrzeug durch die Sendeantennen der Mobilfunkendgeräte entsteht und nicht durch Reflexionen.

An keinem Punkt sind Feldstärkeüberhöhungen festzustellen, und dies unabhängig, ob der Kofferraum geöffnet oder geschlossen war.

Die Strahlungsbelastung ist in beiden Fällen äußerst gering ist.

In **Abbildung 406** ist das Regelverhalten am Monitor-A für ein im D1-Netz eingebuchtes Mobilfunkendgerät in den drei Mess-Zeitphasen dargestellt:

- Zeitphase 1, wie bereits vorab bei Maschek und EMR beschrieben, mit geöffnetem Kofferraum,
- Zeitphase 2 um 11:31 mit geschlossenem Kofferraum und
- Zeitphase 3 um 11:50 mit Personen, die außerhalb auf den Stühlen sitzen, erkennbar auch aus **Abbildung 378**.

Maschek (GSM 900 und 1800, höhere Werte bei 1800), A2-3
09.06.2006

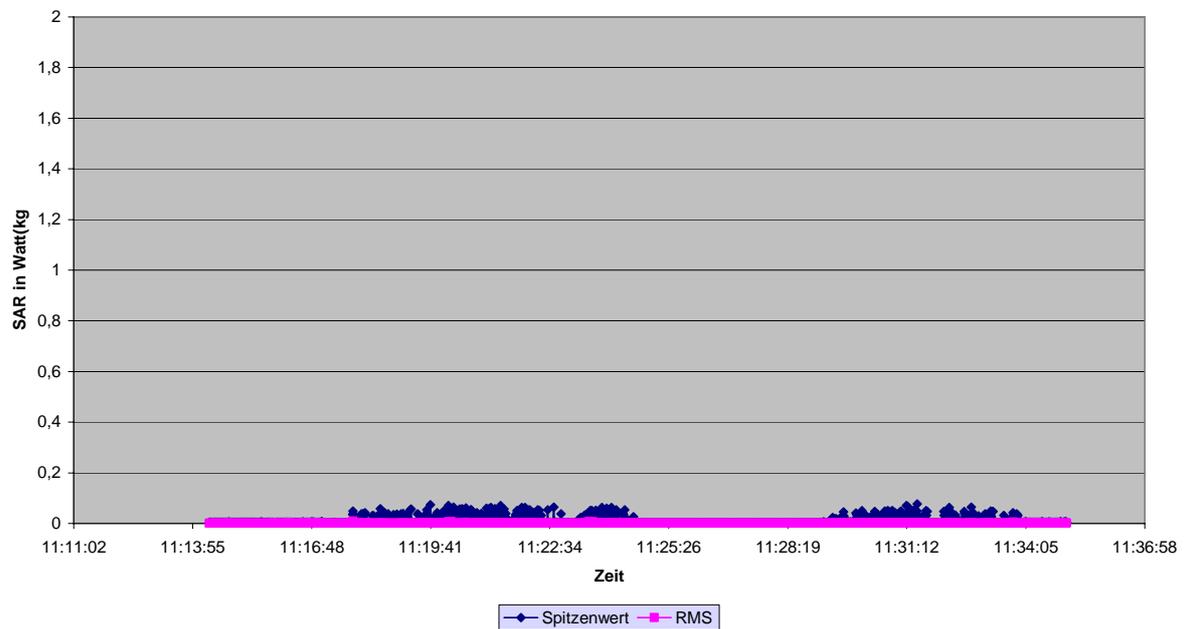


Abbildung 396

Maschek (GSM 900 und 1800, höhere Werte bei 1800), A2-3
09.06.2006

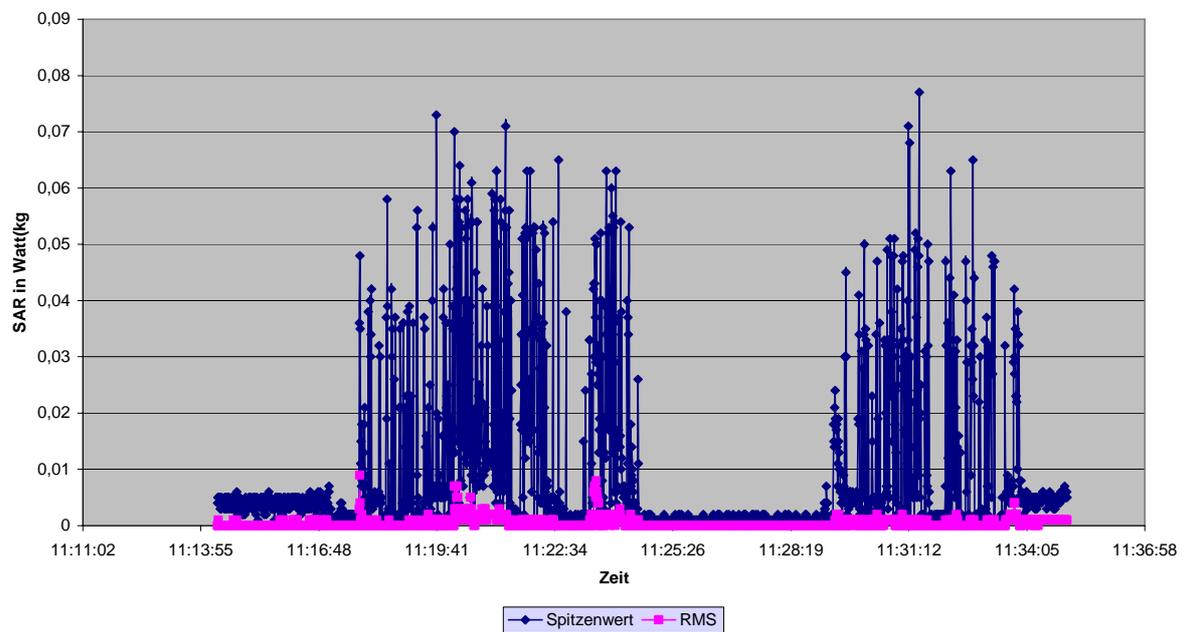


Abbildung 397 (in 22-facher Vergrößerung)

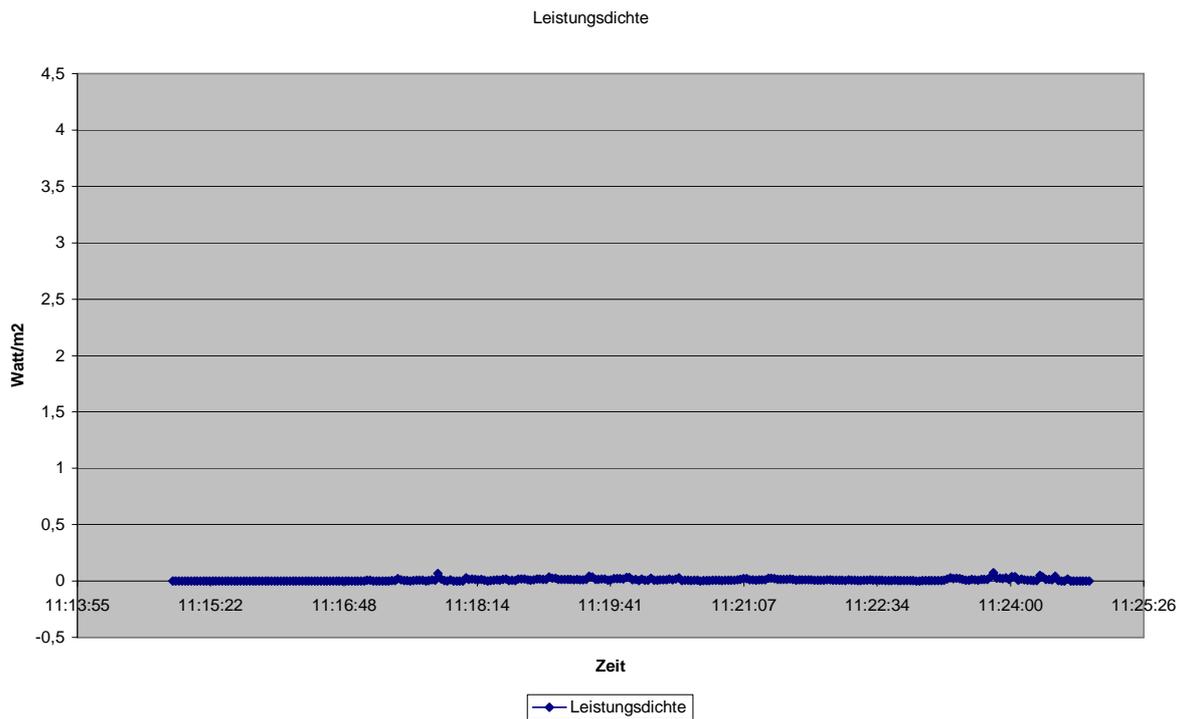


Abbildung 398

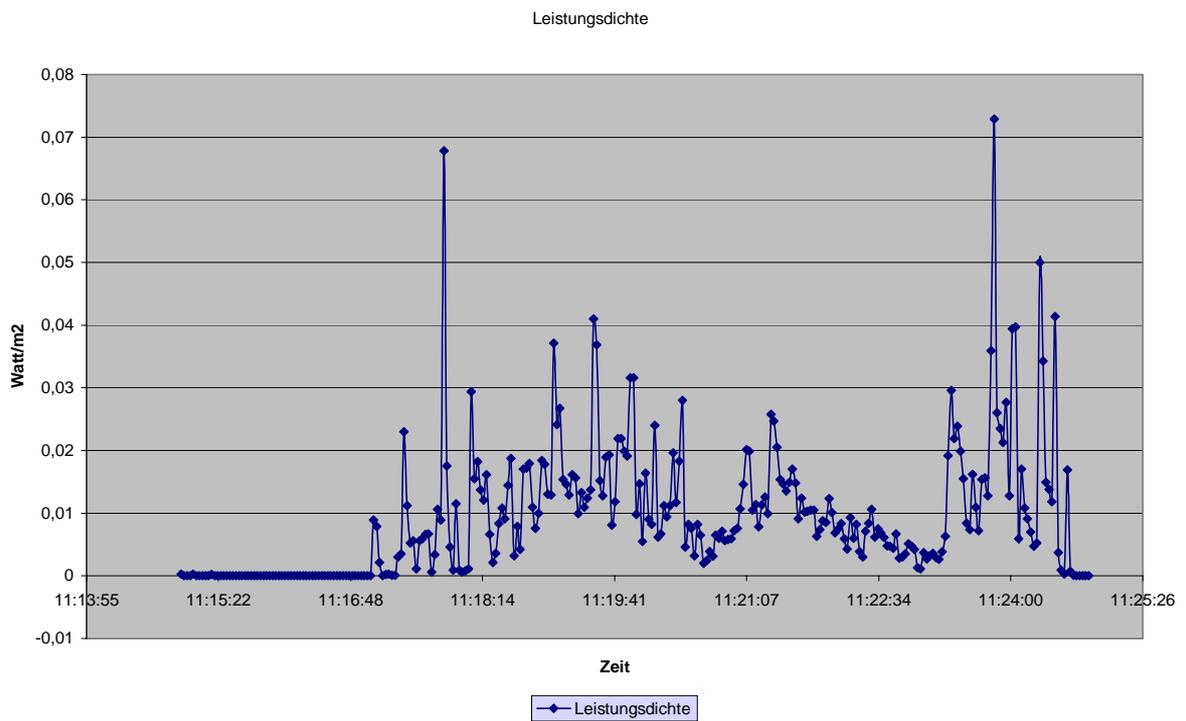


Abbildung 399 (in 56-facher Vergrößerung)

9.10.4 Messreihe mit Versuchspersonen außen auf Stühlen (um 11:50 Uhr)

Die Versuchspersonen sitzen ohne Fahrzeug außerhalb auf Stühlen (**Abbildung 378**).

In **Abbildung 402** sind die Daten des Maschek-Messkopfes für Messungen außerhalb des Fahrzeuges (Messungen auf den Stühlen) dargestellt. **Abbildung 403** zeigt einen Ausschnitt aus **Abbildung 402** in 25-facher Vergrößerung.

Eine mögliche Belastung durch Reflexionen an der Fahrzeughülle ist nicht zu erkennen. Kleine Unterschiede sind nicht überzuinterpretieren, da ein stärkerer Einfluss durch Sprechen oder Nichtsprechen auftritt, als durch eine umgebende Fahrzeughülle.

Selbst, wenn die Personen die Vorgabe haben immer zu sprechen, kann dennoch kurzzeitig einmal eine Sprechpause auftreten, in der der DTX-Modus aktiviert wird, oder das Mobilteil regelt anders.

Auch bei anderen Messungen war erkennbar war, dass ein Mobilteil am gleichen Ort sich zu anderen Zeiten völlig unterschiedlich verhalten kann, oder zwei nebeneinanderliegende Mobilteile, können sie sich unterschiedlich einbuchen und im Leistungsregelverhalten sehr stark unterscheiden. Dies ist vorher nicht vorhersehbar, sodass die Messungen immer mit einer hohen Unsicherheit bezüglich des zu erwartenden Leistungsregelverhaltens beaufschlagt werden müssen.

Auch die Messungen der Leistungsdichte mit der EMR-Sonde, aufgetragen in **Abbildung 404** und **Abbildung 405** (**Abbildung 405** in 45-fache Vergrößerung), zeigen, dass auch außerhalb des Fahrzeuges die EMR-Werte sehr gering sind.

Sie sind vergleichbar den Messungen innerhalb des Fahrzeuges. Im Prinzip spielt es keine Rolle, ob innerhalb oder außerhalb des Fahrzeuges gemessen wird.

Abbildung 408 zeigt die Sendeleistung für ein D2-Mobiltelefon, angeschaltet an Monitor-B. Dieses Mobiltelefon, wie auch schon zu den anderen Zeiten an dem gleichen Ort erkennbar, springt häufig zwischen dem GSM-900 Netz und dem GSM 1800-Netz, sodass jedes Mal ein Regelvorgang auftritt.

Das zweite D2-Telefon am gleichen Ort an Monitor-C angeschlossen, die Werte sind in **Abbildung 410** und **Abbildung 411** dargestellt, wird vergleichbar durch die Basisstation geregelt.

Das an Monitor-D eingebuchte Mobiltelefon im E-Plus-Netz bleibt, aufgrund der sehr schlechten Feldversorgung an dieser Stelle, ob innerhalb oder außerhalb des Fahrzeuges, immer bei einem Maximalwert von 1000 mW (**Abbildung 412** und **Abbildung 413**).

Maschek (GSM 900 und 1800, hauptsächlich 1800)
09.06.2006

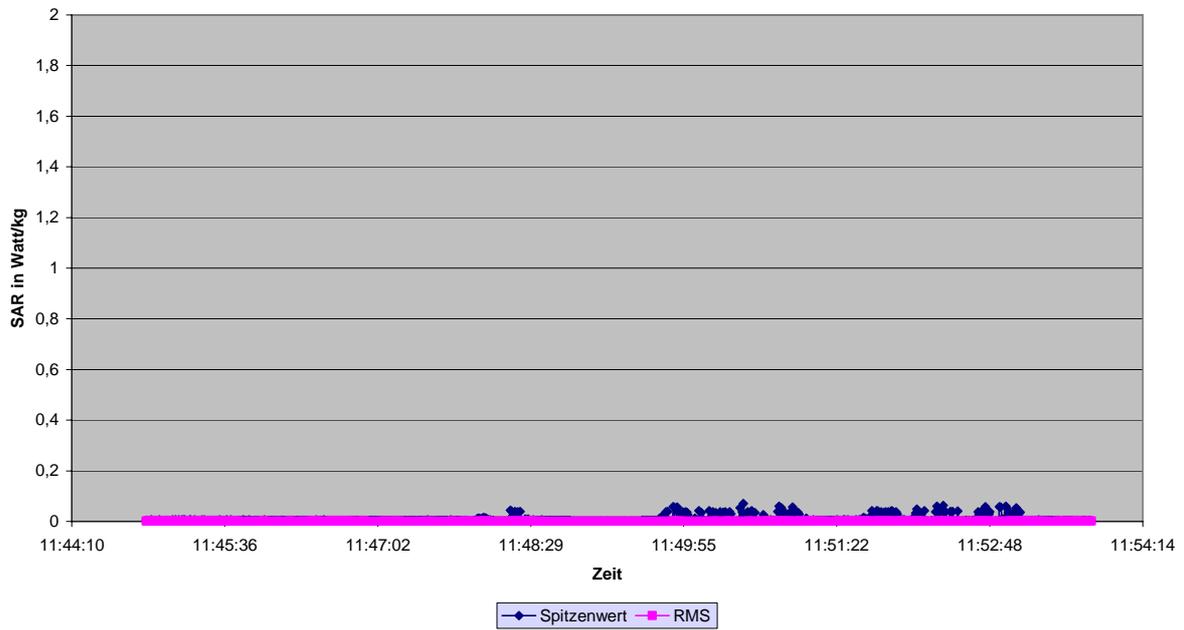


Abbildung 402

Maschek (GSM 900 und 1800, hauptsächlich 1800)
09.06.2006

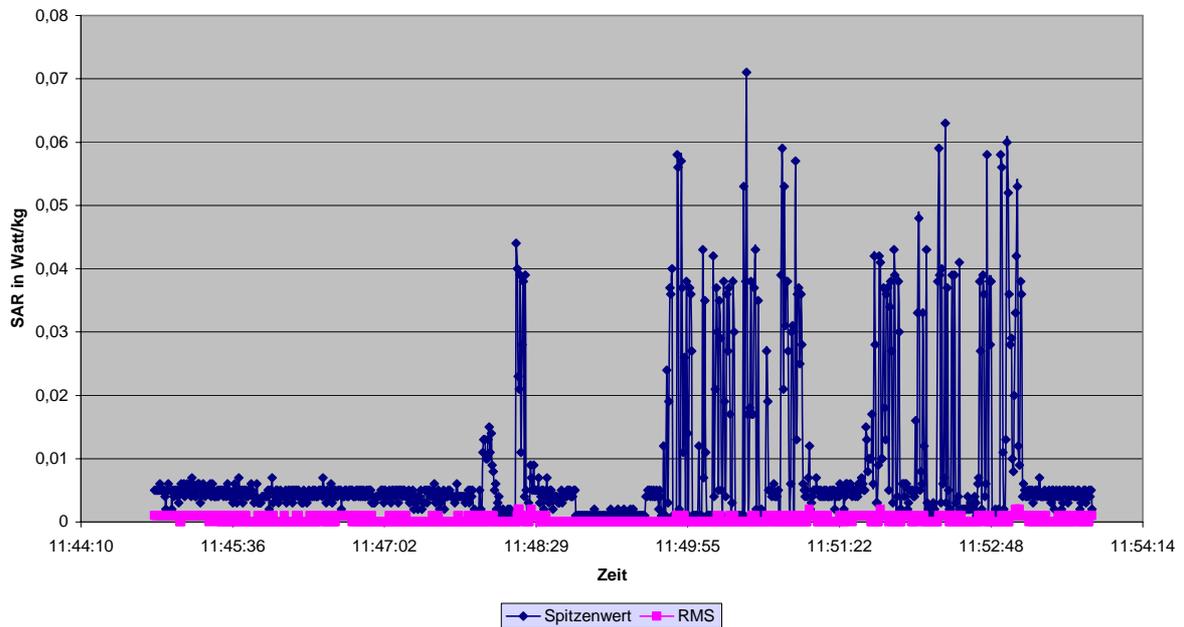


Abbildung 403 (in 25-facher Vergrößerung)

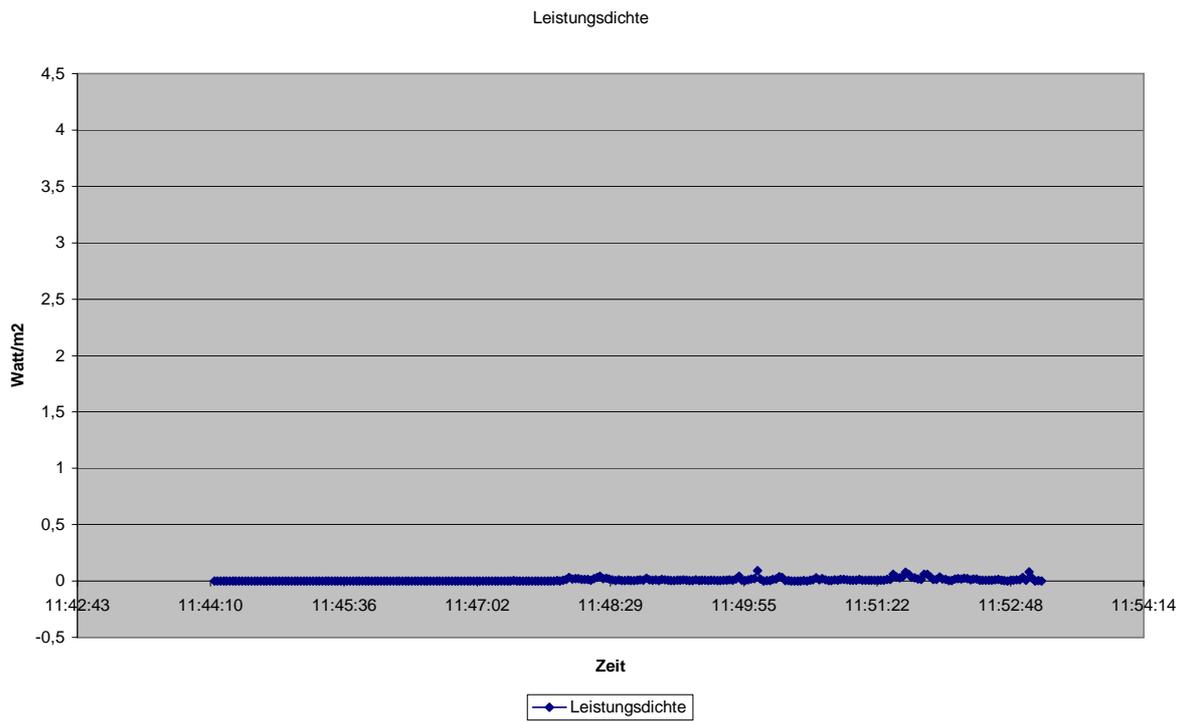


Abbildung 404

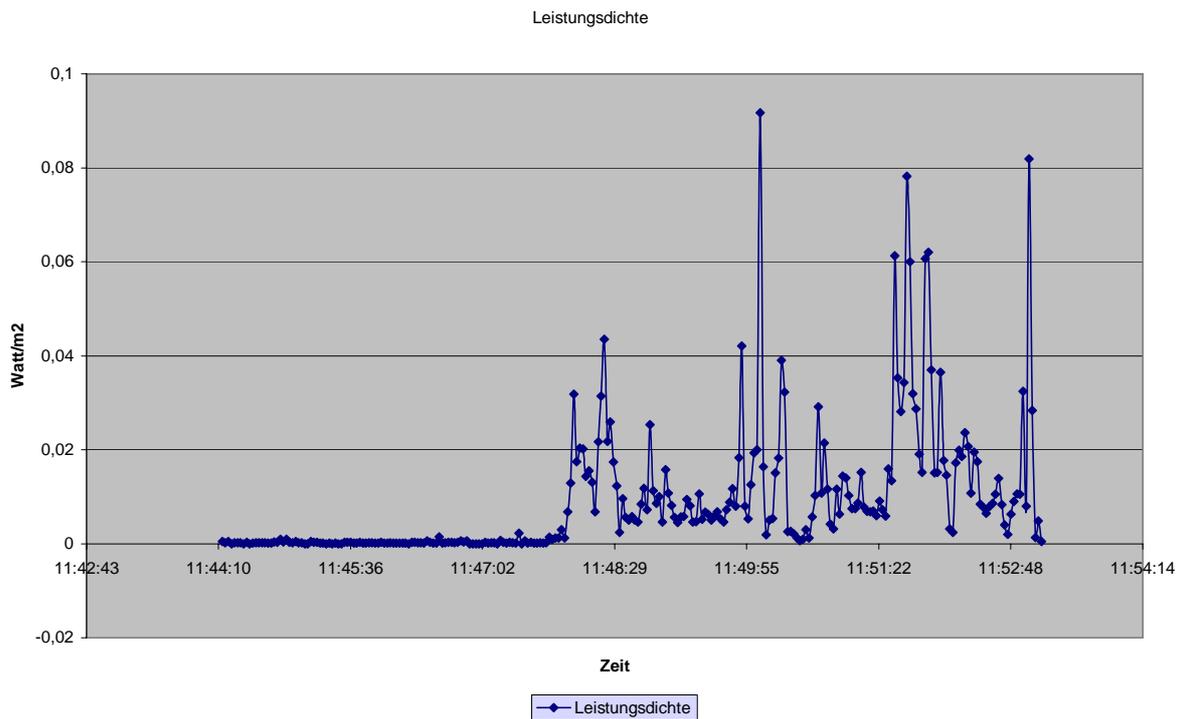


Abbildung 405

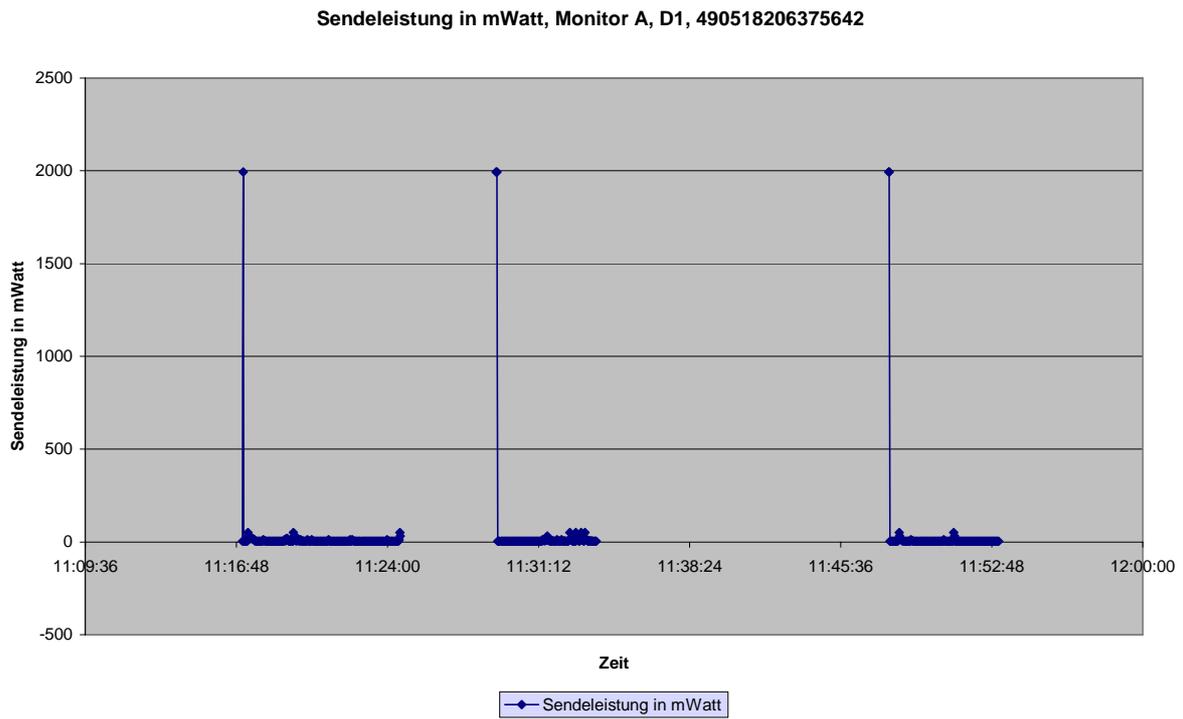


Abbildung 406

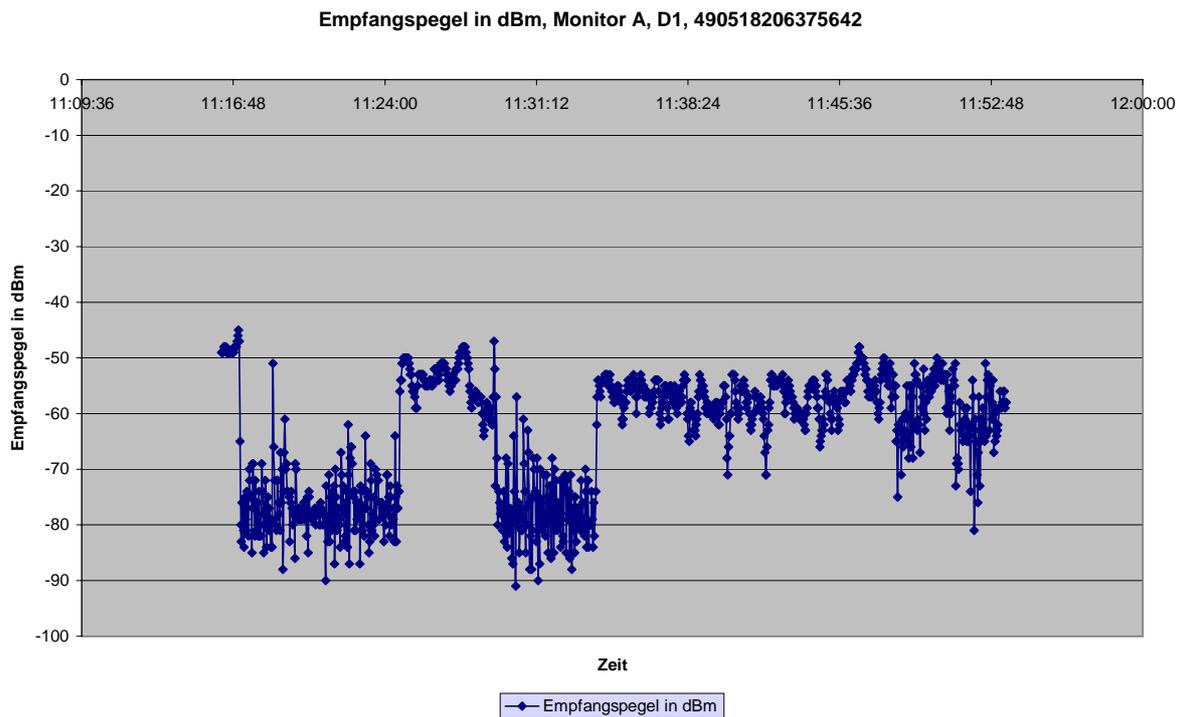


Abbildung 407

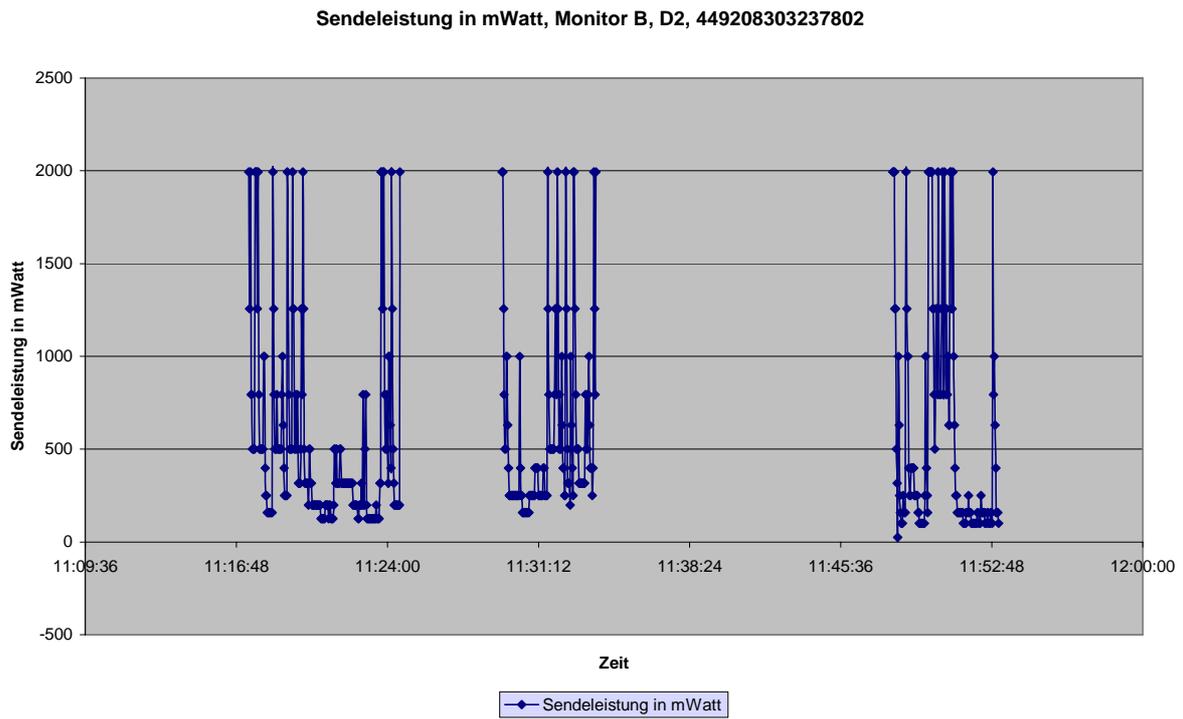


Abbildung 408

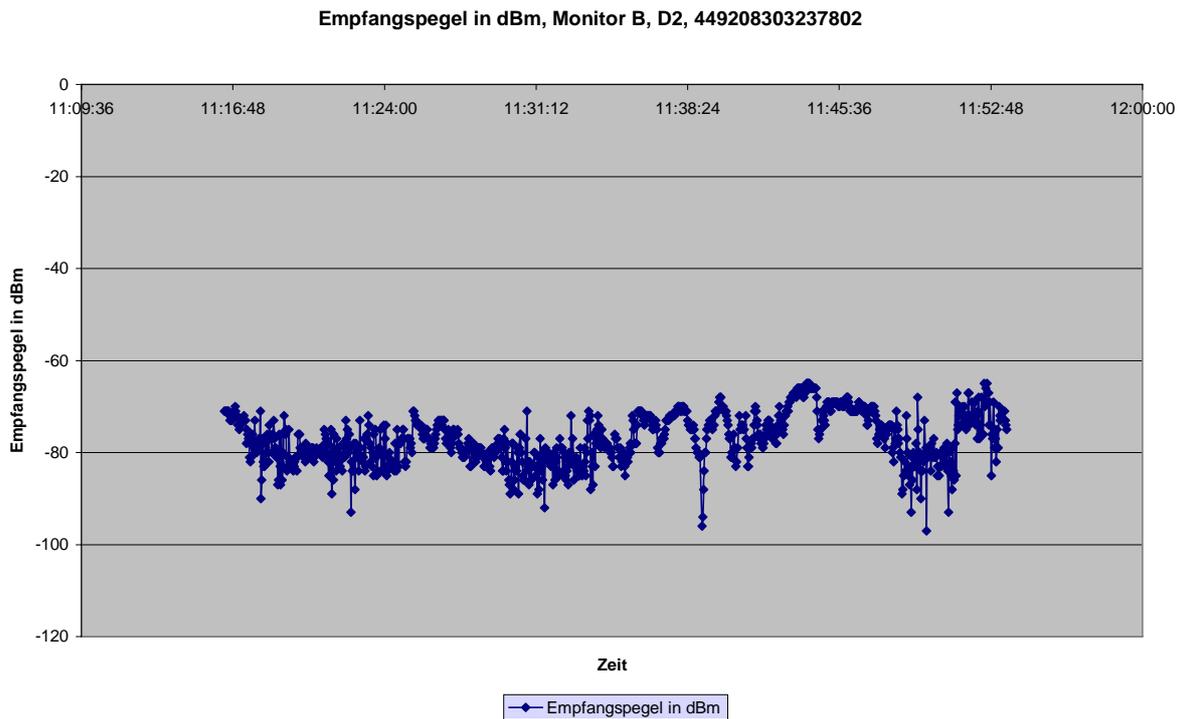


Abbildung 409

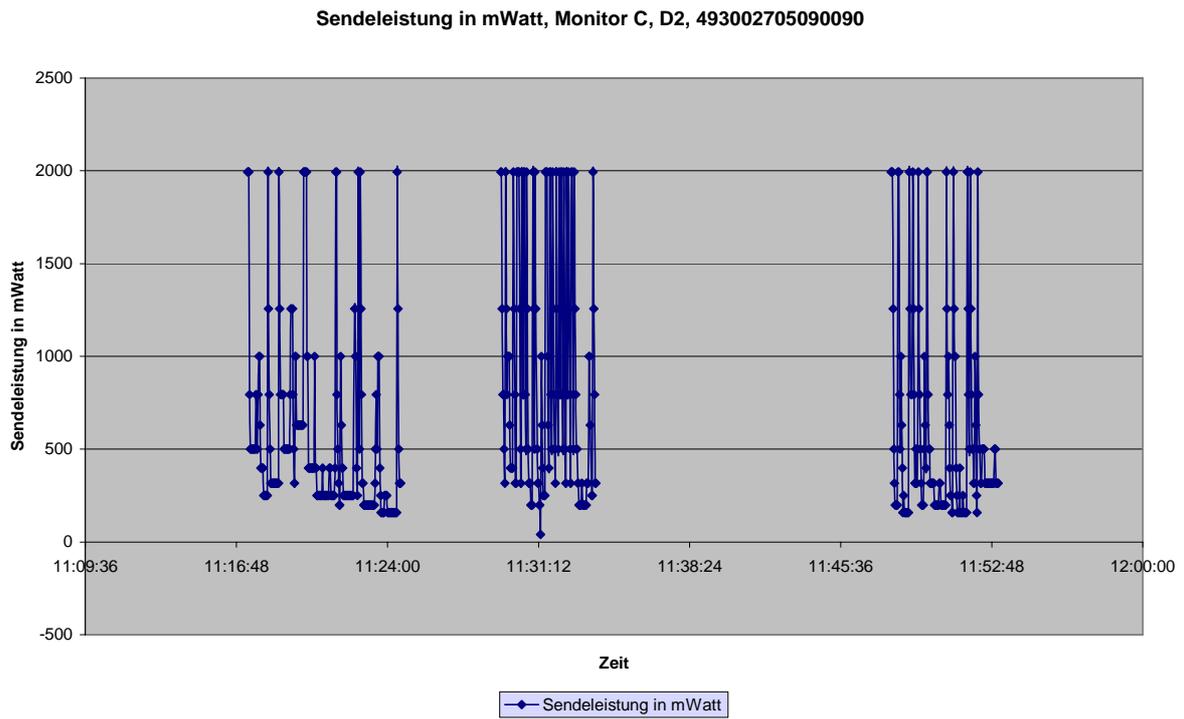


Abbildung 410

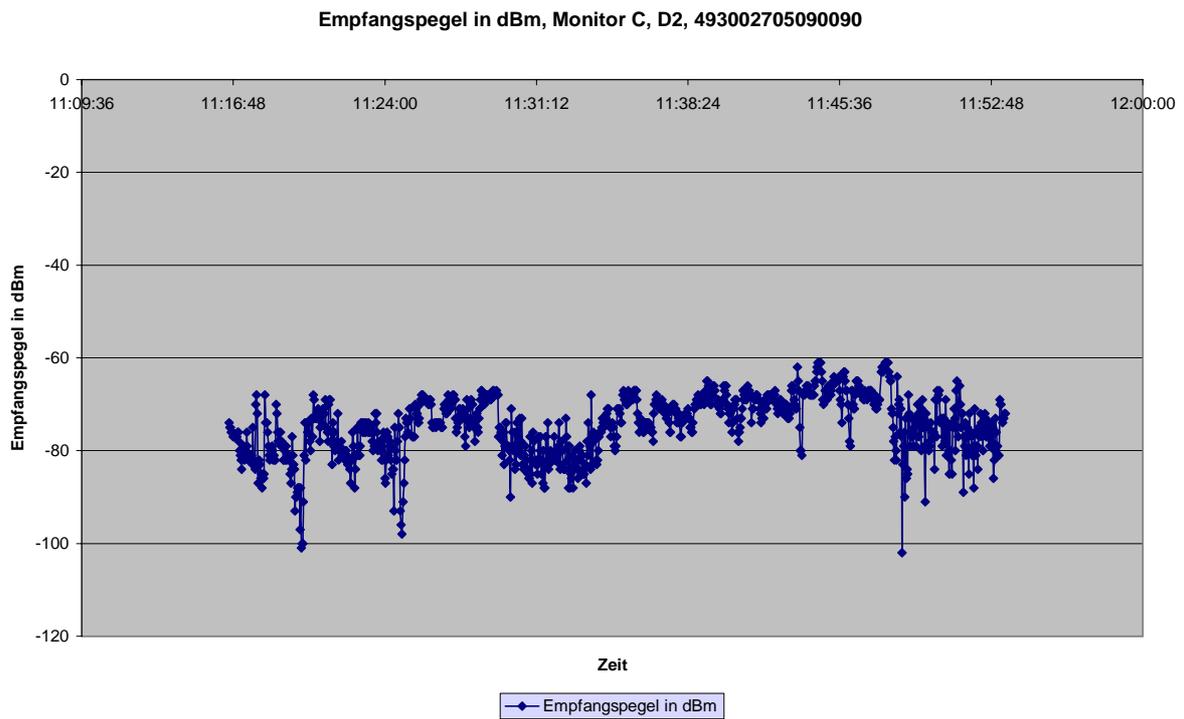


Abbildung 411

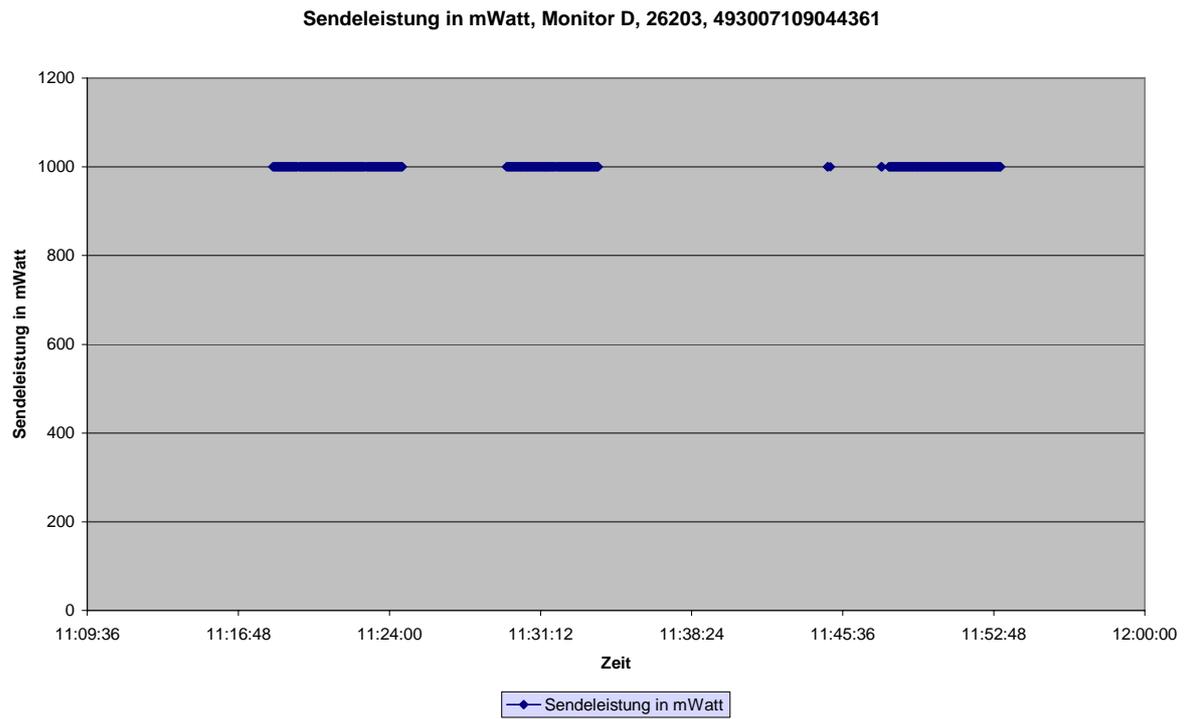


Abbildung 412

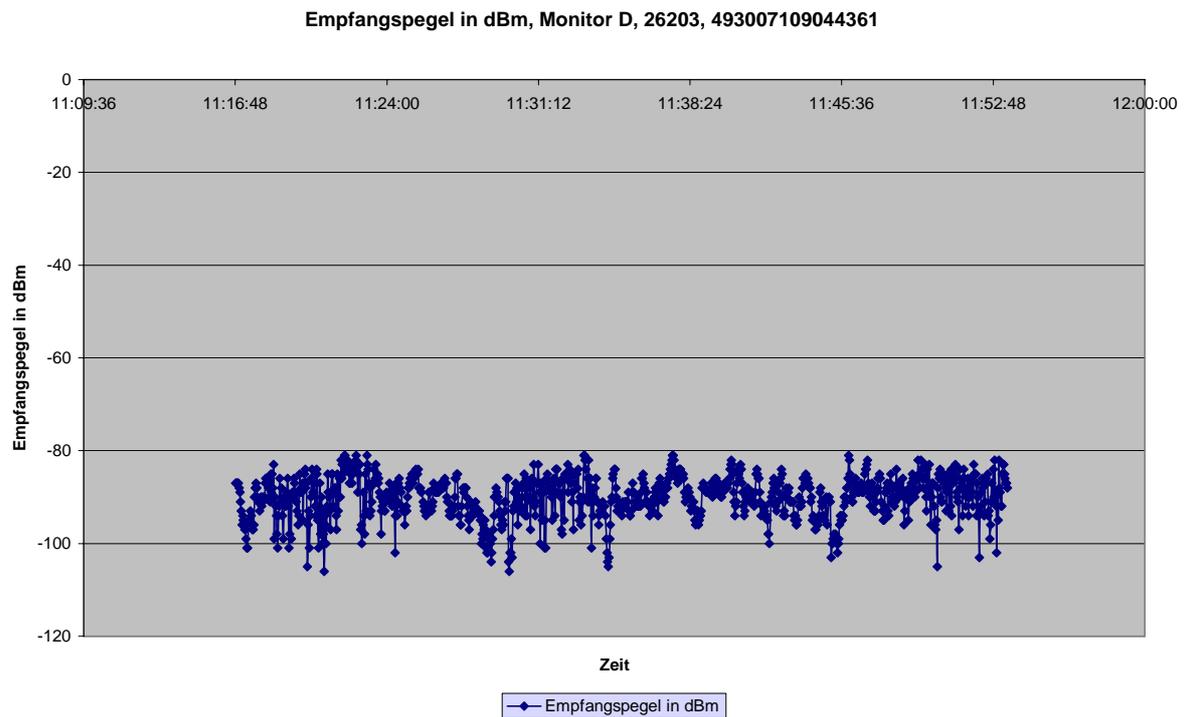


Abbildung 413

9.10.5 Messreihe UMTS: Audi A2 und Cabrio-Messungen mit 3er BMW

Abbildung 414 zeigt die Messergebnisse aus den Messungen mit dem UMTS-Handy im Audi A2.

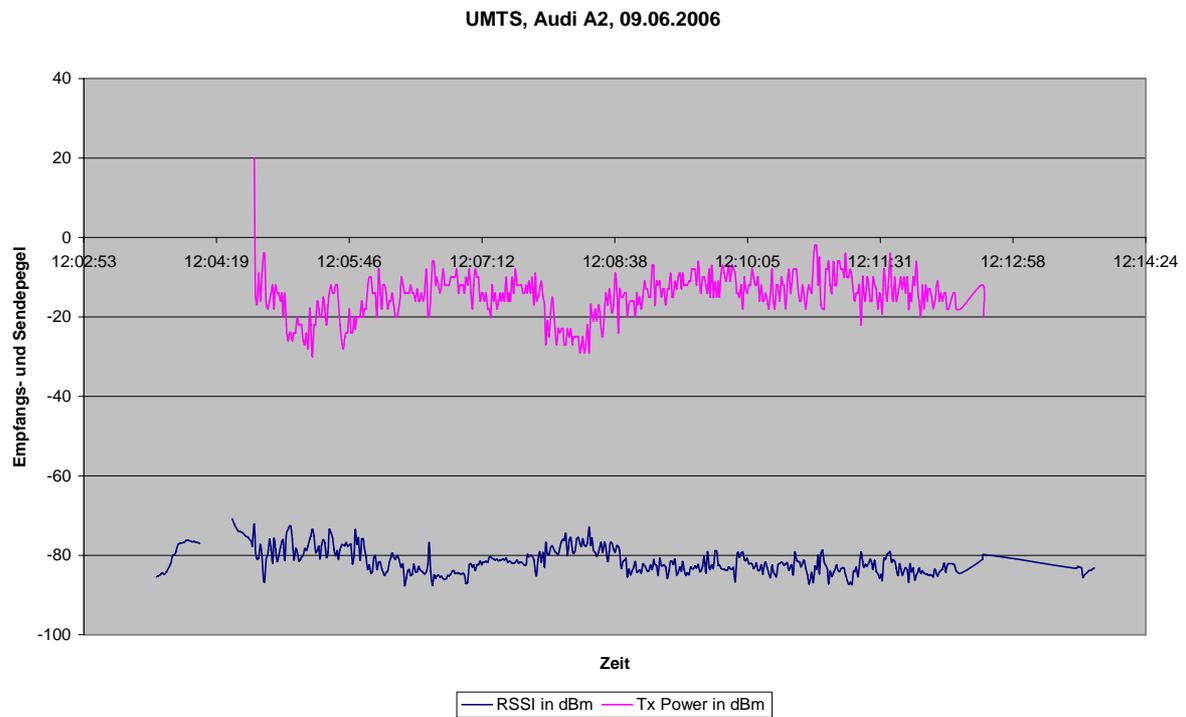


Abbildung 414



Abbildung 415



Abbildung 416

Abbildung 417 zeigt die Messergebnisse aus den UMTS-Cabrio-Messungen im BMW Cabrio (in den **Abbildung 415** und **Abbildung 416** sowohl mit geöffnetem als auch mit geschlossenem Dach).

Der BMW verfügt über ein Stoffdach.

Nach einer Vorbereitungsphase begannen die eigentlichen Messungen um 12:18:43 Uhr, sodass nur zu dieser Zeit Öffnungen und Schließungen auftraten.

Signifikante Unterschiede sind, es gab mehrere Öffnungs- und Schließvorgänge des Daches innerhalb der Messzeit von sieben Minuten, nicht zu erkennen.

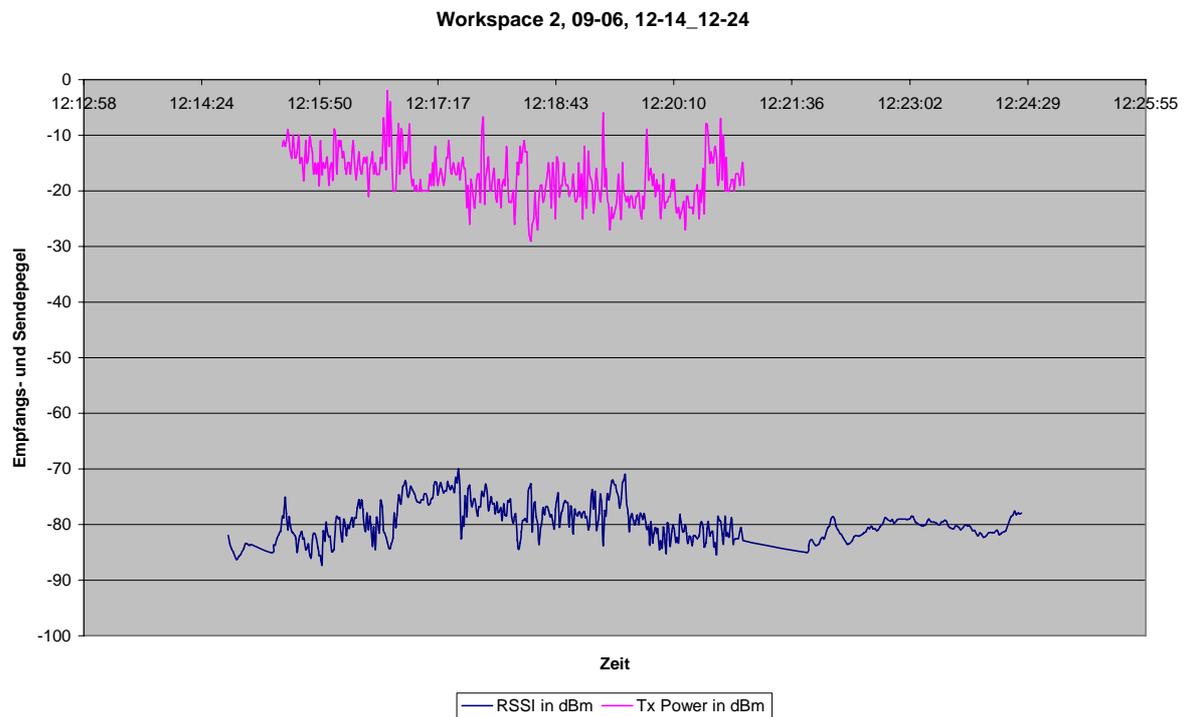


Abbildung 418

9.11 Mess-Szenario S-Bahn

Abbildung 419 zeigt die S-Bahn in der die Messungen durchgeführt wurden.

In **Abbildung 420** ist der Rechneraufbau in der S-Bahn zu erkennen. Der eine Rechner wird zur Datensammlung der EMR-Messfeldsonde benutzt, der zweite Rechner zur Abspeicherung der Monitordaten der Mobilfunkendgeräte und der Messdaten des Maschek-Messkopfs.

Abbildung 421 zeigt die Messungen im Zug. Zeitweise nutzen die Personen auch zwei Mobiltelefone. Das Telefonieren von anderen Personen während der Dauer der S-Bahnfahrt konnte nicht ausgeschlossen werden, war aber nicht relevant, da die betreffenden Personen jeweils nicht direkt bei den Messeinrichtungen waren.

Abbildung 422 zeigt die Daten der EMR-Feldsonde während des ersten Teils der Fahrt. (**Abbildung 423** ist eine 10fache Maßstabsvergrößerung). **Tabelle 59** ist ein Ausschnitt der Datenliste der EMR-Sonde.

Die auf dieser Anfangsstrecke gemessenen Feldstärken waren sehr gering.

Abbildung 424 und **Abbildung 425** (wobei **Abbildung 425** die Ausschnittsvergrößerung in dem um 90-fach vergrößerten Maßstab aus **Abbildung 424** ist) zeigen die Daten der EMR-Feldsonde während der Fortsetzung der Fahrt.

Die Feldstärkewerte bleiben minimal.

In **Abbildung 426** und **Abbildung 427** sind die Sendeleistung und der Empfangspegel der am Monitor D vorliegenden Daten dargestellt.

In diesem Fall handelt es sich um ein bei D1 eingebuchtes Handy. Während der Fahrt ist ein ausgeprägtes Regelverhalten zu erkennen. Die **Tabelle 60** zeigt die Sendeleistung und den verwendeten Kanal. Es fanden umfangreiche Kanalwechsel mit entsprechenden Regelvorgängen statt.

Abbildung 428 zeigt die 20-minütigen Messungen der EMR-Feldsonde von 15:10 bis 15:30 Uhr. **Abbildung 429** ist die 10-fache Vergrößerung hieraus.

Es ist zu erkennen, dass die gemessene Leistungsdichte in W/m^2 ca. um den Faktor 100 unterhalb des Grenzwertes liegt.

Die mit dem Maschek-Messkopf aufgenommenen Messdaten sind ebenfalls sehr gering. Zu keinem Zeitpunkt der Fahrt bestand auch nur annähernd die Wahrscheinlichkeit, dass der Grenzwert erreicht wurde.

Abbildung 432 und **Abbildung 433** zeigen die Messungen der EMR-Feldsonde im weiteren Verlauf der Fahrt (hierbei handelt es sich um 30 Minuten der Rückfahrt).

Auch hier sind die Felddaten, die gemessen wurden, weit unterhalb des Grenzwertes.

Abbildung 434 und **Abbildung 435** (hierzu gehören auch noch die **Abbildung 436** und **Abbildung 437**) zeigen die Sendeleistungsdaten von zwei Mobilfunkendgeräten, die beide bei dem Netzbetreiber D2 Vodafone eingebucht waren. Beide Geräte befanden sich örtlich nahe beieinander. Es zeigt sich hier eine verhältnismäßig gute Übereinstimmung der Regelvorgänge von beiden Mobilteilen. In **Abbildung 438** sind beide Kurven überlagert. Um 16:22:10 sind beide Sendeleistungswerte von beiden Mobilgeräten sehr gering. Zu diesem

Zeitpunkt wurde ein Verwaltungsgebäude von D2 Vodafone in Eschborn passiert. Auf diesem Gebäude sind Sendantennen von Vodafone untergebracht, sodass hier im Abstand von 100 bis 200 Metern bei gleichzeitigem Halt im S-Bahnhof ein sehr starker Regelvorgang zu beobachten war.

In **Tabelle 61**, die sich über mehrere Seiten erstreckt, wurde der Versuch unternommen, für zwei Mobilfunkendgeräte, die bei dem gleichen Netzbetreiber eingebucht waren, zeitgleich die Daten bezüglich Kanalnummer, Sendeleistung, Rufzone und Cell-ID gegenüberzustellen.

Es ist sehr gut zu erkennen, dass eine Ähnlichkeit, aber keine Übereinstimmung besteht. So war z. B. zum Zeitpunkt 16:20:20 das eine Mobilfunkendgerät im Kanal 8, d. h. bei GSM 900, eingebucht und sendete mit einer Sendeleistung von nahezu zwei Watt, während das andere Mobilfunkendgerät im GSM 1800-Netz – dies ist an der Kanalnummer 734 zu erkennen – mit einer Sendeleistung von 0,4 Watt eingebucht war. Während das Mobilfunkgerät mit dem IMEI-Nummer ...722 zum Zeitpunkt 16:20:34 in das GSM 1800-Netz wechselte, war zu diesem Zeitpunkt das Endgerät mit der IMEI-Nummer ...090 wieder in das GSM 900-Netz gewechselt und dies mit einer Sendeleistung von 2 Watt. Vergleicht man die Daten anhand der Tabelle – hierbei wurde immer die gleiche Zeit gegenübergestellt – so ist in weiten Bereichen zwar eine gute Übereinstimmung zu erkennen, aber die Daten müssen nicht gleich sein.

Nimmt man z. B. die Zeit 16:22:18, so sind beide Endgeräte in der gleichen Rufzone, diese ist 615, beide Endgeräte haben die gleiche Cell-ID (14472) und sind beide auch im gleichen Kanal (Kanal 73) und senden beide mit der gleichen Sendeleistung von 50 mW. Diese Art der Übereinstimmung ist jedoch nicht der Regelfall. Es können selbstverständlich beide Mobilfunkendgeräte im gleichen Kanal eingebucht werden, da der Kanal mit der Nummer 73 über acht Zeitschlitze verfügt und somit acht verschiedene Mobilfunkendgeräte gleichzeitig bedienen kann. Die Übereinstimmung zwischen den beiden Endgeräten kann soweit gehen, dass beide Endgeräte im gleichen Kanal eingebucht sind, es kann aber auch so sein, dass sie in völlig unterschiedlichen Frequenzbändern (1800 oder 900 MHz) und unterschiedlichen Zellen eingebucht sind und mit stark unterschiedlichen Leistungen senden. Dies wurde bei den anderen Zeitpunkten dargelegt.

Beginnt man mit immer mehr zusätzlichen Mobilfunkendgeräten gleichzeitig an dem gleichen Ort zu arbeiten, so wird ein Verdrängungswettbewerb stattfinden, d. h. die Mobilfunkendgeräte versuchen, wenn der bestehende Kanal und die bestehende Basisstation ausgebucht sind, sich in anderen Bereichen einzubuchen bzw. es werden Gespräche, die bislang in diesen Zellen geführt wurden, woanders hin umgebucht, so dass ein starkes Zellwechselverfahren beginnt und dann am gleichen Ort ganz andere Werte gemessen werden können.

Diese Fälle traten im Bahndepot und im Flugzeug auf, als mit sehr vielen Endgeräten am gleichen Ort gemessen werden musste, signifikant auf.

Abbildung 439 zeigt die Messdaten für ein im E-Plus-Netz eingebuchtes Mobilendgerät. An dieser einen Örtlichkeit sind gute Empfangsverhältnisse vorhanden, das Mobilfunkendgerät regelt als Beispiel um 16:24:14 Uhr sehr weit herunter, danach ist die Feldversorgung sehr schlecht und es wird auf den bei E-Plus maximalen Wert von 1 Watt hoch geregelt.



Abbildung 419

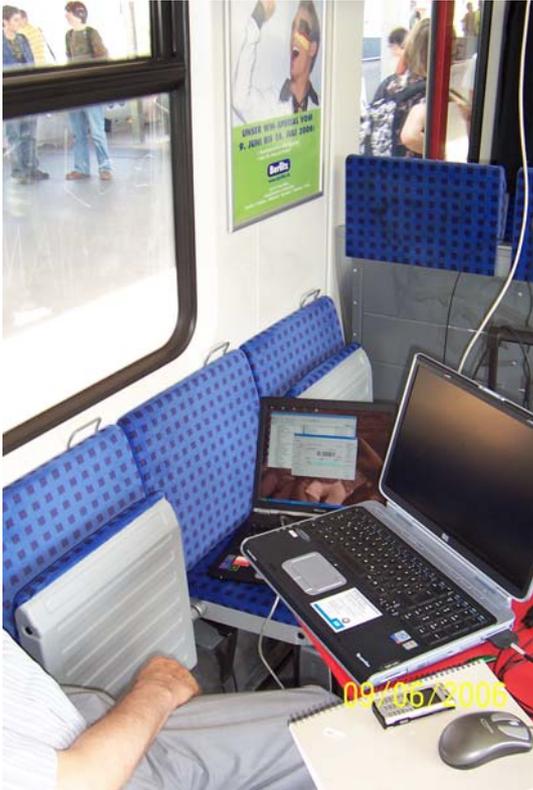


Abbildung 420



Abbildung 421

9.11.1 Messreihe um ca. 14:50 Uhr

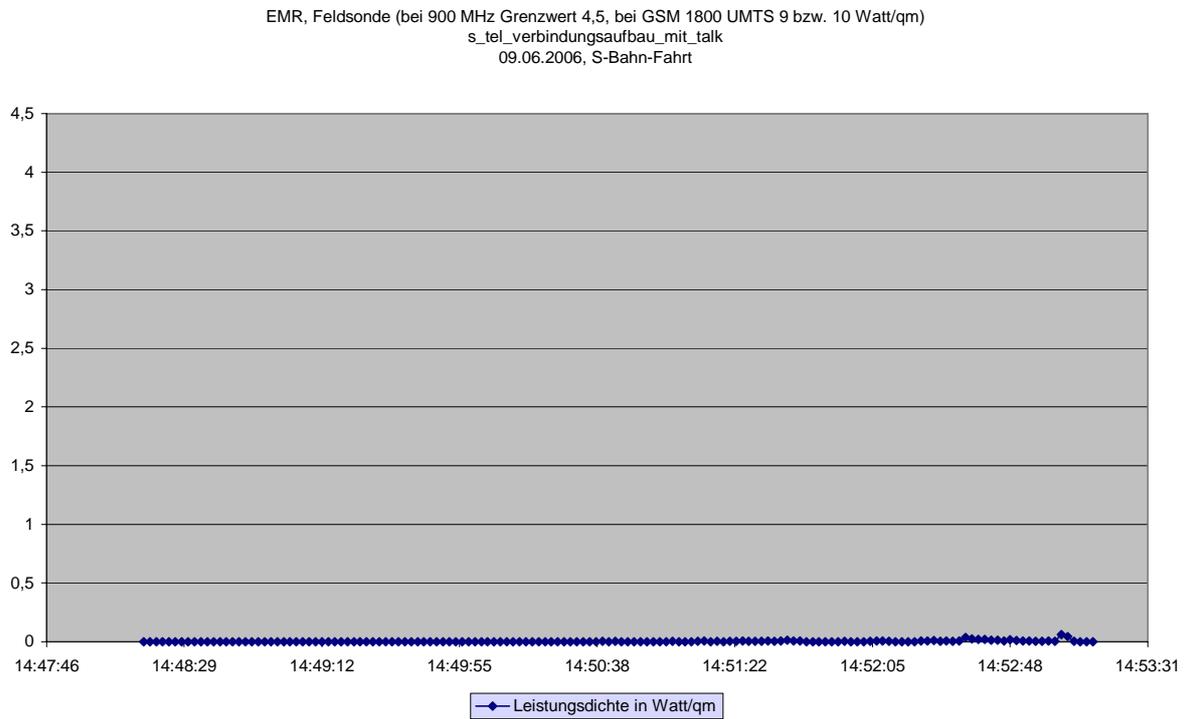


Abbildung 422

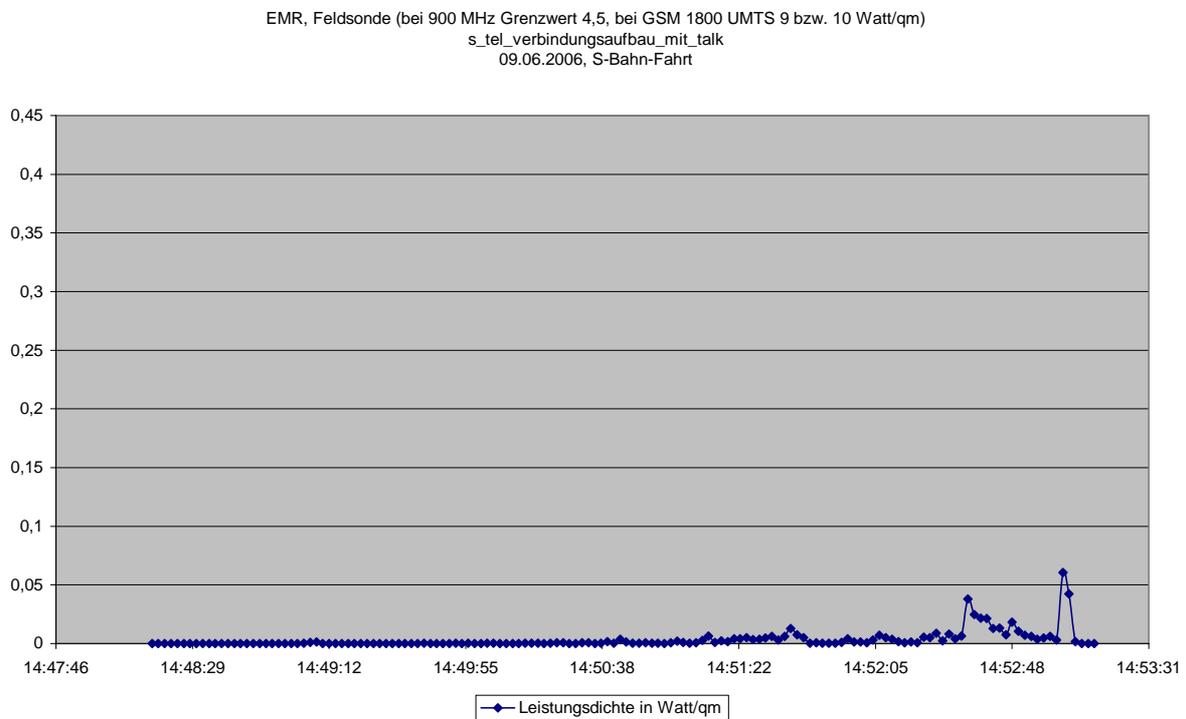


Abbildung 423

START						
EMR-300 - H-0005 - V03,01	Probe: 18	type: E	Date: 06-09-2006			
Calibr Factor: 0,900	Unit: W/m²m	Max: OFF	Average: OFF			
Index	Time	x	y	z	Eff	
113	14:52:00,0	0,0008	0,0004	0,0002	0,0014	
114	14:52:02,0	0,0003	0,0002	0,0002	0,0007	
115	14:52:04,0	0,0018	0,0006	0,0008	0,0032	
116	14:52:06,0	0,0045	0,0011	0,0016	0,0072	
117	14:52:08,0	0,0024	0,0012	0,0015	0,0051	
118	14:52:10,0	0,0011	0,0015	0,0012	0,0038	
119	14:52:12,0	0,0002	0,0011	0,0003	0,0016	
120	14:52:14,0	0,0003	0,0004	0,0001	0,0008	
121	14:52:16,0	0,0004	0,0004	0,0004	0,0012	
122	14:52:18,0	0,0002	0,0004	0,0002	0,0008	
123	14:52:20,0	0,0012	0,0027	0,0015	0,0054	
124	14:52:22,0	0,0014	0,0025	0,0012	0,0051	
125	14:52:24,0	0,0031	0,004	0,0018	0,0089	
126	14:52:26,0	0,0007	0,0009	0,0007	0,0023	
127	14:52:28,0	0,004	0,0025	0,0015	0,008	
128	14:52:30,0	0,0005	0,0023	0,0014	0,0042	
129	14:52:32,0	0,0005	0,004	0,002	0,0065	
130	14:52:34,0	0,0102	0,003	0,0246	0,0378	
131	14:52:36,0	0,0041	0,002	0,0187	0,0248	
132	14:52:38,0	0,0035	0,0059	0,0124	0,0218	
133	14:52:40,0	0,0028	0,0029	0,0158	0,0215	
134	14:52:42,0	0,002	0,0016	0,0091	0,0127	
135	14:52:44,0	0,0014	0,0017	0,0101	0,0132	
136	14:52:46,0	0,0009	0,0008	0,0059	0,0076	
137	14:52:48,0	0,0035	0,0028	0,0121	0,0184	
138	14:52:50,0	0,0024	0,0053	0,0027	0,0104	
139	14:52:52,0	0,0012	0,0038	0,0021	0,0071	
140	14:52:54,0	0,0012	0,003	0,002	0,0062	
141	14:52:56,0	0,0011	0,0017	0,0009	0,0037	
142	14:52:58,0	0,0009	0,0022	0,0016	0,0047	
143	14:53:00,0	0,0006	0,0033	0,0022	0,0061	
144	14:53:02,0	0,0006	0,0016	0,0008	0,003	
145	14:53:04,0	0,0368	0,0067	0,0172	0,0607	
146	14:53:06,0	0,0276	0,0027	0,0121	0,0424	
147	14:53:08,0	0,0006	0,0005	0,0006	0,0017	
148	14:53:10,0	0	0	0	0	
149	14:53:12,0	0	0	0	0	
150	14:53:14,0	0	0	0	0	

Tabelle 59

EMR, Feldsonde (bei 900 MHz Grenzwert 4,5, bei GSM 1800 UMTS 9 bzw. 10 Watt/qm)
 s_tel_verbindungsabau_mit_talk
 09.06.2006, S-Bahn-Fahrt

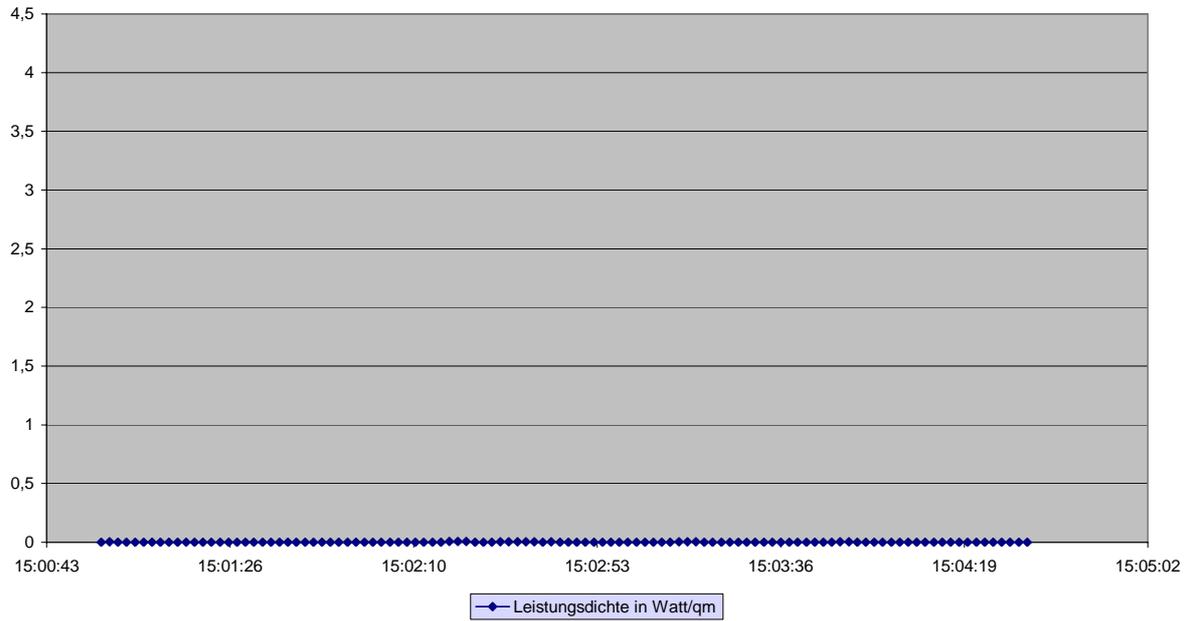


Abbildung 424

EMR, s_rückfahrt
 09.06.2006

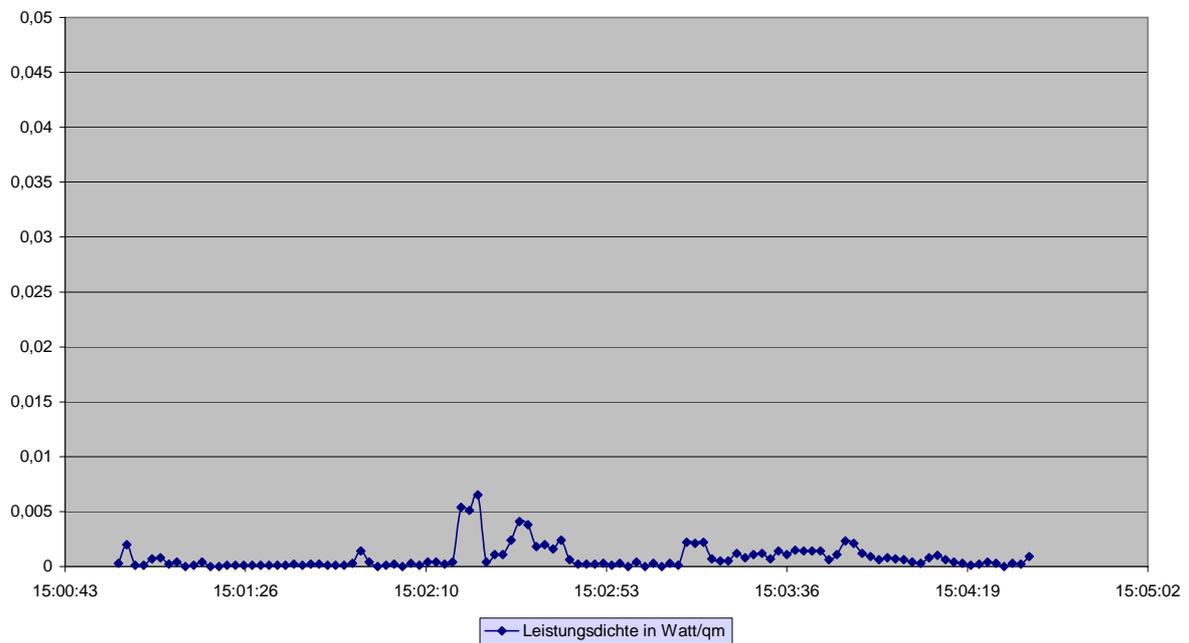


Abbildung 425

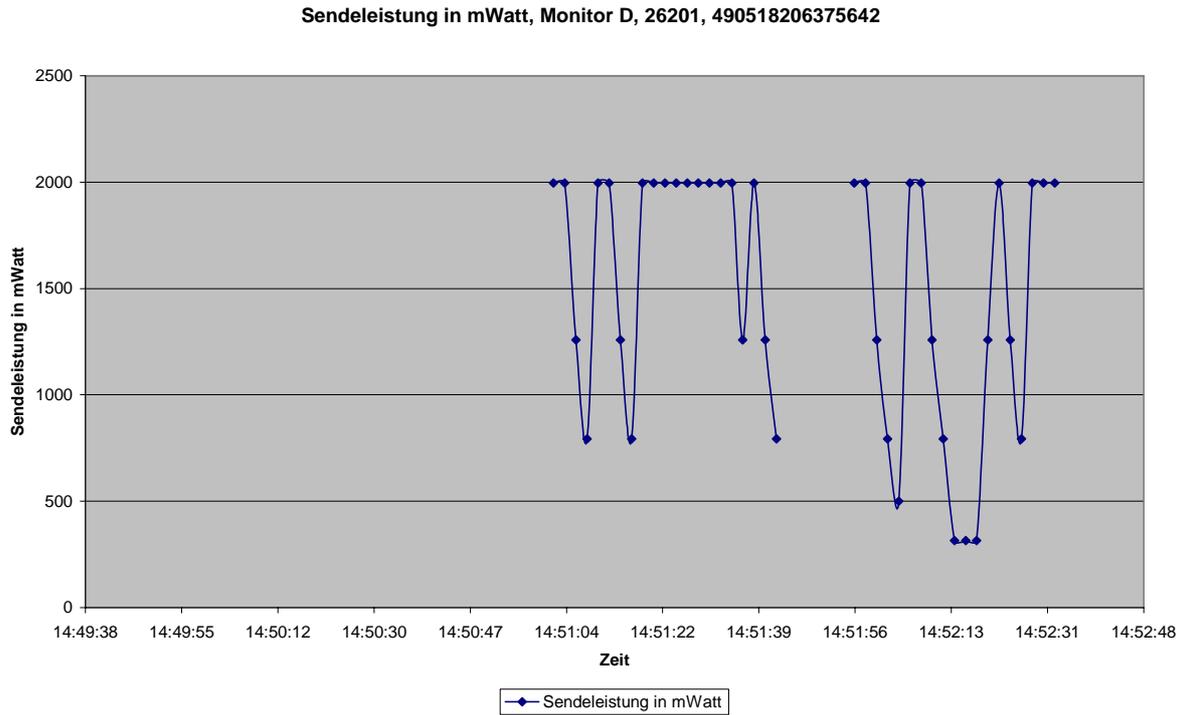


Abbildung 426

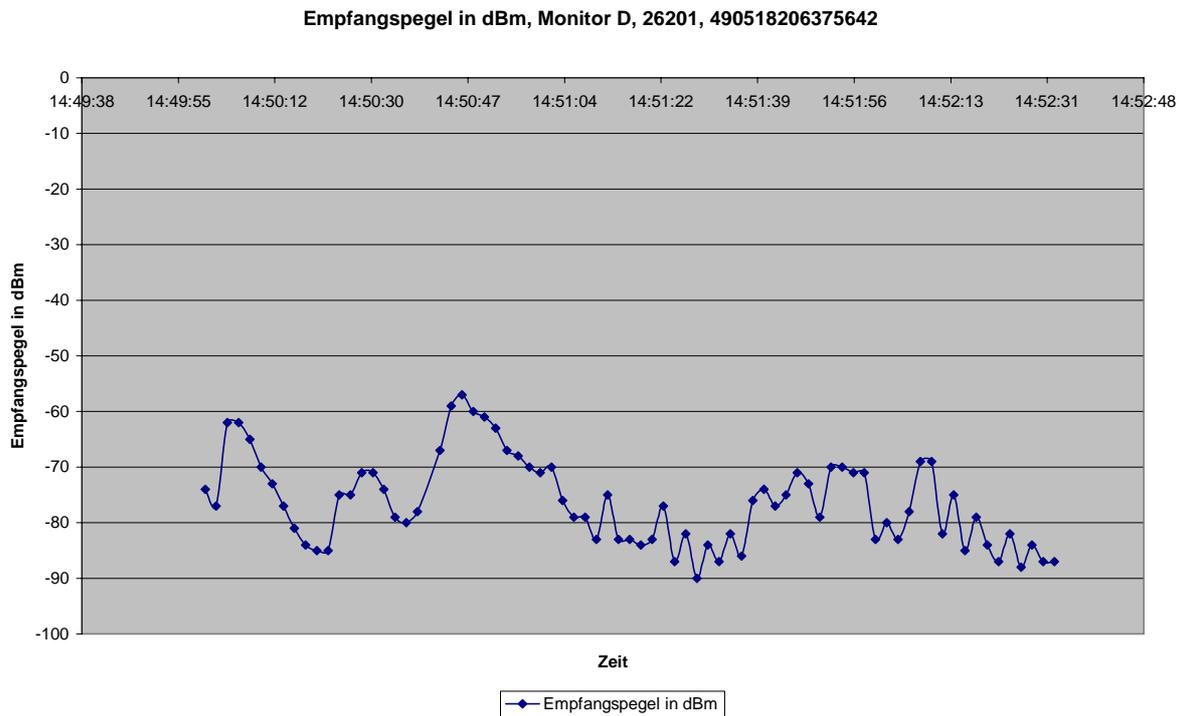


Abbildung 427

Log starting at 09.06.2006 14:49:56(2.3.2.623R / NOKIA 6110 (4300/05.31) on FBUS / 490518206375642)

Datum	Uhrzeit	Cell-ID	Rufzone	Netz-ID	Empfangs- pegel in dBm	Sendelst. in mW	Kanal- nummer
09.06.2006	14:50:52	40223	25857	26201	-63		25
09.06.2006	14:50:54	40223	25857	26201	-67		25
09.06.2006	14:50:56	40223	25857	26201	-68		25
09.06.2006	14:50:58	40223	25857	26201	-70		25
09.06.2006	14:51:00	40223	25857	26201	-71		25
09.06.2006	14:51:02	40223	25857	26201	-70	1995	25
09.06.2006	14:51:04	40223	25857	26201	-76	1995	25
09.06.2006	14:51:06	40223	25857	26201	-79	1258	25
09.06.2006	14:51:08	40223	25857	26201	-79	794	25
09.06.2006	14:51:10	40223	25857	26201	-83	1995	25
09.06.2006	14:51:12	52244	25857	26201	-75	1995	30
09.06.2006	14:51:14	52244	25857	26201	-83	1258	30
09.06.2006	14:51:16	52244	25857	26201	-83	794	30
09.06.2006	14:51:18	52244	25857	26201	-84	1995	30
09.06.2006	14:51:20	52244	25857	26201	-83	1995	30
09.06.2006	14:51:22	40223	25857	26201	-77	1995	25
09.06.2006	14:51:24	40223	25857	26201	-87	1995	25
09.06.2006	14:51:26	40223	25857	26201	-82	1995	25
09.06.2006	14:51:28	40223	25857	26201	-90	1995	25
09.06.2006	14:51:30	40223	25857	26201	-84	1995	25
09.06.2006	14:51:32	52244	25857	26201	-87	1995	30
09.06.2006	14:51:34	52244	25857	26201	-82	1995	30
09.06.2006	14:51:36	52244	25857	26201	-86	1258	30
09.06.2006	14:51:38	52244	25857	26201	-76	1995	35
09.06.2006	14:51:40	12048	25857	26201	-74	1258	35
09.06.2006	14:51:42	12048	25857	26201	-77	794	35
09.06.2006	14:51:44	12048	25857	26201	-75		35
09.06.2006	14:51:46	12048	25857	26201	-71		35
09.06.2006	14:51:48	12048	25857	26201	-73		35
09.06.2006	14:51:50	12048	25857	26201	-79		35
09.06.2006	14:51:52	52244	25857	26201	-70		30
09.06.2006	14:51:54	52244	25857	26201	-70		30
09.06.2006	14:51:56	52244	25857	26201	-71	1995	30
09.06.2006	14:51:58	52244	25857	26201	-71	1995	30
09.06.2006	14:52:00	52244	25857	26201	-83	1258	30
09.06.2006	14:52:02	52244	25857	26201	-80	794	30
09.06.2006	14:52:04	52244	25857	26201	-83	501	30
09.06.2006	14:52:06	52244	25857	26201	-78	1995	30
09.06.2006	14:52:08	52244	25857	26201	-69	1995	35
09.06.2006	14:52:10	12048	25857	26201	-69	1258	35
09.06.2006	14:52:12	12048	25857	26201	-82	794	35
09.06.2006	14:52:14	12048	25857	26201	-75	316	35
09.06.2006	14:52:16	12048	25857	26201	-85	316	35
09.06.2006	14:52:18	12048	25857	26201	-79	316	35
09.06.2006	14:52:20	12048	25857	26201	-84	1258	35
09.06.2006	14:52:22	12048	25857	26201	-87	1995	35
09.06.2006	14:52:24	12048	25857	26201	-82	1258	35
09.06.2006	14:52:26	12048	25857	26201	-88	794	35
09.06.2006	14:52:28	12048	25857	26201	-84	1995	35
09.06.2006	14:52:30	12048	25857	26201	-87	1995	35
09.06.2006	14:52:32	12048	25857	26201	-87	1995	35

Tabelle 60

9.11.2 Messreihe von ca. 15:10 bis 15:40 Uhr

EMR, Feldsonde (bei 900 MHz Grenzwert 4,5, bei GSM 1800 UMTS 9 bzw. 10 Watt/qm)
s_tel_verbindungs Aufbau_mit_talk
09.06.2006, S-Bahn-Fahrt

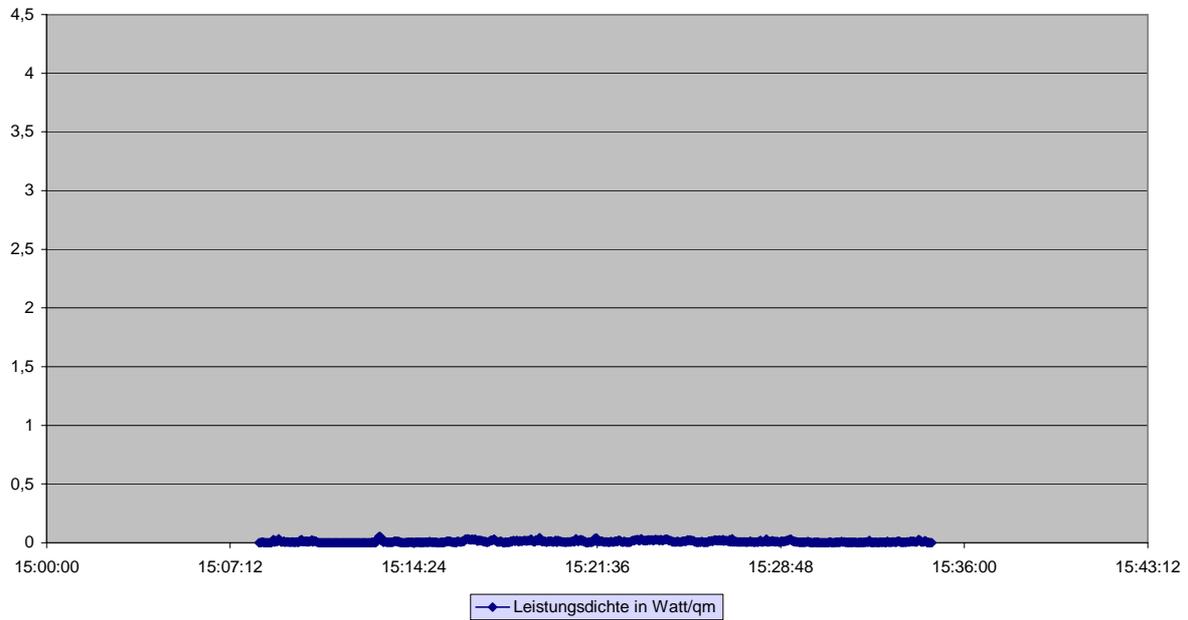


Abbildung 428

EMR, Feldsonde (bei 900 MHz Grenzwert 4,5, bei GSM 1800 UMTS 9 bzw. 10 Watt/qm)
s_tel_verbindungs Aufbau_mit_talk
09.06.2006, S-Bahn-Fahrt

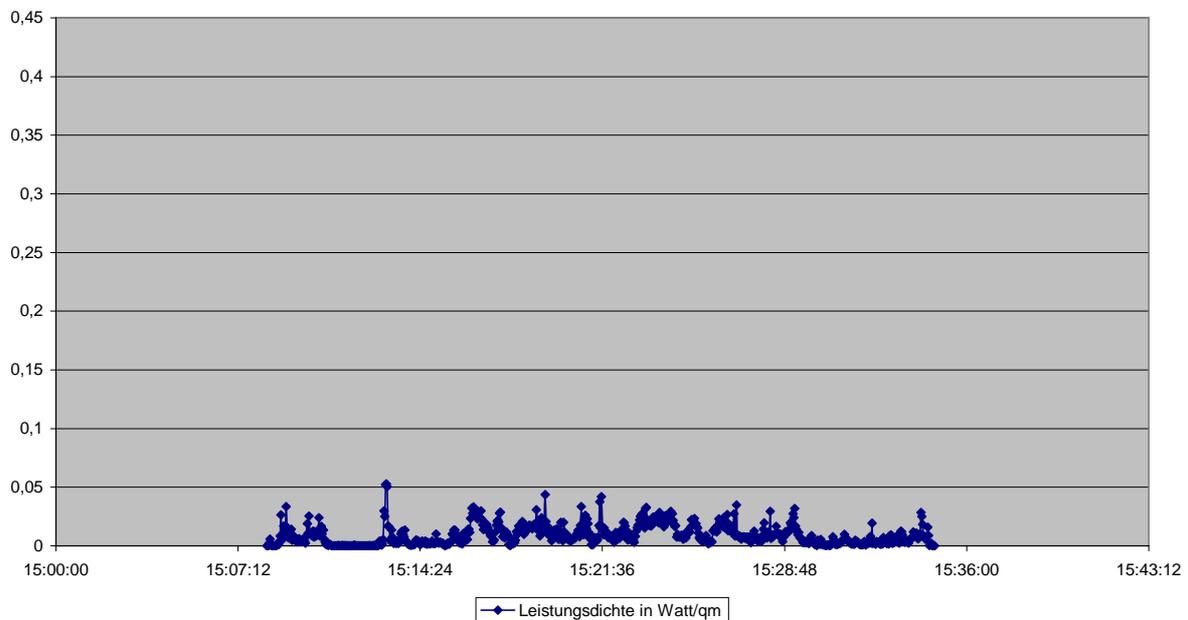


Abbildung 429

Maschek (fast nur GSM 900), S-Bahn3
09.06.2006

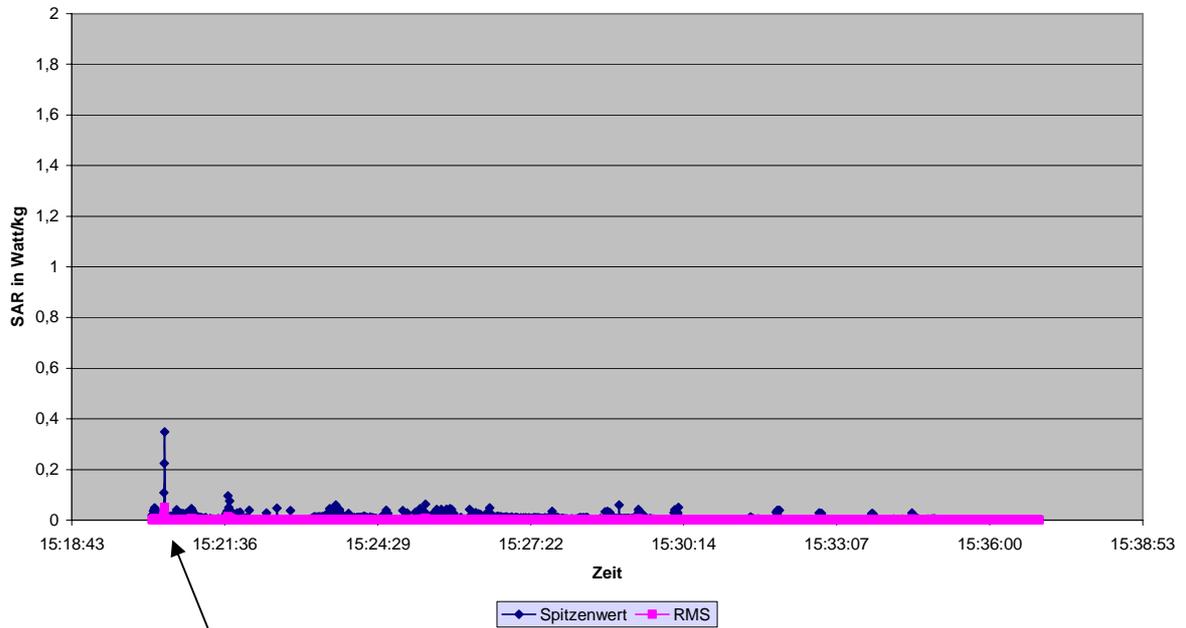


Abbildung 430

Test

Maschek (fast nur GSM 900), S-Bahn3
09.06.2006

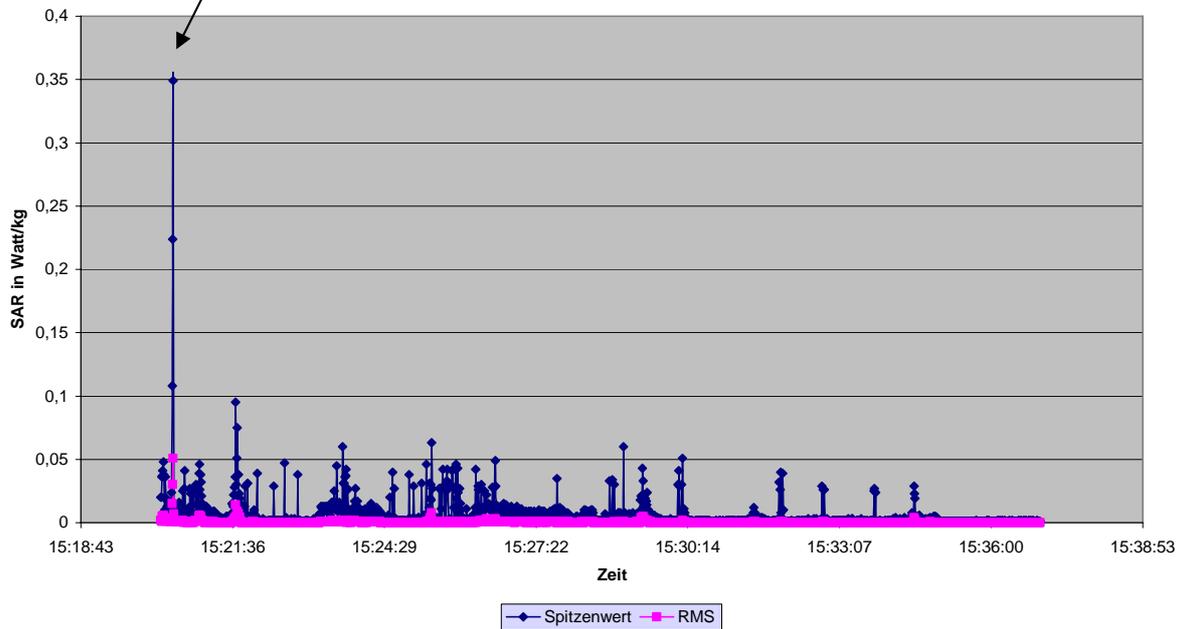


Abbildung 431

9.11.3 Messreihe um ca. 15:36 bis 16:26

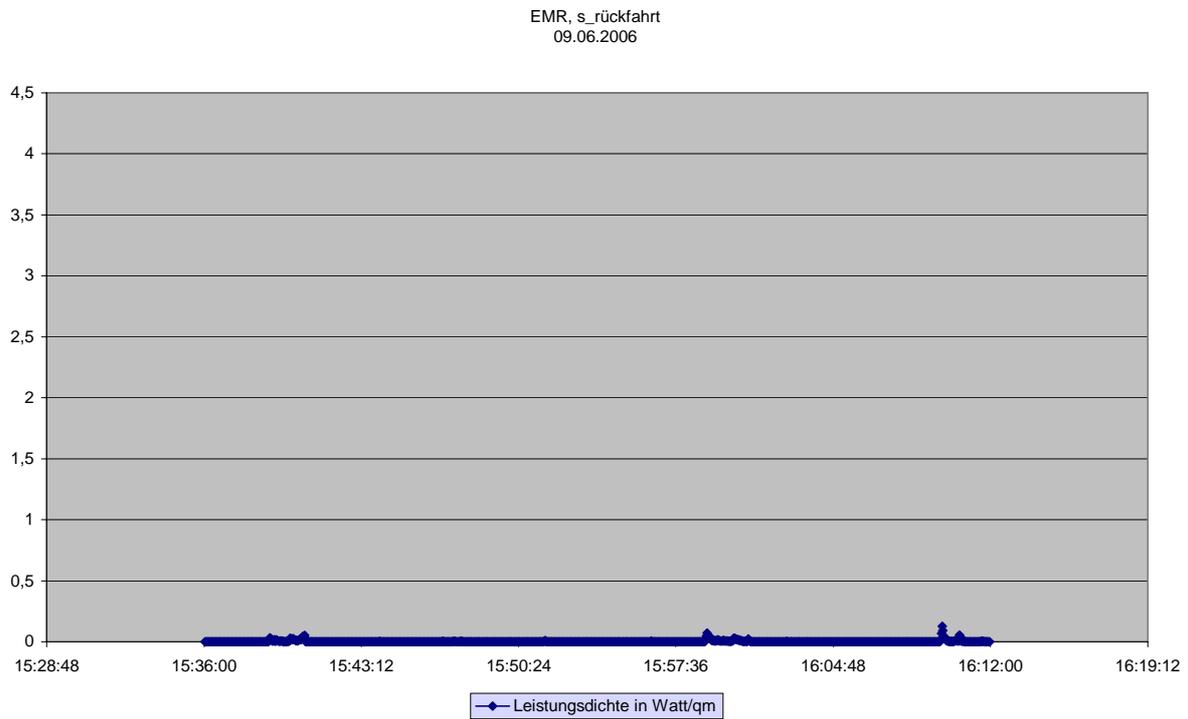


Abbildung 432

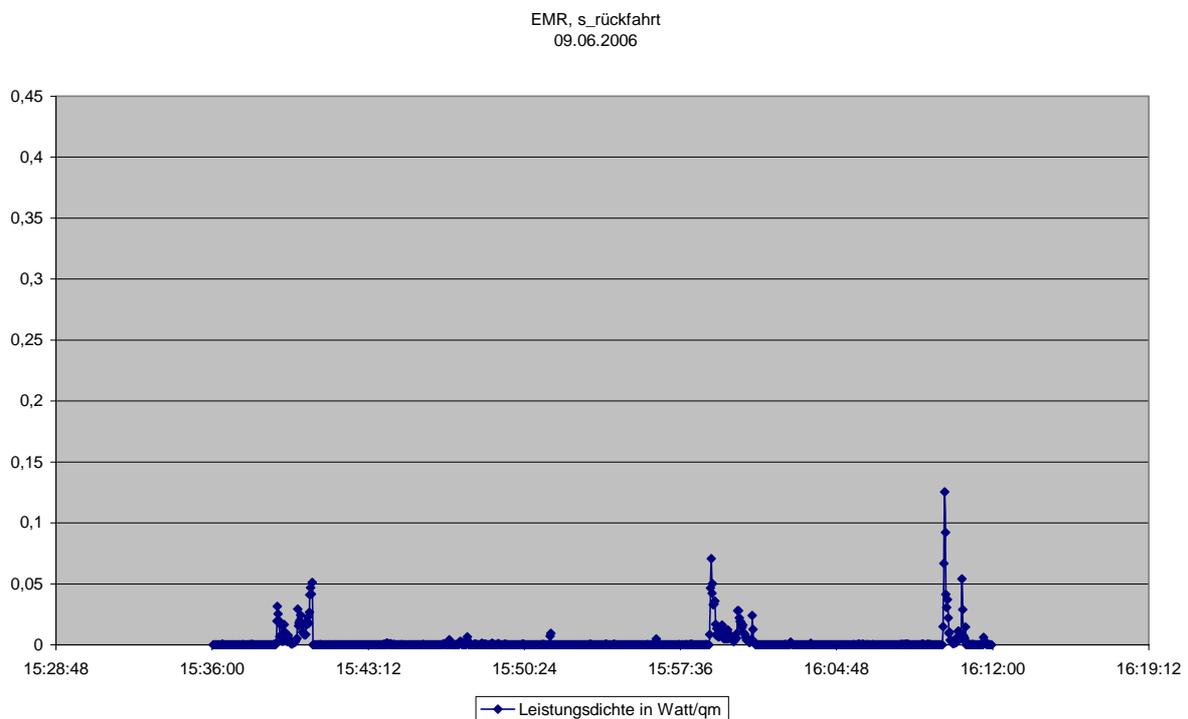


Abbildung 433

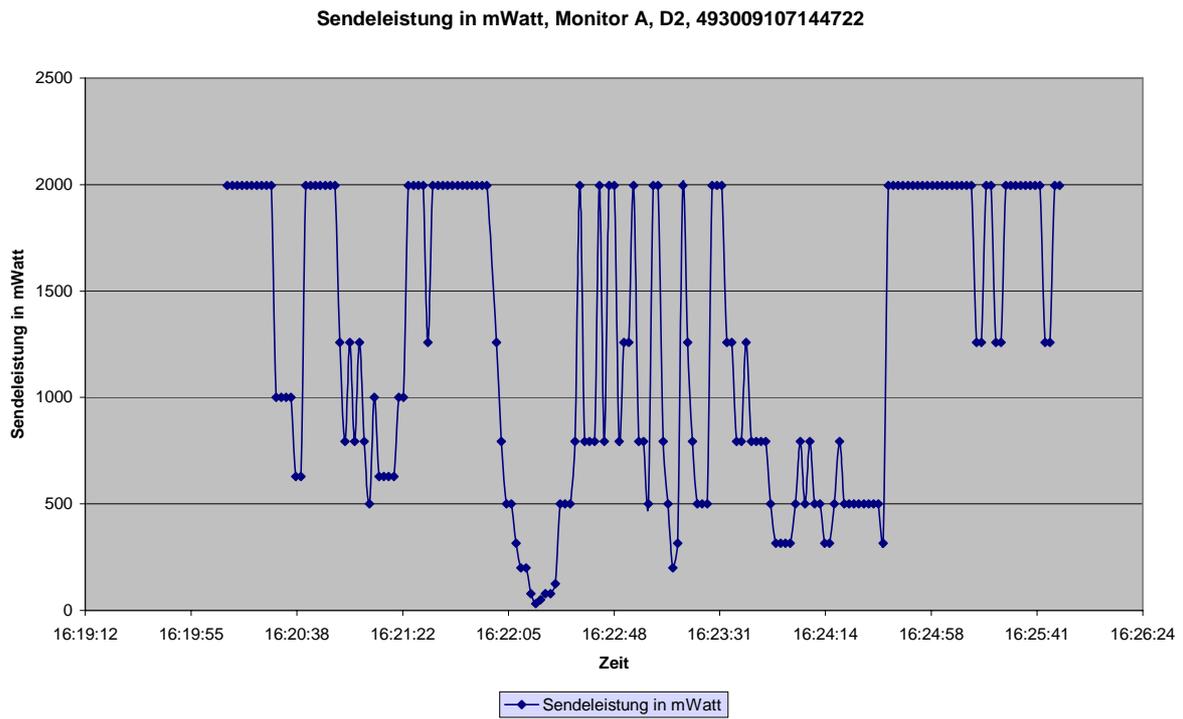


Abbildung 434

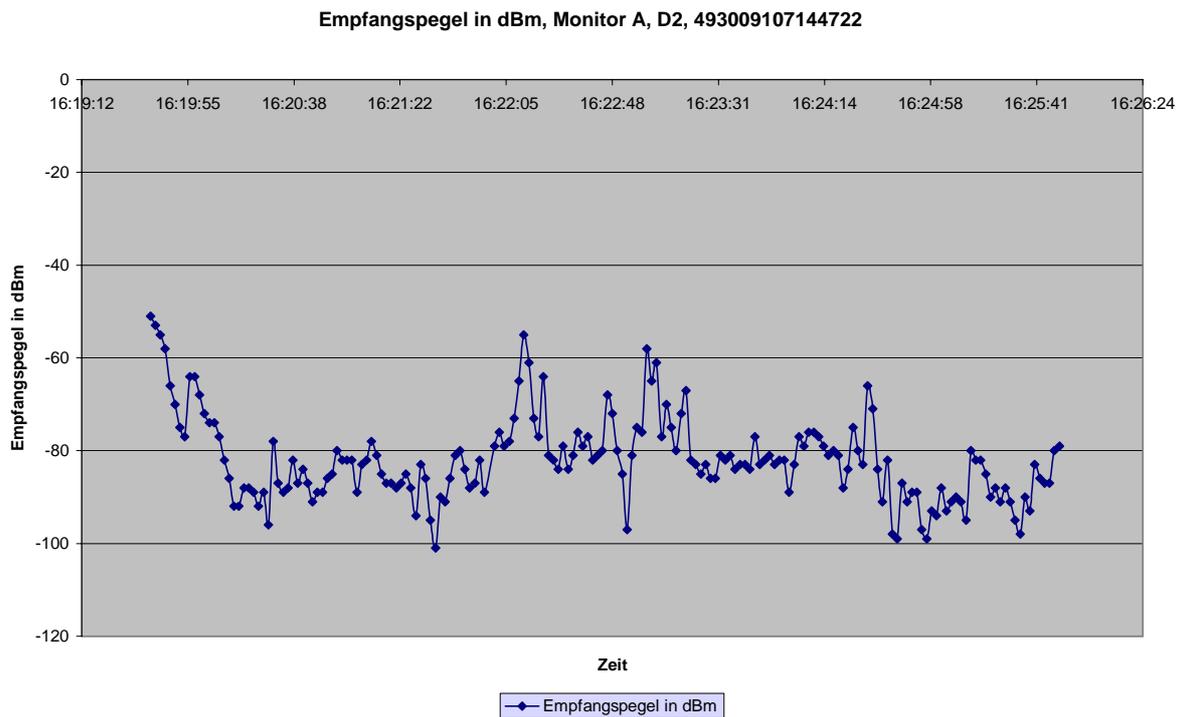


Abbildung 435

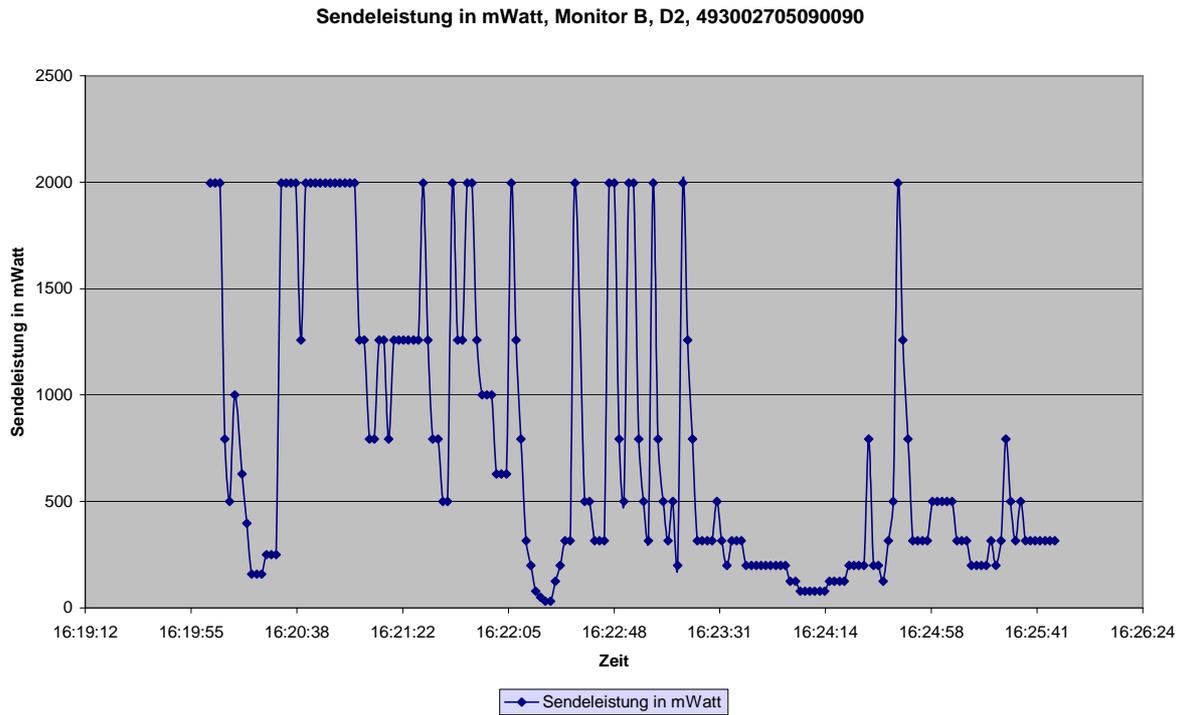


Abbildung 436

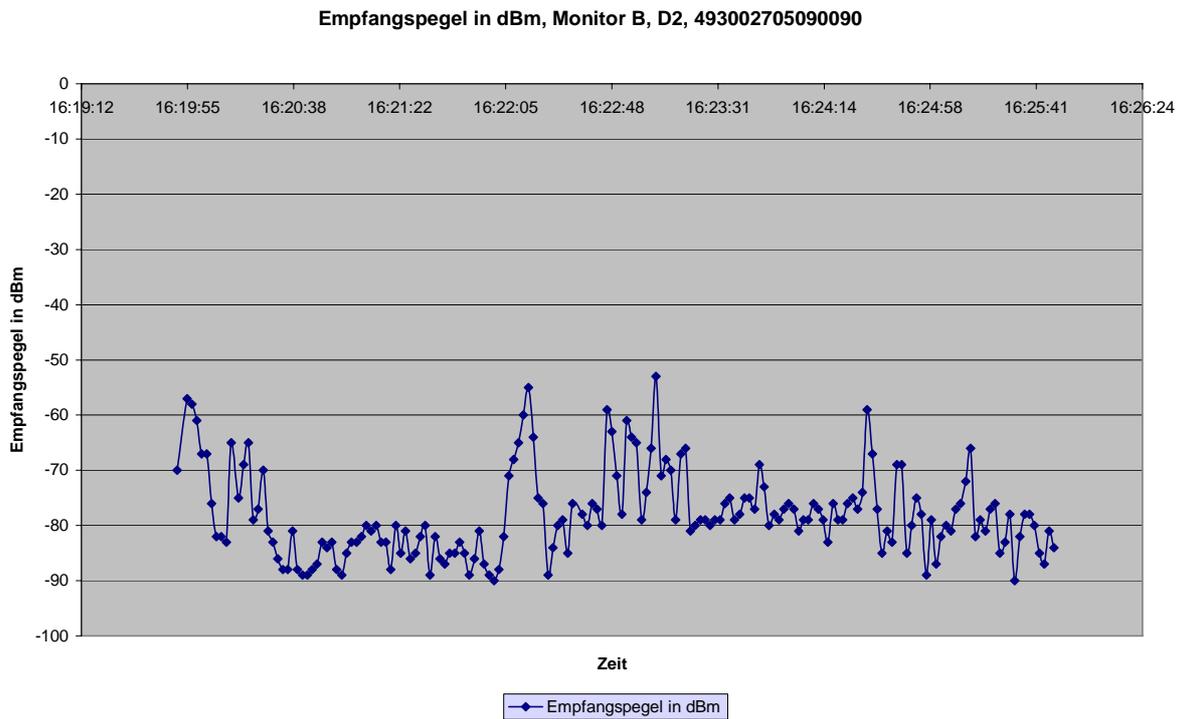


Abbildung 437

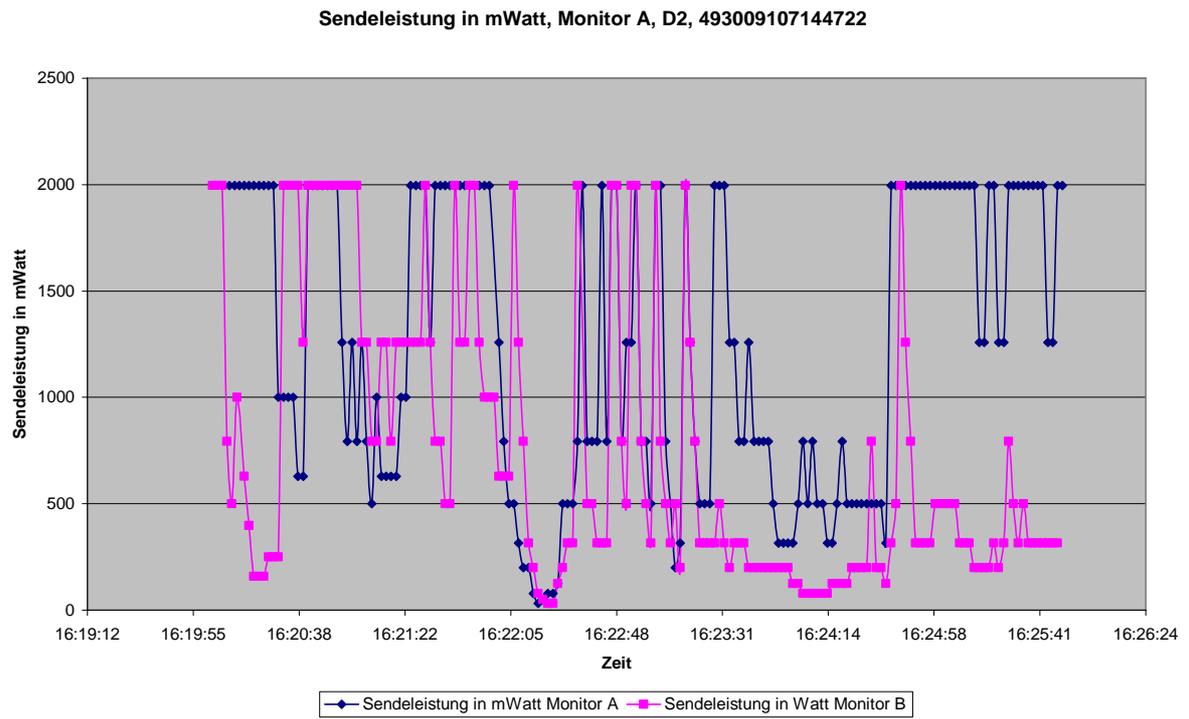


Abbildung 438

Netzbetreiber 26202; Datum 09.06.2006										
Monitor A, IMEI ..144722						Monitor B, IMEI ..090090				
Nr.	Uhrzeit	Cell-ID	Rufzone	Sendelst. in mW	Kanal- Nummer	Uhrzeit	Cell-ID	Rufzone	Sendelst. in mW	Kanal- nummer
1	16:19:50	26442	611		69	16:19:51	26442	611		69
2	16:19:52	26442	611		69					
3	16:19:54	26442	611		69	16:19:55	26441	611		108
4	16:19:56	26443	611		71	16:19:57	26441	611		108
5	16:19:58	26443	611		71	16:19:59	26441	611		108
6	16:20:00	26443	611		71	16:20:01	26441	611		108
7	16:20:02	26443	611		71	16:20:03	26441	611	1995	108
8	16:20:04	26443	611		71	16:20:05	26441	611	1995	108
9	16:20:06	26443	611		71	16:20:07	26441	611	1995	108
10	16:20:08	26443	611		71	16:20:09	26441	611	794	108
11	16:20:10	26443	611	1995	71	16:20:11	26441	611	501	108
12	16:20:12	26443	611	1995	71	16:20:13	26441	611	1000	734
13	16:20:14	26443	611	1995	71	16:20:16	6655	615	630	734
14	16:20:16	26443	611	1995	71					
15	16:20:18	26443	611	1995	8	16:20:18	6655	615	398	734
16	16:20:20	6652	615	1995	8	16:20:20	6655	615	158	734
17	16:20:22	6652	615	1995	8	16:20:22	6655	615	158	734
18	16:20:24	6653	615	1995	67	16:20:24	6655	615	158	734
19	16:20:26	6653	615	1995	67	16:20:26	6655	615	251	734
20	16:20:28	6653	615	1995	67	16:20:28	6655	615	251	734
21	16:20:30	6653	615	1000	734	16:20:30	6655	615	251	734
22	16:20:32	6655	615	1000	734	16:20:32	6651	615	1995	63
23	16:20:34	6655	615	1000	734	16:20:34	6651	615	1995	63
24	16:20:36	6655	615	1000	734	16:20:36	6651	615	1995	63
25	16:20:38	6655	615	630	734	16:20:38	6651	615	1995	63
26	16:20:40	6655	615	630	734	16:20:40	6651	615	1258	63
27	16:20:42	6655	615	1995	63	16:20:42	6651	615	1995	63
28	16:20:44	6651	615	1995	63	16:20:44	6651	615	1995	63
29	16:20:46	6651	615	1995	63	16:20:46	6651	615	1995	63
30	16:20:48	6651	615	1995	63	16:20:48	6651	615	1995	63
31	16:20:50	6651	615	1995	63	16:20:50	6651	615	1995	63
32	16:20:52	6651	615	1995	63	16:20:52	6651	615	1995	63
33	16:20:54	6651	615	1995	63	16:20:54	6651	615	1995	63
34	16:20:56	6651	615	1258	63	16:20:56	6651	615	1995	63
35	16:20:58	6651	615	794	63	16:20:58	6651	615	1995	63
36	16:21:00	6651	615	1258	63	16:21:00	6651	615	1995	73
37	16:21:02	6651	615	794	63	16:21:02	14472	615	1995	73
38	16:21:04	6651	615	1258	63	16:21:04	14472	615	1258	73
39	16:21:06	6651	615	794	63	16:21:06	14472	615	1258	73
40	16:21:08	6651	615	501	63	16:21:08	14472	615	794	73
41	16:21:10	6655	615	1000	734	16:21:10	14472	615	794	73
42	16:21:12	6655	615	630	734	16:21:12	14472	615	1258	73
43	16:21:14	6655	615	630	734	16:21:14	14472	615	1258	73
44	16:21:16	6655	615	630	734	16:21:16	14472	615	794	73
45	16:21:18	6655	615	630	734	16:21:18	14472	615	1258	73
46	16:21:20	6655	615	1000	734	16:21:20	14472	615	1258	73
47	16:21:22	6655	615	1000	734	16:21:22	14472	615	1258	73
48	16:21:24	6651	615	1995	63	16:21:24	14472	615	1258	73
49	16:21:26	6651	615	1995	63	16:21:26	14472	615	1258	73
50	16:21:28	6651	615	1995	63	16:21:28	14472	615	1258	73
51	16:21:30	6651	615	1995	55	16:21:30	6651	615	1995	63
52	16:21:32	6561	615	1258	55	16:21:32	6651	615	1258	63
53	16:21:34	6561	615	1995	55	16:21:34	6651	615	794	63
54	16:21:36	6561	615	1995	55	16:21:36	6651	615	794	63
55	16:21:38	6651	615	1995	63	16:21:38	6651	615	501	63
56	16:21:40	6651	615	1995	63	16:21:40	6651	615	501	63
57	16:21:42	6651	615	1995	63	16:21:42	6651	615	1995	63
58	16:21:44	6651	615	1995	63	16:21:44	6651	615	1258	63
59	16:21:46	6651	615	1995	63	16:21:46	6651	615	1258	63

Netzbetreiber 26202; Datum 09.06.2006										
Monitor A, IMEI ..144722						Monitor B, IMEI ..090090				
Nr.	Uhrzeit	Cell-ID	Rufzone	Sendelst. in mW	Kanal- Nummer	Uhrzeit	Cell-ID	Rufzone	Sendelst. in mW	Kanal- nummer
60	16:21:48	6651	615	1995	63	16:21:48	6651	615	1995	63
61	16:21:50	6651	615	1995	63	16:21:50	6651	615	1995	63
62	16:21:52	6651	615	1995	63	16:21:52	6651	615	1258	63
63	16:21:54	6651	615	1995	63	16:21:54	6651	615	1000	734
64	16:21:56	6651	615	1995	63	16:21:56	6655	615	1000	734
65						16:21:58	6655	615	1000	734
66	16:22:00	14472	615	1258	73	16:22:00	6655	615	630	734
67	16:22:02	14472	615	794	73	16:22:02	6655	615	630	734
68	16:22:04	14472	615	501	73	16:22:04	6655	615	630	734
69	16:22:06	14472	615	501	73	16:22:06	6655	615	1995	73
70	16:22:08	14472	615	316	73	16:22:08	14472	615	1258	73
71	16:22:10	14472	615	199	73	16:22:10	14472	615	794	73
72	16:22:12	14472	615	199	73	16:22:12	14472	615	316	73
73	16:22:14	14472	615	79	73	16:22:14	14472	615	199	73
74	16:22:16	14472	615	31	73	16:22:16	14472	615	79	73
75	16:22:18	14472	615	50	73	16:22:18	14472	615	50	73
76	16:22:20	14472	615	79	73	16:22:20	14472	615	31	73
77	16:22:22	14472	615	79	73	16:22:22	14472	615	31	73
78	16:22:24	14472	615	125	73	16:22:24	14472	615	125	73
79	16:22:26	14472	615	501	73	16:22:26	14472	615	199	73
80	16:22:28	14472	615	501	73	16:22:28	14472	615	316	73
81	16:22:30	14472	615	501	73	16:22:30	14472	615	316	73
82	16:22:32	14472	615	794	77	16:22:32	14472	615	1995	77
83	16:22:34	14471	615	1995	77					
84	16:22:36	14471	615	794	77	16:22:36	14471	615	501	77
85	16:22:38	14471	615	794	77	16:22:38	14471	615	501	77
86	16:22:40	14471	615	794	77	16:22:40	14471	615	316	77
87	16:22:42	14471	615	1995	77	16:22:42	14471	615	316	77
88	16:22:44	14471	615	794	77	16:22:44	14471	615	316	77
89	16:22:46	14471	615	1995	59	16:22:46	29623	615	1995	59
90	16:22:48	29623	615	1995	59	16:22:48	29623	615	1995	59
91	16:22:50	29623	615	794	59	16:22:50	29623	615	794	59
92	16:22:52	29623	615	1258	59	16:22:52	29623	615	501	59
93	16:22:54	29623	615	1258	59	16:22:54	29623	615	1995	69
94	16:22:56	29623	615	1995	59	16:22:56	5832	615	1995	69
95	16:22:58	29623	615	794	59	16:22:58	5832	615	794	69
96	16:23:00	29623	615	794	59	16:23:00	5832	615	501	69
97	16:23:02	29623	615	501	59	16:23:02	5832	615	316	69
98	16:23:04	29623	615	1995	1	16:23:04	5831	615	1995	1
99	16:23:06	5831	615	1995	1	16:23:06	5831	615	794	1
100	16:23:08	5831	615	794	1	16:23:08	5831	615	501	1
101	16:23:10	5831	615	501	1	16:23:10	5831	615	316	1
102	16:23:12	5831	615	199	1	16:23:12	5831	615	501	1
103	16:23:14	5831	615	316	1	16:23:14	5831	615	199	1
104	16:23:16	5831	615	1995	8	16:23:16	5831	615	1995	8
105	16:23:18	29613	615	1258	8	16:23:18	29613	615	1258	8
106	16:23:20	29613	615	794	8	16:23:20	29613	615	794	8
107	16:23:22	29613	615	501	8	16:23:22	29613	615	316	8
108	16:23:24	29613	615	501	8	16:23:24	29613	615	316	8
109	16:23:26	29613	615	501	8	16:23:26	29613	615	316	8
110	16:23:28	29613	615	1995	8	16:23:28	29613	615	316	8
111	16:23:30	29613	615	1995	8	16:23:30	29613	615	501	8
112	16:23:32	29613	615	1995	8	16:23:32	29613	615	316	8
113	16:23:34	29613	615	1258	8	16:23:34	29613	615	199	8
114	16:23:36	29613	615	1258	8	16:23:36	29613	615	316	8
115	16:23:38	29613	615	794	8	16:23:38	29613	615	316	8
116	16:23:40	29613	615	794	8	16:23:40	29613	615	316	8
117	16:23:42	29613	615	1258	8	16:23:42	29613	615	199	8
118	16:23:44	29613	615	794	8	16:23:44	29613	615	199	8
119	16:23:46	29613	615	794	8	16:23:46	29613	615	199	8
120	16:23:48	29613	615	794	8	16:23:48	29613	615	199	8
121	16:23:50	29613	615	794	8	16:23:50	29613	615	199	8

Netzbetreiber 26202; Datum 09.06.2006										
Monitor A, IMEI ..144722						Monitor B, IMEI ..090090				
Nr.	Uhrzeit	Cell-ID	Rufzone	Sendelst. in mW	Kanal- Nummer	Uhrzeit	Cell-ID	Rufzone	Sendelst. in mW	Kanal- nummer
122	16:23:52	29613	615	501	8	16:23:52	29613	615	199	8
123	16:23:54	29613	615	316	8	16:23:54	29613	615	199	8
124	16:23:56	29613	615	316	8	16:23:56	29613	615	199	8
125	16:23:58	29613	615	316	8	16:23:58	29613	615	199	8
126	16:24:00	29613	615	316	8	16:24:00	29613	615	125	8
127	16:24:02	29613	615	501	8	16:24:02	29613	615	125	8
128	16:24:04	29613	615	794	8	16:24:04	29613	615	79	8
129	16:24:06	29613	615	501	8	16:24:06	29613	615	79	8
130	16:24:08	29613	615	794	8	16:24:08	29613	615	79	8
131	16:24:10	29613	615	501	8	16:24:10	29613	615	79	8
132	16:24:12	29613	615	501	8	16:24:12	29613	615	79	8
133	16:24:14	29613	615	316	8	16:24:14	29613	615	79	8
134	16:24:16	29613	615	316	8	16:24:16	29613	615	125	8
135	16:24:18	29613	615	501	8	16:24:18	29613	615	125	8
136	16:24:20	29613	615	794	8	16:24:20	29613	615	125	8
137	16:24:22	29613	615	501	8	16:24:22	29613	615	125	8
138	16:24:24	29613	615	501	8	16:24:24	29613	615	199	8
139	16:24:26	29613	615	501	8	16:24:26	29613	615	199	8
140	16:24:28	29613	615	501	8	16:24:28	29613	615	199	8
141	16:24:30	29613	615	501	8	16:24:30	29613	615	199	8
142	16:24:32	29613	615	501	8	16:24:32	29613	615	794	8
143	16:24:34	29613	615	501	8	16:24:34	29613	615	199	8
144	16:24:36	29613	615	501	8	16:24:36	29613	615	199	8
145	16:24:38	29613	615	316	8	16:24:38	29613	615	125	8
146	16:24:40	29613	615	1995	59	16:24:40	29613	615	316	8
147	16:24:42	29623	615	1995	59	16:24:42	29613	615	501	8
148	16:24:44	29623	615	1995	59	16:24:44	29613	615	1995	55
149	16:24:46	29623	615	1995	53	16:24:46	6793	615	1258	55
150	16:24:48	6792	615	1995	53	16:24:48	6793	615	794	55
151	16:24:50	6792	615	1995	53	16:24:50	6793	615	316	55
152	16:24:52	6792	615	1995	53	16:24:52	6793	615	316	55
153	16:24:54	6792	615	1995	53	16:24:54	6793	615	316	55
154	16:24:56	6792	615	1995	53	16:24:56	6793	615	316	55
155	16:24:58	6792	615	1995	8	16:24:58	6793	615	501	55
156	16:25:00	29613	615	1995	8	16:25:00	6793	615	501	55
157	16:25:02	29613	615	1995	8	16:25:02	6793	615	501	55
158	16:25:04	29613	615	1995	8	16:25:04	6793	615	501	55
159	16:25:06	29613	615	1995	8	16:25:06	6793	615	501	55
160	16:25:08	29613	615	1995	8	16:25:08	6793	615	316	55
161	16:25:10	29613	615	1995	8	16:25:10	6793	615	316	55
162	16:25:12	29613	615	1995	8	16:25:12	6793	615	316	55
163	16:25:14	6793	615	1995	55	16:25:14	6793	615	199	55
164	16:25:16	6793	615	1258	55	16:25:16	6793	615	199	55
165	16:25:18	6793	615	1258	55	16:25:18	6793	615	199	55
166	16:25:20	6793	615	1995	55	16:25:20	6793	615	199	55
167	16:25:22	6793	615	1995	55	16:25:22	6793	615	316	55
168	16:25:24	6793	615	1258	55	16:25:24	6793	615	199	55
169	16:25:26	6793	615	1258	55	16:25:26	6793	615	316	55
170	16:25:28	6793	615	1995	55	16:25:28	6793	615	794	55
171	16:25:30	6793	615	1995	55	16:25:30	6793	615	501	55
172	16:25:32	6793	615	1995	55	16:25:32	6793	615	316	55
173	16:25:34	6793	615	1995	55	16:25:34	6793	615	501	55
174	16:25:36	6793	615	1995	55	16:25:36	6793	615	316	55
175	16:25:38	6793	615	1995	55	16:25:38	6793	615	316	55
176	16:25:40	6793	615	1995	55	16:25:40	6793	615	316	55
177	16:25:42	6793	615	1995	55	16:25:42	6793	615	316	55
178	16:25:44	6793	615	1258	55	16:25:44	6793	615	316	55

Tabelle 61

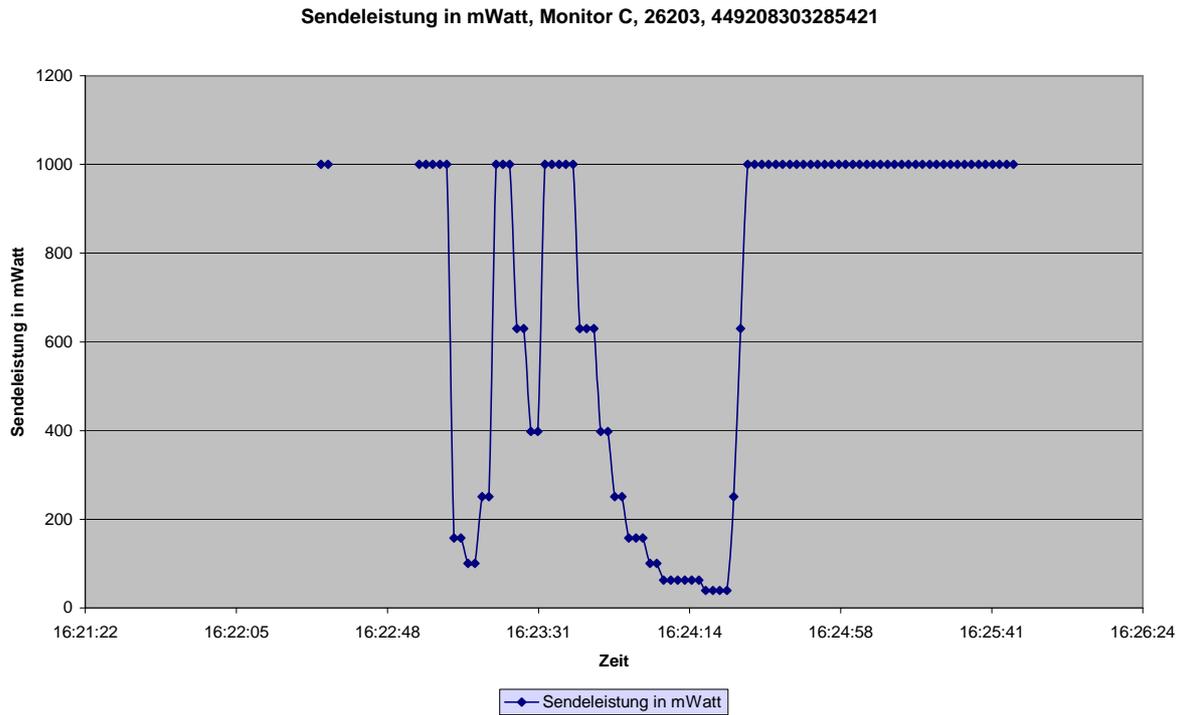


Abbildung 439

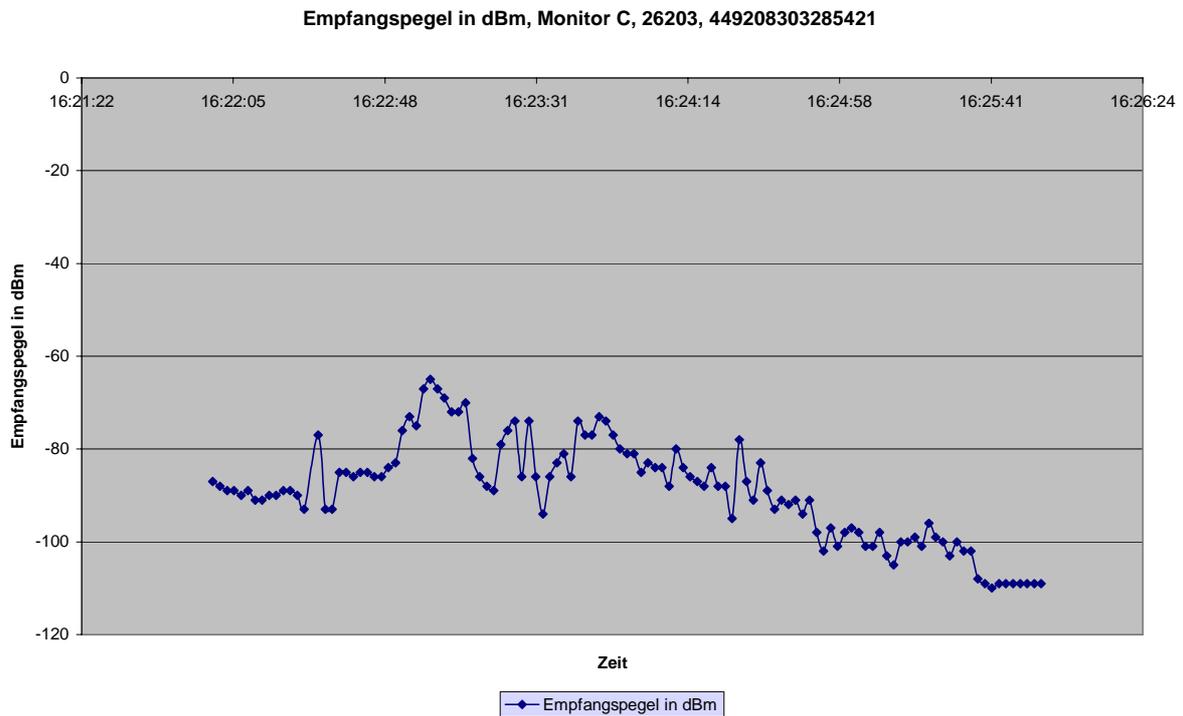


Abbildung 440

9.12 Mess-Szenario GSM und UMTS (innerhalb und außerhalb eines PKW)

Eine weitere Aufgabenstellung war, das Sendeleistungsverhalten von GSM- und UMTS-Mobiltelefonen innerhalb und außerhalb eines Fahrzeuges zu messen.

Für die Durchführung dieser Messungen ging eine Person neben dem langsam fahrenden Fahrzeug her.

In **Abbildung 441** ist die Versuchsperson außerhalb des Fahrzeuges mit zwei Mobiltelefonen, eines am rechten, das andere am linken Ohr, zu erkennen. Die Mobiltelefone sind über Kabel mit dem Rechner im PKW verbunden. Die Kabel sind mit Ferritkernen gegen das Auftreten von Mantelwellen ausgestattet.

Die zweite Person saß auf dem Beifahrersitz des Fahrzeuges. Für das Foto war das Fenster geöffnet, sonst war das Fenster geschlossen.

In **Abbildung 442** ist die etwas dichtere Bebauung entlang des ersten Teils der Messstrecke zu erkennen, **Abbildung 443** zeigt die lockere Bebauung mit Bäumen entlang des zweiten Teils der Messstrecke.

Für die Messungen wurde auf einer Rundstrecke gefahren, die jeweils ca. fünf Minuten dauerte.

Abbildung 443 zeigt ein Foto der UMTS-Messfahrt. Die Versuchsperson benutzt ein über Bluetooth angebundenes Mobiltelefon außerhalb des Fahrzeuges.



Abbildung 441



Abbildung 442

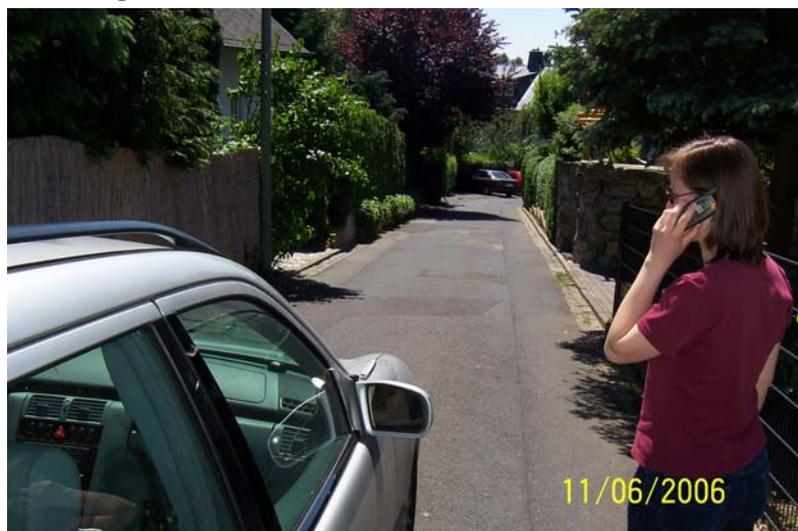


Abbildung 443

9.12.1 Messreihe mit vier Handys, alle eingebucht im GSM-Netz von D2 (Messungen von ca. 12:04 bis 12:12)

Die Verteilung der Mobiltelefone für diese GSM-Kreisfahrt war folgendermaßen:

- Monitor A und Monitor B, beide im D2-Vodafone-Netz, wurden von der rechts neben dem Fahrzeug hergehenden Versuchsperson benutzt (A am rechten, B am linken Ohr),
- Monitor C wurde von dem Beifahrer an der inneren Seite und Monitor D an der linken Seite des Fahrerkopfes benutzt (beide Geräte waren ebenfalls in D2 eingebucht).

Monitor-A und B gaben die Daten außerhalb und Monitor-C und D die Daten innerhalb des Fahrzeuges wieder.

Die Messdaten wurden auf einer Kreisfahrt ermittelt.

Abbildung 444 und **Abbildung 446** zeigen die Monitordaten für den Sendeleistungspegel der zwei Handys, beide im D2-Netz, die außerhalb des Fahrzeuges auf der rechten Fahrzeugseite benutzt wurden. Die jeweiligen Empfangspegel sind in **Abbildung 445** bzw. in **Abbildung 447** dargestellt.

Obwohl die beiden Mobiltelefone, Monitor A und Monitor B nur wenige Zentimeter von einander entfernt waren – jeweils auf der anderen Kopfseite – ist das Sendeleistungsverhalten der beiden Geräte unterschiedlich.

Die Mittelwerte der Sendeleistungen betragen für:

- Monitor A (außen, rechtes Ohr): 330 mWatt; Empfpg. -77,2 dBm und für
- Monitor B (außen, linkes Ohr): 405 mWatt; Empfpg. -76,2 mWatt.

Abbildung 446 und **Abbildung 447** zeigen die Monitor-C und -D-Daten der beiden Handys, die innerhalb des Fahrzeuges benutzt wurden.

Die Mittelwerte der Sendeleistungen der Empfangspegel betragen für:

- Monitor C (innen, Fahrzeugmitte): 517 mWatt; Empfpg. -82,1 dBm und für
- Monitor D (innen, linke Fensterseite): 798 mWatt; Empfpg. -83dBm.

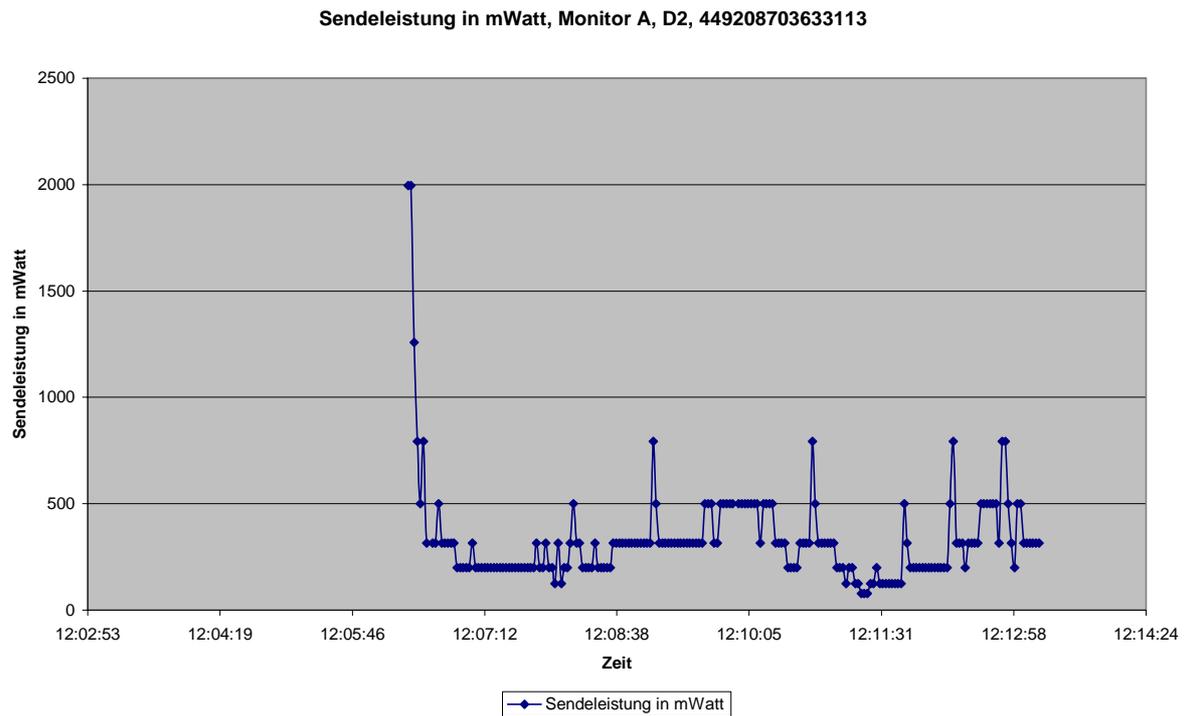


Abbildung 444 (Mittelwert der Sendeleistung = 330 mW, nur Kanal 55)

rechtes Ohr; außen

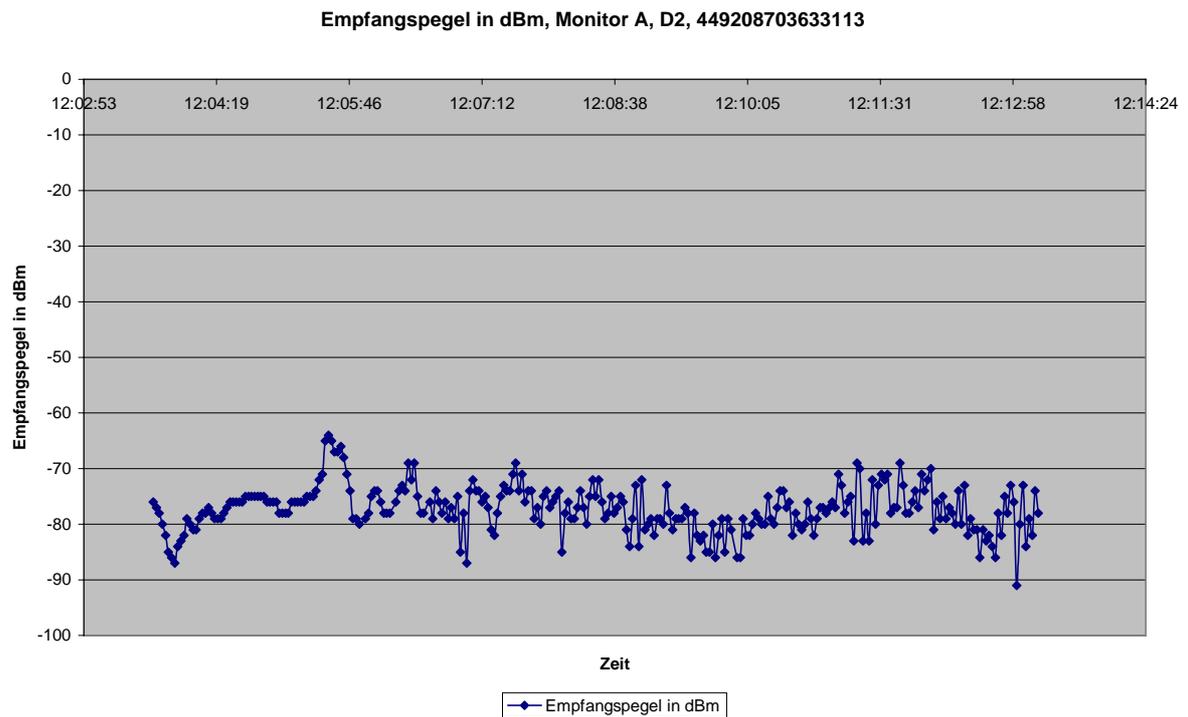


Abbildung 445 (Mittelwert des Empfangspegels = -77,2 dBm)

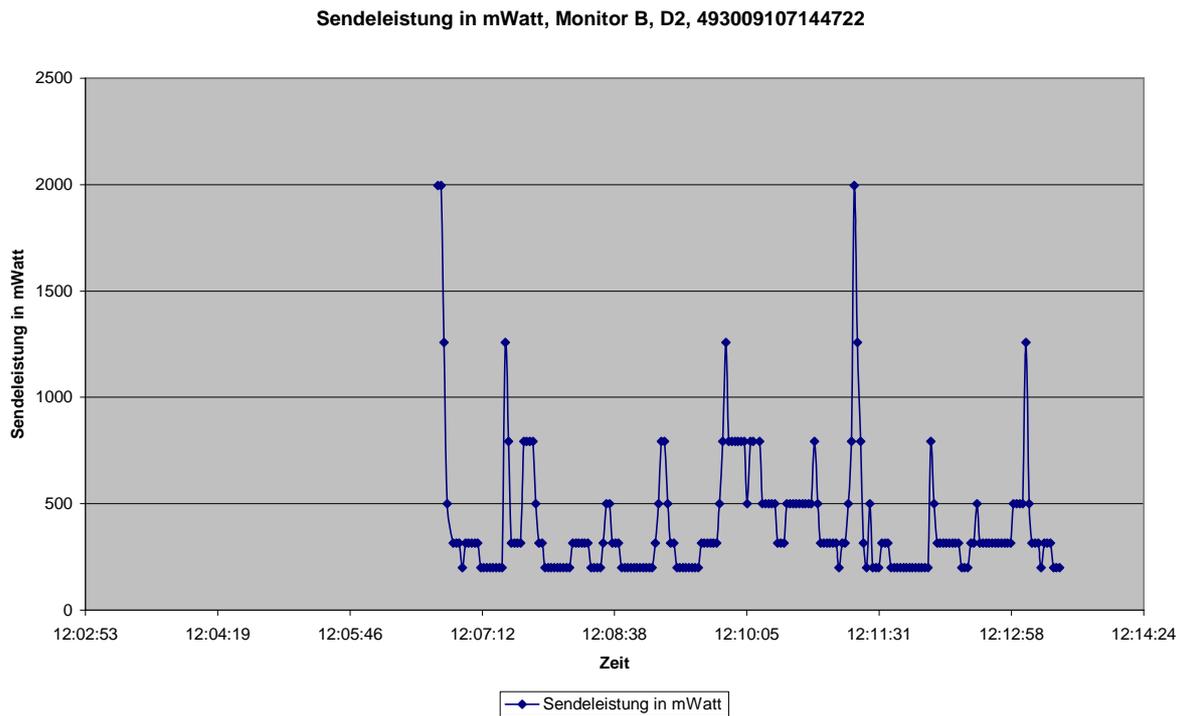


Abbildung 446 (Mittelwert der Sendeleistung = 405 mW, nur Kanal 55)

linkes Ohr; außen

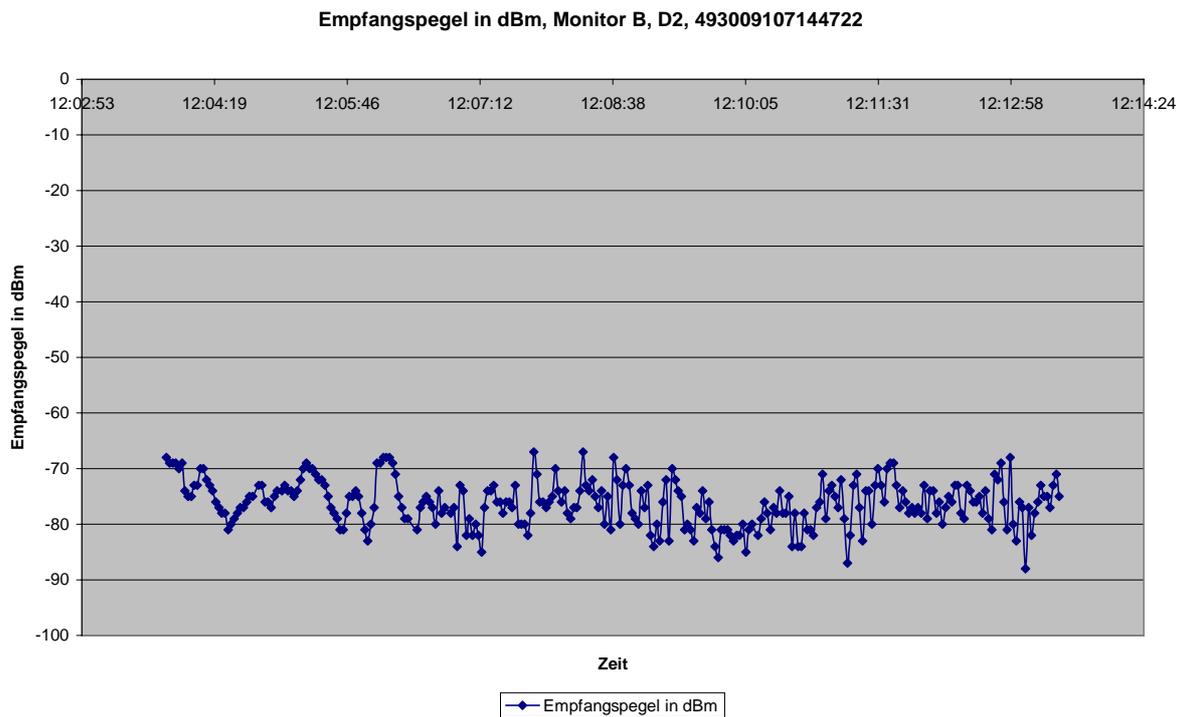
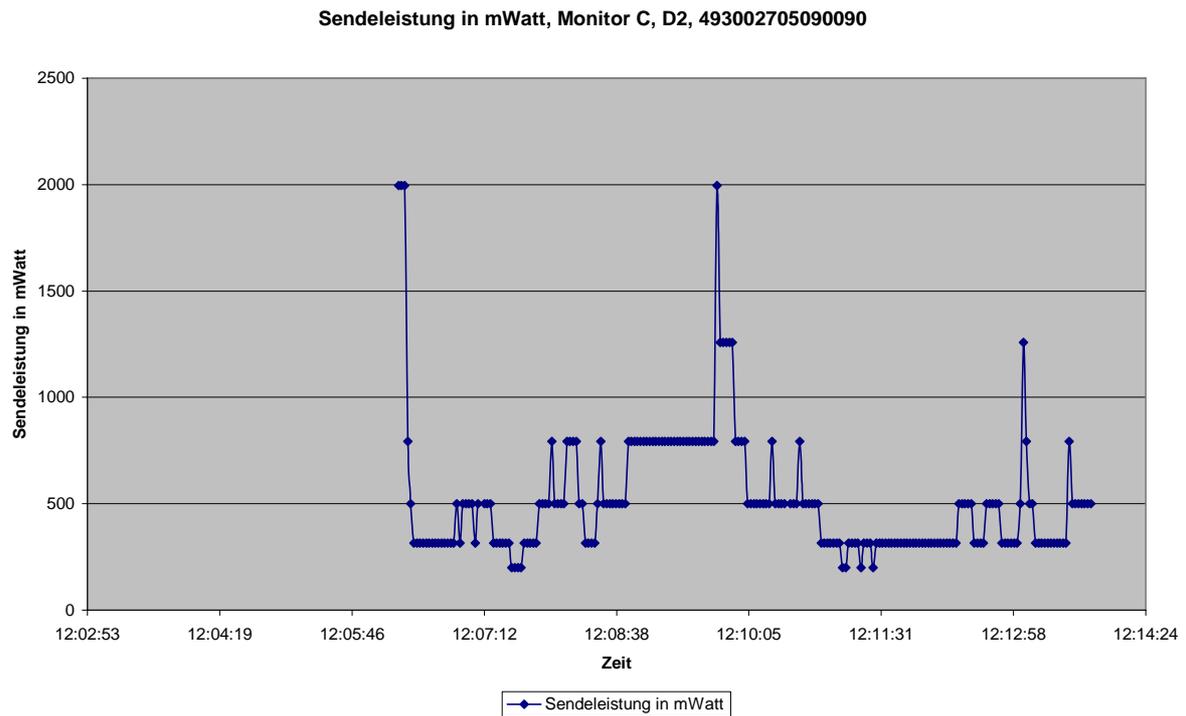


Abbildung 447 (Mittelwert des Empfangspegels = -76,2 dBm)



**Abbildung 448 (Mittelwert der Sendeleistung = 517 mW, nur Kanal 55)
Beifahrer Telefon an linker Kopfseite (PKW Mitte)**

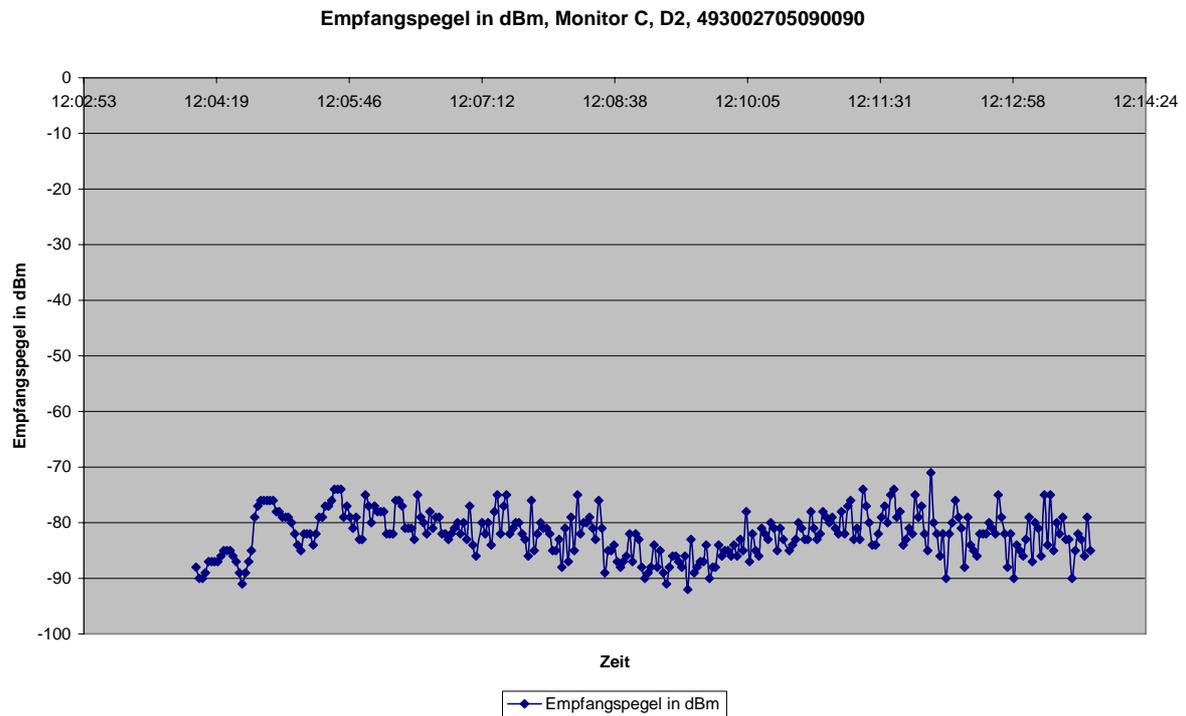
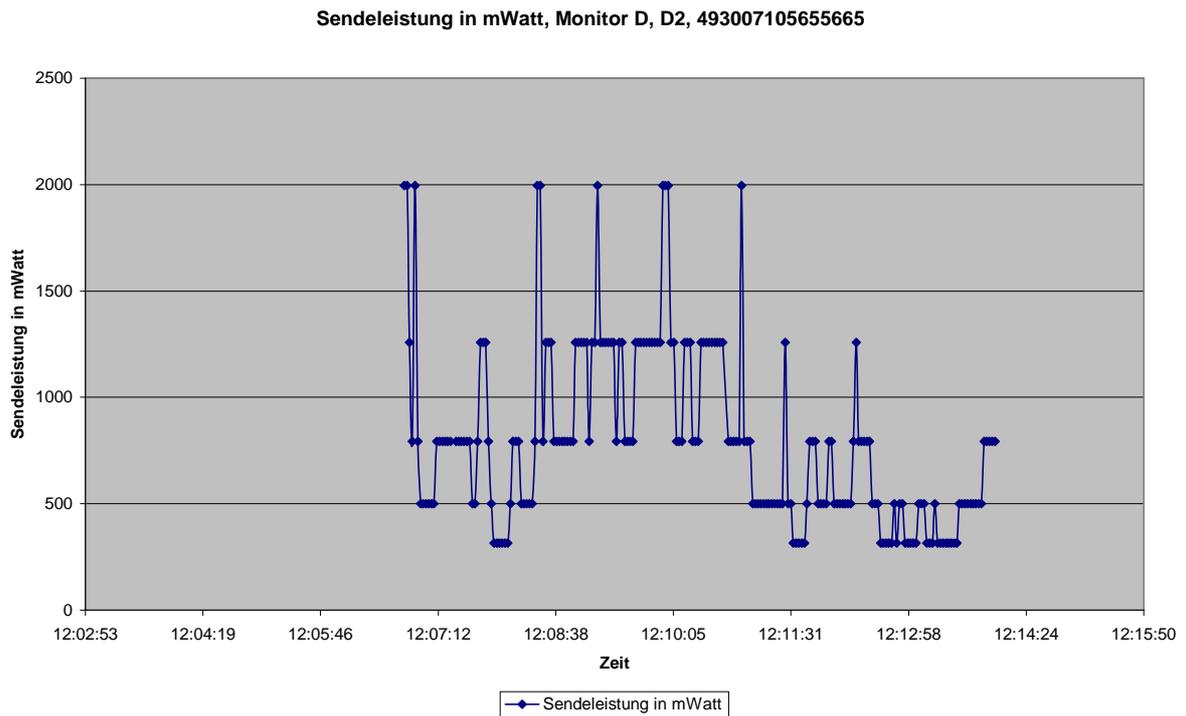


Abbildung 449 (Mittelwert des Empfangspegels = -82,1 dBm)



**Abbildung 450 (Mittelwert der Sendeleistung = 798 mW, nur Kanal 55)
 Telefon im PKW an linker Kopfseite des Fahrers, Telefon an Fensterseite)**

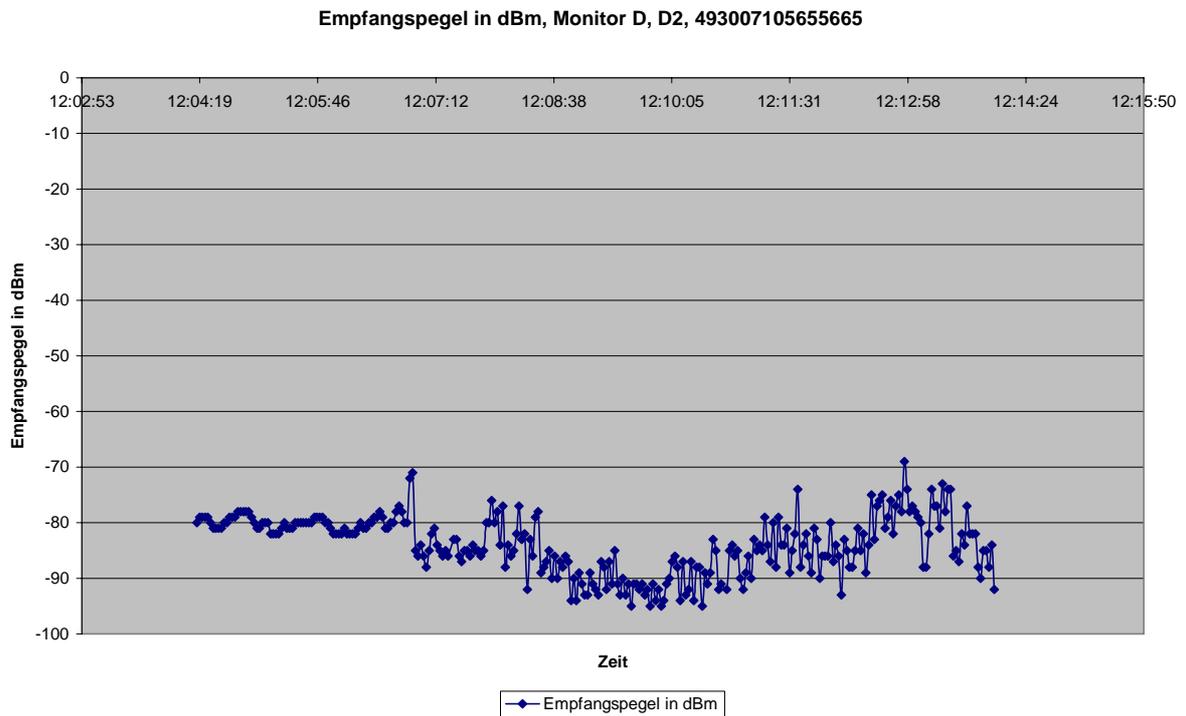


Abbildung 451 (Mittelwert des Empfangspegels = -83 dBm)

9.12.2 Messreihe mit zweimal D1 und zweimal E-Plus (von ca. 12:24 bis 12:42 Uhr)

Eine zweite Messreihe wurde mit einer anderen Kombination von Netzbetreibern durchgeführt.

Diesmal war an Monitor A (außen am rechten Ohr) ein Handy mit einer D1-Karte und an Monitor B ein Handy mit einer E-Plus-Karte (außen am linken Ohr) angeschlossen.

An Monitor-C war ein Handy mit einer D1-Karte (innen im Fahrzeug, linke Kopfseite des Beifahrers) und an Monitor-D ein Handy mit einer E-Plus-Karte (linke Festerseite, linke Kopfseite des Fahrers) angeschlossen.

Die Konfiguration sah somit folgendermaßen aus:

Außen A und B und innen im Fahrzeug C und D.

Die gefahrenen Runden sind jeweils in der Messergebnisgrafik markiert: erste, zweite und dritte Runde. Es wurden je Runde die Mittelwerte gebildet, wobei bei der dritten Runde einmalig durch das starke Regelverhalten am Ende eine doch beträchtliche Abweichung auftritt.

Der Monitor C (Endgerät innen) zeigt einen höheren Durchschnittswert. Während der Durchschnittswert außen ca. 150 mW beträgt (**Abbildung 452**), beträgt er innen 450 mW (**Abbildung 456**); in diesem Fall bei D1.

Bei E-Plus – hier sind die Monitore B und D zu vergleichen, beträgt der Durchschnittswert bei den Rundenfahrten ca. 220 bis 230 mW (Endgerät außen, **Abbildung 454**) und innerhalb des Fahrzeuges 500 mW bis 600 mW (**Abbildung 458**).

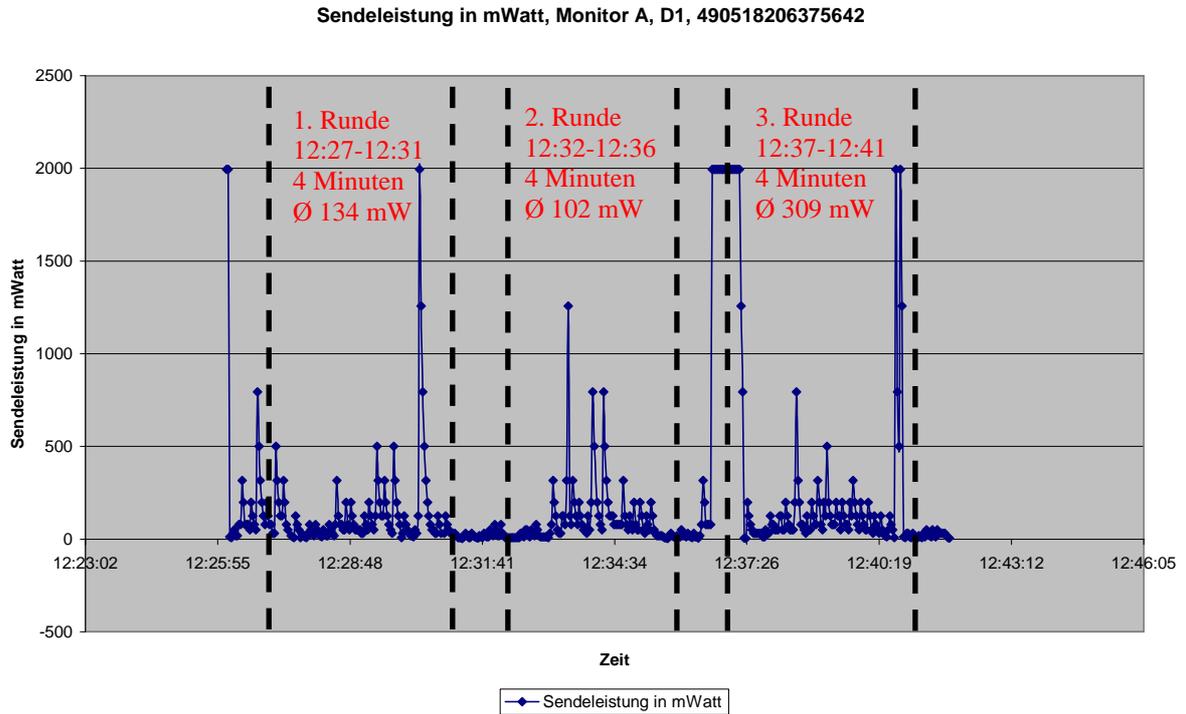


Abbildung 452 (D1 außen)

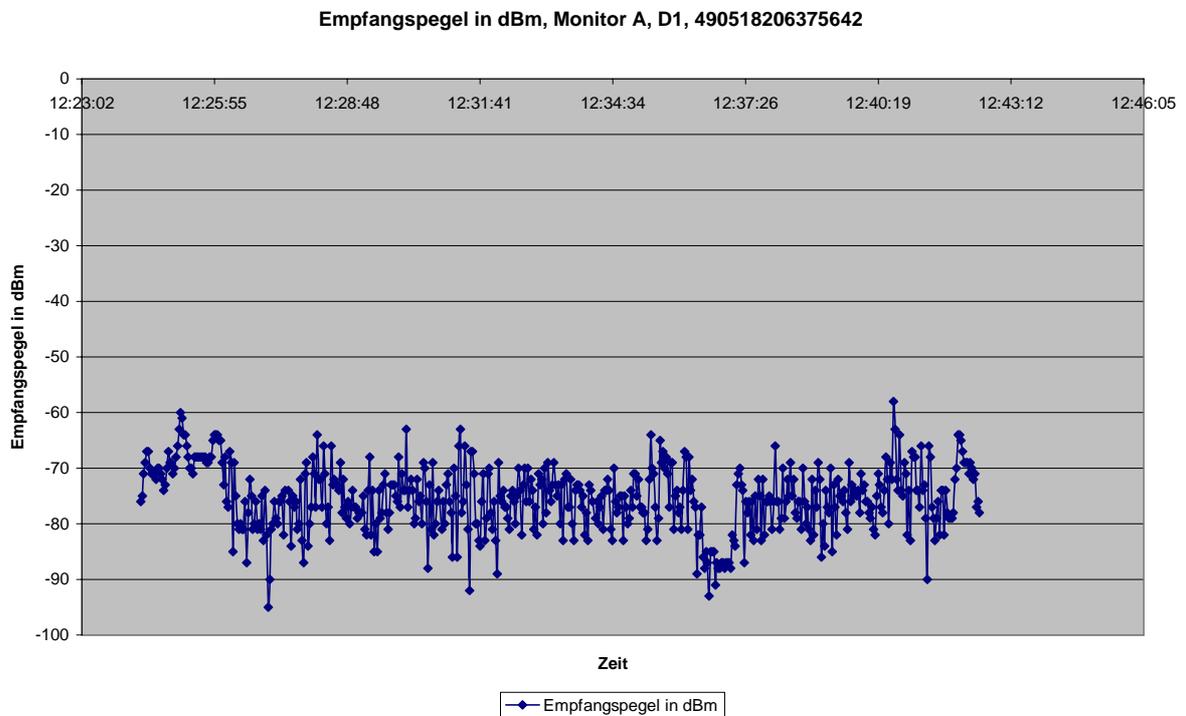


Abbildung 453

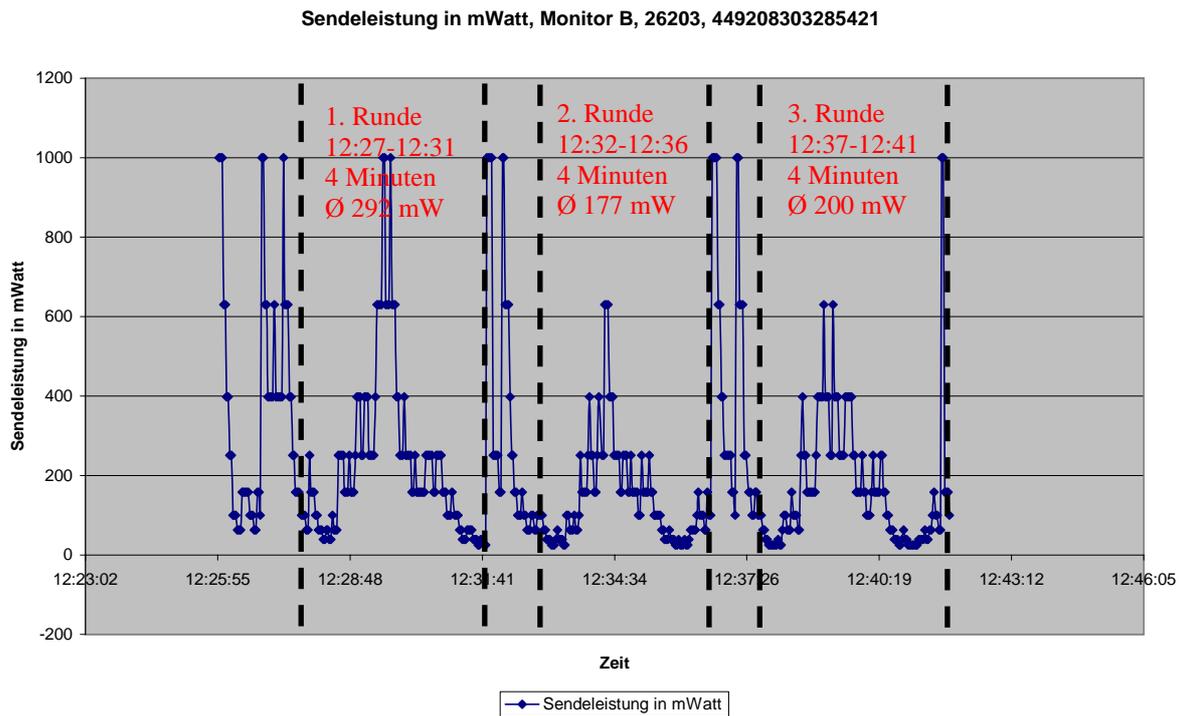


Abbildung 454 (E-Plus außen)

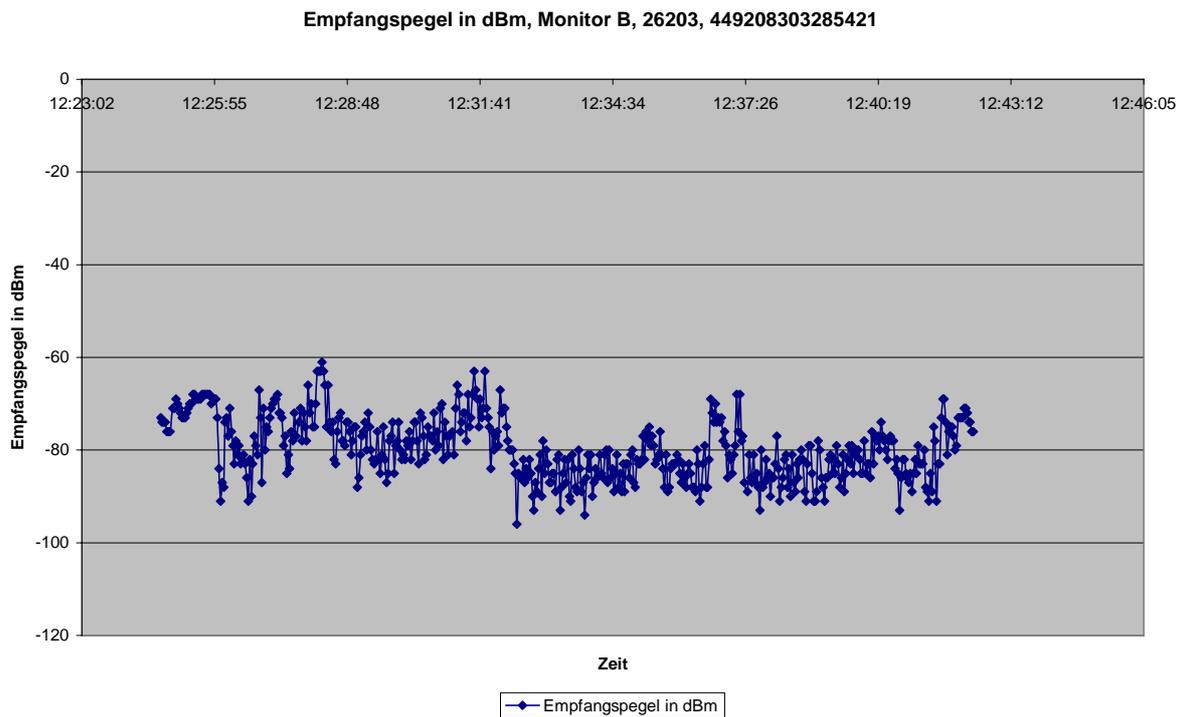


Abbildung 455

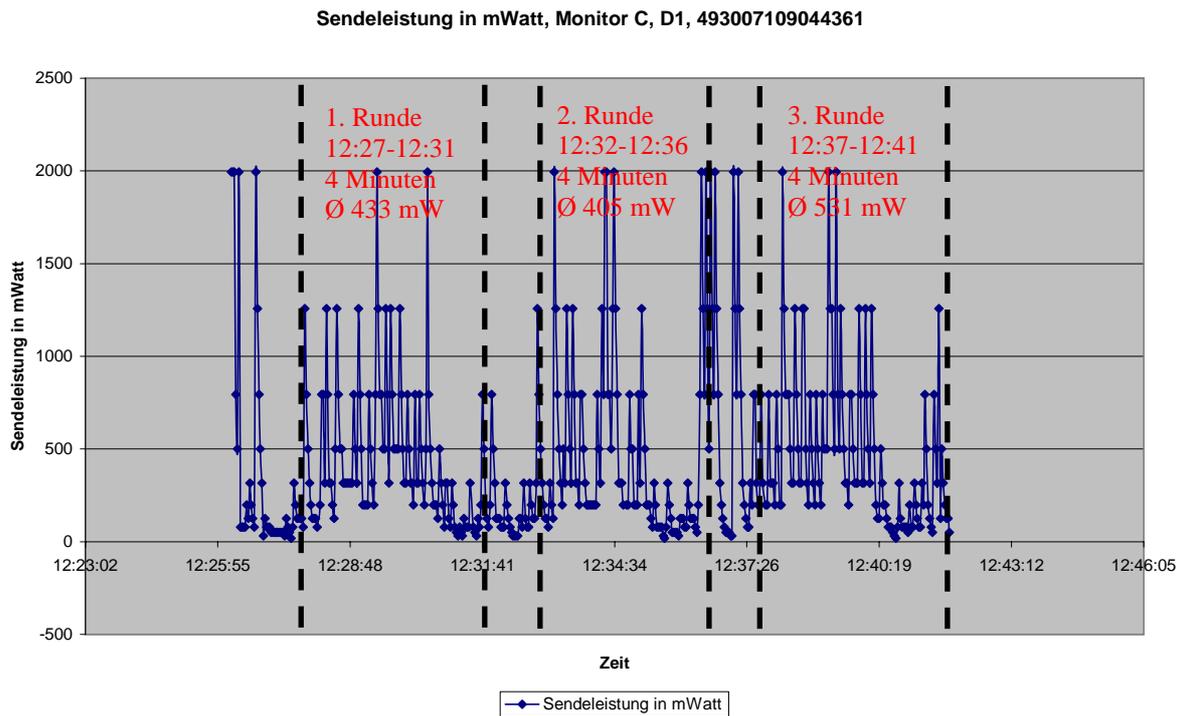


Abbildung 456 (D1 innen)

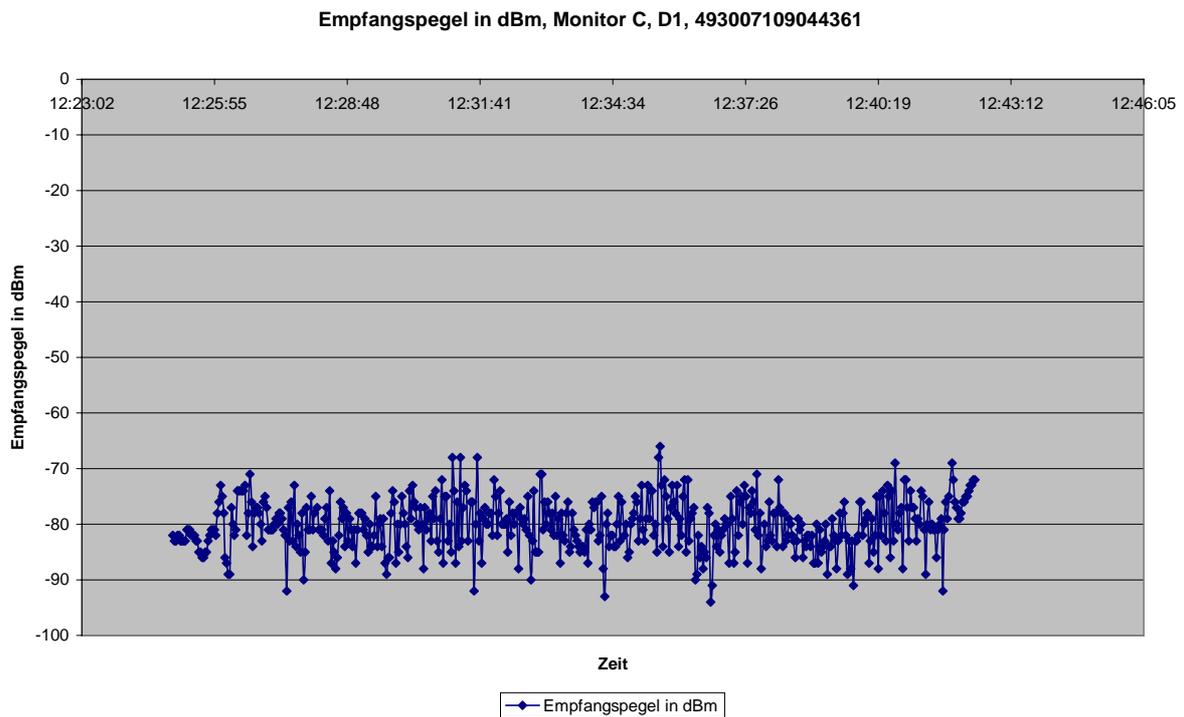


Abbildung 457

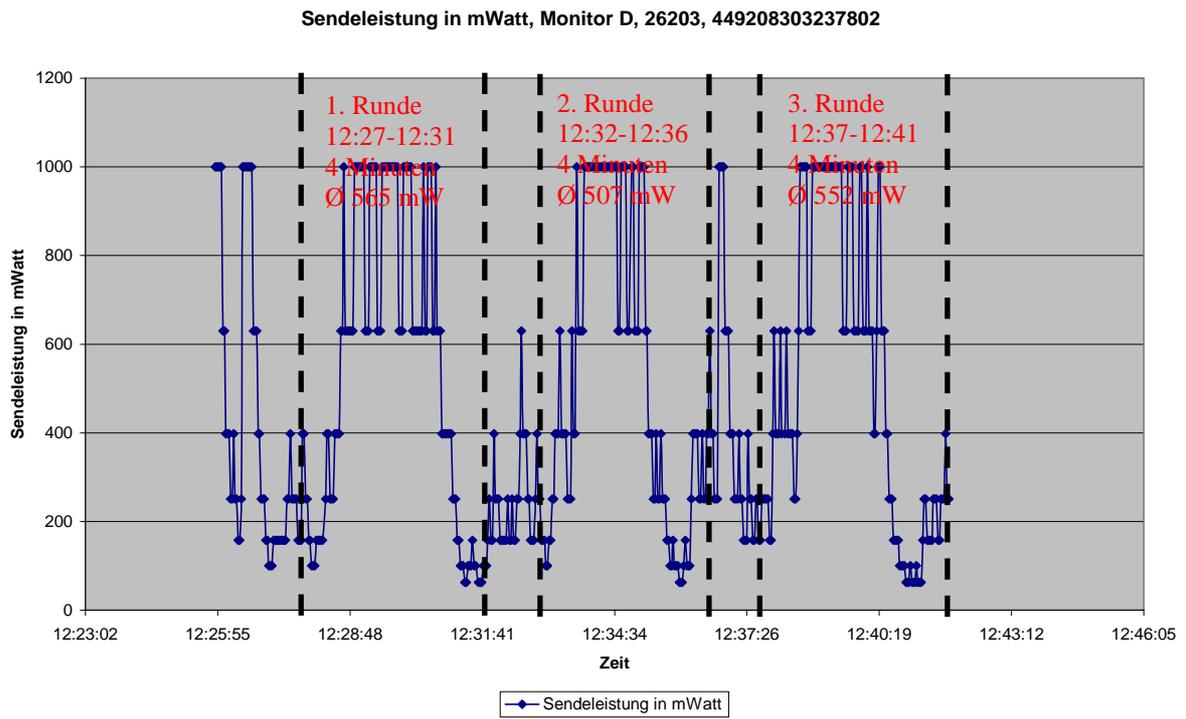


Abbildung 458 (E-Plus innen)

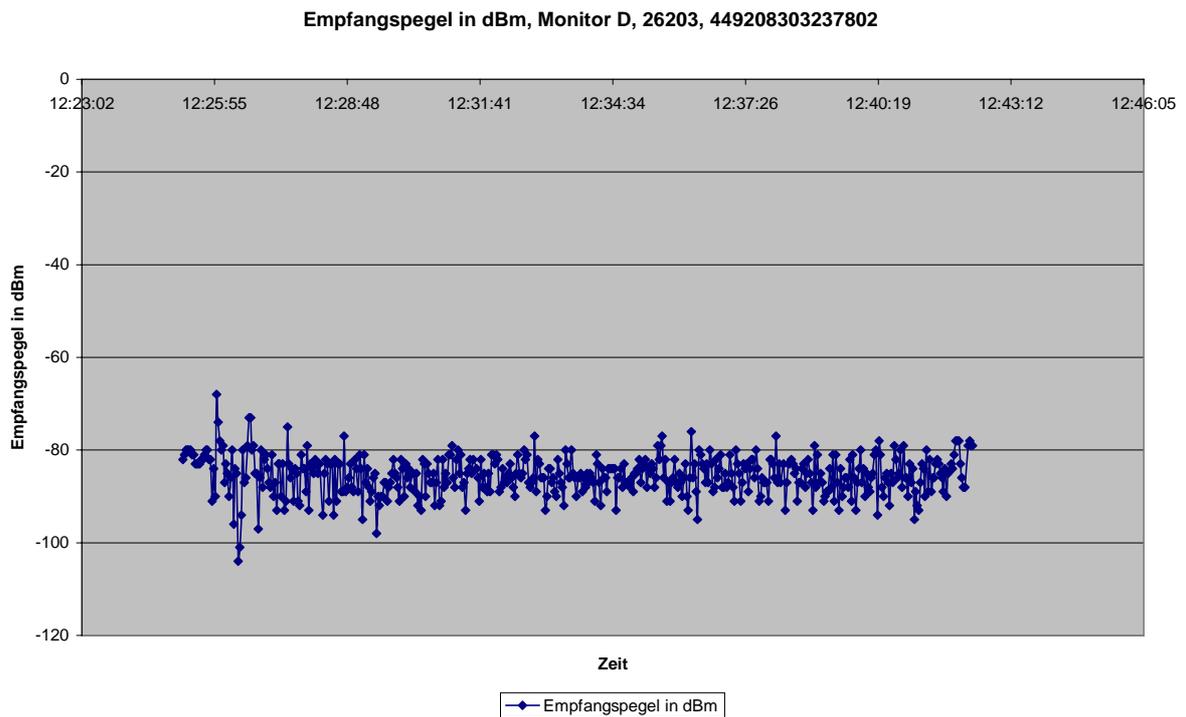


Abbildung 459

9.13 Messfahrt mit UMTS-Handys

9.13.1 UMTS-Handy innerhalb und außerhalb des PKW

Bei den UMTS-Kreisfahrten sollte ermittelt werden, wie hoch die Sendeleistungswerte bei UMTS für verschiedene Netzbetreiber am gleichen Ort sind. Gemessen wurde innerhalb des Fahrzeuges.

Die Ergebnisse sind nur exemplarisch und nur für diesen Ort zu sehen, an einem anderen Ort können die Ergebnisse völlig unterschiedlich sein.

Bei der ersten Messfahrt, die Versuchsanordnung ist aus **Abbildung 443** zu erkennen, wurden die in **Abbildung 460** dargestellten Werte gemessen. Das Telefon wurde von der Versuchsperson außerhalb des Fahrzeuges am Kopf gehalten.

Die Messdaten während der Rundstrecke wurden im Fahrzeug aufgezeichnet. Das genutzte Netz hatte die UARFCN-Nummer 10564, d. h., es handelte sich um das Vodafone D2-Netz.

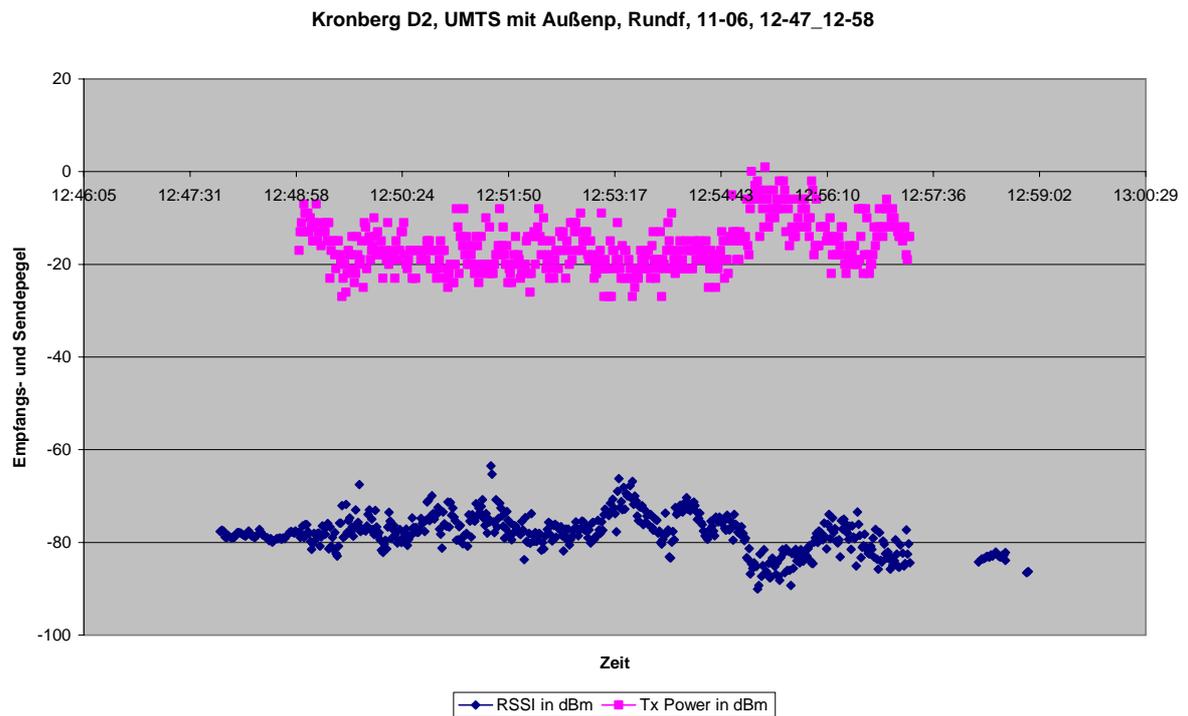
Der Mittelwert der Sendeleistung für die eine Runde betrug -16 dB.

Tabelle 62 zeigt einen Ausschnitt der entsprechenden gespeicherten Messdaten.

Abbildung 461 zeigt die Ergebnisse der zweiten Messfahrt über ebenfalls eine Runde. Bei dieser Messfahrt wurde das Mobiltelefon (ebenfalls eingebucht im Vodafone-D2-Netz) im Fahrzeug innen aufbewahrt.

Der Empfangspegel ist um -2 dB geringer, die Sendeleistung ist um 2 dB höher. Die Unterschiede bei beiden Werten sind nicht sehr gravierend, da eine recht gute Vodafone-UMTS-Feldversorgung an diesem Ort vorhanden war.

Tabelle 63 zeigt die entsprechenden Monitor-Daten des UMTS-Endgerätes.

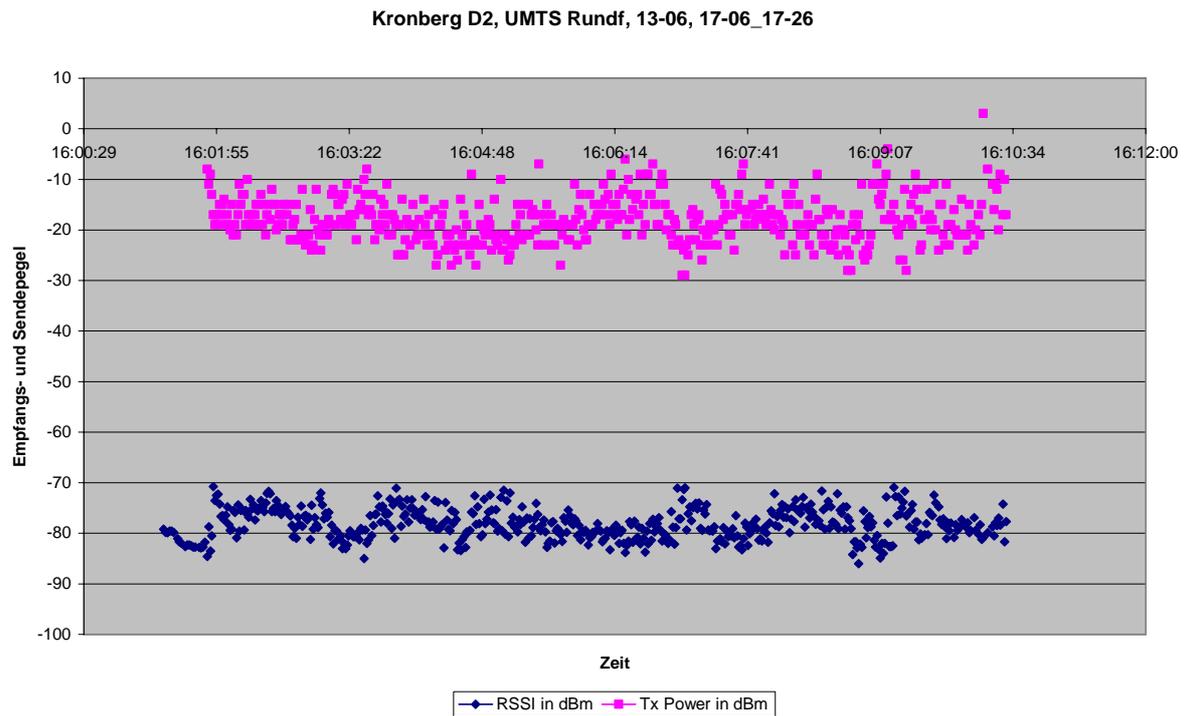
**Abbildung 460**

Mittelwert RSSI = -78

Mittelwert Tx Power = -16

Date	Time	RSSI	Tx Power	UARFCN
11.06.2006	12:49:00,060	-77,69999695	-17	10564
11.06.2006	12:49:00,600			
11.06.2006	12:49:01,120	-78,90000153	-13	10564
11.06.2006	12:49:01,530			
11.06.2006	12:49:02,060	-78,5	-11	10564
11.06.2006	12:49:02,530			
11.06.2006	12:49:03,060	-76,40000153	-13	10564
11.06.2006	12:49:03,590			
11.06.2006	12:49:04,060	-78,90000153	-7	10564
11.06.2006	12:49:04,460			
11.06.2006	12:49:05,070	-76,19999695	-9	10564
11.06.2006	12:49:05,460			
11.06.2006	12:49:06,060	-76,19999695	-13	10564
11.06.2006	12:49:06,510			
11.06.2006	12:49:07,060	-77,69999695	-9	10564
11.06.2006	12:49:07,460			
11.06.2006	12:49:08,060	-78,09999847	-13	10564
11.06.2006	12:49:08,460			
11.06.2006	12:49:09,060	-79,80000305	-10	10564
11.06.2006	12:49:09,460			
11.06.2006	12:49:10,060	-81,5	-12	10564
11.06.2006	12:49:10,460			
11.06.2006	12:49:11,070	-80,30000305	-15	10564
11.06.2006	12:49:11,480			
11.06.2006	12:49:12,060	-78,09999847	-11	10564
11.06.2006	12:49:12,460			
11.06.2006	12:49:13,060	-79,5	-15	10564
11.06.2006	12:49:13,500			
11.06.2006	12:49:14,060	-78,30000305	-7	10564
11.06.2006	12:49:14,510			
11.06.2006	12:49:15,060	-78,09999847	-15	10564
11.06.2006	12:49:15,560			
11.06.2006	12:49:16,060	-78	-13	10564
11.06.2006	12:49:16,560			
11.06.2006	12:49:17,060	-80,80000305	-11	10564
11.06.2006	12:49:17,570			
11.06.2006	12:49:18,060	-78,80000305	-16	10564
11.06.2006	12:49:18,560			
11.06.2006	12:49:19,060	-76,40000153	-13	10564
11.06.2006	12:49:19,560			
11.06.2006	12:49:20,070	-78,09999847	-13	10564
11.06.2006	12:49:20,560			
11.06.2006	12:49:21,060	-78,19999695	-13	10564
11.06.2006	12:49:21,560			
11.06.2006	12:49:22,060	-76,69999695	-11	10564
11.06.2006	12:49:22,560			
11.06.2006	12:49:23,060	-75,90000153	-15	10564
11.06.2006	12:49:23,600			
11.06.2006	12:49:24,060	-81,40000153	-11	10564
11.06.2006	12:49:24,600			
11.06.2006	12:49:25,060	-76,69999695	-23	10564
11.06.2006	12:49:25,600			
11.06.2006	12:49:26,060	-80,80000305	-17	10564
11.06.2006	12:49:26,600			
11.06.2006	12:49:27,060	-78,90000153	-15	10564
11.06.2006	12:49:27,600			
11.06.2006	12:49:28,060	-81,5	-15	10564
11.06.2006	12:49:28,600			
11.06.2006	12:49:29,060	-77,90000153	-18	10564

Tabelle 62

**Abbildung 461**

Mittelwert RSSI = -80

Mittelwert Tx Power = -14

Date	Time	RSSI	Tx Power	UARFCN
11.06.2006	13:08:57,150	-83,5	-18	10564
11.06.2006	13:08:58,040			
11.06.2006	13:08:58,150	-82,80000305	-10	10564
11.06.2006	13:08:58,980			
11.06.2006	13:08:59,170	-80,69999695	-10	10564
11.06.2006	13:09:00,000			
11.06.2006	13:09:00,150	-80,59999847	-12	10564
11.06.2006	13:09:01,060			
11.06.2006	13:09:01,150	-79,59999847	-12	10564
11.06.2006	13:09:02,040			
11.06.2006	13:09:02,150	-80	-10	10564
11.06.2006	13:09:03,060			
11.06.2006	13:09:03,150	-79,09999847	-10	10564
11.06.2006	13:09:04,060			
11.06.2006	13:09:04,150	-79	-12	10564
11.06.2006	13:09:05,040			
11.06.2006	13:09:05,150	-80,69999695	-10	10564
11.06.2006	13:09:05,920			
11.06.2006	13:09:06,150	-80,90000153	-6	10564
11.06.2006	13:09:06,930			
11.06.2006	13:09:07,150	-80,40000153	-12	10564
11.06.2006	13:09:07,930			
11.06.2006	13:09:08,150	-78,90000153	-10	10564
11.06.2006	13:09:09,010			
11.06.2006	13:09:09,150	-80,90000153	-9	10564
11.06.2006	13:09:10,060			
11.06.2006	13:09:10,150	-90	-16	10564
11.06.2006	13:09:11,010			
11.06.2006	13:09:11,150	-84,19999695	-10	10564
11.06.2006	13:09:12,070			
11.06.2006	13:09:12,150	-82,40000153	-11	10564
11.06.2006	13:09:13,070			
11.06.2006	13:09:13,150	-84,80000305	-4	10564
11.06.2006	13:09:14,060			
11.06.2006	13:09:14,150	-82,40000153	-8	10564
11.06.2006	13:09:15,040			
11.06.2006	13:09:15,150	-85,40000153	-14	10564
11.06.2006	13:09:16,040			
11.06.2006	13:09:16,150	-86,40000153	-17	10564
11.06.2006	13:09:17,060			
11.06.2006	13:09:17,150	-84,90000153	-12	10564
11.06.2006	13:09:18,040			
11.06.2006	13:09:18,150	-82	-12	10564
11.06.2006	13:09:19,070			
11.06.2006	13:09:19,150	-82,80000305	-12	10564
11.06.2006	13:09:20,040			
11.06.2006	13:09:20,150	-79	-8	10564
11.06.2006	13:09:21,060			
11.06.2006	13:09:21,150	-80,5	-14	10564
11.06.2006	13:09:22,040			
11.06.2006	13:09:22,150	-80,40000153	-12	10564
11.06.2006	13:09:23,040			
11.06.2006	13:09:23,180	-81,80000305	-11	10564
11.06.2006	13:09:24,040			
11.06.2006	13:09:24,150	-81,80000305	-14	10564
11.06.2006	13:09:25,070			
11.06.2006	13:09:25,150	-78,59999847	-16	10564
11.06.2006	13:09:26,070			
11.06.2006	13:09:26,150	-80,69999695	-10	10564
11.06.2006	13:09:27,060			
11.06.2006	13:09:27,150	-82,5	-19	10564

Tabelle 63

9.13.2 Messfahrten zum Vergleich dreier UMTS-Netze (13.06.06 von ca. 16:00 bis 17:30)

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Messergebnisse der zwei Tage später durchgeführten Wiederholungs-Rundfahrten. Jede Messung erstreckte sich über zwei Runden. Das UMTS-Messhandy lag bei allen Fahrten innen im Fahrzeug auf der Konsole zwischen Fahrer und Beifahrer.

Die Messungen wurden in den UMTS-Netzen von:

- D1-T-Mobile,
- D2-Vodafone und
- E-Plus durchgeführt.

Abbildung 462 zeigt die Messergebnisse der Rundfahrten für das UMTS-D2-Vodafone-Netz (UARFCN-Nummer 10564). Die UMTS-Feldversorgung war sehr gut, der Mittelwert des Empfangspegels betrug -77 dBm und der Mittelwert der Sendeleistung betrug -18 dBm.

Tabelle 64 zeigt einen Auszug aus dem Datensatz.

Die Versuchsanordnung war die gleiche wie in **Abbildung 461** (UMTS Handy innen und Vodafone D2 UMTS-Netz) bereits gemessen und dargestellt.

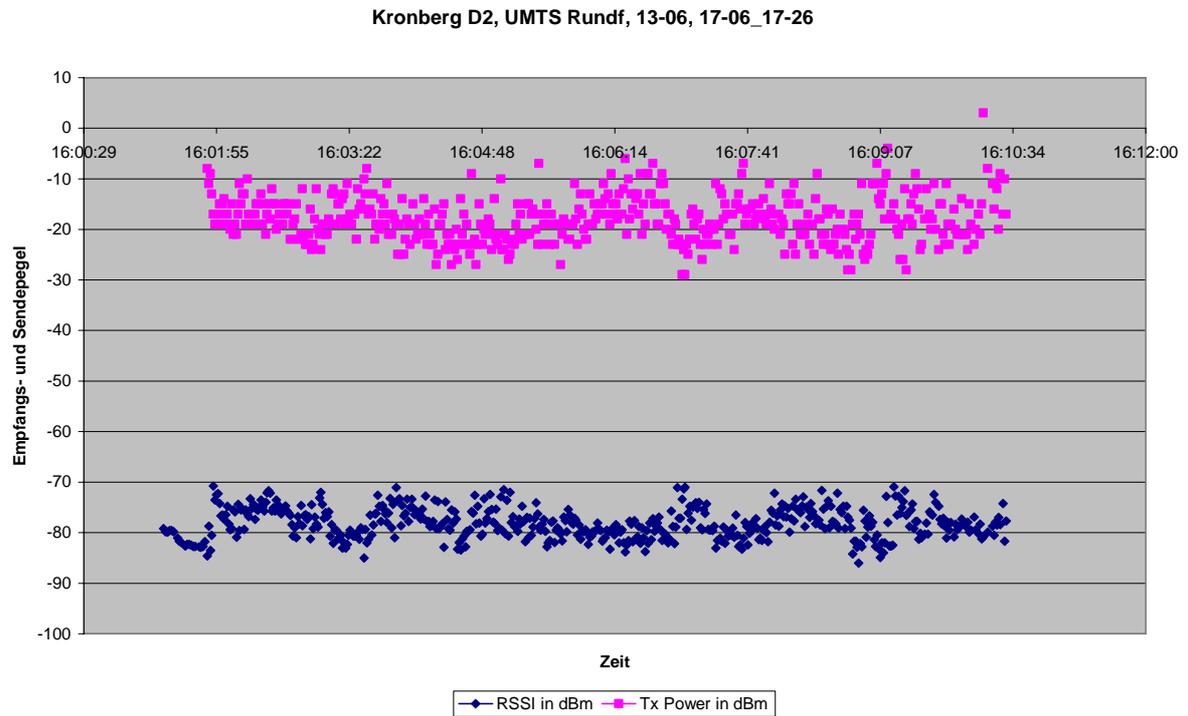
Obwohl die gleiche Rundstrecke, jedoch an einem anderen Tag und zu einer anderen Tageszeit, gefahren wurde, sind die gemessenen Ergebnisse unterschiedlich.

Abbildung 463 zeigt die Messergebnisse der Rundfahrten für das UMTS-D1-T-Mobile Netz (UARFCN-Nummer 10836). Die UMTS-Feldversorgung war an dieser Lokalität nicht gut, der Mittelwert des Empfangspegels betrug -87 dBm und der Mittelwert der Sendeleistung betrug -2 dBm (=0,5 mW).

Tabelle 65 zeigt einen Auszug aus dem Datensatz.

Abbildung 464 zeigt die Messergebnisse der Rundfahrten für das UMTS-E-Plus-Netz (UARFCN-Nummer 10663). Die UMTS-Feldversorgung war an dieser Lokalität gut, der Mittelwert des Empfangspegels betrug -78 dBm und der Mittelwert der Sendeleistung betrug -15 dBm.

Tabelle 66 zeigt einen Auszug aus dem Datensatz.

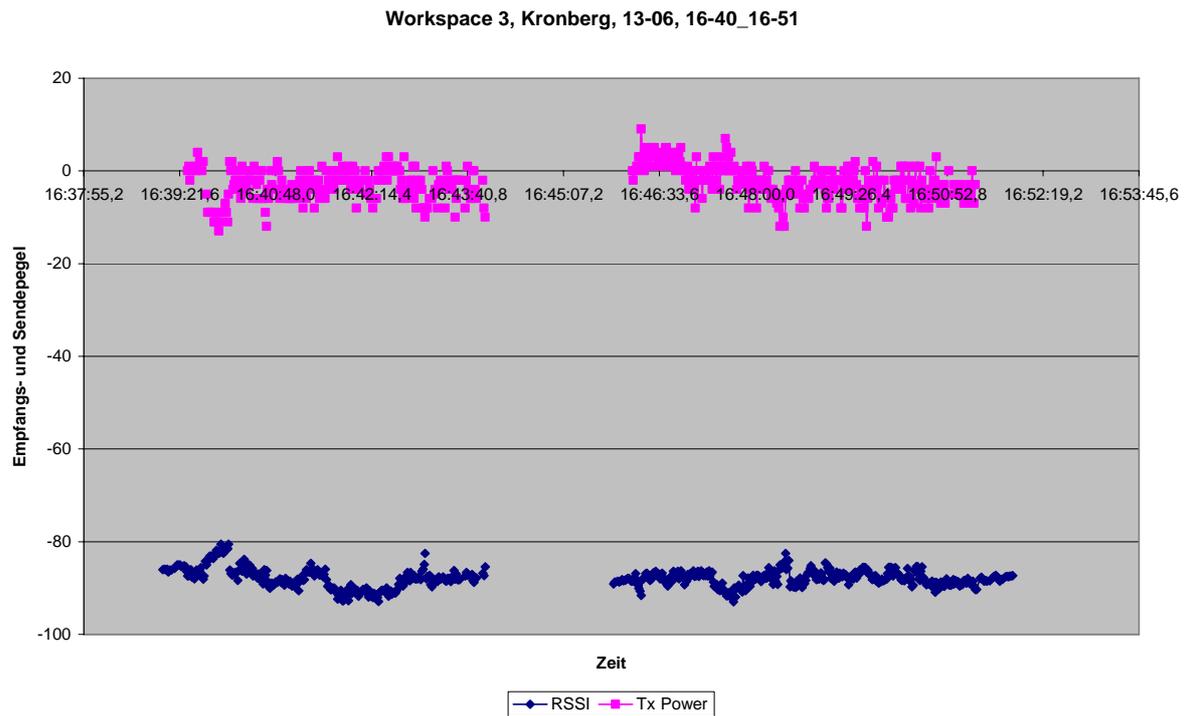
**Abbildung 462**

Mittelwert RSSI = -77

Mittelwert Tx Power = -18

Date	Time	RSSI	Tx Power	UARFCN
13.06.2006	16:01:49,170	-84,59999847	-8	10564
13.06.2006	16:01:49,570			
13.06.2006	16:01:50,180	-78,69999695	-11	10564
13.06.2006	16:01:50,570			
13.06.2006	16:01:51,170	-83,5	-9	10564
13.06.2006	16:01:51,570			
13.06.2006	16:01:52,170	-80,5	-13	10564
13.06.2006	16:01:52,570			
13.06.2006	16:01:53,180	-70,80000305	-17	10564
13.06.2006	16:01:53,570			
13.06.2006	16:01:54,200	-73,5	-19	10564
13.06.2006	16:01:54,570			
13.06.2006	16:01:55,180	-72,5	-17	10564
13.06.2006	16:01:55,570			
13.06.2006	16:01:56,170	-72,30000305	-19	10564
13.06.2006	16:01:56,570			
13.06.2006	16:01:57,180	-74,19999695	-15	10564
13.06.2006	16:01:57,450			
13.06.2006	16:01:58,180	-76,69999695	-17	10564
13.06.2006	16:01:58,450			
13.06.2006	16:01:59,180	-76,5	-15	10564
13.06.2006	16:01:59,430			
13.06.2006	16:02:00,180	-77,40000153	-14	10564
13.06.2006	16:02:00,430			
13.06.2006	16:02:01,180	-76,40000153	-19	10564
13.06.2006	16:02:01,430			
13.06.2006	16:02:02,180	-74,80000305	-17	10564
13.06.2006	16:02:02,450			
13.06.2006	16:02:03,180	-78,30000305	-19	10564
13.06.2006	16:02:03,450			
13.06.2006	16:02:04,180	-79,40000153	-20	10564
13.06.2006	16:02:04,450			
13.06.2006	16:02:05,180	-79,19999695	-15	10564
13.06.2006	16:02:05,450			
13.06.2006	16:02:06,180	-75,5	-21	10564
13.06.2006	16:02:06,430			
13.06.2006	16:02:07,180	-75,90000153	-19	10564
13.06.2006	16:02:07,430			
13.06.2006	16:02:08,180	-80,90000153	-21	10564
13.06.2006	16:02:08,530			
13.06.2006	16:02:09,180	-74,40000153	-17	10564
13.06.2006	16:02:09,450			
13.06.2006	16:02:10,170	-79,59999847	-11	10564
13.06.2006	16:02:10,540			
13.06.2006	16:02:11,170	-75,5	-15	10564
13.06.2006	16:02:11,540			
13.06.2006	16:02:12,180	-75,30000305	-13	10564
13.06.2006	16:02:12,540			
13.06.2006	16:02:13,180	-79,30000305	-13	10564
13.06.2006	16:02:13,540			
13.06.2006	16:02:14,180	-75,5	-19	10564
13.06.2006	16:02:14,540			
13.06.2006	16:02:15,180	-76,30000305	-10	10564
13.06.2006	16:02:15,540			
13.06.2006	16:02:16,180	-76,80000305	-17	10564
13.06.2006	16:02:16,540			
13.06.2006	16:02:17,180	-73,30000305	-19	10564
13.06.2006	16:02:17,540			
13.06.2006	16:02:18,180	-75,19999695	-17	10564
13.06.2006	16:02:18,560			
13.06.2006	16:02:19,180	-74,40000153	-19	10564

Tabelle 64

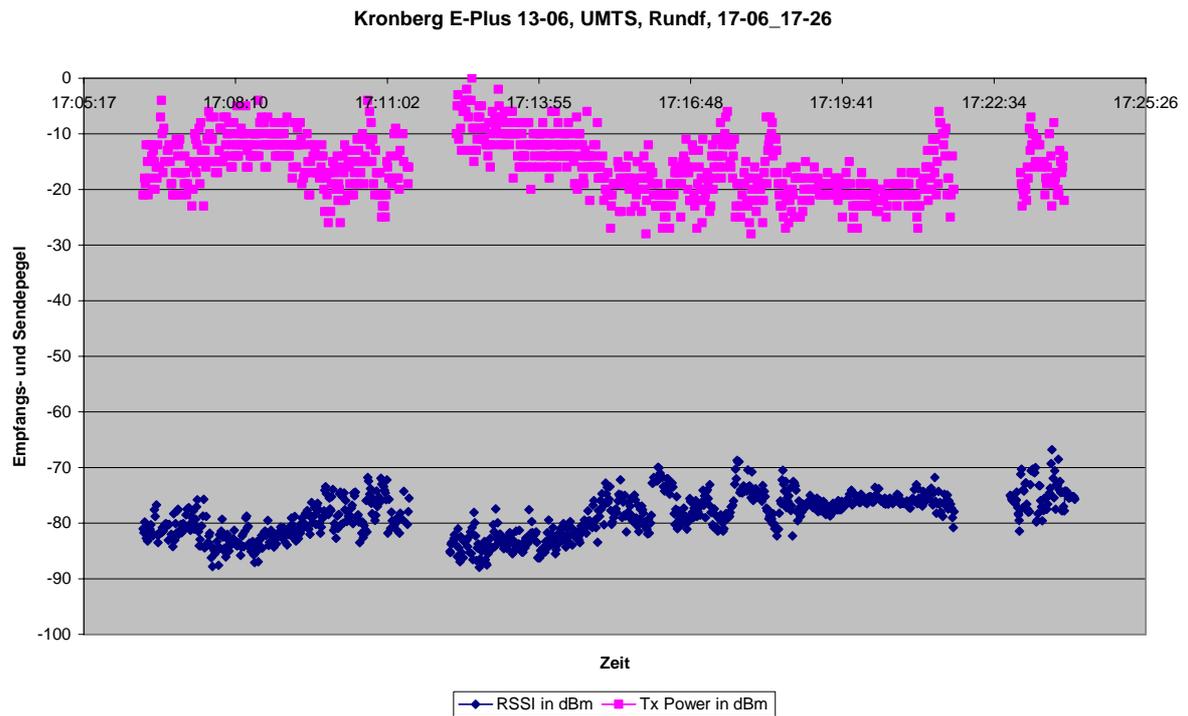
**Abbildung 463**

Mittelwert RSSI = -87

Mittelwert Tx Power = -2

Date	Time	RSSI	Tx Power	UARFCN
13.06.2006	16:46:10,250	-87,90000153	-2	10836
13.06.2006	16:46:11,290	-87,80000305	0	10836
13.06.2006	16:46:12,230	-86,90000153	0	10836
13.06.2006	16:46:13,230	-88,19999695	1	10836
13.06.2006	16:46:14,230	-89,30000305	1	10836
13.06.2006	16:46:15,230	-90,09999847	3	10836
13.06.2006	16:46:16,230	-90,69999695	3	10836
13.06.2006	16:46:17,230	-91,59999847	9	10836
13.06.2006	16:46:18,250	-88,19999695	1	10836
13.06.2006	16:46:19,230	-88	3	10836
13.06.2006	16:46:20,250	-87,69999695	0	10836
13.06.2006	16:46:21,230	-86,90000153	5	10836
13.06.2006	16:46:22,230	-86,80000305	3	10836
13.06.2006	16:46:23,250	-87,19999695	1	10836
13.06.2006	16:46:24,230	-87,80000305	1	10836
13.06.2006	16:46:25,230	-88,30000305	3	10836
13.06.2006	16:46:26,230	-88,09999847	5	10836
13.06.2006	16:46:27,250	-87,69999695	5	10836
13.06.2006	16:46:28,230	-86,69999695	3	10836
13.06.2006	16:46:29,230	-87,19999695	5	10836
13.06.2006	16:46:30,230	-86,40000153	1	10836
13.06.2006	16:46:31,230	-86,80000305	4	10836
13.06.2006	16:46:32,230	-87,30000305	1	10836
13.06.2006	16:46:33,230	-87	3	10836
13.06.2006	16:46:34,230	-88	1	10836
13.06.2006	16:46:35,230	-87,90000153	2	10836
13.06.2006	16:46:36,250	-86,80000305	2	10836
13.06.2006	16:46:37,250	-87,69999695	3	10836
13.06.2006	16:46:38,230	-88,5	1	10836
13.06.2006	16:46:39,230	-88,80000305	5	10836
13.06.2006	16:46:40,230	-89,09999847	5	10836
13.06.2006	16:46:41,230	-89,5	3	10836
13.06.2006	16:46:42,230	-88,5	1	10836
13.06.2006	16:46:43,230	-87,69999695	3	10836
13.06.2006	16:46:44,230	-88	3	10836
13.06.2006	16:46:45,230	-88,5	3	10836
13.06.2006	16:46:46,230	-86,40000153	3	10836
13.06.2006	16:46:47,230	-87,40000153	4	10836
13.06.2006	16:46:48,230	-87	0	10836
13.06.2006	16:46:49,230	-86,69999695	1	10836
13.06.2006	16:46:50,230	-86,40000153	3	10836
13.06.2006	16:46:51,230	-88	4	10836
13.06.2006	16:46:52,230	-87,30000305	2	10836
13.06.2006	16:46:53,230	-86,30000305	5	10836
13.06.2006	16:46:54,230	-87,09999847	1	10836
13.06.2006	16:46:55,250	-87,90000153	0	10836
13.06.2006	16:46:56,230	-89,30000305	0	10836
13.06.2006	16:46:57,230	-88,19999695	-2	10836
13.06.2006	16:46:58,230	-88,5	0	10836
13.06.2006	16:46:59,260	-87,09999847	1	10836
13.06.2006	16:47:00,230	-87,69999695	-4	10836
13.06.2006	16:47:01,230	-86,90000153	-2	10836
13.06.2006	16:47:02,230	-87,30000305	0	10836
13.06.2006	16:47:03,230	-87,09999847	-2	10836
13.06.2006	16:47:04,230	-86,30000305	0	10836
13.06.2006	16:47:05,230	-87,5	-4	10836
13.06.2006	16:47:06,230	-86,90000153	-8	10836
13.06.2006	16:47:07,250	-87,30000305	3	10836
13.06.2006	16:47:08,250	-86,40000153		10836

Tabelle 65

**Abbildung 464**

Mittelwert RSSI = -78

Mittelwert Tx Power = -15

Date	Time	RSSI	Tx Power	UARFCN
13.06.2006	17:06:24,280	-81	-21	10663
13.06.2006	17:06:24,790			
13.06.2006	17:06:25,280	-81,69999695	-21	10663
13.06.2006	17:06:25,810			
13.06.2006	17:06:26,280	-79,80000305	-18	10663
13.06.2006	17:06:26,810			
13.06.2006	17:06:27,280	-81,19999695	-19	10663
13.06.2006	17:06:27,810			
13.06.2006	17:06:28,280	-82,69999695	-12	10663
13.06.2006	17:06:28,820			
13.06.2006	17:06:29,280	-83,19999695	-15	10663
13.06.2006	17:06:29,820			
13.06.2006	17:06:30,280	-81,69999695	-21	10663
13.06.2006	17:06:30,820			
13.06.2006	17:06:31,280	-80,5	-18	10663
13.06.2006	17:06:31,820			
13.06.2006	17:06:32,280	-81,09999847	-12	10663
13.06.2006	17:06:32,820			
13.06.2006	17:06:33,280	-80,30000305	-12	10663
13.06.2006	17:06:33,820			
13.06.2006	17:06:34,280	-82,09999847	-14	10663
13.06.2006	17:06:34,820			
13.06.2006	17:06:35,280	-82,30000305	-20	10663
13.06.2006	17:06:35,820			
13.06.2006	17:06:36,280	-82	-13	10663
13.06.2006	17:06:36,820			
13.06.2006	17:06:37,280	-77,59999847	-15	10663
13.06.2006	17:06:37,850			
13.06.2006	17:06:38,280	-78,80000305	-20	10663
13.06.2006	17:06:38,840			
13.06.2006	17:06:39,280	-76,69999695	-16	10663
13.06.2006	17:06:39,840			
13.06.2006	17:06:40,290	-82,09999847	-18	10663
13.06.2006	17:06:40,840			
13.06.2006	17:06:41,280	-83,5	-12	10663
13.06.2006	17:06:41,850			
13.06.2006	17:06:42,280	-82,09999847	-16	10663
13.06.2006	17:06:42,900			
13.06.2006	17:06:43,280	-81,69999695	-16	10663
13.06.2006	17:06:43,850			
13.06.2006	17:06:44,280	-81,5	-7	10663
13.06.2006	17:06:44,840			
13.06.2006	17:06:45,280	-81,69999695	-4	10663
13.06.2006	17:06:45,840			
13.06.2006	17:06:46,280	-80,80000305	-10	10663
13.06.2006	17:06:46,850			
13.06.2006	17:06:47,280	-81,40000153	-17	10663
13.06.2006	17:06:47,850			
13.06.2006	17:06:48,280	-80,90000153	-9	10663
13.06.2006	17:06:48,840			
13.06.2006	17:06:49,280	-80,19999695	-15	10663
13.06.2006	17:06:49,850			
13.06.2006	17:06:50,280	-80,09999847	-15	10663
13.06.2006	17:06:50,850			
13.06.2006	17:06:51,280	-80,5	-15	10663
13.06.2006	17:06:51,850			
13.06.2006	17:06:52,280	-80,30000305	-13	10663
13.06.2006	17:06:52,850			
13.06.2006	17:06:53,280	-83,09999847	-13	10663
13.06.2006	17:06:53,850			

Tabelle 66

10. Erläuterung der in diesem Projekt zum Einsatz kommenden Berechnungsverfahren

10.1 Feldtheoretische vs. Hybride Verfahren

Für die Problemstellung des gegenständlichen Vorhabens kommen grundsätzlich nur entweder feldtheoretische oder hybride Berechnungsverfahren (Kombination aus optischen Näherungsverfahren und feldtheoretischen Verfahren) in Frage. Optische Näherungsverfahren allein sind für Berechnungen unzureichend, da die Beurteilung der Exposition anhand der Basisgröße SAR erfolgen muss, die optischen Näherungsverfahren nicht zugänglich ist.

Für die Expositionsbewertung auf Basis der SAR in sehr großräumige Befeldungsszenarien sind in der Literatur Hybridverfahren beschrieben (z.B. [29-32]), bei denen in einem ersten Schritt die Feldverteilung auf Basis einer optischen Berechnungsmethode ermittelt wird. Aus der räumlichen Verteilung der Feldstärkewerten an genau definierten Raumgrenzen (innerhalb derer später die exponierte Person modelliert wird) werden im nächsten Schritt räumliche Verteilungen von elektrischen und magnetischen Ersatzstromdichten abgeleitet, die als Quellen für die FDTD-Berechnungen dienen. Mit den genannten räumlichen Stromdichteverteilungen als Quellen wird schließlich die SAR-Verteilung im Körpermodell mittels feldtheoretischer Methoden (z.B. FDTD) berechnet. Die FDTD-Subdomäne ist dabei vergleichsweise klein (das betrachtete Personenmodell muss darin vollständig untergebracht werden), so dass mit entsprechenden Computerressourcen ausreichende räumliche Auflösung erreicht werden kann (5 mm räumliche Auflösung im konkreten Fall von [29]). In [30] wurde die gleiche Berechnungsmethode erfolgreich für ein Szenario verwendet, in dem sich die exponierte Person im Inneren eines Gebäudes aufhält (Feldquelle ebenfalls eine Mobilfunk-Basisstation).

Einen Vergleich hinsichtlich der erzielbaren Genauigkeit der oben erwähnten UTD-FDTD-Hybridmethode mit reinen FDTD-Berechnungen führen Bernardi et al. in [31] an Hand eines einfachen Modells (Kugel befaltet aus Dipolquelle) durch. Die Autoren kommen dabei zum Schluss, dass die verwendete Hybridmethode **im Fernfeld** der Strahlungsquelle hinreichend gute Ergebnisse liefert.

Die genannten Hybridmethoden stoßen allerdings an die Grenzen ihrer Brauchbarkeit, wenn man sich nicht im Fernfeld der Strahlungsquelle befindet oder wenn nicht genügend „freier“ Raum rund um die exponierten Personen vorhanden ist, um gut definierte Domänengrenzen festlegen zu können. Für die hier betrachteten realistischen Szenarien (räumlich eng benachbarte Personen in geometrisch komplexer Umgebung und mit Quellen am Körper) treffen beide der oben genannten Sachverhalte zu, was den Einsatz von Hybridmethoden nur unter stark vereinfachenden Bedingungen bzw. nur unter Inkaufnahme großer Berechnungsunsicherheiten zulassen würde.

10.2 Ausschließliche Verwendung der FDTD-Methode

Den in vorangegangenem Absatz aufgeführten Problemen mit Hybridmethoden für die hier interessierenden Szenarien steht eine enorme Steigerung der Leistungsfähigkeit von Hard- und Software für feldtheoretische numerische Berechnungen in den vergangenen Jahren gegenüber. Vor allem im Bereich der FDTD-Simulationsplattformen sind heute mit 64 Bit Rechnerarchitektur mit z.B. 16 GByte Arbeitsspeicher Rechenmodelle mit ca. 200 Millionen FDTD-Zellen problemlos berechenbar, sodass Szenarien für die Handynutzung in PKWs und im Aufzug vollständig mittels FDTD berechnet werden können.

Für die großräumigen hier zu betrachtenden Szenarien, wie Bus, U-/S-Bahn, ICE-Wagen und Flugzeugkabine ist eine vollständige FDTD Berechnung mit den oben genannten Hardwareressourcen nicht möglich. Allerdings liegt es nahe, die spezielle Geometrie aller genannten Szenarien, nämlich eine relative kleine räumliche Ausdehnung in zwei Raumdimensionen (Fahrzeugbreite und Fahrzeughöhe) auszunutzen, um trotzdem auf Basis von FDTD-Berechnungen zu aussagekräftigen Resultaten zu kommen. Ausgangspunkt dafür ist die Annahme, dass eine „weit“ entfernt liegende stirnseitige Begrenzung (Front oder Heck von Bus, U-/S-Bahn, ICE oder Flugzeugkabine) nur mehr vernachlässigbaren Einfluss auf die Exposition der Passagiere hat (Abbildung 465). Eigens durchgeführte Voruntersuchungen haben gezeigt, dass - bereits ab ca. 1 m Distanz zwischen der stirnseitigen Begrenzung und der nächstgelegenen Quelle - der Einfluss auf die Exposition der Personen nur mehr von vernachlässigbarem Ausmaß ist.

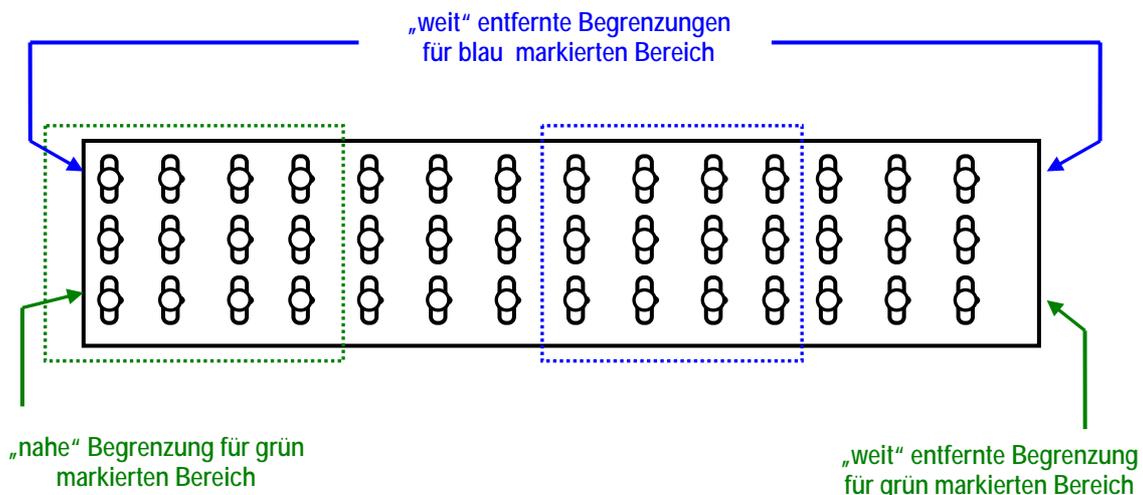


Abbildung 465: Schematische Darstellung der geometrischen Verhältnisse

Konkret gezeigt wird dies an dem in

Abbildung 466 dargestellten Szenario eines U-/S-Bahn Waggons. In diesem Szenario betreiben von den insgesamt 16 Personen 10 ein aktives Mobiltelefon bei 900 MHz. Die Exposition der Personen wurde einmal ohne metallischen Abschluss der Waggon-Stirnseite und einmal mit vollflächig metallischem Abschluss berechnet. Als Maße für die Exposition wurde die maximale über 10g gemittelte SAR in den Köpfen der Personen, sowie die über den ganzen Kopf gemittelte SAR herangezogen. Zusätzlich erfolgte eine statistische Analyse (Perzentile und Häufigkeitsverteilung) der auftretenden „freien“ Feldstärken (d.h. außerhalb

der Körpermodelle) im Raumbereich von ca. 10 cm unterhalb des Kinns bis ca. 10 cm oberhalb des Scheitels. Tabelle 67 fasst die Ergebnisse zusammen. Es ist erkennbar, dass die relevanten Expositionsmaße in beiden betrachteten Situationen (d.h. mit und ohne stirnseitige metallische Begrenzung) nur im Ausmaß der zu erwartenden numerischen Unsicherheiten voneinander abweichen. D.h., der Einfluss der stirnseitigen Begrenzung auf die Exposition von Personen im mittleren Abschnitt (mehr als ca. 1 m entfernt von der Begrenzung) des Waggons ist unter den gegebenen Bedingungen vernachlässigbar. Unter Ausnutzung dieser Tatsache wurden auch die großräumig-lang gestreckten Szenarien für Bus, U-/S-Bahn, ICE-Wagen und Flugzeug mittels FDTD Berechnungen analysiert, wobei zur Abdeckung der Fälle „nahe einer stirnseitigen Begrenzung“ und „weit entfernt von einer stirnseitigen Begrenzung“ jeweils zwei unabhängige Simulationsläufe für die zu betrachteten Szenarien einer vollen und einer schwachen Fahrzeugbesetzung durchgeführt wurden.

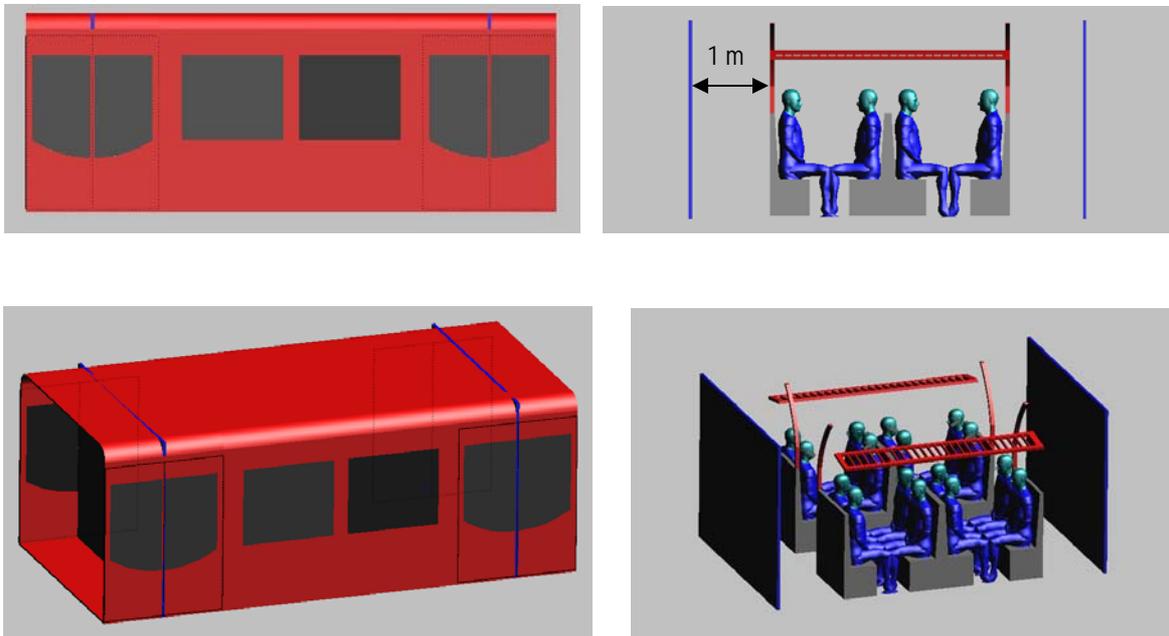


Abbildung 466: Beispiel zur Untersuchung des Einflusses der stirnseitigen Begrenzung eines U-/S-Bahn Waggons auf die Exposition durch Handybenutzung von Personen im mittleren Abschnitt des Waggons.

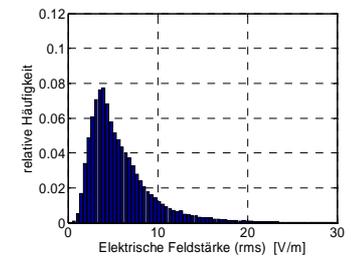
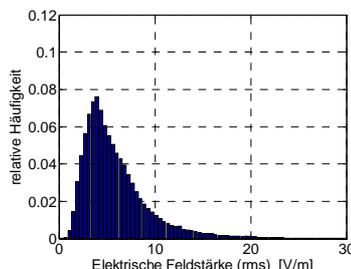
900 MHz (250 mW pro Quelle)							
Szenario	Person	SAR _{10g} [W/kg]	SAR _{Kopf} [W/kg]	p25 [V/m]	p50 [V/m]	p75 [V/m]	Häufigkeitsverteilung
Voll besetzt „Mitte“ (10 Quellen)	13	1,09438	0,03690	3,42	4,48	7,24	
	14	1,05719	0,03630				
	15	0,00383	0,00074				
	16	0,00115	0,00012				
	17	0,96428	0,03200				
	18	1,14568	0,03570				
	19	1,04260	0,03590				
	20	0,00097	0,00019				
	21	1,03981	0,03790				
	22	1,14338	0,04090				
	23	1,16296	0,03890				
	24	0,00097	0,00021				
	25	1,11209	0,03610				
	26	1,13437	0,03940				
27	0,00169	0,00017					
28	0,00108	0,00019					
Voll besetzt „Mitte“ mit metallischem Abschluss an den 1 m entfernten Stirnseiten (10 Quellen)	13	1,11696	0,03778	3,53	4,65	7,30	
	14	1,04958	0,03610				
	15	0,00365	0,00084				
	16	0,00129	0,00016				
	17	0,96602	0,03199				
	18	1,13415	0,03526				
	19	1,01656	0,03556				
	20	0,00102	0,00024				
	21	1,03813	0,03897				
	22	1,13455	0,04040				
	23	1,16718	0,00039				
	24	0,00103	0,00024				
	25	1,10480	0,03586				
	26	1,14503	0,04000				
27	0,00195	0,00024					
28	0,00136	0,00026					

Tabelle 67: Berechnungsergebnisse zum Einfluss „weit“ entfernt liegender stirnseitiger metallischer Begrenzungen des Feldraumes in lang gestreckten Fahrzeugen am Beispiel eines U-/S-Bahn-Waggons

11. Berechnungen

Alle Berechnungen wurden mit der FDTD-Simulationsplattform SEMCAD X (Schmid & Partner Engineering AG, Zürich, Schweiz) durchgeführt.

11.1 Modellierung der Szenarien

Auf der Grundlage der im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Sachverhalte wurden für die folgenden Szenarien numerische Berechnungen für jeweils unterschiedliche Befeldungssituationen (hinsichtlich Personen- und Quellenverteilung) und unterschiedlichen Frequenzen (900 MHz, 1800 MHz und 2100 MHz) durchgeführt:

- Aufzugskabine
- PKWs (Kleinwagen, Limousine, Kombi, Van)
- Bus
- U-/S-Bahn-Garnitur
- ICE-Wagen
- Flugzeug

Die ursprünglich angestrebte Möglichkeit, die Fahrzeuge detailgetreu auf Basis von Original-CAD-Files zu modellieren, musste fallen gelassen werden, da derartige CAD-Daten der betrieblichen Geheimhaltung der Fahrzeughersteller unterliegen und daher nicht zugänglich sind. Die betrachteten Fahrzeuge wurden daher anhand von frei zugänglichen technischen Zeichnungen und Fotos modelliert. Auf korrekte Abmessungen und die Berücksichtigung von für die Wellenausbreitung relevanten Metallstrukturen (Sitze, Säulen, Haltegriffe, Gepäckablagen) wurde geachtet, wobei naturgemäß Vereinfachungen getroffen werden mussten. Im Sinne eines konservativen Ansatzes wurden bei nicht nachbildbaren (weil zu fein strukturierten) Metallstrukturen vollflächige Strukturen modelliert. Für Fensterglas wurden bei Bus, U-/S-Bahn, ICE und Flugzeug, ebenfalls im Sinne eines konservativen Ansatzes, Materialparameter für (bedampftes) Wärmeschutzglas verwendet (900 MHz: $\epsilon_r=6$ $\sigma=0,04$ S/m, 1800 MHz: $\epsilon_r=6$ $\sigma=0,08$ S/m, 2100 MHz: $\epsilon_r=6$ $\sigma=0,09$ S/m). Für die PKW-Szenarien wurden etwas geringere Werte für die Materialparameter der Fensterscheiben definiert ($\epsilon_r=6$ $\sigma=0,0025$ S/m, für alle Frequenzen).

Als Personen wurden semi-homogene Körpermodelle verwendet, bestehend aus einem homogenen SAM¹-Kopfmodell und einem homogenen generischen Modell für Rumpf und Gliedmaßen. Das generische Rumpf/Gliedmaßen-Modell wurde sowohl in sitzender als auch in stehender (für Aufzugsszenario) Form erstellt.

Tabelle 68 fasst die für das semi-homogene Körpermodell verwendeten Materialparameter zusammen. Die für den Kopf angegebenen Werte sind dem Standard DIN EN 62209-1 (Nachfolger von DIN EN 50361) entnommen. Die Werte für den Rumpf bzw. die Gliedmaßen stammen aus dem Supplement C (Edition 01-01) zum OET Bulletin 65 (Edition 97-01), herausgegeben von der FCC (Federal Communications Commission), und werden für SAR Messungen mit rumpfnah betriebenen Sendegeräten empfohlen.

¹ Das SAM (Specific Antropomorphic Mannequin)-Phantom wird weltweit für die Zulassungprüfung von Mobiltelefonen hinsichtlich der lokalen SAR im Kopf verwendet.

		900 MHz	1800 MHz	2100 MHz
Kopf	ϵ_r [1]	41,5	40	39,8
	σ [S/m]	0,97	1,40	1,5
Rumpf/Gliedmaßen	ϵ_r [1]	55,0	53,3	53,1
	σ [S/m]	1,05	1,52	1,65

Tabelle 68: Materialparameter für das homogene Körpermodell

Die unter realen Bedingungen das Handy am Kopf haltende (und damit bereits einen Teil der abgestrahlten HF-Leistung absorbierende) Hand wurde in den Modellen im Sinne eines konservativen Ansatzes nicht berücksichtigt.

Als Feldquellen wurden generische Mobiltelefon-Modelle (Metallbox ca. 130 mm x 40 mm x 15 mm) mit $\lambda/4$ Monopolantenne verwendet.

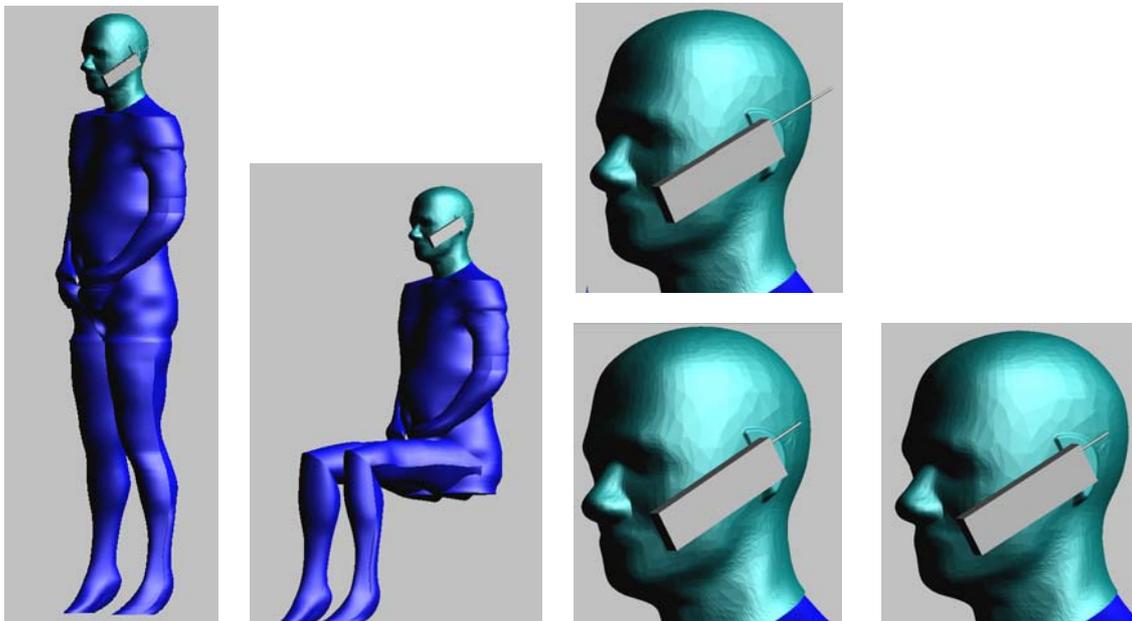


Abbildung 467: Verwendete Körper (stehend und sitzend) und Quellenmodelle für 900 MHz (oben) , 1800 MHz (unten links) und 2100 MHz (unten rechts)

Zur Diskretisierung des Rechenraumes wurde ein *graded mesh* mit einer variablen Schrittweite zwischen 2 mm und 10 mm verwendet, wobei im Kopfbereich (bis zu den Schultern) 2 bis 2,5 mm und im oberen Rumpfbereich (bis etwa Brusthöhe) maximal 5 mm als Schrittweite verwendet wurden. Unter Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Soft und Hardwareressourcen (64 Bit System mit 16 GB Arbeitsspeicher) konnten die betrachteten Szenarien im Rahmen von Modellgrößen zwischen ca. 100-200 Millionen FDTD-Zellen berechnet werden.

Mit diesen Körper- und Quellenmodellen ergeben sich unter „Bezugsbedingungen“ (ein einzelnes Modell unter Freiraumbedingungen, Quellenleistung 0,25W bei 900 MHz und

0,125 W bei 1800 MHz und 2100 MHz) die folgenden Bezugswerte für die maximale über 10g gemittelte SAR (SAR_{10g}) und die über den gesamten Kopf gemittelte SAR (SAR_{Kopf}):

	900 MHz		1800 MHz		2100 MHz	
	links	rechts	links	rechts	links	rechts
SAR_{10g} [W/kg]	1,13	1,06	0,82	0,74	0,85	0,78
SAR_{Kopf} [W/kg]	0,0330	0,0318	0,0135	0,0131	0,0125	0,0122

Tabelle 69: Materialparameter für das homogene Körpermodell

Aufgrund der relativ groben Auflösung von 2 mm im Kopfbereich und dem für die unterschiedlichen Befeldungsszenarien nicht immer exakt gleichen FDTD-Gitter sind diese Nominalwerte mit einer numerischen Unsicherheit von ca. $\pm 5\text{-}10\%$ behaftet.

11.2 Methode der Datenauswertung

Um die Berechnungsergebnisse möglichst aussagekräftig und kompakt darstellen zu können, wurden für alle betrachteten Szenarien unterschiedliche Expositionsmaße definiert, welche in den folgenden Kapiteln zusammengefasst sind.

- Maximale, über 10g gemittelte SAR im Kopf (SAR_{10g})**
Diese Größe wurde für alle jeweils in den Szenarien vorhandenen Personenmodelle ermittelt, d.h. sowohl für Personen mit Mobiltelefon als auch für Personen ohne Mobiltelefon.
- Über den gesamten Kopf gemittelte SAR (SAR_{Kopf})**
Diese Größe wurde ebenfalls für alle jeweils in den Szenarien vorhandenen Personenmodelle ermittelt, d.h. sowohl für Personen mit Mobiltelefon als auch für Personen ohne Mobiltelefon. Sie stellt ein Maß für die gesamt im Kopf absorbierte HF-Leistung dar (Masse des Kopfes der Personenmodelle 5,38 kg).
- Perzentile (p25, p50, p75) der Feldstärkewerte im freien Feldraum (in Luft)**
Diese Größen sollen einen Überblick über die zu erwartenden Feldstärken (Effektivwerte) in den freien Bereichen der Szenarien (d.h. Bereiche, wo sich keine Personen aufhalten) liefern. Für die Ermittlung dieser Größen wurde jeweils der Feldbereich in seiner gesamten Horizontalausdehnung in Kopfhöhe betrachtet (d.h., vertikale Ausdehnung von ca. 10 cm unterhalb des Kinns bis ca. 10 cm oberhalb des Scheitels). Weiters ist zu beachten, dass der Feldraum in unmittelbarer Nähe der Quellen (< 5 cm Distanz) von der Evaluierung der „freien“ Feldstärken ausgeschlossen wurde.
- Häufigkeitsverteilung der Feldstärkewerte im freien Feldraum (in Luft)**
Zusätzlich zu den numerischen statistischen Kenngrößen (Perzentile) wird jeweils die Häufigkeitsverteilung der Feldstärkewerte grafisch dargestellt. Anhand dieser Darstellungen kann ein Eindruck der Intensitäten der „freien“ Feldstärke in den unterschiedlichen Szenarien gewonnen, bzw. ein Vergleich der Feldstärkewerte mit den Referenzwerten der EU-Ratsempfehlung 1999/519/EG angestellt werden. Für den für diese Darstellungen betrachteten Feldraum gilt ebenfalls das im vorigen Absatz Erwähnte.

- **Feldbilder (Horizontal- und Vertikalschnitte)**

Für jedes Szenario werden als Beispiele einige ausgewählte Feldbilder in Horizontal- bzw. Vertikalebene durch den gesamten Feldraum angegeben, um die räumliche Feldverteilung (und vor allem das Ausmaß ihrer Inhomogenität) zu illustrieren.

Wie bereits im vorangegangenen Kapitel erwähnt, ist weiters zu beachten, dass, sofern explizit nichts anderes erwähnt wird, alle Ergebnisse auf die maximale Sendeleistung von Mobiltelefonen skaliert sind. D.h., für alle 900 MHz Quellen wurde jeweils eine Sendeleistung von 250 mW, für alle 1800 MHz und 2050 MHz Quellen eine Sendeleistung von 125 mW angenommen.

11.3 Aufzug

11.3.1 Betrachtete Szenarien

Insgesamt wurden 3 unterschiedliche Situationen bei jeweils 900 MHz, 1800 MHz und 2100 MHz betrachtet (Abbildung 468). Zusätzlich wurde zu Vergleichszeiten die Situation 3 bei 900 MHz ohne metallische Begrenzung (d.h. ohne Aufzugskabine) betrachtet.

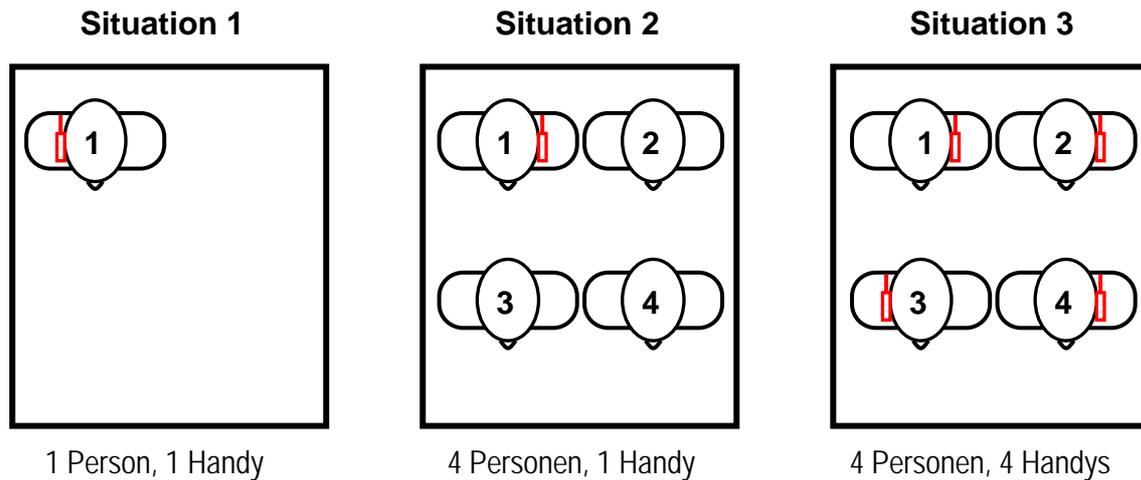


Abbildung 468: Betrachtete Situationen für Handynutzung im Aufzug

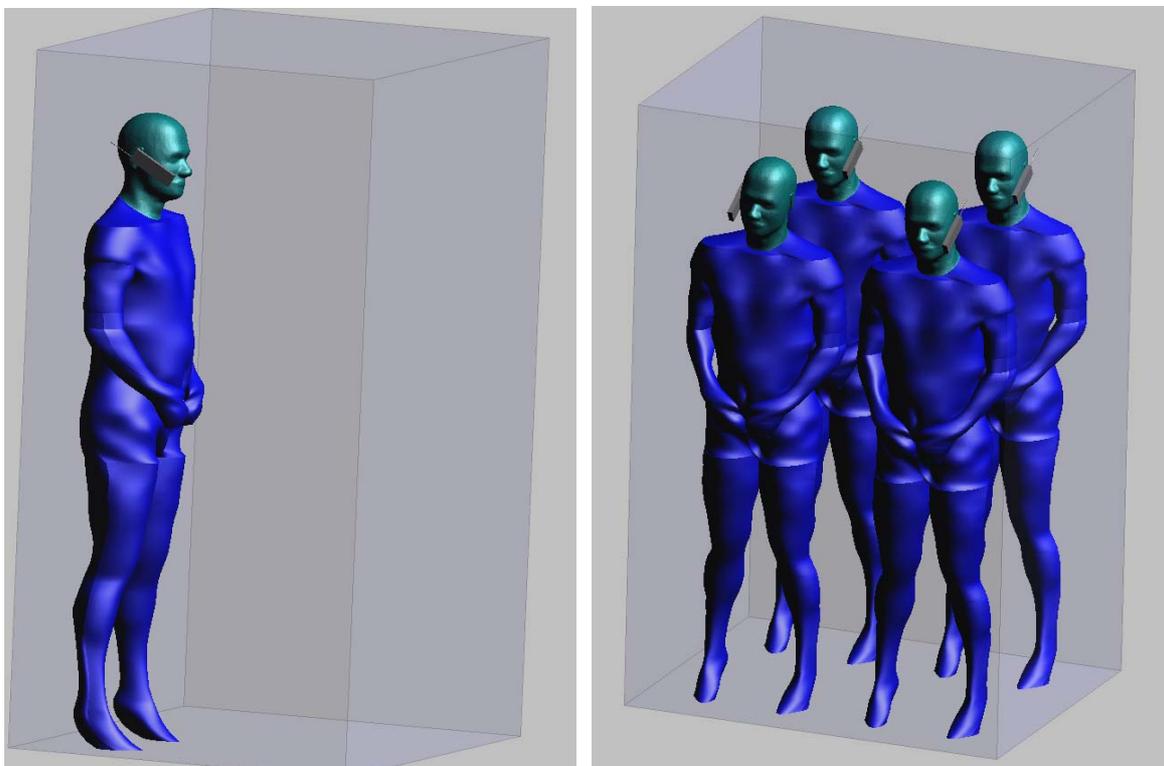


Abbildung 469: Berechnungsmodell in SEMCAD X

11.3.2 Berechnungsergebnisse

Zur Veranschaulichung der zu erwartenden räumlichen Feldverteilung ist in Abbildung 470 die Verteilung der elektrischen Feldstärke (Effektivwert) in einer Horizontal- und einer Vertikalebene in Kopfhöhe, bzw. durch die beiden linksseitig telefonierenden Personen (Personen 2 und 4) für die Situation bei voller Besetzung des Aufzugs mit vier 900 MHz-Quellen, dargestellt. Abbildung 471 zeigt zum Vergleich dazu die entsprechenden Feldbilder ohne die metallische Begrenzung der Aufzugskabine. Die Berechnungsergebnisse sind in Tabelle 70 bis Tabelle 72 zusammengefasst. Die Kopfseite auf der die Quellen betrieben werden ist jeweils neben der Personen-Nummer angegeben („l“...links, „r“...rechts, „-“... keine Quelle).

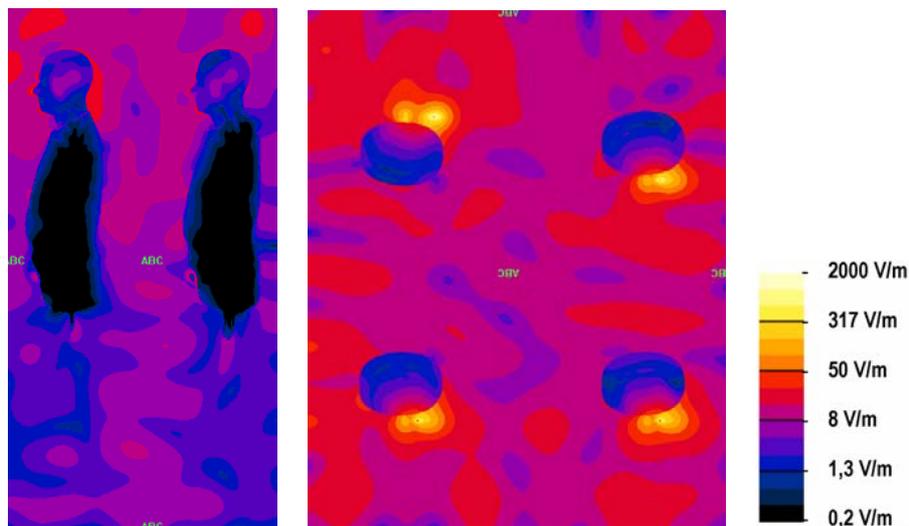


Abbildung 470: Feldverteilung in einer Vertikal- (links) und einer Horizontal-Ebene (rechts) in Situation 3 bei 900 MHz

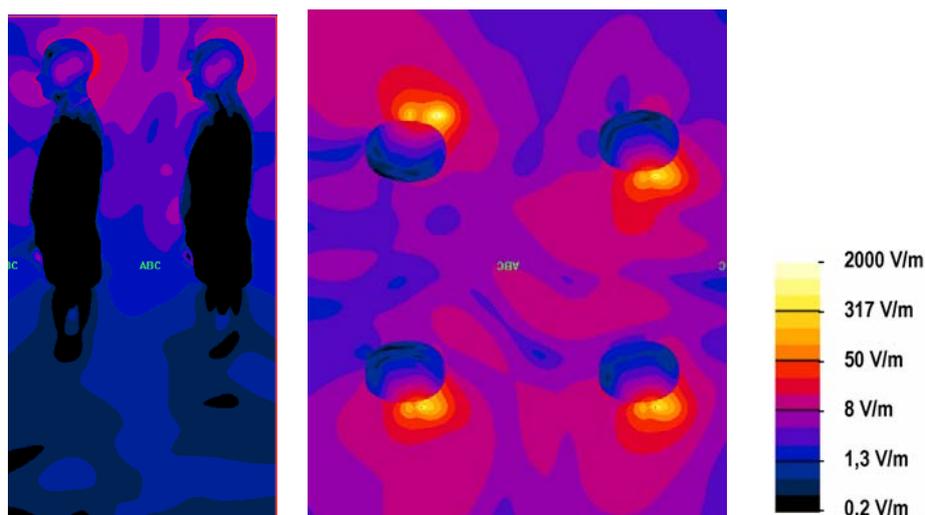


Abbildung 471: Feldverteilung in einer Vertikal- (links) und einer Horizontal-Ebene (rechts) mit einer Personen- und Quellenverteilung im Aufzug wie in Situation 3 (volle Besetzung, 4 Quellen), allerdings ohne die metallische Begrenzung der Aufzugskabine (900 MHz)

900 MHz (250 mW pro Quelle)							
Szenario	Person	SAR _{10g} [W/kg]	SAR _{Kopf} [W/kg]	p25 [V/m]	p50 [V/m]	p75 [V/m]	Häufigkeitsverteilung
Situation 1 (1 Quelle)	1 r	1,13370	0,03536	5,61	6,92	8,71	
Situation 2 1 Quelle	1 l	1,16700	0,03516	4,79	6,14	7,81	
	2 -	0,00308	0,00061				
	3 -	0,00364	0,00043				
	4 -	0,00256	0,00070				
Situation 3 (4 Quellen)	1 l	1,12022	0,03787	9,49	12,4	15,9	
	2 l	1,15234	0,03804				
	3 r	1,19354	0,03672				
	4 l	1,18798	0,03707				
Situation 3 ohne metallische Begrenzung (4 Quellen)	1 l	1,14987	0,03688	4,64	6,80	9,50	
	2 l	1,07333	0,03452				
	3 r	1,13612	0,03396				
	4 l	1,14410	0,03502				

Tabelle 70: Berechnungsergebnisse für die Aufzugsszenarien bei 900 MHz

1800 MHz (125 mW pro Quelle)							
Szenario	Person	SAR _{10g} [W/kg]	SAR _{Kopf} [W/kg]	p25 [V/m]	p50 [V/m]	p75 [V/m]	Häufigkeitsverteilung
Situation 1 (1 Quelle)	1 r	0,74480	0,01319	5,25	6,71	8,45	

Situation 2 (1 Quelle)	1 l	0,8858	0,01454	3,53	4,70	6,13	
	2 -	0,00455	0,00072				
	3 -	0,00240	0,00026				
	4 -	0,00326	0,00041				
Situation 3 (4 Quellen)	1 l	0,91259	0,01726	8,06	10,4	13,1	
	2 l	0,88755	0,01536				
	3 r	0,83630	0,01597				
	4 l	0,88112	0,01360				

Tabelle 71: Berechnungsergebnisse für die Aufzugsszenarien bei 1800 MHz

2100 MHz (125 mW pro Quelle)							
Szenario	Person	SAR _{10g} [W/kg]	SAR _{Kopf} [W/kg]	p25 [V/m]	p50 [V/m]	p75 [V/m]	Häufigkeitsverteilung
Situation 1 (1 Quelle)	1 r	0,85190	0,01304	5,10	6,51	8,16	
Situation 2 (1 Quelle)	1 l	1,06481	0,01338	3,64	4,98	6,75	
	2 -	0,00503	0,00064				
	3 -	0,00200	0,00027				
	4 -	0,00284	0,00054				
Situation 3 (4 Quellen)	1 l	1,02511	0,01489	8,52	11,1	14,4	
	2 l	0,98643	0,01421				
	3 r	0,79193	0,01464				
	4 l	0,94033	0,01367				

Tabelle 72: Berechnungsergebnisse für die Aufzugsszenarien bei 2100 MHz

11.4 PKWs

Für die vier unterschiedlichen betrachteten PKW-Typen wurden jeweils zwei unterschiedliche Situationen hinsichtlich Personen und Quellenverteilung, jeweils bei 900 MHz, 1800 MHz und 2100 MHz betrachtet. Zusätzlich wurden zu Vergleichszeiten für Situation 1 bei 1800 MHz Berechnungen ohne die äußere Begrenzung (d.h. ohne Karosserie und Fenster) durchgeführt.

11.4.1 Kleinwagen (Peugeot 206)

11.4.1.1 Betrachtete Szenarien

Abbildung 472 zeigt schematisch die betrachteten Situationen hinsichtlich Personen- und Quellenverteilung im Kleinwagen und Abbildung 473 Ansichten des Berechnungsmodells.

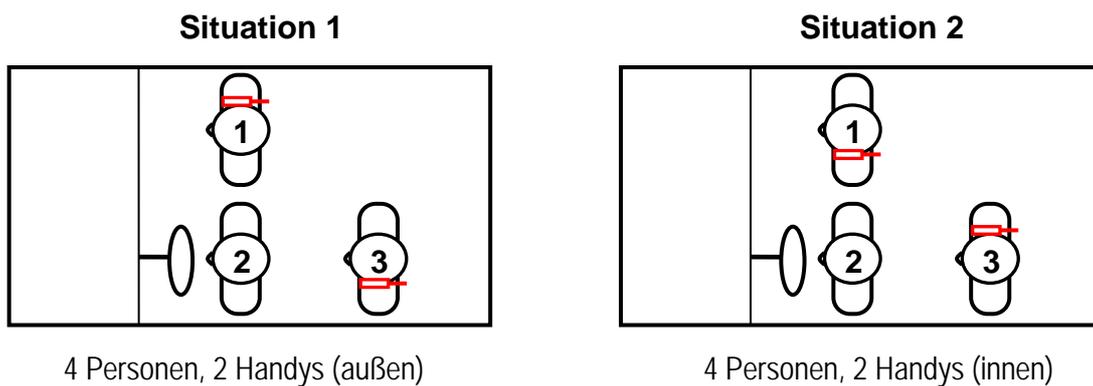


Abbildung 472: Betrachtete Situationen für Handynutzung in einem Kleinwagen

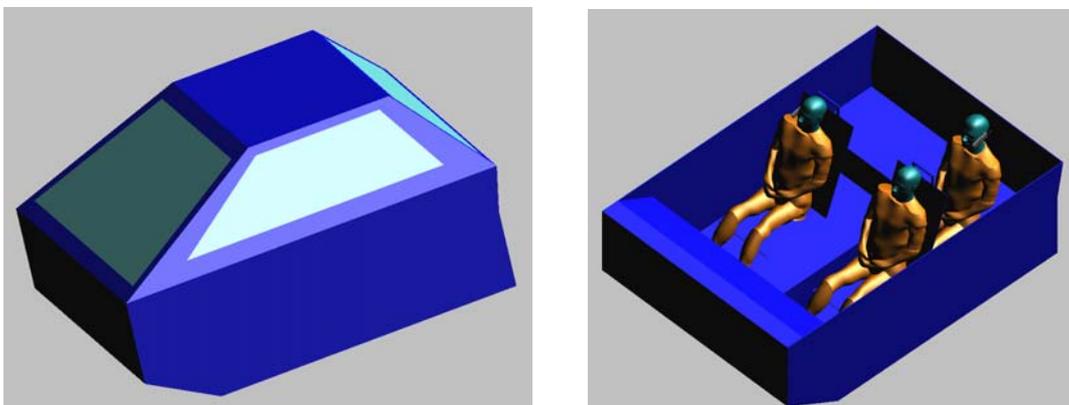


Abbildung 473: Berechnungsmodell des Kleinwagens in SEMCAD X

11.4.1.2 Berechnungsergebnisse

Zur Veranschaulichung der zu erwartenden räumlichen Feldverteilung ist in Abbildung 474 die Verteilung der elektrischen Feldstärke (Effektivwert) in einer Horizontal- und einer Vertikalebene in Kopfhöhe, bzw. durch die hinter dem Fahrer sitzende Person (Person 3) für die Situation 1 mit zwei 1800 MHz-Quellen, dargestellt. Abbildung 475 zeigt zum Vergleich dazu die entsprechenden Feldbilder ohne die metallische Begrenzung der Karosserie und ohne die Fenster. Die Berechnungsergebnisse sind in Tabelle 73 bis Tabelle 75 zusammengefasst. Die Kopfseite auf der die Quellen betrieben werden ist jeweils neben der Personen-Nummer angegeben („l“...links, „r“...rechts, „-“... keine Quelle).

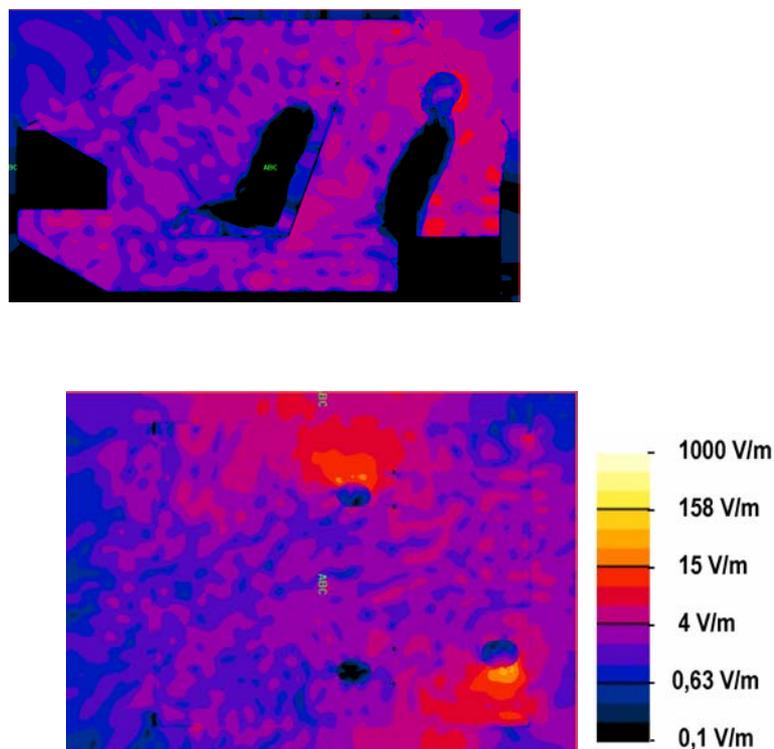


Abbildung 474: Feldverteilung in einer Vertikal- (oben) und einer Horizontal-Ebene (unten) in Situation 1 bei 1800 MHz

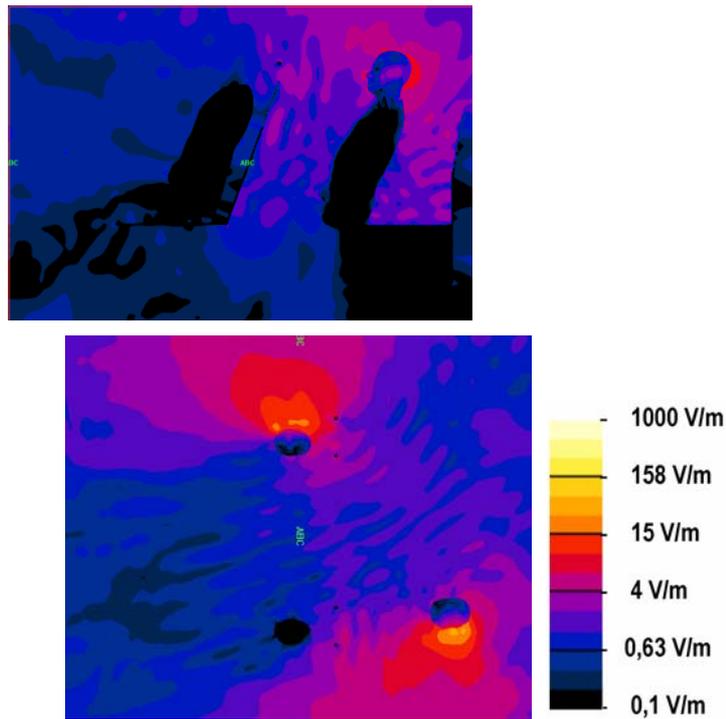


Abbildung 475: Feldverteilung in einer Vertikal- (oben) und einer Horizontal-Ebene (unten) mit einer Personen- und Quellenverteilung im Kleinwagen wie in Situation 1, allerdings ohne die metallische Begrenzung der Fahrzeugkarosserie (1800 MHz)

900 MHz (250 mW pro Quelle)							
Szenario	Person	SAR _{10g} [W/kg]	SAR _{Kopf} [W/kg]	p25 [V/m]	p50 [V/m]	p75 [V/m]	Häufigkeitsverteilung
Situation 1 (2 Quellen)	1 r	1,02333	0,03223	3,94	5,12	6,91	
	2 -	0,00167	0,00034				
	3 l	1,16754	0,03454				
Situation 2 (2 Quellen)	1 l	1,08343	0,32473	4,89	6,59	8,76	
	2 -	0,00401	0,00068				
	3 r	1,02483	0,34160				

Tabelle 73: Berechnungsergebnisse für den Kleinwagen bei 900 MHz

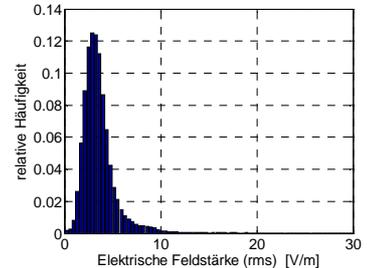
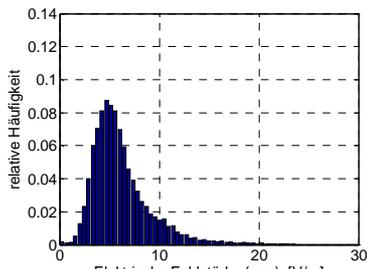
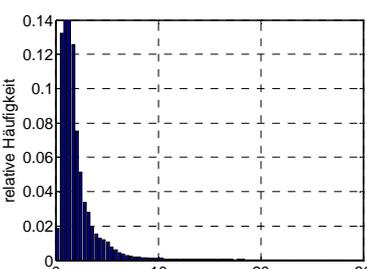
1800 MHz (125 mW pro Quelle)							
Szenario	Person	SAR _{10g} [W/kg]	SAR _{Kopf} [W/kg]	p25 [V/m]	p50 [V/m]	p75 [V/m]	Häufigkeitsverteilung
Situation 1 (2 Quellen)	1 r	0,74971	0,14106	2,53	3,29	4,24	
	2 -	0,00105	0,00018				
	3 l	0,81446	0,01442				
Situation 2 (2 Quellen)	1 l	0,92184	0,01525	4,22	5,53	7,43	
	2 -	0,00187	0,00029				
	3 r	0,69294	0,01294				
Situation 1 ohne Begrenzung (2 Quellen)	1 r	0,74077	0,01335	0,95	1,41	2,22	
	2 -	0,00028	0,00008				
	3 l	0,81407	0,01451				

Tabelle 74: Berechnungsergebnisse für den Kleinwagen bei 1800 MHz

2100 MHz (125 mW pro Quelle)							
Szenario	Person	SAR _{10g} [W/kg]	SAR _{Kopf} [W/kg]	p25 [V/m]	p50 [V/m]	p75 [V/m]	Häufigkeitsverteilung
Situation 1 (2 Quellen)	1 r	0,69580	0,01266	2,82	3,64	4,71	
	2 -	0,00199	0,00029				
	3 l	0,81579	0,01260				
Situation 2 (2 Quellen)	1 l	0,82758	0,01339	4,70	6,15	8,24	
	2 -	0,00369	0,00051				
	3 r	0,70962	0,01237				

Tabelle 75: Berechnungsergebnisse für den Kleinwagen bei 2100 MHz

11.4.2 Limousine (Ford Sierra)

11.4.2.1 Betrachtete Szenarien

Abbildung 472 und Abbildung 476 zeigen schematisch die betrachteten Situationen hinsichtlich Personen- und Quellenverteilung in einer Limousine und Abbildung 477 Ansichten des Berechnungsmodells.

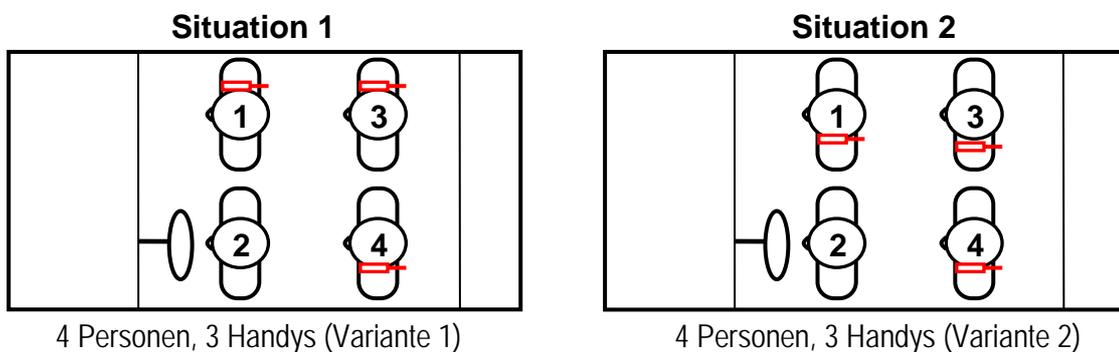


Abbildung 476: Betrachtete Situationen für Handynutzung in einer Limousine

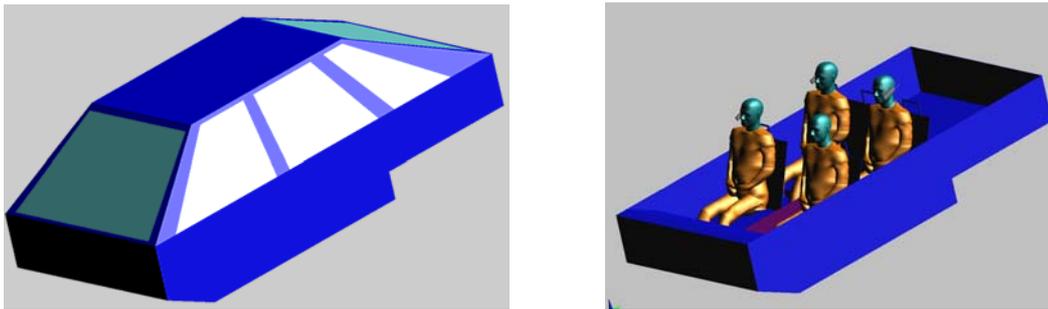


Abbildung 477: Berechnungsmodell der Limousine in SEMCAD X

11.4.2.2 Berechnungsergebnisse

Zur Veranschaulichung der zu erwartenden räumlichen Feldverteilung ist in Abbildung 478 die Verteilung der elektrischen Feldstärke (Effektivwert) in einer Horizontal- und einer Vertikalebene in Kopfhöhe, bzw. durch den Beifahrer (Person 1) für die Situation 1 mit drei 900 MHz-Quellen, dargestellt. Abbildung 479 zeigt zum Vergleich dazu die entsprechenden Feldbilder ohne die metallische Begrenzung der Karosserie und ohne die Fenster. Die Berechnungsergebnisse sind in Tabelle 76 bis Tabelle 78 zusammengefasst. Die Kopfseite auf der die Quellen betrieben werden ist jeweils neben der Personen-Nummer angegeben („l“ ...links, „r“ ...rechts, „-“ ... keine Quelle).

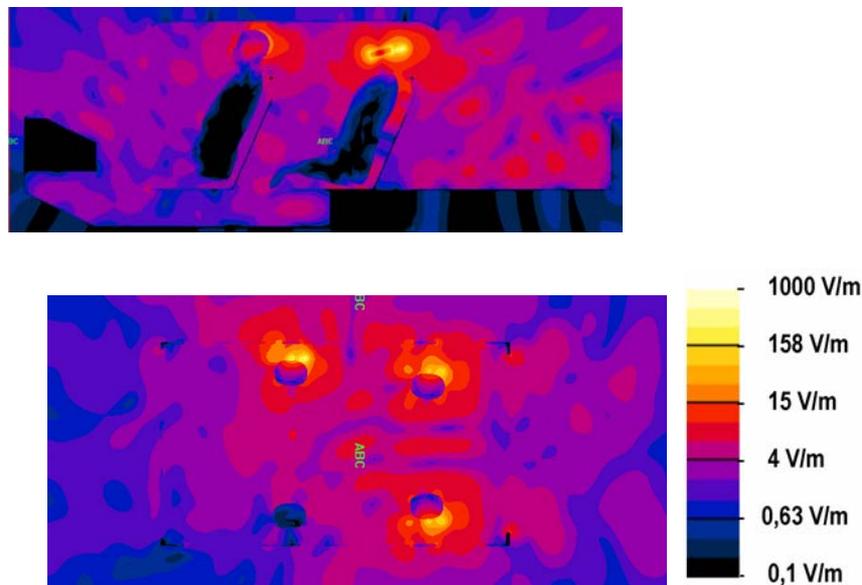


Abbildung 478: Feldverteilung in einer Vertikal- (oben) und einer Horizontal-Ebene (unten) durch die Limousine in Situation 1 bei 900 MHz

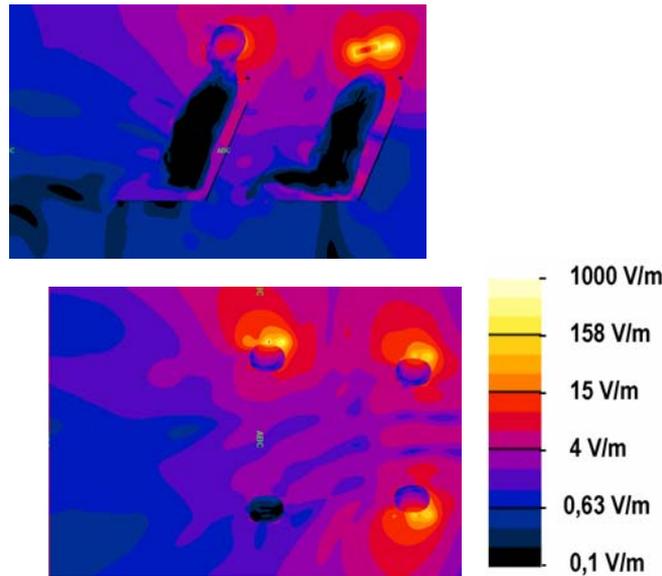


Abbildung 479: Feldverteilung in einer Vertikal- (oben) und einer Horizontal-Ebene (unten) mit einer Personen- und Quellenverteilung in der Limousine wie in Situation 1, allerdings ohne die metallische Begrenzung der Fahrzeugkarosserie (900 MHz)

900 MHz (250 mW pro Quelle)							
Szenario	Person	SAR _{10g} [W/kg]	SAR _{Kopf} [W/kg]	p25 [V/m]	p50 [V/m]	p75 [V/m]	Häufigkeitsverteilung
Situation 1 (3 Quellen)	1 r	1,08772	0,03462	3,61	5,16	7,07	
	2 -	0,00100	0,00020				
	3 r	1,02857	0,03423				
	4 l	1,16884	0,03596				
Situation 2 (3 Quellen)	1 l	1,16568	0,03661	5,33	7,71	11,0	
	2 -	0,00275	0,00040				
	3 l	1,07166	0,03422				
	4 l	1,10730	0,03547				
Situation 1 ohne metallische Begrenzung (3 Quellen)	1 r	1,05014	0,03267	2,06	2,82	4,22	
	2 -	0,00032	0,00008				
	3 r	1,06363	0,03335				
	4 l	1,12944	0,03370				

Tabelle 76: Berechnungsergebnisse für die Limousine bei 900 MHz

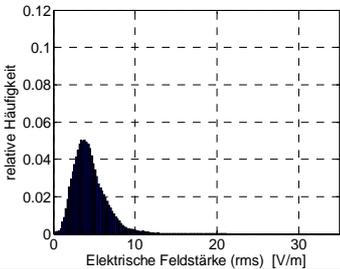
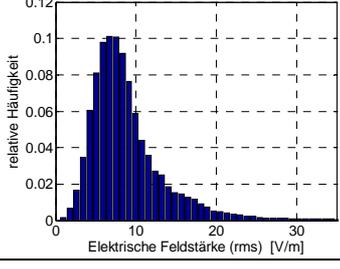
1800 MHz (125 mW pro Quelle)							
Szenario	Person	SAR _{10g} [W/kg]	SAR _{Kopf} [W/kg]	p25 [V/m]	p50 [V/m]	p75 [V/m]	Häufigkeitsverteilung
Situation 1 (3 Quellen)	1 r	0,67831	0,01392	3,06	4,13	5,45	
	2 -	0,00086	0,00013				
	3 r	0,85322	0,01413				
	4 l	0,90651	0,01447				
Situation 2 (3 Quellen)	1 l	1,01178	0,01493	5,88	7,90	10,8	
	2 -	0,00086	0,00013				
	3 l	1,14043	0,01613				
	4 l	1,89839	0,01455				

Tabelle 77: Berechnungsergebnisse für die Limousine bei 1800 MHz

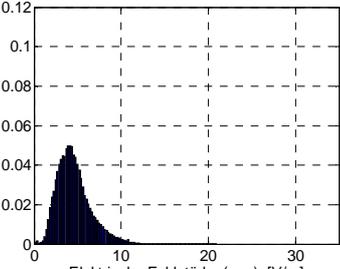
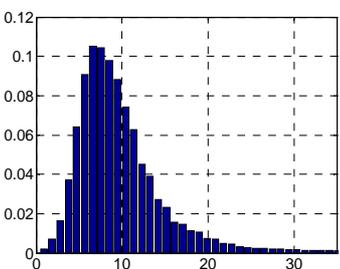
2100 MHz (125 mW pro Quelle)							
Szenario	Person	SAR _{10g} [W/kg]	SAR _{Kopf} [W/kg]	p25 [V/m]	p50 [V/m]	p75 [V/m]	Häufigkeitsverteilung
Situation 1 (3 Quellen)	1 r	0,77253	0,01443	3,20	4,30	5,58	
	2 -	0,00140	0,00021				
	3 r	0,90051	0,01588				
	4 l	0,92231	0,01434				
Situation 2 (3 Quellen)	1 l	0,83083	0,01283	6,44	8,75	11,9	
	2 -	0,00899	0,00103				
	3 l	0,86994	0,01363				
	4 l	0,83943	0,01372				

Tabelle 78: Berechnungsergebnisse für die Limousine bei 2100 MHz

11.4.3 Kombi (Mercedes T-Modell)

11.4.3.1 Betrachtete Szenarien

Abbildung 480 zeigt schematisch die betrachteten Situationen hinsichtlich Personen- und Quellenverteilung in einem Kombi und Abbildung 481 Ansichten des Berechnungsmodells.

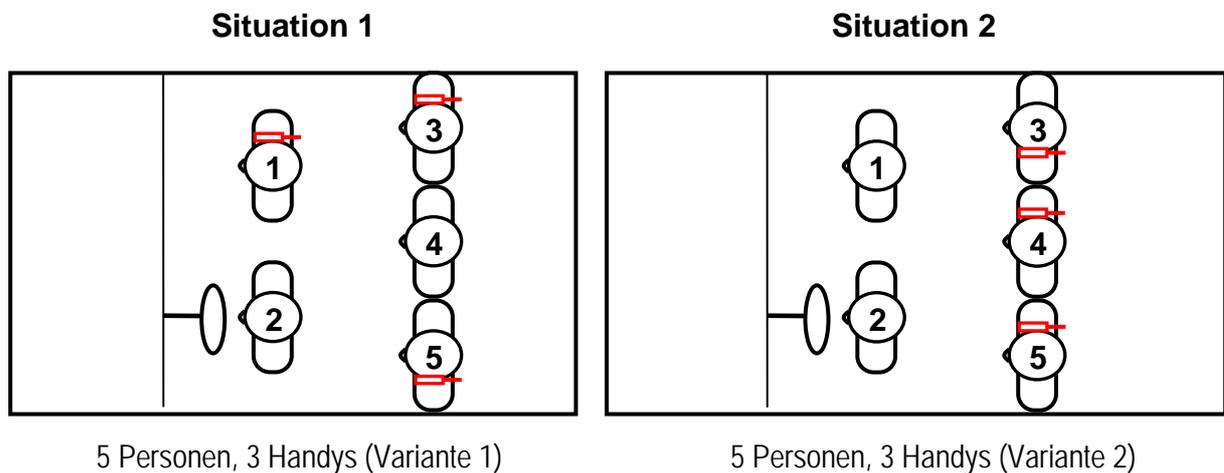


Abbildung 480: Betrachtete Situationen für Handynutzung in einem Kombi

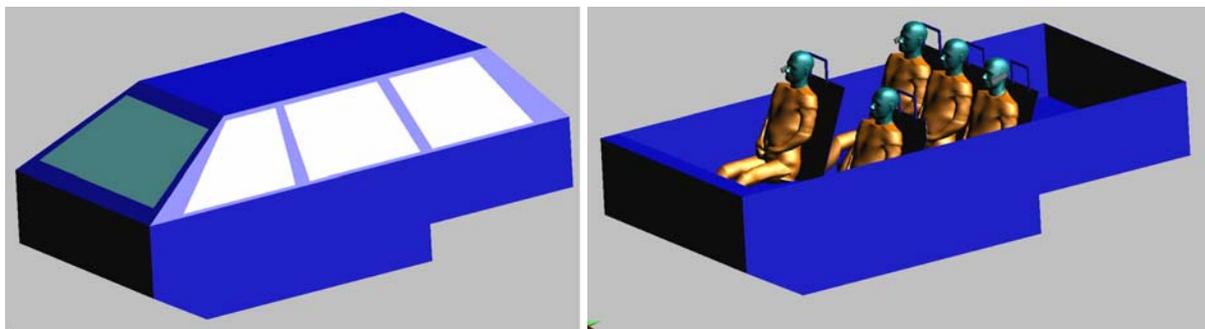


Abbildung 481: Berechnungsmodell des Kombis in SEMCAD X

11.4.3.2 Berechnungsergebnisse

Zur Veranschaulichung der zu erwartenden räumlichen Feldverteilung ist in Abbildung 482 die Verteilung der elektrischen Feldstärke (Effektivwert) in einer Horizontal- und einer Vertikalebene in Kopfhöhe, bzw. durch Beifahrer und ei dahinter sitzende Person (Personen 1 und 3) für die Situation 1 mit drei 2100 MHz-Quellen, dargestellt. Abbildung 483 zeigt zum Vergleich dazu die entsprechenden Feldbilder ohne die metallische Begrenzung der Karosserie und ohne die Fenster. Die Berechnungsergebnisse sind in Tabelle 79 bis Tabelle

81 zusammengefasst. Die Kopfseite auf der die Quellen betrieben werden ist jeweils neben der Personen-Nummer angegeben („l“...links, „r“...rechts, „-“... keine Quelle).

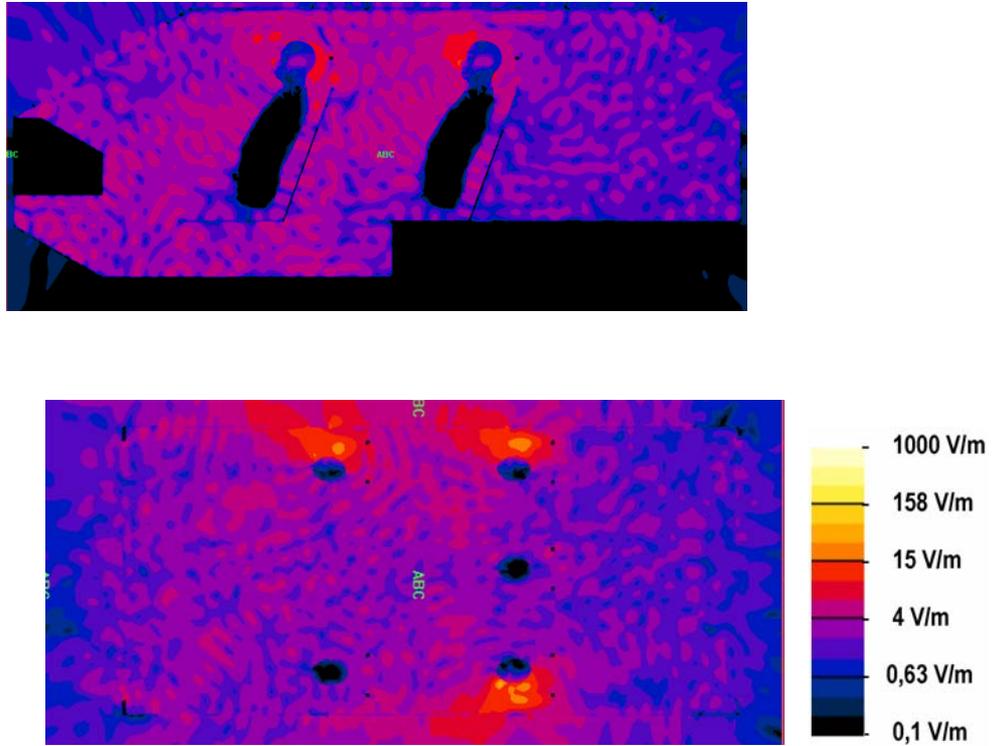


Abbildung 482: Feldverteilung in einer Vertikal- (oben) und einer Horizontal-Ebene (unten) durch den Kombi in Situation 1 bei 2100 MHz

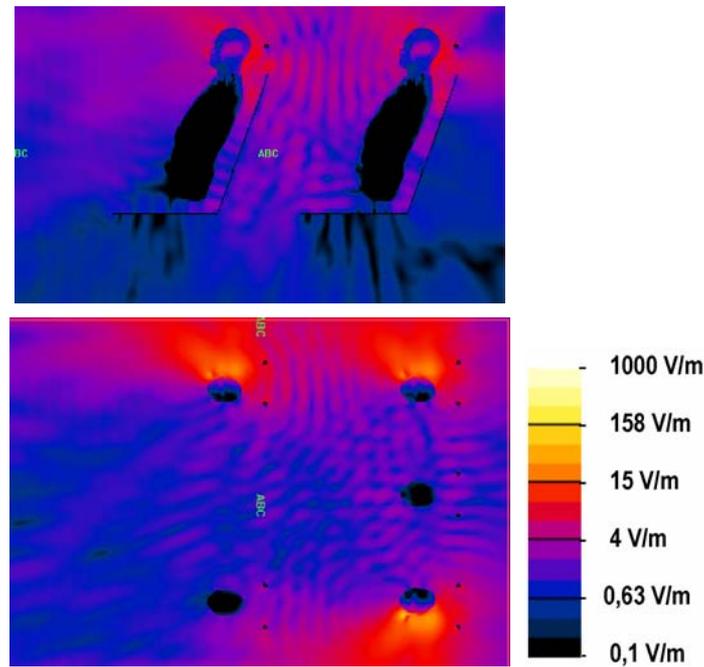


Abbildung 483: Feldverteilung in einer Vertikal- (oben) und einer Horizontal-Ebene (unten) mit einer Personen- und Quellenverteilung im Kombi wie in Situation 1, allerdings ohne die metallische Begrenzung der Fahrzeugkarosserie (2100 MHz)

900 MHz (250 mW pro Quelle)							
Szenario	Person	SAR _{10g} [W/kg]	SAR _{Kopf} [W/kg]	p25 [V/m]	p50 [V/m]	p75 [V/m]	Häufigkeitsverteilung
Situation 1 (3 Quellen)	1 r	1,08953	0,03425	3,35	4,24	5,27	
	2 -	0,00073	0,00025				
	3 r	1,12093	0,03536				
	4 -	0,00494	0,00094				
	5 l	1,19181	0,03537				
Situation 2 (3 Quellen)	1 -	0,00150	0,00035	4,25	5,82	10,8	
	2 -	0,00109	0,00026				
	3 l	1,10452	0,03416				
	4 r	1,08405	0,03349				
	5 r	1,08282	0,03333				

Tabelle 79: Berechnungsergebnisse für den Kombi bei 900 MHz

1800 MHz (125 mW pro Quelle)							
Szenario	Person	SAR _{10g} [W/kg]	SAR _{Kopf} [W/kg]	p25 [V/m]	p50 [V/m]	p75 [V/m]	Häufigkeitsverteilung
Situation 1 (3 Quellen)	1 r	0,79109	0,01381	1,57	2,35	3,39	
	2 -	0,00050	0,00008				
	3 r	0,77432	0,01381				
	4 -	0,00149	0,00011				
	5 l	0,83520	0,14267				
Situation 2 (3 Quellen)	1 -	0,00594	0,00060	4,62	6,47	9,46	
	2 -	0,00236	0,00027				
	3 l	0,84765	0,01428				
	4 r	0,74500	0,01261				
	5 r	0,77436	0,01330				

Tabelle 80: Berechnungsergebnisse für den Kombi bei 1800 MHz

2100 MHz (125 mW pro Quelle)							
Szenario	Person	SAR _{10g} [W/kg]	SAR _{Kopf} [W/kg]	p25 [V/m]	p50 [V/m]	p75 [V/m]	Häufigkeitsverteilung
Situation 1 (3 Quellen)	1 r	0,81676	0,01270	2,49	3,19	4,01	
	2 -	0,00128	0,00015				
	3 r	0,80190	0,01303				
	4 -	0,00236	0,00013				
	5 l	0,89185	0,01311				
Situation 2 (3 Quellen)	1 -	0,00488	0,00046	5,10	6,99	9,98	
	2 -	0,00295	0,00037				
	3 l	0,87619	0,01268				
	4 r	0,80163	0,01261				
	5 r	0,80946	0,01194				
Situation 1 ohne Begrenzung (3 Quellen)	1 r	0,81517	0,01243	0,84	1,11	1,52	
	2 -	0,00016	0,00002				
	3 r	0,81236	0,01229				
	4 -	0,00015	0,00002				
	5 l	0,85257	0,01253				

Tabelle 81: Berechnungsergebnisse für den Kombi bei 2100 MHz

11.4.4 Van (VW Touran)

11.4.4.1 Betrachtete Szenarien

Abbildung 484 zeigt schematisch die betrachteten Situationen hinsichtlich Personen- und Quellenverteilung in einem Van und Abbildung 485 Ansichten des Berechnungsmodells.

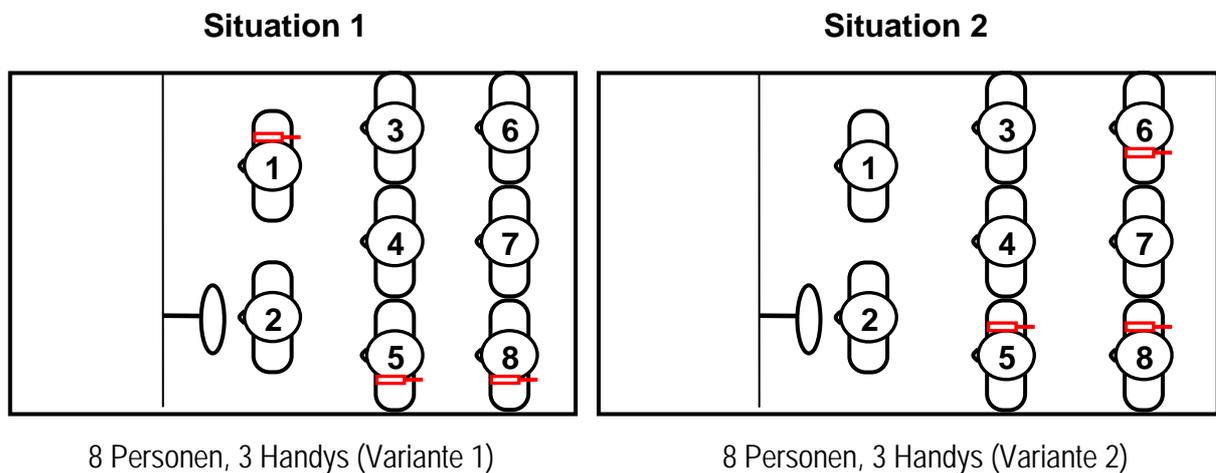


Abbildung 484: Betrachtete Situationen für Handynutzung in einem Van

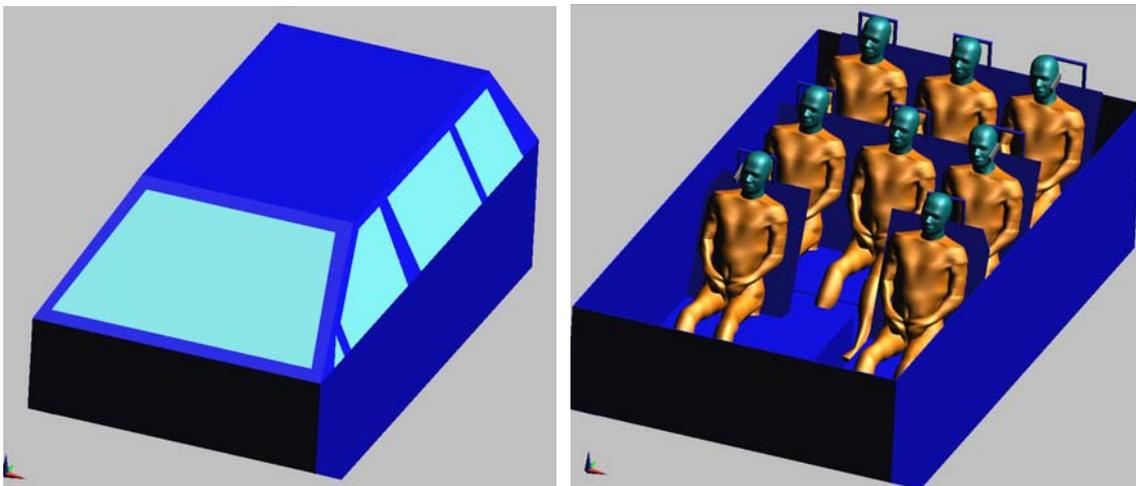


Abbildung 485: Berechnungsmodell in SEMCAD X

11.4.4.2 Berechnungsergebnisse

Zur Veranschaulichung der zu erwartenden räumlichen Feldverteilung ist in Abbildung 486 die Verteilung der elektrischen Feldstärke (Effektivwert) in einer Horizontal- und einer Vertikalebene in Kopfhöhe, bzw. durch die hinter dem Fahrer sitzenden Personen (Personen 5 und 8) für die Situation 1 mit drei 900 MHz-Quellen, dargestellt. Abbildung 487 zeigt zum

Vergleich dazu die entsprechenden Feldbilder ohne die metallische Begrenzung der Karosserie und ohne die Fenster. Die Berechnungsergebnisse sind in Tabelle 82 bis Tabelle 84 zusammengefasst.

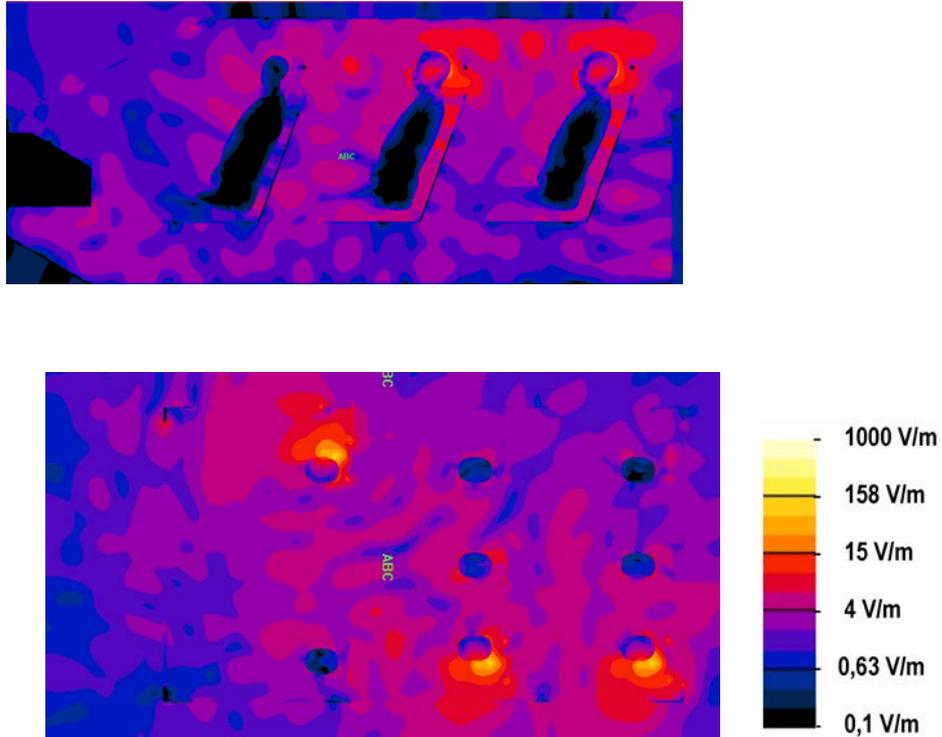


Abbildung 486: Feldverteilung in einer Vertikal- (oben) und einer Horizontal-Ebene (unten) durch den Van in Situation 1 bei 900 MHz

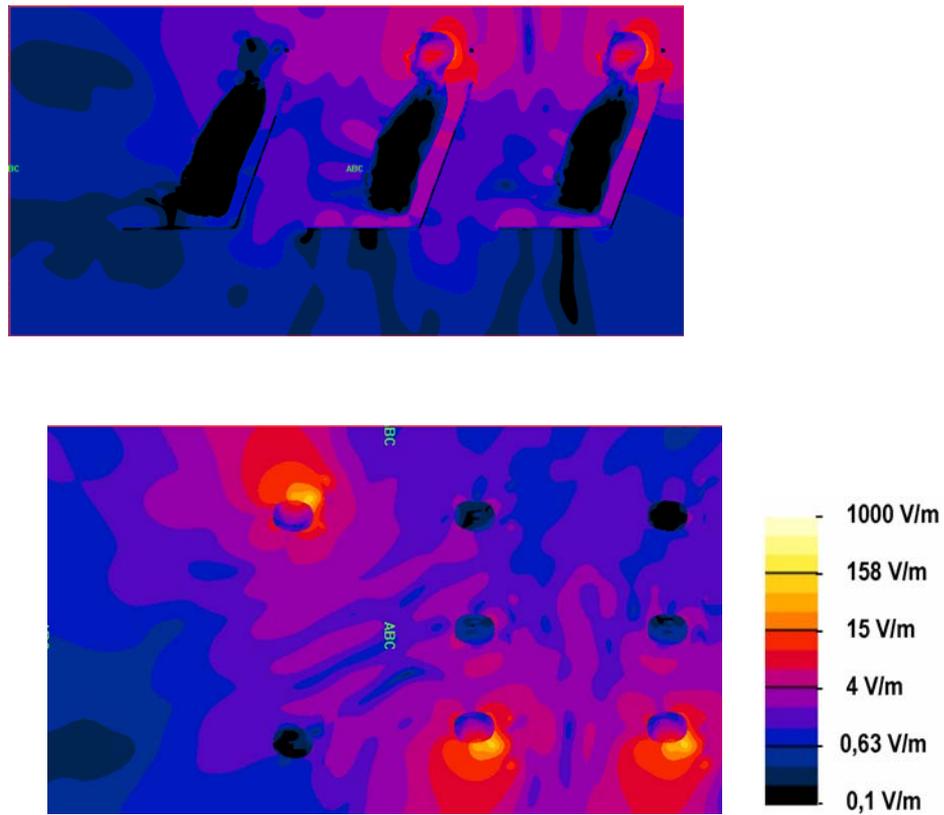


Abbildung 487: Feldverteilung in einer Vertikal- (oben) und einer Horizontal-Ebene (unten) mit einer Personen- und Quellenverteilung im Van wie in Situation 1, allerdings ohne die metallische Begrenzung der Fahrzeugkarosserie (900 MHz)

900 MHz (250 mW pro Quelle)							
Szenario	Person	SAR _{10g} [W/kg]	SAR _{Kopf} [W/kg]	p25 [V/m]	p50 [V/m]	p75 [V/m]	Häufigkeitsverteilung
Situation 1 (4 Quellen)	1 r	0,96118	0,03200	2,91	3,93	5,23	
	2 -	0,00198	0,00029				
	3 -	0,00100	0,00026				
	4 -	0,00431	0,00086				
	5 l	1,10255	0,03330				
	6 -	0,00036	0,00010				
	7 -	0,00283	0,00049				
	8 -	1,14941	0,03395				
Situation 2 (4 Quellen)	1 -	0,00282	0,00051	2,83	4,47	6,91	
	2 -	0,00034	0,00007				
	3 -	0,00392	0,00088				
	4 -	0,00360	0,00085				
	5 r	1,04140	0,03407				
	6 l	1,07694	0,03498				
	7 -	0,00899	0,00209				
	8 r	1,04568	0,03340				

Situation 1 ohne Begrenzung (4 Quellen)	1 r	0,97000	0,03224	1,65	2,22	3,03	
	2 -	0,00021	0,00004				
	3 -	0,00030	0,00006				
	4 -	0,00081	0,00019				
	5 l	1,12644	0,03345				
	6 -	0,00008	0,00002				
	7 -	0,00064	0,00015				
	8 -	1,13386	0,03352				

Tabelle 82: Berechnungsergebnisse für den Van bei 900 MHz

1800 MHz (125 mW pro Quelle)							
Szenario	Person	SAR _{10g} [W/kg]	SAR _{Kopf} [W/kg]	p25 [V/m]	p50 [V/m]	p75 [V/m]	Häufigkeitsverteilung
Situation 1 (4 Quellen)	1 r	0,78371	0,01444	2,12	2,84	3,75	
	2 -	0,00072	0,00015				
	3 -	0,00131	0,00009				
	4 -	0,00108	0,00015				
	5 l	0,83286	0,01447				
	6 -	0,00039	0,00006				
	7 -	0,00108	0,00015				
	8 -	0,84876	0,01451				
Situation 2 (4 Quellen)	1 -	0,00187	0,00033	3,46	4,85	7,11	
	2 -	0,00090	0,00016				
	3 -	0,00288	0,00038				
	4 -	0,00797	0,00104				
	5 r	0,83300	0,01451				
	6 l	0,90114	0,01507				
	7 -	0,01402	0,00148				
	8 r	0,82239	0,01480				

Tabelle 83: Berechnungsergebnisse für den Van bei 1800 MHz

2100 MHz (125 mW pro Quelle)							
Szenario	Person	SAR _{10g} [W/kg]	SAR _{Kopf} [W/kg]	p25 [V/m]	p50 [V/m]	p75 [V/m]	Häufigkeitsverteilung
Situation 1 (4 Quellen)	1 r	0,79286	0,01314	2,31	3,05	3,99	
	2 -	0,00094	0,00016				
	3 -	0,00062	0,00010				
	4 -	0,00126	0,00016				
	5 l	0,83536	0,01297				
	6 -	0,00058	0,00010				
	7 -	0,00074	0,00011				
	8 -	0,84834	0,01314				
Situation 2 (4 Quellen)	1 -	0,00099	0,00019	3,64	5,18	7,46	
	2 -	0,00090	0,00018				
	3 -	0,00369	0,00043				
	4 -	0,01351	0,00120				
	5 r	0,85062	0,01361				
	6 l	0,88852	0,01343				
	7 -	0,00698	0,00168				
	8 r	0,81334	0,01311				

Tabelle 84: Berechnungsergebnisse für den Van bei 2100 MHz

11.5 Bus

Wie in Kapitel 10 erläutert wurden für die großräumigen Szenarien, wie, z.B. den Bus jeweils 2 unterschiedliche räumliche Abschnitte für die Berechnungen betrachtet, nämlich jeweils einer etwa in der Mitte des Busses und einer am hinteren Ende des Busses. Das hintere Ende des Busses wurde im Sinne eines *worst case* gewählt, da hier eine größere Personendichte (Handynutzerdichte) nahe zur Begrenzung des Innenraumes (hintere Buswand bzw. Fenster) möglich ist, als dies unter realistischen Bedingungen am vorderen Ende des Busses möglich wäre (Bereich des Fahrers und Einstiegsbereich). Die Modellierung des Busses hinsichtlich Sitzplatzeinteilung und äußerem Erscheinungsbild (Karosserie) erfolgte anhand eines frei verfügbaren CAD Modells. Relevante Details, wie Haltegriffe, Sitze, sowie Fenster- und Türverglasungen wurden im Modell berücksichtigt.

11.5.1 Betrachtete Szenarien

Abbildung 473 zeigt Ansichten des Berechnungsmodells und Abbildung 489 zeigt schematisch die betrachteten Situationen hinsichtlich Personen- und Quellenverteilung im Bus.

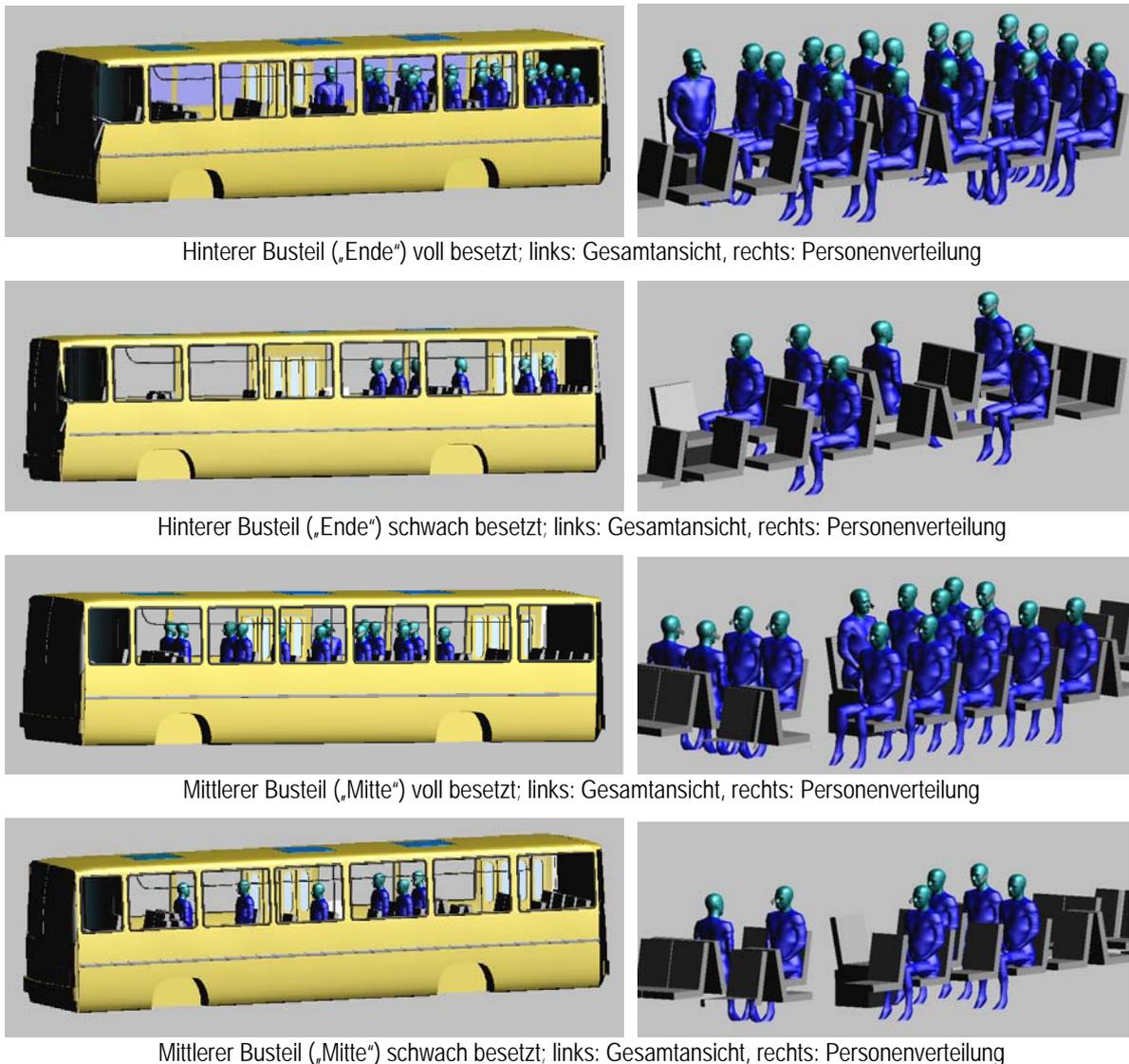


Abbildung 488: Berechnungsmodell in SEMCAD X

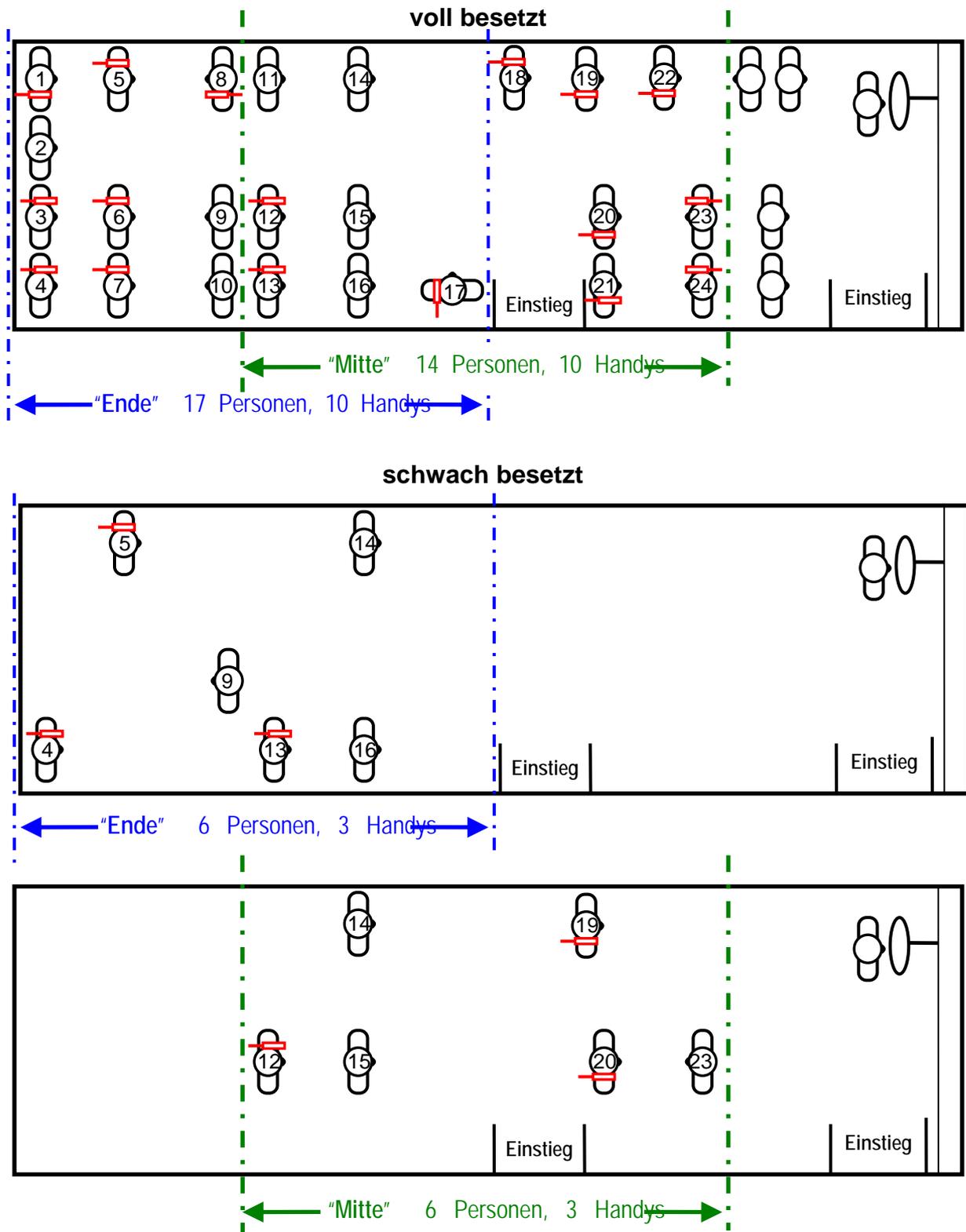


Abbildung 489: Betrachtete Situationen für Handynutzung in einem Bus

11.5.2 Berechnungsergebnisse

Zur Veranschaulichung der zu erwartenden räumlichen Feldverteilung ist in Abbildung 490 die Verteilung der elektrischen Feldstärke (Effektivwert) in einer Horizontal- und einer Vertikalebene in Kopfhöhe, bzw. durch die Passagierreihe auf der rechten Seite im Bus (durch Person 17, vgl. Abbildung 489), für die Situation bei voller Besetzung im hinteren Busteil mit 1800 MHz-Quellen, dargestellt. Abbildung 491 zeigt zum Vergleich dazu die entsprechenden Feldbilder ohne die metallische Begrenzung der Karosserie und ohne Fenster (allerdings mit Sitzen und sonstigem Businventar).

Die Berechnungsergebnisse sind in Tabelle 85 bis Tabelle 87 zusammengefasst.

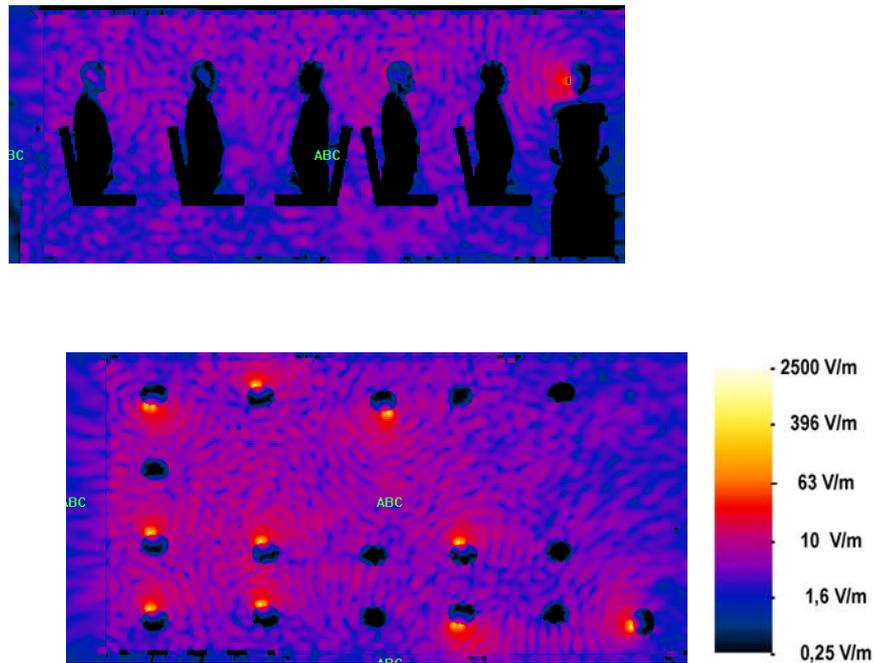


Abbildung 490: Feldverteilung im Bus in einer Vertikal- (oben) und einer Horizontal-Ebene (unten) bei voller Besetzung im hinteren Busteil bei 1800 MHz

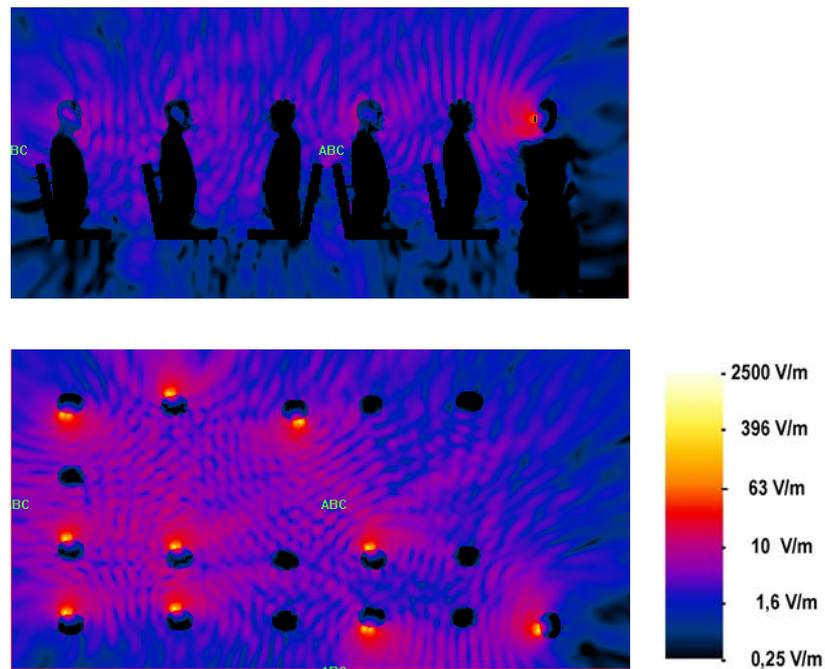


Abbildung 491: Feldverteilung in einer Vertikal- (oben) und einer Horizontal-Ebene (unten) mit einer Personen- und Quellenverteilung wie im Bus (hinten, volle Besetzung), allerdings ohne die metallische Begrenzung der Karosserie (1800 MHz)

900 MHz (250 mW pro Quelle)							
Szenario	Person	SAR _{10g} [W/kg]	SAR _{Kopf} [W/kg]	p25 [V/m]	p50 [V/m]	p75 [V/m]	Häufigkeitsverteilung
Voll besetzt „Ende“ (10 Quellen)	1 r	1,02367	0,03500	4,52	6,24	8,54	
	2 -	0,00482	0,00077				
	3 l	1,03801	0,03850				
	4 l	1,14932	0,03860				
	5 l	1,05829	0,03610				
	6 l	1,13176	0,03820				
	7 l	1,17021	0,03960				
	8 l	1,07972	0,03670				
	9 -	0,00663	0,00098				
	10 -	0,00534	0,00078				
	11 -	0,00350	0,00068				
	12 l	1,05820	0,03790				
	13 l	1,06301	0,03500				
	14 -	0,00239	0,00035				
	15 -	0,00294	0,00065				
	16 -	0,00387	0,00057				
	17 l	1,04861	0,03710				
Voll besetzt „Mitte“ (10 Quellen)	11 -	0,00330	0,00025	4,30	5,62	7,43	
	12 l	1,09162	0,03718				
	13 l	1,03678	0,03490				
	14 -	0,00344	0,00036				
	15 -	0,00349	0,00067				
	16 -	0,00909	0,00080				
	17 l	1,06364	0,03914				
	18 l	1,16030	0,03991				
	19 r	0,99852	0,03392				
	20 r	1,06346	0,03584				
	21 r	1,09187	0,03899				
22 r	0,96511	0,03344					
23 r	1,09446	0,03781					
24 r	1,02711	0,03584					
Schwach besetzt „Ende“ (3 Quellen)	4 l	1,14494	0,03840	2,24	3,12	4,19	
	5 l	1,08656	0,03680				
	9 -	0,00207	0,00025				
	13 l	1,10831	0,03690				
	14 -	0,00022	0,00005				
	16 -	0,00037	0,00008				
Schwach besetzt „Mitte“ (3 Quellen)	12 l	1,07712	0,03710	2,41	3,26	4,47	
	14 -	0,00095	0,00016				
	15 -	0,00096	0,00016				
	19 r	1,04631	0,03770				
	20 r	1,01387	0,03470				
	23 -	0,00072	0,00010				

Tabelle 85: Berechnungsergebnisse für den Bus bei 900 MHz

1800 MHz (125 mW pro Quelle)							
Szenario	Person	SAR _{10g} [W/kg]	SAR _{Kopf} [W/kg]	p25 [V/m]	p50 [V/m]	p75 [V/m]	Häufigkeitsverteilung
Voll besetzt „Ende“ (10 Quellen)	1 r	0,86911	0,01550	3,57	4,93	6,75	
	2 -	0,00506	0,00072				
	3 l	0,84024	0,01630				
	4 l	0,87648	0,01480				
	5 l	0,87427	0,01540				
	6 l	0,88122	0,01680				
	7 l	0,87313	0,01630				
	8 l	0,86808	0,01640				
	9 -	0,00445	0,00049				
	10 -	0,00245	0,00028				
	11 -	0,00333	0,00031				
	12 l	0,85112	0,01520				
	13 l	0,76936	0,01400				
	14 -	0,00091	0,00015				
	15 -	0,00271	0,00035				
	16 -	0,00230	0,00028				
	17 l	0,89515	0,01610				
Voll besetzt „Mitte“ (10 Quellen)	11 -	0,00153	0,00013	3,66	4,88	6,55	
	12 l	0,85254	0,01360				
	13 l	0,81767	0,01524				
	14 -	0,00695	0,00022				
	15 -	0,00209	0,00029				
	16 -	0,00455	0,00026				
	17 l	0,80359	0,01386				
	18 l	0,87929	0,01515				
	19 r	0,74553	0,01307				
	20 r	0,70867	0,01454				
	21 r	0,74883	0,01517				
	22 r	0,78387	0,01375				
	23 r	0,74029	0,01438				
24 r	0,77077	0,01462					
Schwach besetzt „Ende“ (3 Quellen)	4 l	0,84893	0,01520	1,92	2,62	3,45	
	5 l	0,86417	0,01500				
	9 -	0,00142	0,00015				
	13 l	0,81025	0,01440				
	14 -	0,00523	0,00005				
	16 -	0,00062	0,00006				
Schwach besetzt „Mitte“ (3 Quellen)	12 l	0,83074	0,01470	2,07	2,80	3,79	
	14 -	0,00103	0,00009				
	15 -	0,00070	0,00008				
	19 r	0,77108	0,01440				
	20 r	0,69684	0,01360				
	23 -	0,00122	0,00013				

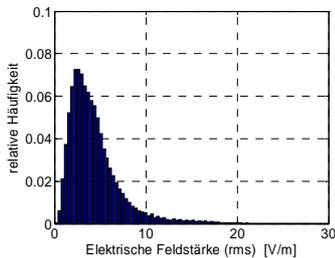
Voll besetzt „Ende“ ohne Begrenzung (10 Quellen)	1 r	0,82256	0,01466	2,45	3,73	5,45	
	2 -	0,00468	0,00052				
	3 l	0,82212	0,01429				
	4 l	0,85322	0,01459				
	5 l	0,84846	0,01530				
	6 l	0,84044	0,01613				
	7 l	0,86773	0,01607				
	8 l	0,86462	0,01630				
	9 -	0,00218	0,00023				
	10 -	0,00086	0,00013				
	11 -	0,00206	0,00016				
	12 l	0,82971	0,01510				
	13 l	0,76650	0,01390				
	14 -	0,00058	0,00005				
	15 -	0,00218	0,00022				
	16 -	0,00197	0,00021				
	17 l	0,88455	0,01607				

Tabelle 86: Berechnungsergebnisse für den Bus bei 1800 MHz

2100 MHz (125 mW pro Quelle)							
Szenario	Person	SAR _{10g} [W/kg]	SAR _{Kopf} [W/kg]	p25 [V/m]	p50 [V/m]	p75 [V/m]	Häufigkeitsverteilung
Voll besetzt „Ende“ (10 Quellen)	1 r	0,82421	0,01375	3,71	5,13	7,08	
	2 -	0,00975	0,00103				
	3 l	0,98750	0,01327				
	4 l	0,96069	0,01283				
	5 l	0,95760	0,01312				
	6 l	0,97456	0,01515				
	7 l	1,05232	0,01425				
	8 l	1,01279	0,01336				
	9 -	0,00404	0,00043				
	10 -	0,00150	0,00023				
	11 -	0,00345	0,00029				
	12 l	0,96447	0,01478				
	13 l	0,75054	0,01224				
	14 -	0,00085	0,00012				
	15 -	0,00185	0,00023				
	16 -	0,00307	0,00029				
	17 l	0,96398	0,01210				
Voll besetzt „Mitte“ (10 Quellen)	11 -	0,00132	0,00017	3,81	5,01	6,60	
	12 l	0,99053	0,01364				
	13 l	0,76517	0,01221				
	14 -	0,00249	0,00027				
	15 -	0,00431	0,00030				
	16 -	0,00347	0,00035				
	17 l	0,94183	0,01394				
	18 l	0,97345	0,01386				
	19 r	0,79596	0,01223				
	20 r	0,81597	0,01348				
	21 r	0,81612	0,01438				
	22 r	0,75369	0,01201				
23 r	0,77314	0,01313					
24 r	0,76566	0,01208					
Schwach besetzt „Ende“ (3 Quellen)	4 l	0,97104	0,01240	1,90	2,61	3,54	
	5 l	0,99518	0,01260				
	9 -	0,00101	0,00009				
	13 l	0,76656	0,01260				
	14 -	0,00036	0,00004				
	16 -	0,00089	0,00007				
Schwach besetzt „Mitte“ (3 Quellen)	12 l	0,95051	0,01320	2,17	2,93	3,94	
	14 -	0,00072	0,00009				
	15 -	0,00099	0,00009				
	19 r	0,79340	0,01330				
	20 r	0,80828	0,01300				
	23 -	0,00137	0,00009				

Tabelle 87: Berechnungsergebnisse für den Bus bei 2100 MHz

11.6 U-/S-Bahn

Wie in Kapitel 10 erläutert wurden für die großräumigen Szenarien, zu denen auch das U/S-Bahn-Szenario gehört, jeweils 2 unterschiedliche räumliche Abschnitte für die Berechnungen betrachtet, nämlich jeweils einer etwa in der Mitte der U/S-Bahngarnitur und einer am hinteren Ende. Das hintere Ende des Zuges wurde im Sinne eines *worst case* gewählt, da hier eine größere Personendichte (Handynutzerdichte) nahe zur Begrenzung des Innenraumes (hintere Wand bzw. Fenster) möglich ist, als dies unter realistischen Bedingungen und unter Zugrundelegung der gewählten Zugtype (Typ 481, Bauart 1995, z.B. eingesetzt als S-Bahn in Berlin) am vorderen Ende des Zuges möglich wäre. Die Modellierung erfolgte auf Basis im Internet frei verfügbarer technischer Zeichnungen des betrachteten Zugtyps. Relevante Details, wie Haltegriffe, Gepäckablage, Sitze, sowie Fenster- und Türverglasungen wurden im Modell berücksichtigt.

11.6.1 Betrachtete Szenarien

Abbildung 492 zeigt schematisch die betrachteten Situationen hinsichtlich Personen- und Quellenverteilung in der U-/S-Bahn-Garnitur und Abbildung 493 Ansichten des Berechnungsmodells.

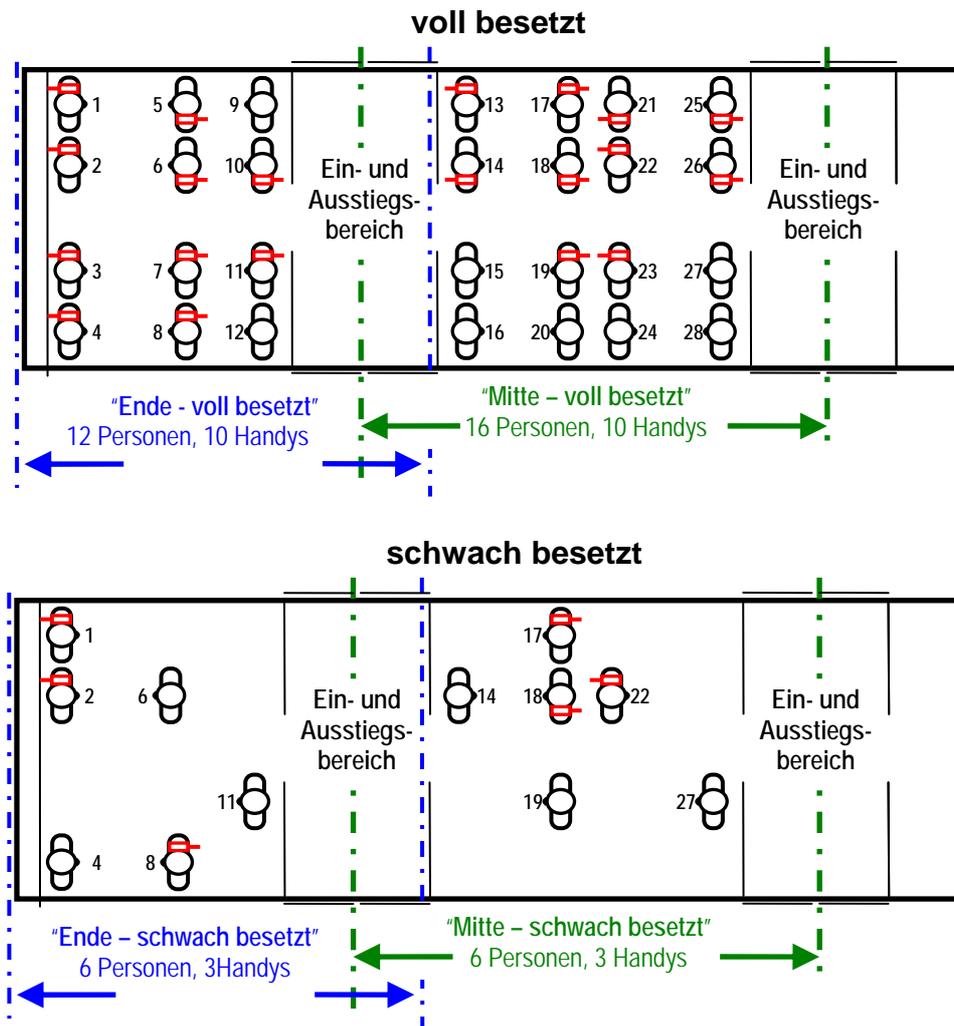
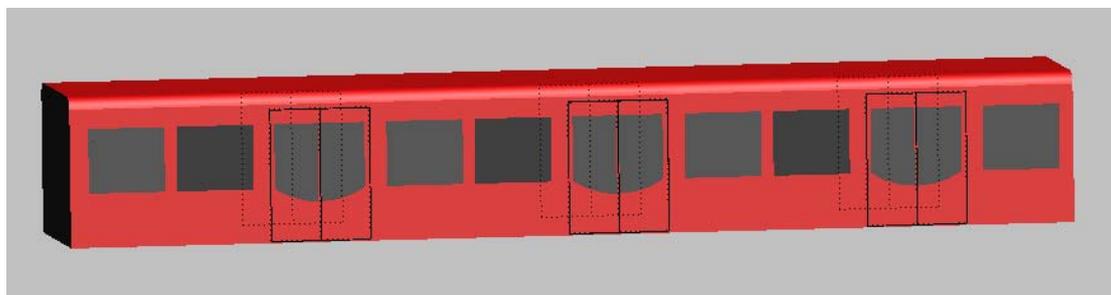
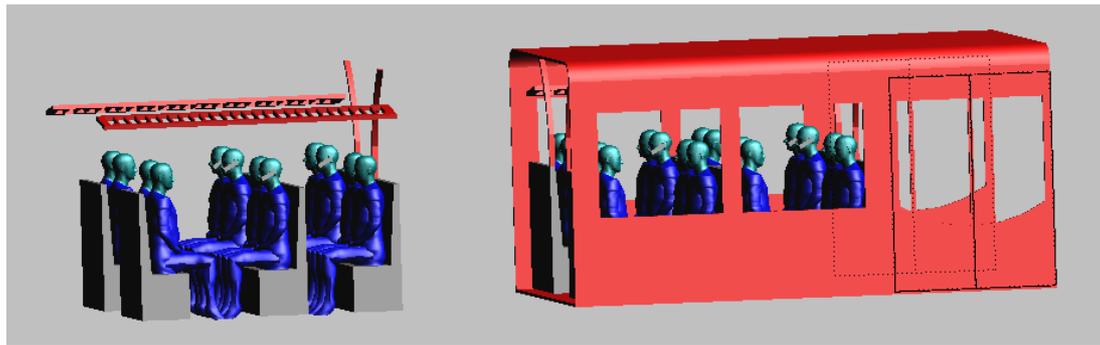


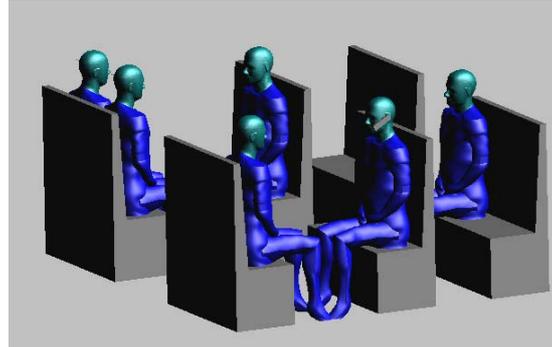
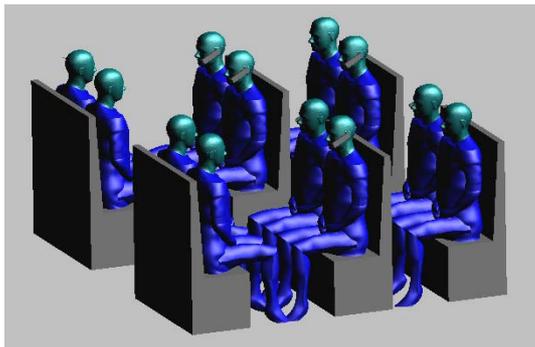
Abbildung 492: Betrachtete Situationen für Handynutzung in einer U-/S-Bahn-Garnitur



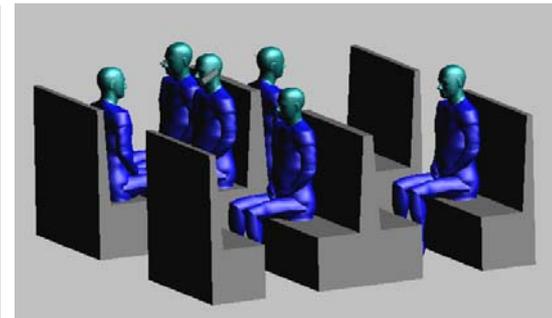
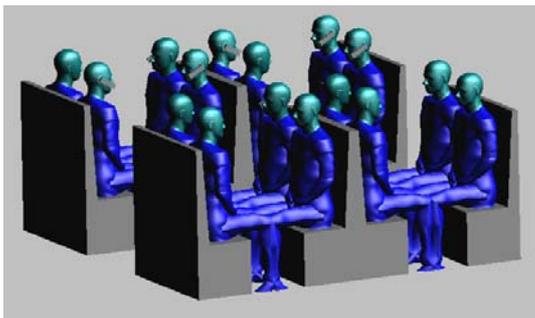
Gesamtansicht



Vergrößerung des hinteren Zugteils („Ende“ ohne Karosserie dargestellt; „Mitte“ mit Karosserie dargestellt)



Personenverteilung im mittleren Zugteil („Mitte“); links: volle Besetzung, rechts: schwache Besetzung



Personenverteilung im hinteren Zugteil („Ende“); links: volle Besetzung, rechts: schwache Besetzung

Abbildung 493: SEMCAD X Berechnungsmodell der U-/S-Bahn-Garnitur

11.6.2 Berechnungsergebnisse

Zur Veranschaulichung der zu erwartenden räumlichen Feldverteilung ist in Abbildung 494 die Verteilung der elektrischen Feldstärke (Effektivwert) in einer Horizontal- und einer Vertikalebene in Kopfhöhe, bzw. durch die Passagierreihe auf der rechten Seite in der Bahn (durch Personen 15, 19, 23 und 27, vgl. Abbildung 492), für die Situation bei voller Besetzung in der Zugmitte mit 900 MHz-Quellen, dargestellt. Abbildung 495 zeigt zum Vergleich dazu die entsprechenden Feldbilder ohne die metallische Begrenzung der Zugkarosserie und ohne Fenster (allerdings mit Sitzen und sonstigem Zuginventar). Die Berechnungsergebnisse sind in Tabelle 88 bis Tabelle 90 zusammengefasst.

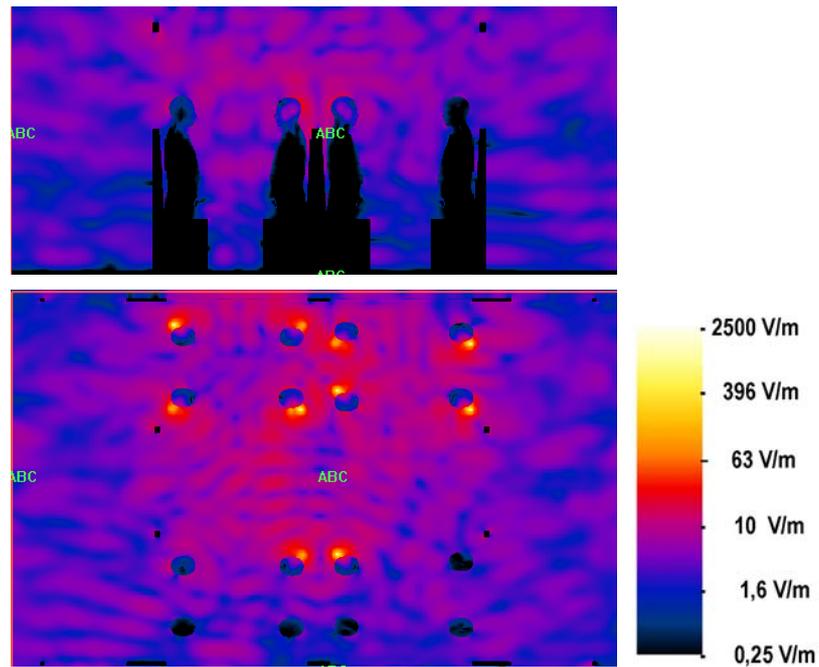


Abbildung 494: Feldverteilung in der U-/S-Bahn in einer Vertikal- (oben) und einer Horizontal-Ebene (unten)
Bei voller Besetzung in Zugmitte (10 aktive Quellen bei 900 MHz, je 125 mW)

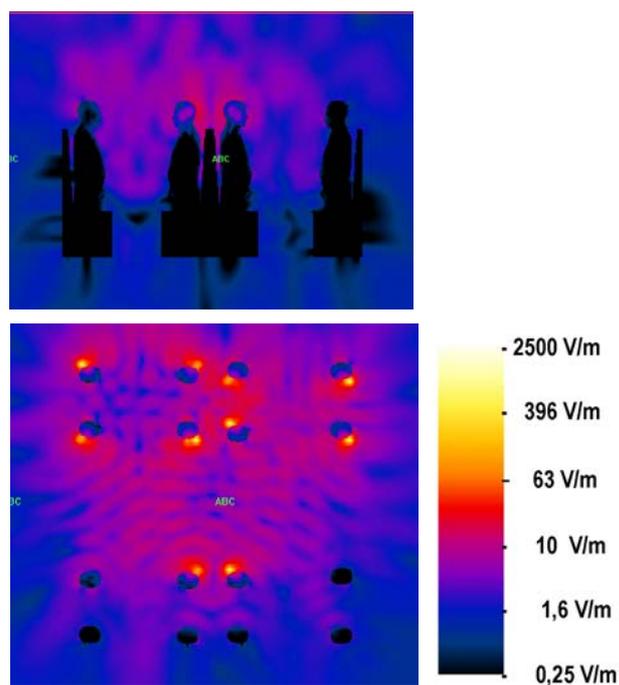


Abbildung 495: Feldverteilung in einer Vertikal- (oben) und einer Horizontal-Ebene (unten) mit einer Personen- und Quellenverteilung wie im U-/S-Bahn-Wagen (Zugmitte, volle Besetzung), allerdings ohne die metallische Begrenzung der Zugkarosserie (900 MHz)

900 MHz (250 mW pro Quelle)							
Szenario	Person	SAR _{10g} [W/kg]	SAR _{Kopf} [W/kg]	p25 [V/m]	p50 [V/m]	p75 [V/m]	Häufigkeitsverteilung
Voll besetzt „Ende“ (10 Quellen)	1 l	1,11234	0,03680	3,48	5,47	8,02	
	2 l	1,12448	0,03780				
	3 l	1,15309	0,03770				
	4 l	1,17155	0,03410				
	5 l	1,08541	0,03100				
	6 l	1,09897	0,03190				
	7 r	1,00963	0,02880				
	8 r	1,09504	0,02980				
	9 -	0,00165	0,00022				
	10 l	1,03387	0,03150				
	11 r	1,00546	0,02950				
	12 -	0,00131	0,00027				
Voll besetzt „Mitte“ (10 Quellen)	13 l	1,09438	0,03690	3,42	4,48	7,24	
	14 r	1,05719	0,03630				
	15 -	0,00383	0,00074				
	16 -	0,00115	0,00012				
	17 r	0,96428	0,03200				
	18 l	1,14568	0,03570				
	19 r	1,04260	0,03590				
	20 -	0,00097	0,00019				
	21 r	1,03981	0,03790				
	22 l	1,14338	0,04090				
	23 l	1,16296	0,03890				
	24 -	0,00097	0,00021				
	25 l	1,11209	0,03610				
	26 l	1,13437	0,03940				
27 -	0,00169	0,00017					
28 -	0,00108	0,00019					
Schwach besetzt „Ende“ (3 Quellen)	1 l	1,08612	0,03770	1,72	2,44	3,55	
	2 l	1,13134	0,03860				
	4 -	0,00078	0,00011				
	6 -	0,00117	0,00016				
	8 r	1,05608	0,03590				
	11 -	0,00123	0,00007				
Schwach besetzt „Mitte“ (3 Quellen)	14 -	0,00067	0,00012	1,78	2,41	3,36	
	17 r	1,09786	0,03680				
	18 l	1,02171	0,03420				
	19 -	1,00200	0,00008				
	22 l	1,00787	0,03420				
27 -	0,00016	0,00014					
Voll besetzt „Mitte“ ohne Begrenzung (10 Quellen)	13 l	1,11899	0,03775	2,13	3,84	6,49	
	14 r	1,06754	0,03640				
	15 -	0,00167	0,00037				
	16 -	0,00042	0,00003				
	17 r	0,99432	0,03357				
	18 l	1,15184	0,03483				
	19 r	1,04245	0,03583				
	20 -	0,00076	0,00013				
	21 r	1,02221	0,03811				
	22 l	1,08507	0,04036				
	23 l	1,16403	0,04003				
	24 -	0,00066	0,00011				
	25 l	1,08556	0,03573				
	26 l	1,09454	0,03777				
27 -	0,00063	0,00006					
28 -	0,00063	0,00009					

Tabelle 88: Berechnungsergebnisse für die U-/S-Bahn bei 900 MHz

1800 MHz (125 mW pro Quelle)							
Szenario	Person	SAR _{10g} [W/kg]	SAR _{Kopf} [W/kg]	p25 [V/m]	p50 [V/m]	p75 [V/m]	Häufigkeitsverteilung
Voll besetzt „Ende“ (10 Quellen)	1 l	0,92742	0,01580	2,99	4,61	6,70	
	2 l	0,85516	0,01480				
	3 l	0,87763	0,01680				
	4 l	0,86872	0,01480				
	5 l	0,82247	0,01540				
	6 l	0,84758	0,01580				
	7 r	0,77551	0,01440				
	8 r	0,86455	0,01490				
	9 -	0,00143	0,00016				
	10 l	0,86546	0,01580				
	11 r	0,82506	0,01460				
	12 -	0,00375	0,00019				
Voll besetzt „Mitte“ (10 Quellen)	13 l	0,88951	0,01530	3,01	4,20	6,14	
	14 r	0,79232	0,01440				
	15 -	0,00338	0,00025				
	16 -	0,00080	0,00013				
	17 r	0,81002	0,01470				
	18 l	0,92826	0,01510				
	19 r	0,75001	0,01450				
	20 -	0,00152	0,00017				
	21 r	0,77639	0,01430				
	22 l	0,87377	0,01700				
	23 l	0,85570	0,01610				
	24 -	0,00199	0,00017				
	25 l	0,89335	0,01520				
	26 l	0,90430	0,01550				
27 -	0,00186	0,00017					
28 -	0,00188	0,00015					
Schwach besetzt „Ende“ (3 Quellen)	1 l	0,89992	0,01560	1,57	2,35	3,39	
	2 l	0,85590	0,01510				
	4 -	0,00060	0,00007				
	6 -	0,00182	0,00014				
	8 r	0,78642	0,01460				
	11 -	0,00077	0,00006				
Schwach besetzt „Mitte“ (3 Quellen)	14 -	0,00090	0,00008	1,69	2,36	3,33	
	17 r	0,81416	0,01460				
	18 l	0,78082	0,01430				
	19 -	0,00080	0,00013				
	22 l	0,77659	0,01385				
	27 -	0,00068	0,00009				

Tabelle 89: Berechnungsergebnisse für die U-/S-Bahn bei 1800 MHz

2100 MHz (125 mW pro Quelle)							
Szenario	Person	SAR _{10g} [W/kg]	SAR _{Kopf} [W/kg]	p25 [V/m]	p50 [V/m]	p75 [V/m]	Häufigkeitsverteilung
Voll besetzt „Ende“ (10 Quellen)	1 l	0,93102	0,01440	3,07	4,64	6,79	
	2 l	0,98039	0,01380				
	3 l	0,93794	0,01510				
	4 l	0,97017	0,01390				
	5 l	0,96140	0,01450				
	6 l	0,93864	0,01450				
	7 r	0,79370	0,01320				
	8 r	0,94926	0,01410				
	9 -	0,00226	0,00018				
	10 l	0,95569	0,01410				
	11 r	0,75795	0,01296				
	12 -	0,00173	0,00015				
Voll besetzt „Mitte“ (10 Quellen)	13 l	0,97847	0,01380	3,21	4,44	6,43	
	14 r	0,76502	0,01310				
	15 -	0,00236	0,00028				
	16 -	0,00124	0,00013				
	17 r	0,77755	0,01300				
	18 l	1,05803	0,01420				
	19 r	0,77568	0,01320				
	20 -	0,00169	0,00019				
	21 r	0,77295	0,01290				
	22 l	0,98958	0,01400				
	23 l	1,03526	0,01420				
	24 -	0,00137	0,00020				
	25 l	0,96767	0,01370				
	26 l	0,94805	0,01370				
27 -	0,00213	0,00025					
28 -	0,00135	0,00014					
Schwach besetzt „Ende“ (3 Quellen)	1 l	0,97917	0,01460	1,48	2,16	3,08	
	2 l	0,99147	0,01370				
	4 -	0,00078	0,00005				
	6 -	0,00118	0,00013				
	8 r	0,80228	0,01320				
	11 -	0,00137	0,00007				
Schwach besetzt „Mitte“ (3 Quellen)	14 -	0,00109	0,00008	1,77	2,44	3,41	
	17 r	0,72113	0,01280				
	18 l	0,76896	0,01270				
	19 -	0,00197	0,00013				
	22 l	0,79601	0,01250				
	27 -	0,00083	0,00010				

Tabelle 90: Berechnungsergebnisse für die U-/S-Bahn bei 2100 MHz

11.7 ICE-Wagen

Wie in Kapitel 10 erläutert, wurden für die großräumigen Szenarien, zu denen auch das ICE-Szenario gehört, jeweils 2 unterschiedliche räumliche Abschnitte für die Berechnungen betrachtet, nämlich jeweils einer etwa in der Mitte der U/S-Bahngarnitur und einer am hinteren Ende. Die Modellierung des ICE-Wagens erfolgte auf Basis im Internet frei verfügbarer technischer Zeichnungen des betrachteten Zugtyps (ICE 2, 402). Relevante Details, wie Haltegriffe, Sitze, Gepäckablage, sowie Fenster- und Türverglasungen wurden im Modell berücksichtigt.

11.7.1 Betrachtete Szenarien

Abbildung 496 zeigt schematisch die betrachteten Situationen hinsichtlich Personen- und Quellenverteilung im ICE-Wagen und Abbildung 497 Ansichten des Berechnungsmodells.

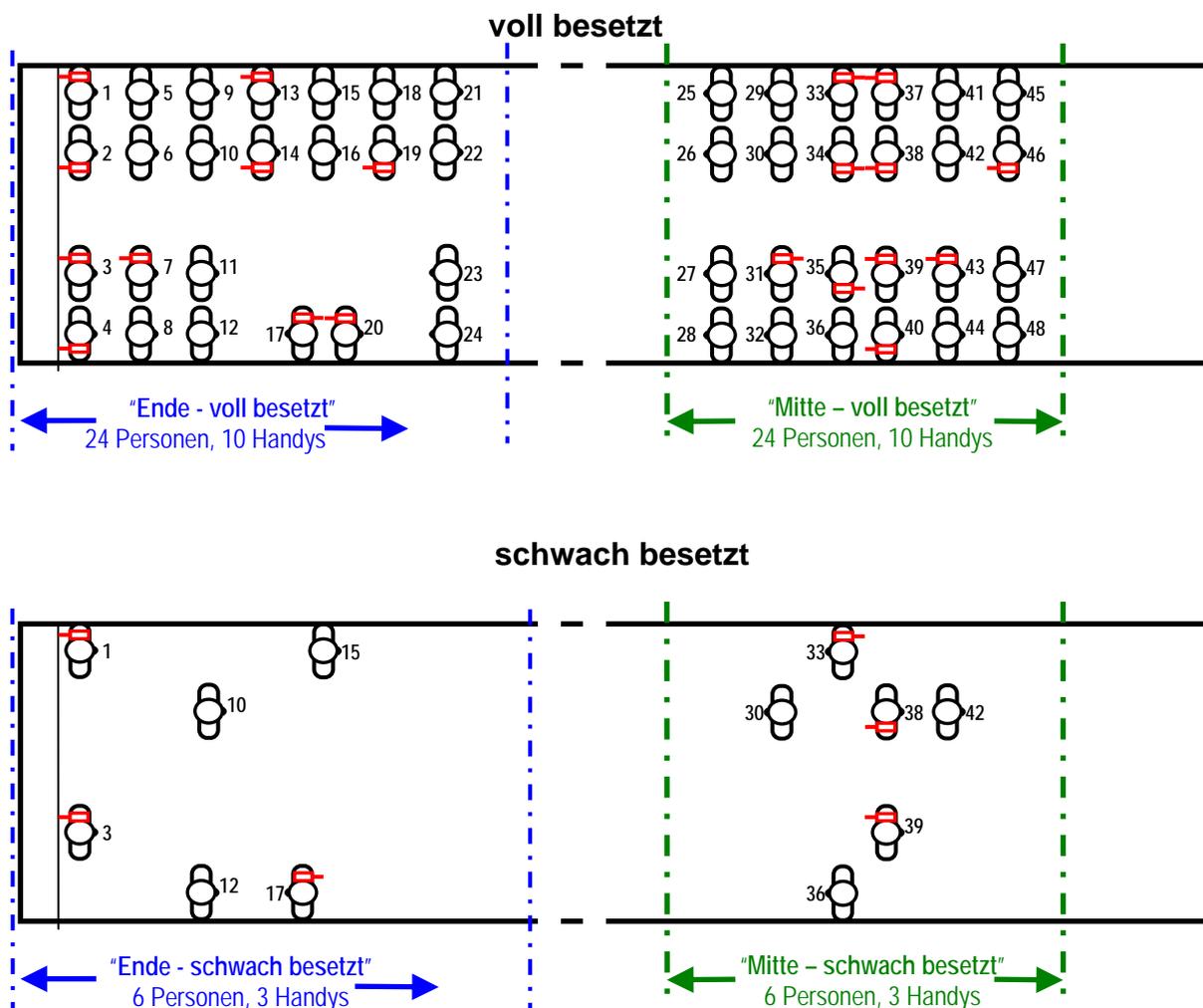
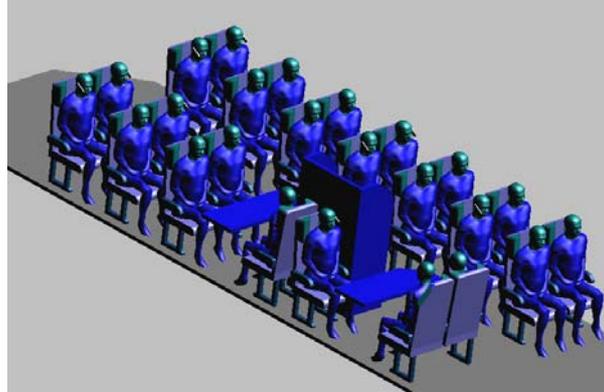
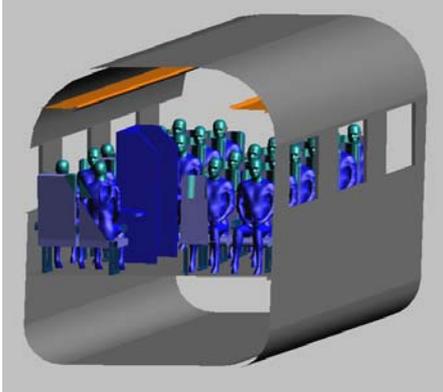
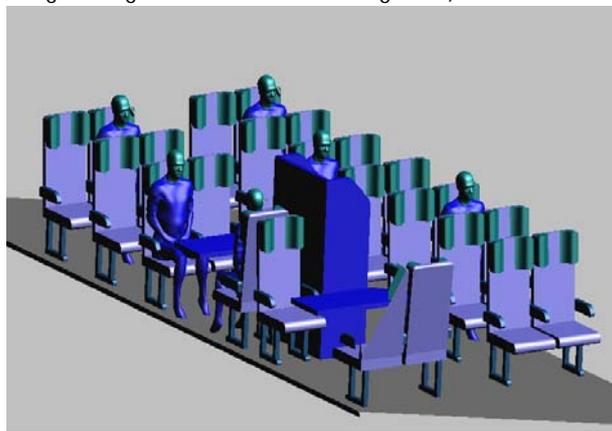
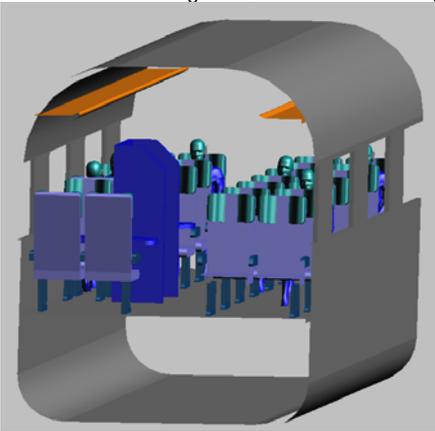


Abbildung 496: Betrachtete Situationen für Handynutzung in einem ICE-Wagen

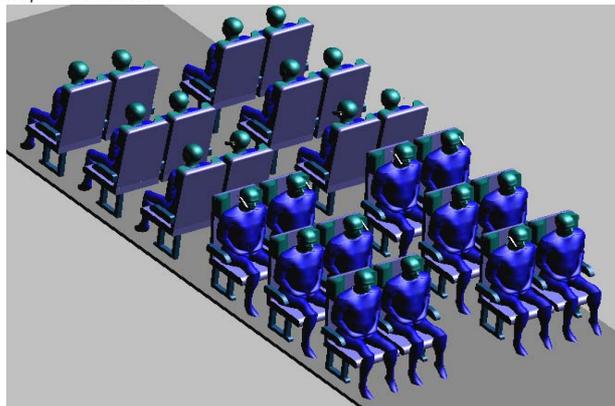
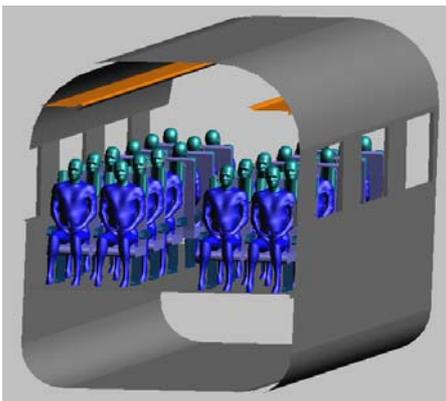
Zugende, voll besetzt (stirnseitige Begrenzung in Ansicht links nicht dargestellt)



Zugende, schwach besetzt (stirnseitige Begrenzung in Ansicht links nicht dargestellt)



Zugmitte, voll besetzt



Zugmitte, schwach besetzt

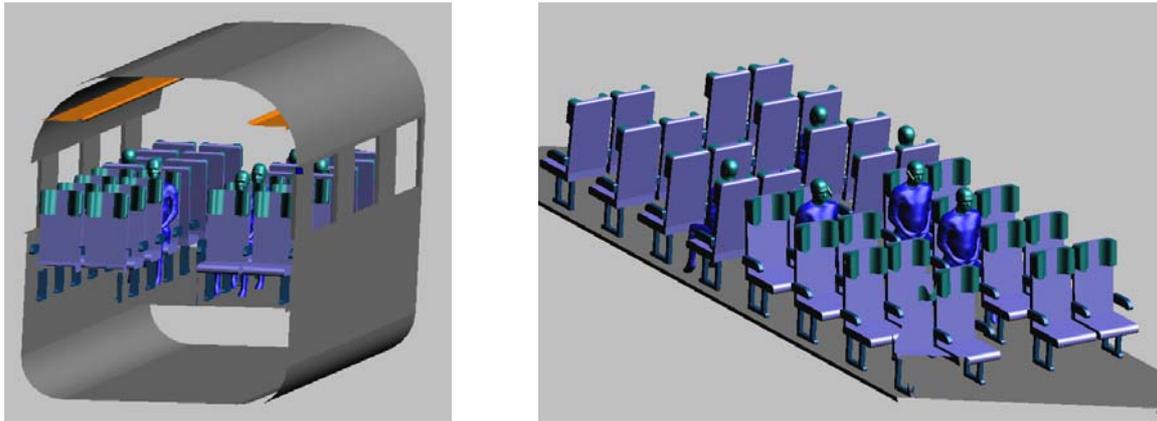


Abbildung 497: Berechnungsmodell in SEMCAD X

11.7.2 Berechnungsergebnisse

Zur Veranschaulichung der zu erwartenden räumlichen Feldverteilung ist in Abbildung 498 die Verteilung der elektrischen Feldstärke (Effektivwert) in einer Horizontal- und einer Vertikalebene in Kopfhöhe, bzw. durch die rechts gangseitig sitzende Personenreihe (durch Personen 2, 6, 10, 14, 16, 19, 22, vgl. Abbildung 496), für die Situation bei voller Besetzung am Zugende mit 900 MHz-Quellen, dargestellt. Abbildung 499 zeigt zum Vergleich dazu die entsprechenden Feldbilder ohne die metallische Begrenzung der Zugkarosserie und ohne Fenster (allerdings mit Sitzen und sonstigem Zuginventar). Die Berechnungsergebnisse sind in Tabelle 91 bis Tabelle 95 zusammengefasst.

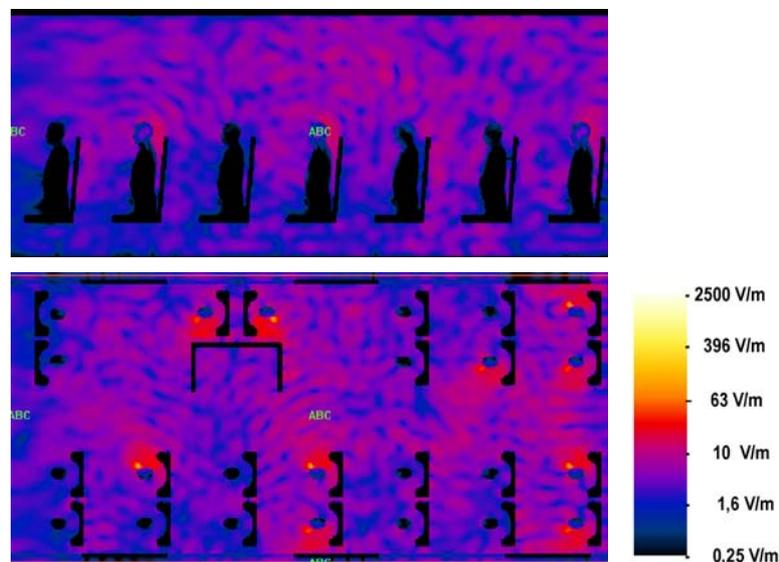


Abbildung 498: Feldverteilung im ICE-Wagen in einer Vertikal- (oben) und einer Horizontal-Ebene (unten) bei voller Besetzung am Zugende mit 900 MHz – Quellen

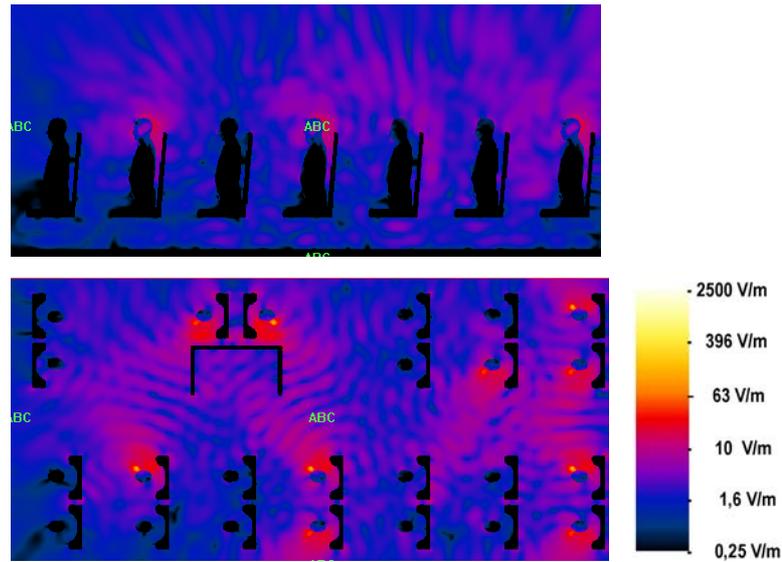


Abbildung 499: Feldverteilung in einer Vertikal- (oben) und einer Horizontal-Ebene (unten) mit einer Personen- und Quellenverteilung wie im ICE-Wagen (Zugende, volle Besetzung), allerdings ohne die metallische Begrenzung der Zugkarosserie (900 MHz)

900 MHz (250 mW pro Quelle)							
Szenario	Person	SAR _{10g} [W/kg]	SAR _{Kopf} [W/kg]	p25 [V/m]	p50 [V/m]	p75 [V/m]	Häufigkeitsverteilung
Voll besetzt „Ende“ (10 Quellen)	1 l	1,15275	0,03938	3,35	4,48	5,97	
	2 r	1,06795	0,03463				
	3 l	1,20355	0,03967				
	4 r	1,16323	0,03591				
	5 -	0,00229	0,00025				
	6 -	0,00191	0,00029				
	7 l	1,17699	0,03866				
	8 -	0,00169	0,00032				
	9 -	0,00300	0,00032				
	10 -	0,00341	0,00043				
	11 -	0,00246	0,00033				
	12 -	0,00597	0,00047				
	13 l	1,17053	0,03920				
	14 r	1,00607	0,03260				
15 -	0,00094	0,00014					
16 -	0,00091	0,00013					
17 r	1,15607	0,03910					
18 -	0,00055	0,00011					
19 r	1,02408	0,03500					
20 l	1,16581	0,03868					
21 -	0,00062	0,00013					
22 -	0,00049	0,00009					
23 -	0,00133	0,00025					
24 -	0,00318	0,00026					
Voll besetzt „Mitte“ (10 Quellen)	25 -	0,00071	0,00013	3,18	4,40	6,0	
	26 -	0,00085	0,00018				
	27 -	0,00062	0,00011				
	28 -	0,00034	0,00008				
	29 -	0,00075	0,00013				
	30 -	0,00115	0,00025				
	31 r	1,13709	0,03698				
	32 -	0,00083	0,00015				
	33 r	1,13331	0,03902				
	34 l	1,16219	0,03795				
	35 l	1,10504	0,03730				
	36 -	0,00519	0,00066				
	37 l	1,76573	0,04100				
	38 r	1,09785	0,03776				
	39 l	1,12774	0,03777				

	40 r	1,15953	0,03470				
	41 -	0,00079	0,00017				
	42 -	0,00219	0,00033				
	43 l	1,13088	0,03652				
	44 -	0,00139	0,00027				
	45 -	0,00076	0,00014				
	46 -	1,08001	0,03662				
	47 -	0,00193	0,00027				
	48 -	0,00135	0,00028				
Voll besetzt „Ende“ ohne Begrenzung (10 Quellen)	1 l	1,18677	0,03790	2,11	2,94	4,19	
	2 r	1,05403	0,03450				
	3 l	1,19042	0,03886				
	4 r	1,13020	0,03510				
	5 -	0,00138	0,00013				
	6 -	0,00093	0,00018				
	7 l	1,20088	0,03890				
	8 -	0,00082	0,00015				
	9 -	0,00112	0,00015				
	10 -	0,00138	0,00155				
	11 -	0,00044	0,00009				
	12 -	0,00099	0,00011				
	13 l	1,18104	0,03798				
	14 r	1,03599	0,03350				
	15 -	0,00029	0,00005				
	16 -	0,00042	0,00005				
	17 r	1,18392	0,03890				
	18 -	0,00042	0,00006				
	19 r	1,04077	0,03480				
	20 l	1,13037	0,03870				
	21 -	0,00012	0,00002				
	22 -	0,00007	0,00001				
	23 -	0,00083	0,00013				
	24 -	0,00073	0,00008				

Tabelle 91: Berechnungsergebnisse für den voll besetzten ICE-Wagen bei 900 MHz

900 MHz (250 mW pro Quelle)							
Szenario	Person	SAR _{10g} [W/kg]	SAR _{Kopf} [W/kg]	p25 [V/m]	p50 [V/m]	p75 [V/m]	Häufigkeitsverteilung
Schwach besetzt „Ende“ (3 Quellen)	1 l	1,16511	0,03862	1,60	2,25	3,23	
	3 l	1,16957	0,03729				
	10 -	0,00083	0,00016				
	12 -	0,00265	0,00020				
	15 -	0,00022	0,00004				
	17 r	1,08510	0,03514				
Schwach besetzt „Mitte“ (3 Quellen)	30 -	0,00063	0,00009	1,71	2,30	3,09	
	33 r	1,13495	0,03615				
	36 -	0,00070	0,00009				
	38 r	1,05984	0,03687				
	39 l	1,15336	0,03833				
	42 -	0,00077	0,00012				

Tabelle 92: Berechnungsergebnisse für den schwach besetzten ICE-Wagen bei 900 MHz

1800 MHz (125 mW pro Quelle)							
Szenario	Person	SAR _{10g} [W/kg]	SAR _{Kopf} [W/kg]	p25 [V/m]	p50 [V/m]	p75 [V/m]	Häufigkeitsverteilung
Schwach besetzt „Ende“ (3 Quellen)	1 l	0,84941	0,01375	1,47	2,08	2,96	
	3 l	0,85581	0,01270				
	10 -	0,00063	0,00008				
	12 -	0,00055	0,00062				
	15 -	0,00022	0,00003				
17 r	0,75473	0,01355					
Schwach besetzt „Mitte“ (3 Quellen)	30 -	0,00026	0,00003	1,44	1,99	2,81	
	33 r	0,74698	0,01278				
	36 -	0,00044	0,00004				
	38 r	0,78226	0,06630				
	39 l	0,83435	0,01358				
42 -	0,00096	0,00009					

Tabelle 93: Berechnungsergebnisse für den schwach besetzten ICE-Wagen bei 1800 MHz

1800 MHz (125 mW pro Quelle)							
Szenario	Person	SAR _{10g} [W/kg]	SAR _{Kopf} [W/kg]	p25 [V/m]	p50 [V/m]	p75 [V/m]	Häufigkeitsverteilung
Voll besetzt „Ende“ (10 Quellen)	1 l	0,86562	0,01345	3,17	4,19	5,44	
	2 r	0,75748	0,01300				
	3 l	0,87556	0,00144				
	4 r	0,81362	0,01490				
	5 -	0,00186	0,00024				
	6 -	0,00307	0,00029				
	7 l	0,88780	0,01410				
	8 -	0,00138	0,00015				
	9 -	0,00173	0,00017				
	10 -	0,00253	0,00019				
	11 -	0,00117	0,00021				
	12 -	0,00149	0,00014				
	13 l	0,87361	0,01360				
	14 r	0,79792	0,01310				
	15 -	0,00246	0,00015				
	16 -	0,00175	0,00018				
	17 r	0,77614	0,01480				
	18 -	0,00066	0,00009				
	19 r	0,78423	0,01370				
	20 l	0,82018	0,01470				
	21 -	0,00110	0,00008				
	22 -	0,00084	0,00012				
	23 -	0,00255	0,00019				
	24 -	0,00249	0,00017				
Voll besetzt „Mitte“ (10 Quellen)	25 -	0,00057	0,00005	2,70	3,74	5,17	
	26 -	0,00052	0,00007				
	27 -	0,00047	0,00004				
	28 -	0,00052	0,00006				
	29 -	0,00077	0,00008				
	30 -	0,00141	0,00018				
	31 r	0,78195	0,01420				
	32 -	0,00048	0,00007				
	33 r	0,74069	0,01330				
	34 l	0,78231	0,01370				
	35 l	0,80288	0,01400				
	36 -	0,00500	0,00035				
	37 l	0,92948	0,01363				
	38 r	0,81932	0,01566				
	39 l	0,78248	0,01320				
	40 r	0,80208	0,01370				
	41 -	0,00134	0,00012				
	42 -	0,00212	0,00023				
	43 l	0,83044	0,01372				
	44 -	0,00137	0,00012				
	45 -	0,00068	0,00009				
	46 -	0,80323	0,01470				
	47 -	0,00113	0,00015				
	48 -	0,00073	0,00010				

Tabelle 94: Berechnungsergebnisse für den voll besetzten ICE-Wagen bei 1800 MHz

2100 MHz (125 mW pro Quelle)							
Szenario	Person	SAR _{10g} [W/kg]	SAR _{Kopf} [W/kg]	p25 [V/m]	p50 [V/m]	p75 [V/m]	Häufigkeitsverteilung
Voll besetzt „Ende“ (10 Quellen)	1 l	1,01329	0,01270	3,12	4,15	5,43	
	2 r	0,78574	0,01200				
	3 l	0,99382	0,01310				
	4 r	0,75844	0,01240				
	5 -	0,00230	0,00023				
	6 -	0,00300	0,00028				
	7 l	1,05509	0,01350				
	8 -	0,00160	0,00014				
	9 -	0,00200	0,00015				
	10 -	0,00208	0,00021				
	11 -	0,00153	0,00022				
	12 -	0,00197	0,00016				
	13 l	1,05424	0,01310				
	14 r	0,79293	0,01200				
	15 -	0,00136	0,00016				
	16 -	0,00158	0,00017				
	17 r	0,75440	0,01240				
	18 -	0,00079	0,00010				
	19 r	0,77722	0,01168				
	20 l	0,99991	0,01250				
	21 -	0,00071	0,00006				
	22 -	0,00147	0,00010				
	23 -	0,00179	0,00016				
	24 -	0,00157	0,00016				
Voll besetzt „Mitte“ (10 Quellen)	25 -	0,00091	0,00007	2,78	3,89	5,43	
	26 -	0,00051	0,00006				
	27 -	0,00084	0,00007				
	28 -	0,00070	0,00006				
	29 -	0,00088	0,00009				
	30 -	0,00169	0,00021				
	31 r	0,77786	0,01410				
	32 -	0,00131	0,00012				
	33 r	0,76825	0,00013				
	34 l	0,92850	0,01190				
	35 l	0,93246	0,01420				
	36 -	0,00401	0,00052				
	37 l	0,87175	0,01502				
	38 r	0,79443	0,01440				
	39 l	0,90133	0,01410				
	40 r	0,79314	0,01486				
	41 -	0,00171	0,00014				
	42 -	0,00230	0,00019				
	43 l	0,87876	0,01449				
	44 -	0,00135	0,00010				
	45 -	0,00082	0,00010				
	46 -	0,80813	0,01400				
	47 -	0,00212	0,00023				
	48 -	0,00149	0,00012				

Tabelle 95: Berechnungsergebnisse für den voll besetzten ICE-Wagen bei 2100 MHz

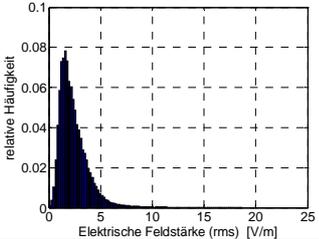
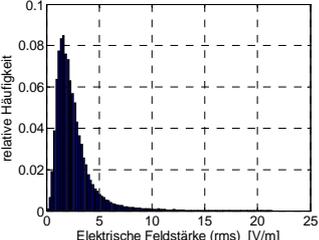
2100 MHz (125 mW pro Quelle)							
Szenario	Person	SAR _{10g} [W/kg]	SAR _{Kopf} [W/kg]	p25 [V/m]	p50 [V/m]	p75 [V/m]	Häufigkeitsverteilung
Schwach besetzt „Ende“ (3 Quellen)	1 l	1,01578	0,01290	1,42	2,07	3,05	
	3 l	0,97783	0,01260				
	10 -	0,00080	0,00009				
	12 -	0,00118	0,00006				
	15 -	0,00029	0,00003				
	17 r	0,74622	0,01178				
Schwach besetzt „Mitte“ (3 Quellen)	30 -	0,00026	0,00003	1,41	2,08	3,07	
	33 r	0,78259	0,00012				
	36 -	0,00069	0,00005				
	38 r	0,80265	0,01680				
	39 l	0,92390	0,01887				
	42 -	0,00095	0,00010				

Tabelle 96: Berechnungsergebnisse für den schwach besetzten ICE-Wagen bei 2100 MHz

11.8 Flugzeug

Wie in Kapitel 10 erläutert, wurden für die großräumigen Szenarien, zu denen auch das Flugzeug-Szenario gehört, jeweils 2 unterschiedliche räumliche Abschnitte für die Berechnungen betrachtet, nämlich jeweils einer etwa in der Mitte und einer am hinteren Ende des Flugzeug-Rumpfs, um auch eine nahe, stirnseitige Begrenzung des Feldraumes in die Betrachtungen mit einschließen zu können. Die Modellierung des Flugzeugs erfolgte auf Basis von Fotos und im Internet frei verfügbaren technischen Zeichnungen des betrachteten Flugzeugtyps.

11.8.1 Betrachtete Szenarien

Abbildung 473 zeigt Ansichten des Berechnungsmodells und Abbildung 501 zeigt schematisch die betrachteten Situationen hinsichtlich Personen- und Quellenverteilung im Flugzeug.

In diesem Fall wurden Berechnungen nur für 2100 MHz durchgeführt.

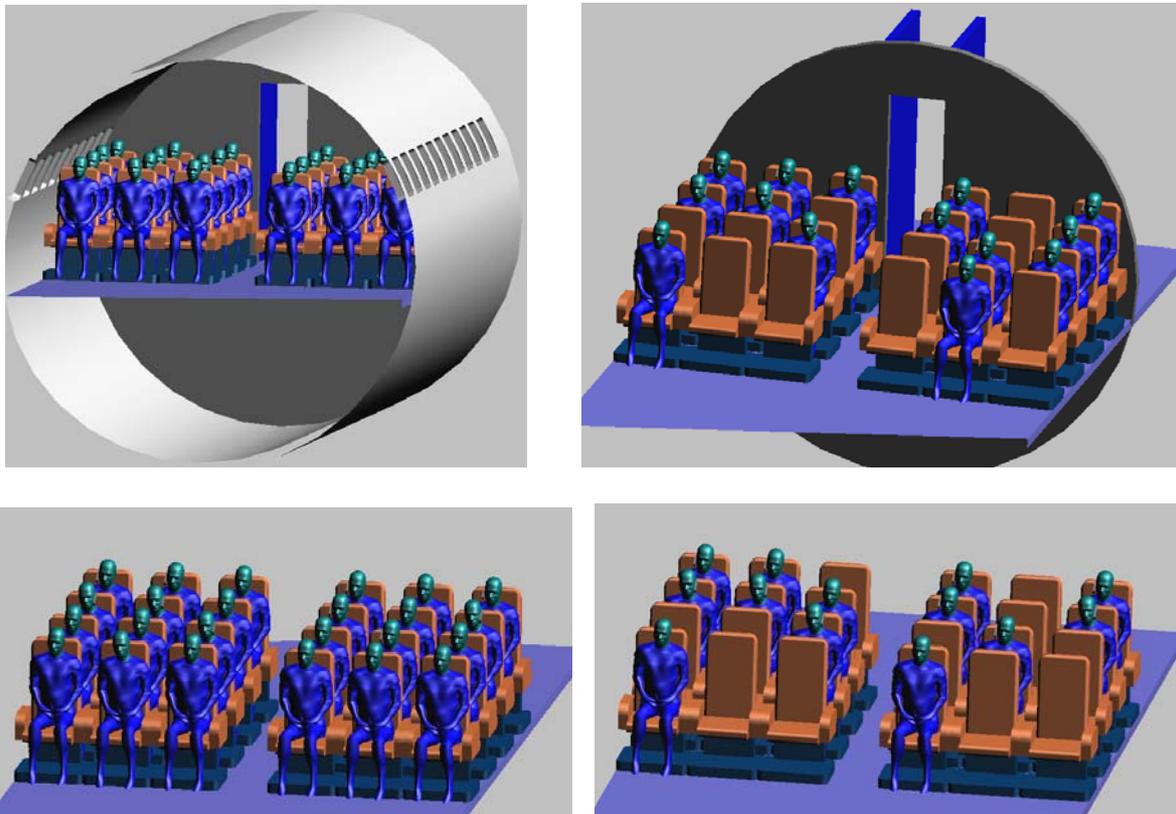


Abbildung 500: Berechnungsmodell in SEMCAD X. links oben: Volle Besetzung am Ende des Flugzeugrumpfes; rechts oben: ca. 50% Besetzung am Ende des Flugzeugrumpfes (Außenhülle des Flugzeugs nicht dargestellt); links unten: volle Besetzung in der Mitte des Flugzeugrumpfes; rechts unten: ca. 50% Besetzung am Ende des Flugzeugrumpfes

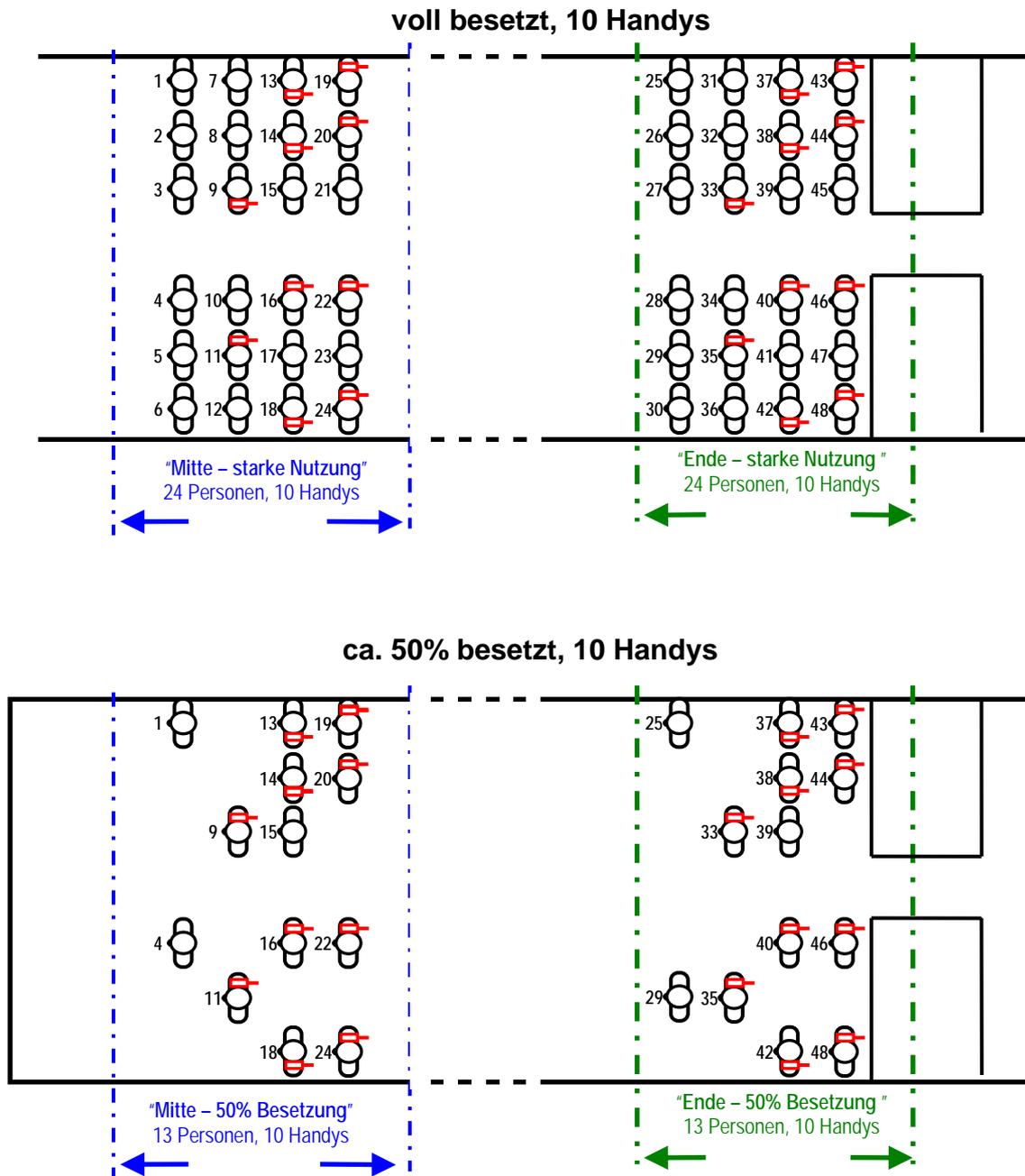


Abbildung 501: Betrachtete Situationen für Handynutzung in einem Flugzeug

11.8.2 Berechnungsergebnisse

Zur Veranschaulichung der zu erwartenden räumlichen Feldverteilung ist in Abbildung 502 die Verteilung der elektrischen Feldstärke (Effektivwert) in einer Horizontal- und einer Vertikalebene in Kopfhöhe, bzw. durch die gangseitige Passagierreihe auf der rechten Seite (durch Personen 27, 33, 39, 45, vgl. Abbildung 501), für die Situation bei voller Besetzung am Kabinenende, mit und ohne metallische Begrenzung durch die Kabinenwand (allerdings mit Sitzen und sonstigem Kabineneinrichtungen) dargestellt (2100 MHz).

Die Berechnungsergebnisse sind in Tabelle 97 und Tabelle 98 zusammengefasst.

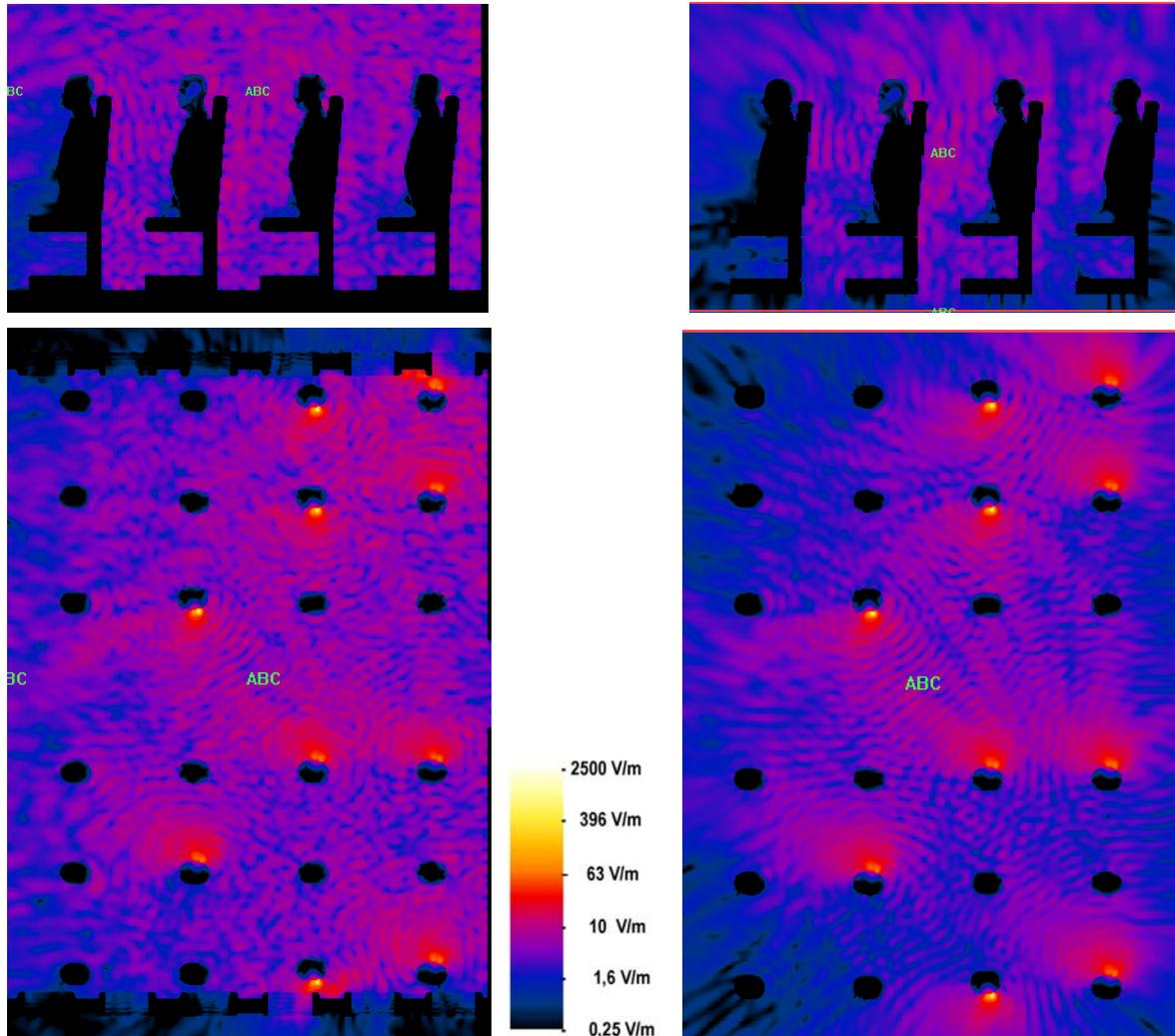


Abbildung 502: Feldverteilung im Flugzeug in einer Vertikal- (oben) und einer Horizontal-Ebene (unten) bei voller Besetzung am Kabinenende bei 2100 MHz (10 Handys aktiv); links: die Feldverteilung im Flugzeug, rechts: die Feldverteilung bei Weglassung der metallischen Begrenzung durch die Flugzeug-Kabinenwand

2100 MHz (125 mW pro Quelle)							
Szenario	Person	SAR _{10g} [W/kg]	SAR _{Kopf} [W/kg]	p25 [V/m]	p50 [V/m]	p75 [V/m]	Häufigkeitsverteilung
Voll besetzt „Mitte“ (10 Quellen)	1 -	0,00044	0,00006	2,77	4,01	5,82	
	2 -	0,00158	0,00014				
	3 -	0,00239	0,00014				
	4 -	0,00132	0,00012				
	5 -	0,00142	0,00016				
	6 -	0,00058	0,00004				
	7 -	0,00125	0,00010				
	8 -	0,00163	0,00022				
	9 l	0,99100	0,01337				
	10 -	0,00360	0,00040				
	11 r	0,74732	0,01259				
	12 -	0,00063	0,00007				
	13 l	0,96787	0,01136				
	14 l	0,97259	0,01195				
	15 -	0,00526	0,00053				
	16 r	0,72594	0,01230				
	17 -	0,00099	0,00016				
	18 l	0,98670	0,01195				
	19 r	0,71018	0,01166				
	20 r	0,70088	0,01182				
	21 -	0,00316	0,00025				
	22 r	0,73189	0,01244				
	23 -	0,00306	0,00038				
	24 r	0,69806	0,01150				
Voll besetzt „Ende“ (10 Quellen)	25 -	0,00050	0,00007	3,10	4,43	6,28	
	26 -	0,00172	0,00016				
	27 -	0,00310	0,00018				
	28 -	0,00147	0,00015				
	29 -	0,00159	0,00017				
	30 -	0,00065	0,00005				
	31 -	0,00104	0,00011				
	32 -	0,00243	0,00026				
	33 l	0,97687	0,01340				
	34 -	0,00429	0,00045				
	35 r	0,73999	0,01248				
	36 -	0,00092	0,00009				
	37 l	0,98078	0,01156				
	38 l	0,98028	0,01210				
	39 -	0,00567	0,00058				
	40 r	0,72637	0,01236				
	41 -	0,00169	0,00024				
	42 l	0,98637	0,01200				
	43 r	0,70731	0,01154				
	44 r	0,69282	0,01192				
	45 -	0,00404	0,00033				
	46 r	0,73769	0,01266				
	47 -	0,00283	0,00046				
	48 r	0,70954	0,01159				

Tabelle 97: Berechnungsergebnisse (Teil 1) für das Flugzeug bei 2100 MHz

2100 MHz (125 mW pro Quelle)							
Szenario	Person	SAR _{10g} [W/kg]	SAR _{Kopf} [W/kg]	p25 [V/m]	p50 [V/m]	p75 [V/m]	Häufigkeitsverteilung
ca. 50% besetzt „Mitte“ (10 Quellen)	1 -	0,00075	0,00008	3,02	4,20	5,82	
	4 -	0,00190	0,00012				
	9 r	1,00620	0,01340				
	11 r	0,74574	0,01270				
	13 l	0,96164	0,01140				
	14 l	0,99846	0,01210				
	15 -	0,00480	0,00057				
	16 r	0,73150	0,01250				
	18 l	0,99891	0,01200				
	19 r	0,70926	0,01170				
ca. 50% besetzt „Ende“ (10 Quellen)	25 -	0,00091	0,00009	3,38	4,74	6,58	
	29 -	0,00213	0,00018				
	33 r	0,99364	0,01330				
	35 r	0,74091	0,01250				
	37 l	0,96550	0,01150				
	38 l	1,00464	0,01220				
	39 -	0,00090	0,00009				
	40 r	0,73780	0,01260				
	42 l	1,00411	0,01220				
	43 r	0,71484	0,01160				
Voll besetzt „Ende“ ohne Begrenzung (10 Quellen)	25 -	0,00011	0,00001	1,83	3,01	4,76	
	26 -	0,00057	0,00004				
	27 -	0,00883	0,00008				
	28 -	0,00095	0,00007				
	29 -	0,00056	0,00003				
	30 -	0,00011	0,00001				
	31 -	0,00073	0,00005				
	32 -	0,00083	0,00008				
	33 l	0,98472	0,01310				
	34 -	0,00306	0,00034				
	35 r	0,72315	0,01230				
	36 -	0,00042	0,00004				
	37 l	0,97823	0,01134				
	38 l	0,97870	0,01177				
	39 -	0,00356	0,00043				
	40 r	0,71020	0,01215				
	41 -	0,00083	0,00010				
	42 l	0,98526	0,01160				
43 r	0,67643	0,01130					
44 r	0,69815	0,01150					
45 -	0,00205	0,00019					
46 r	0,70620	0,01213					
47 -	0,00217	0,00024					
48 r	0,69093	0,01131					

Tabelle 98: Berechnungsergebnisse (Teil 2) für das Flugzeug bei 2100 MHz

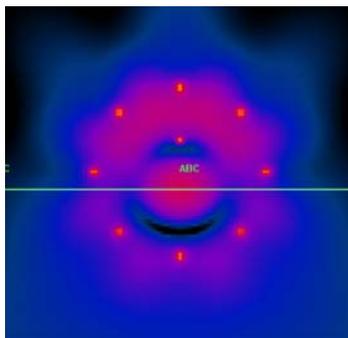
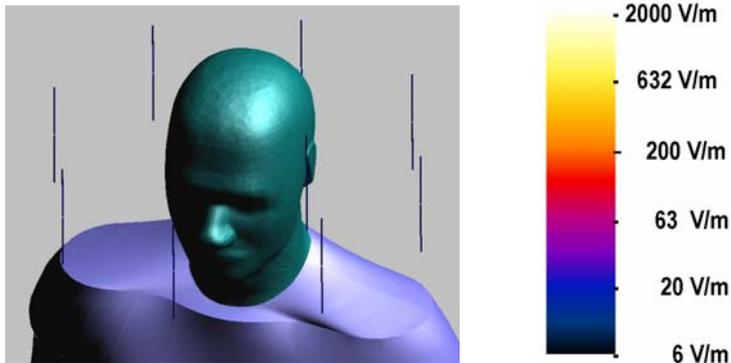
11.9 Schlussfolgerungen aus den Berechnungen

Die Berechnungsergebnisse zeigen klar, dass die teilweise bestehende Befürchtung von Grenzwertüberschreitungen aufgrund von Handynutzung in metallisch begrenzten bzw. teilgeschirmten Räumen in der Realität zu unrecht besteht. Obwohl durch die reflektive Umgebung lokale Feldstärkeüberhöhungen im Bereich von einigen 10 V/m entstehen können (nahe den Mobiltelefonen sind natürlich noch wesentlich höhere Feldstärken möglich), ist keinesfalls mit der Überschreitung der SAR-Basisgrenzwerte zu rechnen.

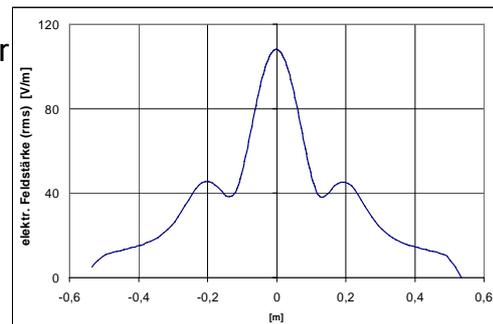
Unter den gegebenen Umständen (Nahfeld von Quellen, Resonanzüberhöhungen) ist eine Beurteilung der Expositionssituation auf Basis von Feldstärkewerten (Referenzwerten) physikalisch nicht sinnvoll. Dies kann auch an dem in Abbildung 503 gezeigten Beispielszenario demonstriert werden: Rund um den Kopf eines homogenen Modells sind kreisförmig (Radius ca. 20 cm) 8 HF-Quellen (Halbwellendipole bei 1 GHz, jeweils 0,125W) angeordnet, plus eine Quelle (ebenfalls 1 GHz, 0,125 W) in unmittelbarer Nähe des rechten Ohres (Abbildung 503, 1. Zeile). Ohne die Anwesenheit der Person ergibt sich ein ausgeprägtes Feldstärkemaximum im Inneren der Antennenanordnung, das klar oberhalb (ca. Faktor 2,5) des Referenzwertes von ca. 43 V/m liegt (Abbildung 503, 2. Zeile). Befindet sich der Kopf im Zentrum der Anordnung so ergibt sich ein maximale, über 10g gemittelte SAR von 1,38 W/kg, also klar weniger als der Basisgrenzwert von 2 W/kg (Abbildung 503, 3. Zeile). Die über den gesamten Kopf gemittelte SAR beträgt in diesem Fall 0,076 W/kg. Zum Vergleich zu dieser Situation ist in Abbildung 503 (4.Zeile) auch der Fall ohne die kopfnaher Quelle dargestellt, die zu einer maximalen, über 10g gemittelten SAR von 0,44 W/kg und zu einer über den gesamten Kopf gemittelten SAR von 0,056 W/kg führt. Daraus ist zum Einen erkennbar, dass unter den gegebenen Bedingungen (prinzipiell gültig für alle hier betrachteten Szenarien) aus lokalen Überhöhungen der Feldstärke nicht auf die tatsächliche Exposition der Personen geschlossen werden kann, und zum Anderen, dass die maximale lokale Exposition (SAR_{10g} Wert) eines Handy-Nutzers hauptsächlich von seinem eigenen Handy verursacht wird. Die SAR über den gesamten Kopf (bzw. natürlich auch die Ganzkörper SAR) kann aber natürlich auch für einen Handy-Nutzer stark von den umgebenden Feldbedingungen (d.h. von der abgestrahlten Leistung benachbarter Mobiltelefone) abhängen.

Insbesondere zeigt dies (zusammen mit den Berechnungsergebnissen in den Kapiteln 0 bis 0), dass sich der Einfluss metallischer Feldraumbegrenzungen auf die individuelle Exposition in den hier behandelten Szenarien für Handynutzer und Nicht-Handynutzer grundsätzlich unterschiedlich darstellt. Für den Handynutzer stellt, wie bereits erwähnt und aus den Berechnungsergebnissen ersichtlich, das eigene, direkt am Kopf gehaltene Mobiltelefon die fast ausschließlich relevante Ursache seiner Exposition dar. Geht man von konstanter Sendeleistung des Mobiltelefons aus (d.h. Sendeleistungsregelverhalten des Mobiltelefons vernachlässigt), ist das Ausmaß der Exposition des (relativ stark exponierten) Handynutzers praktisch unabhängig davon, ob er im Freien telefoniert oder in einem der betrachteten Personenbeförderungsmittel. Die aus den Berechnungsergebnissen ableitbare Expositionserhöhung eines Handy-Nutzers zufolge der reflexiven Umgebung im Vergleich zur Handynutzung im Freien beträgt maximal bis zu ca. 10-15% bezüglich der maximalen über 10g gemittelten SAR. Dies gilt dann nicht mehr, wenn sich der Handynutzer mit der Seite des Kopfes an der er das Mobiltelefon hält, sehr nahe an reflektierenden Metallstrukturen befindet. In diesem Fall kann es (abhängig von der Distanz zwischen Mobiltelefon und dem reflektierenden Metall im Verhältnis zur Wellenlänge) zu signifikanten Erhöhungen der SAR im Bereich von bis zu ca. 30-50% im Vergleich zur Nutzung in Freien kommen. Dieser Effekt ist in der Literatur bereits mehrfach gut dokumentiert (z.B. [8], [9]).

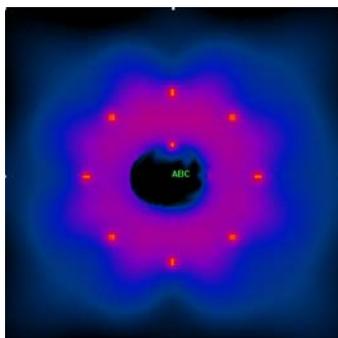
Für den (relativ gering exponierten) Nicht-Handynutzer kann der Unterschied zwischen der Situation im Freien und in teilgeschirmten Bereichen signifikant sein. Die Berechnungsergebnisse für PKWs zeigen diesbezüglich für Nicht-Handynutzer Unterschiede in der maximalen über 10g gemittelten SAR und der über den gesamten Kopf gemittelten SAR von bis zu einem Faktor 15 für die PKW Szenarien und bis zu einem Faktor 6-8 für die großräumigen Szenarien (Bus, U-/S-Bahn, ICE, Flugzeug). Allerdings ist das absolute Ausmaß der Exposition des Nicht-Handynutzer natürlich um mehrere Größenordnungen geringer als das des Handy-Nutzers.



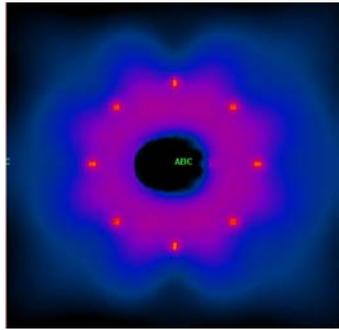
Feldstärke entlang der grün markierten Linie:



ohne Person



mit Person (9 Quellen) $SAR_{10g} = 1,38 \text{ W/kg}$, $SAR_{Kopf} = 0,076 \text{ W/kg}$



mit Person (8 Quellen) $SAR_{10g} = 0,44 \text{ W/kg}$, $SAR_{Kopf} = 0,056 \text{ W/kg}$

Abbildung 503: Einfaches Beispiel zur Demonstration der Expositionsverhältnisse unter Nahfeldbedingungen mit mehreren Quellen (Erklärung, siehe Text)

11.10 Einsatz von Repeatern zur Expositionsverminderung

Auf Basis der aus den vorliegenden Berechnungsergebnissen gezogenen Schlüsse kann auch eine Aussage über die Auswirkungen von Repeatern auf die Exposition in Fahrzeugen gemacht werden, ohne dafür eigens Berechnungen anstellen zu müssen.

Grundsätzlich ist als erstes zu betrachten, dass die metallische Zughülle und die bedampften Fenster eine Dämpfung für alle elektromagnetische Wellen bedeuten. Die Dämpfung beträgt ca. 30 dB bis 35 dB und erstreckt sich nicht nur auf die Mobilfunkwellen sondern z. B. auch auf die Fernsehen- und Rundfunkwellen. Um den Passagieren in der geschirmten Zughülle dennoch ein Telefonieren zu ermöglichen, werden die Mobilfunkfrequenzen bei GSM 900 und bei GSM 1800 selektiv, d.h. bei der DB AG für die 900 MHz-Frequenzen von D1 und D2 und die 1800 MHz-Frequenz von E-Plus, verstärkt.

Diese Verstärkung darf jedoch nie größer sein als die Dämpfung durch die Zughülle, sonst würde der Zug zu einer sendenden Antenne und würde, da der Repeater die empfangenen Frequenzen außerhalb der Zughülle (auf dem Dach) empfängt und nach innen verstärkt abstrahlt (ohne sie umzusetzen), die Empfangssituation außerhalb des Zuges stören.

Ein aktiver Repeater führt dazu, dass die in Betrieb befindlichen Mobiltelefone mit einer wesentlich niedrigeren Sendeleistung arbeiten, als im Fall ohne Repeater (vgl. dazu die Messergebnisse in Kapitel 9.8).

D.h., der Repeater bewirkt eine signifikante Reduktion der Exposition von telefonierenden Handynutzern.

Die DB AG benutzt als Repeater-Antennen im Wageninneren sogenannte Schlitzkabel-Antennen, diese „verteilen“ die HF-Leistung gleichmäßig im Inneren, sodass es nicht zu punktuellen Feldstärkerhöhungen durch den Repeater kommt.

Ein Nebeneffekt tritt durch den Repeatereinsatz zusätzlich auf, der für die Strahlungsemission jedoch sehr wichtig ist. Die Messungen in Kapitel 9.8 haben gezeigt, dass es in Repeaterwagen aufgrund der selektiven Frequenzwahl durch den Repeater zu signifikant weniger Zellwechseln kommt. Da jeder Zellwechsel mit einer Leistungsregelung auf den Maximalwert

einhergeht, ist in einem Repeaterwagen die Strahlungsbelastung sowohl für nicht-telefonierende Passagiere als auch für die telefonierenden Passagiere im Inneren geringer als außerhalb des Repeaterwagens unter freiem Himmel.

Aufgrund diesen technischen Rahmenbedingungen und dem Regelverhalten der GSM-Mobilfunkendgeräte (breitbandige Dämpfung durch die Zughülle und selektive schwächere Verstärkung als Dämpfung) ist zu erkennen, dass die Passagiere in einem aktiven Repeaterwagen mit telefonierenden Passagieren keiner höheren elektromagnetischen Strahlung ausgesetzt sind, als direkt neben dem ICE-Wagen auf der grünen Wiese oder auf dem Bahnsteig mit ebenfalls telefonierenden Nachbarn.

12. Vergleich der Ergebnisse aus Berechnungen und Messungen

Soweit ein Vergleich von Mess- und Berechnungsergebnissen möglich ist, zeigt sich Übereinstimmung in der Erkenntnis, dass selbst bei intensiver Handynutzung die maximalen lokalen Feldstärken (in sinnvollem Abstand, d.h. > 30 cm zu den Mobiltelefonen) in den Fahrzeugen unterhalb der Referenzwerte nach EU Ratsempfehlung 1999/519/EG bleiben. Der physikalisch zu erwartende Effekt höherer „freier“ Feldstärken in teilgeschirmten Räumen im Vergleich zu entsprechenden Situationen im Freien konnte ebenfalls sowohl messtechnisch (vor allem im Aufzugs- und in den PKW-Szenarien), als auch anhand der Berechnungen nachgewiesen werden. Weiters im Einklang mit den Messergebnissen steht die Tatsache, dass, trotz der im Mittel erhöhten „freien“ Feldstärken, die maximale über 10g gemittelte SAR eines Handynutzers durch die metallische Begrenzung der Fahrzeuge nur unwesentlich beeinflusst wird und dass die maximale über 10g gemittelte SAR in den Köpfen von Nicht-Handynutzern unter üblichen Bedingungen sehr gering ist ($< 0,015$ W/kg laut Berechnungen, $< 0,005$ W/kg laut Messungen).

Weiters ist beim Vergleich der Mess- und Berechnungsergebnisse unbedingt zu beachten, dass die Berechnungen unter der Annahme konstanter maximaler Sendeleistung der Mobiltelefone (gemittelt über einen Zeitrahmen: 0,25 W bei 900 MHz, 0,125 W bei 1800 MHz und 2100 MHz) durchgeführt wurden, wohingegen die Messungen unter Realbedingungen, d.h. unter dem Einfluss der Sendeleistungsregelung der Mobiltelefone stattfanden.

Die Sendeleistungsregelung der Mobiltelefone spielt eine große Rolle für die emittierte Strahlung. Die Dynamik der Sendeleistungsregelung ist sehr hoch, bei GM 900 beträgt sie 28 dB (ca. den Faktor 666), bei GSM 1800 beträgt sie 30 dB (Faktor 1.000) und bei UMTS-2100 beträgt sie 80 dB (Faktor 100 Millionen).

Bei den Messungen zeigte sich, dass auch beim Übergang von Freiraumbedingungen (z.B. offenes Metall-Cabriodach) zu metallisch geschirmten Bedingungen (geschlossenes Metall-Cabriodach) die Sendeleistung weiterhin im abgeregelten Bereich verblieb, da die gute Feldversorgung dennoch weiterhin bestehen blieb.

In diesem Sinne stellen die mit dem Sendeleistungs-Maximalwert durchgeführten Berechnungsergebnisse immer die absolut obere Schranke für die Messergebnisse dar.

13. Strahlenhygienische Bewertung

Die Projektergebnisse zeigen anhand der Messungen und der Berechnungen, dass die Grenzwerte in keinem der untersuchten Szenarien erreicht wurden.

Bei den Messungen zeigte sich, dass die Messergebnisse im Belastungswert unter den berechneten Ergebnissen lagen. Dies kommt daher, da die Berechnungen immer mit dem ‚worst case‘, d.h. dem maximalen Sendeleistungswert rechnen, während die Messungen den tatsächlichen momentanen Sendeleistungswert der Handys berücksichtigen.

Bei den Messungen zeigte sich deutlich, dass die GSM- und UMTS-Sendeleistungsregelung eine entscheidende und strahlungsimmissionsmindernde Rolle spielt.

Insofern ist ein Messprojekt (wie das vorangegangene SAR-Projekt und dieses) hoch interessant, da es die wirklich existierende Situation wiedergibt und nicht nur die möglichen theoretischen Maximalwerte.

Interessant ist auch, dass eine hohe Anzahl von Handys (hohe ‚Packungsdichte‘ von Handynutzern) keine Feldstärkeerhöhung oder Resonanzeffekte bewirkt, da die Absorption der zusätzlichen Personen die zusätzliche Strahlungsleistung des Handys mehr als aufwiegt.

14. Literatur, Quellenangaben

- [1] Tsuyoshi Hondou
Rising Level of Public Exposure to Mobile Phones: Accumulation through Additivity and Reflectivity
J. Phys. Soc. Jpn. Vol. 71, p.432 (2002)
- [2] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)
Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz) - 1998
- [3] Axel Kramer, Juerg Froehlich and Niels Kuster
Towards Danger of Mobile Phones in Planes, Trains, Cars and Elevators
Journal of the Physical Society of Japan Vol. 71, No. 12, December, 2002, pp. 3100–3100
- [4] Tsuyoshi Hondou
Physical Validity of Assumptions for Public Exposure to Mobile Phone s
Journal of the Physical Society of Japan, Vol. 71, No. 12, December, 2002, pp. 3101–3102
- [5] C. K. Chou
"Trapped" radiation
Leserbrief von C. K. Chou (Motorola) im „New Scientist“, Ausgabe 2348 vom 22.06.2002 als Antwort auf den Artikel „Cellphone radiation "trapped" in train carriages“ im „New Scientist, Ausgabe vom 02.05.2002
- [6] Stellungnahme des Bundesamts für Strahlenschutz zur Studie von Hondou
Exposition von Personen durch die Nutzung von Mobiltelefonen in Räumen, die durch metallische Wände begrenzt sind (z. B. Kfz, Eisenbahnwaggons)
http://www.bfs.de/elektro/papiere/begr_raeume.html
- [7] Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV

- [8] *Nahfeld-Untersuchungen innerhalb von Fahrzeugen*
Funkschau Heft 25, 1998
<http://www.funkschau.de/heftarchiv/pdf/1998/fs25/fs9825080.pdf>
- [9] *Nahfeld von Mobiltelefonen innerhalb von Fahrzeugen*
Newsletter 3/98 der Forschungsgemeinschaft Funk
<http://www.fgf.de/fup/publikat/newsletter/newsletter03-98d.pdf>
- [10] EN 50361
Grundnorm zur Messung der Spezifischen Absorptionsrate (SAR) in Bezug auf die Sicherheit von Personen in elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen (300 MHz bis 3 GHz)
- [11] Wuschek, M.
Ergebnisbericht über die Messung elektromagnetischer Felder in der Umgebung von Mobilfunkanlagen, Nürnberg 2003
<http://www.umwelt.nuernberg.de/download/info/mobilfunkmessungen2003.pdf>
- [12] Informationszentrum gegen Mobilfunk 2004
Funkfeldmessung in einem Linienbus
http://www.izgmf.de/Messprojekt_Linienbus_Abschlussbericht.pdf
- [13] McCoy, D.O. Zakharia, D.M. Balzano, Q.
Field strengths and specific absorption rates in automotive environments
IEEE Transactions on Vehicular Technology, Jul. 1999, pages 1287-1303, Volume 48, Issue 4
- [14] U.S. Federal Communications Commission
<http://www.fcc.gov/oet/rfsafety/>
- [15] WirelessCabin
Development and Demonstrator of Wireless Access for Multimedia Services in Aircraft Cabins
<http://wirelesscabin.com>

- [16] Civil Aviation Authority, Aviation House, Gatwick Airport, West Sussex RH6 0YR, England
Report: Interference Levels in Aircraft at Radio Frequencies used by Portable Telephones (May, 2nd 2002)
http://www.caa.co.uk/docs/389/srg_acp_00021-01-030303.pdf
- [17] M. Wuschek
Untersuchung der Leistungsregelung eines GSM-Mobiltelefons unter realen Betriebsbedingungen
FGF Newsletter 1/2005, EMVU und Technik, Seite 40-50, 2005, www.fgf.de
- [18] L. Ardoino, E. Barbieri und P. Vecchia
Determinants of Exposure to Electromagnetic Fields from Mobile Phones
Radiation Protection Dosimetry Vol. 111, No. 4 © Oxford University Press 2004 pp. 403-406 doi: 10.1093/rpd/nch062
- [19] S. Lönn, U. Forssén, P. Vecchia, Al. Ahlbom, M. Feychting
Output Power Levels from Mobile Phones in different Grographical Areas; Implications for Exposure Assessment.
Occup Environ Med 2004; 61:769-772. doi: 10.1136/oem.2003.012567, www.occenvmed.com
- [20] TCO Development
Welche Handys strahlen am wenigsten? Test von 25 Handys
Bericht von TCO Development, Mai 2004; www.tcodevelopment.com und www.handyzertifizierung.de
- [21] R. Georg, F. Landstorfer, U. Jakobus et al.
BfS-Vorhaben "Bestimmung der SAR-Werte, die während der alltäglichen Nutzung von Handys auftreten; Bericht für den Zeitraum August 2004 bis Januar 2005; 2005
www.emf-forschungsprogramm.de und dann 'Dosimetrie'
- [23] Civil Aviation Authority, Aviation House, Gatwick Airport, West Sussex RH6 0YR, England
Report: Interference Levels in Aircraft at Radio Frequencies used by Portable Telephones
www.srg.caa.co.uk/srg/srg_news.asp
- [24] Deutsche Lufthansa AG, Konzernkommunikation, Frankfurt, 15. März 2001

- [25] connect Heft 15/2001 und connect Heft 8/2002
- [26] www.tcodevelopment.com
- [27] A. Toropainen, Nokia Research-Center, ESPOO, Finnland
Human Exposure by Mobile Phones in Enclosed Areas
Bioelectromagnetics Band 24; Seite 63-65 (2003)
- [28] *Empfehlung des Europäischen Rates (1999/519/EG) zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0-300 GHz)*
- [29] Bernardi P, Cavagnaro M, Pisa S, PiuZZi E;
Human Exposure to radio Base-Station Antennas in Urban Environments, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques,
Vol. 48, pp. 1996-2002, Nov. 2000
- [30] Bernardi P, Cavagnaro M, D'Atanasio P, Di Palma E, Pisa S, PiuZZi E;
FDTD, multiple-region/FDTD, ray-tracing/FDTD: a comparison on their applicability for human exposure evaluation, International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields,
Vol. 15, pp. 579-593, 2002
- [31] Bernardi P, Cavagnaro M, Cicchetti R, Pisa S, Mitizzi E, Testa O;
A UTD/FDTD model to evaluate human exposure to base-station antennas in realistic urban environments, Microwave Symposium Digest, 2003 IEEE MTT-S International Volume 1, pp. 403-406, 8-13 June 2003
- [32] Bernardi P, Cavagnaro M, Cicchetti R, Pisa S, PiuZZi E, Testa O;
A UTD/FDTD Investigation on Procedures to Assess Compliance of Cellular Base-Station Antennas With Human-Exposure Limits in a Realistic Urban Environment, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques,
Vol. 51, pp. 2409-2417, Dec. 2003