

BfS-Vorhaben

Bestimmung der realen Exposition bei Handynutzung in teilgeschirmten Räumen im Vergleich zur Exposition unter günstigen Bedingungen im Freien

Determination of the real exposure from using mobile phones in
partially shielded rooms as compared to exposure
under optimal conditions outdoors

Schlussbericht

Projektlaufzeit 01.12.2004 bis 31.10.2006

Dezember 2006

Forschungsnehmer:


seibersdorf research
Ein Unternehmen der Austrian Research Centers.
ARC Seibersdorf research GmbH

Dr.-Ing. Reinhard Georg
Ingenieurbüro für Telekom-Consult

unter beratender Mitwirkung von:

Prof. Dr.-Ing. habil. Friedrich M. Landstorfer
ehem. Direktor des Instituts für Hochfrequenztechnik der Universität Stuttgart



Forschungsnehmer:

Dr.-Ing. Reinhard Georg
Ingenieurbüro für Telekom-Consult
Zeilstraße 20, D-61476 Kronberg/Taunus
Tel.: 06173-66311, Fax 06173-68258 und
Tel.: 0800-DRGEORG = 0800-3743674
E-Mail: georg@telekom-consult.de

unter beratender Mitwirkung von:

Prof. Dr.-Ing. habil. Friedrich M. Landstorfer
ehem. Direktor des Instituts für Hochfrequenztechnik der Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 47, 70569 Stuttgart
Tel.: 0711-685-7410, Fax: 0711-685-7412
E-Mail: f.landstorfer@ihf.uni-stuttgart.de
<http://www.ihf.uni-stuttgart.de>

mit dem Unterauftragnehmer

ARC Seibersdorf research GmbH
Geschäftsfeld Sichere Mobilkommunikation (ITM)
DI Gernot Schmid
A-2444 Seibersdorf
Tel.: +43-50550-2810, Fax +43-50550-2813
E-Mail: gernot.schmid@arcs.ac.at



Fachbetreuung beim BfS

Herr Dipl.-Ing. Dirk Geschwentner
Bundesamt für Strahlenschutz
Arbeitsgruppe Nichtionisierende Strahlung
Ingolstädter Landstraße 1
D-85764 Oberschleißheim/Neuherberg
Tel.: 01888 333 2148
Fax: 01888 333 2305
E-Mail: DGeschwentner@bfs.de



**Projektlaufzeit des BfS-Forschungsvorhabens
"Bestimmung der realen Exposition bei Handynutzung in teilgeschirmten Räumen im
Vergleich zur Exposition unter günstigen Bedingungen im Freien":**

vom 01.12.2004 bis 31.10.2006

**Der Text des Schlussberichtes umfasst die gesamte Projektlaufzeit von
Dezember 2004 bis Oktober 2006.**

**Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder
und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers (Bundesminister für
Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) übereinstimmen.**

Verantwortlich für den Bericht:

Dr.-Ing. Reinhard Georg (Ingenieurbüro für Telekom-Consult) und
DI Gernot Schmid (ARC Seibersdorf)

ARCS-Geschäftsfeld ‚Sichere Mobilkommunikation‘ mit :
Gernot Schmid, Stefan Cecil, Richard Überbacher, Benjamin Petric

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	Seite 9
2. Summary	Seite 11
3. Zielsetzung	Seite 13
4. Aufgabenstellung	Seite 13
5. Einführung	Seite 14
6. Beschreibung von Studien	Seite 16
6.1 Veröffentlichung von Hondou und Stellungnahmen hierzu	Seite 16
6.2 Andere Studien zu elektromagnetischen Feldern in Fahrzeugen	Seite 20
7. Grenzwerte und Leistungsregelung	Seite 25
7.1 Expositionen und Grenzwerte	Seite 25
7.2 Leistungsregelung eines GSM-Mobiltelefons	Seite 27
7.3 TCO-Zertifizierung und connect-"Strahlungsfaktor"	Seite 28
8. Erläuterung der in diesem Projekt zum Einsatz kommenden Messverfahren	Seite 30
8.1 Messkopf Maschek ESM-120	Seite 30
8.2 Messungen des E-Feldes	Seite 33
8.3 Mobiltelefone	Seite 35
8.4 Netzbetreiber	Seite 37
8.5 Software zum Auslesen der Netzmonitordaten aus den Nokia-Mobiltelefonen 6610, 6150 und 8210	Seite 39

8.6	UMTS Mobiltelefone und Software	Seite 43
8.7	Sonstige verwendete Hardware	Seite 45
8.8	Vortests	Seite 46

9.	Messungen	Seite 47
9.1	Mess-Szenario PKW-Kombi	Seite 48
9.1.1	Drei separate Messreihen zur Bestimmung des Regelverhaltens der beiden Mobilfunknetze	Seite 48
9.1.2	Messreihe PKW-Kombi	Seite 61
9.2	Mess-Szenario PKW Cabrio (Peugeot Metalldach)	Seite 73
9.2.1	Erste Messreihe mit Peugeot Cabrio – Metalldach offen und geschlossen	Seite 73
9.2.2	Zweite Messreihe mit Peugeot Cabrio – Metalldach offen und geschlossen	Seite 86
9.2.3	Dritte Messreihe mit Peugeot Cabrio – Metalldach offen und geschlossen	Seite 91
9.3	Mess-Szenario Großraum-Limousine (VW Touran)	Seite 99
9.4	Mess-Szenario Bestuhlung ohne PKW (in ARCS Messhalle)	Seite 108
9.4.1	Erste Messreihe mit GSM	Seite 108
9.4.2	Zweite Messreihe mit GSM	Seite 115
9.4.3	Dritte Messreihe mit UMTS	Seite 122
9.5	Mess-Szenario Mittelklasse-Limousine (Ford Sierra)	Seite 128
	- Erster Messteil mit statischer Sonde	
	- Zweiter Messteil mit bewegter Sonde	
9.6	Mess-Szenario Aufzug	Seite 137
9.6.1	Allgemein und Leerlaufmessungen	Seite 137
9.6.2	Erste Messreihe im Aufzug	Seite 143
9.6.3	Zweite zusätzliche Messreihe zur Verifikation	Seite 150

9.7	Mess-Szenario Autobus	Seite 160
9.7.1	Allgemein	Seite 160
9.7.2	Messreihe außerhalb des Busses im Freien	Seite 161
9.7.3	Erste Messreihe innerhalb des Busses	Seite 170
9.7.4	Zweite Messreihe, jedoch mit zwei Handys je Person (innerhalb und außerhalb des Busses)	Seite 176
9.8	Mess-Szenario ICE mit und ohne Repeater	Seite 184
9.8.1	Testmessungen zur Auswahl der für die Messungen geeigneten Mobilfunknetzbetreiber	Seite 186
9.8.2	Messreihe Durchlaufen des Zugs (Hin- und separat Rückweg)	Seite 190
9.8.3	Entlanggehen außen am Zug	Seite 207
9.8.4	Stationäre Messungen mit aus- und mit eingeschaltetem Repeater	Seite 220
9.9	Mess-Szenario Flugzeug (Boeing 747)	Seite 251
9.9.1	Erste Messreihe (15:00 Uhr)	Seite 253
9.9.2	Zweite Messreihe (15:29 Uhr)	Seite 271
9.9.3	Dritte Messreihe (15:48 Uhr)	Seite 283
9.9.4	Vierte Messreihe ca. 16:00 Uhr (UMTS und Bluetooth) ...	Seite 299
9.10	Mess-Szenario Mittelklassewagen (Audi A2) und PKW Cabrio (BMW, Stoffdach)	Seite 308
9.10.1	Messreihe um ca. 10:43	Seite 310
9.10.2	Messreihe um ca. 10:55	Seite 312
9.10.3	Messreihe um ca. 11:03	Seite 314
9.10.4	Messreihe ohne PKW, Personen auf Stühlen	Seite 327
9.10.5	UMTS-Messreihe (Audi A2 BMW Cabrio)	Seite 334
9.11	Mess-Szenario S-Bahn	Seite 336
9.11.1	Messreihe um ca. 14:50	Seite 339
9.11.2	Messreihe um ca. 15:10 bis 15:40	Seite 344
9.11.3	Messreihe um ca. 15:36 bis 16:26	Seite 346
9.12	Mess-Szenario GSM-Handys (innerhalb und außerhalb eines PKWs)	Seite 354
9.12.1	Messreihe um ca. 12:04 bis 12:12	Seite 356
9.12.2	Messreihe um ca. 12:24 bis 12:42	Seite 361

9.13 Mess-Szenario UMTS-Handy (innerhalb und außerhalb eines PKWs)	Seite 366
9.13.1 UMTS-Handy innerhalb und außerhalb des PKW	Seite 366
9.13.2 UMTS-Messfahrten; Vergleich dreier UMTS-Netze	Seite 371
10. Erläuterung der in diesem Projekt zum Einsatz kommenden Berechnungsverfahren	Seite 378
10.1 Feldtheoretische vs. Hybride Verfahren	Seite 378
10.2 Ausschließliche Verwendung der FDTD-Methode	Seite 379
11. Berechnungen	Seite 382
11.1 Modellierung der Szenarien	Seite 382
11.2 Methode der Datenauswertung	Seite 384
11.3 Aufzug	Seite 386
11.3.1 Betrachtete Szenarien	Seite 386
11.3.2 Berechnungsergebnisse	Seite 387
11.4 PKWs	Seite 390
11.4.1 Kleinwagen (Peugeot 206)	Seite 390
11.4.1.1 Betrachtete Szenarien	Seite 390
11.4.1.2 Berechnungsergebnisse	Seite 391
11.4.2 Limousine (Ford Sierra)	Seite 394
11.4.2.1 Betrachtete Szenarien	Seite 394
11.4.2.2 Berechnungsergebnisse	Seite 395
11.4.3 Kombi (Mercedes T-Modell)	Seite 398
11.4.3.1 Betrachtete Szenarien	Seite 398
11.4.3.2 Berechnungsergebnisse	Seite 398
11.4.4 Van (VW Touran)	Seite 402
11.4.4.1 Betrachtete Szenarien	Seite 402
11.4.4.2 Berechnungsergebnisse	Seite 402
11.5 Bus	Seite 407
11.5.1 Betrachtete Szenarien	Seite 407
11.5.2 Berechnungsergebnisse	Seite 409

11.6 U-/S-Bahn	Seite 415
11.6.1 Betrachtete Szenarien	Seite 415
11.6.2 Berechnungsergebnisse	Seite 417
11.7 ICE-Wagen	Seite 422
11.7.1 Betrachtete Szenarien	Seite 422
11.7.2 Berechnungsergebnisse	Seite 424
11.8 Flugzeug	Seite 431
11.8.1 Betrachtete Szenarien	Seite 431
11.8.2 Berechnungsergebnisse	Seite 432
11.9 Schlussfolgerungen aus den Berechnungen	Seite 436
11.10 Einsatz von Repeatern zur Expositionsverminderung	Seite 438
12. Vergleich der Ergebnisse aus Berechnungen und Messungen	Seite 440
13. Strahlenhygienische Bewertung	Seite 441
14. Literatur, Quellenangaben	Seite 442

1. Zusammenfassung

Zur Klärung der Frage, ob die intensive Nutzung von Mobiltelefonen innerhalb von teilgeschirmten Räumen, wie sie die meisten Personenbeförderungsmittel darstellen, zu Expositionen der Passagiere oberhalb der Grenzwerte führen können, wurden umfangreiche Messungen und numerische Berechnungen durchgeführt.

Betrachtet wurden insbesondere unterschiedliche Situationen hinsichtlich Besetzungsdichte und Anzahl aktiver HF-Quellen für eine Aufzugskabine, vier unterschiedliche Größen von PKWs (Kleinwagen, Limousine, Kombi, Van), U- bzw. S-Bahn-Wagen, Bus, IEC-Wagen und ein Flugzeug.

Die Berechnungen erfolgten mittels FDTD, wobei die kleinräumigen Szenarien (Aufzug und PKWs) jeweils vollständig innerhalb eines nichtuniformen FDTD-Rechengitters (mit bis zu 200 Millionen Zellen) untergebracht werden konnten. Für die großräumigen (lang gestreckten, in Höhe und Breite jedoch relativ wenig ausgedehnten) Szenarien mit Bus, U-/S-Bahn, ICE-Wagen und Flugzeug wurden jeweils separate FDTD-Berechnungen für einen Abschnitt am Ende (mit stirnseitiger Begrenzung) und einen Abschnitt im Mittelteil durchgeführt (ebenfalls jeweils bis zu ca. 200 Millionen Zellen pro Modell). Die Gültigkeit dieses vereinfachenden Ansatzes im betrachteten Frequenzbereich konnte anhand von Beispielszenarien demonstriert werden.

Parallel zu den numerischen Berechnungen wurden vergleichende Messungen in realen Szenarien der genannten Kategorien mit unterschiedlichen Situationen hinsichtlich Besetzungsdichte und Anzahl aktiver HF-Quellen durchgeführt. Als Messgrößen wurde dabei die Zeitverläufe der von den eingesetzten Mobiltelefonen mittels spezieller Software abgeleiteten Empfangs- und Sendeleistungspegel, die HF-Leistungsflussdichte im Raum (punktuell mit Breitbandfeldsonde gemessen), sowie die SAR in einem portablen SAR-Messkopf (in den jeweiligen Szenarien positioniert) betrachtet.

Die durchgeführten Messungen und Berechnungen zeigten übereinstimmend, dass bei Handynutzung in teilgeschirmten Räumen die Feldstärkewerte im Mittel zwar höher liegen, als in vergleichbaren Situationen im Freien, dass jedoch selbst bei intensiver Handynutzung die maximalen lokalen Feldstärken (in sinnvollem Abstand, d.h. > 30 cm zu den Mobiltelefonen) in den Fahrzeugen üblicherweise unterhalb der Referenzwerte nach EU Ratsempfehlung 1999/519/EG bleiben.

Weiters zeigte sich, dass auch bei relativ hohen lokalen Feldstärkeüberhöhungen zufolge mehrerer aktiver Mobiltelefone in reflektiver Umgebung die Exposition von Personen hinsichtlich der Basisgrößen stets unterhalb der Basisgrenzwerte liegt. Unter den gegebenen Umständen (Nahfeld von Quellen, reflektive Umgebung) ist eine Beurteilung der Expositionssituation auf Basis von Feldstärkewerten (Referenzwerten) physikalisch nicht sinnvoll.

Bei einer vergleichenden Bewertung der Expositionsverhältnisse bei Handynutzung in teilgeschirmter Umgebung und im Freien, stellt sich die Situation für Handynutzer und Nicht-Handynutzer grundsätzlich unterschiedlich dar. Für den Handynutzer stellt 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. das Sendeleistungsverhalten des Mobiltelefons wird 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. 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.

Bei der Aussage über den Einsatz von Repeatern (z.B. in U-/S-Bahn oder im ICE) mit der Absicht der Minderung der Exposition der Passagiere sollte zwischen Handynutzern und Nicht-Handynutzern unterschieden werden. Aufgrund der Tatsache, dass durch einen Repeater das Sendeleistungsniveau der aktiven Mobiltelefone stark reduziert wird, bewirkt der Repeater damit eine signifikante und hohe Reduktion der Exposition von telefonierenden Handynutzern und damit auch eine Reduktion der Strahlungsimmission der Nicht-Handy-Nutzer.

Aufgrund der Verwendung von Schlitzkabel-Antennen erfolgt die ‚Verteilung‘ der HF-Energie gleichmäßig im Repeaterwagen, es kommt zu keinen lokalen Feldstärkeerhöhungen durch die Abstrahlung des Repeaters.

Bei den Messungen zeigte sich, dass das GSM-spezifische Regelverhalten der Mobilfunkendgeräte von allen Netzbetreibern in ihre Netze implementiert ist, und dass es aufgrund des Regelverhaltens zu einer signifikant reduzierten Strahlungsemission der GSM-Endgeräte kommt.

Aus diesem Grund sind die gemessenen Strahlungsdichtewerte geringer als die berechneten Werte, da in den Berechnungen immer mit dem Maximalwert – der bis zum 500- bis 1.000-fachen über dem tatsächlichen Wert liegen kann – gerechnet wird.

Aufgrund der Netzlastsituation kann es vorkommen, dass zwei – nur wenige Zentimeter von einander entfernte – Handys in unterschiedlichen Zellen und mit grundsätzlich unterschiedlichen Frequenzen (900 MHz bzw. 1800 MHz) und mit unterschiedlicher Sendeleistung eingebucht sind.

Da bei ausgewählten Messszenarien mit einer überhöhten ‚Packungsdichte‘ von Handynutzern gemessen werden sollte, konnte der Verdrängungseffekt in andere Zellen aufgrund der künstlich erzeugten Überlast festgestellt werden.

Trotz dieses Verdrängungseffektes, der zu höheren Sendeleistungen der umgebuchten Handys führt, konnte keine Feldstärkeerhöhung oder Resonanzeffekte gemessen werden, da jede zusätzliche Person auch zusätzlich die emittierte Strahlung absorbiert.

2. Summary

In order to clarify whether intensive use of mobile phones inside partially shielded environments can lead to personal exposure beyond current safety limits, extensive measurements and numerical computations were carried out.

The considered exposure situations included various different scenarios with respect to the spatial distribution of persons and number of RF sources in an elevator, four different sized cars (small car, limousine, estate car, and van), a bus, an underground/suburban railway carriage, an intercity express train, and an aircraft.

All computations were based on the FDTD method. Each of the small sized scenarios (elevator and cars) could be entirely included into one computational domain with up to 200 million FDTD cells. For the larger scenarios (strung-out in one direction, but restricted in height and width) for the bus, the underground/suburban railway carriage, the intercity express train, and the aircraft separate computations were performed for the case at the end of the respective carriage (end wall of carriage considered) and for the case in the middle section of the carriage. Each of these scenarios also led to FDTD domains of up to 200 million cells. The validity of this separated consideration was demonstrated based on example scenarios.

Parallel to the numerical computations comparative measurements were carried out in corresponding real life situations of all of the above mentioned cases and under different scenarios with respect to the spatial distribution of persons and number of RF sources. As measurement quantities the time course of the receiving and transmitting power level of the used mobile phones (derived by monitoring software), the power flux density (measured by a broadband field probe) and the SAR in a dummy head of a portable SAR measurement system were considered.

The measurements and computations concordantly demonstrated that intensive use of mobile phones inside partially shielded environments can lead to higher field strengths compared to the situations under free space conditions, however, under usual conditions and in usual distances from the mobile phones (e.g. > 30 cm) these field strengths are still below the reference levels according to the recommendation of the European council 1999/519/EC, even under intensive mobile phone usage.

Further, it was shown that even in the case of relatively high local field strengths due to multiple sources and the reflective environment, the personal exposure in terms of the basic quantity SAR stays below the basic restrictions. Under the considered conditions (in the near field of sources and in reflective environments) exposure assessment based on field strengths and derived reference levels is not applicable from a physical point of view.

In an overall judgement of personal exposure inside partially shielded environments compared to the case of free space conditions the situations of mobile phone users and non-mobile phone users must be distinguished. For users of active mobile phones, their own mobile phones operated close to the head represent the almost only relevant source of exposure. Assuming constant transmit power of the mobile phones (i.e., neglecting the automatic power control), the amount of exposure of a (relatively high) exposed mobile phone user is almost independent of the surrounding conditions, i.e., it does almost not matter if the phone is used in free space or inside one of the considered transportation means. In contrast, for the (relatively low exposed) non-mobile phone user the relation of exposures under free space conditions and inside partially shielded environments can become significant. The numerical computations yield elevations of non-user exposure (in terms of max.10g averaged

SAR and head averaged SAR) up to a factor of 15 and 6-8 for the cars and the larger sized scenarios, respectively. However, it must be kept in mind that the absolute values of exposure of non-mobile phone users are several orders of magnitude lower than the exposure of mobile phone users.

Similarly, a statement concerning the application of repeater devices (e.g., in train carriages) with the intention to reduce the RF exposure of passengers must distinguish between users of mobile phones and non-users. Based on the fact, that the transmit power of the active mobile phones will be significantly reduced by the application of a repeater (due to the transmit power control), the exposure of mobile phone users and of the nearby sitting non-users will be significantly reduced.

The measurements demonstrated that the GSM power control of the handhels has an important and reducing influence on the radiation emitted by the mobile phones.

Out of that, the measured exposure is much lower than the computed figures. All the computations – also in literature – were realized with values that can be up to 500 to 1.000 fold higher than the real emitted radiation power.

The measurements have also shown, that in dependence of the communication traffic load in the mobile network, two mobiles – only some centimetres in distance – can use different cells with complete different frequency (900 or 1800 MHz) and different power control levels.

The above mentioned effect was also found in the scenarios with an untypical high number of mobile phones users per square meter.

Even with an untypical high number of mobile phone users in partially shielded rooms all the measured field strength were much below the reference level, also due to the additional absorbing persons.

3. Zielsetzung

Originaltext:

"Die Hypothese, dass die drahtlose Telekommunikation in teilgeschirmten Räumen zu erhöhten Expositionen durch hochfrequente elektromagnetische Felder führt, soll im Rahmen dieses Teilprojektes überprüft und quantifiziert werden. Hierzu ist es erforderlich, die realen Expositionen in teilgeschirmten Räumen mittels Messungen und numerischer Simulation zu bestimmen und mit jenen Werten zu vergleichen, die unter günstigen Bedingungen im Freien auftreten. Sowohl der kumulative Effekt der Nutzung vieler mobiler Endgeräte auf engem Raum wie auch der Einfluss von Reflexionen auf die von einzelnen Geräten verursachten Immissionen sollen bestimmt werden."

4. Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung bestand darin, Messungen und Berechnungen für verschiedene Szenarien der Handynutzung in teilgeschirmten Räumen und im Vergleich hierzu im Freien durchzuführen.

Hierbei sollte messtechnisch und rechnerisch untersucht werden, ob es in teilgeschirmten Räumen zu Feldstärkeüberhöhungen und damit zur Gefährdung der Personen kommen kann. Bei den messtechnischen Untersuchungen sollten eine E-Messfeldsonde und der Maschek-Messkopf verwendet werden.

Als Szenarien waren verschiedene PKW-Typen darunter auch ein Cabrio, ein Personenaufzug, ein öffentlicher Bus, ein ICE-Zug der DB AG mit und ohne Repeater, eine S-Bahn und ein Flugzeug des Typs Boeing 747 ausgewählt worden.

Die Messungen und Berechnungen sollten mit GSM Handys in den Frequenzen GSM 900 und GSM 1800 und für UMTS durchgeführt werden und dies innerhalb und außerhalb der teilgeschirmten Räume.

Da die Messungen die real auftretenden Situationen wiedergeben sollten, sollte besonderes Augenmerk auf die aktuelle geregelte Handy-Sendeleistung gelegt werden. Die jeweils auftretenden Sendeleistungswerte, der in unterschiedlichen Mobilfunk-Netzen eingebuchten Handys, sollte protokolliert und berücksichtigt werden.

Bei ausgewählten Messszenarien sollte zusätzlich mit einer sehr hohen Anzahl von mobil telefonierenden Personen (überhöhte ‚Packungsdichte‘ von Handynutzern) untersucht werden, ob hierbei kumulative Effekte auftreten.

Zusätzlich sollten noch Innen-Außen-Messungen (innerhalb und außerhalb eines PKWs) entlang einer innerstädtischen Straße durchgeführt werden.

5. Einführung

Im Jahre 2002 publizierte der japanische Physiker T. Hondou theoretische Berechnungen, die darlegten, dass bei gleichzeitiger Nutzung mehrerer Handys in einem Eisenbahnwaggon oder in anderen kleinen metallischen Räumen wie z. B. Aufzügen, die Grenzwerte der internationalen Strahlenschutzkommission für nicht ionisierende Strahlen (ICNIRP) überschritten werden können. Diese Veröffentlichung, die damals große Aufmerksamkeit erlangte, führte zu einer Stellungnahme des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS).

Stellungnahme des BfS zur Publikation: “Rising level of public exposure to mobile phones: Accumulation through additivity and reflectivity.”

Journal of the Physical Society of Japan. Vol. 71(2), pp 432-435, 2002. (Tsuyoshi Hondou) [1]

Der Bedeutung dieser Stellungnahme entsprechend wird sie hier nachfolgend im vollen Wortlaut wiedergegeben:

“Exposition von Personen durch die Nutzung von Mobiltelefonen in Räumen, die durch metallische Wände begrenzt sind (z. B. Kfz, Eisenbahnwaggons).

In der genannten Publikation wird die elektromagnetische Leistungsflussdichte berechnet, die durch den Gebrauch von Mobiltelefonen in metallisch umschlossenen Räumen hervorgerufen werden kann. Als Rahmenbedingungen für diese theoretische Betrachtung wird angenommen, dass die Wände elektromagnetische Wellen vollständig reflektieren und die einzigen Verluste durch die Abstrahlung elektromagnetischer Wellen nach Außen durch die Fenster entstehen. Nach Angabe des Autors der Studie würden unter diesen Rahmenbedingungen, in einem typischerweise für den Pendelverkehr eingesetzten japanischen Eisenbahnwagen die von ICNIRP empfohlenen Referenzwerte für die allgemeine Bevölkerung überschritten werden, wenn eine Hochfrequenzleistung von insgesamt 12 Watt in dem Wagen abgestrahlt wird. Da die technischen Details der japanischen Endgeräte nicht bekannt sind, kann nicht abgeschätzt werden, wie viele Telefone hierfür gleichzeitig senden müssten. Aus dem Artikel kann eine Zahl von etwa 25 Telefonen abgeleitet werden. Dies erscheint eine durchaus praxisrelevante Situation zu sein. Deshalb ist es aus Strahlenschutzgründen erforderlich, das Problem genauer zu betrachten.

Im Folgenden werden deshalb die Ergebnisse der Studie zunächst auf deutsche Verhältnisse übertragen. Es werden dafür die typischen Abmessungen eines IC-Reisezugwagen (54 Sitzplätze) nach Angaben der Deutschen Bahn sowie die technischen Daten von D- und E-Netz zugrunde gelegt. Danach ergibt sich für das D-Netz eine erforderliche Gesamtleistung von etwa 16 W, entsprechend etwa 64 mit maximaler Leistung sendende Geräte, um eine Leistungsflussdichte von 4,5 W/m² zu erreichen. Diese Leistungsflussdichte entspricht dem ICNIRP Referenzwert bei 900 MHz. Im E-Netz wären etwa 32 Watt erforderlich, um eine Leistungsflussdichte von 9 W/m² - dem Referenzwert bei 1800 MHz - zu erreichen. Dies entspricht etwa 257 gleichzeitigen Telefonaten bei maximaler Leistung der Geräte. Zumindest für das E-Netz ist dies keine praxisnahe Situation.

Die in der Publikation zugrunde gelegte Annahme einer dämpfungsfreien Wellenausbreitung im Inneren eines Eisenbahnwagens, Busses oder eines beliebigen anderen Raumes, in dem sich Menschen aufhalten, ist zudem unrealistisch. In der Regel werden die elektromagnetischen Wellen durch Einrichtungsgegenstände, Verkleidungen und vor allem durch die Personen im Raum zusätzlich gedämpft.

Genauere Zahlenangaben über diese zusätzliche Dämpfung liegen nicht vor. Eine grobe Abschätzung anhand des bekannten Absorptionsverhaltens des menschlichen Körpers ergibt einen ungefähren Absorptionsquerschnitt für einen Erwachsenen von etwa 0,4 m². Die Summe der Absorptionsquerschnitte der Personen in dem betreffenden Raum kann in erster Näherung den durch die Fensteröffnungen bereits berücksichtigten Absorptionsquerschnitten hinzugerechnet werden.

Geht man unter diesen Voraussetzungen davon aus, dass der Waggon mit 54 Personen voll besetzt ist, so ergeben sich deutlich höhere Sendeleistungen, um die Grenzwerte für die elektromagnetischen Felder zu erreichen. Für das D-Netz ergeben sich 26 W, entsprechend 104 mit maximaler Leistung sendende Mobiltelefone. Für das E-Netz wäre eine Sendeleistung von insgesamt 52 W, entsprechend 416 sendende Geräte, erforderlich, um den Referenzwert zu erreichen.

Zusammenfassende Bewertung

Die genannte Publikation leitet ein theoretisches Konzept ab, um die elektromagnetischen Felder abzuschätzen, die durch den Betrieb von Mobiltelefonen in Räumen mit metallischen Wänden erzeugt werden. Dabei wird von Randbedingungen ausgegangen, die in der Praxis so nicht realistisch sind. Insbesondere wird durch das beschriebene Verfahren die Dämpfung durch Einrichtungsgegenstände und insbesondere durch die anwesenden Personen nicht berücksichtigt. Es wird weiterhin nicht berücksichtigt, ob die erforderliche hohe Anzahl an Funkverbindungen in den Zellen der bestehenden Netze überhaupt realisiert werden kann.

Überträgt man die Ergebnisse der genannten Studie auf deutsche Verhältnisse und berücksichtigt man zumindest näherungsweise realistische Randbedingungen, so erscheint es extrem unwahrscheinlich, dass die bestehenden Grenzwerte durch die massenweise gleichzeitige Nutzung von Mobiltelefonen, z. B. in Eisenbahnwaggons, überschritten werden. Es bleibt aber zu berücksichtigen, dass der gewählte statistische Ansatz keine Aussagen über eine räumliche Intensitätsverteilung zulässt. Es ist deshalb durchaus möglich, dass sowohl zeitlich, als auch lokal begrenzt Intensitätsspitzen auftreten, die höher sein können als die hier berechnete mittlere Exposition. Da wesentlich Einflussfaktoren, wie z. B. die Dämpfung durch Personen, numerisch nicht genau bekannt sind, lassen sich genauere Abschätzungen nur durch Messungen erreichen."

6. Beschreibung von Studien

6.1 Veröffentlichung von Hondou und Stellungnahmen hierzu

Eine besondere öffentliche Aufmerksamkeit erlangte im Jahr 2002 eine theoretische Ausarbeitung des japanischen Physikers *Tsuyoshi Hondou* zu möglichen Grenzwertüberschreitungen in Zugwaggons durch gleichzeitige Nutzung mehrerer Mobiltelefone [1].

Als Grundlage für seine Berechnungen nahm Hondou das Modell einer geschlossenen metallischen Box mit reflektierenden Innenwänden, welche an manchen Stellen Öffnungen oder nicht-reflektierende Flächen aufweist. Dafür leitete er für darin räumlich verteilte Quellen elektromagnetischer Felder die mittlere Stärke des elektromagnetischen Feldes innerhalb der Box ab, wobei er neben den summierten Sendeleistungen, dem Volumen und der Ausdehnung der Box lediglich noch einen von der Art der reflektierenden Wände abhängigen Verlustfaktor einbezog. Die dabei entstehende Gleichung kann nach Ansicht von Hondou mit entsprechender Anpassung der Parameter für verschiedene geschlossene Räume wie Autobusse, Aufzüge oder auch Konzerthallen angewendet werden.

Nach dieser theoretischen Herleitung betrachtet Hondou das Beispiel eines japanischen Zugwaggons einer aktuellen Baureihe, der bei einer vorgesehenen maximalen Passagierzahl von 151 Personen (darunter 51 bzw. 54 Sitzplätze) in Stoßzeiten mit bis zu 300 Personen besetzt sein kann. Für diesen Waggon berechnet er auf Basis dessen Volumens, seiner Länge und der Annahme einer gewissen Fensterfläche eine gesamte Sendeleistung im Waggon von 12 Watt, bei welcher bereits die empfohlenen Grenzwerte nach ICNIRP [2] erreicht werden. Eine solche Leistung sieht er nach einer vorangegangenen Erläuterung der Sendeleistung von Mobilgeräten durchaus als möglich an, besonders wenn ein vollbesetzter Zug unplanmäßig hält und die Reisenden aufgrund der zu erwartenden Verspätung vermehrt zum Mobiltelefon greifen.

In seinem Text weist Hondou auch auf zwei Unsicherheiten hin, welche das von ihm nur theoretisch betrachtete Ergebnis beeinflussen können, nämlich die Anwesenheit von Passagieren, welche den Verlustfaktor vergrößern bzw. die Exposition verringern sowie der Abschirmeffekt der Fenster, die je nach ihrer Größe in Abhängigkeit von der Wellenlänge die Exposition wiederum erhöhen können.

Wertung

Abgesehen von diesen erwähnten, im Originaltext aber auch eher nebensächlich beschriebenen Unsicherheiten lässt Hondou's Arbeit eine realistische Auseinandersetzung mit dem Thema komplett vermissen. So verwundert besonders die Annahme eines nahezu ideal reflektierenden metallischen Hohlkörpers als Ersatzmodell für einen vollbesetzten Zugwaggon, dessen Dämpfungsverhalten in der Realität gravierend von den von Hondou vorausgesetzten Eigenschaften abweichen dürfte. Sowohl nicht ideal reflektierende Wände, Einrichtungsgegenstände als auch Personen dämpfen das Funkfeld in nicht zu vernachlässigender Weise, entsprechende Überlegungen werden z. B. in einer weiter unten vorgestellten finnischen Betrachtung [27] beschrieben. Weiterhin wäre für eine reale Umgebung zu klären, wie viele gleichzeitig sendende Mobilfunkverbindungen die Mobilfunknetze in einem solchen eng umgrenzten Raum aufzubauen vermögen, insbesondere bei einer Zeitschlitzstruktur wie im GSM-System und welche Sendeleistung überhaupt im Waggon verbleibt. Es findet auch keine messtechnische oder durch vergleichbare Veröffentlichungen nachvollziehbare Absicherung der gemachten Herleitungen statt. Die Ausarbeitung bezieht

sich zudem unter Vernachlässigung von in der Realität auftretender lokal unterschiedlicher Immissionsverteilungen ausschließlich auf Mittelwerte, sodass die vorgestellten Berechnungen vor eine Weiterverwertung auch dahingehend erweitert werden müssten.

Wertung der Hondou-Studie in anderen Veröffentlichungen

IT'IS

Kritik an der von Hondou gewählten Betrachtungsweise, eine mögliche Grenzwertüberschreitung auf die abgeleiteten Grenzwerte (Referenzwerte nach ICNIRP) zu beziehen, wurde in einem auf die Studienveröffentlichung folgenden Leserbrief an die herausgebende Zeitschrift von Fachleuten der schweizerischen *Foundation for Research on Information Technologies in Society (IT'IS)* geübt [3]. Darin weisen die Autoren darauf hin, dass in diesem Fall von resonanzfähigen Umgebungen und unter Nahfeldbedingungen alleine die Basisgrenzwerte in der Einheit der spezifischen Absorptionsrate (SAR) zu betrachten sind. Dabei bezeichnen sie es als unmöglich, dass die Ganzkörperexposition mehr als 25% des zugehörigen Basisgrenzwertes (max. SAR für die Allgemeinbevölkerung nach ICNIRP: 0,08 W/kg) überschreiten könne, auch wenn jeder im Objekt Anwesende selbst mit einem auf maximaler Leistung sendenden Mobiltelefon telefonieren würde. Sie weisen auch darauf hin, dass die höchste Exposition durch das am Kopf des Nutzers befindliche Mobiltelefon entsteht und jene durch Nachbartelefone viel geringer ist, sodass sie bei entsprechenden Betrachtungen keinen Unterschied darin sehen, ob diese für geschlossene Räume oder den Freiraum gemacht werden.

Hondou-Antwort auf IT'IS

In der in der gleichen Ausgabe der Zeitschrift erscheinenden Antwort von Hondou [4] verteidigt dieser seine Vorgehensweise und kritisiert seinerseits die Grenzwertdefinition der ICNIRP, deren Basis auf thermischen Überlegungen beruht und nach seiner Darstellung andere, nicht-thermische Wirkungen zu wenig berücksichtigt. Allerdings wird in seinen weiteren Ausführungen weniger auf den eigentlichen Inhalt seiner Untersuchung der Berechnung elektromagnetischer Felder in weitgehend geschlossenen metallischen Räumen eingegangen, sodass hier auf eine weitere Beschreibung verzichtet werden kann.

New Scientist

In einer Zuschrift eines Experten aus der Mobilfunkindustrie [5] an das britische *Fachmagazin New Scientist*, das in einer vorangegangenen Ausgabe über die Studie von Hondou berichtet hatte, wurde ebenfalls auf einige Kritikpunkte hingewiesen, die sich auch auf Interpretationen in dem Beitrag des *New Scientist* bezogen. Dieser hatte die durch die Mobiltelefone erzeugten elektromagnetischen Felder als in dem Waggon „gefangen“ bezeichnet, was in dem Schreiben als nicht der Realität entsprechend bezeichnet wird. So wird unter anderem auch auf die Vernachlässigung der Dämpfung durch die Passagiere hingewiesen, die auch in dem Schreiben der IT'IS (siehe oben) erwähnte ungeeignete Verwendung der Referenzlevel erwähnt und als Hauptpunkt schließlich die berechnete Frage aufgeworfen, wie denn die Exposition mehrerer Passagiere die zulässige Exposition eines einzelnen überschreiten könne, selbst wenn jeder ein Mobiltelefon benutzt.

BfS zu Hondou

Nachdem die voran beschriebene japanische Studie aufgrund ihrer vordergründig brisant erscheinenden Inhalte dank entsprechender Medienbeteiligung einige öffentliche Aufmerksamkeit erlangt hatte, sah sich auch das deutsche *Bundesamt für Strahlenschutz* veranlasst, eine Stellungnahme mit eigenen Berechnungen herauszugeben [6]. Am Anfang dieser Ausarbeitung auf den Seiten 14 und 15 ist die Stellungnahme in vollem Wortlaut wiedergegeben. Wie bereits schon vorher von anderen ausgeführt wurde, wird auch darin die von Hondou zwar erwähnte, aber in seiner Beispielrechnung vernachlässigte Dämpfung durch Passagiere und Einrichtungsgegenstände und damit die Annahme einer dämpfungsfreien Wellenausbreitung im Innern des Waggons als unrealistisch kritisiert. Dennoch wird vom Bundesamt für Strahlenschutz die von Hondou hergeleitete Formel für die Abschätzung der Situation in einem deutschen IC-Reisezugwagen (54 Sitzplätze) angewendet und mit den technischen Parametern der deutschen GSM-Mobilfunknetze durchgerechnet. Demnach wäre eine gesamte Sendeleistung von etwa 16 Watt notwendig, um den nach der 26. BImSchV [7] geltenden Grenzwert der Leistungsflussdichte von $4,5 \text{ W/m}^2$ bei 900 MHz zu erreichen, was einer spezifischen Absorptionsrate (Ganzkörperexposition) von $0,08 \text{ W/kg}$ entspricht. Diese Sendeleistung entspricht etwa 64 gleichzeitig sendenden Mobilgeräten im 900 MHz-Bereich, was als wenig praxisnah beschrieben wird und zudem die berechnete Frage offen lässt, ob das örtlich verfügbare Mobilfunknetz überhaupt die erforderliche Anzahl der in einer Zeitschlitzstruktur verfügbaren Kanäle gleichzeitig bereitstellen kann. Bei der Annahme von im 1800 MHz-Bereich arbeitenden Mobilgeräten wäre sogar eine Zahl von etwa 257 gleichzeitig sendenden Geräten notwendig.

In Erweiterung der von Hondou gemachten Vereinfachungen bezieht das BfS in einer groben Abschätzung als nächsten Schritt auch die Absorption durch im Wagen befindliche Personen mit ein, wobei es für einen Erwachsenen einen Absorptionsquerschnitt von etwa $0,4 \text{ m}^2$ annimmt. Die Summe dieser Querschnitte kann den durch die auch von Hondou bereits berücksichtigten Fensteröffnungen hinzugerechnet werden. Damit ergeben sich dann für gleiche Leistungsflussdichten deutlich höhere notwendige Sendeleistungen, welche schließlich sogar 104 mit maximaler Sendeleistung arbeitende Mobilgeräte im 900 MHz-Bereich bzw. 416 Geräte im 1800 MHz-Bereich entsprechen würden.

Das BfS weist in seiner Stellungnahme jedoch darauf hin, dass der gewählte statistische Ansatz keine Aussagen über eventuelle lokal und zeitlich begrenzte Intensitätsspitzen zulässt und sieht auch im Zusammenhang mit anderen Einflussfaktoren, wie der Dämpfung durch Personen, die zukünftige Notwendigkeit einer genaueren Abschätzung durch Messungen.

Toropainen (Nokia)

Die Herleitung einer realitätsnäheren Berechnung von Expositionen durch mehrere Mobiltelefone in geschlossenen reflektierenden Räumen als die von Hondou beschrieb Anssi Toropainen vom Nokia Research Center in Espoo in Finnland in einem Beitrag in der Januarausgabe 2003 der Fachzeitschrift *Bioelectromagnetics* 24; Seite 63-65 (2003) [27]. Dabei setzte er ein Berechnungsverfahren für Resonanzkörper ein, wie es auch oft für Feldberechnungen in Modenverwirbelungskammern (reverberation chambers) für Tests der elektromagnetischen Verträglichkeit von Geräten verwendet wird. Dabei nahm er an, dass durch die Verteilung der Mobiltelefone und die Bewegungen ihrer Nutzer ein inkohärentes Feld entsteht und gab dafür eine aus der Literatur entnommene Berechnungsformel für die äquivalente Leistungsflussdichte innerhalb des reflektierenden Raumes an, welche dessen Dimensionen und Reflexionscharakteristik sowie die angenommene Sendeleistung berücksichtigt. An dieser Stelle berücksichtigte er zur Vereinfachung und zur Betrachtung einer

„worst-case“-Situation noch nicht solche das Feld schwächende Komponenten wie Dämpfungen durch die Einrichtung oder Abstrahlungsverluste durch Fenster und Türen. Allerdings ließ er in die Berechnungsformel die frequenzabhängige Dämpfung durch Personen einfließen, die sich durch deren Anzahl und Charakteristiken wie Größe und Gewicht beschreiben lässt.

Mit dieser Formel berechnete er dann beispielhaft für die angenommenen Szenarien Zugwaggon, Aufzug und PKW mit deren jeweiligen Parametern und einer im oberen Bereich angesiedelten Personenzahl, wie viel Mobiltelefone gleichzeitig senden müssten, um den Basisgrenzwert für Ganzkörperexposition von 0,08 W/kg (nach ICNIRP) bzw. den zugehörigen Referenzwert der Leistungsflussdichte zu überschreiten. Dabei ging er davon aus, dass die gesamte von den Mobiltelefonen abgegebene Leistung von den Personen aufgenommen würde.

Als Ergebnis stellte er dabei fest, dass dazu eine deutlich höhere Anzahl von Mobiltelefonen gleichzeitig mit maximaler Leistung senden müssten, als Personen in dem Raum anwesend waren. So wären dazu in einem PKW gleichzeitig 20 GSM-Mobiltelefone im Frequenzbereich von 900 MHz notwendig, bei GSM-1800 Geräten sogar deren 90, um den Referenzwert zu überschreiten. Zur Überschreitung des Basisgrenzwertes wäre diese Anzahl sogar noch höher, nämlich 80 Personen für GSM-900 Geräte und 160 für GSM-1800 Geräte.

Tabelle 1, Tabelle 2 und Tabelle 3

Im Gesamtbild stellen sich die Annahmen und Ergebnisse wie folgt dar:

Raumbeispiele	Größe (Höhe x Breite x Länge in m)	Übliche Personenzahl für den jeweiligen Raum
Zugwaggon	3,0 x 5,0 x 20	100
Aufzug	2,5 x 2,5 x 2,5	20
PKW	1,5 x 1,5 x 2,0	5

Tabelle 1: Raumbeispiele mit hierfür üblichen Personenzahlen

System	Sendeleistung	Referenzwert	Zugwaggon	Aufzug	PKW
GSM-900	250 mW	4,5 W/m ²	440	80	20
GSM-1800	125 mW	9,0 W/m ²	1770	350	90
CDMA	200 mW	10,0 W/m ²	1230	240	60

Tabelle 2: Notwendige gleichzeitig sendende Mobiltelefone verschiedener Mobilfunksysteme, um die Referenzwerte zu überschreiten (die Sendeleistung ist die zeitlich gemittelte maximale Sendeleistung)

System	Sendeleistung	Leistungsdichtegrenzwert	Zugwaggon	Aufzug	PKW
GSM-900	250 mW	4,5 W/m ²	1600	320	80
GSM-1800	125 mW	9,0 W/m ²	3200	640	160
CDMA	200 mW	10,0 W/m ²	2000	400	100

Tabelle 3: Notwendige gleichzeitig sendende Mobiltelefone verschiedener Mobilfunksysteme, um die Leistungsdichtegrenzwerte zu überschreiten (die Sendeleistung ist die zeitlich gemittelte maximale Sendeleistung)

Insgesamt zeigt diese Arbeit eine wesentlich realistischere Auseinandersetzung mit den tatsächlichen Gegebenheiten, als es in der von Hondou zu erkennen ist. Allerdings werden auch darin nur Mittelwerte betrachtet, sowohl räumlich in der ortsabhängigen Ausbildung der elektromagnetischen Felder, als auch zeitlich in der angenommenen gemittelten Sendeleistung der Mobiltelefone, deren Mittelwert beim GSM-System durch das gepulste Sendeverfahren jedoch ein deutlich höherer Spitzenwert entgegensteht.

6.2 Andere Studien zu elektromagnetischen Feldern in Fahrzeugen

PKW (IMST)

Der Frage einer in Fahrzeugen durch deren nahen metallischen Wände gegenüber dem Freiraum abweichenden spezifischen Absorptionsrate (SAR) ist bereits im Jahr 1998 das *Institut für Satelliten- und Mobilfunktechnik (IMST)* nachgegangen, der entsprechende Artikel wurde inhaltsgleich in einem Beitrag des Fachmagazins *Funkschau* [8] und einem Newsletter der Forschungsgemeinschaft Funk (FGF) [9] wiedergegeben. Demnach wurden verschiedene zu vermessende Mobiltelefone an einem Phantom befestigt, das mit einer gewebesimulierenden Flüssigkeit gefüllt war und eine SAR-Messung ähnlich der im Jahr 2001 eingeführten europäischen Norm EN 50361 [10] erlaubt.

Mit dieser Anordnung wurde in einem ersten Schritt der Einfluss einer nahe befindlichen metallischen Wand gemessen, wobei die gefundene Änderung des gemessenen SAR-Werts in Abhängigkeit vom Abstand zwischen Mobiltelefon und metallischer Wand kleiner als 25 Prozent war und auch keine Überschreitung des Grenzwertes der SAR von 2 W/kg festgestellt wurde. Eine in diesem Rahmen gefundene Überhöhung des SAR-Werts trat konsistent bei allen Messungen bei einem Abstand von einem Viertel der Wellenlänge auf, was durch die dann phasengleiche Überlagerung der ausgesandten und reflektierten Wellen zu erklären ist. Dieser Effekt war bei 900 MHz-Geräten aufgrund des größeren absoluten Abstands stärker ausgeprägt als bei den 1800 MHz-Geräten.

In einer zweiten Messaktion des IMST wurde der Einfluss der metallischen Karosserie eines Kraftfahrzeugs untersucht, in dem ohne Verwendung einer Außenantenne telefoniert wird. Dabei wurden sowohl die Fahrer- als auch die Beifahrerposition vermessen, wobei die Linkshänderhaltung gewählt wurde, bei welcher der Fahrer das Mobiltelefon besonders nahe

zur metallischen Karosserie des Fahrzeugs hält. Die dabei ermittelten SAR-Werte zeigten, dass die Abweichungen zu den Freiraumwerten gering waren. Sie betragen für alle gemessenen Geräte maximal 18 Prozent, wobei sich im 900 MHz-Bereich durchgängig sogar eine Verringerung des SAR-Werts gegenüber dem Freiraumfall ergab. Leider wird für diesen letzten, etwas ungewöhnlich erscheinenden Umstand von dem Autor keine Erklärung angeboten.

Zusammenfassend wird in dem Artikel dargestellt, dass die komplexe Wellenausbreitungssituation innerhalb eines Fahrzeugs keine einfache Interpretation der gefundenen SAR-Werteveränderungen erlaubt und primär die nahe zum Mobiltelefon befindlichen metallischen Strukturen wie Halterungen der Rückenlehne oder der Kopfstützen einen Einfluss ausüben. Insgesamt werde der SAR-Wert in einem Fahrzeug wie auch im Freiraumfall wesentlich durch die Eigenschaften des Mobiltelefons bestimmt und weniger durch die Nähe metallischer Teile, er erfährt insbesondere auch keine signifikante Erhöhung.

Die in dem Artikel vorgestellten Messungen der SAR erfolgten ausschließlich bei maximaler Sendeleistung, wie es auch bei der nach seinem Erscheinen vorgelegten Norm EN 50361 vorgesehen ist. Leider wird damit keine Information darüber gewonnen, wie sich die umgebungsabhängige und von der Basisstation gesteuerte Sendeleistung innerhalb eines Fahrzeugs verhält, insbesondere ob und wie eine im Freiraumfall vorhandene eventuelle Reduzierung der Sendeleistung auch im Wageninnern möglich ist und damit die Exposition der Insassen verringert.

Autobus (EM-Institut)

Wie sich die Immissionen durch Handynutzung im Innern eines Linienbusses verhalten, wurde als Teilaspekt einer Messreihe des dafür von der Stadt Nürnberg beauftragten *EM-Instituts* (Regensburg) im Jahr 2003 ermittelt [11].

Dafür wurde mittels eines Basisstationssimulators eine mit maximaler Sendeleistung definierte Verbindung mit einem im hinteren Teil des Busses positionierten GSM-Mobiltelefons aufgebaut und mit einem Spektrumsanalysator in fünf unterschiedlichen Abständen die elektrische Feldstärke gemessen. Die in 1,5 Meter Höhe auf einem Stativ montierte Messantenne war jeweils fixiert und zur Feststellung der kleinräumlich maximalen Immission wurde das Mobilteil in einer Ebene senkrecht zur Verbindungslinie zur Messantenne hin und her bewegt. Durch die Verwendung der „peak-hold“-Funktion des Spektrumsanalysators während der Messung wurde somit jeweils das durch das Mobilteil erzeugte Feldstärke-Maximum für die gegebene Entfernung gefunden.

Die mit diesen Messungen gefundenen Ergebnisse werden in der Veröffentlichung gemittelt wiedergegeben, berücksichtigen also das Tastverhältnis des GSM-Signals von 1:8. Die maximale (gemittelte) elektrische Feldstärke betrug im geringsten Abstand von 0,6 Meter 7,1 V/m, sie sank mit größer werdendem Abstand kontinuierlich auf 0,7 V/m bei der maximalen Distanz von 7,3 Meter ab. Dabei wurde eine recht gute Übereinstimmung zur theoretischen Freiraumdämpfung proportional $1/r$ gefunden.

In Ergänzung zu den Innenraummessungen wurden diese später mit gleichen Abständen im Freien wiederholt. Dabei wurden erwartungsgemäß niedrigere Werte gefunden, die sich den Innenraummessungen in der folgenden Tabelle 4 gegenüberstellen lassen:

Messentfernung	Elektrische Feldstärke Innenraummessung	Elektrische Feldstärke Außenmessung	Grenzwert bei 900 MHz
7,3 m	0,7 V/m	0,4 V/m	42 V/m
5,3 m	1,2 V/m	0,6 V/m	42 V/m
3,3 m	2,2 V/m	1,0 V/m	42 V/m
1,3 m	5,2 V/m	2,5 V/m	42 V/m
0,6 m	7,1 V/m	5,0 V/m	42 V/m

Tabelle 4

Die im Fahrzeuginnenen gegenüber den im Freien gefundenen höheren Messwerte werden durch Reflexionen erklärt, welche zu einer durch Überlagerung entstehenden Feldstärkeüberhöhung führen.

Gleichzeitig wird aber darauf hingewiesen, dass mit der angewandten Messmethodik zwar die Feldstärkenmaxima, aber nicht die ebenso existierenden Minima gesucht bzw. gefunden wurden. Bei der Betrachtung eines Menschen wirken diese verteilt über sein Volumen jedoch ebenso und an der Summe ändert sich daher nach Ansicht des EM-Instituts nichts.

Insgesamt wird in der Arbeit zusammengefasst festgestellt, dass keine massiven Feldstärkeerhöhungen gefunden wurden und im Businnern durch Mobilfunknutzung keine signifikanten Änderungen bei der Immission der Passagiere gegenüber im Freien auftreten.

Da sich diese Messreihe nur mit den Emissionen eines einzelnen Mobiltelefons beschäftigt hat, wäre noch zu untersuchen, wie sich die Immissionen durch mehrere Mobiltelefone gestalten und auch wie die Anwesenheit von Passagieren die Feldstärkeverteilung beeinflusst. Aufgrund der Versuchsbeschreibung bleibt auch offen, ob das sendende Mobilgerät frei abstrahlen konnte oder neben einem absorbierenden Körper angebracht war, wie es bei einer normalen Nutzung am Kopf stets der Fall ist und was die ins Fahrzeuginnere abgestrahlte Energie insgesamt verringert. Weiterhin bleibt auch hier die Frage zwar gestellt aber ungeklärt, ob und wie im Fahrzeuginnen im Realbetrieb eine Regelung der Sendeleistung der Mobilgeräte stattfindet und somit die Exposition der Passagiere mit beeinflusst.

Autobus (IZGMF)

Die mobilfunkkritische Organisation *Informationszentrum gegen Mobilfunk (IZGMF)* hat mit Unterstützung der Münchener Verkehrsbetriebe im Jahr 2004 eine eigene Messung in einem Standard-Liniengelenkbus durchgeführt, wobei in Erweiterung der Untersuchung aus Nürnberg drei Mobiltelefone eingesetzt wurden [12].

Diese drei Mobiltelefone wurden mittels eines Basisstations-Simulators in einen definierten Betriebszustand mit maximaler Sendeleistung versetzt und vergleichsweise dicht beieinander im vorderen Teil des Busses mit einer nicht-metallischen Hilfskonstruktion in Kopfhöhe eines

hypothetischen Nutzers angebracht. Während der Messungen befanden sich neben dem Messtechniker bei den jeweiligen, im Bus verteilten Messpositionen auch drei weitere Personen auf Plätzen nahe den Mobiltelefonen. Die Messungen erfolgten mittels einer isotropen Mess-Sonde und einem Spektrumsanalysator, wobei an jedem der im Bus vorhandenen Sitzplätze (bis auf die Plätze mit den Mobiltelefonen) in Kopfhöhe gemessen wurde. Durch die frequenzselektive Messung konnten sowohl die Immissionen durch jedes einzelne Mobiltelefon festgestellt werden, als auch rechnerisch deren Summe.

Als höchsten Messwert durch ein einzelnes Mobiltelefon wurde an einem Platz daneben der Spitzenwert von ca. $0,556 \text{ W/m}^2$ gefunden (entspricht ca. $14,48 \text{ V/m}$). Da die Autoren dieser Studie nicht den Mittel- sondern den Spitzenwert als die biologisch relevante Größe betrachten, werden die gefundenen Messwerte auch als Spitzenwert angegeben (und nicht wie in der Studie aus Nürnberg gemittelt unter Berücksichtigung des GSM-Pulsverhältnisses von 1:8). Der maximale Wert, berechnet durch Kumulation der jeweiligen Spitzenwerte, betrug unter allen vermessenen Plätzen ca. $0,776 \text{ W/m}^2$. Als minimaler Wert, verursacht durch ein einzelnes Mobiltelefon wurden bei entfernt gelegenen Plätzen Leistungsflussdichten von etwas über 1 mW/m^2 gefunden. Hinweis: Der Grenzwert beträgt bei GSM 900 $4,5 \text{ W/m}^2$.

In einem zweiten Teil der Untersuchung wurde ermittelt, wie sich die Sendeleistungsregelung eines Mobiltelefons verhält, wenn sich dessen Nutzer während des Gesprächs vom Freien in den Bus begibt. Dazu wurden zwei Mobiltelefone mit einer Monitorfunktion der eingestellten Leistungsstufen eingesetzt, die bei insgesamt 39 gültigen Messungen während Verbindungen mit normalen Funkzellen eingesetzt wurden. Dabei regelten die Mobiltelefone in 33 Fällen die Leistung nach oben, fünfmal blieb sie gleich und in einem Fall wurde sie sogar reduziert, was mit möglichen Signalüberlagerungen erklärt wurde. Unter den 33 Fällen der Leistungsregelung nach oben wurde sieben Mal auf die maximale Leistung hochgeregelt, wobei in der Spitze mit dem 25-fachen und im Mittel mit einer 6-mal höheren Leistung innerhalb des Fahrzeugs als im Freien gesendet wurde.

Auch in dieser Untersuchung wurde im Wesentlichen nicht geklärt, wie sich die Anwesenheit von einer größeren Anzahl von Personen durch deren Absorption auf ihre Expositionen auswirkt. Dies schließt auch wie bereits bei der Nürnberger Untersuchung die Absorption durch den Mobiltelefonnutzer selbst ein, der im vorliegenden Fall durch eine überwiegend nicht-absorbierende Halterung für das Mobiltelefon ersetzt wurde.

Kfz bei Frequenzen unterhalb GSM

Bei einer 1999 veröffentlichten amerikanischen Untersuchung [13] wurde der Frage nachgegangen, welche Feldstärken bzw. spezifischen Absorptionsraten im hinteren Teil eines Kraftfahrzeugs erzeugt werden, auf dessen Heck eine Mobiltelefon-Außenantenne angebracht ist, welche durch die Heckscheibe in das Fahrzeuginnere strahlt. Dabei wurden vergleichsweise leistungsstarke Mobiltelefone mit einer Sendeleistung zwischen 30 Watt und 120 Watt in den Frequenzbereichen von 146 MHz und 460 MHz eingesetzt, sodass die gefundenen Ergebnisse nur sehr bedingt auf die Verhältnisse des GSM-Mobilfunks zu übertragen sind. Zudem wurde aus Gründen einer begrenzten Größe der eingesetzten Messkammer für einen Teil der Messungen nur der aufgeschnittene, hintere Teil eines PKW's verwendet, sodass für diesen Teil der Untersuchungen auch keine Aussagen darüber gemacht werden können, wie sich Reflexionen in einem geschlossenen Fahrgastraum auswirken. Hintergrund dieser Untersuchung war es herauszufinden, ob durch eine Exposition durch

derartige Mobilfunkantennen der in den USA gültige Teilkörper-Grenzwert der spezifischen Absorptionsrate von 1,6 W/kg (bezogen auf 1g Körpergewebe) [14] überschritten werden kann, wobei besonders der Abstand von der Antenne zur Heckscheibe bzw. zum Messphantom betrachtet wurde. Die gefundenen Ergebnisse ließen sowohl bei 146 MHz als auch 460 MHz keine solche Überschreitung selbst bei einer Sendeleistung bis zu 120 Watt erkennen, wenn wie bei der Messung ein Abstand von etwa 80 cm zwischen Antenne und Messobjekt eingehalten wurde.

Flugzeuge

Von besonderer Bedeutung sind die Emissionen von Mobiltelefonen innerhalb geschlossener Räume für die Flugzeugindustrie. Hier sind es vor allem die eventuellen Einflüsse auf die Flugzeugelektronik durch an Bord betriebene Mobiltelefone oder andere, elektromagnetische Felder erzeugende Geräte, welche Gegenstand umfangreicher Untersuchungen sind, wie sie etwa vom Projekt „Wireless Cabin“ durchgeführt werden [15].

In Bezug auf die Exposition des Menschen wurden in diesem Projekt verschiedene Mobilfunksysteme sowohl rechnerisch als auch messtechnisch betrachtet und mit den Grenzwerten nach ICNIRP verglichen, eine Veröffentlichung der Ergebnisse steht noch aus.

Darüber hinaus wurden bereits von der *Civil Aviation Authority* im Februar 2000 in zwei verschiedenen Typen von Zivilflugzeugen (British Airways Boeing 737-236 und einer Virgin Atlantic Airways Boeing 747-243B) am Londoner Gatwick Flughafen Messungen mit an Bord betriebenen Mobiltelefonen durchgeführt, um Kenntnis über die entstehenden Felder zu erhalten [16].

Als allgemeines Ergebnis der Messungen wurde festgestellt, dass sich durch Reflexionen im Flugzeugrumpf stehende Wellen ausbildeten, welche bei einer Bewegung der Empfangsantenne längs des Rumpfs die gemessene elektrische Feldstärke um den Faktor 3 variieren ließen, Änderungen gab es auch, wenn die Mobiltelefone quer zum Rumpf bewegt wurden, etwa zu einem Nachbarsitz. Anwesende Personen zwischen Mobiltelefon und Empfangsantenne verringerten deren Empfangssignal, wogegen interne Türen, ob offen oder geschlossen, keinen Einfluss ausübten. Die bei diesen Messungen gefundenen elektrischen Feldstärken, die im Abstand von 3 und 10 Meter sowie der gesamten Kabinenlänge ermittelt wurden, lagen im Bereich bis zu 4,51 V/m, wobei es sich dabei um die Immissionen durch ein einzelnes Mobiltelefons handelte.

Hinweis: Der Grenzwert bei 900 MHz beträgt 42 V/m.

Dieser Report zeigt sehr deutlich auf, dass bei der Ermittlung von Expositionen in geschlossenen metallischen Strukturen wegen deren Einflusses auf die Ausbildung des elektromagnetischen Feldes Augenmerk auf die Feldstärkeverteilung gelegt werden sollte und die Anwesenheit von dämpfenden Objekten, wie etwa Personen nicht vernachlässigt werden darf.

7. Grenzwerte und Leistungsregelung

7.1 Expositionen und Grenzwerte

Sobald man von Expositionen und Grenzwerten spricht, sollte man sich über deren Definitionen und Unterscheidungen im Klaren sein, da hier oft Missverständnisse entstehen. Insbesondere handelt es sich hierbei um die Abgrenzung der Teilkörper- von der Ganzkörperexposition mit deren jeweils unterschiedlichen Grenzwerten, wobei bei diesen wiederum zwischen Basisgrenz- und Referenzwerten unterschieden wird. Da diese Klärungen gerade bei dem Thema dieser Studie, dem Sonderfall von Expositionen in kleinen, teilgeschirmten Räumen von besonderer Bedeutung ist, werden die dahinterstehenden Grundlagen aus dem Bereich der Frequenzen des Mobilfunks nachfolgend kurz vorgestellt. Die Basis dieser Überlegungen ist in den „Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields“ der *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)* [2] beschrieben.

Unter Ganzkörperexposition wird der Fall verstanden, dass der ganze Körper eines Menschen einem elektromagnetischem Feld ausgesetzt ist, das Gegenteil dazu ist die Teilkörperexposition, bei der, wie etwa bei der Handynutzung am Kopf, bestimmte Körperteile besonders exponiert werden. Diese trivial erscheinende Unterscheidung verdient bei der vorliegenden Studie besondere Beachtung, da bei dicht benachbarten Personen in einem kleinen, teilgeschirmten Raum unter Umständen beide Expositionen zu betrachten und zu untersuchen sind, ebenso wie die zugehörigen, jeweils unterschiedlichen Grenzwertfestlegungen.

Bei diesen definiert man als Grundlage sogenannte Basisgrenzwerte, welche im Frequenzbereich des Mobilfunks in der Einheit der spezifischen Absorptionsrate SAR in W/kg angegeben werden. Da diese Größe auf komplizierte Weise nur innerhalb des Körpers und somit in der Realität nicht einfach zu messen ist, hat man daraus für die Bedingungen einer Ganzkörperexposition Referenzwerte abgeleitet, daher auch „abgeleitete Grenzwerte“ genannt, welche in einer natürlichen Umgebung einfacher zu messen sind, wie etwa die elektrische Feldstärke oder die im Fernfeld daraus zu berechnende Leistungsflussdichte. Diese Referenzwerte sollen räumlich über den ganzen Körper gemittelte Werte darstellen und wurden nach umfangreichen Betrachtungen so festgelegt, dass selbst unter Zugrundelegung der ungünstigsten Expositionsbedingungen die Basisgrenzwerte nicht überschritten werden [2].

Bei einer Teilkörperexposition ist diese Mittelung nicht sinnvoll anwendbar, sodass hierfür keine abgeleiteten Grenzwerte definiert werden. Jedoch muss auch bei der Betrachtung einer Ganzkörperexposition bei einer stark inhomogenen Feldverteilung wieder auf den Basisgrenzwert zurückgegriffen werden, da sonst eine falsche Beurteilung der gesamten Exposition möglich ist. Dieser Fall kann etwa in einer durch Reflexionen gekennzeichneten Umgebung auftreten, in der lokale Feldstärkeüberhöhungen existieren und somit z. B. durch eine rechnerische oder messtechnische Ermittlung des Feldstärkemaximums eine Überbewertung der Ganzkörperexposition entsteht. Unter solchen Umständen müssen für Grenzwertbetrachtungen entweder die Werte der Teilkörperexposition angewendet oder eine entsprechend aufwändige Bestimmung der tatsächlichen Ganzkörperexposition vorgenommen werden.

Die heute in den meisten Ländern gültigen Grenzwerte wurden nach den oben genannten Empfehlungen der ICNIRP [2] festgelegt.

Die Grenzwerte betragen in Deutschland für hochfrequente Felder durch ortsfeste Anlagen mit einer EIRP von größer 10 Watt, wie etwa Mobilfunk-Sendemasten, nach der 26. BImSchV [7] für die Allgemeinbevölkerung (Tabelle 5)

:

	Effektivwert der Feldstärke, quadratisch gemittelt über 6-Minuten-Intervalle	
Frequenz (f) in Megahertz	elektrische Feldstärke in Volt pro Meter (V/m)	magnetische Feldstärke in Ampere pro Meter (A/m)
10 - 400	27,5	0,073
400 - 2000	$1,375 f^{0,5}$	$0,0037 f^{0,5}$
	Werte für relevante Frequenzen	
GSM 900	41	0,111
GSM 1800	58	0,157
UMTS 2120	63	0,17

Tabelle 5

Diese abgeleiteten Grenzwerte beruhen auf einem Basisgrenzwert der SAR von 0,08 W/kg, für die Frequenzen des Mobilfunks berechnet betragen sie in der elektrischen Feldstärke somit bei GSM 900 ca. 41 V/m und bei GSM 1800 V/m ca. 58 bzw. UMTS ca. 63 V/m. Daraus lassen sich die zugehörigen Leistungsflussdichten berechnen, diese betragen bei GSM900 ca. 4,5 W/m² und bei GSM1800 sowie UMTS ca. 9 - 10 W/m².

Hinzu kommt die Einschränkung, dass bei gepulsten Feldern deren Spitzenwert der elektrischen Feldstärke das 32-fache des Mittelwerts nicht überschreiten darf. Dieser Umstand kommt jedoch beim Mobilfunk (GSM Pulsverhältnis max. 1:8) nicht zum Tragen.

Für Teilkörperexposition, wie sie z. B. durch die Nutzung eines Mobiltelefons entsteht, ist die Empfehlung des Europäischen Rates (1999/519/EG) [28] zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0-300 GHz) anzuwenden. Diese entspricht ebenso den Empfehlungen der ICNIRP, die für den (alleinig genannten) Basisgrenzwert der Teilkörperexposition für die Allgemeinbevölkerung eine SAR für Kopf und Rumpf von 2 W/kg und für die Gliedmaßen 4 W/kg vorsehen.

Für berufliche Exposition und andere Frequenzbereiche gelten andere Bedingungen, diese sind in den oben genannten Referenzen nachzulesen.

7.2 Leistungsregelung eines GSM-Mobiltelefons

Die Leistungsregelung eines GSM-Telefons unter realen Betriebsbedingungen ist für das anstehende Projekt ein ganz entscheidendes Kriterium. Die Ergebnisse, die in dem BfS-Projekt "Bestimmung der SAR-Werte, die während der alltäglichen Nutzung von Handys auftreten" gewonnen wurden, sind eine entscheidende Voraussetzung zur Realisierung dieses Projektes.

In "BfS-Vorhaben, Bestimmung der SAR-Werte, die während der alltäglichen Nutzung von Handys auftreten", Bericht für den Zeitraum August 2004 bis Januar 2005 [21], publiziert im Internet unter www.emf-forschungsprogramm.de und dort Dosimetrie, ist diese im Auftrag des BfS erstellte Publikation zugänglich.

In [18] wird mittels softwaremodifizierten GSM-Mobiltelefonen das Sendeleistungs-Regelverhalten von Mobiltelefonen in Italien unter realen Bedingungen untersucht. Die Untersuchungen wurden für GSM 900 und GSM 1800 und jeweils für städtische und ländliche Regionen, Innen- und Außenszenarien und stationäre Telefonate und Telefonate in Bewegung durchgeführt. Ergänzend wurden Daten, die von den italienischen Netzbetreibern geliefert wurden, für einen Vergleich hinzugezogen.

Die Ergebnisse in [18] zeigen, dass - abhängig von den verschiedenen Szenarien und Frequenzen - 50% bis 70% der Mobilfunkgespräche mit maximalen Sendeleistungswerten erfolgen. Ein derartiges Verhalten ist primär bedingt durch häufige Zellwechsel, die von der Basisstation gesteuert werden, um die Kommunikationsgüte zu optimieren.

Die Untersuchungen wurden durchgeführt, um für epidemiologische Studien Aussagen treffen zu können, mit welchen mittleren Sendeleistungswerten bei Mobilfunk-Telefonaten zu rechnen ist.

Da die Regelalgorithmen von den Netzbetreibern - teilweise auch in Abhängigkeit vom Hersteller der Basisstation - wählbar sind, kann das italienische Ergebnis nicht eins zu eins nach Deutschland übertragen werden. Die Daten liefern dennoch interessante Hinweise für wertende Vergleiche.

In [17] wird die Leistungsregelung eines GSM-Mobiltelefons unter realen Betriebsbedingungen in Deutschland untersucht. Mit einem Mobiltelefon (Sagem OT 76M) werden die GSM-Signalisierungsdaten der Luftschnittstelle über die im Mobiltelefon vorhandene Schnittstelle in einen Laptop ausgelesen. Anhand dieser Daten und den GPS-Koordinaten werden entlang eines Messweges Parameter wie Sendeleistung, Empfangspegel und verwendete Basisstation aufgezeichnet.

Die Auswertung in [17] erbrachte, dass die Regelungsmöglichkeit die die GSM-Technik bietet, nur teilweise voll von den Netzbetreibern im Untersuchungsgebiet genutzt wird. Durch Zellwechsel und Hochregelung bei nicht optimalen Empfangsbedingungen sind die mittleren Sendeleistungen höher als erwartet.

Ausgangspunkt für die Untersuchung in Schweden von [19] war die Überlegung, dass die Mobiltelefonate, die in Gebieten mit einer hohen Anzahl von Basisstationen geführt werden,

theoretisch eine geringere mittlere Sendeleistung verwenden müssten, als Mobiltelefone, die in z. B. ländlichen Gebieten mit einer größeren Entfernung zur Basisstation verwendet werden. Hierzu wurde die Sendeleistungsverteilung bei Mobiltelefonen in vier verschiedenen Gebieten in Schweden mit unterschiedlicher Bevölkerungsdichte untersucht. Die Daten wurden nicht aus dem Mobiltelefon ausgelesen, sondern es wurden die in der Basisstation des schwedischen Netzbetreibers vorhandenen Informationen aus vier verschiedenen Gebieten (ländlicher Raum, Kleinstädte, Vorstadtbereich und Innenstädte) in Schweden ausgewertet. Die Untersuchungen erstreckten sich auf GSM 900 und auf GSM 1800.

Das Ergebnis der Auswertung für GSM 900 und GSM 1800 zeigte, dass in ländlichen Gebieten die höchste Leistungsstufe in ungefähr 50 % der Zeit verwendet wurde, während die niedrigste Leistungsstufe nur in 3 % verwendet wurde. Die vergleichbaren Zahlen für den Innenstadtbereich waren 25 % und 22 %. Aus diesen Ergebnissen folgert Lönn folgendes: In ländlichen Gebieten, in denen die Basisstationen weiter entfernt sind, ist der Sendeleistungspegel im Durchschnitt höher als in dicht besiedelten Gebieten.

Die quantitative Bewertung der individuellen Belastung durch elektromagnetische Felder ist für epidemiologische Studien wichtig, daher könnte die regionale Verteilung der Telefonate ein wichtiger Parameter für die Strahlungsbelastungs-Abschätzung sein.

Auch für die schwedische Studie gilt - wie bereits bei der italienischen Studie [18] erwähnt -, dass die Regelalgorithmen von den Netzbetreibern - teilweise auch in Abhängigkeit vom Hersteller der Basisstation - wählbar sind und auch unterschiedlich gewählt werden, daher kann das schwedische Ergebnis nicht eins zu eins nach Deutschland übertragen werden. Die Daten liefern dennoch interessante Hinweise für wertende Vergleiche.

7.3 TCO-Zertifizierung und connect-"Strahlungsfaktor"

Die schwedische TCO Development hat in dem Dokument "TCO '01 Mobile Phones" [26] ihre Kriterien für die Zertifizierung von Mobiltelefonen dargelegt.

Zum Vergleich der Strahlungsemission von unterschiedlichen Handys hat TCO in [20] 25 verschiedene am schwedischen Markt erhältliche Handy-Modelle (GSM) getestet, um festzustellen, ob sie die von TCO propagierte Zertifizierung der in "TCO'01 Mobile Phones" enthaltenen Anforderungen hinsichtlich Strahlung (Emissionen) und Ergonomie erfüllen.

Von den 25 getesteten Geräten erfüllten sechs Geräte die von TCO festgelegten Bedingungen.

Die Zeitschrift 'connect' [25] verwendet in ihren Handytests die Begriffe der "effektiven Sendeleistung" und des "Strahlungsfaktors".

Die "effektive Sendeleistung" ermittelt die Zeitschrift 'connect' in der 'Testfactory Stuttgart'.

Zitat aus 'connect': "Das Handy wird dazu an einen künstlichen Kopf montiert, anschließend simuliert eine Antenne in einer von Strahlen aus der Umwelt weitgehend abgeschirmten Kabine die Basisstation. Eine weitere Antenne misst die effektiv vom Handy abgegebene Sendeleistung. Die absorbierende und reflektierende Wirkung des Kunstkopfes mindert diese Sendeleistung in der Regel erheblich, da der Kopf Strahlung absorbiert und reflektiert, die dann nicht mehr für den eigentlichen Zweck, nämlich die Funkverbindung, zur Verfügung

steht. Das heißt: Die effektive Sendeleistung ist bereits um den Einfluss des künstlichen Kopfes bereinigt."

Da eine gesundheitliche Gefährdung bei Einhaltung der Grenzwerte nicht nachgewiesen ist, verzichtet die Zeitschrift 'connect' auf eine Bewertung des maximalen SAR-Wertes. Stattdessen setzt die Redaktion den SAR-Wert und die "effektive Strahlungsleistung" am künstlichen Kopf in Korrelation zueinander. Den daraus resultierenden SAR-Sendeleistungsfaktor ermittelt die Zeitschrift 'connect' für die jeweiligen Testhandys. Bei diesem Ranking liegen Handys vorn, die einen niedrigen SAR-Wert und über hohe effektive Sendeleistung verfügen – also Sendeleistung, die für die Kommunikation mit der Basisstation zur Verfügung steht und nicht vom Kopf absorbiert wird oder durch ein schlecht konstruiertes Handy verloren geht. Die Zeitschrift 'connect' empfiehlt, bei der Auswahl eines Handys nicht ausschließlich den SAR-Wert zu berücksichtigen, sondern auch eine hohe effektive Sendeleistung. Der Grund: Hat das Handy schlechte Sendeeigenschaften, wird es von der Basisstation des Handynetzes angewiesen, in eine höhere Sendeleistungsstufe zu wechseln.
:Ende Zitat.

8. Erläuterung der in diesem Projekt zum Einsatz kommenden Messverfahren, technischen Einrichtungen und Software

Bei der Durchführung der Messungen kommen drei grundlegend unterschiedliche Mess-Verfahren und Mess-Systeme zum Einsatz:

- **SAR-Messungen**
Maschek-Messkopf, ein mobiler SAR-Messkopf, hergestellt von der Firma Maschek GmbH anhand eines Patentes von T-Mobile. Die spezifische Absorptionsrate (SAR) wird hierbei in Echtzeit am Display angezeigt sowie über eine optische Schnittstelle ausgegeben. Die Daten werden zur späteren Auswertung mit der mitgelieferten Software in einem Laptop-PC gespeichert.
- **Messungen des E-Feldes zur Strahlungsimmissionsbestimmung**
Messgeräte zur Messung des E-Feldes bzw. der Leistungsdichte in W/m^2 . In dem Projekt wurde das Strahlungsmessgerät EMR-300 mit der E-Feldsonde Nr. 18 der Firma Narda/Wandel & Goltermann verwendet.
- **Empfangs- und Sendeeigenschaften des Mobilfunkendgerätes**
Auslesen der Netzmonitordaten aus Nokia GSM-Mobilfunkendgeräten, wie momentan verwendete Sendeleistung, Empfangspegel und zusätzlich Auslesen der Daten der jeweiligen Netzbetreiber wie Netz-ID, Cell-ID, Rufzone und Kanalnummer.

Auf die einzelnen Messverfahren und Mess-Systeme wird im weiteren Verlauf des Kapitels 8 noch ausführlich eingegangen.

8.1 Messkopf Maschek ESM-120

Abbildung 1 zeigt den Messkopf ESM-120 von vorne beim Einsatz im ICE, man erkennt das Display und die Bedienelemente.

Abbildung 2 zeigt den Messkopf bei den Flugzeugmessungen. An der Stelle, an der innerhalb des Messkopfes der Messwertaufnehmer angebracht ist, befindet sich im Foto der Bluetooth-Adapter. Auch das Glasfaserkabel ist zu erkennen, das vom Messkopf zum Rechner führt. Im Rechnerdisplay (im Vordergrund) ist die Anzeige des gerade gemessenen SAR-Wertes zu erkennen.

**Abbildung 1****Abbildung 2**

Der Maschek-Messkopf mit der Seriennummer 10010 wurde exklusiv für die BfS-Projekte "Bestimmung der SAR-Werte, die während der alltäglichen Nutzung von Handys auftreten" und "Bestimmung der realen Exposition bei Handynutzung in teilgeschirmten Räumen im Vergleich zur Exposition unter günstigen Bedingungen im Freien" beschafft.

Der Preis eines derartigen Messkopfes beträgt einschließlich Mehrwertsteuer 9.164,00 €

Der Messkopf wurde am 12.05.2006 von der Firma Maschek neu kalibriert, damit auch für dieses zweite Projekt kalibrierte Messergebnisse ausgewiesen werden können.

Mit dem Messkopf ESM-120 ist es erstmals möglich, die SAR (spezifische Absorptionsrate) in Echtzeit zu ermitteln. Das Verfahren ist patentrechtlich geschützt. Das Messgerät besteht aus dem eigentlichen Messkopf mit HF-Sensor, dem Rumpf mit Bedienelementen und dem LCD-Display mit Beleuchtung. Das Display zeigt die aktuellen SAR-Werte als Dezimalwert und als Bargraph an. Die Messung erfolgt nach ANSI C95.1-199 über 1g Gewebemasse gemittelt. Über einen zuschaltbaren Tongenerator kann ein zu vermessendes Handy akustisch angesteuert werden (zur Ausschaltung des DTX-Modus [reduzierte Sendeleistung während der Sprechpausen]), um die hieraus resultierende, sich verändernde SAR darzustellen. Ersatzweise kann die SAR als ein sich in der Frequenz ändernder Ton ausgegeben werden. In dem Messkopf ist eine isotrope Sonde eingebaut. Das SAR-Messgerät kann auch ohne angeschlossenen PC betrieben werden. Mittels der zugehörigen Software können die Daten zusätzlich über die optische Schnittstelle auf den PC ausgegeben und dort weiterverarbeitet werden.

Kenndaten des Messkopfes sind:

- Ein Messbereich von 0,001 Watt/kg bis 20 Watt/kg (gemittelt über 1 g Körpermasse),
- eine Auflösung von 1 mW/g,
- ein Frequenzbereich von 900 MHz (GSM 900), 1800 MHz (GSM 1800), außerdem lassen sich UMTS-Messungen bei 2000 MHz durchführen,
- eine Genauigkeit von $\pm 30\%$ bei 900 MHz,
- eine Messrate von 2 kHz und eine Dezimalanzeige von 2 Hz,
- als Messverfahren dient ein isotroper HF-Sensor mit Darstellung des RMS-Wertes und des Peak-Wertes,
- eine PC-Schnittstelle mit Lichtwellenleiter RS232, 9pol.,
- eine Fernbedienung aller wesentlichen Funktionen ist über den Lichtwellenleiter möglich,
- die Betriebstemperatur erstreckt sich von $+10^\circ$ über 35° ,
- die Abmessungen betragen 22 cm x 20 cm x 29 cm und
- das Gewicht beträgt ca. 4,8 kg, mit Koffer 9,3 kg,
- Hersteller ist die Firma Maschek Elektronik in D-86916 Kaufering.

Der Messkopf ist batteriebetrieben mit 80 h-Betriebszeit, so dass ortsungebundene Messungen – z. B. im Auto, Zug, an verschiedenen Standorten in Gebäuden, Aufzügen usw. – möglich sind.

Der SAR-Messkopf ESM-120 ersetzt keine normgerechte SAR-Messung für Handys. Er ist primär als Demonstrationsmodell gedacht, um verschiedene Einflussgrößen bei realer Handynutzung für die SAR zu veranschaulichen und quantitativ zu erfassen

8.1.1 Entscheidung zur Verwendung dieser Messeinrichtung

Eine Auswahl zwischen verschiedenartigen Messgeräten zur vergleichbaren SAR-Bestimmung bestand nicht, da der Maschek-SAR-Messkopf in dieser Art einzigartig ist. Der Messkopf ist in diesem Projekt zur ergänzenden Messwerterfassung ideal geeignet.

8.2 Messungen des E-Feldes

Bei den E-Feld-Sonden standen professionelle Geräte der Firmen:

- Narda / Wandel & Goltermann oder von
- Rohde und Schwarz

zur Auswahl. Beide Produkte sind vergleichbar und für die durchzuführenden Aufgaben sehr gut geeignet.

Alternativ hierzu gibt es auf dem Markt der "Biologischen Strahlungstester" noch Messgeräte, mit denen Personen aus dem Bereich der Bio-Feld-Messungen die E-Felder im Bereich der D-Netze, E-Netze, UMTS, Radar, DECT und WLAN vermessen.

Die hierbei oft verwendeten Geräte mit ihren Bezeichnungen sind:

HF-Digitmeter II der Firma Endotronic zu 824 € HF-Digitmeter II mit Antenne AS2002 der Firma Kugler zu 981 € Esmog Spion der Firma Endotronic zu 265 € PDM-3 der Firma ROM-Elektronik zu 2.429 € HFR-1 der Firma ROM-Elektronik zu 414 € HFR-2 der Firma ROM-Elektronik zu 695 € HF-Detektor II Profi der Firma Aaronia zu 150 € und Lambda-Fox RFA3 der Firma Merkel Messtechnik zu 799 €

In den Tests der Strahlungsbiologen wird das Messgerät Lambda-Fox RFA3 der Firma Merkel Messtechnik z. B. als geeignet empfohlen.

In diesem Projekt wurde das Strahlenmessgerät EMR-300 mit der Sonde Nr. 18 der Firma Narda / Wandel & Goltermann verwendet (Abbildung 3).

Die Messeinrichtung kostet einschließlich MWSt. 7.390.- Euro.

Das Gerät war für die Durchführung der Messungen von einer gesetzlich ausgewiesenen Kalibrierungsstelle (ARCS) kalibriert.

Erläuterung der Messeinrichtung

Das Strahlungsmessgerät EMR-300 der Firma Narda / Wandel & Goltermann GmbH & Co. dient der isotropen Messung elektromagnetischer Felder.

Abhängig von den verwendeten Sonden kann sowohl im Niederfrequenzbereich bis 30 kHz als auch im Hochfrequenzbereich bis 18 GHz gemessen werden.

EMR-300 ermöglicht die räumliche Mittelung (Spatial Averaging), bei der das Messgerät per Knopfdruck einen neuen Wert aufnimmt und die so aufgenommenen Messwerte automatisch quadratisch addiert, so dass auf der Anzeige der Mittelwert für die Feldstärke im Raum erscheint. Bleibt die Taste "Spatial" kontinuierlich gedrückt, bildet das EMR-300 den Mittelwert über den Zeitraum, in dem die Taste gedrückt war. Alle EMR-Geräte haben zudem eine Mittelungsfunktion (Averaging) für die normgerechte Mittelung über sechs Minuten.



Abbildung 3

Bei den Messungen im Projekt wurde in der Variante "max" gemessen, bei der der jeweils gemessene Wert über das PC-Transfer-Set abgespeichert wurde.

Der erforderliche Nullabgleich, der sonst nur in einem feldfreien Raum erfolgen kann, erfolgt bei den EMR-Produkten automatisch und auch in Gegenwart von hohen Feldstärken. Messfehler durch einen unsachgemäßen Nullabgleich können daher ausgeschlossen werden.

Verwendete E-Feld-Sonde

Typ 18C, Frequenzbereich 100 kHz bis 3 GHz, Messbereich 0,00001 bis 42,4 mW/cm² bzw. 0,2 bis 320 V/m

Die Sonde ist für isotrope (richtungsunabhängige) Messungen der E-Feld-Stärke geeignet. Der Messbereich reicht von 0,2 V/m bis 320 V/m.

Die Sonde ist kalibriert von ARC Seibersdorf.

Das Funktionsprinzip der Sonde basiert auf drei Einzelsensoren. Als Sensorelemente für das elektrische Feld dienen drei Dipole mit Detektordioden zur Erfassung der Signale aller Raumrichtungen (x, y, z). Die erfassten Signale werden entzerrt und separat zum Grundgerät geleitet. Dort werden sie durch digitale Signalverarbeitung normgerecht zur Ersatzfeldstärke zusammengeführt. Die extrem hohe Empfindlichkeit wird durch ein besonderes Design des Diodensensors realisiert.

Mechanisch und elektrisch ist die Sonde für den Feldeinsatz entwickelt. Die elektrischen Zerstörgrenzen liegen für gepulste und Dauersignale um ein vielfaches oberhalb aller personenbezogenen Grenzwerte. Der Absolutfehler bei 27,5 V/m und 27,12 mHz ist mit ± 1 dB angegeben.

PC-Transfer-Set ETS-1

Zum Auslesen der Messdaten wurde die ETS-1 Software der Firma Narda verwendet. Das PC-Transfer-Set stellte die Verbindung zwischen dem EMF-Messgerät des Typs EMR-300 und dem PC her. Die Messdaten werden alle 2 Sekunden in den Rechner eingelesen und stehen dann zur Weiterverarbeitung in gängigen Auswertungsprogrammen wie Excel zur Verfügung. Das PC-Transfer-Set ETS-1 besteht aus Hard- und Software. Die Hardware umfasst einen o/e-Wandler (opto-elektrischer Wandler) und ein Lichtwellenleiterkabel mit 2 Meter sowie einem Adapter für die serielle RS232-Schnittstelle. Die Software läuft unter Windows und konfiguriert die Schnittstelle abhängig vom angeschlossenen Messgerät.

8.2.1 Entscheidung zur Verwendung dieser Messeinrichtung

Für dieses Projekt standen die professionellen Geräte von Rohde und Schwarz und Narda / W&G zur Auswahl. Beide technischen Einrichtungen waren geeignet. Ausgewählt wurde Narda / W&G EMR-300 mit der E-Feld Sonde Nr.18.

8.3 Mobiltelefone

Mobilteile (GSM)

Es wurden GSM-Mobiltelefone nachfolgender Typen verwendet:

- ein Nokia 6110 (Abbildung 4, GSM 900),
- drei Nokia 8210 (Abbildung 5, Mehrbandgeräte für GSM 900 und GSM 1800),
- dreiundzwanzig Nokia 6150 (Abbildung 6, GSM 900 und GSM 1800)



Abbildung 4



Abbildung 5



Abbildung 6

Erläuterung zur Auswahl der Mobiltelefone

Für die Messungen konnten nur Mobiltelefone verwendet werden, die die Netzmonitordaten, die in allen GSM-Mobilteilen verarbeitet werden, auch darstellen und gleichzeitig zusätzlich die Möglichkeit bieten, diese Daten auch über eine Datenschnittstelle auszulesen.

Neue Mobiltelefone sind heute in der Regel softwareseitig so angelegt, dass diese Netzmonitordaten weder im Display dargestellt noch ausgelesen werden können.

Da die Netzmonitordaten für dieses Projekt ausgelesen und weiter verarbeitet werden müssen, kommen nur bestimmte Endgeräte der Firmen Sagem, Siemens und Nokia in Frage.

Bei den Nokia-Endgeräten der Typen 6110 (Abbildung 4), 6150 (Abbildung 6) und 8210 (Abbildung 5) können alle die für dieses Projekt interessierenden Daten ausgelesen werden. Die umfangreichen Netzmonitorinformationen werden dann durch eine spezielle Software, in diesem Fall die der Firma Hüttisch-Software dargestellt und auf dem PC weiterverarbeitet. Bei den Endgeräten der Firmen Siemens und Sagem wären Einschränkungen bezüglich der Monitorinformationen in Kauf zu nehmen gewesen, daher wurde Nokia ausgewählt.

Von den Nokia-Geräten ist das Nokia 6110 (Abbildung 4) ein Einbandgerät; dieses Einbandgerät wurde extra ausgewählt, um bei Messungen, bei denen nur GSM 900-Emmissionen der Endgeräte auftreten sollen, zu verhindern, dass die Mobilendgeräte – trotz Verwendung der SIM-Karte eines 900 MHz-Netzbetreibers – in das 1800 MHz-Netz wechseln, falls der GSM 900MHz Netzbetreiber über ergänzende Frequenzen bei 1800 MHz verfügt. Hierbei wurden die Erfahrungen berücksichtigt, die in dem Projekt "Bestimmung der SAR-Werte, die während der alltäglichen Nutzung von Handys auftreten" mit den nicht erwarteten Zellwechseln von GSM 900 auf GSM 1800 gewonnen werden konnten.

Geräte der erwähnten Nokia-Typen stehen im Jahre 2005-2006 nur noch gebraucht zur Verfügung. Die Gebrauchtgeräte verfügen sehr häufig über Display- und Akkuprobleme. Um eine ausreichende Zahl von funktionierenden Endgeräten zu erhalten, musste eine Überzahl an Handys (insgesamt 36 Handys) beschafft werden, um dann die nur eingeschränkt funktionsfähigen Geräte (z.B. Display-Anzeige verschwindet nach einigen Minuten) auszusortieren. Außerdem wurden zusätzlich 10 neue Akkus beschafft, um mit den neuen Akkus die erforderlichen Messstandzeiten zu erhalten.

Nachstehende Tabelle 6 zeigt die Zuordnung der IMEI-Nummern und der genutzten Mobilfunkendgeräte.

Messkampagne, Zuordnung IMEI, Handys

IMEI	Handytyp (Nokia)	Frequenzbänder
490518/20/637564/2	N 6110, grün-blau-metallic	900
449208/30/176219/9	N 6150, anthrazit metallic	900/1800
493009/10/714472/2	N 6150, dunkelblau	900/1800
493002/70/509009/0	N 6150, dunkelblau	900/1800
449208/30/328542/1	N 6150, dunkelblau	900/1800
493002/10/427126/7	N 6150, dunkelblau	900/1800
493006/10/640287/9	N 6150, weinrot	900/1800
449208/30/323780/2	N 6150, dunkelblau	900/1800
493009/10/706678/4	N 6150, dunkelblau	900/1800
449208/30/143562/2	N 6150, dunkelblau	900/1800
449208/70/363311/3	N 6150, dunkelblau	900/1800
493002/70/509009/0	N 6150, weinrot	900/1800
493007/10/143809/0	N 6150, dunkelblau	900/1800
493002/10/946885/0	N 6150, dunkelblau	900/1800

493007/10/565566/5	N 6150, weinrot	900/1800
493002/70/426132/0	N 6150, dunkelblau	900/1800
350613/10/809645/0	N 8210, silber	900/1800
493007/10/293972/4	N 6150, dunkelblau	900/1800
493006/10/561404/5	N 6150, dunkelblau	900/1800
350601/10/148000/3	N 8210, blau	900/1800
350614/10/837408/7	N 8210, blau	900/1800
449208/70/140870/8	N 6150, weinrot	900/1800
449208/30/377027/3	N 6150, dunkelblau	900/1800
350989/10/053260/5	NTM 6650, grau	900/1800/UMTS
493007/10/886828/1	N 6150, dunkelblau	900/1800
493006/10/217471/2	N 6150, dunkelblau	900/1800
493009/10/714472/2	N 6150, dunkelblau	900/1800
493007/10/143833/0	N 6150, dunkelblau	900/1800

Tabelle 6

8.4 Netzbetreiber

Es wurden Messungen sowohl in Österreich als auch in Deutschland durchgeführt. Je Land wurden unterschiedliche Netzbetreiber ausgewählt. In Österreich und auch in Deutschland wurden SIM-Karten der GSM 900 MHz- und eines GSM 1800 MHz-Netzbetreibers verwendet.

Es war nicht Ziel und Aufgabe des Projektes, die Netzbetreiber z. B. bezüglich des verwendeten Regelalgorithmus zu vergleichen; daher wird in der Interpretation der Ergebnisse nicht auf die jeweiligen Netzbetreiber Bezug genommen

Tabelle 7 zeigt die verwendeten 29 verschiedenen SIM-Kartentelefonnummern und deren Zuordnung zu den unterschiedlichen Netzbetreibern.

Verwendete Telefonnummern und Netze

Netz (Netzbetreiber)	Telefonnummer der SIM-Karte
D1 T-Mobile	0151-50964452
D1 T-Mobile	0151-50964458
D2 Vodafone	0173-4254387
D2 Vodafone	01520-4855741
D2 Vodafone	01520-4853292
D2 Vodafone	01520-4855742
D2 Vodafone	01520-4856003
D2 Vodafone	0173-4269506

D2 Vodafone	0172-4678677
D2 Vodafone	0172-4697368
D2 Vodafone	01520-4853294
D2 Vodafone	0173-4254387
D2 Vodafone	01520-4856004
D2 Vodafone	01520-4799897
D2 Vodafone	01520-4853623
D2 Vodafone	0173-4270715
D2 Vodafone	0173-4283165
D2 Vodafone	0173-4249859
D2 Vodafone	0173-4254413
E-Plus (nur 1800 MHz)	0177-8948696
E-Plus (nur 1800 MHz)	0163-3743674
E-Plus (nur 1800 MHz)	0163-3425634
E-Plus (nur 1800 MHz)	0177-8948696
E-Plus (nur 1800 MHz)	0178-4157631
A1 Mobilkom Austria	+43-664-953 7696
A1 Mobilkom Austria	+43-664-653 6266
A1 Mobilkom Austria	+43-664-953 7692
A1 Mobilkom Austria	+43-664-588 2114
One (nur 1800 MHz)	+43-699-817 16326

Tabelle 7

8.5 Software zum Auslesen der Netzmonitordaten aus den Nokia-Mobiltelefonen der Typen 6110, 6150 und 8210

Die verwendete Software basiert auf einer Standard-Software der Firma Hüttisch in Karlsruhe. Für die beiden Projekte („SAR bei der alltäglichen Benutzung von Handys“ und „Teilgeschirmte Räume“) wurde die Software durch den Produzenten auf die Projektanforderungen proprietär angepasst.

Die Netzmonitordaten der Nokia Handys werden alle zwei Sekunden ausgelesen und stehen dann im PC zur weiteren Verarbeitung zur Verfügung.

Die verwendeten Telefone der Firma Nokia liefern die benötigten Messwerte in einem Zeitfenster zwischen 1,0 und 1,5 Sekunden (in Übereinstimmung mit 3GPP TS 05.05). Daher wurde als Ausleseintervall ein Intervall von 2 Sekunden gewählt.

In Tabellen Tabelle 6 und Tabelle 7 sind die für das Projekt "Teilgeschirmte Räume" relevanten Daten exemplarisch aufgeführt. In den Spalten werden folgende Werte angezeigt:

Spalte 1: Datum

Spalte 2: Uhrzeit

Spalte 3: Identifikation der Zelle (Cell ID), wobei eine Zelle mehrere Kanäle umfassen kann

Spalte 4: Rufzone (Location Area ID)

Spalte 5: Netzwerkidentifikation (PLMN ID), wobei 262 die Landeskennung für Deutschland ist und die nachfolgenden zwei Ziffern die unterschiedlichen Netzbetreiber darstellen, z. B.

01 = D1, T-Mobile

02 = D2, jetzt Vodafone

03 = E-Plus.

Für Österreich ist die Landeskennung 232 und

01 = A1 und

05 = One.

Spalte 6: Empfangspegel des Basisstationskontrollkanals (BCCH). Dieser sendet immer mit voller Leistung. Ist das Mobilteil jedoch in einer aktiven Kommunikation, so wird nicht mehr der Empfangspegel des Basiskontrollkanals, sondern der Empfangspegel des Kommunikationskanals dargestellt.

Spalte 7: Sendeleistung, bereits umgerechnet in mW (Tx Power), bei GSM 900 ist dieser Wert maximal 2 Watt für mobile Endgeräte (Handys) und 1 Watt bei GSM 1800.

Spalte 8: Kanalnummer des Kommunikationskanals, eine Änderung der Nummer bedeutet jedes Mal ein Handover.

Anhand der Kanalnummer lässt sich erkennen, ob es sich um einen GSM 900- oder um einen GSM 1800-Kanal handelt.

Die Kanalnummern 1 bis 124 sind GSM 900-Kanäle,
die Kanalnummern 512 bis 885 sind GSM 1800-Kanäle.

Anhand Tabelle 6 lässt sich folgendes erkennen:

Das Mobiltelefon ist in einem Netz von Vodafone in Deutschland (26202) eingebucht (erkennbar aus Spalte 5). Da sich Rufzone und Cell ID nicht ändern, bewegt sich das Handy wahrscheinlich nicht; das Handy wurde stationär mit minimaler Bewegung eingesetzt. Anhand der Spalte 8, die die gleiche Kanalnummer ausweist, ist zu erkennen, dass kein Kanalwechsel und damit kein Handover erfolgte. Dies zeigt sich auch in Spalte 7, in der die Sendeleistung in mW dargestellt wird. Das Handy wird von der Basisstation vom Ausgangswert von 2 Watt herunter bis auf 125 mW, dann wieder hoch bis auf 316 mW, und dann wiederum bis auf nur 79 mW herunter geregelt. Mit diesem Regelalgorithmus wird die unterschiedliche Dämpfung auf der Übertragungsstrecke zwischen Mobilteil und Basisstation ausgeglichen.

Anhand von Tabelle 7 lässt sich folgendes erkennen:

Das Mobiltelefon ist in einem Netz von T-Mobile in Deutschland (26201) eingebucht (erkennbar an Spalte 5). Da sich ebenfalls die Rufzone (Spalte 4) nicht ändert, sich jedoch die Cell ID ändert, wäre zu vermuten, dass das Handy sich innerhalb der gleichen Rufzone bewegt. Dies war jedoch nicht der Fall, sondern wahrscheinlich wurde aus Netzlastgründen das stationär betriebene Handy vom Netz immer wieder in unterschiedliche Zellen eingebucht.

Anhand der Kanalnummern in Spalte 8 ist zu erkennen, dass Handover zwischen zwei unterschiedlichen GSM 900-Kanälen (Kanal 35 und Kanal 17) und ein Handover zu Kanälen im GSM 1800-Netz (Kanal 591) erfolgten. Aus Spalte 7 (Sendeleistung in mW) ist zu erkennen, dass die Sendeleistung von zwei Watt (Uhrzeit 15:10:11) auf nur noch 50 mW (Uhrzeit 15:10:10) herunter geregelt wurde. Dann wurde jedoch ein Handover nach GSM 1800 durchgeführt. Da es sich um ein GSM 1800-Netz handelt, wird mit einer Sendeleistung von 1 Watt begonnen. Anschließend wird bis 15:10:27 auf 251 mW herunter geregelt. Zum Zeitpunkt 15:10:31 erfolgt ein Handover in einen neuen, noch nicht benutzten Kanal bei GSM 900, beginnend mit 2 Watt, um dann vier Sekunden später wiederum einen Handover nach GSM 1800 durchzuführen.

Anhand dieses Regelverhaltens ist zu erkennen, dass eine Vorhersage über die jeweils verwendete Sendeleistung und über die jeweils verwendete Frequenz (!!) auch bei einem stationär betriebenen Handy nicht möglich ist.

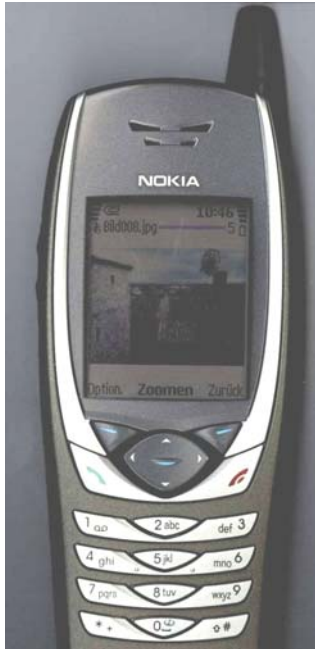
Spalte 1 Datum	Spalte 2 Uhrzeit	Spalte 3 Cell ID	Spalte 4 Rufzone	Spalte 5 Netz-ID	Spalte 6 Empfangs- pegel in dBm	Spalte 7 Sendelstg. in mW	Spalte 8 Kanal- nummer
08.06.2006	15:27:16	5392	622	26202	-67	-	104
08.06.2006	15:27:18	5392	622	26202	-67	-	104
08.06.2006	15:27:20	5392	622	26202	-70	-	104
08.06.2006	15:27:22	5392	622	26202	-69	1995	104
08.06.2006	15:27:24	5392	622	26202	-69	1995	104
08.06.2006	15:27:26	5392	622	26202	-68	1258	104
08.06.2006	15:27:28	5392	622	26202	-66	794	104
08.06.2006	15:27:30	5392	622	26202	-78	501	104
08.06.2006	15:27:32	5392	622	26202	-73	316	104
08.06.2006	15:27:34	5392	622	26202	-79	316	104
08.06.2006	15:27:36	5392	622	26202	-80	199	104
08.06.2006	15:27:38	5392	622	26202	-79	125	104
08.06.2006	15:27:40	5392	622	26202	-76	125	104
08.06.2006	15:27:42	5392	622	26202	-72	125	104
08.06.2006	15:27:44	5392	622	26202	-76	125	104
08.06.2006	15:27:46	5392	622	26202	-73	125	104
08.06.2006	15:27:48	5392	622	26202	-73	125	104
08.06.2006	15:27:50	5392	622	26202	-78	316	104
08.06.2006	15:27:52	5392	622	26202	-75	199	104
08.06.2006	15:27:54	5392	622	26202	-78	199	104
08.06.2006	15:27:56	5392	622	26202	-76	199	104
08.06.2006	15:27:58	5392	622	26202	-75	125	104
08.06.2006	15:28:00	5392	622	26202	-76	125	104
08.06.2006	15:28:02	5392	622	26202	-75	125	104
08.06.2006	15:28:04	5392	622	26202	-77	79	104
08.06.2006	15:28:06	5392	622	26202	-76	79	104
08.06.2006	15:28:08	5392	622	26202	-74	79	104
08.06.2006	15:28:10	5392	622	26202	-77	79	104
08.06.2006	15:28:12	5392	622	26202	-78	79	104
08.06.2006	15:28:14	5392	622	26202	-80	125	104
08.06.2006	15:28:16	5392	622	26202	-75	316	104
08.06.2006	15:28:18	5392	622	26202	-83	316	104

Tabelle 8

Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3	Spalte 4	Spalte 5	Spalte 6	Spalte 7	Spalte 8
Datum	Uhrzeit	Cell ID	Rufzone	Netz-ID	Empfangs- pegel in dBm	Sendelstg. in mW	Kanal- nummer
08.06.2006	15:10:05	21720	26638	26201	-62	-	35
08.06.2006	15:10:07	21720	26638	26201	-62	-	35
08.06.2006	15:10:09	21720	26638	26201	-61	-	35
08.06.2006	15:10:11	21720	26638	26201	-61	1995	35
08.06.2006	15:10:13	21720	26638	26201	-57	1995	35
08.06.2006	15:10:15	21720	26638	26201	-60	316	35
08.06.2006	15:10:17	21720	26638	26201	-59	79	35
08.06.2006	15:10:19	21720	26638	26201	-61	50	35
08.06.2006	15:10:21	21720	26638	26201	-73	1000	591
08.06.2006	15:10:23	25022	26638	26201	-75	398	591
08.06.2006	15:10:25	25022	26638	26201	-75	251	591
08.06.2006	15:10:27	25022	26638	26201	-83	251	591
08.06.2006	15:10:29	25022	26638	26201	-81	1000	591
08.06.2006	15:10:31	25022	26638	26201	-66	1995	17
08.06.2006	15:10:33	13004	26638	26201	-65	794	17
08.06.2006	15:10:35	13004	26638	26201	-82	1000	591
08.06.2006	15:10:37	25022	26638	26201	-87	1000	591
08.06.2006	15:10:39	25022	26638	26201	-75	630	591
08.06.2006	15:10:41	25022	26638	26201	-79	398	591
08.06.2006	15:10:43	25022	26638	26201	-79	251	591
08.06.2006	15:10:45	21720	26638	26201	-67	1995	35
08.06.2006	15:10:47	21720	26638	26201	-69	1258	35
08.06.2006	15:10:49	21720	26638	26201	-85	1000	591
08.06.2006	15:10:51	25022	26638	26201	-79	1000	591
08.06.2006	15:10:53	25022	26638	26201	-81	630	591
08.06.2006	15:10:55	25022	26638	26201	-81	398	591
08.06.2006	15:10:57	25022	26638	26201	-85	251	591
08.06.2006	15:10:59	25022	26638	26201	-79	251	591
08.06.2006	15:11:01	25022	26638	26201	-72	1995	17
08.06.2006	15:11:03	13004	26638	26201	-79	1258	17
08.06.2006	15:11:05	13004	26638	26201	-79	794	17

Tabelle 9

8.6 UMTS Mobiltelefone und Software



Als Mobiltelefon wurde ein speziell als Messtelefon ausgerüstetes Mobiltelefon des Typs Nokia 6650 (Abbildung 7) und die "3GMA green (Radio Drive Test Tool) Software" der Firma Focus Infocom GmbH, Heinrichstraße 2, 64283 Darmstadt verwendet.

Die Ausleserate der Messergebnisse beträgt 3 Messwerte pro Sekunde.

Die Software von Focus Infocom wird in Deutschland von den Netzbetreibern T-Mobile, Vodafone und E-Plus für Messungen im UMTS-Netz verwendet.

Abbildung 7: Nokia 6650 (UMTS, GSM 1800, 900)

Auswahl und Alternativen

Die Auswahl von UMTS-Endgeräten, die die Netzmonitordaten für UMTS anzeigen und ausgeben, ist nicht groß.

Eine Alternative zu der ausgewählten Messeinrichtung wäre das in Deutschland von der Firma EHS Electronic Systems GmbH vertriebene Messgerät "X-PEDite Hand Held Tester" der Firma X-Tel aus Lombard, Illinois, USA. Gemeinsam mit der Software X-Tel Rush Street und dem X-Tel XPEDite Hand Held Tester auf der Basis eines Nokia 6630 oder Nokia 6680 ermöglicht diese Messeinrichtung bei UMTS, die Daten wie Empfangspegel, Sendepiegel, Zellen und andere auszulesen und zu verarbeiten.

Der Preis einer derartigen Messeinrichtung beträgt netto nach Abzug aller Rabatte einschließlich Mehrwertsteuer 12.238,00 €

Ausgewählt wurde die Messeinrichtung der Firma Focus Infocom, die in der Variante "green" (Basisversion) einschließlich Endgerät netto einschließlich Mehrwertsteuer 24.628,00 € kostet. Obwohl diese Messeinrichtung beträchtlich teurer als die von XPEDite ist, wurde Focus Infocom ausgewählt, da mit dieser Software in dem Projekt "Bestimmung der SAR-Werte, die während der alltäglichen Nutzung von Handys auftreten" bereits gemessen wurde und hiermit sehr gute Erfahrungen gemacht wurden.

Aufgrund der hohen Preise für UMTS-Messeinrichtungen sind bislang zu dem Thema "Emission von UMTS-Endgeräten" kaum Messungen durchgeführt worden.

Publiziert wurden Messergebnisse zu UMTS Emissions- und Immissions-Messungen außerhalb der Tätigkeit des Ingenieurbüros und der Uni Stuttgart (Projektzusammenarbeit) unseres Wissens nicht.

Selbst die großen Netzbetreiber verfügen aufgrund des hohen Preises nur über ganz wenige derartige UMTS-Messeinrichtungen.

Die nachfolgende Tabelle 10 zeigt einen Auszug aus dem umfangreichen Datensatz, wie er jeweils von der Software ausgegeben wird.

Verwendet werden in dem Projekt : Datum, Zeit, der Empfangspegel (RSSI), die Sendeleistung in dBm (TxPower) und die Netzbetreiberkennung (UARFCN)

Date	Time	RSSI	Tx Power	UARFCN
11.06.2006	12:49:00,060	-77,69999695	-17	10564
11.06.2006	12:49:01,120	-78,90000153	-13	10564
11.06.2006	12:49:02,060	-78,5	-11	10564
11.06.2006	12:49:03,060	-76,40000153	-13	10564
11.06.2006	12:49:04,060	-78,90000153	-7	10564
11.06.2006	12:49:05,070	-76,19999695	-9	10564
11.06.2006	12:49:06,060	-76,19999695	-13	10564
11.06.2006	12:49:07,060	-77,69999695	-9	10564
11.06.2006	12:49:08,060	-78,09999847	-13	10564
11.06.2006	12:49:09,060	-79,80000305	-10	10564
11.06.2006	12:49:10,060	-81,5	-12	10564
11.06.2006	12:49:11,070	-80,30000305	-15	10564
11.06.2006	12:49:12,060	-78,09999847	-11	10564
11.06.2006	12:49:13,060	-79,5	-15	10564

Tabelle 10

An den UARFCN Ziffern ist der Netzbetreiber zu erkennen:

10564 = Vodafone, D2

10663 = Eplus

10786 = O2

10836 = T-Mobile, D1

8.7 Sonstige verwendete Hardware

8.7.1 Ferritringkerne

Um die Ausbildung von Mantelwellen auf den Datenübertragungskabeln zwischen Mobilfunkendgerät und Rechner zu verhindern bzw. vorhandene Mantelwellen zu löschen, wurden geteilte Ferritringkerne des Typs RRC10-05-20-M und des Typs RKCF-05-A5 verwendet und auf den Kabeln montiert.

8.7.2 Verlängerungskabel

Um das Datenübertragungskabel zwischen Mobilteil und Rechner zu verlängern, wurden V24-Kabel (9pol. SubD-Stecker auf 9pol. SubD-Buchse) verwendet.

Es handelt sich um Aluminium/Mylarfolien-geschirmte Verlängerungskabel, die durchgehend EMI/RFI geschirmt sind, um auch für störstrahlungsempfindliche Einsatzgebiete geeignet zu sein. Die Kabel verfügen sowohl über eine vergossene Zugentlastung als auch eine vergossene Haube und einen eingelegten Erdungsdraht für eine durchgehende Erdung.

8.7.3 Schnittstellenvervielfacher

Als Schnittstellenvervielfältigungskarte (je 4x RS232) wurden zwei PC-Karten (PCMCIA Type II) der Firma Quatech verwendet.

Somit konnten hierüber 8 Handys angeschlossen werden.

Als zusätzliche Schnittstellenvervielfacher wurden zwei Edgeport/8-Boxen der Firma InsideOut Networks verwendet. Die Boxen verfügen über je acht RS232-Eingänge und werden an den USB-Port des Rechners angeschlossen.

Hierüber konnten zusätzlich noch 16 Handys angeschlossen werden, deren Daten ausgelesen und verarbeitet werden.

Insgesamt hätten 24 Handys an dem gleichen Rechner betrieben und deren Daten ausgelesen werden können.

8.8 Vortests

Anlässlich des BfS-Kolloquiums am 31. Januar 2005 in Neuherberg bei München wurde über die Vorbereitung dieses Projektes vorgetragen und nachstehende Abbildung 8 gezeigt.

Abbildung 8 zeigt einen der stationären Vortests, bei dem in diesem Fall sechs GSM-Handys gleichzeitig an einem Laptop angeschlossen sind und deren Monitordaten unabhängig voneinander aufgezeichnet werden können. Die Handys können entweder alle im gleichen Netz oder auch in unterschiedlichen GSM-Netzen betrieben werden. Es handelt sich bei diesen Geräten um Dualbandgeräte, so dass sie sowohl bei 900 MHz als auch bei 1800 MHz betrieben werden können.



Abbildung 8: Konfiguration der Messeinrichtung für den Vortest bestehend aus drei Nokia 8210 und drei Nokia 6150 GSM Dualband-Handys mit Schnittstellenvervielfachungskarte und Monitorsoftware

9. Messungen-Mess-Szenarien

Allgemeines zur Durchführung der Messungen

Die Messungen wurden in zwei Kampagnen durchgeführt. Die eine fand im Mai 2006 im österreichischen Forschungszentrum in Seibersdorf bei Wien statt und die andere im Juni 2006 in Deutschland an verschiedenen Orten.

Diesen Wirkmessungen sind umfangreiche Testmessungen und Erprobungen der verschiedenen Messverfahren und deren Auswertungen von Mitte 2005 bis Mai 2006 vorausgegangen. Diese Testmessungen werden hier nicht weiter behandelt.

Zu Beginn jedes Mess-Szenarios wurden zuerst ortsspezifische Testmessungen durchgeführt, um das Regelverhalten des jeweiligen Netzes festzustellen und daraus die Messdurchführungen entsprechend planen zu können.

Jeder Netzbetreiber regelt sein Netz nach unterschiedlichen Verfahren. So gibt es Netzbetreiber, die einen sehr schnellen Regelalgorithmus benutzen, andere wiederum regeln mit einem langsamen Regelalgorithmus. Für jedes dieser Regelungsverfahren sprechen unterschiedliche Gründe, so dass jedes dieser Regelverfahren nachvollziehbar ist, jedoch bei den Messungen berücksichtigt werden muss. Hierzu kommt, dass verschiedene Netzbetreiber zwei GSM-Frequenzen (900 und 1800 MHz) in ihren Netzen nutzen können. Je nach Standort wird dies frequenzmäßig in immer häufigeren Fällen realisiert, so dass zusätzlich zu den Regelverhalten auch der Frequenzwechsel beachtet werden muss.

UMTS-Messungen zeigten, dass die UMTS-Sendeleistung, wie bei UMTS erwartet, sehr gering ist, ein Mittelwert von ca. -16 dBm gleich ca. 50 μ Watt ist häufig. Eine so geringe Sendeleistung im UMTS-Frequenzbereich zeigte, dass die UMTS-Emission keinen Einfluss auf das Ergebnis hatte.

Vergleicht man die UMTS-Sendeleistungswerte mit den Sendeleistungswerten bei GSM 900 (in der Spitze 2 Watt/8 = 125 mW, geregelt auf vielleicht die Hälfte) dann sind die GSM-Werte von 60 mW und die UMTS-Werte von 50 μ Watt um den Faktor 1000 unterschiedlich. D. h. man müsste 1000 UMTS-Handys in das Fahrzeug einbringen, um einen gleichen Emissionswert wie bei GSM zu bekommen, wobei natürlich nur ein Handy pro Person sinnvoll ist, und die Person dann wiederum soviel der Emission absorbiert, so dass auch 1000 Personen mit 1000 UMTS-Handys in einem PKW in der Strahlungswirkung immer noch sehr viel geringer wären als eine Person mit GSM 900.

9.1 Mess-Szenario PKW-Kombi

9.1.1 Drei separate Messreihen zur Bestimmung des Regelverhaltens der beiden Mobilfunknetze



Abbildung 9: erster Messort und Fahrzeug im Vordergrund und Antennen in Sichtweite (Basisstation – auf dem Gebäude im ARCS-Gelände)

Bevor am 16. Mai 2006 die Messungen im Mercedes Kombi-PKW (TE 320) in Seibersdorf durchgeführt wurden, wurde das Regelverhalten der Handys vermessen. Der PKW war in Sichtweite ca. 200 m entfernt der GSM 900- und der daneben aufgebauten UMTS-Station geparkt (**Abbildung 9**).

Abbildung 10 zeigt die Sendeleistung im GSM 900-Netz (A1), verwendet wurde ein Nokia 6150 Handy. Es wurden bei den Messdateien auch die IMEI-Nummer der jeweils verwendeten Handys mitprotokolliert, so dass die einzelnen Handys nachträglich identifizierbar waren.

Die **Abbildung 10** und **Abbildung 11** (**Abbildung 11** gibt den Empfangspegel für das gleiche Handy wieder) zeigen, dass an dieser Stelle das Regelverhalten sehr ausgeprägt ist. Dies ist auch nachvollziehbar, da die Entfernung zur Basisstation sehr gering und in der Übertragungsstrecke keine Abschattungen oder dazwischen liegende Störungen vorhanden sind.

In der Tabelle 1 sind die Netzmonitordaten für einen Zeitausschnitt von 1,5 Minuten dargestellt. Aus der Netzbetreiberkennung erkennt man die Landeskennung 232 = Österreich und mit 01 den Netzbetreiber, in diesem Fall A1. In der Spalte "Pegel [Stufe]" wird der dem Mobilteil von der Basisstation vorgegebene Sendeleistungspegel als Pegelstufe dargestellt. In der übernächsten Spalte "Sendeleistung in Watt" ist die Pegelstufe in Watt umgerechnet. Die Spalte "Uhrzeit" zeigt den Extrakt aus "Rohdaten Zeit und Datum" in einer für Excel geeigneten Form. In der Spalte "Empfangspegel [dBm]" wird der von dem Handy empfangene Empfangspegel aufgelistet.

In **Abbildung 10** erkennt man gut, dass das Handy – gesteuert von der Basisstation – sehr schnell herunter geregelt wird.

In **Abbildung 11** ist der Empfangspegel des Handys dargestellt. Solange das Handy noch nicht sendet, wird der empfangene Pegel des mit voller Leistung sendenden Organisationskanals der Basisstation im Handy angezeigt. Sobald das Handy jedoch selbst sendet, wird der empfangene Pegel des Kommunikationskanals angezeigt. Dieser wird, das kann man sehr gut erkennen, von der Basisstation ebenfalls herunter geregelt, da das Handy in der Nähe der Basisstation ist und eine schwächere Sendeleistung der Basisstation für die Kommunikation mit dem Handy völlig ausreicht. Beides, die Sendeleistung des Handys und die Sendeleistung der Basisstation, werden herunter geregelt.

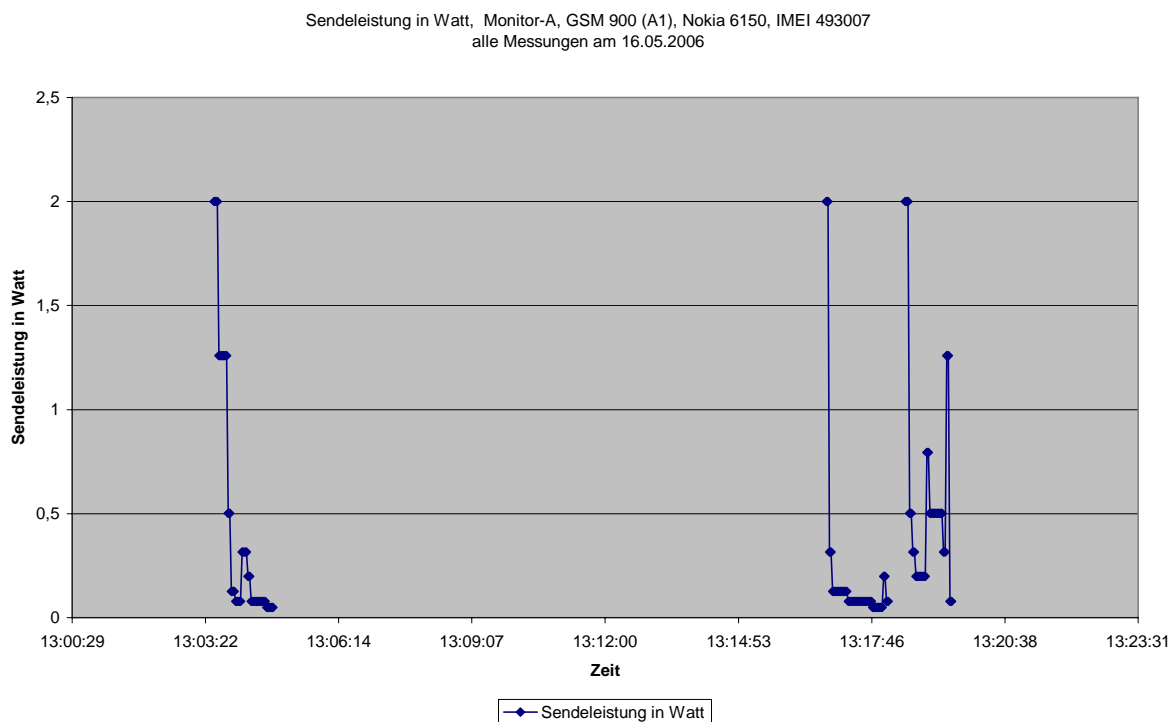


Abbildung 10: Sendeleistung des Mobilteils

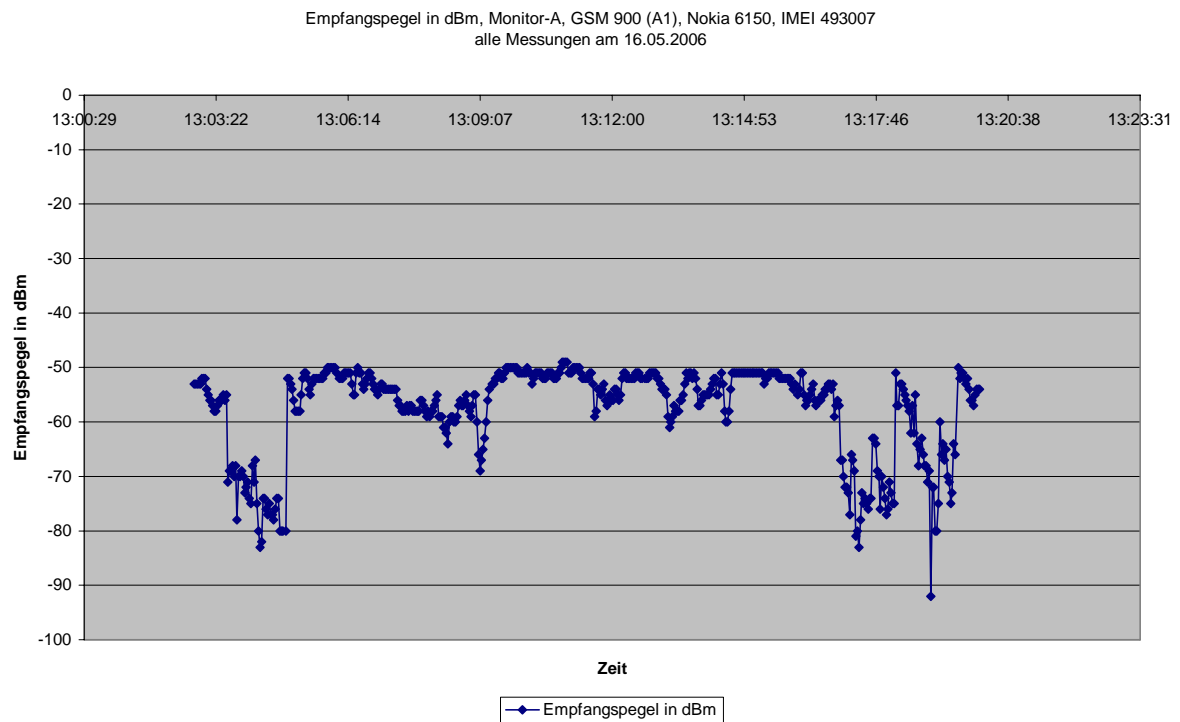


Abbildung 11: Empfangspegel im Mobilteil

Rohdaten Zeit und Datum	Netzbetreiber- kennung	Pegel [Stufe]	Uhrzeit	Empfangspegel [dBm]	Sendeleistung [Watt]
20060516130333	23201	5	13:03:33	-56	2
20060516130335	23201	5	13:03:35	-55	2
20060516130337	23201	5	13:03:37	-71	2
20060516130339	23201	6	13:03:39	-69	1,26
20060516130341	23201	6	13:03:41	-69	1,26
20060516130343	23201	6	13:03:43	-68	1,26
20060516130345	23201	6	13:03:45	-70	1,26
20060516130347	23201	6	13:03:47	-68	1,26
20060516130349	23201	6	13:03:49	-78	1,26
20060516130351	23201	8	13:03:51	-70	0,501
20060516130353	23201	8	13:03:53	-70	0,501
20060516130355	23201	11	13:03:55	-69	0,126
20060516130357	23201	11	13:03:57	-70	0,126
20060516130359	23201	11	13:03:59	-73	0,126
20060516130401	23201	12	13:04:01	-72	0,079
20060516130403	23201	12	13:04:03	-71	0,079
20060516130405	23201	12	13:04:05	-74	0,079
20060516130407	23201	12	13:04:07	-75	0,079
20060516130409	23201	9	13:04:09	-68	0,316
20060516130411	23201	9	13:04:11	-71	0,316
20060516130413	23201	9	13:04:13	-67	0,316
20060516130415	23201	9	13:04:15	-75	0,316
20060516130417	23201	10	13:04:17	-80	0,2
20060516130419	23201	10	13:04:19	-83	0,2
20060516130421	23201	12	13:04:21	-82	0,079
20060516130423	23201	12	13:04:23	-74	0,079
20060516130425	23201	12	13:04:25	-74	0,079
20060516130427	23201	12	13:04:27	-76	0,079
20060516130429	23201	12	13:04:29	-77	0,079
20060516130431	23201	12	13:04:31	-75	0,079
20060516130433	23201	12	13:04:33	-77	0,079
20060516130435	23201	12	13:04:35	-77	0,079
20060516130437	23201	12	13:04:37	-78	0,079
20060516130439	23201	12	13:04:39	-76	0,079
20060516130441	23201	13	13:04:41	-74	0,05
20060516130443	23201	13	13:04:43	-74	0,05
20060516130445	23201	13	13:04:45	-80	0,05
20060516130447	23201	13	13:04:47	-80	0,05
20060516130449	23201	13	13:04:49	-80	0,05
20060516130453	23201	-	13:04:53	-80	
20060516130455	23201	-	13:04:55	-52	
20060516130457	23201	-	13:04:57	-52	
20060516130459	23201	-	13:04:59	-53	
20060516130501	23201	-	13:05:01	-54	
20060516130503	23201	-	13:05:03	-56	

Tabelle 11: Netzmonitordaten für die Zeit von 13:03:33 bis 13:05:03

In **Abbildung 12** und **Abbildung 13** erkennt man wieder das ausgeprägte Regelverhalten in diesem Netz, das von 2 Watt (das ist der Ausgangswert bei GSM 900) sehr schnell auf einen Minimalwert herunter regelt.

Interessant ist hier auch der Empfangspegel: solange das Handy nicht eingeschaltet ist, wird der Empfangspegel des Kontrollkanals gemessen, der in der Regel hoch ist, da der Kontrollkanal immer mit voller Leistung von der Basisstation gesendet wird.

Sobald das Handy jedoch aktiv sendet, wird hingegen der Empfangspegel des entsprechenden empfangsaktiven Kommunikationskanals gemessen. Da in diesem Fall der dem Handy vorgegebene Sendepiegel für den Kommunikationskanal sehr gering ist – dieser wird durch die Basisstation vorgegeben – regelt auch die Basisstation den eigenen gesendeten Kommunikationskanalpegel herunter. Der Sendepiegel der Basisstation für den Kommunikationskanal – bei dem Mobilteil ist dies der Empfangspegel des Kommunikationskanals – wird – dies kann man in **Abbildung 13** sehr deutlich erkennen – herunter geregelt.

Man erkennt an diesen Diagrammen, dass eine gute Netzversorgung sowohl dazu führt, dass die Mobilteile in ihrer Sendeleistung herunter geregelt werden, aber auch dazu, dass die Basisstation die Sendeleistung der entsprechenden Kommunikationskanäle absenkt.

Tabelle 2 zeigt einen Ausschnitt für eine Dauer von 1,5 Minuten der Netzmonitordaten. In diesem Fall handelt es sich um das Nokia 8210 (das Kompakthandy der eingesetzten Handytypen) und das A1-900 MHz-Netz.

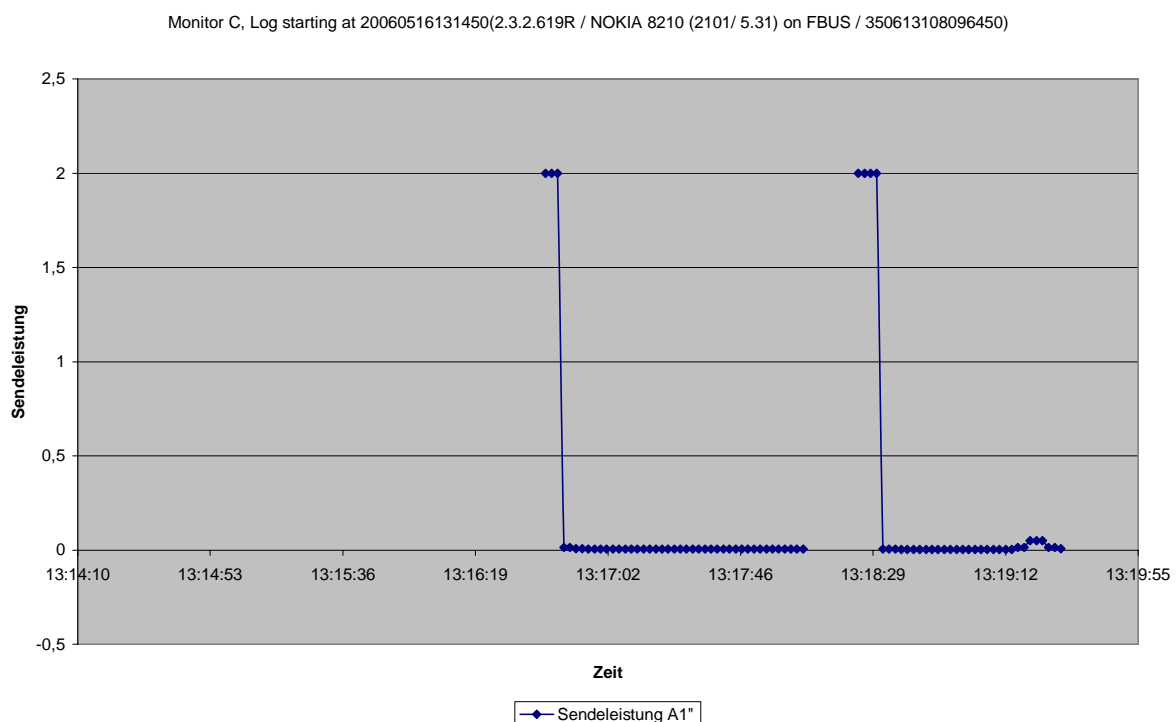


Abbildung 12

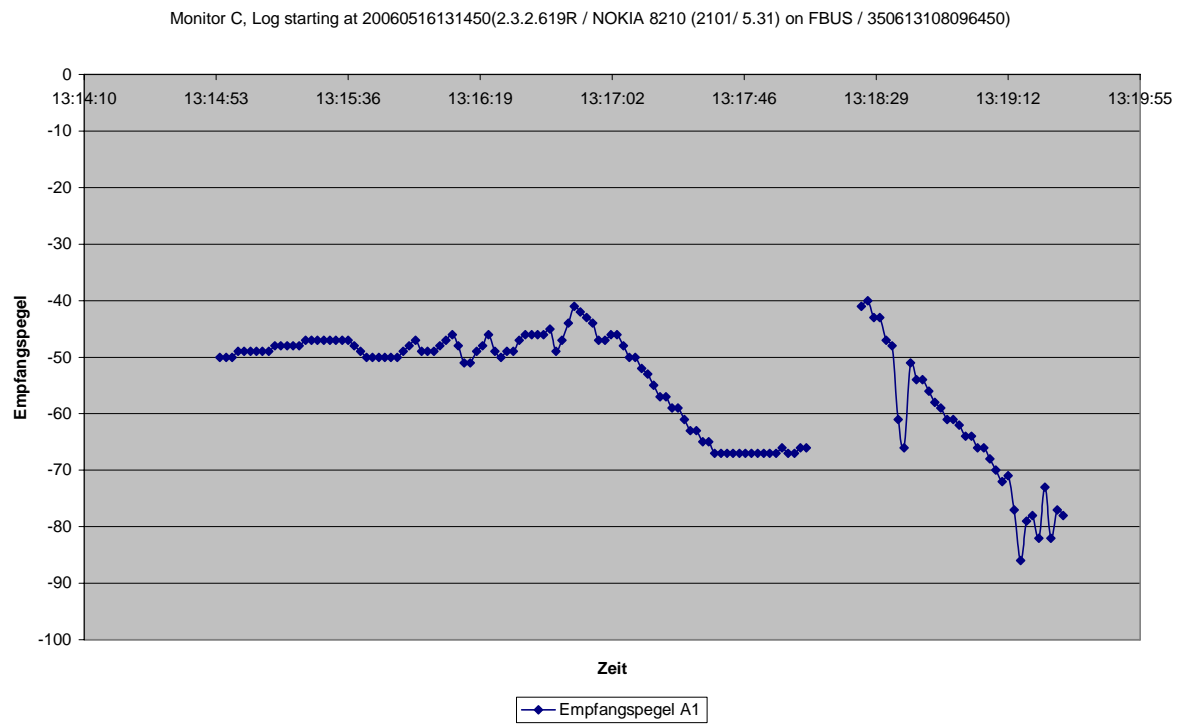


Abbildung 13

Rohdaten Zeit und Datum	Netzbetreiber- kennung	Pegel [Stufe]	Uhrzeit	Empfangspegel [dBm]	Sendeleistung [Watt]
20060516131640	23201	-	13:16:40	-46	
20060516131642	23201	5	13:16:42	-45	2
20060516131644	23201	5	13:16:44	-49	2
20060516131646	23201	5	13:16:46	-47	2
20060516131648	23201	16	13:16:48	-44	0,013
20060516131650	23201	16	13:16:50	-41	0,013
20060516131652	23201	17	13:16:52	-42	0,008
20060516131654	23201	17	13:16:54	-43	0,008
20060516131656	23201	18	13:16:56	-44	0,005
20060516131658	23201	18	13:16:58	-47	0,005
20060516131700	23201	18	13:17:00	-47	0,005
20060516131702	23201	18	13:17:02	-46	0,005
20060516131704	23201	18	13:17:04	-46	0,005
20060516131706	23201	18	13:17:06	-48	0,005
20060516131708	23201	18	13:17:08	-50	0,005
20060516131710	23201	18	13:17:10	-50	0,005
20060516131712	23201	18	13:17:12	-52	0,005
20060516131714	23201	18	13:17:14	-53	0,005
20060516131716	23201	18	13:17:16	-55	0,005
20060516131718	23201	18	13:17:18	-57	0,005
20060516131720	23201	18	13:17:20	-57	0,005
20060516131722	23201	18	13:17:22	-59	0,005
20060516131724	23201	18	13:17:24	-59	0,005
20060516131726	23201	18	13:17:26	-61	0,005
20060516131728	23201	18	13:17:28	-63	0,005
20060516131730	23201	18	13:17:30	-63	0,005
20060516131732	23201	18	13:17:32	-65	0,005
20060516131734	23201	18	13:17:34	-65	0,005
20060516131736	23201	18	13:17:36	-67	0,005
20060516131738	23201	18	13:17:38	-67	0,005
20060516131740	23201	18	13:17:40	-67	0,005
20060516131742	23201	18	13:17:42	-67	0,005
20060516131744	23201	18	13:17:44	-67	0,005
20060516131746	23201	18	13:17:46	-67	0,005
20060516131748	23201	18	13:17:48	-67	0,005
20060516131750	23201	18	13:17:50	-67	0,005
20060516131752	23201	18	13:17:52	-67	0,005
20060516131754	23201	18	13:17:54	-67	0,005
20060516131756	23201	18	13:17:56	-67	0,005
20060516131758	23201	18	13:17:58	-66	0,005
20060516131800	23201	18	13:18:00	-67	0,005
20060516131802	23201	18	13:18:02	-67	0,005
20060516131804	23201	18	13:18:04	-66	0,005
20060516131806	23201	18	13:18:06	-66	0,005
20060516131808	23201	-	13:18:08		
20060516131810	23201	-	13:18:10		

Tabelle 12

Für eine andere Messreihe am 16. Mai 2006 sind der Sende- und der Empfangspegel in **Abbildung 14** und **Abbildung 15** dargestellt. Es wird ein Nokia 6150 verwendet. Die Sendeleistung wird ebenfalls stark von zwei Watt auf ca. 0,2 Watt herunter geregelt. Auch der Empfangspegel, d. h. der Sendepiegel der Basisstation für den Kommunikationskanal, ist hierbei ebenfalls reduziert, so dass auch die Basisstation mit geringerer Leistung sendet.

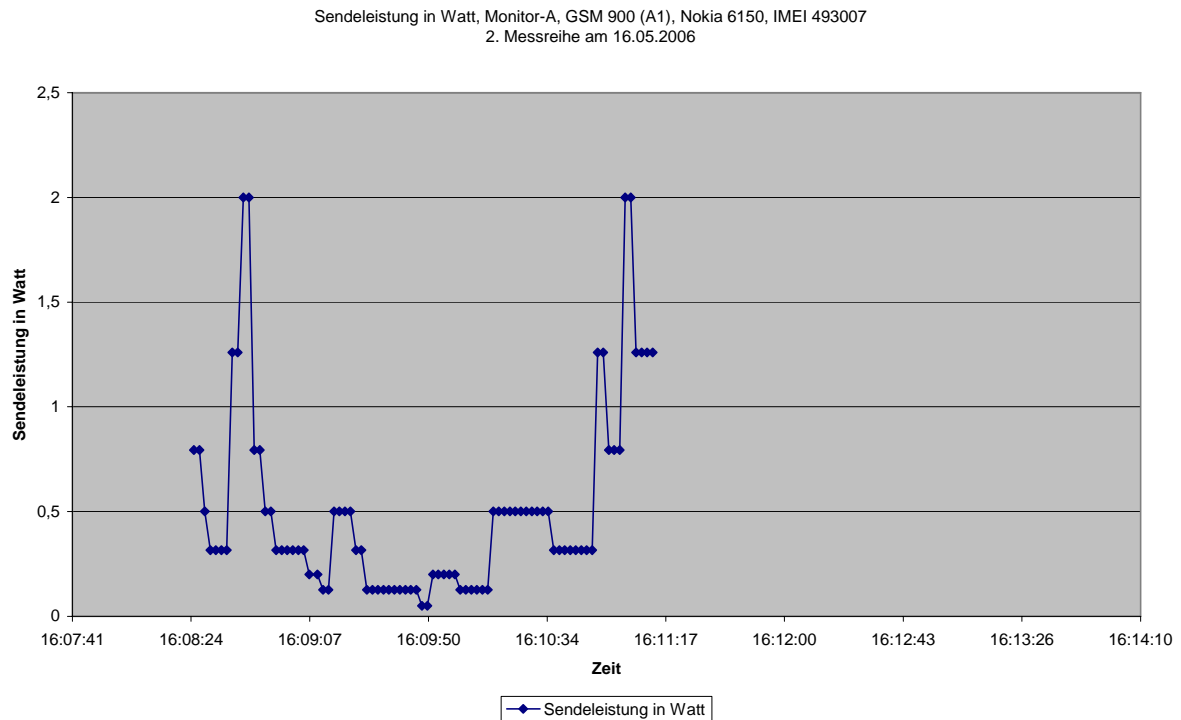


Abbildung 14

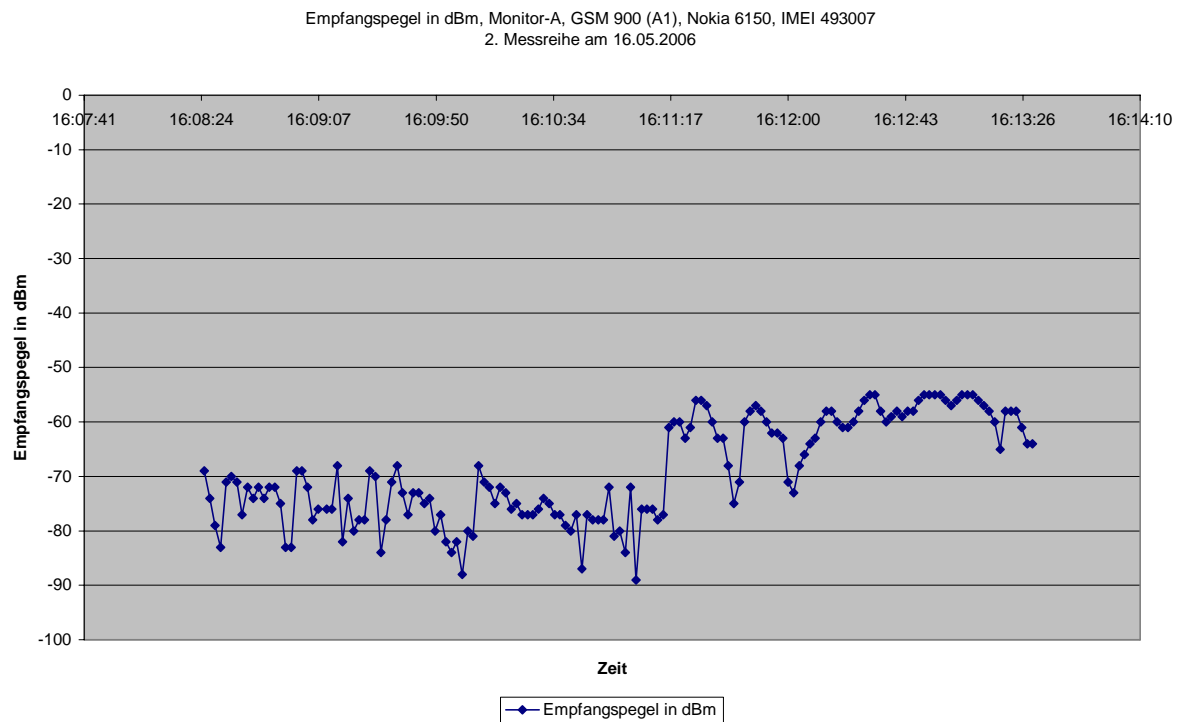


Abbildung 15

Eine weitere Messung mit einem anderen Nokia 6150 Handy (**Abbildung 16**) zeigt eine sehr geringe Sendeleistung – schwankend zwischen 0,05 bis 0,5 Watt. Der Empfangspegel (**Abbildung 17**) wird durch die Basisstation herunter geregelt, so dass hier Empfangswerte um die -80 dBm auftreten.

Monitor B, Log starting at 20060516160840(2.3.2.619R / NOKIA 6150 (2360/ 5.22) on FBUS / 493009102667487)

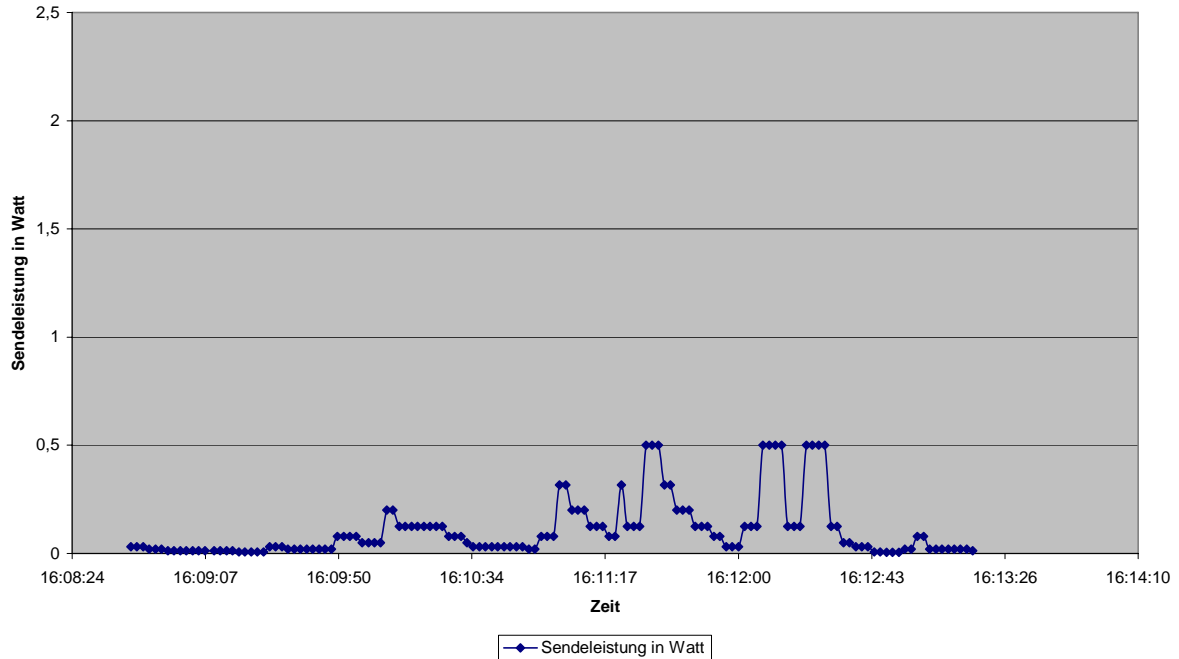


Abbildung 16

Monitor B, Log starting at 20060516160840(2.3.2.619R / NOKIA 6150 (2360/ 5.22) on FBUS / 493009102667487)

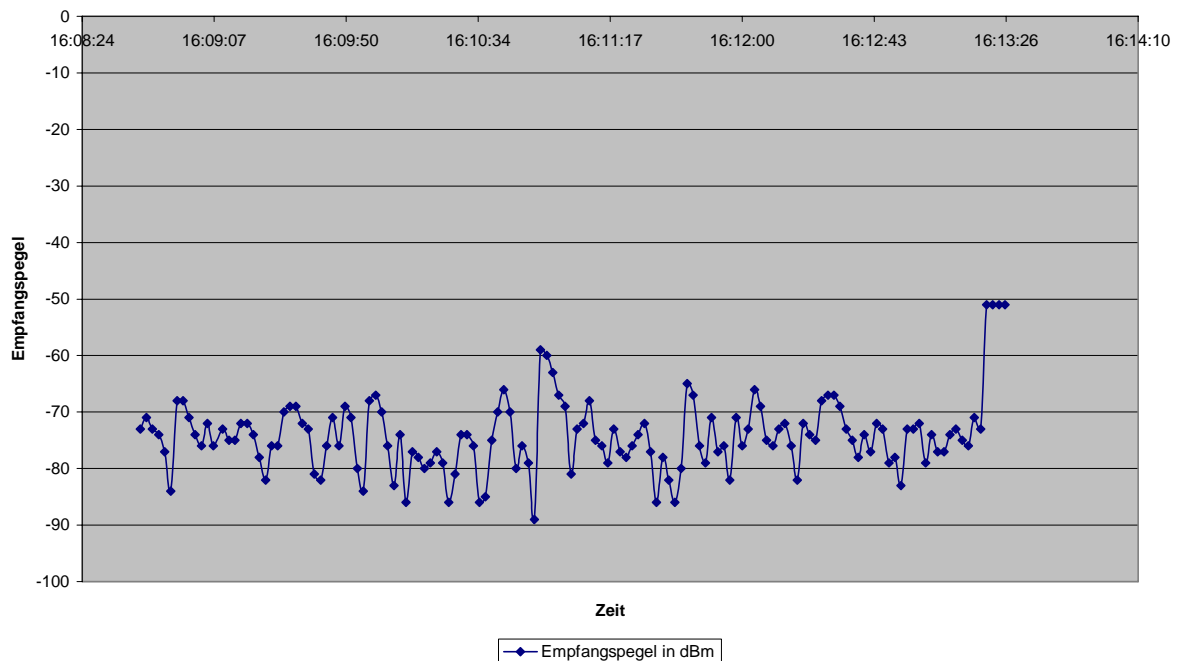


Abbildung 17

In einem anderen Messtest (dargestellt in **Abbildung 18** und **Abbildung 19**), diesmal handelt es sich um ein Nokia 8210, das ebenfalls im GSM 900 MHz-Netz eingebucht ist, erkennt man wiederum die sehr geringe Sendeleistung (**Abbildung 18**) – abgesehen von zwei Hochregelvorgängen – und in Korrelation hierzu der sehr geringe Empfangspegel (**Abbildung 19**), der durch die Basisstation bereits herunter geregelt wurde.

Monitor C, Log starting at 20060516160852(2.3.2.619R / NOKIA 8210 (2101/ 5.31) on FBUS / 350613108096450)

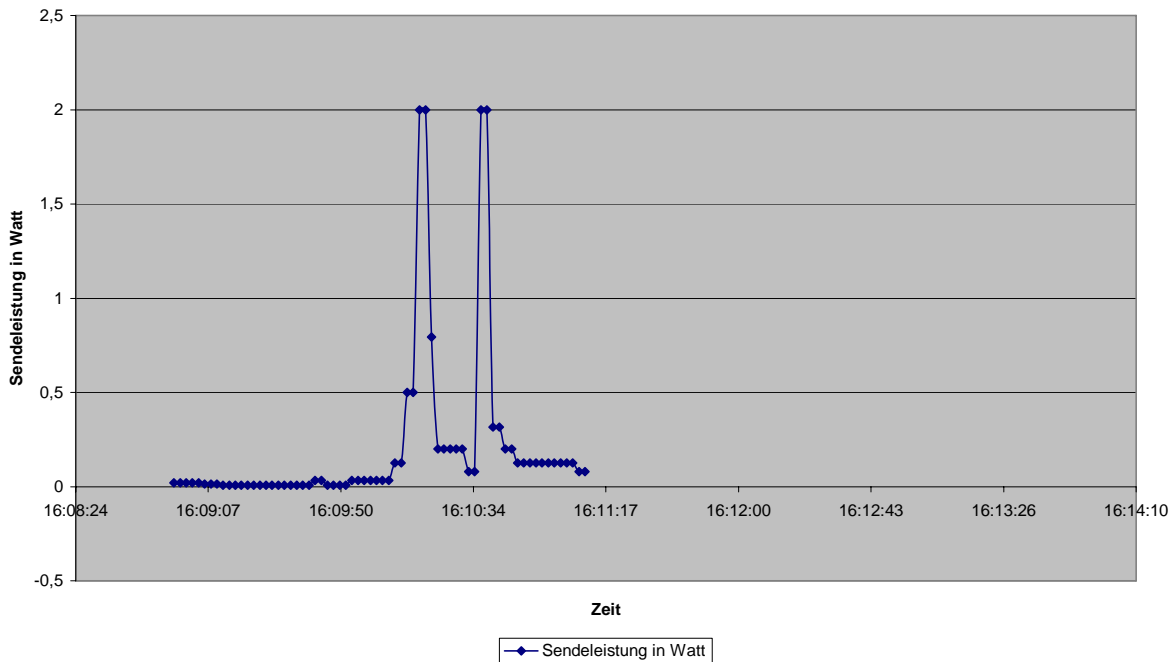


Abbildung 18

Monitor C, Log starting at 20060516160852(2.3.2.619R / NOKIA 8210 (2101/ 5.31) on FBUS / 350613108096450)

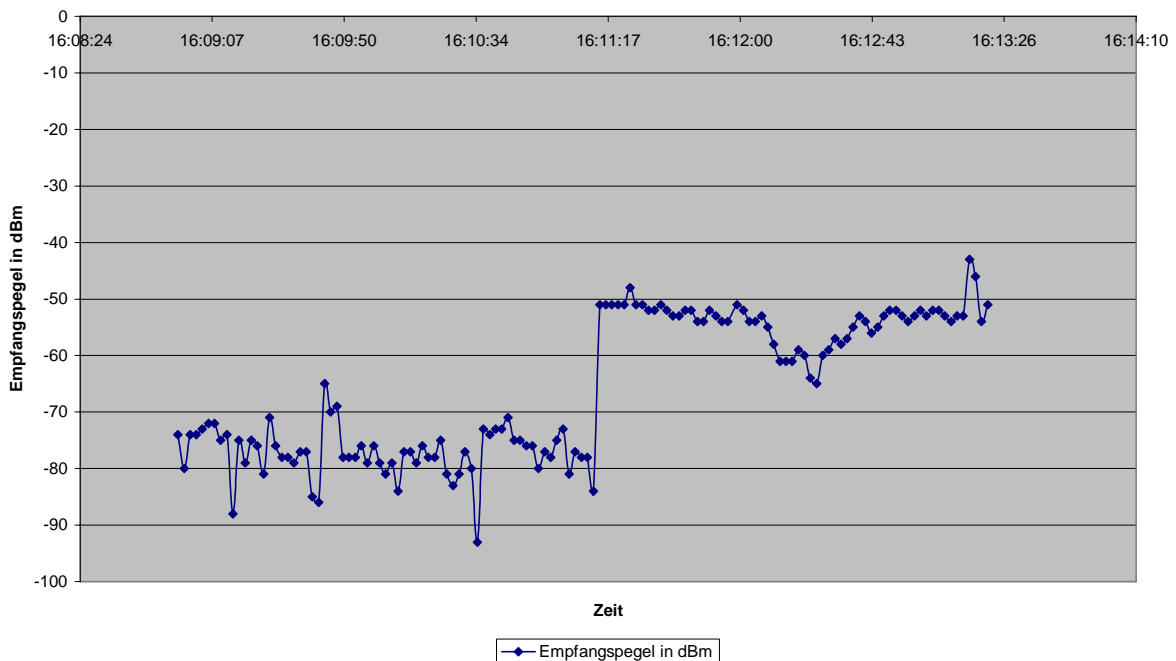


Abbildung 19

In **Abbildung 20** und **Abbildung 21** sind der Sendeleistungspegel und der Empfangspegel für ein im GSM 1800-Netz eingebuchtes Handy dargestellt. Es wurde in dem österreichischen Netz „One“ gemessen, verwendet wurde ein Nokia 8210. Der Empfangspegel ist sehr schwach, aus diesem Grund ist auch das Regelverhalten des GSM 1800 nicht sehr ausgeprägt. Das Handy arbeitet mehrmals mit der maximalen Sendeleistung von 1 Watt, regelt auch bis auf 0,4 Watt und 0,3 Watt herunter, so dass man in diesem Fall an diesem Ort (auf der Wiese vor dem abgebildeten Gebäude (**Abbildung 9**)) von geringen mittleren Sendeleistungen bei GSM 900 und evtl. gleichen oder etwas höheren mittleren Sendeleistungen bei GSM 1800 ausgehen kann.

Monitor D, Log starting at 20060516160903(2.3.2.619R / NOKIA 8210 (2000/ 5.30) on FBUS / 350601101480003)

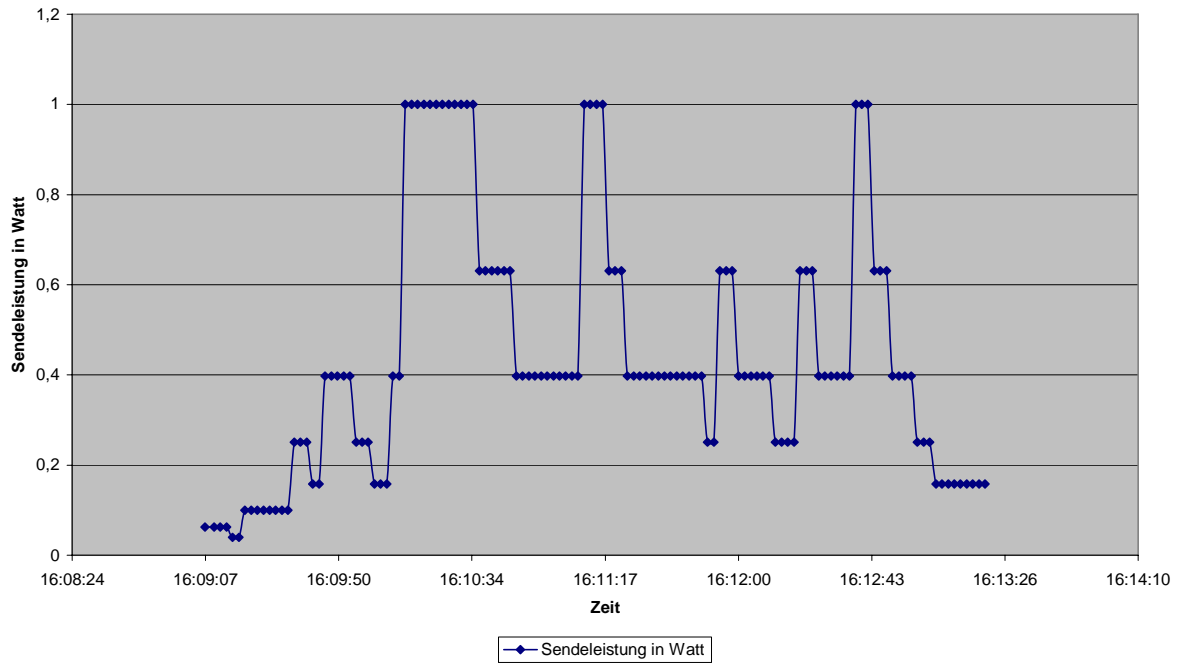


Abbildung 20

Monitor D, Log starting at 20060516160903(2.3.2.619R / NOKIA 8210 (2000/ 5.30) on FBUS / 350601101480003)

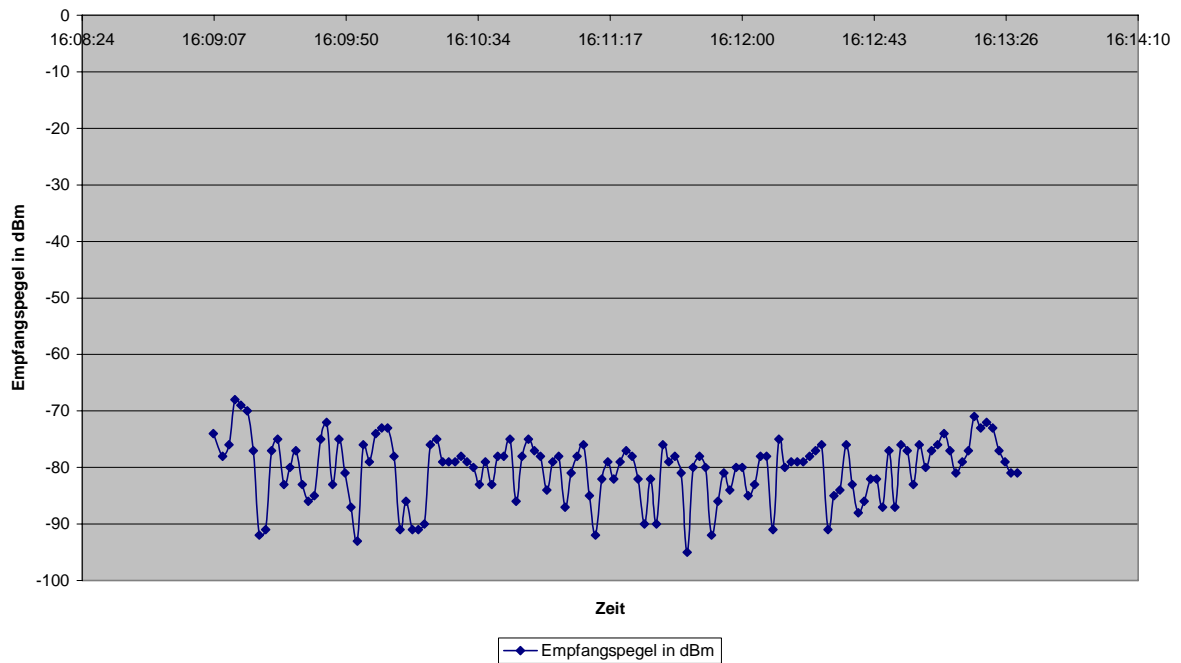


Abbildung 21

9.1.2 Messreihe PKW-Kombi

Bei den ersten Messungen am 16. Mai 2006 hatte sich gezeigt, dass der gewählte Standort eine zu gute Feldversorgung aufweist, d. h. der Regelalgorithmus greift voll und regelt im GSM 900 MHz-Netz immer auf einen sehr niedrigen Wert. Daher war davon auszugehen, dass bei den E-Feld-Messungen im PKW die erforderliche Feldstärke zu gering sein wird, als dass grenzwertnahe Werte hätten gemessen werden können.

Daher wurden am zweiten Tag die Messungen in eine Messhalle (**Abbildung 22**) verlegt, die für wettergeschützte Messungen ausgelegt ist. Zum einen bestand damit auch ein Wetterschutz gegen die an diesem Tag auftretenden starken Gewitter- und Sturmböen, und zum anderen bestand aufgrund der größeren Entfernung und der Abschattung keine Sichtverbindung mehr zu den Sendeanlagen im A1-Netz (GSM 900 und UMTS). Dieser dadurch bedingte niedrigere Empfangspegel bewirkte bei den Messungen einen höheren Sendepiegel, der von Änderungen am Messaufbau (Cabriodach offen und zu, verschiedene PKW-Typen) stärker beeinflusst werden sollte.



Abbildung 22

Um die E-Feld-Messungen bei Last, d. h. mit kommunizierenden Handys richtig bewerten zu können, ist es erforderlich, zuerst Leerlaufmessungen durchzuführen. Bei diesen Leerlaufmessungen findet keine Kommunikation statt, in diesem Fall wurde das Fahrzeug ohne Mobiltelefone vermessen. Die Leerlaufmessungen sollten zeigen, wie hoch die Grundlast ist, damit man die Unterschiede zu den Messungen mit Handys in verschiedenen Leistungsstufen richtig bewerten kann.

Die Leerlaufmessungen mit der E-Feld-Sonde ergaben einen sehr niedrigen Wert. Bei einem Grenzwert von 42 Volt/m für GSM 900 betragen die im Fahrzeug gemessenen Werte ca. 0,2 Volt/m.

Abbildung 23 zeigt die gemessene E-Feld-Stärke maßstabsgerecht zum Grenzwert aufgetragen. **Abbildung 24** zeigt eine Ausschnittsvergrößerung in 200-facher Vergrößerung. In der **Tabelle 13** sind die Messdaten und die Einstellungen für die Sonde eingetragen. In den Abbildungen wurden die Effektivwerte, in diesem Fall der Spannung, eingetragen.

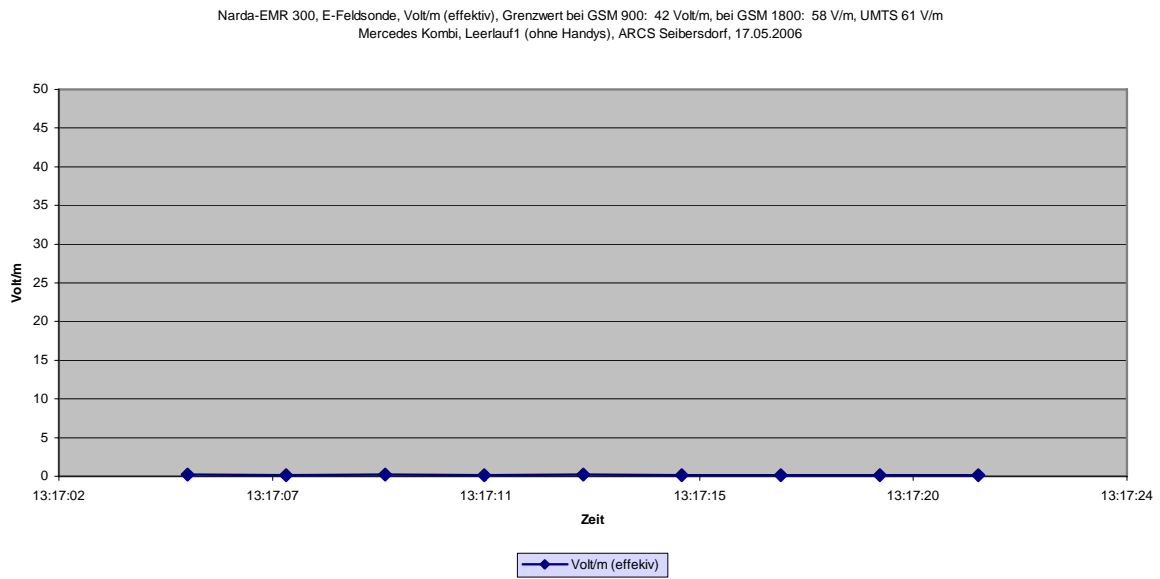


Abbildung 23

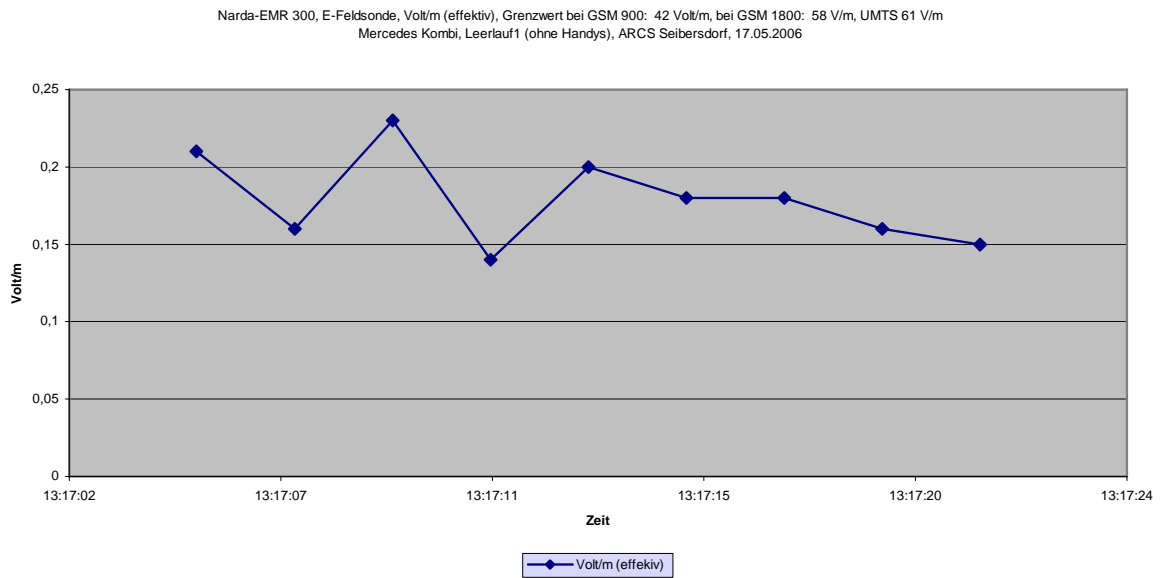


Abbildung 24

START					
EMR-300 - H-0005 - V03,01	Probe: 18	type: E	Date: 05-17-2006		
Calibr Factor: 1,000	Unit: V/m	Max: OFF	Average: OFF		
Index	Time	x	y	z	Eff
1	13:17:05,0	0,08	0,1	0,17	0,21
2	13:17:07,0	0,05	0,1	0,12	0,16
3	13:17:09,0	0,1	0,15	0,15	0,23
4	13:17:11,0	0,05	0,08	0,1	0,14
5	13:17:13,0	0,1	0,1	0,14	0,2
6	13:17:15,0	0,08	0,12	0,1	0,18
7	13:17:17,0	0,08	0,1	0,12	0,18
8	13:17:19,0	0,05	0,12	0,1	0,16
9	13:17:21,0	0,05	0,1	0,1	0,15

Tabelle 13

In den nächsten Abbildungen (**Abbildung 25**, **Abbildung 26** und **Abbildung 27**) sind die Messungen der E-Feld-Sonde mit aktiven Handys im Telefonat dargestellt. In **Abbildung 26** sind zur besseren Übersichtlichkeit zwei getrennte Messungen zusammengefasst.

Die Spitzen, die teilweise bis zu 8 Volt/m betragen – immer noch weit unterhalb des Grenzwertes – kommen dadurch zustande, dass die Mess-Sonde im Fahrzeug bewegt wird und bei diesen Bewegungen auch teilweise näher an die aktiv sendenden Handys kommt. Kommt die Sonde zu nah an ein sendendes Handy, so ist die E-Feld-Messung nicht mehr korrekt,

da E-Feld-Messungen nur für das Fernfeld gelten, im Nahfeld muss mit dem SAR-Wert gerechnet werden. Bei den Messungen wurde versucht zu vermeiden, zu nah an das Handy zu kommen. Die Strahlung des Handys an der Antenne oder dem Gehäuse zu vermessen war nicht das Ziel. Interessant war es hingegen, zu messen, ob es zu Feldstärkeüberhöhungen in den teilgeschirmten Räumen kommt.

In **Abbildung 25** bis **Abbildung 27** erkennt man die unterschiedlichen Feldstärken: ab und zu wird bewusst die E-Feld-Sonde in Richtung eines Mobilfunkgerätes bewegt, um eine Reaktion im E-Feld festzustellen.

Das Mobilteil im GSM 1800-Netz "One" ist während der kompletten Messzeit (**Abbildung 30**) auf einen Minimalwert von ca. 1 mW herunter geregelt, es trägt damit zur Feldstärken-„Belastung“ im Inneren des Fahrzeuges kaum bei (Empfangspegel in **Abbildung 31**). Aus der Sendeleistung in **Abbildung 30** erkennt man, dass auch eine hohe Zahl von eingesetzten Mobilfunkendgeräten keine qualifizierte Aussage darüber erbringt, ob die Strahlenbelastung in Fahrzeugen hoch ist oder nicht. Die Belastung im Fahrzeug ist abhängig von der Sendeleistung der Mobilfunkendgeräte, diese ist wiederum u. a. abhängig von der Feldversorgung.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass bei dieser Messung in einem Kombifahrzeug an keinem Punkt auch nur annähernd der Grenzwert erreicht wurde, man kann von einer Mittelung um die 5 Volt/m ausgehen, d. h. man ist im Grenzwert ca. 1/10 unterhalb des Grenzwertes, obwohl vier Personen im Fahrzeug gleichzeitig telefonierten und dabei auch permanent sprachen, so dass der DTX-Modus nicht aktiv werden konnte.

Narda-EMR 300, E-Feldsonde, Volt/m (effektiv), Grenzwert bei GSM 900: 42 Volt/m, bei GSM 1800: 58 V/m, UMTS: 61 V/m
 Mercedes Kombi, Leerlauf2, auf dem Gelände von ARCS, 17.05.2006

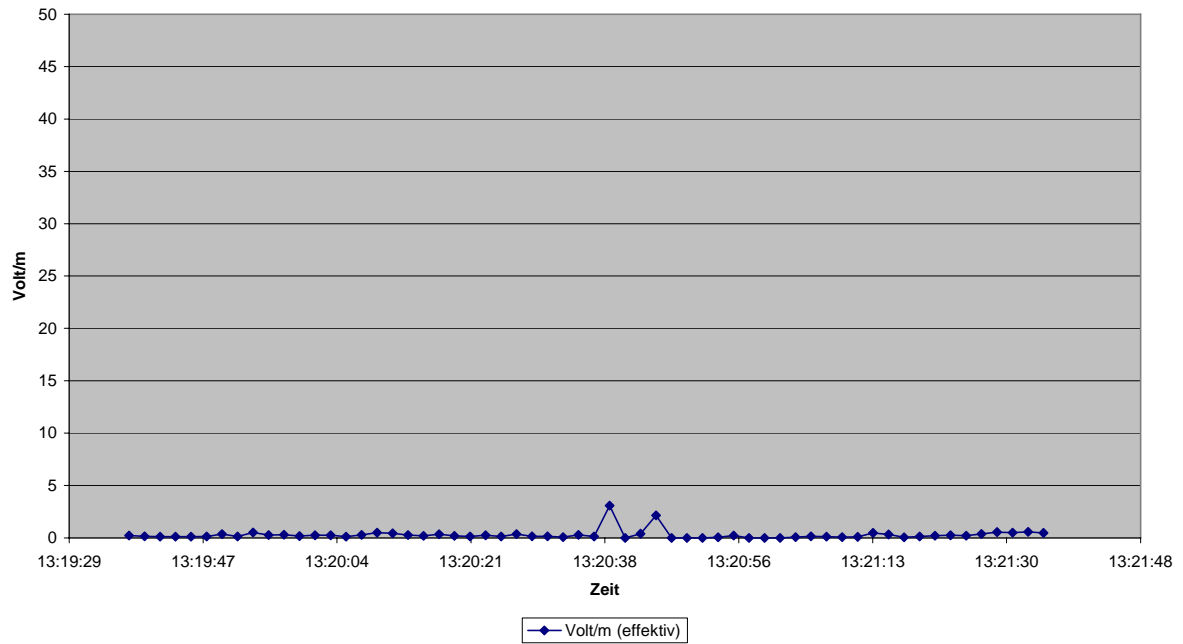


Abbildung 25

Narda-EMR 300, E-Feldsonde E18, Volt/m (effektiv), 2 separate Messreihen
 Mercedes Kombi, mit Handys auf dem Gelände von ARCS, 17.05.2006

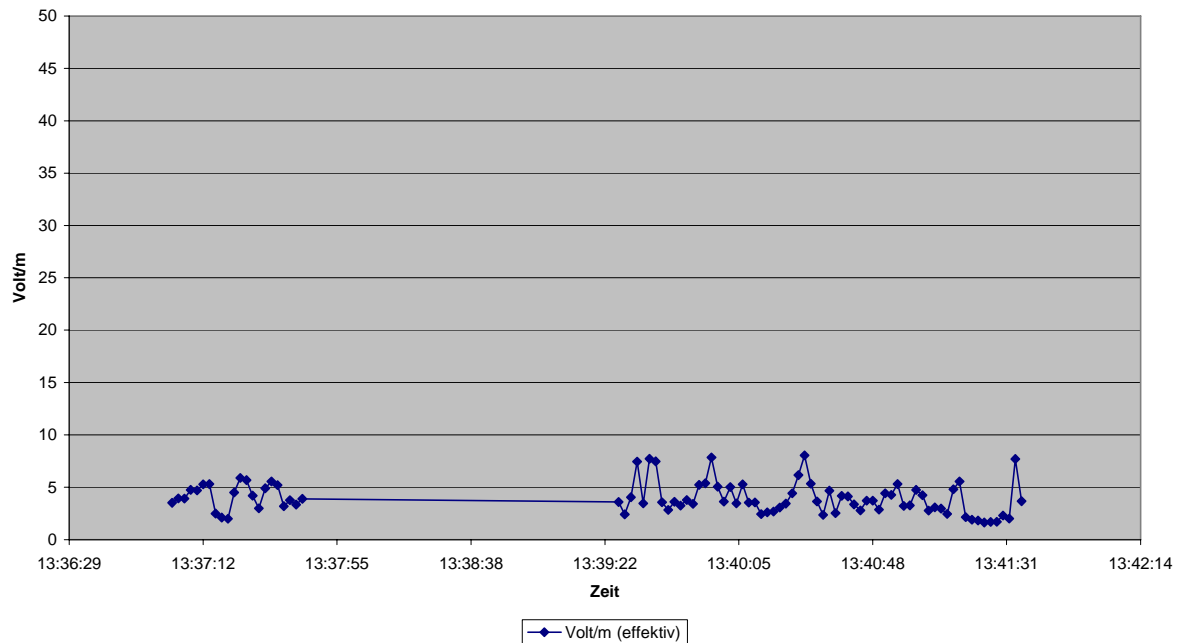


Abbildung 26

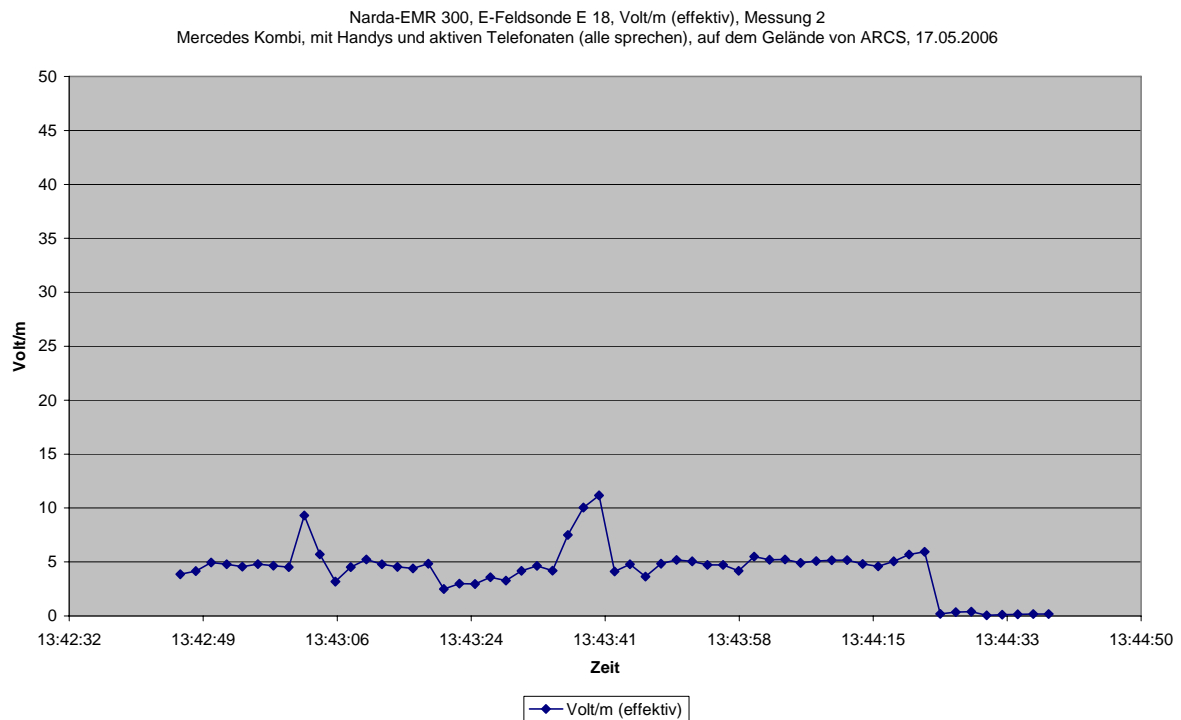
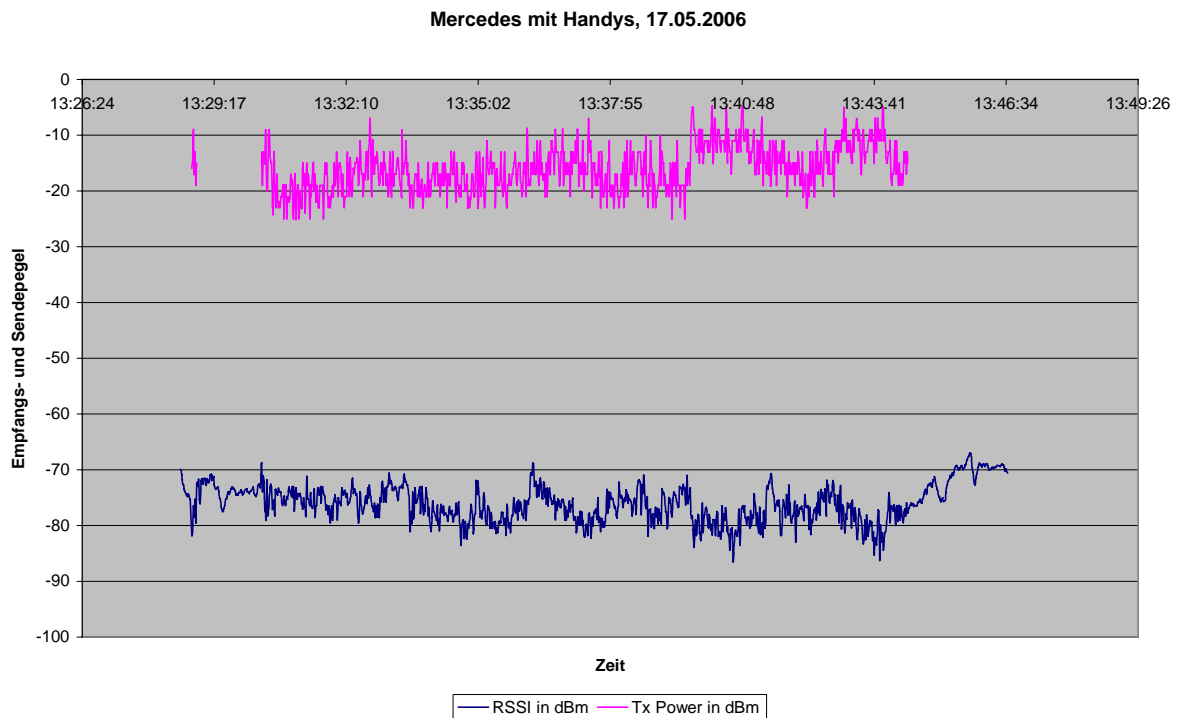
**Abbildung 27****Abbildung 28**

Abbildung 28 zeigt die Sonde im Front- und im Heckbereich des Kombifahrzeuges während der Messungen (Quelle: Einzelbilder aus Video).

Um die E-Feld-Sondenmessungen richtig interpretieren zu können, benötigt man Informationen über die Sendeleistung der einzelnen Handys zu den verschiedenen Zeiten und über die von den Handys verwendeten Frequenzen.

Die **Abbildung 29** und die **Tabelle 14** geben die Sendeleistung (Tx Power) und den Empfangspegel für das eingebuchte UMTS-Mobilfunkhandy wieder. Die mittlere Sendeleistung am UMTS-Handy ist in diesem Fall bei der Verwendung im PKW -16 dBm gleich $50\mu\text{W}$. Diese Werte sind so gering, dass sie zur messbaren Strahlenbelastung durch Reflexion nichts beitragen können. Aus diesem Grund wurde bei späteren Messungen anstelle eines UMTS-Handys ein GSM-Handy verwendet.

**Abbildung 29**

Mittelwert Tx Power in dBm = -16

Mittelwert RSSI in dBm = -75

Datum	Uhrzeit	Indirekte Netzkenung	RSSI Empfangspegel [dBm]	Tx Power Sendeleistungspegel [dBm]
17.05.2006	13:30:18	10564	-71,80000305	
17.05.2006	13:30:19	10564	-68,69999695	-13
17.05.2006	13:30:20	10564	-73,90000153	-19
17.05.2006	13:30:21	10564	-71,09999847	-13
17.05.2006	13:30:22	10564	-72,40000153	-13
17.05.2006	13:30:23	10564	-77,30000305	-15
17.05.2006	13:30:24	10564	-77,69999695	-9
17.05.2006	13:30:25	10564	-78,90000153	-13
17.05.2006	13:30:26	10564	-71,80000305	-20
17.05.2006	13:30:27	10564	-78,19999695	-19
17.05.2006	13:30:28	10564	-77,80000305	-11
17.05.2006	13:30:29	10564	-75,69999695	-9
17.05.2006	13:30:30	10564	-73,19999695	-13

Tabelle 14

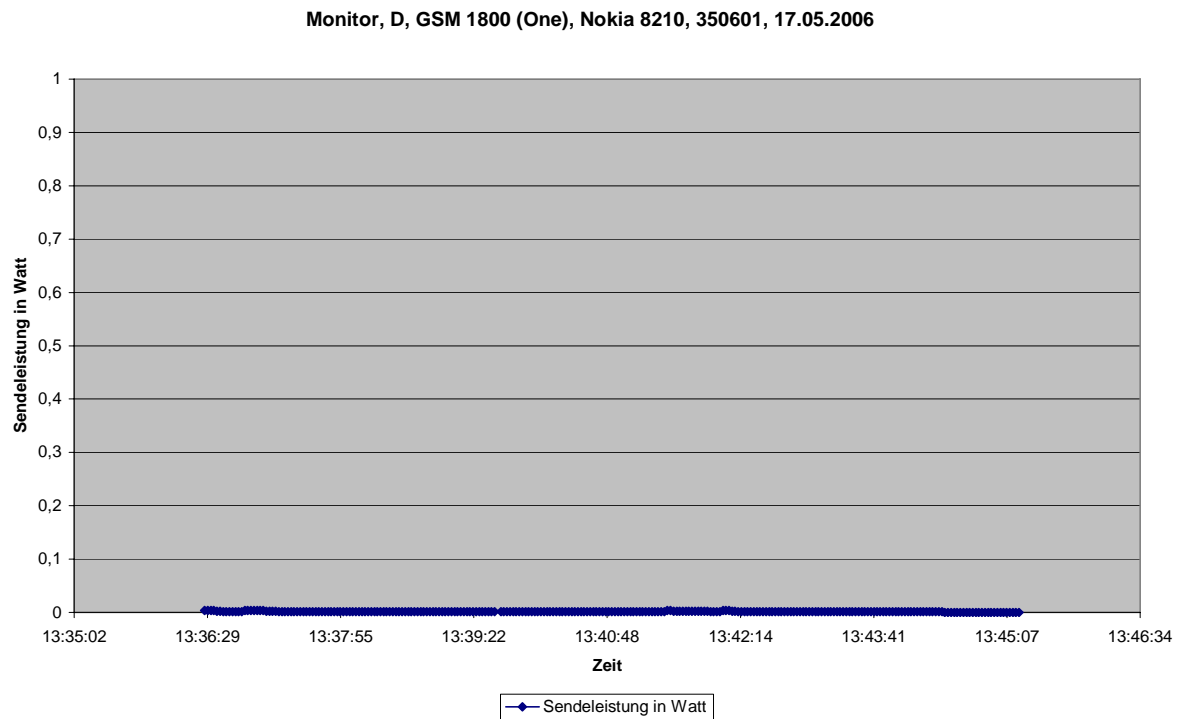


Abbildung 30

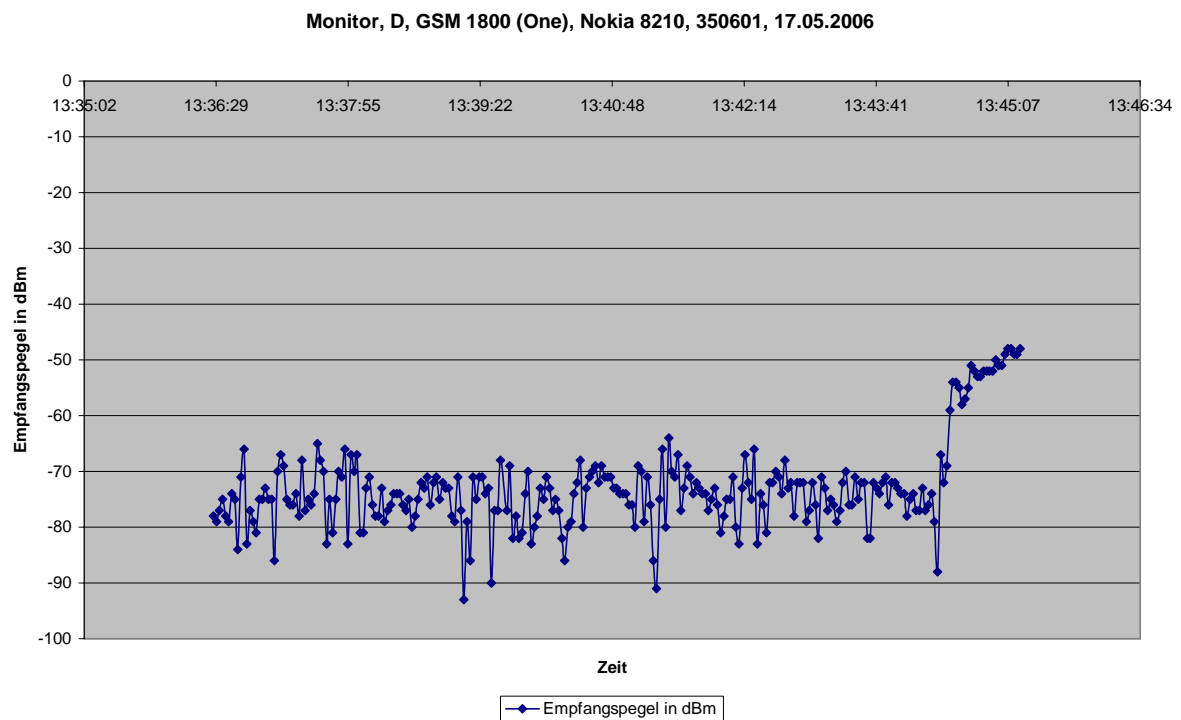


Abbildung 31

Die **Abbildung 30** und **Abbildung 31** und die **Tabelle 15** zeigen Sende-, Empfangspegel und einen Ausschnitt aus den Tabellenwerten für das im GSM 1800-Netz (One) eingebuchte Nokia 8210.

Die Sendeleistung des GSM 1800-Handys ist in diesem Fall mit Werten von 1,6 mW bis 4 mW sehr gering. Aus diesem Grund ist ein maßgebender Beitrag zu E-Feld-Überhöhungen und Resonanzen durch diese Emissionsquelle nicht zu erwarten.

Rohdaten Zeit und Datum	Netzbetreiber- kennung	Pegel [Stufe]	Uhrzeit	Empfangspegel [dBm]	Sendeleistung [Watt]
20060517133627	23205	12	13:36:27	-78	0,004
20060517133629	23205	12	13:36:29	-79	0,004
20060517133631	23205	12	13:36:31	-77	0,004
20060517133633	23205	12	13:36:33	-75	0,004
20060517133635	23205	13	13:36:35	-78	0,0025
20060517133637	23205	13	13:36:37	-79	0,0025
20060517133639	23205	14	13:36:39	-74	0,0016
20060517133641	23205	14	13:36:41	-75	0,0016
20060517133643	23205	14	13:36:43	-84	0,0016
20060517133645	23205	14	13:36:45	-71	0,0016
20060517133647	23205	14	13:36:47	-66	0,0016
20060517133649	23205	14	13:36:49	-83	0,0016
20060517133651	23205	14	13:36:51	-77	0,0016

Tabelle 15

Die nachfolgenden drei Abbildungen zeigen den Sendeleistungspegel der eingesetzten drei GSM 900-Handys (einmal 8210 und zweimal 6150); zur Vereinfachung werden nur die Sendepegel der jeweiligen Handys dargestellt.

Nachstehend die GSM 900-Sendepegel, jeweils für Monitor A, Monitor B und Monitor C.

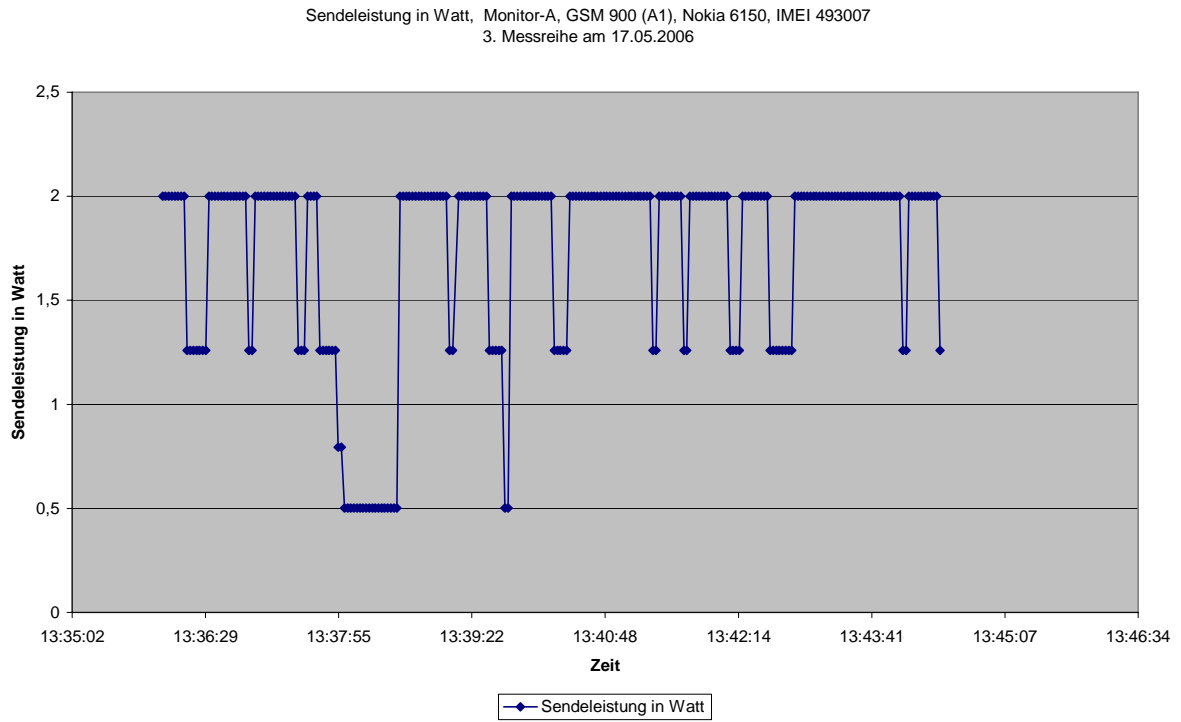


Abbildung 32

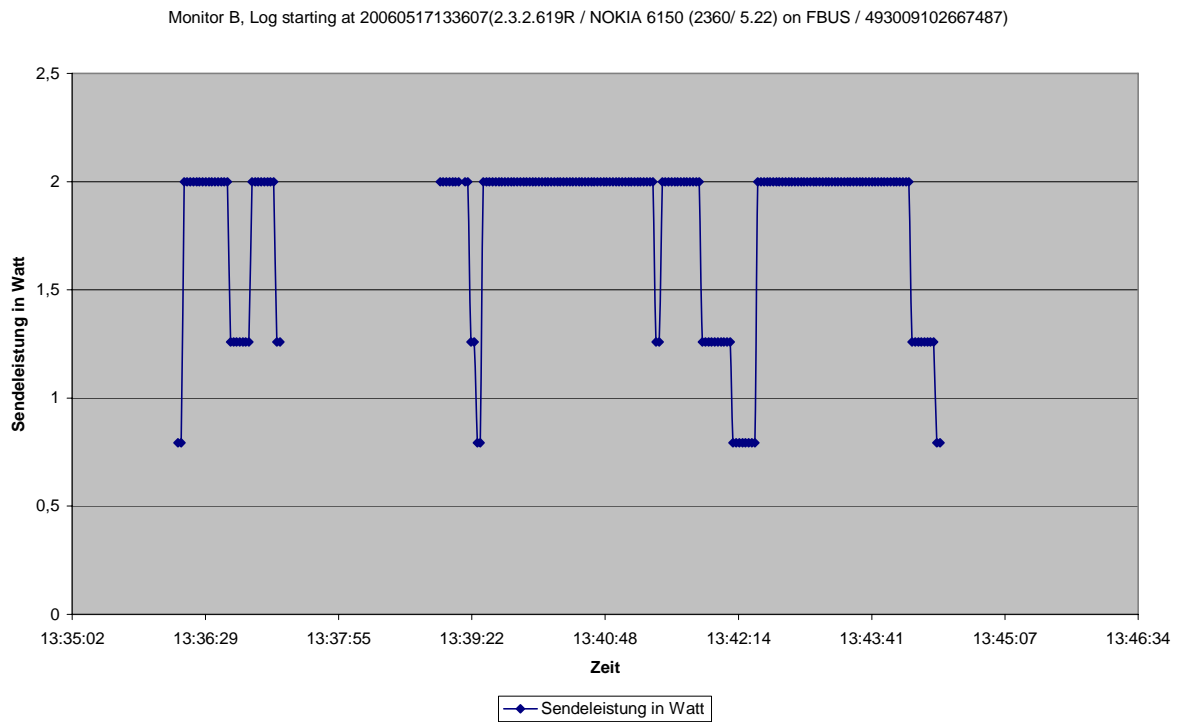


Abbildung 33

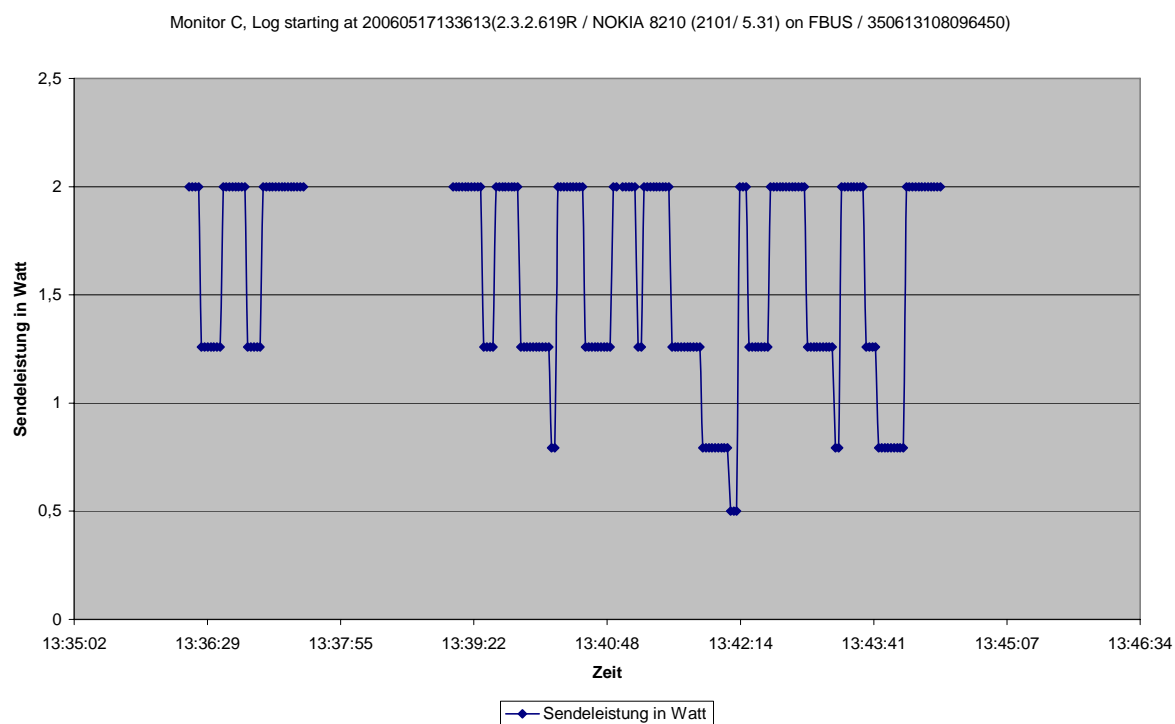


Abbildung 34

Abbildung 35 und **Tabelle 16** geben die genauen Daten für den Maschek-Messkopf wieder. Der Messkopf war auf der Rückseite auf dem Mittelplatz platziert. Die Belastung auch bei vier gleichzeitig telefonierenden Personen ist weit unterhalb des Grenzwertes.

Reflexionen, die mit Feldstärkeüberhöhungen verbunden sind, traten an diesem Platz nicht auf.

Auch bei der Platzierung der E-Feld-Sonde im Fahrzeug konnte keine Feldstärkeüberhöhung gemessen werden.

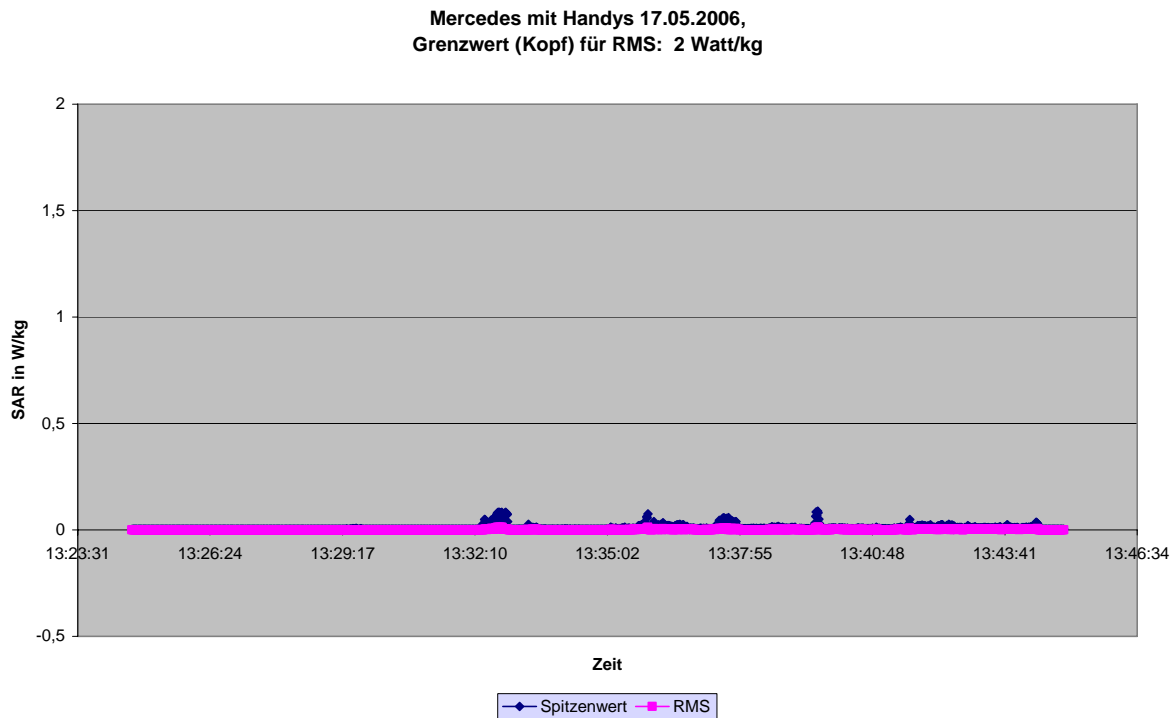


Abbildung 35

Rohdaten Zeit und Datum	Spitzenwert	RMS-Wert	Netz	Datum	Zeit
38854,56413	0,004	0	GSM-900	17.05.2006	13:32:20,56
38854,56413	0,004	0	GSM-900	17.05.2006	13:32:21,22
38854,56414	0,048	0,001	GSM-900	17.05.2006	13:32:21,77
38854,56415	0,048	0,002	GSM-900	17.05.2006	13:32:22,31
38854,56415	0,015	0,002	GSM-900	17.05.2006	13:32:22,97
38854,56416	0,01	0,001	GSM-900	17.05.2006	13:32:23,52
38854,56417	0,005	0,001	GSM-900	17.05.2006	13:32:24,17
38854,56418	0,009	0,001	GSM-900	17.05.2006	13:32:24,72
38854,56418	0,006	0	GSM-900	17.05.2006	13:32:25,38
38854,56419	0,012	0,001	GSM-900	17.05.2006	13:32:25,92
38854,5642	0,016	0,001	GSM-900	17.05.2006	13:32:26,47
38854,5642	0,022	0,002	GSM-900	17.05.2006	13:32:27,12
38854,56421	0,017	0,002	GSM-900	17.05.2006	13:32:27,67
38854,56422	0,011	0,001	GSM-900	17.05.2006	13:32:28,33
38854,56422	0,015	0,001	GSM-900	17.05.2006	13:32:28,88
38854,56423	0,018	0,002	GSM-900	17.05.2006	13:32:29,53
38854,56424	0,013	0,001	GSM-900	17.05.2006	13:32:30,08
38854,56424	0,047	0,004	GSM-900	17.05.2006	13:32:30,62
38854,56425	0,034	0,007	GSM-900	17.05.2006	13:32:31,28
38854,56426	0,015	0,002	GSM-900	17.05.2006	13:32:31,83
38854,56426	0,019	0,001	GSM-900	17.05.2006	13:32:32,38
38854,56427	0,037	0,003	GSM-900	17.05.2006	13:32:33,03
38854,56428	0,037	0,005	GSM-900	17.05.2006	13:32:33,58
38854,56428	0,039	0,006	GSM-900	17.05.2006	13:32:34,13
38854,56429	0,045	0,001	GSM-900	17.05.2006	13:32:34,78
38854,5643	0,031	0,005	GSM-900	17.05.2006	13:32:35,43
38854,56431	0,036	0,005	GSM-900	17.05.2006	13:32:35,99
38854,56431	0,066	0,01	GSM-900	17.05.2006	13:32:36,53
38854,56432	0,048	0,007	GSM-900	17.05.2006	13:32:37,08
38854,56432	0,068	0,008	GSM-900	17.05.2006	13:32:37,63
38854,56433	0,073	0,011	GSM-900	17.05.2006	13:32:38,28
38854,56434	0,079	0,012	GSM-900	17.05.2006	13:32:38,83
38854,56435	0,082	0,012	GSM-900	17.05.2006	13:32:39,49
38854,56435	0,077	0,011	GSM-900	17.05.2006	13:32:40,03
38854,56436	0,075	0,007	GSM-900	17.05.2006	13:32:40,57
38854,56436	0,082	0,012	GSM-900	17.05.2006	13:32:41,13
38854,56437	0,079	0,011	GSM-900	17.05.2006	13:32:41,78
38854,56438	0,081	0,011	GSM-900	17.05.2006	13:32:42,33
38854,56439	0,08	0,012	GSM-900	17.05.2006	13:32:42,98
38854,56439	0,081	0,011	GSM-900	17.05.2006	13:32:43,64
38854,5644	0,083	0,011	GSM-900	17.05.2006	13:32:44,19
38854,56441	0,079	0,011	GSM-900	17.05.2006	13:32:44,73
38854,56441	0,072	0,011	GSM-900	17.05.2006	13:32:45,28
38854,56442	0,034	0,002	GSM-900	17.05.2006	13:32:45,83
38854,56443	0,049	0,001	GSM-900	17.05.2006	13:32:46,48
38854,56443	0,077	0,003	GSM-900	17.05.2006	13:32:47,03
38854,56444	0,068	0,002	GSM-900	17.05.2006	13:32:47,69
38854,56445	0,039	0,001	GSM-900	17.05.2006	13:32:48,24
38854,56445	0,08	0,001	GSM-900	17.05.2006	13:32:48,89
38854,56446	0,082	0,001	GSM-900	17.05.2006	13:32:49,44
38854,56447	0,077	0,003	GSM-900	17.05.2006	13:32:49,98
38854,56447	0,072	0,001	GSM-900	17.05.2006	13:32:50,53
38854,56448	0,077	0,001	GSM-900	17.05.2006	13:32:51,18
38854,56449	0,073	0,001	GSM-900	17.05.2006	13:32:51,74
38854,5645	0,04	0,001	GSM-900	17.05.2006	13:32:52,39
38854,5645	0,005	0,001	GSM-900	17.05.2006	13:32:52,94
38854,56451	0,001	0	GSM-900	17.05.2006	13:32:53,48
38854,56452	0,001	0	GSM-900	17.05.2006	13:32:54,14

Tabelle 16

9.2 Mess-Szenario PKW Cabrio (Metalldach, Peugeot)

9.2.1 Erste Messreihe mit Peugeot Cabrio – Metalldach offen und geschlossen

Die Messreihen mit einem Peugeot 206 CC, der über ein Metallcabriodach verfügt, sollten aufzeigen, ob es zu unterschiedlichen E-Feld-Stärken innerhalb eines Fahrzeuges in Abhängigkeit der Dachöffnung kommt.



Abbildung 36



Abbildung 37



Abbildung 38

Abbildung 36 zeigt den Maschek-Messkopf, der auf dem rückwärtigen Notsitz stand, **Abbildung 37** zeigt die E-Feld-Sonde, die zwischen Fahrer- und Beifahrersitz statisch auf dem Armaturenbrett lag und **Abbildung 38** zeigt die zwei Versuchspersonen, die in einem Mess-Szenario sowohl am rechten als auch am linken Ohr ein Telefon nutzten, so dass vier Telefongespräche von zwei Personen gleichzeitig geführt werden konnten.

Abbildung 39 zeigt die Daten einer Leerlaufmessung, das Metaldach war geschlossen, es wurden keine aktiven Telefonate geführt. Die Feldstärke ist weit unterhalb des Grenzwertes.

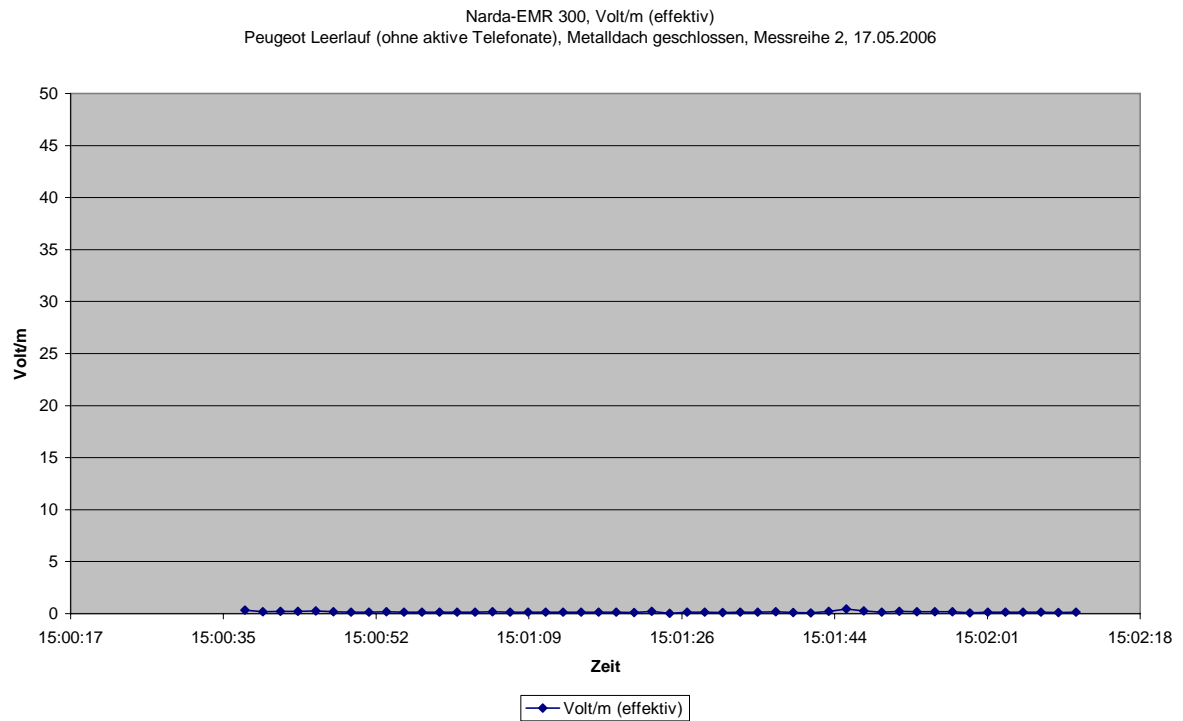


Abbildung 39

In **Abbildung 40** werden zwei Telefonate im GSM 900-Netz geführt, die zugehörigen Mobilfunkpegel befinden sich in **Abbildung 41** und **Abbildung 42** und in **Abbildung 43** und **Abbildung 44**. Es zeigt sich, dass bei zwei Telefonaten gleichzeitig in einem geschlossenen Fahrzeug keine Feldstärkeüberhöhungen auftreten.

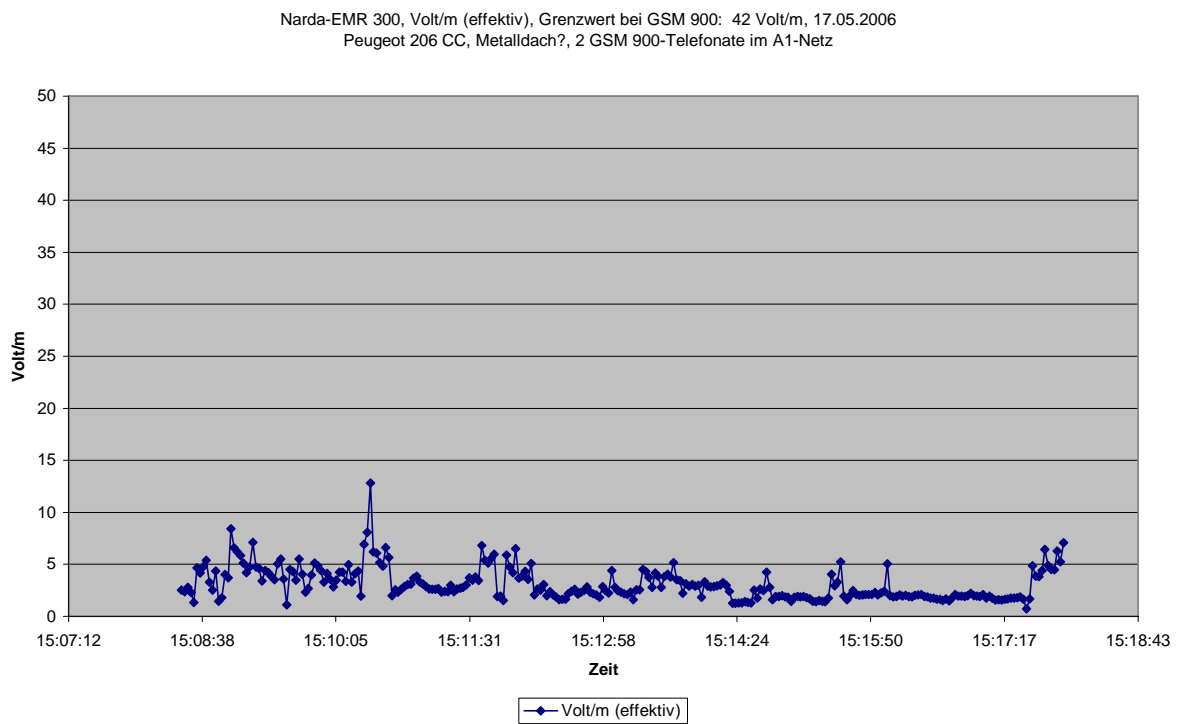


Abbildung 40

Monitor B, Log starting at 20060517150406(2.3.2.619R / NOKIA 6150 (2360/ 5.22) on FBUS / 493009102667487)

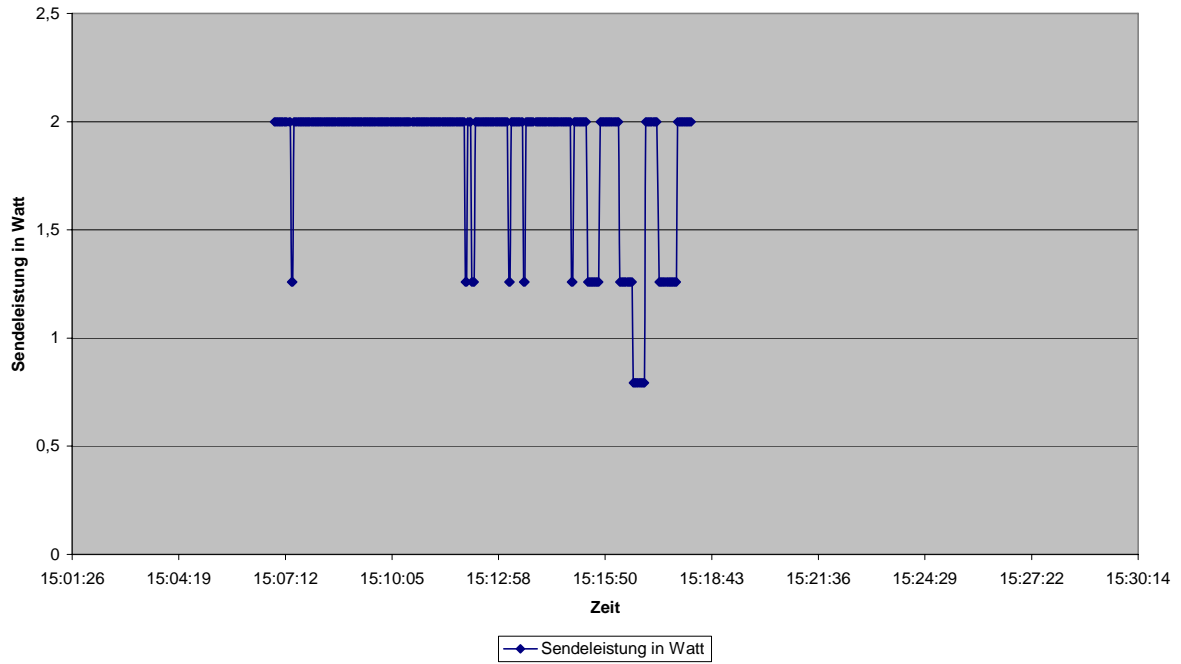


Abbildung 41

Monitor B, Log starting at 20060517150406(2.3.2.619R / NOKIA 6150 (2360/ 5.22) on FBUS / 493009102667487)

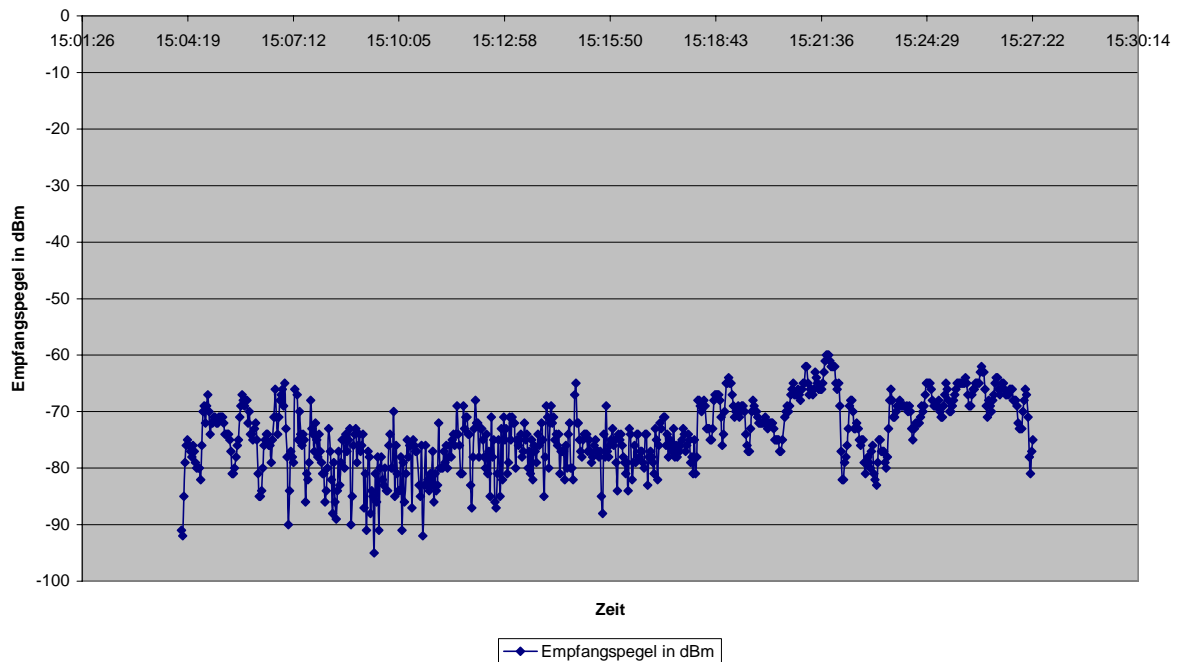


Abbildung 42

Monitor C, Log starting at 20060517150637(2.3.2.619R / NOKIA 8210 (2101/ 5.31) on FBUS / 350613108096450)

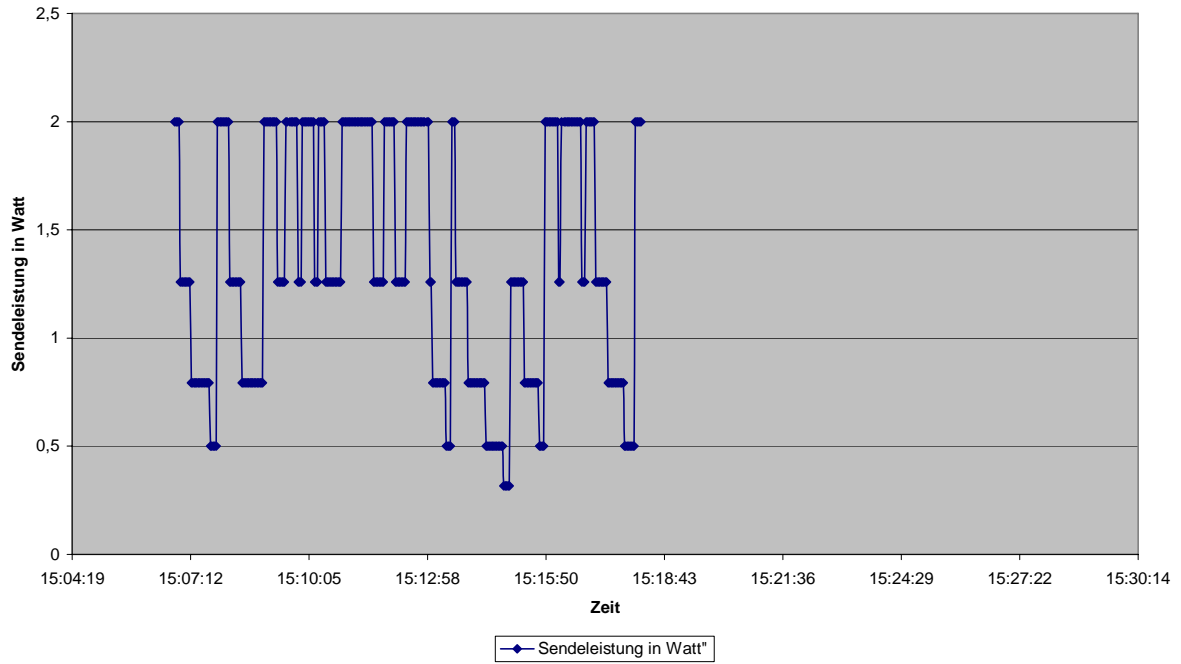


Abbildung 43

Monitor C, Log starting at 20060517150637(2.3.2.619R / NOKIA 8210 (2101/ 5.31) on FBUS / 350613108096450)

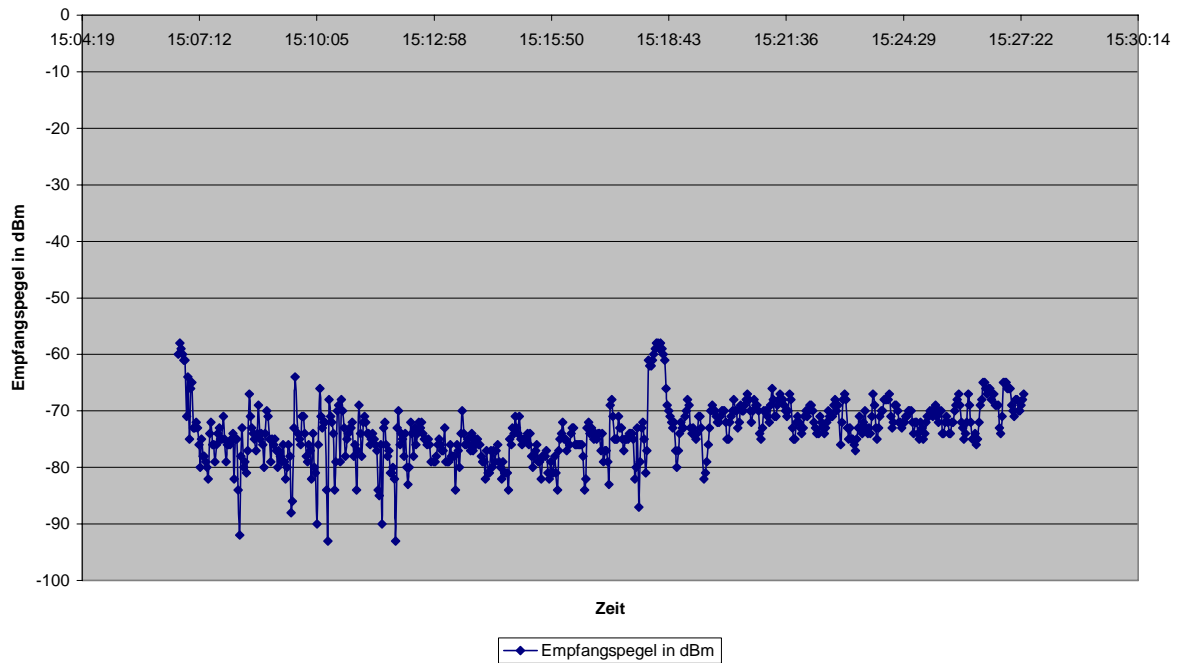


Abbildung 44

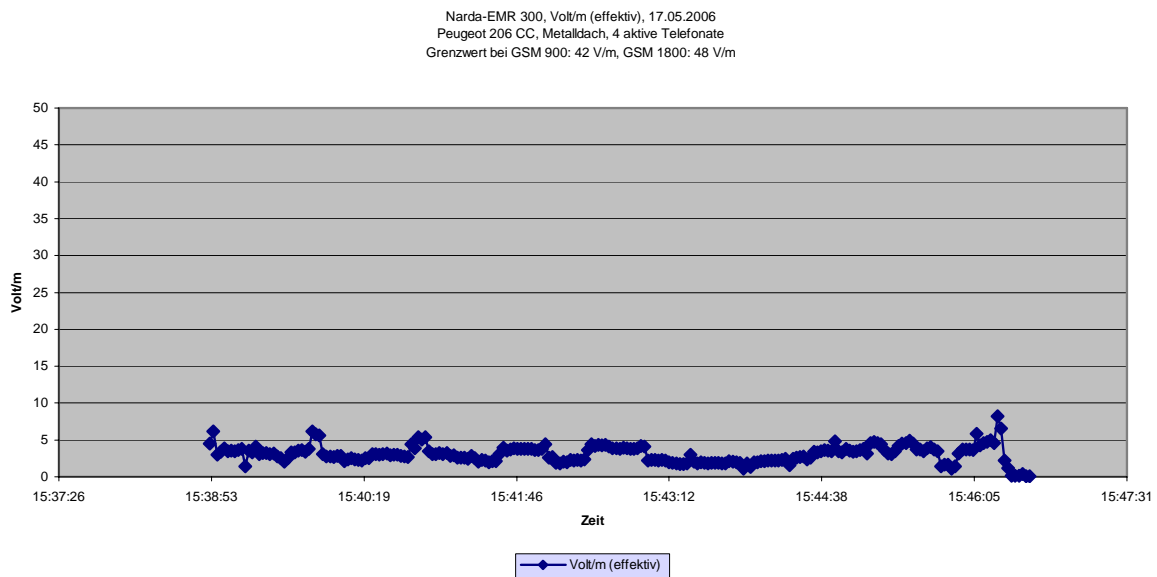


Abbildung 45

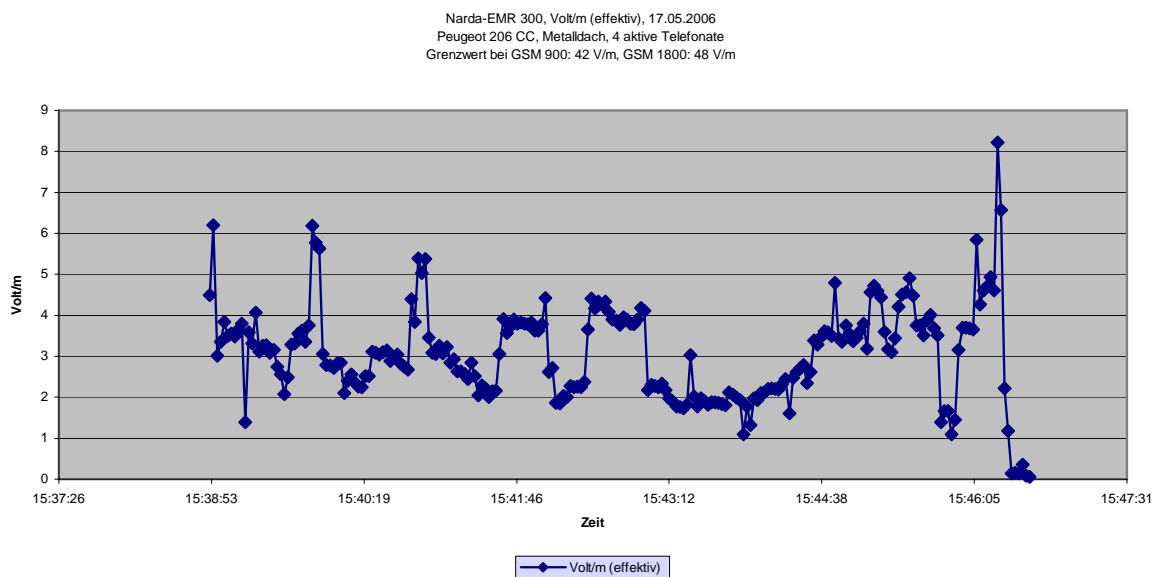


Abbildung 46

In **Abbildung 45** und **Abbildung 46** ist die E-Feldstärke bei vier gleichzeitig geführten Telefonaten aufgeführt. Hier telefoniert jede der beiden Personen gleichzeitig mit zwei Telefonen, eines am rechten und eines am linken Ohr.

Auch hier zeigt sich, dass der Grenzwert bei weitem nicht erreicht wird.

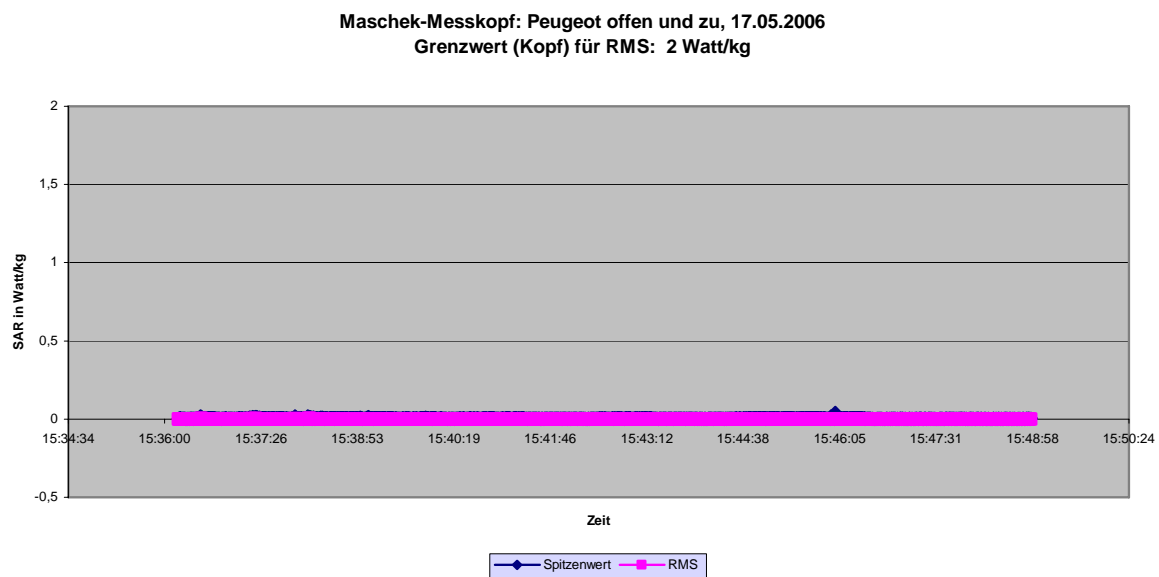


Abbildung 47

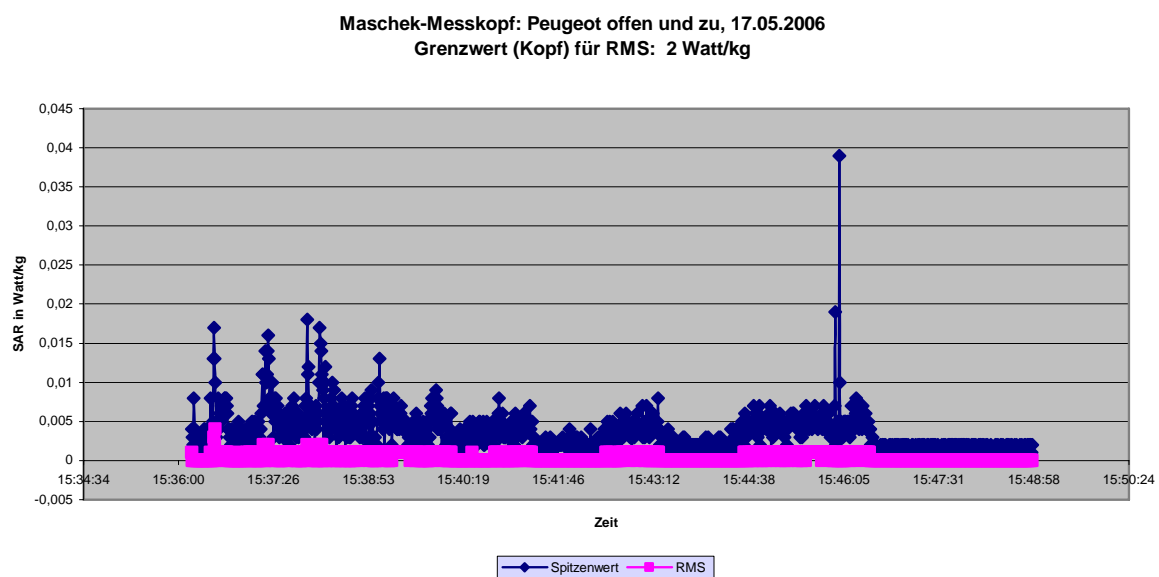


Abbildung 48

Die entsprechenden Daten des Maschek-Messkopfes sind in **Abbildung 47** und **Abbildung 48** dargestellt.

Die zugehörigen Sendeleistungs- und Empfangspegelwerte sind in den **Abbildung 49** und **Abbildung 50** für den Monitor A, in **Abbildung 51** und **Abbildung 52** für den Monitor B, **Abbildung 53** und **Abbildung 54** für Monitor C dargestellt. Die Mittelwerte der Sendeleistung sind verhältnismäßig hoch: 1,7 und 1,8 Watt. Dieser Mittelwert muss, um einen mittleren Sendeleistungspegel definieren zu können, noch um den Faktor 8 geteilt werden, da GSM-Telefone nur in jedem 8. Zeitschlitz senden, und die mittlere Leistung sich aus der maximalen Momentanleistung geteilt durch 8 herleitet.

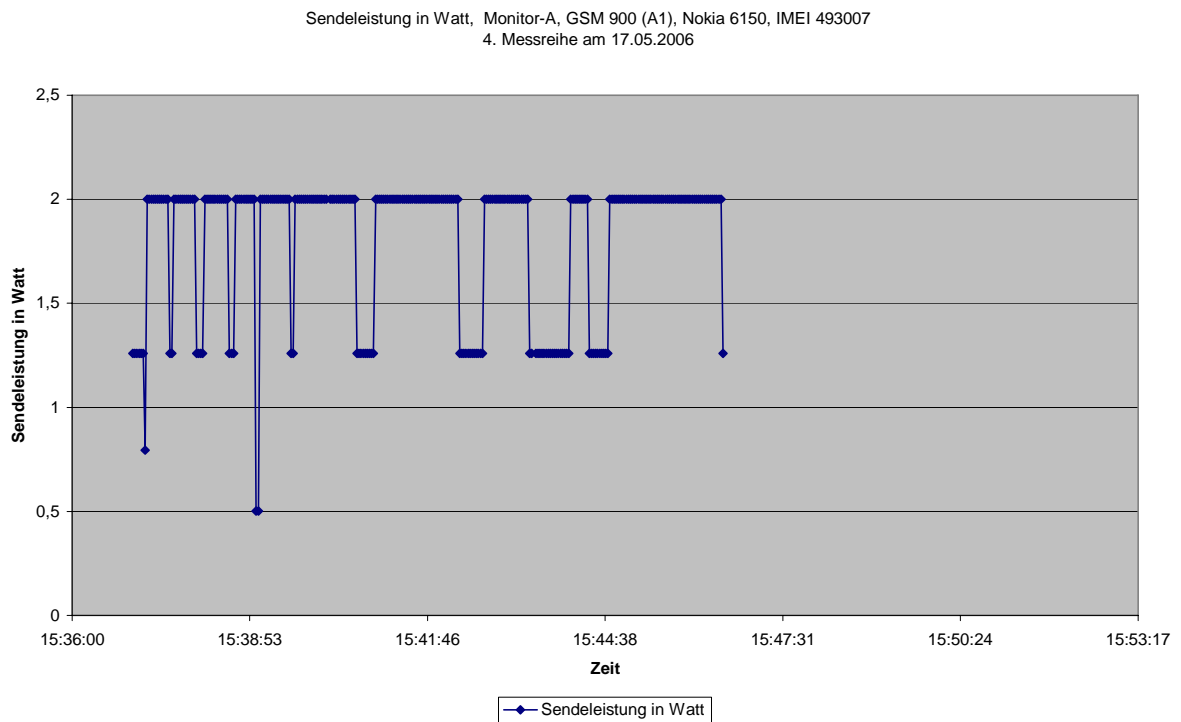


Abbildung 49
Mittelwert = 1,8

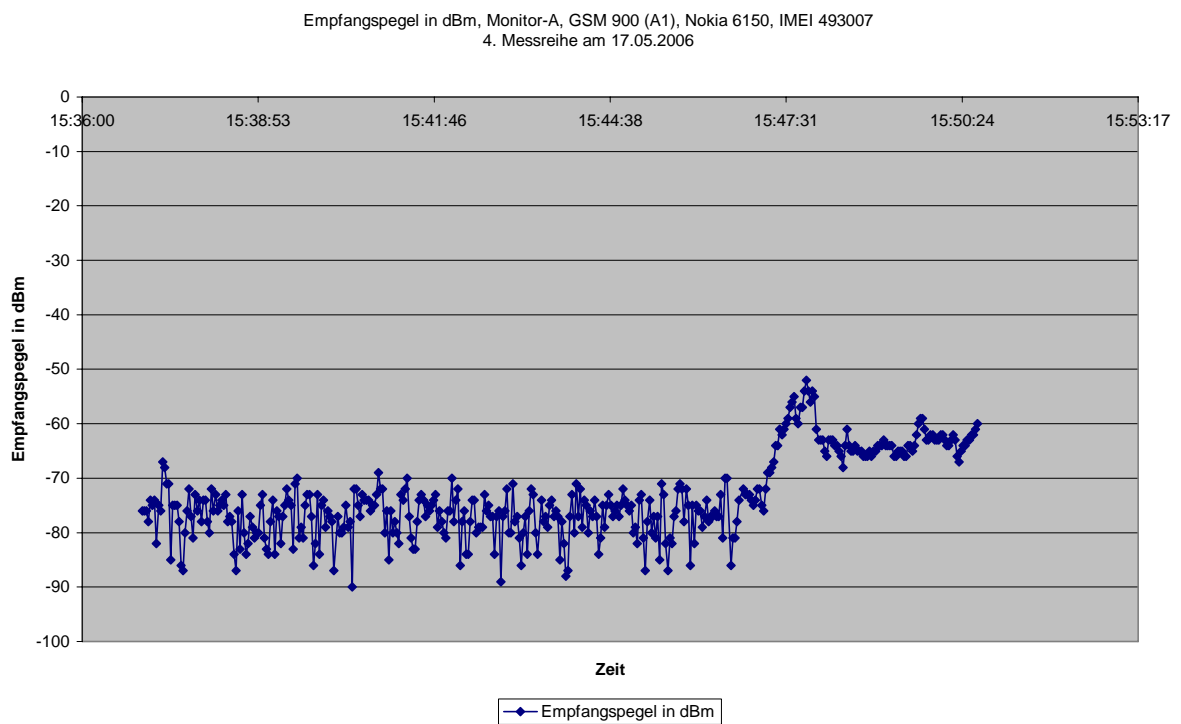


Abbildung 50
Mittelwert = -73

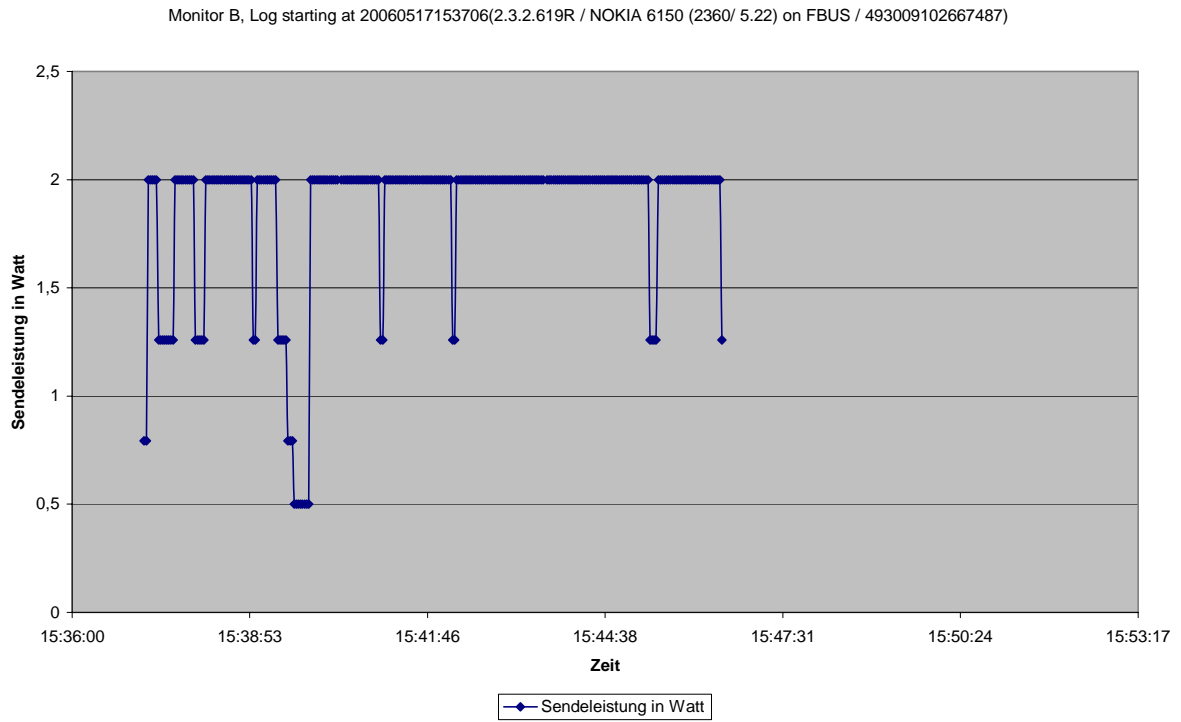


Abbildung 51
Mittelwert = 1,8

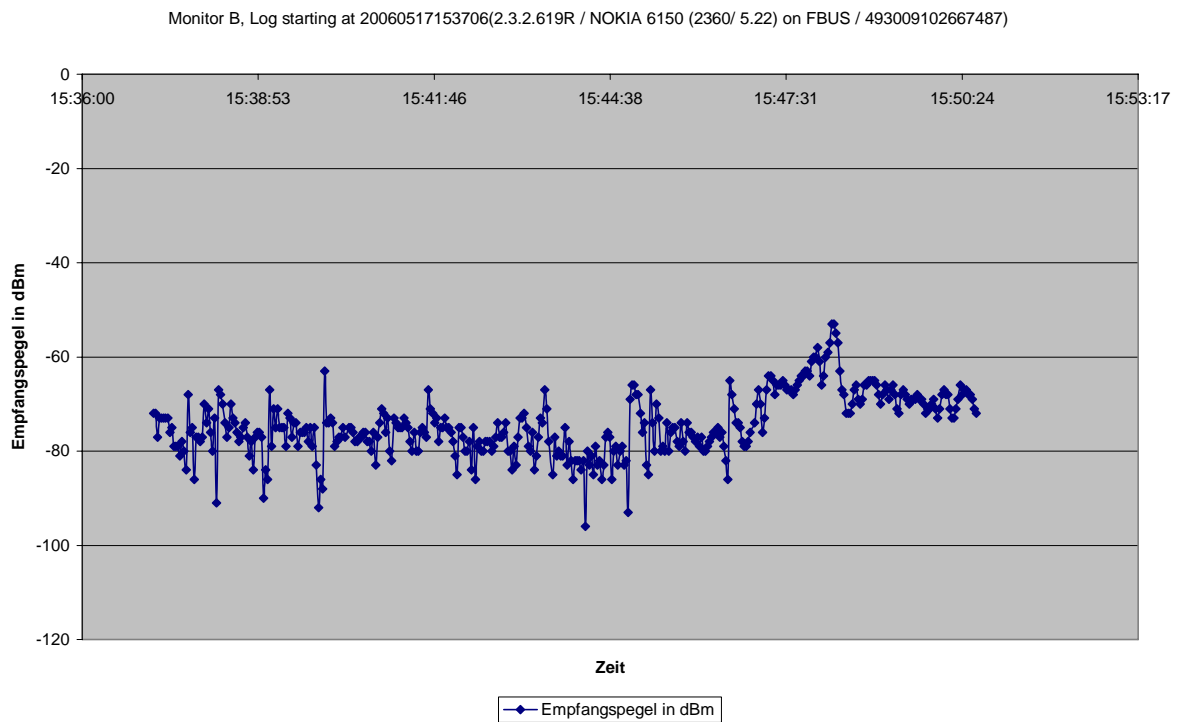


Abbildung 52
Mittelwert = -74

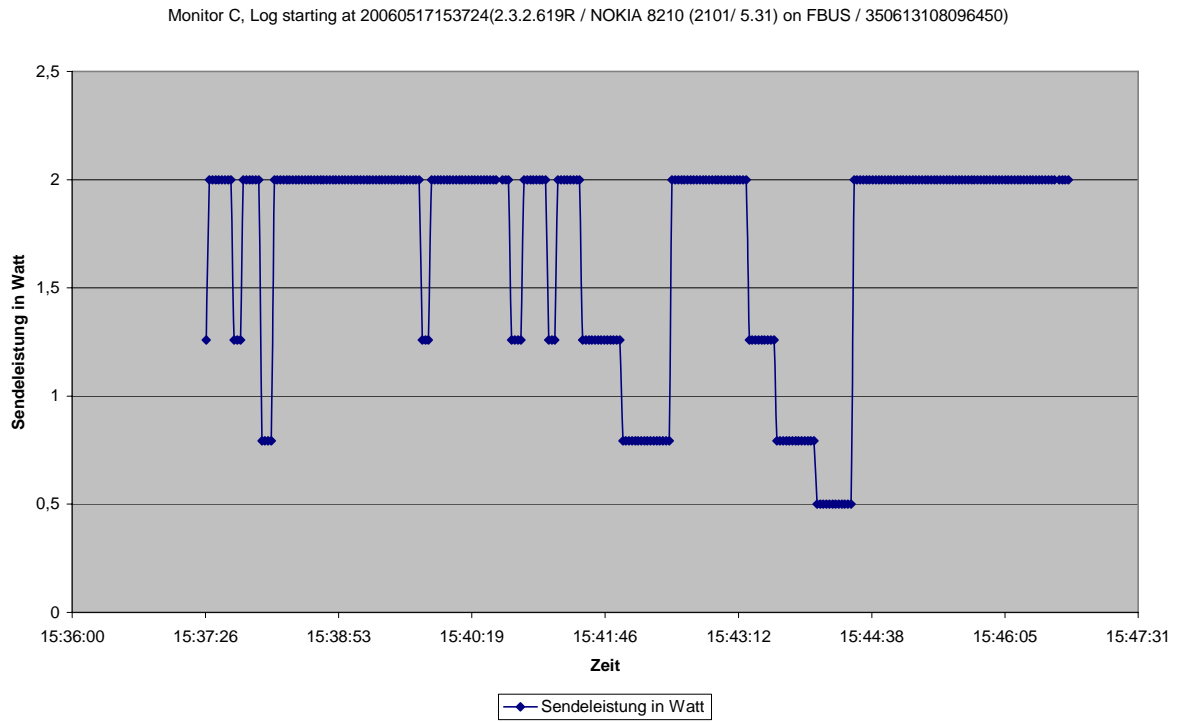


Abbildung 53
Mittelwert = 1,7

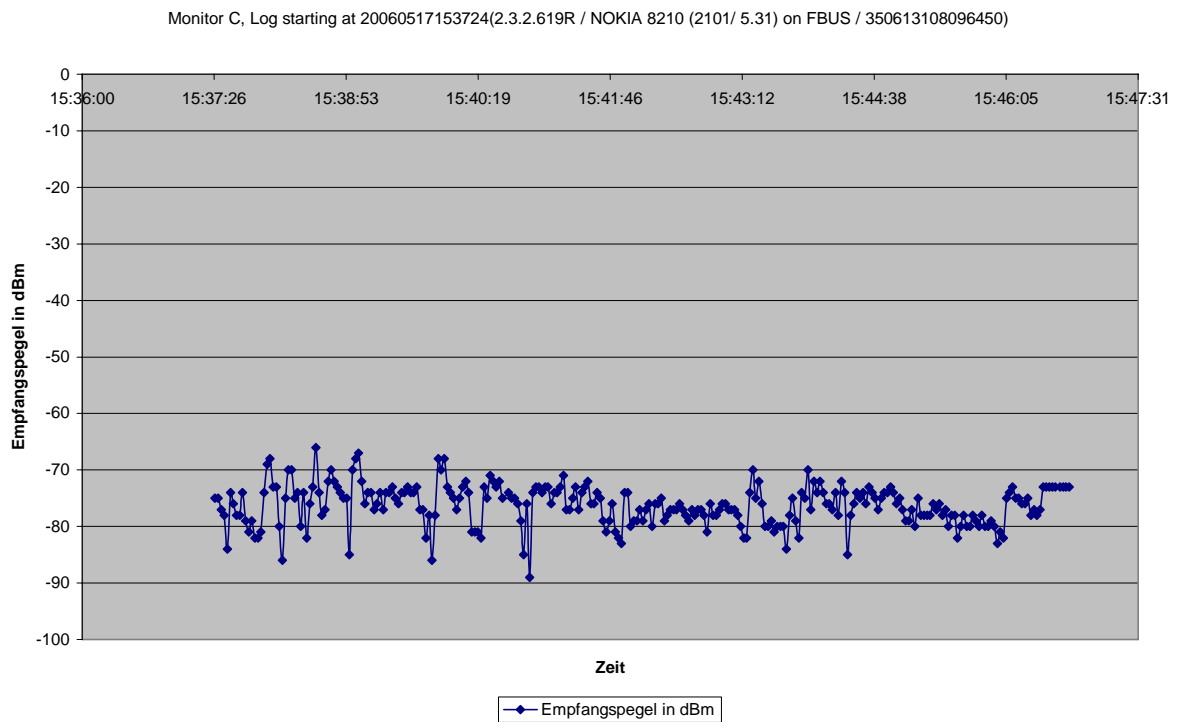


Abbildung 54
Mittelwert = -76

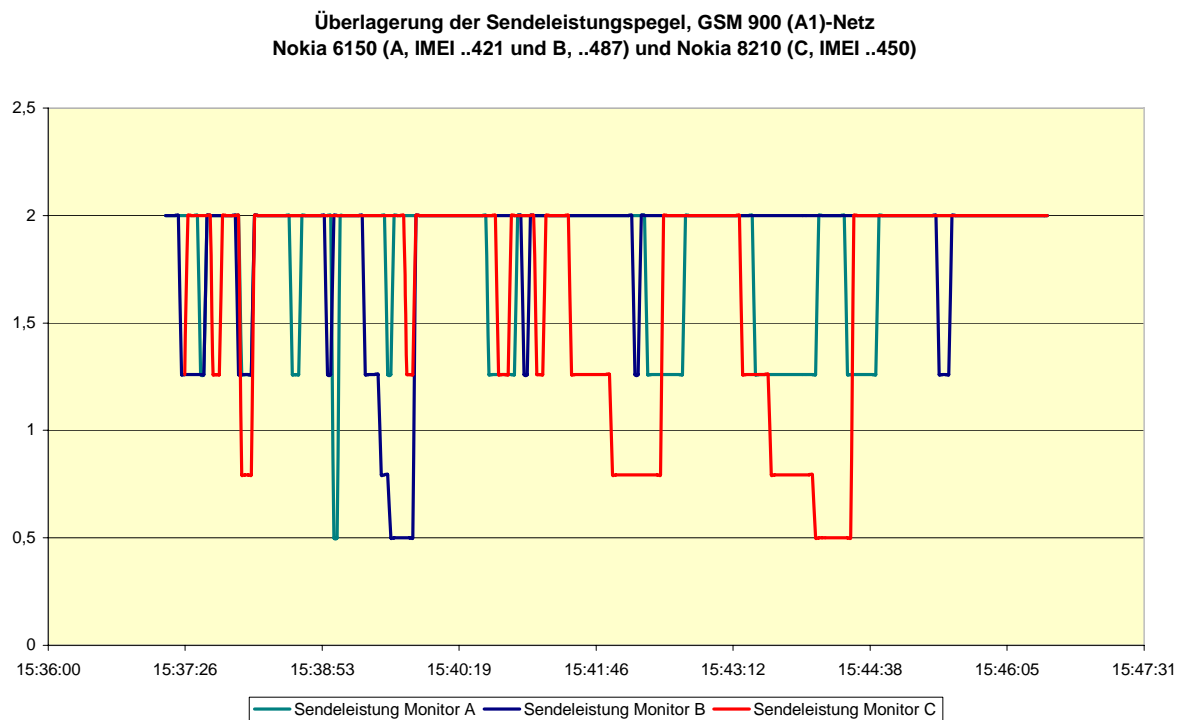
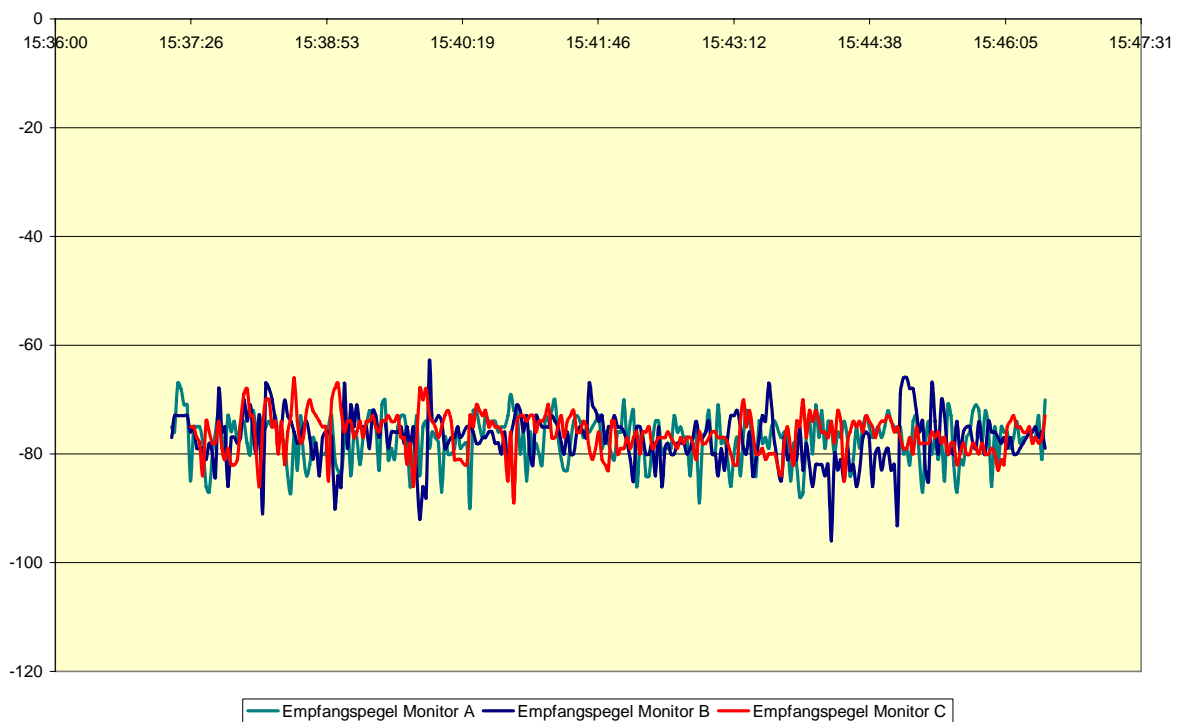
**Abbildung 55****Abbildung 56**

Abbildung 55 zeigt die Überlagerung der Sendeleistungspegel der Monitore A, B und C. Hieraus lässt sich erkennen, dass keine starke Gemeinsamkeit der Sendeleistungsregelung der drei Mobilfunkgeräte existiert.

Hingegen ist der Empfangspegel (**Abbildung 56**) der Handys ähnlich.

Monitor-D, GSM 1800 (One), Nokia 8210, IMEI 350601101480003, 17.05.2006

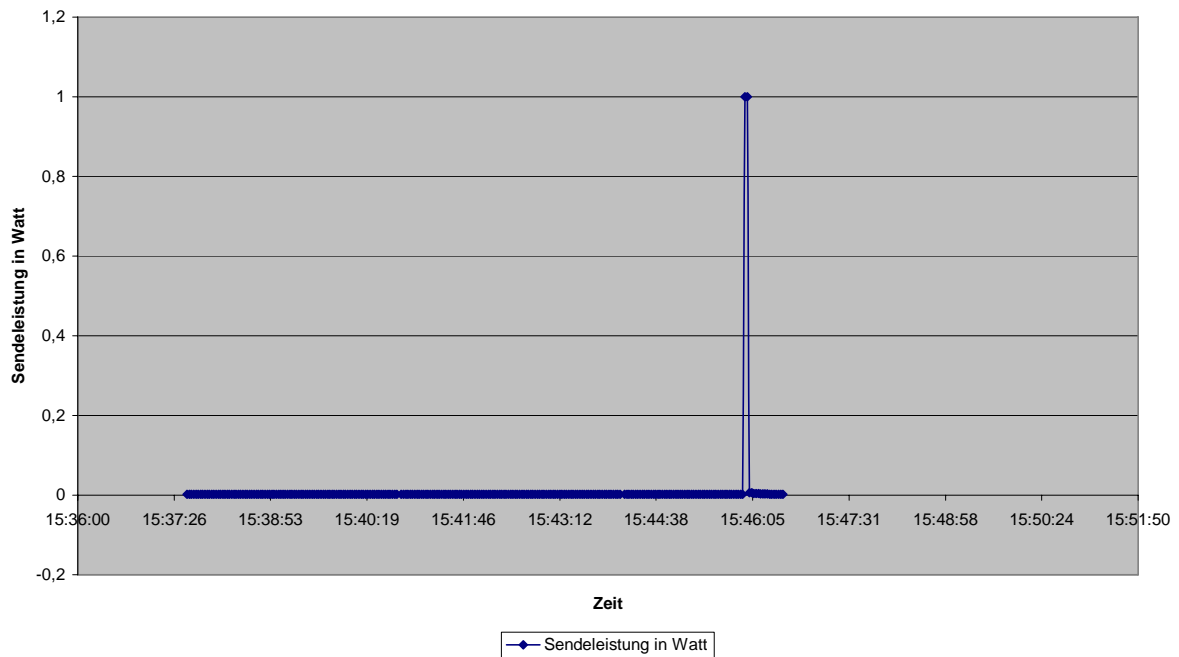


Abbildung 57
Mittelwert = 0,009

Monitor D, GSM 1800 (One), Nokia 8210, IMEI 350601101480003
17.05.2006, Peugeot offen und zu, Empfangspegel

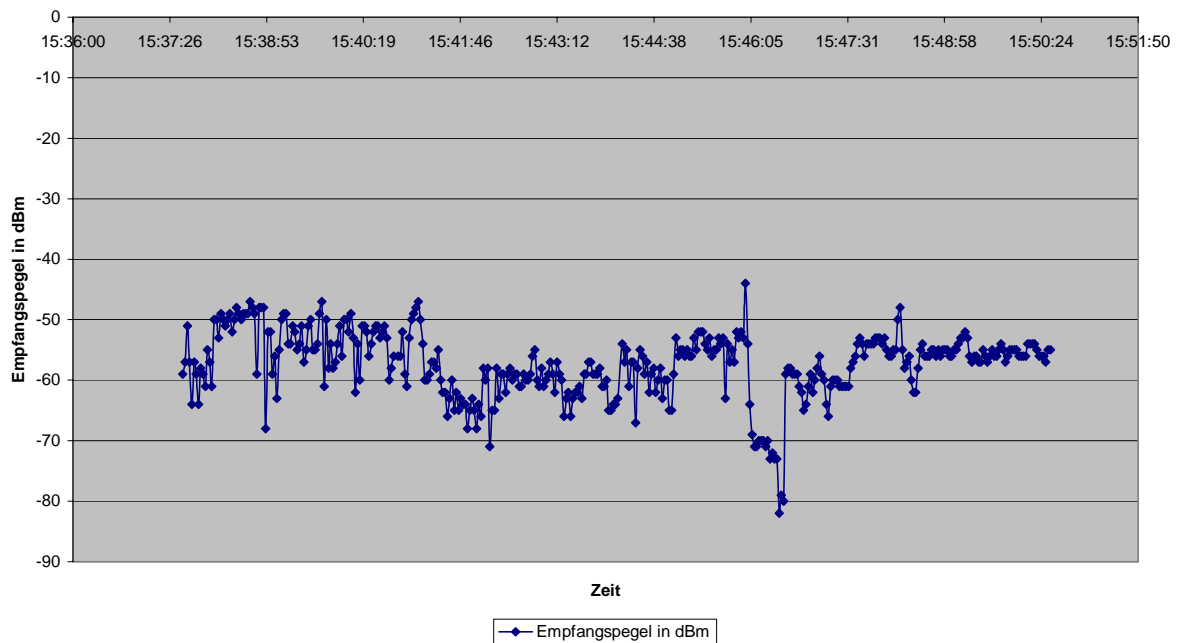


Abbildung 58
Mittelwert = -57

Abbildung 57 und Abbildung 58 betreffen den Monitor D, das hieran angeschlossene GSM 1800-Mobiltelefon, das im "One-Netz" eingebucht ist. Das Telefon im GSM 1800-Netz regelt während dieser Messungen stark herunter, so dass die Sendeleistung nahezu immer auf dem

geringsten Wert verharrte. Im Vergleich zu den mittleren Sendeleistungswerten in den GSM 900-Netzen beträgt die Sendeleistung bei GSM 1800 nur 1/200, d. h. 200 Telefone im GSM 1800-Netz würden in diesem Fall den gleichen Emissionsbeitrag leisten, wie ein GSM 900-Telefon. Dies kann sich jedoch an einem anderen Standort ganz anders darstellen, so dass die Aussage der Unterschiedlichkeit von GSM 900 und 1800 auf keinen Fall verallgemeinert werden kann.

Zur Erfüllung der vertraglichen Verpflichtung hätte eine einzige Messung mit dem Peugeot Cabrio gereicht. Da die Ergebnisse aber so interessant waren und da keine gravierenden Unterschiede zwischen dem offenen und dem geschlossenen Dachzustand festzustellen waren, wurden die Messungen 1 ½ Tage später noch einmal wiederholt.

9.2.2 Zweite Messreihe mit Peugeot Cabrio – Metaldach offen und geschlossen

Abbildung 59 zeigt den Peugeot Cabrio im geöffneten Zustand, die Sonde ist auf dem Beifahrersitz platziert. **Abbildung 60** zeigt den Schließvorgang. Der Schließvorgang erfolgt elektrisch nach Bedienung durch den Fahrer, das Metaldach klappt sich in verschiedenen Sektionen automatisch nach vorne und muss dann noch manuell verriegelt werden. **Abbildung 61** zeigt den geschlossenen Zustand, hier noch mit geöffneten Scheiben. Bei geschlossenen Scheiben ist keine richtige Videoaufnahme mehr möglich, daher wurden die Dokumentationsbilder mit offenen Scheiben aufgenommen, gemessen wurde jedoch mit geschlossenen Scheiben.



EMR-Mess-Sondenkopf

Abbildung 59



EMR-Mess-Sondenkopf

Abbildung 60



EMR-Mess-Sondenkopf

Abbildung 61

In **Abbildung 62** ist die Leistungsdichte in W/m^2 aufgetragen, der Grenzwert bei 900 MHz beträgt 4,5 Watt und bei 1800 MHz $9 W/m^2$.

Die drei verschiedenen Phasen *Metallcabriodach offen*, *Schließvorgang* und *Metallcabriodach geschlossen* sind in die Grafik einkopiert. In einem Maßstab, bei dem auch der Grenzwert zu erkennen ist, ist kaum ein Unterschied in dem elektrischen Feld bzw. in der daraus errechneten Leistungsdichte zu erkennen. Wird jedoch der Maßstab um den Faktor 100 vergrößert, sind Zacken in der mit dem Narda EMR gemessenen Leistungsdichte zu sehen. Die Unterschiede zwischen *Metalldach geschlossen* und *Metalldach offen* sind marginal. Gegen Ende der *Metalldach geschlossen-Phase* ab 10:22 ist die Feldstärke ganz gering. Dies liegt daran – dies ist an den Monitor Daten der Handys zu erkennen – dass ab dieser Zeit die Handys außer Betrieb waren. Es ist damit eine Leerlaufsituation erreicht und die durch EMR gemessene Leistungsdichte ist nahe 0.

In **Abbildung 64** und **Abbildung 65** sind für das 900 MHz-Netz die Sendeleistung und die Empfangsfeldstärke aufgetragen. Die Zeitachse für das *Metallcabriodach offen* und *Metallcabriodach geschlossen* ist in die Grafik eingefügt. Vielleicht ist der Regelvorgang in der Offenphase etwas stärker als in der geschlossenen Phase. Die Empfangsfeldstärke ändert sich jedoch nicht merkbar.

Interessant ist der Monitor C. Hieran ist das Nokia 8210 im GSM 1800-Netz angeschlossen. Wie auch bei der Messung 1 ½ Tage vorher regelt das GSM 1800-Netz sehr stark und schnell, direkt nach Einschalten regelt es von 1 Watt auf die Minimalwerte zwischen 1 mW und 3 mW herunter. Dieses Herunterregeln bleibt, auch nach Schließung des Daches.

Narda-EMR, Leistungsdichte, Fahrer rechtes Ohr, GSM 1800, Fahrer linkes Ohr GSM 900, mit und ohne Sprechen,
 Peugeot Metall Cabrio, 19.05.2006
 Grenzwert bei 900 MHz, Grenzwert bei 1800 MHz: 9 Watt/m²

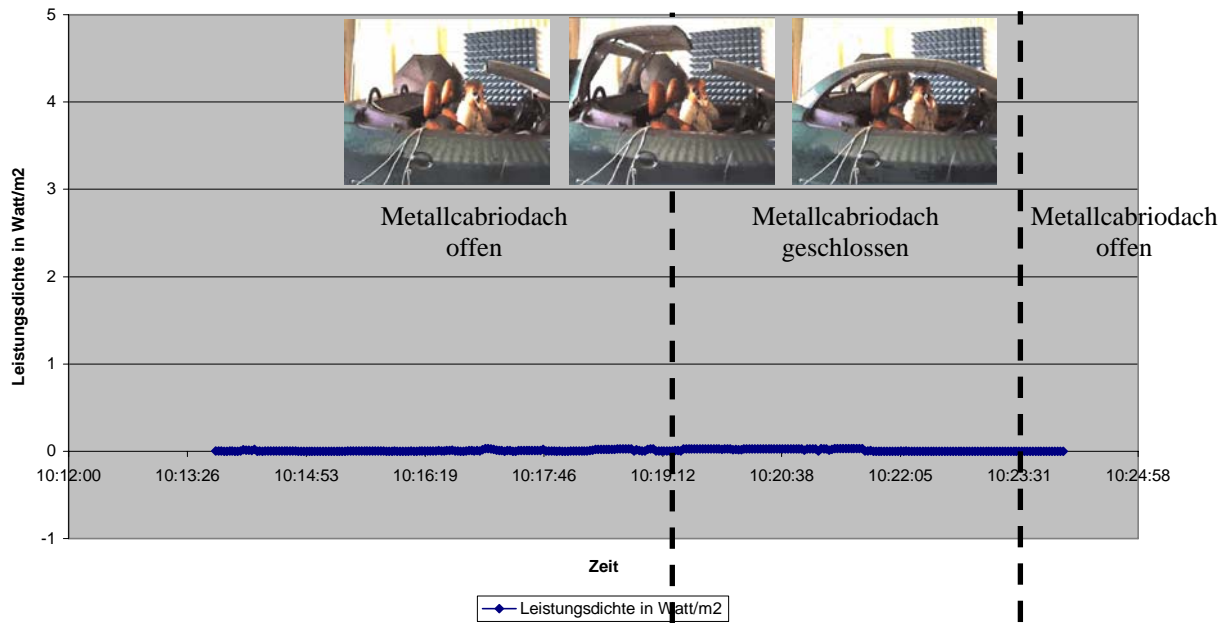


Abbildung 62

Narda-EMR, Leistungsdichte, Fahrer rechtes Ohr, GSM 1800, Fahrer linkes Ohr GSM 900, mit und ohne Sprechen,
 Peugeot Metall Cabrio, 19.05.2006

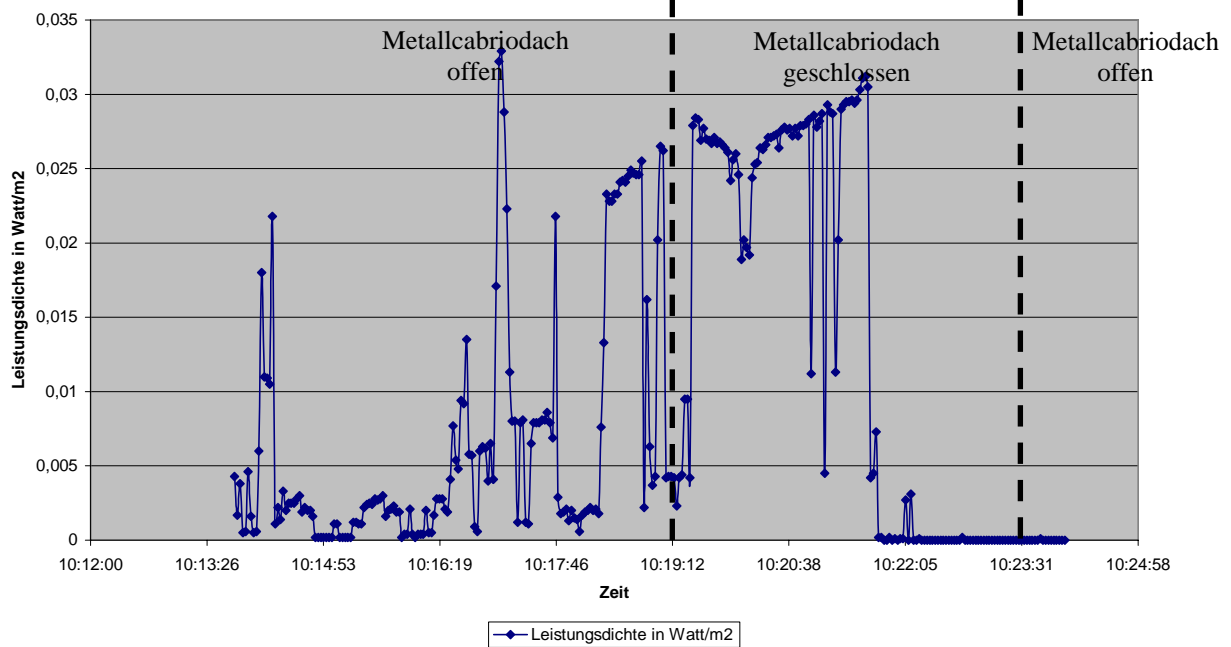


Abbildung 63 (in 150-facher Vergrößerung)

Monitor B, Log starting at 20060519095959(2.3.2.619R / NOKIA 6150 (2360/ 5.22) on FBUS / 493009102667487)

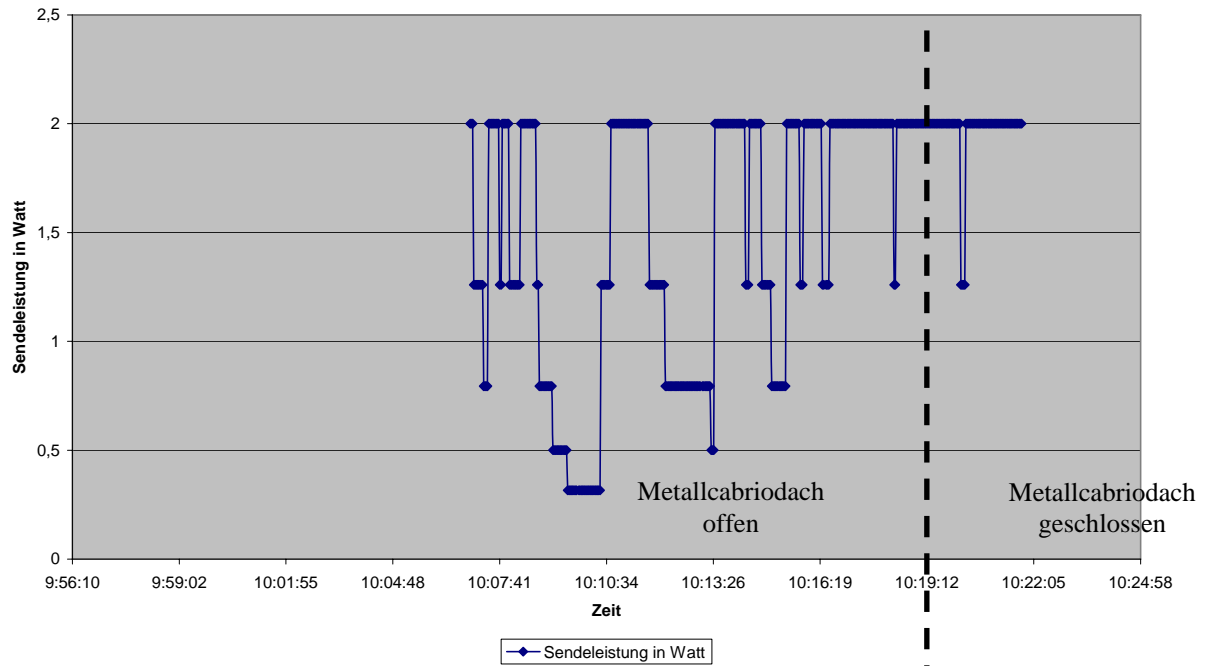


Abbildung 64

Monitor B, Log starting at 20060519095959(2.3.2.619R / NOKIA 6150 (2360/ 5.22) on FBUS / 493009102667487)

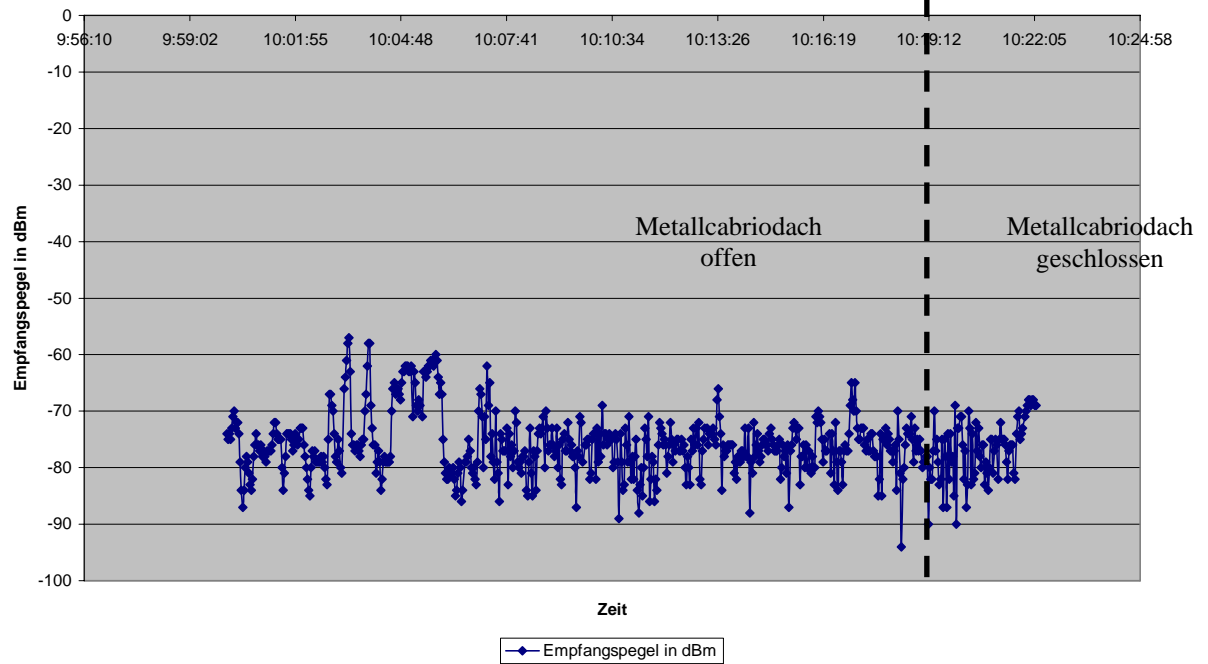


Abbildung 65

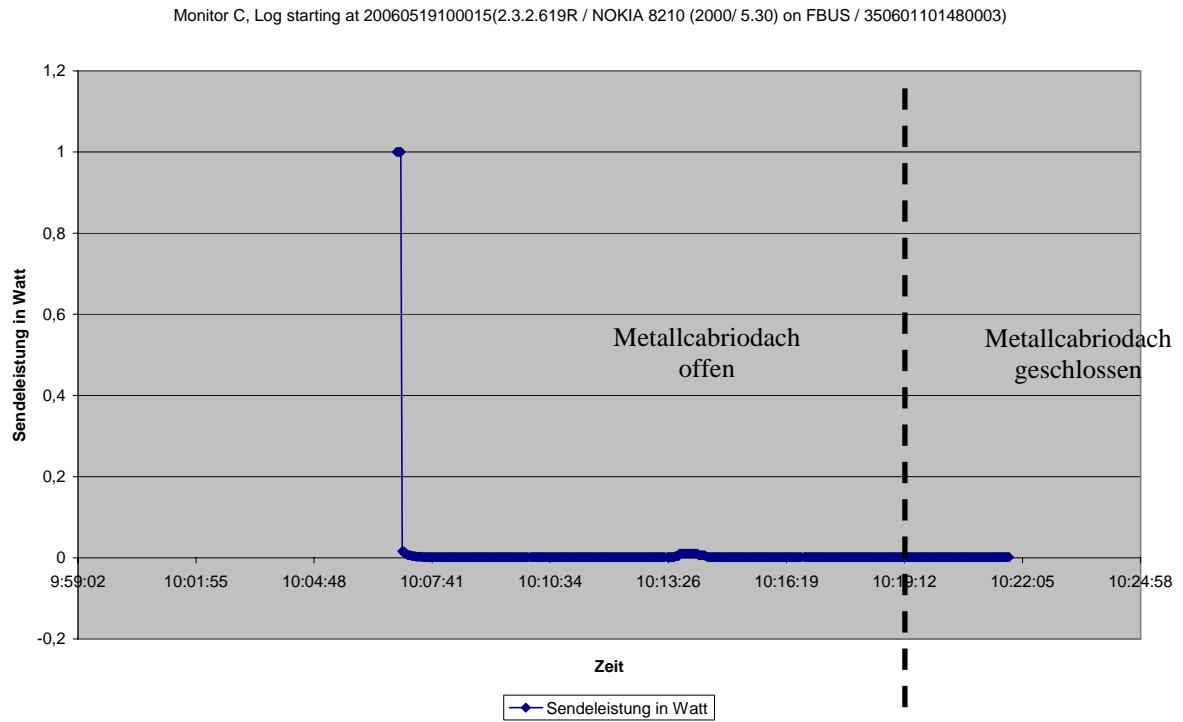


Abbildung 66

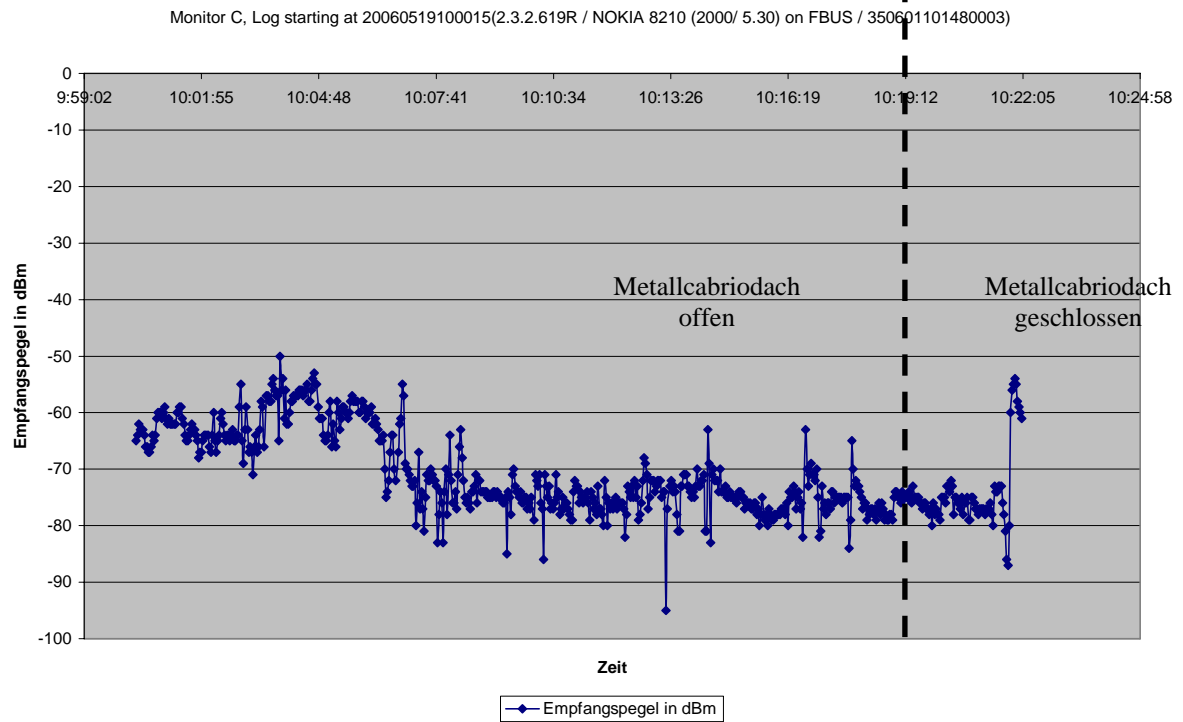


Abbildung 67

9.2.3 Dritte Messreihe mit Peugeot Cabrio – Metalldach offen und geschlossen

In **Abbildung 68**, **Abbildung 69** und **Abbildung 70** ist eine dritte Mess-Serie mit dem Peugeot Cabrio abgebildet. Hier ist der EMR-Mess-Sondenkopf nicht mehr auf der Höhe des Beifahrers, sondern zwischen Fahrer und Beifahrer nahezu in Kopfhöhe, so dass in diesen Messungen der Sondenkopf näher an den Emissionen des Handys ist. In **Abbildung 69** wird einmal kurz ein Nokia-Gerät an den Messkopf gehalten, dies ist nachher bei den EMR-Messungen in **Abbildung 71**, **Abbildung 72** und **Abbildung 73** auch zeitlich gut zu erkennen. **Abbildung 70** zeigt den geschlossenen Zustand vor Schließung der Fenster. Der Fahrer hält zwei Telefone, eines am rechten, das andere am linken Ohr. In **Abbildung 70** ist das eine Telefon eingeklemmt, da mit der anderen Hand anschließend die Fensterschließung bedient werden muss.

Abbildung 71 zeigt die Leistungsdichte in offenem und geschlossenem Dachzustand bei Verwendung sowohl eines GSM 900- und eines GSM 1800-Gerätes. Die Leistungsdichten sind in beiden Fällen vernachlässigbar gering, d. h. es spielt keine Rolle, ob das Fahrzeugdach offen oder geschlossen ist.

In **Abbildung 73** ist noch einmal das Bild für den Zeitpunkt einkopiert, bei dem das Handy an den Messkopf gehalten wird. Hierbei bildet sich dann eine Spitze im Diagramm. Dies wird bei den meisten Messungen gemacht, um die Funktionsfähigkeit der Feldsonde während der Messung festzustellen. Die hierbei genannten Werte sind selbstverständlich atypisch, da diese Nahfeldmessungen keine Aussagebedeutung haben.



Abbildung 68



Nokia 8210 am linken Ohr

Nokia 6150 als Test
direkt am Messkopf

Abbildung 69

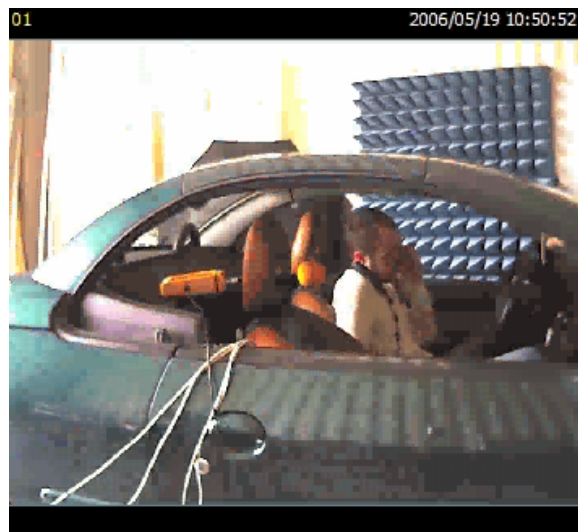


Abbildung 70

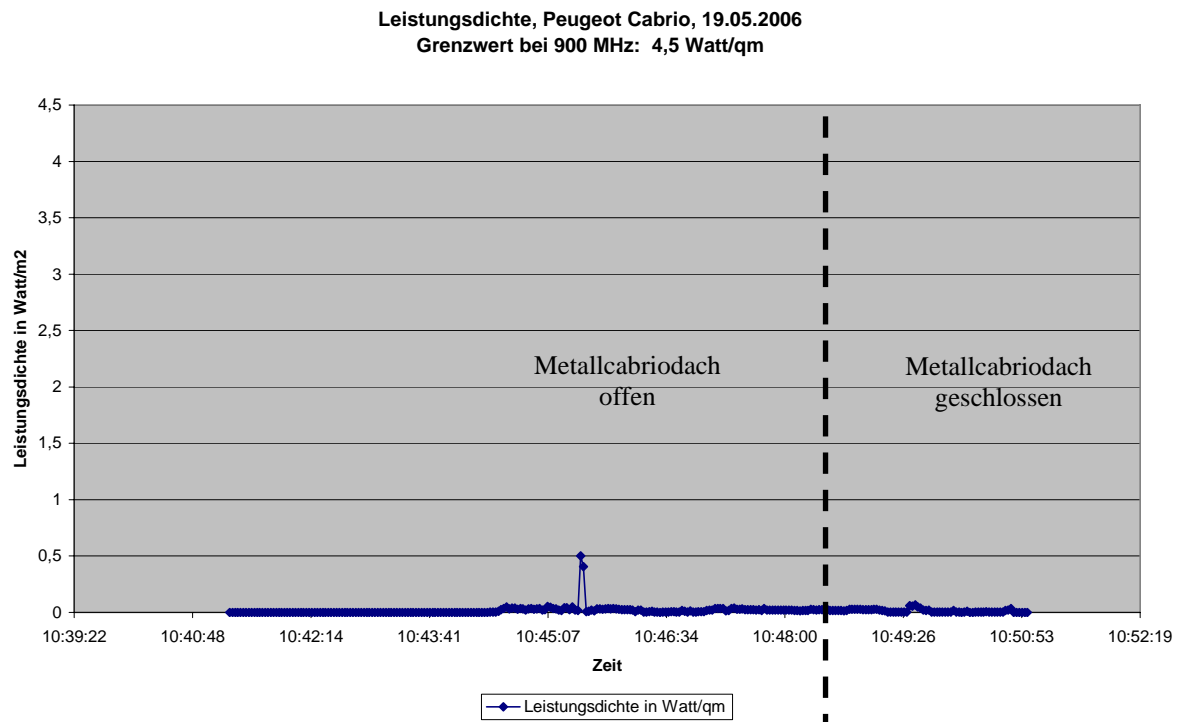


Abbildung 71

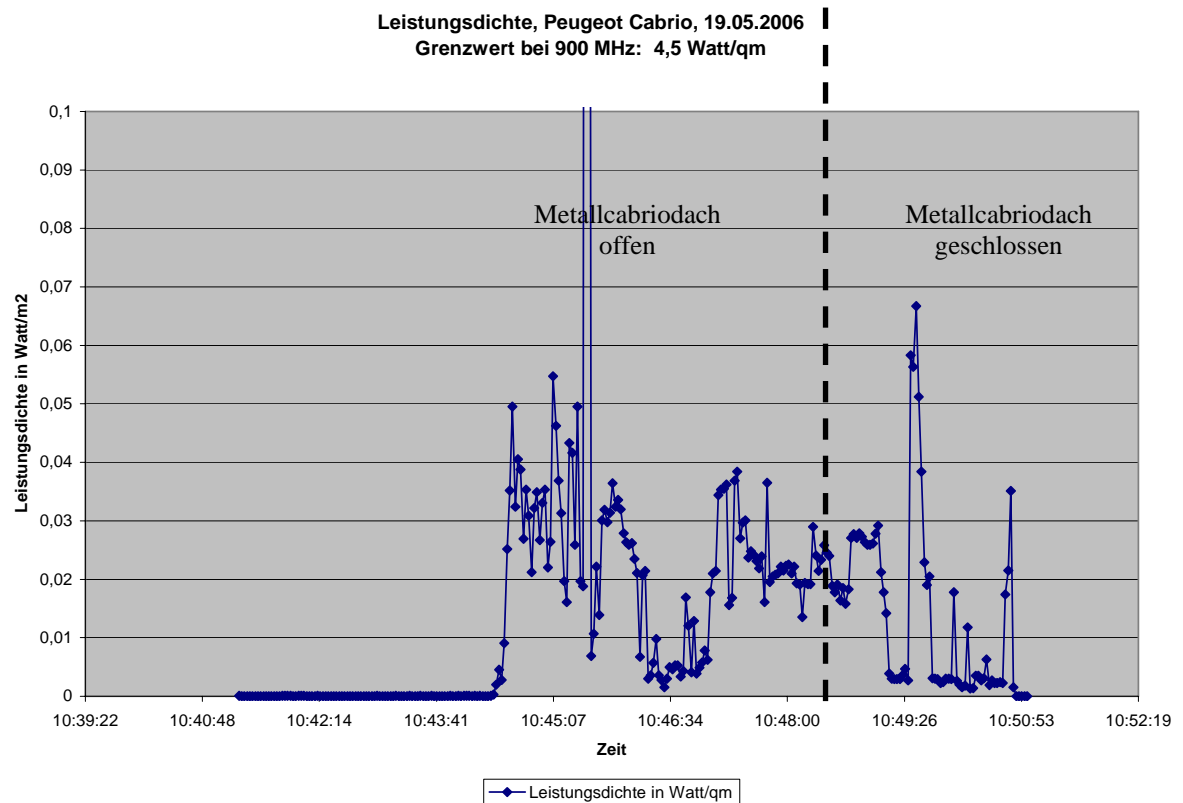


Abbildung 72 (in 45-facher Vergrößerung)



Leistungsdichte, Peugeot Cabrio, 19.05.2006
Grenzwert bei 900 MHz: 4,5 Watt/qm

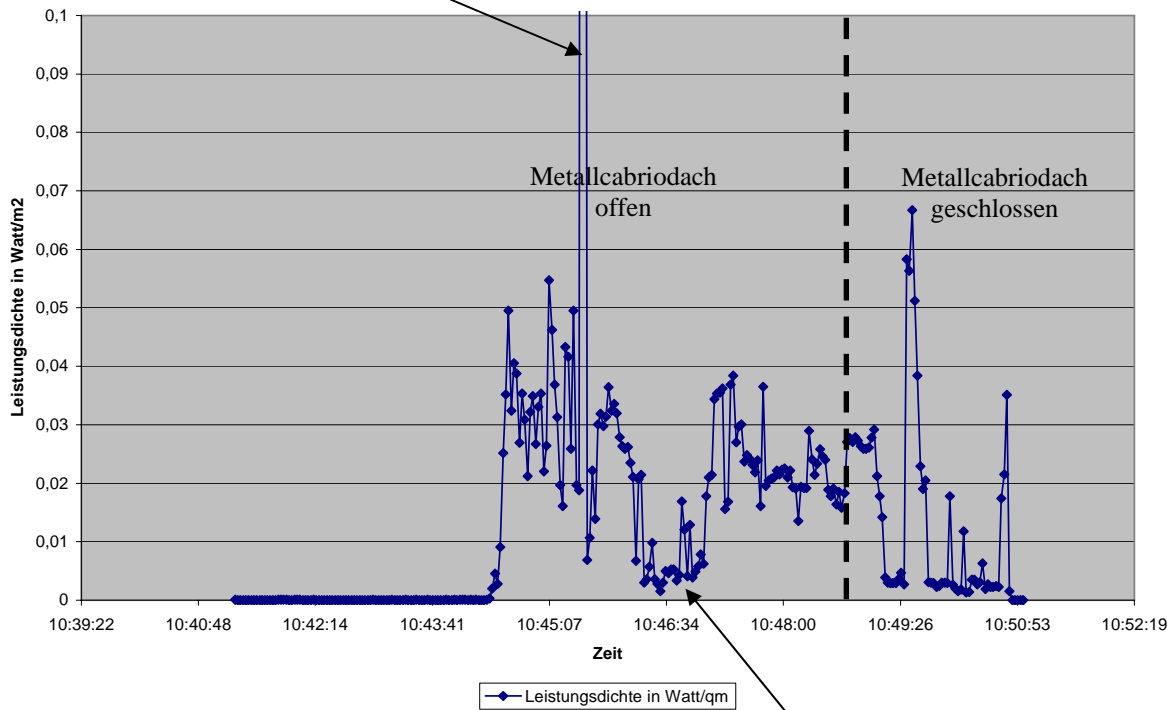


Abbildung 73

Kein Sprechen der Testperson, dadurch DTX-Modus aktiviert, d. h. reduzierte Emmission

START						
EMR-300 - H-0005 - V03,01	Probe: 18	type: E	Date: 05-19-2006			
Calibr Factor: 1,000	Unit: W/m*m	Max: OFF	Average: OFF			
Index	Time	x	y	z	Eff	
131	10:45:35,0	0,0023	0,0027	0,0019	0,0069	10:45:35
132	10:45:37,0	0,0036	0,005	0,0021	0,0107	10:45:37
133	10:45:39,0	0,0069	0,0075	0,0078	0,0222	10:45:39
134	10:45:41,0	0,0016	0,0071	0,0052	0,0139	10:45:41
135	10:45:43,0	0,0122	0,0102	0,0077	0,0301	10:45:43
136	10:45:45,0	0,0124	0,0116	0,0079	0,0319	10:45:45
137	10:45:47,0	0,0165	0,0074	0,0059	0,0298	10:45:47
138	10:45:49,0	0,0082	0,0197	0,0035	0,0314	10:45:49
139	10:45:51,0	0,0082	0,026	0,0022	0,0364	10:45:51
140	10:45:53,0	0,0094	0,0216	0,0014	0,0324	10:45:53
141	10:45:55,0	0,0081	0,0234	0,0021	0,0336	10:45:55
142	10:45:57,0	0,008	0,0221	0,0019	0,032	10:45:57
143	10:45:59,0	0,0078	0,0185	0,0016	0,0279	10:45:59
144	10:46:01,0	0,0069	0,0178	0,0016	0,0263	10:46:01
145	10:46:03,0	0,0065	0,0179	0,0015	0,0259	10:46:03
146	10:46:05,0	0,0063	0,0184	0,0015	0,0262	10:46:05
147	10:46:07,0	0,006	0,0163	0,0012	0,0235	10:46:07
148	10:46:09,0	0,0057	0,0143	0,0011	0,0211	10:46:09
149	10:46:11,0	0,0021	0,0042	0,0004	0,0067	10:46:11
150	10:46:13,0	0,0054	0,0141	0,0012	0,0207	10:46:13
151	10:46:15,0	0,0056	0,0143	0,0015	0,0214	10:46:15
152	10:46:17,0	0,0008	0,002	0,0002	0,003	10:46:17
153	10:46:19,0	0,001	0,0023	0,0003	0,0036	10:46:19
154	10:46:21,0	0,0015	0,0033	0,0009	0,0057	10:46:21
155	10:46:23,0	0,0037	0,0053	0,0008	0,0098	10:46:23
156	10:46:25,0	0,0012	0,002	0,0004	0,0036	10:46:25
157	10:46:27,0	0,0009	0,0016	0,0003	0,0028	10:46:27
158	10:46:29,0	0,0005	0,0008	0,0002	0,0015	10:46:29
159	10:46:31,0	0,001	0,0017	0,0003	0,003	10:46:31
160	10:46:33,0	0,0014	0,0029	0,0007	0,005	10:46:33
161	10:46:35,0	0,0013	0,0026	0,0007	0,0046	10:46:35
162	10:46:37,0	0,0017	0,003	0,0006	0,0053	10:46:37
163	10:46:39,0	0,0017	0,003	0,0006	0,0053	10:46:39
164	10:46:41,0	0,0009	0,002	0,0005	0,0034	10:46:41
165	10:46:43,0	0,0012	0,0025	0,0006	0,0043	10:46:43
166	10:46:45,0	0,0049	0,0099	0,0021	0,0169	10:46:45
167	10:46:47,0	0,0034	0,0071	0,0016	0,0121	10:46:47
168	10:46:49,0	0,0011	0,0024	0,0006	0,0041	10:46:49
169	10:46:51,0	0,0036	0,0075	0,0018	0,0129	10:46:51
170	10:46:53,0	0,0011	0,0023	0,0005	0,0039	10:46:53
171	10:46:55,0	0,0014	0,0029	0,0006	0,0049	10:46:55
172	10:46:57,0	0,0017	0,0034	0,0007	0,0058	10:46:57
173	10:46:59,0	0,0022	0,0046	0,001	0,0078	10:46:59

Tabelle 17

In **Abbildung 74** und **Abbildung 75** sind die Sendeleistungsdaten der beiden verwendeten Mobiltelefone aufgetragen. Es wurden in diesem Fall zwei unterschiedliche Geräte, einmal ein Nokia 8210 (das kleine Handy) und ein Nokia 6150 (ein größeres Handy) verwendet.

Bei dieser zweiten Messreihe waren beide Handys im GSM 900 MHz-Netz eingebucht. Der Grund, beide Handys in dieser Messreihe im 900 MHz-Netz zu verwenden, war der, dass die vorausgegangenen Messungen gezeigt haben, dass das Regelverhalten bei GSM 1800 sehr ausgeprägt ist und das Mobilfunkgerät bei GSM 1800 an dieser Örtlichkeit nahezu nur zwischen 1 mW und 3 mW schwankt, so dass ein GSM 1800-Handy keinen Beitrag zu Reflexionen leisten könnte.

Mit den beiden an dieser Örtlichkeit stark sendenden GSM 900 MHz-Handys wurden die Messungen, deren Leistungsdichte in **Abbildung 71** dargestellt wurde, durchgeführt.

Selbst unter diesen schlechten „Rahmenbedingungen“, d. h. stark sendende Mobiltelefone, ist keine Leistungsdichteerhöhung, weder mit offenem noch mit geschlossenem Metaldach, festzustellen.

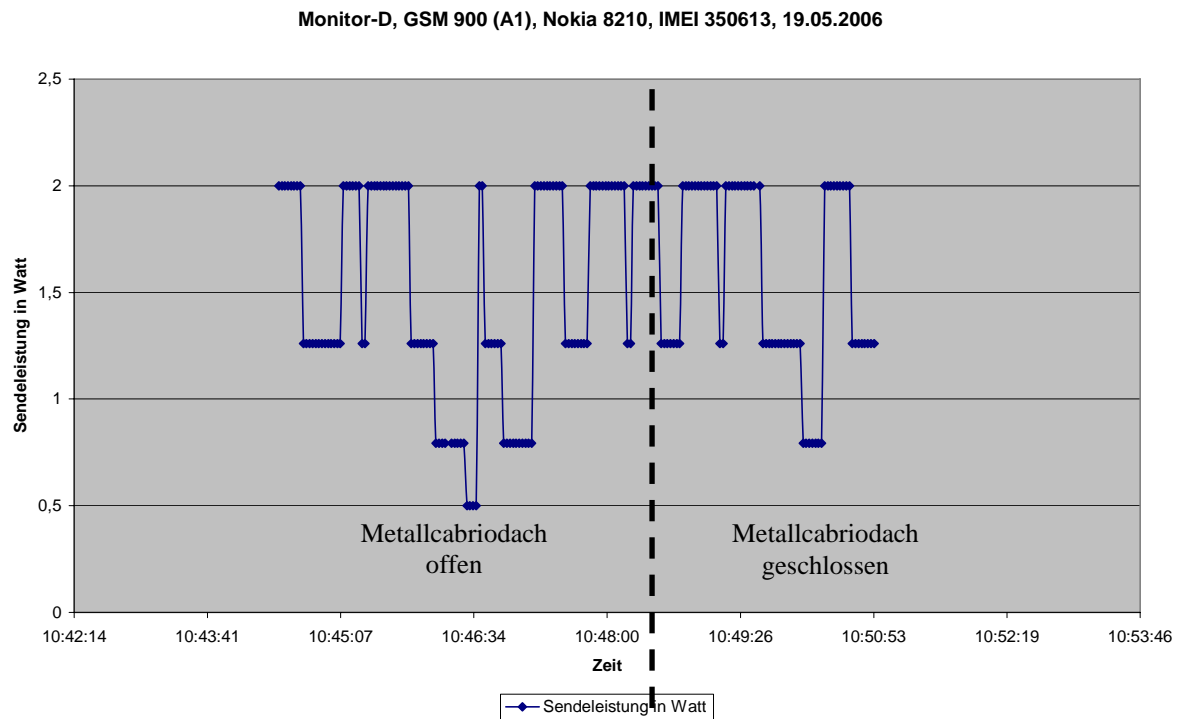


Abbildung 74

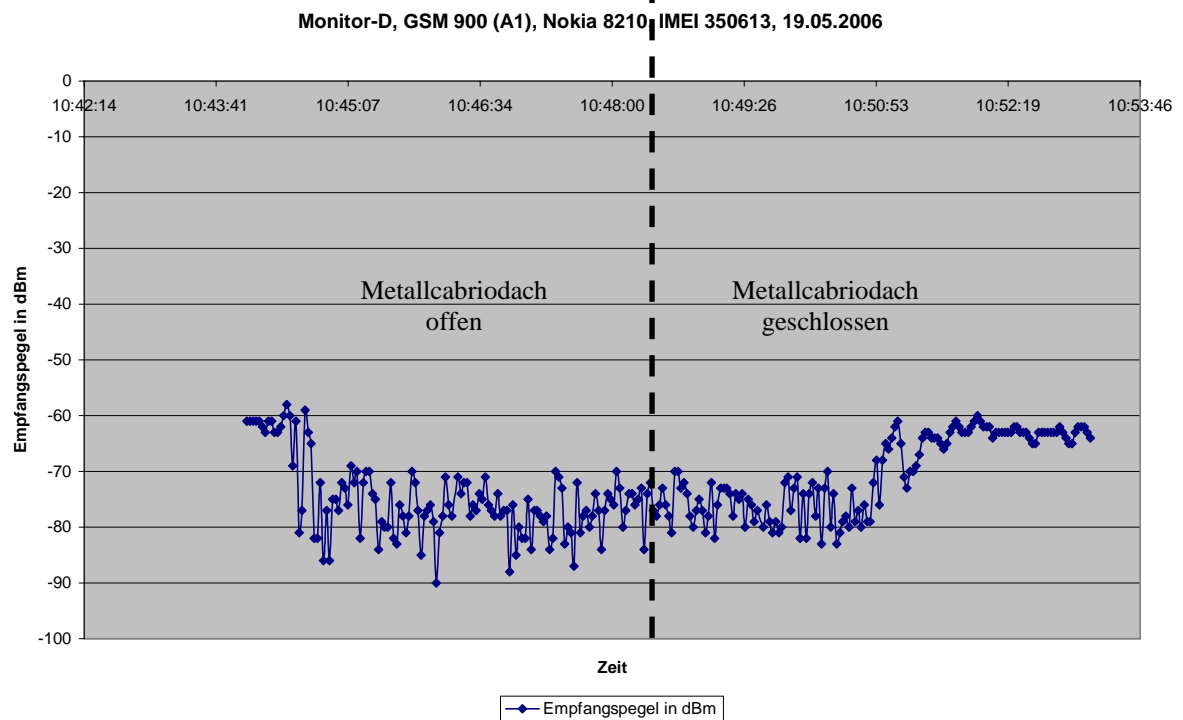


Abbildung 75

Monitor B, Log starting at 20060519095959(2.3.2.619R / NOKIA 6150 (2360/ 5.22) on FBUS / 493009102667487)

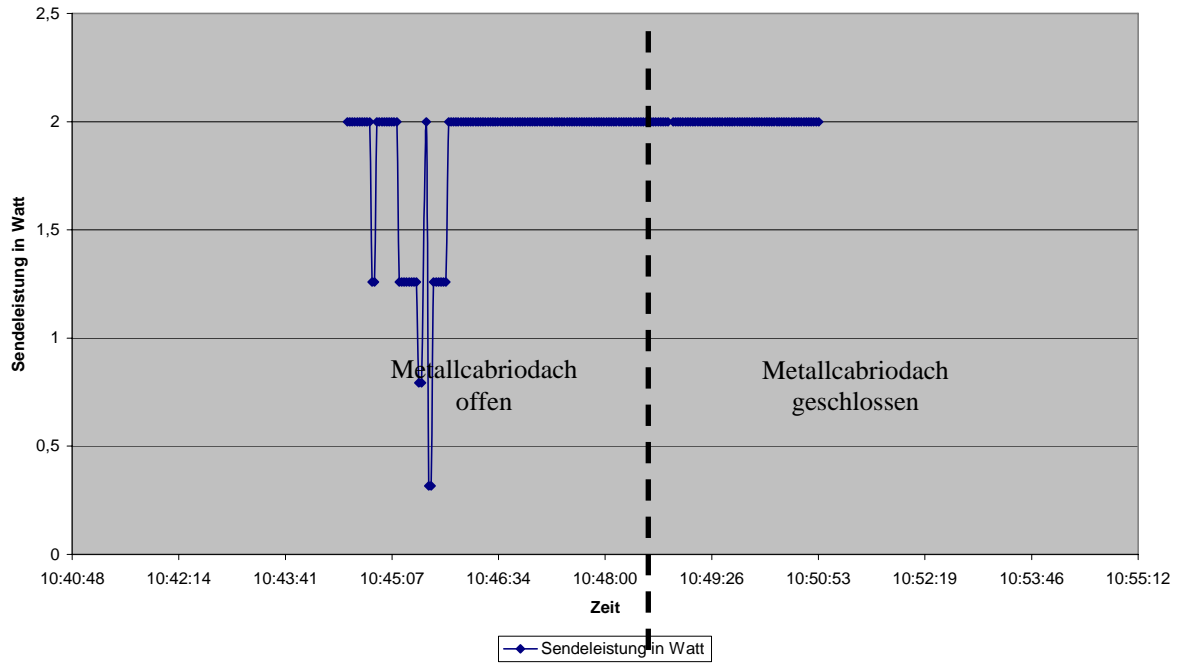


Abbildung 76

Monitor B, Log starting at 20060519095959(2.3.2.619R / NOKIA 6150 (2360/ 5.22) on FBUS / 493009102667487)

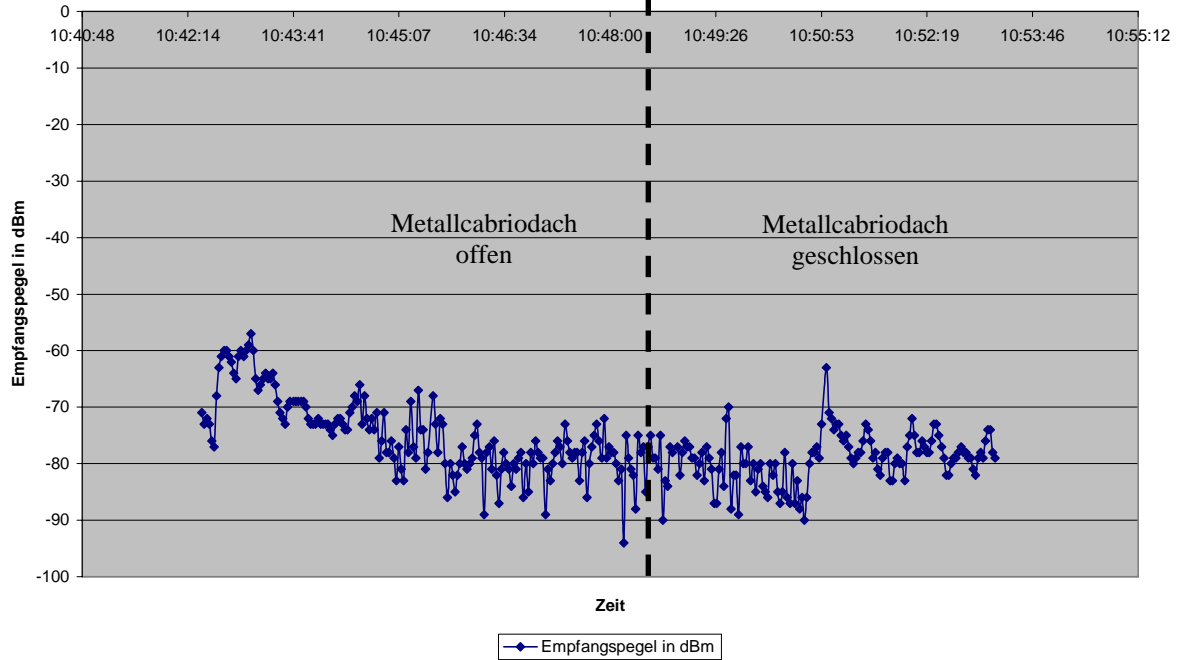


Abbildung 77

9.3 Mess-Szenario Großraumlimousine VW Touran



Abbildung 78

Abbildung 78 zeigt die E-Feld-Mess-Sonde in dem mit vier Personen besetzten Fahrzeug. Die Sonde wurde von einer Person, die auch gleichzeitig telefoniert, im Fahrzeug bewegt, wobei darauf geachtet wurde, dass der Sondenkopf keinen direkten Kontakt zu den telefonierenden Mobilfunkendgeräten bekommt, jedoch ließ es sich nicht vermeiden, dass sich der Abstand zu den Mobiltelefonen während der Bewegungen veränderte.

Abbildung 79 und Abbildung 80 (gleiche Messwerte, jedoch Darstellung in 50-facher Vergrößerung) zeigen die elektrische Feldstärke, gemessen mit dem Narda EMR-Messgerät. Der Grenzwert liegt für 900 MHz bei 45 Volt/m.

Es handelt sich um eine Leerlaufsituation ohne Handys. Diese Messung ist vor einer Messung mit Endgeräten erforderlich, um die späteren Messungen qualitativ bewerten zu können. Die Feldstärke ist erwartungsgemäß sehr gering.

Abbildung 81 und Abbildung 82 zeigen den Feldstärkeverlauf während der Sprechphase. Die Feldstärkewerte, die hier auftreten, betragen maximal 10 Volt/m, d. h. auch hier ist bei vier telefonierenden Endgeräten die Feldstärke weit unterhalb des Grenzwertes.

Die Spitzenwerte treten an den Stellen auf, an denen das Messgerät in die Nähe der telefonierenden Endgeräte kommt. Dass bei Mobiltelefonen in der Nähe der Sendeantennen höhere Feldstärkewerte auftreten, ist selbstverständlich. Ein Mobiltelefon zeichnet sich dadurch aus, dass es im Wirkbetrieb elektromagnetische Emissionen aussendet, würde es keine Emissionen aussenden, wäre keine drahtlose Nachrichtenübermittlung möglich.

Die Tabelle 18 zeigt einen Ausschnitt aus der EMR-Datentabelle.

Narda-EMR 300, Volt/m (effektiv), 17.05.2006
 VW Touran (kleinerer Familien-Großraumvan), Leerlauf ohne Handys

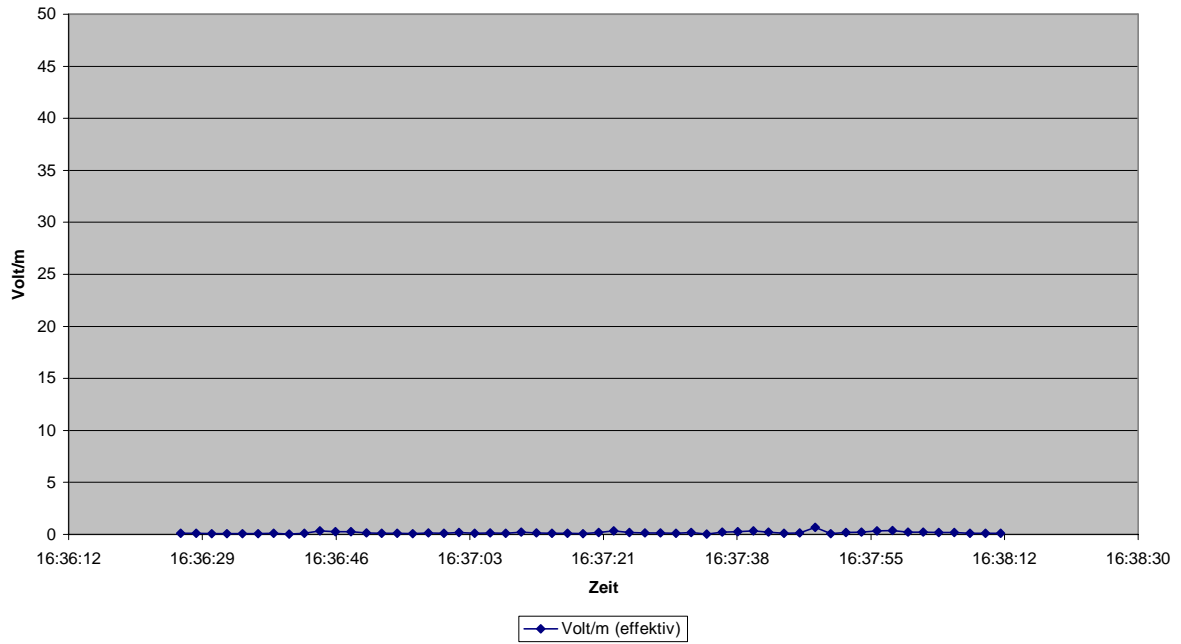


Abbildung 79

Narda-EMR 300, Volt/m (effektiv), 17.05.2006
 VW Touran (kleinerer Familien-Großraumvan), Leerlauf ohne Handys

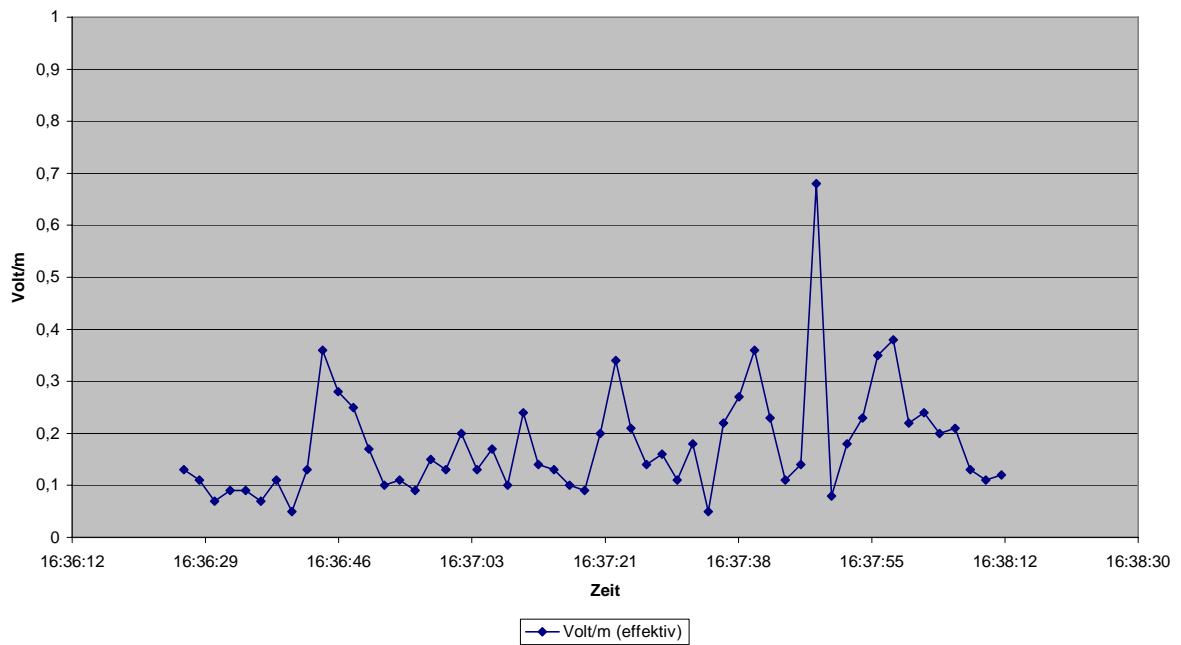


Abbildung 80

Narda-EMR 300, Volt/m (effektiv), 17.05.2006
 VW Touran, 3 x GSM 900, 1 mal G1800, 1 mal UMTS
 F. G18 (One), D, N8210 blau; Beif. G9 (A1), B, N6150, Rück hinter F. G9 (A1), A, N8210 silber, Rück hinter Beif. G9, C, N6150,
 UMTS-Handy, Maschekopf Ksitz Mitte

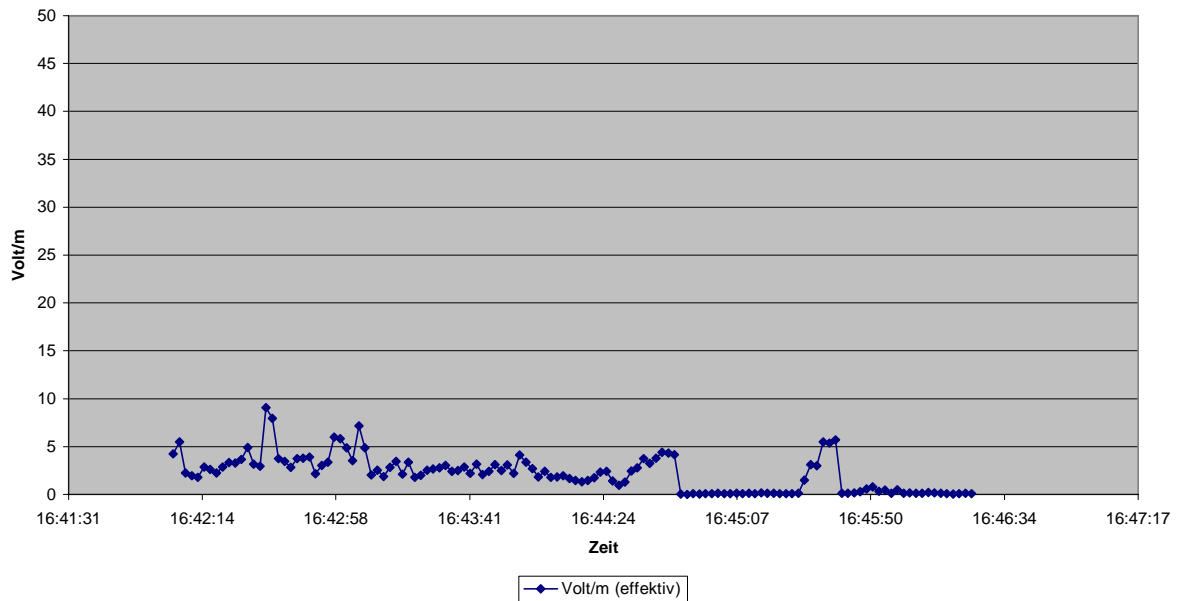


Abbildung 81

Narda-EMR 300, Volt/m (effektiv), 17.05.2006
 VW Touran, 3 x GSM 900, 1 mal G1800, 1 mal UMTS
 F. G18 (One), D, N8210 blau; Beif. G9 (A1), B, N6150, Rück hinter F. G9 (A1), A, N8210 silber, Rück hinter Beif. G9, C, N6150,
 UMTS-Handy, Maschekopf Ksitz Mitte

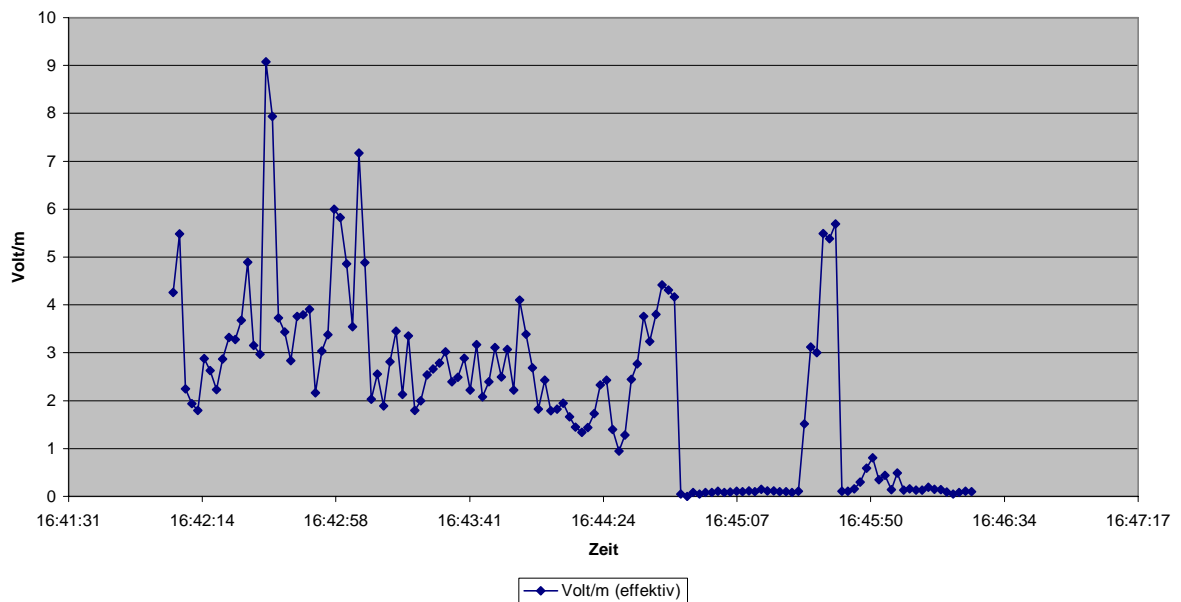


Abbildung 82

START						
EMR-300 - H-0005 - V03,01	Probe: 18	type: E	Date: 05-17-2006			
Calibr Factor: 1,000	Unit: V/m	Max: OFF	Average: OFF			
Index	Time	x	y	z	Eff	
59	16:44:01,0	1,15	1,63	1,8	2,69	
60	16:44:03,0	1,34	0,76	0,96	1,82	
61	16:44:05,0	1,2	1,52	1,46	2,43	
62	16:44:07,0	0,83	1,04	1,19	1,79	
63	16:44:09,0	0,86	1,08	1,18	1,82	
64	16:44:11,0	1,25	0,97	1,14	1,95	
65	16:44:13,0	1,09	0,8	0,97	1,66	
66	16:44:15,0	0,89	0,83	0,79	1,45	
67	16:44:17,0	0,95	0,8	0,5	1,34	
68	16:44:19,0	0,71	0,77	0,99	1,44	
69	16:44:21,0	0,94	0,87	1,16	1,73	
70	16:44:23,0	0,99	1,48	1,5	2,33	
71	16:44:25,0	1,2	1,22	1,72	2,43	
72	16:44:27,0	0,62	0,67	1,06	1,4	
73	16:44:29,0	0,53	0,74	0,28	0,95	
74	16:44:31,0	0,82	0,59	0,79	1,28	
75	16:44:33,0	1,86	1,2	1,04	2,45	
76	16:44:35,0	2,22	1,09	1,24	2,77	
77	16:44:37,0	2,18	2,19	2,14	3,76	
78	16:44:39,0	1,55	1,96	2,06	3,24	
79	16:44:41,0	2,38	2	2,19	3,8	
80	16:44:43,0	1,55	2,75	3,1	4,42	
81	16:44:45,0	1,97	2,56	2,86	4,31	
82	16:44:47,0	3,03	1,48	2,45	4,17	
83	16:44:49,0	0	0	0,05	0,05	
84	16:44:51,0	0	0	0	0	
85	16:44:53,0	0	0	0,08	0,08	
86	16:44:55,0	0	0	0,05	0,05	
87	16:44:57,0	0	0	0,08	0,08	
88	16:44:59,0	0	0	0,08	0,08	
89	16:45:01,0	0,05	0	0,1	0,11	
90	16:45:03,0	0	0	0,08	0,08	
91	16:45:05,0	0,05	0	0,08	0,09	
92	16:45:07,0	0	0,05	0,1	0,11	
93	16:45:09,0	0	0	0,1	0,1	
94	16:45:11,0	0	0	0,12	0,12	
95	16:45:13,0	0	0	0,1	0,1	
96	16:45:15,0	0,05	0	0,14	0,15	
97	16:45:17,0	0	0	0,12	0,12	
98	16:45:19,0	0	0	0,12	0,12	
99	16:45:21,0	0	0	0,1	0,1	
100	16:45:23,0	0	0	0,1	0,1	
101	16:45:25,0	0	0	0,08	0,08	
102	16:45:27,0	0,05	0	0,1	0,11	
103	16:45:29,0	0,86	0,6	1,08	1,51	
104	16:45:31,0	1	1,31	2,65	3,12	
105	16:45:33,0	1,54	1,04	2,35	3	
106	16:45:35,0	2,78	2,33	4,12	5,49	
107	16:45:37,0	2,7	2,01	4,2	5,38	
108	16:45:39,0	2,75	2,39	4,37	5,69	
109	16:45:41,0	0	0,08	0,08	0,11	
110	16:45:43,0	0	0,05	0,1	0,11	
111	16:45:45,0	0	0,1	0,12	0,16	
112	16:45:47,0	0,19	0,14	0,19	0,3	
113	16:45:49,0	0,31	0,36	0,35	0,59	

Tabelle 18

In **Abbildung 83**, **Abbildung 84**, **Abbildung 85**, **Abbildung 86**, **Abbildung 87** und **Abbildung 88** sind die Sendeleistungs- und die Empfangspegelwerte für die GSM-Mobiltelefone dargestellt.

Die GSM900-Mobiltelefone haben eine verhältnismäßig hohe, über die Messzeit gemittelte Spitzen-Sendeleistung:

- 1,8 Watt beim Monitor-A Gerät,
- 1,6 Watt beim Monitor-B Gerät,
- 1,7 Watt beim Monitor-C Gerät,

d. h. die Strahlungsemission dieser Geräte ist verhältnismäßig hoch, um den Sendeleistungsmittelwert zu erhalten, muss, wie bereits mehrfach erwähnt, noch durch den Faktor 8 geteilt werden, da es sich bei GSM um ein Zeitschlitzverfahren handelt.

Interessant sind auch die **Abbildung 89** und die **Abbildung 90**.

Abbildung 89 zeigt die Sendeleistung in Watt für das Monitor D-Gerät, hier handelt es sich um ein GSM1800-Gerät, das – wie auch in den anderen Beispielen an diesem Ort schon festgestellt – sehr schnell und stark nach unten regelt, sodass die Sendeleistung auch im Mittelwert gering ist. Das Monitor D-Gerät trägt keinen wesentlichen Beitrag zur Strahlungsemission und -immission bei.

Das GSM1800-Mobiltelefon hat an diesem Ort eine sehr geringe über die Messzeit gemittelte Spitzen-Sendeleistung:

- 0,019 Watt beim Monitor-D Gerät.

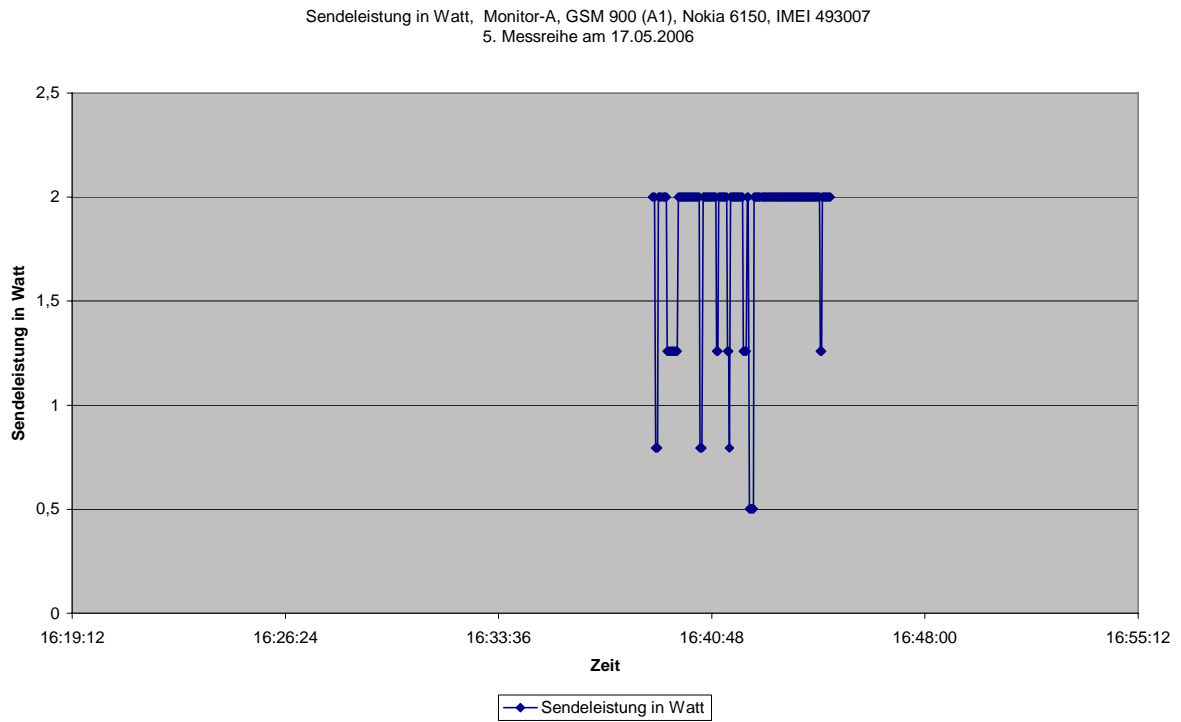


Abbildung 83
Mittelwert = 1,8

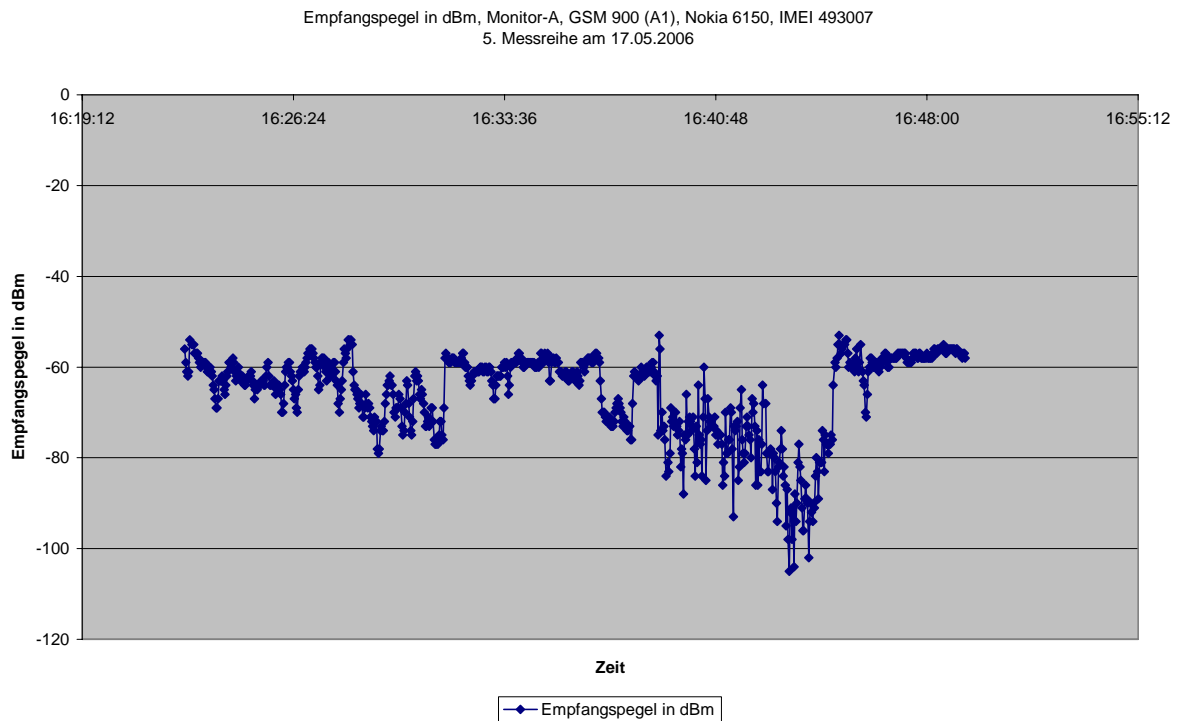


Abbildung 84
Mittelwert = -65

Monitor B, Log starting at 20060517162246(2.3.2.619R / NOKIA 6150 (2360/ 5.22) on FBUS / 493009102667487)

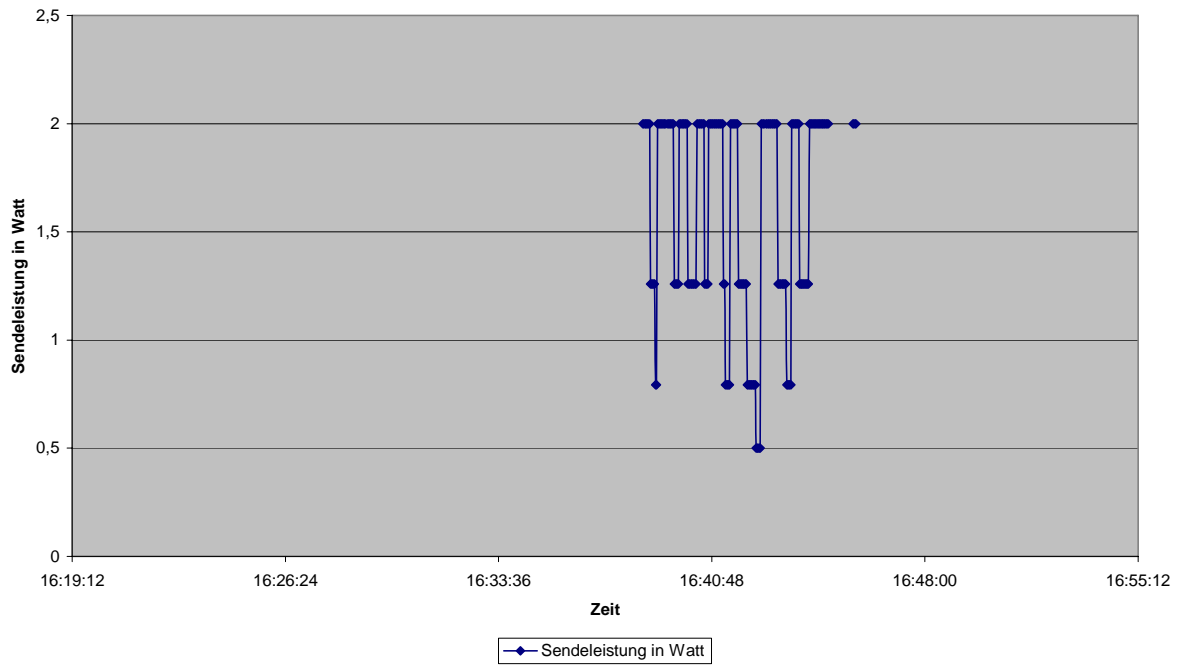


Abbildung 85
Mittelwert = 1,6

Monitor B, Log starting at 20060517162246(2.3.2.619R / NOKIA 6150 (2360/ 5.22) on FBUS / 493009102667487)

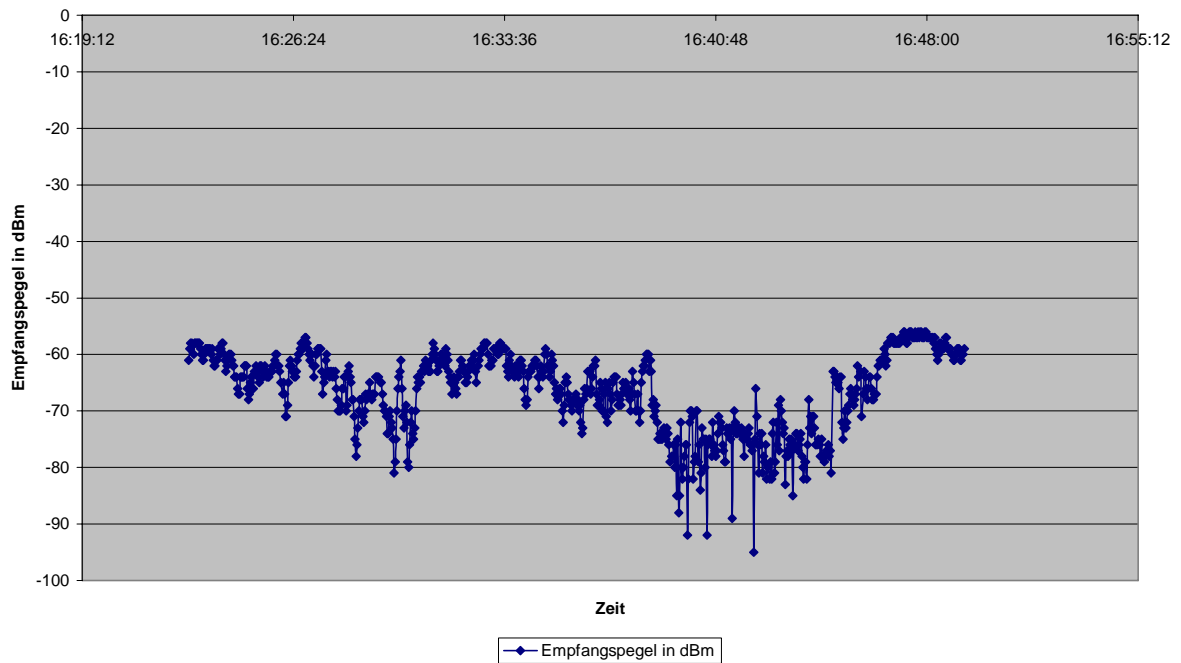


Abbildung 86
Mittelwert = -66

Monitor C, Log starting at 20060517162423(2.3.2.619R / NOKIA 8210 (2101/ 5.31) on FBUS / 350613108096450)

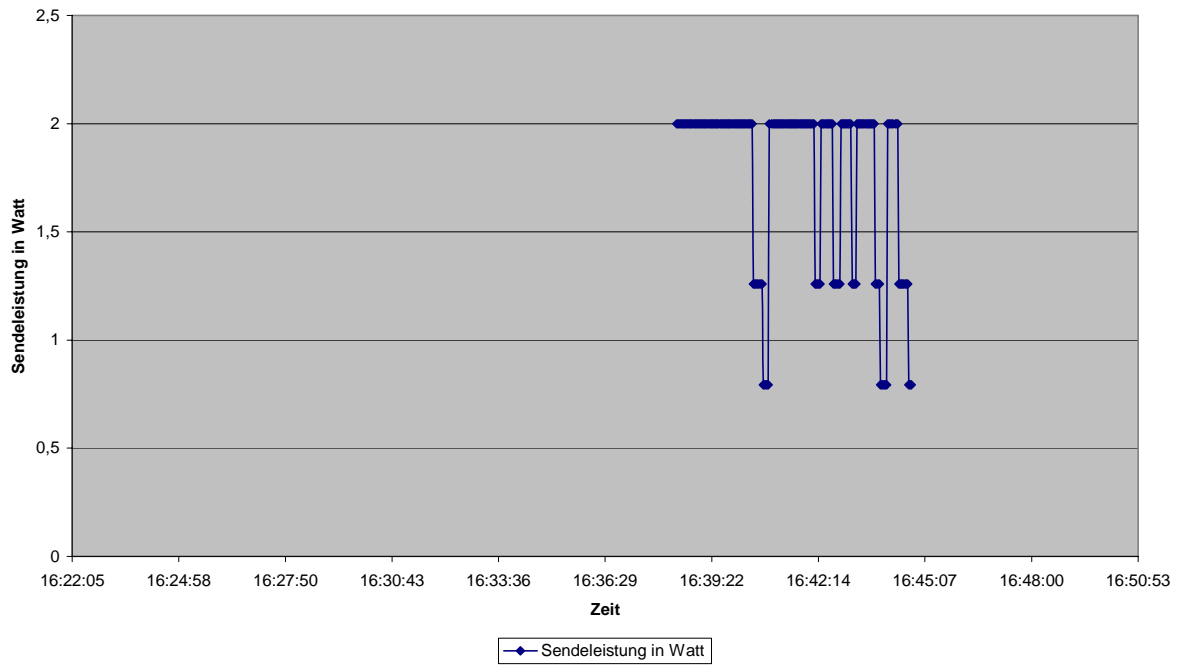


Abbildung 87
Mittelwert = 1,7

Monitor C, Log starting at 20060517162423(2.3.2.619R / NOKIA 8210 (2101/ 5.31) on FBUS / 350613108096450)

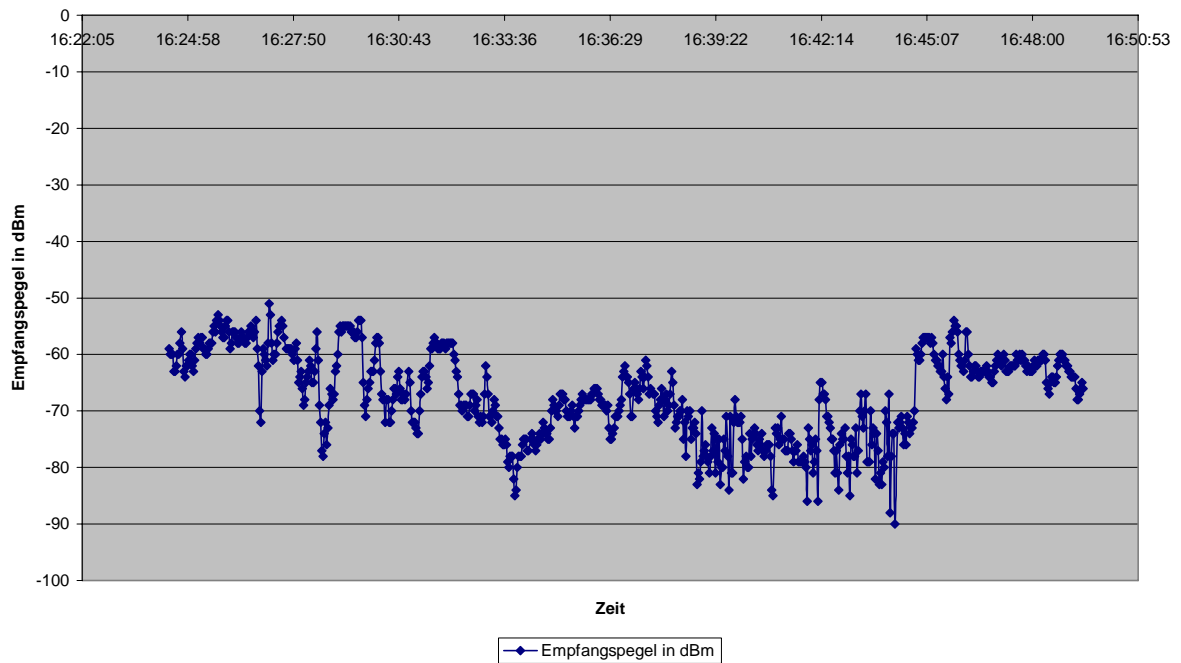


Abbildung 88
Mittelwert = -67

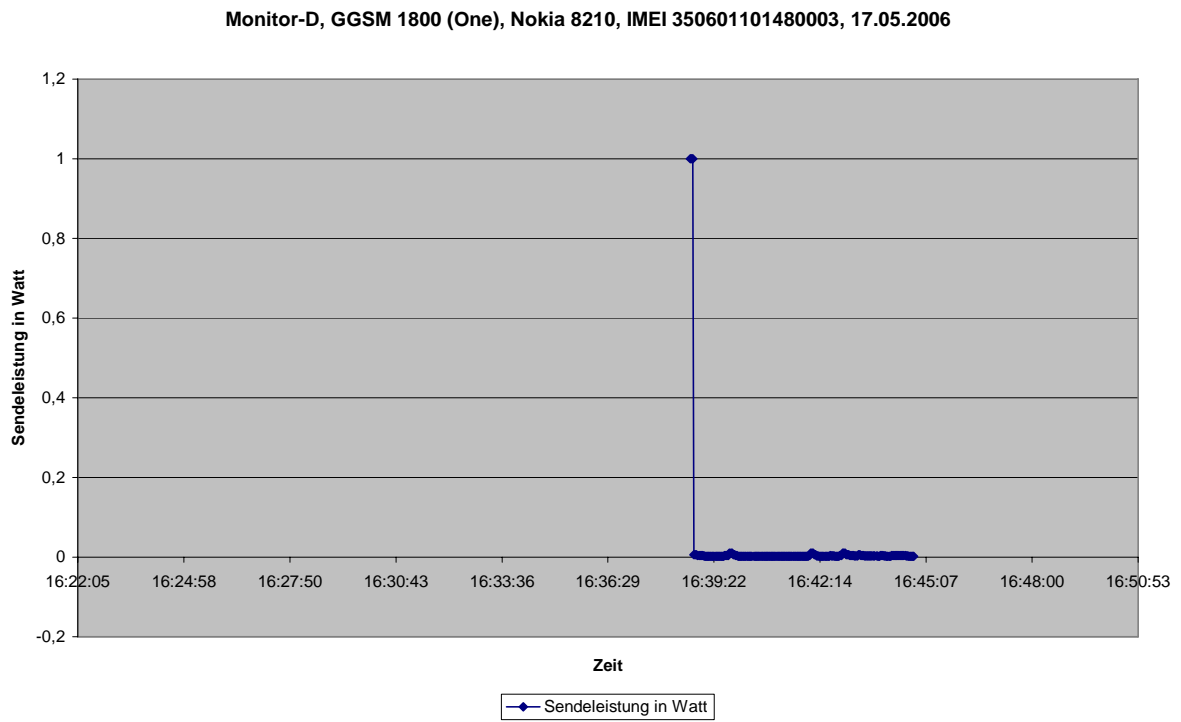


Abbildung 89
Mittelwert = 0,019

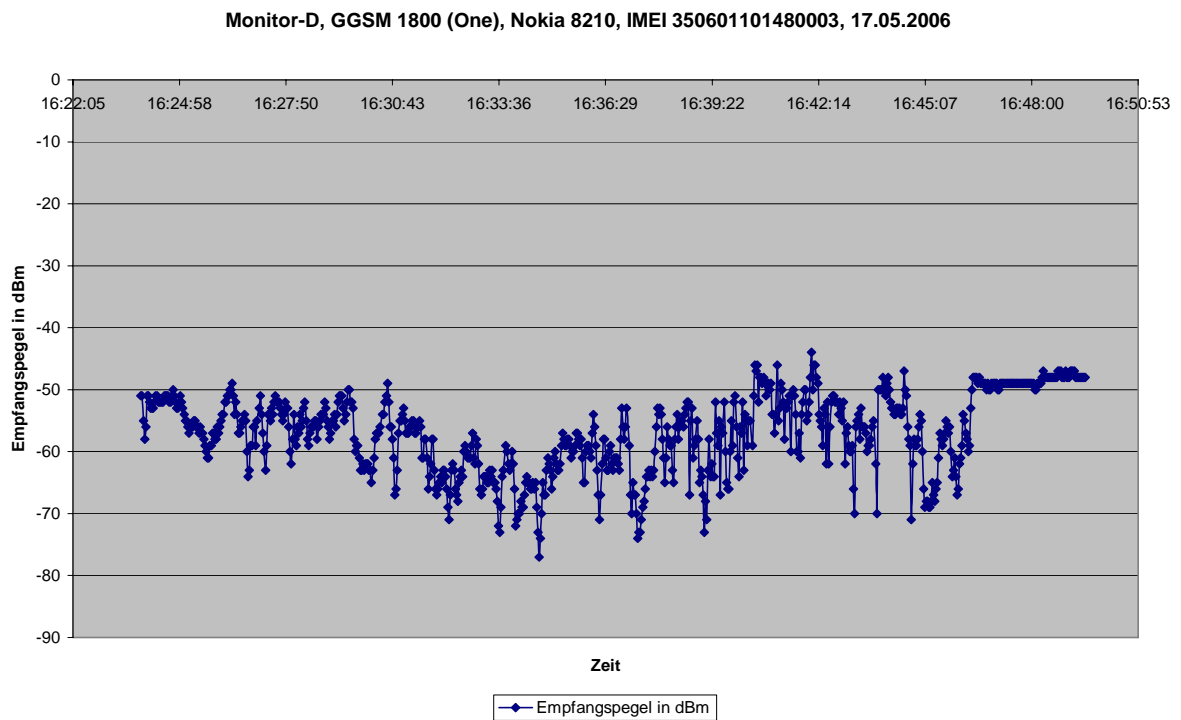


Abbildung 90
Mittelwert = -57

9.4 Mess-Szenario Bestuhlung ohne PKW (ARCS Messhalle)

9.4.1 Erste Messreihe mit GSM

Eine andere Aufgabe war es, ein Mess-Szenario durchzumessen, bei dem eine Person in der gleichen Halle, in der sonst die Fahrzeuge vermessen wurden, auf einem Stuhl sitzt und hierbei die Daten der E-Feldsonde und der Regelalgorithmen des Mobiltelefons aufzuzeichnen.

Abbildung 91 zeigt den Beginn der Messungen. Am linken Ohr der Versuchsperson ist das Nokia 8210 zu erkennen, eingebucht in einem GSM 900 MHz-Netz des Netzbetreibers A1.

In Abbildung 94 führt die Versuchsperson die EMR-Sonde um den Kopf herum. Bei Abbildung 93 führt sie die Sonde zu dem Messgerät, um hiermit die Funktionsfähigkeit des Gerätes prüfen zu können.

Abbildung 94 zeigt den Austausch der Messhandys, vorher handelte es sich um ein Nokia 8210, in Abbildung 94 wurde es gegen ein Nokia 6150 getauscht.

Abbildung 95 zeigt die sich daran anschließenden Messungen mit dem Nokia 6150.

Abbildung 93 zeigt die E-Feld-Mess-Sonde; verhältnismäßig nah an dem aktiven Handy. Zum entsprechenden Zeitpunkt in der Abbildung 96 (ca. 16:15 Uhr) erkennt man eine kleine Spitze. Abbildung 96 zeigt die Leistungsdichte gemessen in W/m^2 , der Grenzwert für GSM 900 ist bei 4,5 W. Bei den Messungen in der Nähe des Kopfes sind kaum Feldstärken festzustellen. Werte tauchen nur in dem Bereich auf, in dem die Sonde besonders nah an das aktive Handy geführt wurde.

Abbildung 97 zeigt einen Ausschnitt in 20-facher Vergrößerung, hier sind nochmals entsprechende Bilder eingeblendet.

In Abbildung 97 erkennt man das Bewegen der Sonde in der Nähe des Kopfes und um 16:55 Uhr das Heranführen des Handys an den Sondenkopf. Ab 16:17 Uhr wurde ein anderes Handy verwendet. Dies ist auch an den Monitordaten zu erkennen.

Abbildung 98 zeigt die MonitorA-Daten mit dem Nokia 8210. Der mittlere Sendeleistungswert ist mit 1,6 W sehr hoch. Der Empfangspegel liegt bei -72 dBm.

Im zweiten Teil der Messreihe wurde ein Nokia 6150 verwendet. Hier fällt der Sendeleistungswert sehr schnell ab, der Regelalgorithmus greift, die mittlere Sendeleistung ist 0,5 W, der Empfangspegel ist nahezu der gleiche wie im ersten Fall. Aufgrund des hohen Unterschiedes der durch die Mobiltelefone verwendeten Sendeleistung wurden am darauf folgenden Tag noch zusätzliche Messungen durchgeführt.



Abbildung 91



Abbildung 92



Abbildung 93



Abbildung 94



Abbildung 95

EMR-Messung, Person auf Stuhl, ohne Fahrzeug, GSM 900, Nokia 8210 und 6150, 18.05.2006

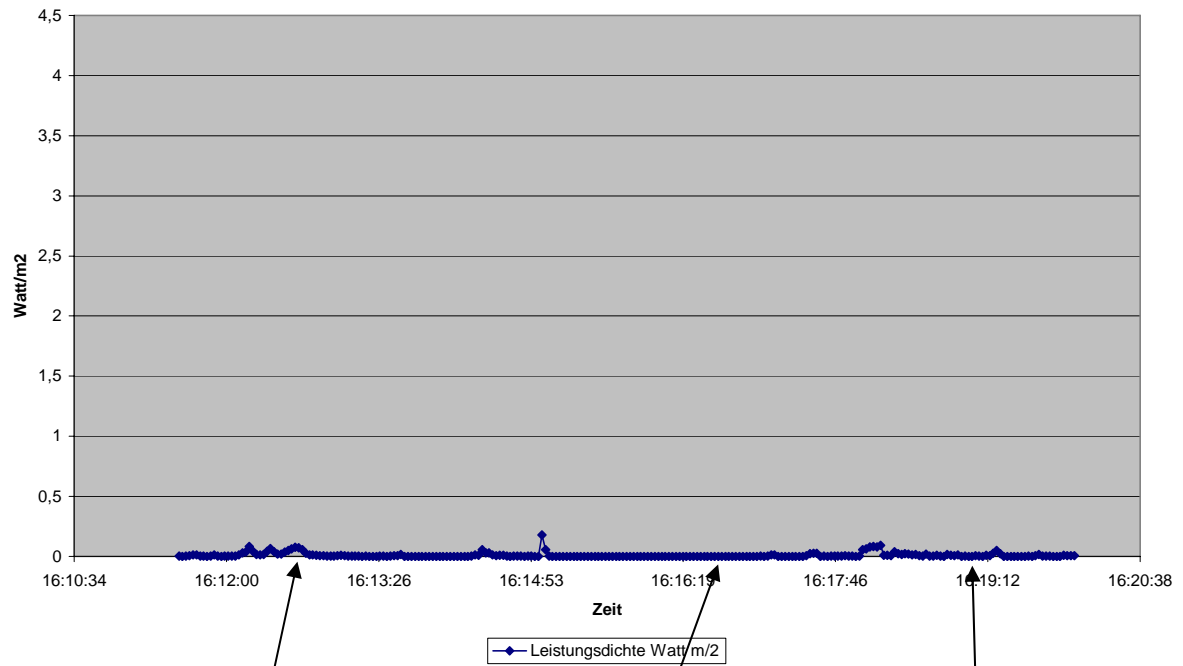


Abbildung 96



EMR-Messung, Person auf Stuhl, ohne Fahrzeug ,GSM 900, Nokia 8210 und 6150, 18.05.2006

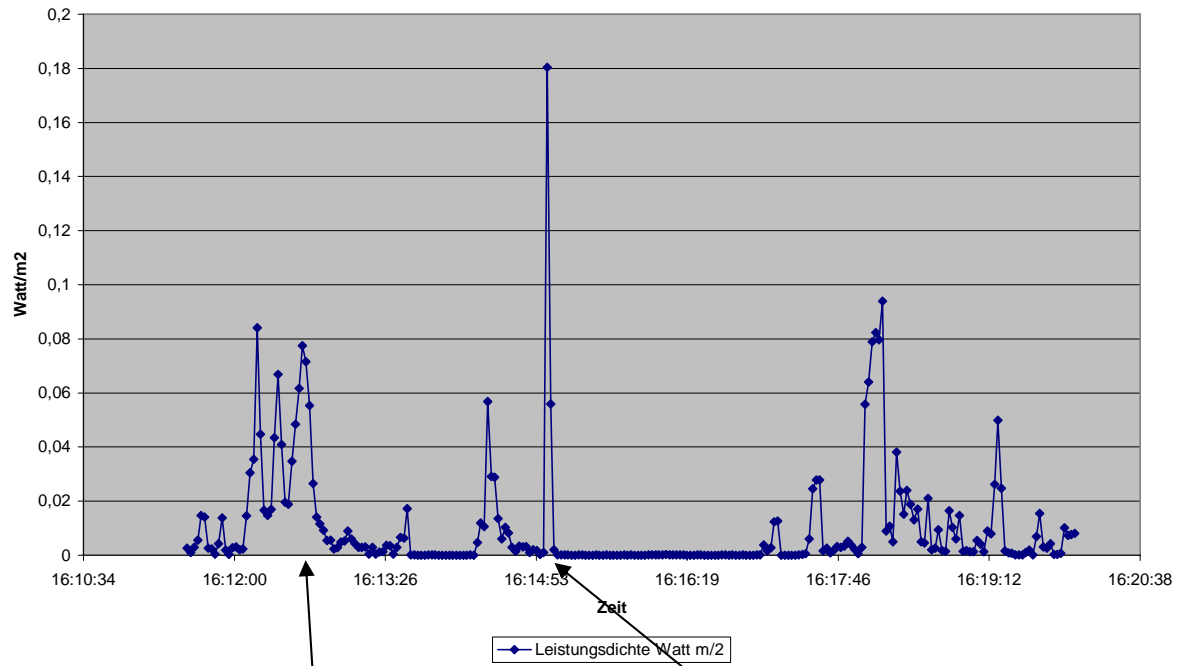
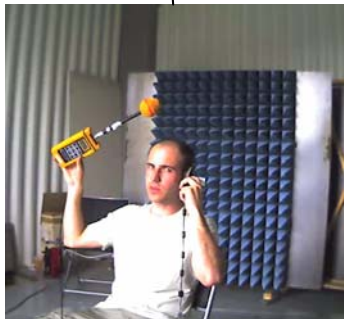


Abbildung 97



Monitor-D, GSM 900 (A1), Nokia 8210, IMEI 350613, 18.05.2006

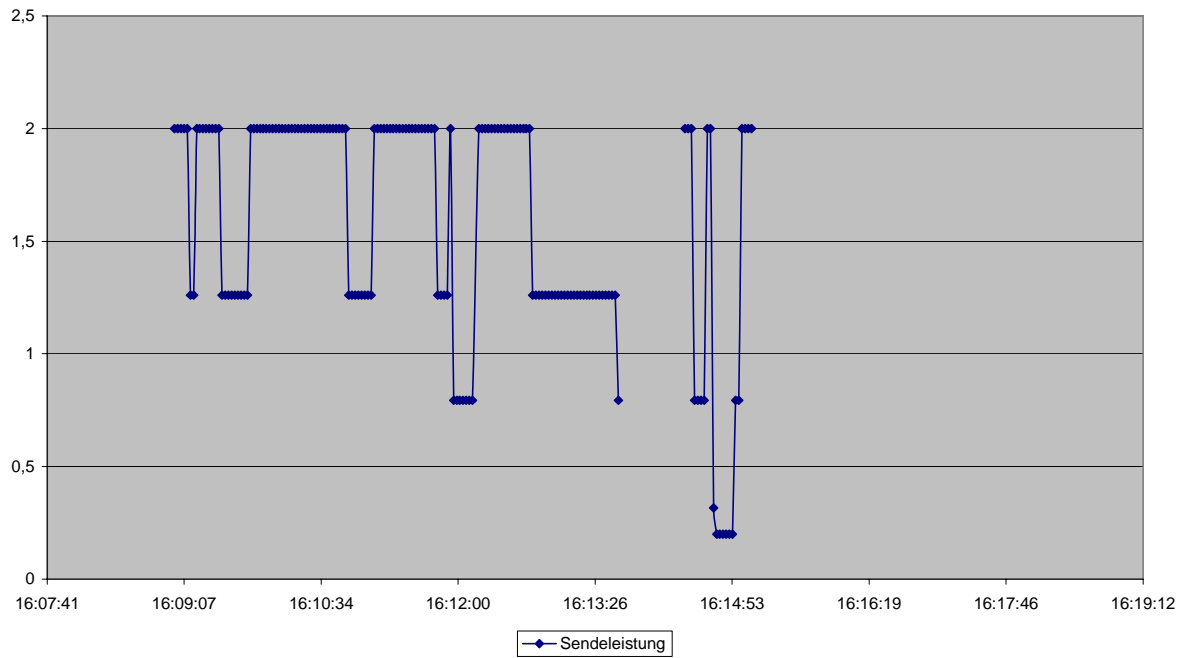


Abbildung 98
Mittelwert der Sendeleistung = 1,6 Watt

Monitor-D, GSM 900 (A1), Nokia 8210, IMEI 350613, 18.05.2006

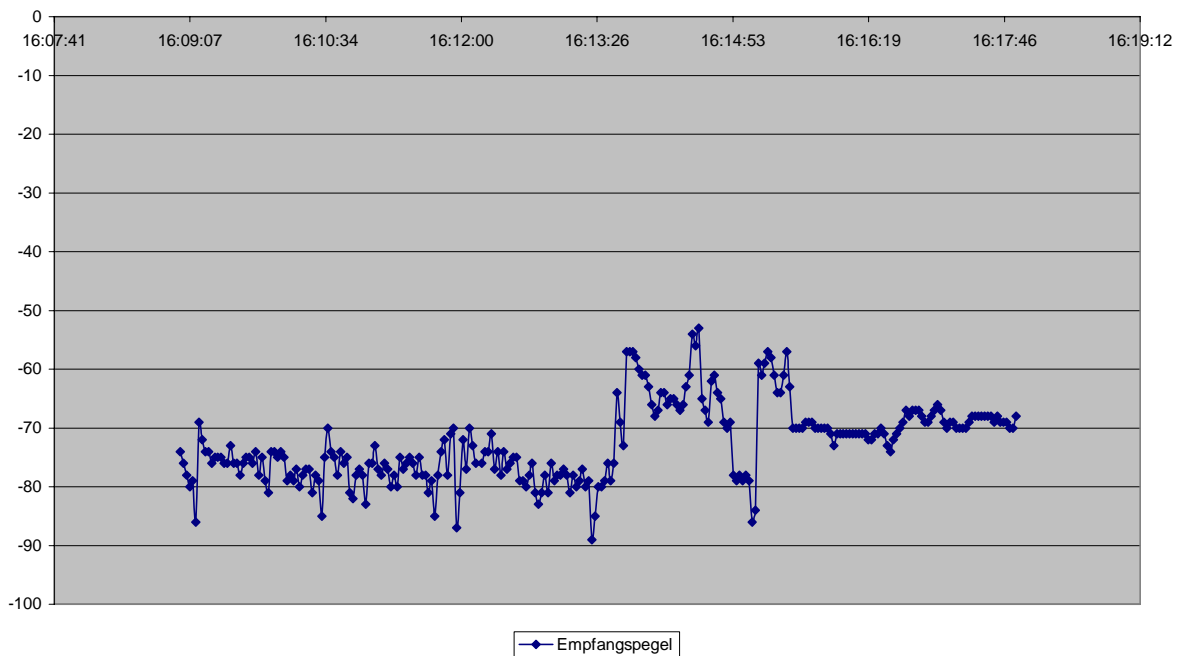


Abbildung 99
Mittelwert des Empfangspegels = -72 dBm

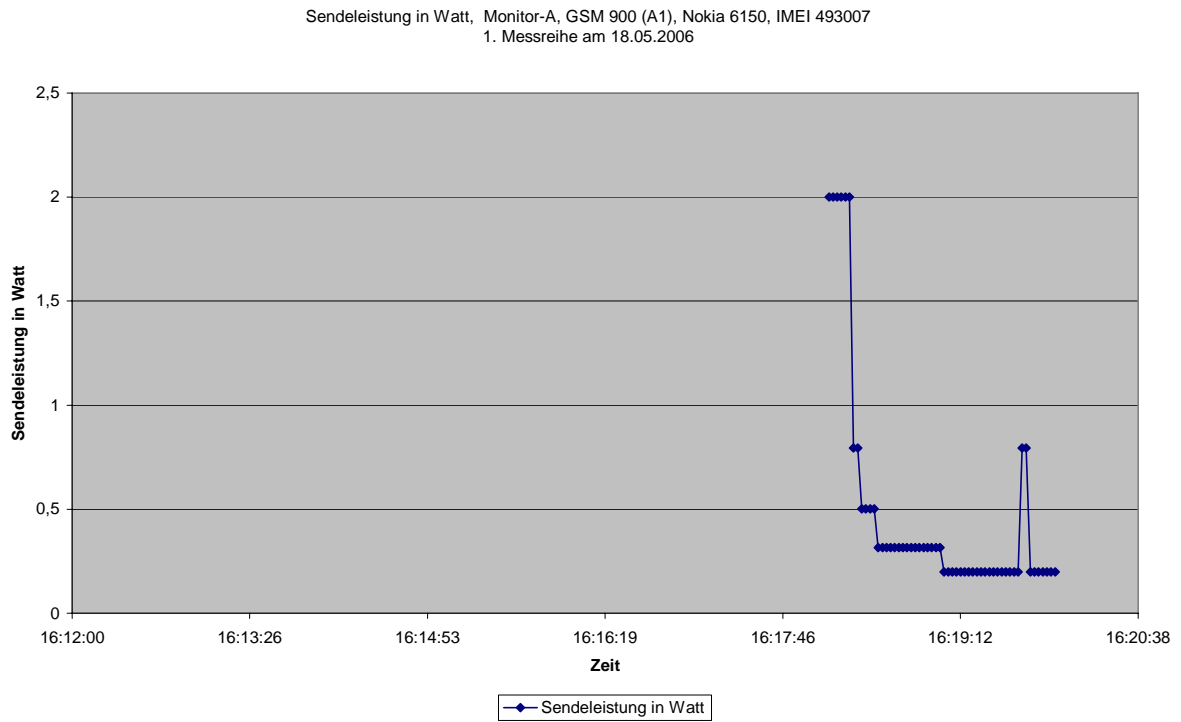


Abbildung 100
Mittelwert der Sendeleistung = 0,5 Watt

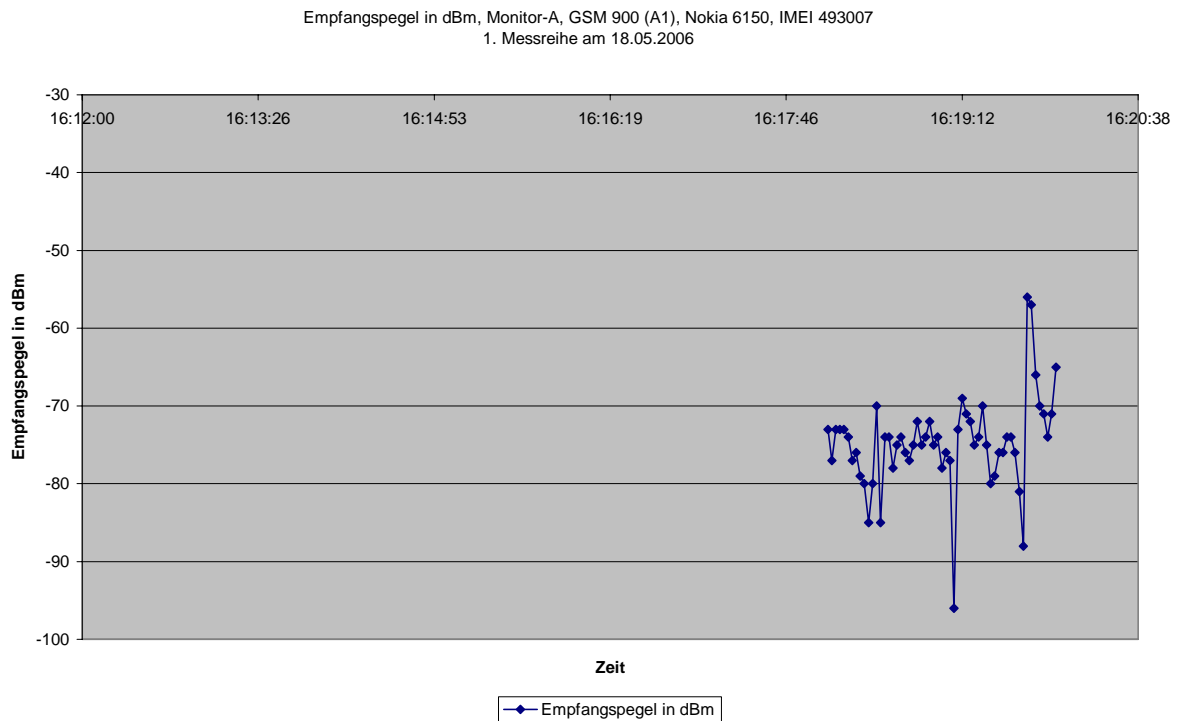


Abbildung 101
Mittelwert des Empfangspegels = -73 dBm

9.4.2 Zweite Messreihe mit GSM



Abbildung 102 zeigt die Sonde auf dem „Beifahrer“stuhl ohne Telefonat im Leerlauf.

Abbildung 102



In Abbildung 103 betritt die Person das Szenario mit eingeschaltetem Mobilteil, an dem Kabel zur Datenübertragung aus dem Mobilteil sind die Ferritkerne zur Verhinderung von Mantelwellen gut zu erkennen.

Abbildung 103



In Abbildung 104 benutzt die Versuchsperson das Telefon am linken Ohr.

Abbildung 104



Bei **Abbildung 105** wechselt die Versuchsperson das Mobiltelefon auf die rechte Kopfseite

Abbildung 105



In **Abbildung 106** nutzt die Versuchsperson das Telefon auf dem rechten Ohr, d. h. auf der der Mess-Sonde zugewandten Seite.

Abbildung 106

In **Abbildung 107** ist die Leistungsdichte der Narda-EMR-E-Feldsonde aufgetragen. Der Leistungsdichte-Grenzwert für 900 MHz beträgt $4,5 \text{ W/m}^2$, die effektiv gemessenen Werte sind somit sehr gering.

Die entsprechenden Zeitaufnahmen sind in die Grafiken eingebildet.

Der Leerlaufbereich mit einem Wert nahe 0 ist in **Abbildung 107** und auch in **Abbildung 108** gut zu erkennen.

Abbildung 108 zeigt die gleichen Messwerte in einem um den Faktor 40 vergrößerten Maßstab.

In dem ersten Teil der Messungen – hier ist das Bild aus der **Abbildung 102** einkopiert – ist auch im vergrößerten Maßstab keine Feldstärke zu erkennen.

Beim Betreten der Person mit aktivem Mobilteil – eingeblendet in **Abbildung 108** ist die **Abbildung 103** – ist zu erkennen, dass eine geringe Feldstärkeerhöhung auftritt. Beim Telefonieren mit dem Handy auf der der Mess-Sonde abgewandten Kopfseite ist die Feldstärke ebenfalls nahezu 0.

Die Feldstärke wird zum Zeitpunkt 11:25:26 höher, dies ist in **Abbildung 107** zu sehen (einkopiert ist die **Abbildung 105**). Dies ist auch selbstverständlich zu erwarten, denn ein aktiv sendendes Mobilteil in der Nähe der Feldsonde bewirkt einen Anstieg der Messwerte.

Desgleichen ist der Wert höher, wenn das Mobilteil auf der Mess-Sondenseite verwendet wird, dies ist in **Abbildung 107** in der Zeit ab 11:26:53 sehr gut zu erkennen, hier ist die **Abbildung 106** entsprechend einkopiert.

In Tabelle 19 ist ein Auszug aus den Leistungsdichtemesswerten aufgetragen.

Leistungsdichte Narda-EMR, E-Feldsonde, GSM 900, Nokia 6150, Handy links und rechts und mit und ohne Sprechen, Person auf Stuhl
 Ab 11.22 Handy links, ab 11.24 m Reden, ab 11.24 später o Reden
 Ab 11.26.28 Handy rechts o Reden, ab 11.27.06 Handy re m Reden

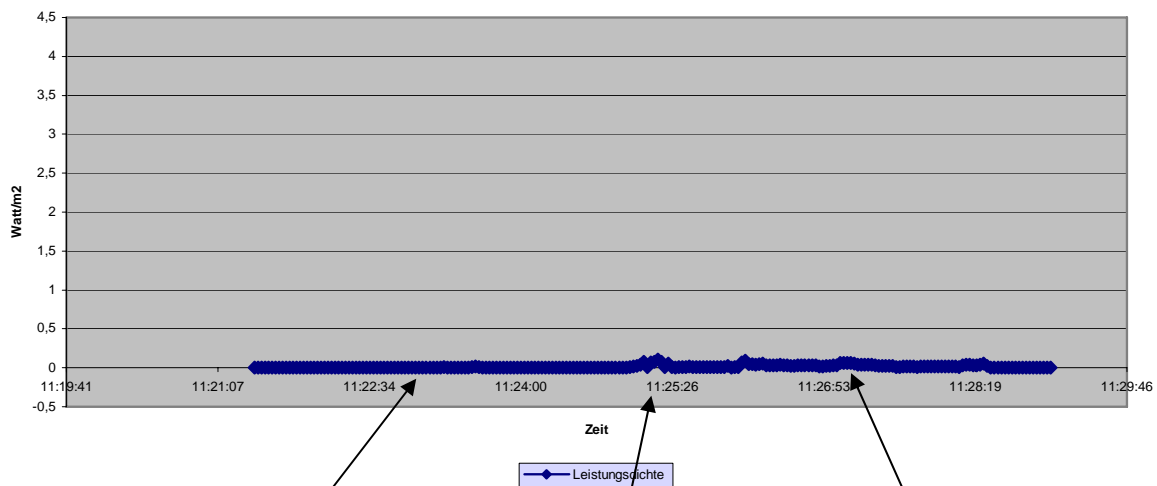


Abbildung 107



Leistungsdichte Narda-EMR, E-Feldsonde, GSM 900, Nokia 6150, Handy links und rechts und mit und ohne Sprechen, Person auf Stuhl
 Ab 11.22 Handy links, ab 11.24 m Reden, ab 11.24 später o Reden
 Ab 11.26.28 Handy rechts o Reden, ab 11.27.06 Handy re m Reden

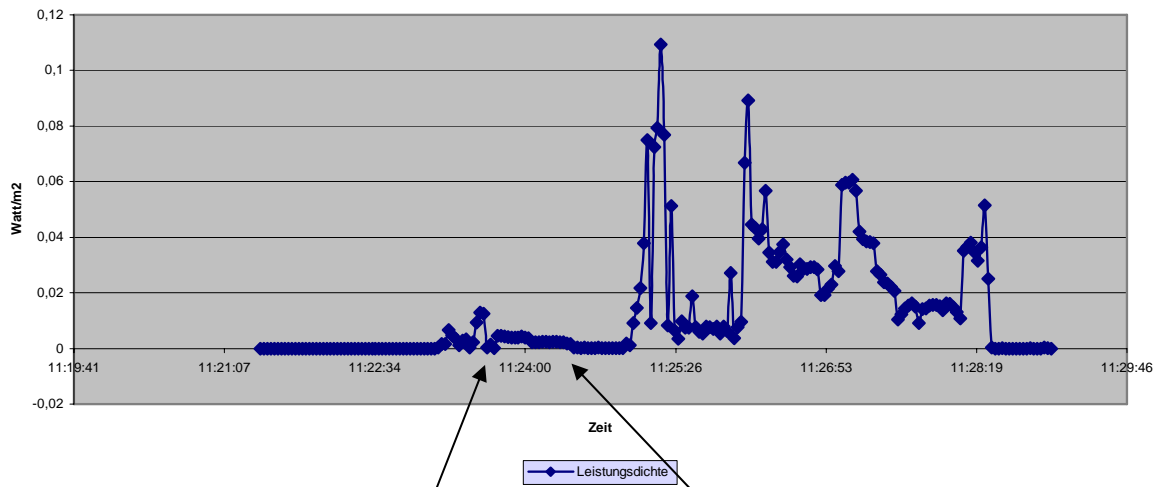


Abbildung 108 zeigt die Abbildung 109 in nunmehr 40-facher Vergrößerung

Versuchsperson betritt mit aktivem, sendendem Handy den Messort



START						
EMR-300 - H-0005 - V03,01	Probe: 18	type: E	Date: 05-19-2006			
Calibr Factor: 1,000	Unit: W/m²m	Max: OFF	Average: OFF			
Index	Time	x	y	z	Eff	
50	11:23:06,0	0	0	0	0	11:23:06
51	11:23:08,0	0	0	0	0	11:23:08
52	11:23:10,0	0,0001	0,0001	0,0002	0,0004	11:23:10
53	11:23:12,0	0,0006	0,0004	0,0006	0,0016	11:23:12
54	11:23:14,0	0,0002	0,0011	0,0002	0,0015	11:23:14
55	11:23:16,0	0,002	0,0018	0,0029	0,0067	11:23:16
56	11:23:18,0	0,0011	0,002	0,0017	0,0048	11:23:18
57	11:23:20,0	0,0019	0,0013	0,0002	0,0034	11:23:20
58	11:23:22,0	0,0003	0,0003	0,0005	0,0011	11:23:22
59	11:23:24,0	0,0016	0,0011	0,0001	0,0028	11:23:24
60	11:23:26,0	0,0018	0,0013	0,0001	0,0032	11:23:26
61	11:23:28,0	0,0002	0,0001	0	0,0003	11:23:28
62	11:23:30,0	0,0013	0,0009	0,0001	0,0023	11:23:30
63	11:23:32,0	0,0036	0,0032	0,0025	0,0093	11:23:32
64	11:23:34,0	0,0045	0,0047	0,0036	0,0128	11:23:34
65	11:23:36,0	0,0043	0,0048	0,0034	0,0125	11:23:36
66	11:23:38,0	0,0001	0,0001	0,0001	0,0003	11:23:38
67	11:23:40,0	0,0008	0,0005	0	0,0013	11:23:40
68	11:23:42,0	0,0001	0,0001	0	0,0002	11:23:42
69	11:23:44,0	0,0022	0,0023	0,0001	0,0046	11:23:44
70	11:23:46,0	0,0022	0,0022	0,0001	0,0045	11:23:46
71	11:23:48,0	0,0021	0,0021	0,0001	0,0043	11:23:48
72	11:23:50,0	0,0021	0,002	0,0001	0,0042	11:23:50
73	11:23:52,0	0,0021	0,0017	0,0001	0,0039	11:23:52
74	11:23:54,0	0,0021	0,0017	0,0001	0,0039	11:23:54
75	11:23:56,0	0,0021	0,0017	0,0001	0,0039	11:23:56
76	11:23:58,0	0,0021	0,0021	0,0002	0,0044	11:23:58
77	11:24:00,0	0,002	0,0018	0,0001	0,0039	11:24:00
78	11:24:02,0	0,002	0,0015	0,0001	0,0036	11:24:02
79	11:24:04,0	0,0014	0,0007	0,0001	0,0022	11:24:04
80	11:24:06,0	0,0015	0,0007	0,0001	0,0023	11:24:06
81	11:24:08,0	0,0015	0,0007	0,0001	0,0023	11:24:08
82	11:24:10,0	0,0016	0,0007	0,0001	0,0024	11:24:10
83	11:24:12,0	0,0016	0,0007	0,0001	0,0024	11:24:12
84	11:24:14,0	0,0015	0,0007	0,0001	0,0023	11:24:14
85	11:24:16,0	0,0015	0,0007	0,0002	0,0024	11:24:16
86	11:24:18,0	0,0015	0,0007	0,0002	0,0024	11:24:18
87	11:24:20,0	0,0014	0,0006	0,0002	0,0022	11:24:20
88	11:24:22,0	0,0014	0,0006	0,0002	0,0022	11:24:22
89	11:24:24,0	0,0011	0,0005	0,0001	0,0017	11:24:24
90	11:24:26,0	0,001	0,0004	0,0001	0,0015	11:24:26
91	11:24:28,0	0,0003	0,0001	0	0,0004	11:24:28
92	11:24:30,0	0,0002	0,0001	0	0,0003	11:24:30
93	11:24:32,0	0,0001	0,0001	0	0,0002	11:24:32
94	11:24:34,0	0,0002	0,0001	0	0,0003	11:24:34
95	11:24:36,0	0,0001	0,0001	0	0,0002	11:24:36
96	11:24:38,0	0,0001	0,0001	0	0,0002	11:24:38
97	11:24:40,0	0,0001	0,0001	0	0,0002	11:24:40
98	11:24:42,0	0,0002	0,0001	0	0,0003	11:24:42
99	11:24:44,0	0,0001	0,0001	0	0,0002	11:24:44
100	11:24:46,0	0,0001	0,0001	0	0,0002	11:24:46
101	11:24:48,0	0,0001	0,0001	0	0,0002	11:24:48
102	11:24:50,0	0,0001	0	0	0,0001	11:24:50
103	11:24:52,0	0,0001	0,0001	0	0,0002	11:24:52

Tabelle 19

Abbildung 110 und Abbildung 111 geben die Sendeleistung und den Empfangspegel des Nokia 6150 während der Versuchsphase wieder. Hier ist zu erkennen, dass das Mobilteil regelt, unabhängig davon, ob es jetzt auf der rechten oder auf der linken Seite der Versuchsperson benutzt wird.

Monitor B, Log starting at 20060519112215(2.3.2.619R / NOKIA 6150 (2360/ 5.22) on FBUS / 493009102667487)

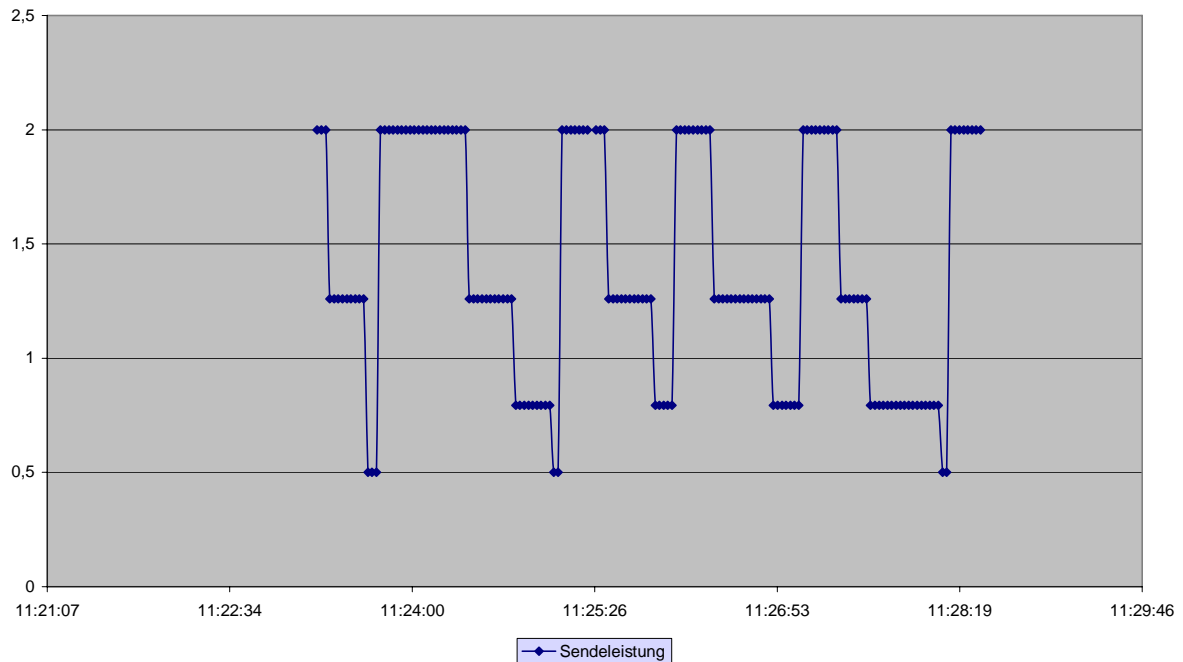


Abbildung 110

Monitor B, Log starting at 20060519112215(2.3.2.619R / NOKIA 6150 (2360/ 5.22) on FBUS / 493009102667487)

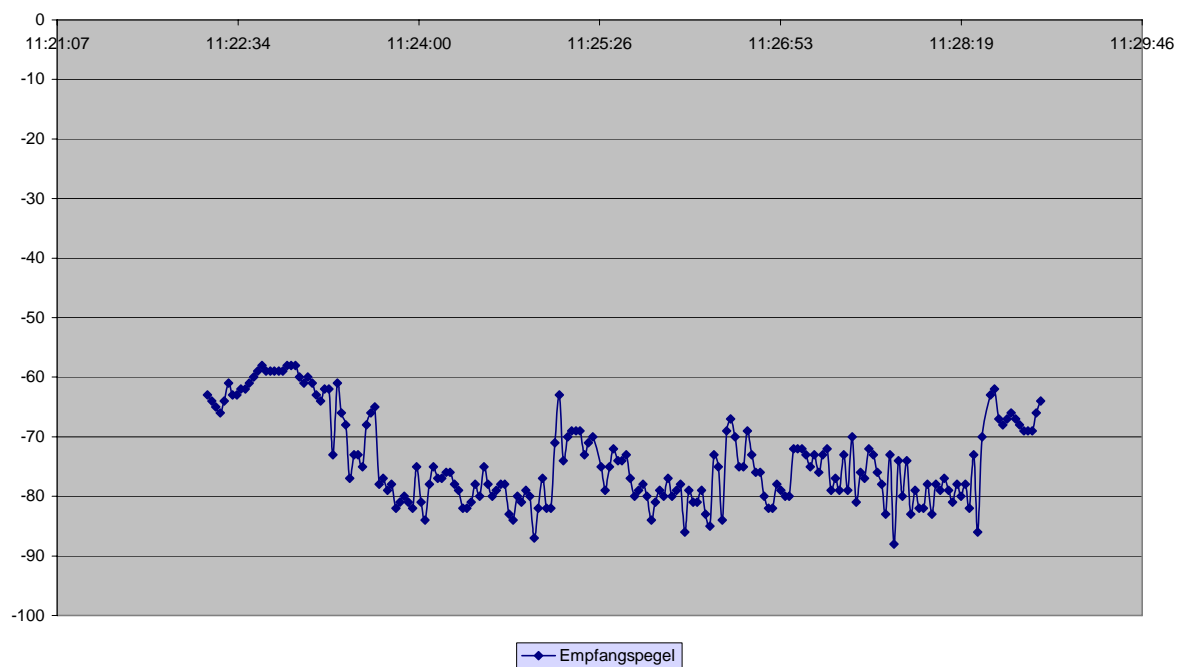


Abbildung 111

Ergebnis der GSM-Messreihe auf dem Stuhl

Es zeigt sich, dass bei Messungen ohne Fahrzeug die Werte sehr gering sind. Die Werte sind abhängig davon, auf welcher Seite des Kopfes – der der Mess-Sonde zugewandten oder der abgewandten Seite – das Mobiltelefon genutzt wird, aber selbst auf der zugewandten Seite sind die Werte auf dem „Beifahrer“stuhl äußerst gering.

9.4.3 Dritte Messreihe mit UMTS



Abbildung 112 zeigt die Versuchsperson mit dem UMTS-Messhandy am rechten Ohr



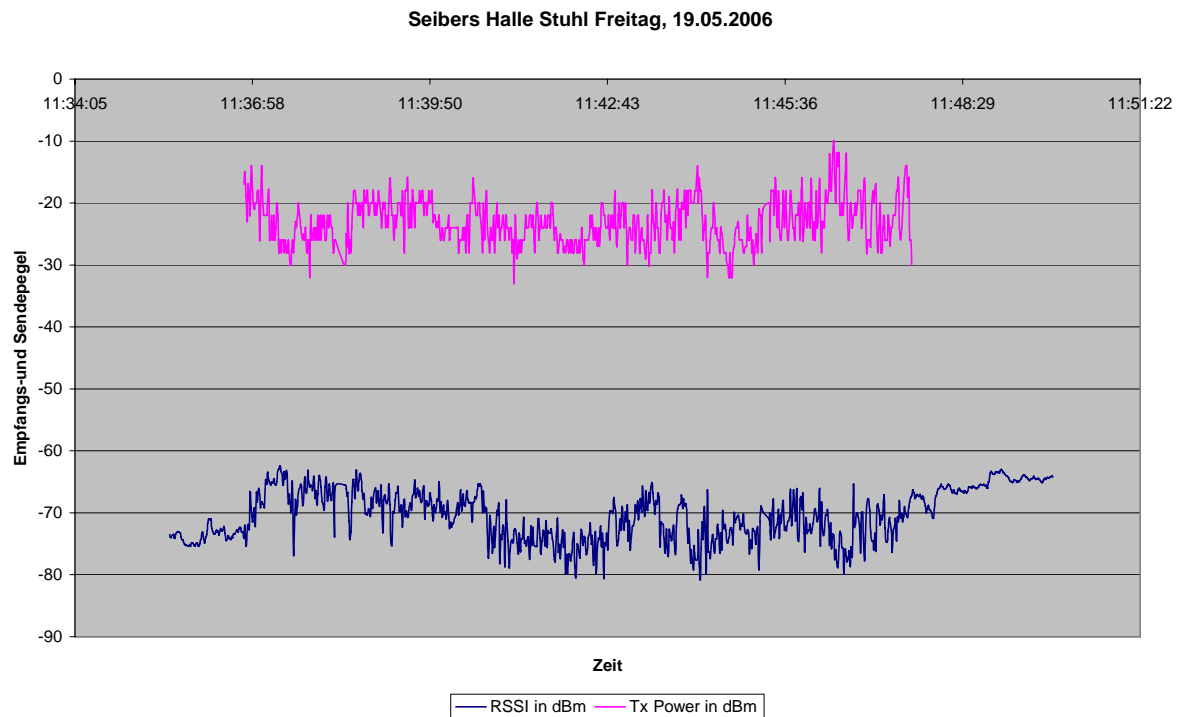
In Abbildung 113 wird das UMTS-Messhandy direkt an den Sondenkopf gehalten

Abbildung 114 zeigt die Sendeleistung des Mobil-UMTS-Telefons in dBm, der mittlere Sendeleistungswert beträgt -23 dBm, dies entspricht 0,005 mW. Der Empfangspegel beträgt -70dBm, das entspricht 0,0001 μ W.

Wie bereits dargelegt, sind die Sendeleistungswerte bei UMTS sehr gering.

Aus diesem Grunde ist auch in den Leistungsdichtemessungen (Abbildung 115 bis Abbildung 117) mit der EMR-Sonde kein hoher Wert zu erwarten. Bei der UMTS-Frequenz liegt der relevante Grenzwert bei 9,5 W/m².

In Tabelle 20 ist ein Teil der von der Focus Infocom-Software gelieferten Daten dargestellt.

**Abbildung 114**

Mittelwert Tx Power in dBm = -23, entspricht $0,005 \text{ mW} = 5 \mu\text{W}$

Mittelwert RSSI in dBm = -70, entspricht $0,0001 \mu\text{W}$

Datum	Uhrzeit	Indirekte Netz- kennung	RSSI Empfangspegel [dBm]	Tx Power Sendeleistungspegel [dBm]
19.05.2006	11:36:57	10564	-71,5	-18
19.05.2006	11:36:58	10564	-70,59999847	-20
19.05.2006	11:36:59	10564	-69,19999695	-21
19.05.2006	11:37:00	10564	-72,19999695	-20
19.05.2006	11:37:01	10564	-66,80000305	-20
19.05.2006	11:37:02	10564	-68,30000305	-18
19.05.2006	11:37:03	10564	-66,09999847	-18
19.05.2006	11:37:04	10564	-67,09999847	-26
19.05.2006	11:37:05	10564	-69,19999695	-22
19.05.2006	11:37:06	10564	-68,19999695	-14
19.05.2006	11:37:07	10564	-68,5	-18
19.05.2006	11:37:08	10564	-68,5	-22
19.05.2006	11:37:09	10564	-69,19999695	-22
19.05.2006	11:37:10	10564	-64,69999695	-22
19.05.2006	11:37:11	10564	-65,40000153	-22
19.05.2006	11:37:12	10564	-63,40000153	-20

Tabelle 20

In **Abbildung 115** ist keine Feldstärkeerhöhung zu erkennen. **Abbildung 116** stellt die Leistungsdichte in einem um den Faktor 1000 vergrößerten Maßstab dar; zu bestimmten Zeitpunkten sind minimale Werte zu erkennen.

In **Abbildung 117** ist die Leistungsdichte um den Faktor 10.000 vergrößert, bei dieser 10.000-fachen Vergrößerung sind zwei Spitzen zu erkennen. In **Abbildung 117** ist das dem Zeitpunkt entsprechende Foto eingeblendet: Das UMTS-Mobilteil wurde direkt an den Sondenkopf gehalten. In dieser Position sind Messwerte festzustellen. Diese Messwerte sind jedoch äußerst gering. Da die Sonde breitbandig misst, ist es nicht erkennbar, ob der Beitrag aus der UMTS-Sendeleistung herrührt oder aus der Bluetooth-Ankopplung. Das UMTS-Handy wurde mittels Bluetooth an den Rechner angekopfelt, um eine höhere Beweglichkeit zu erreichen.

Bei späteren Messungen im Flugzeug zeigte sich, dass die Bluetooth-Sendeleistung in Relation zu der UMTS-Sendeleistung hoch ist. Unabhängig davon, ob die Werte in den EMR-Grafiken durch UMTS oder durch Bluetooth zustande gekommen sind, die Werte sind um den Faktor 10.000 unterhalb des Grenzwertes, auch wenn das Handy in die Nähe des Sondenkopfes gehalten wird. Relevante Beiträge durch ein UMTS-Telefon in Bezug auf Reflexionen und Feldstärkeüberhöhungen in teilgeschirmten Räumen sind daher nicht zu erwarten. Die durch das UMTS-Telefon emittierte Sendeleistung wird entweder im Kopf der Person oder im Körper absorbiert, sodass der frei reflektierende Teil der Welle noch geringer ist und bei den Messungen daher keine Rolle spielt.

Aus diesem Grunde wurden, wie auch an anderer Stelle bereits erwähnt, die Messungen primär mit GSM-Telefonen durchgeführt, um in worst case-Szenarien nach Feldstärkeüberhöhungen zu suchen.

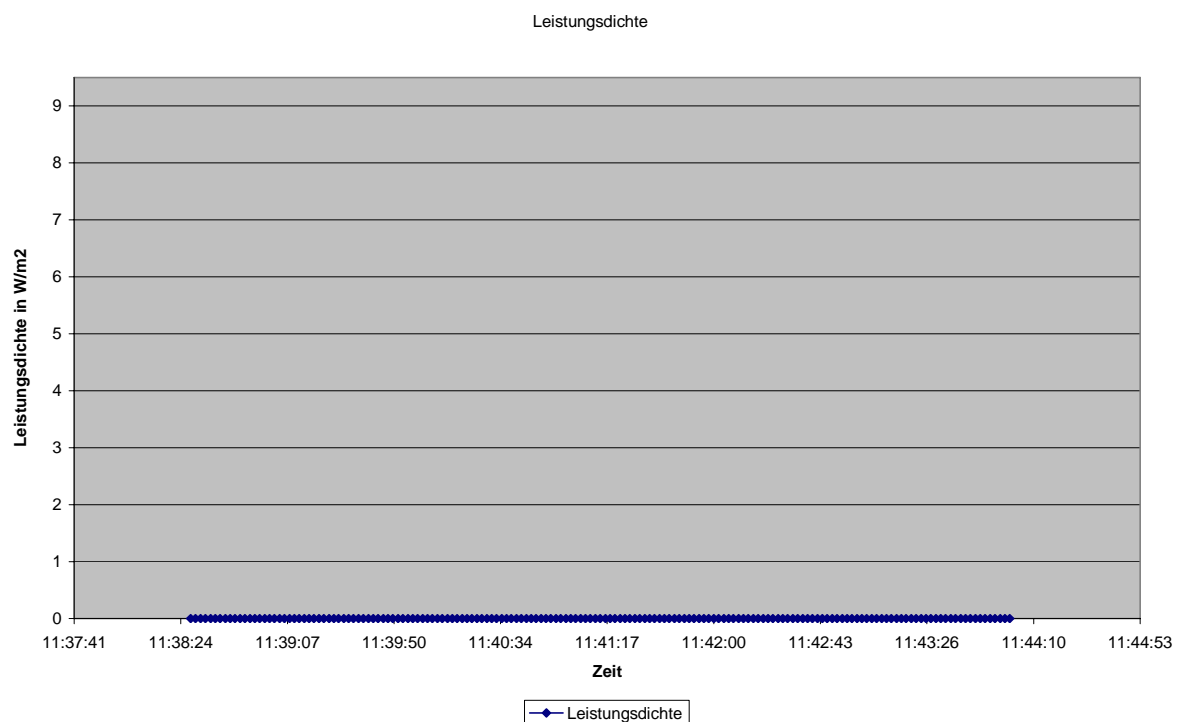


Abbildung 115

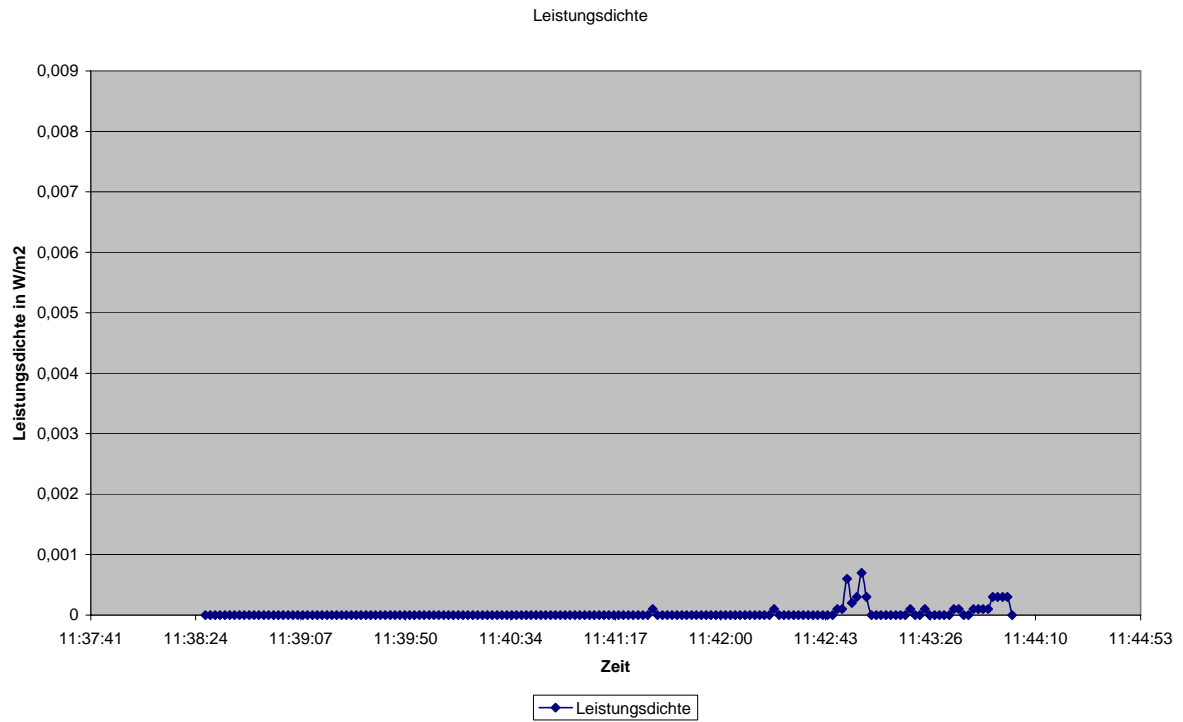


Abbildung 116 (Leistungsdichte aus Abbildung 115 in 1000-facher Vergrößerung)

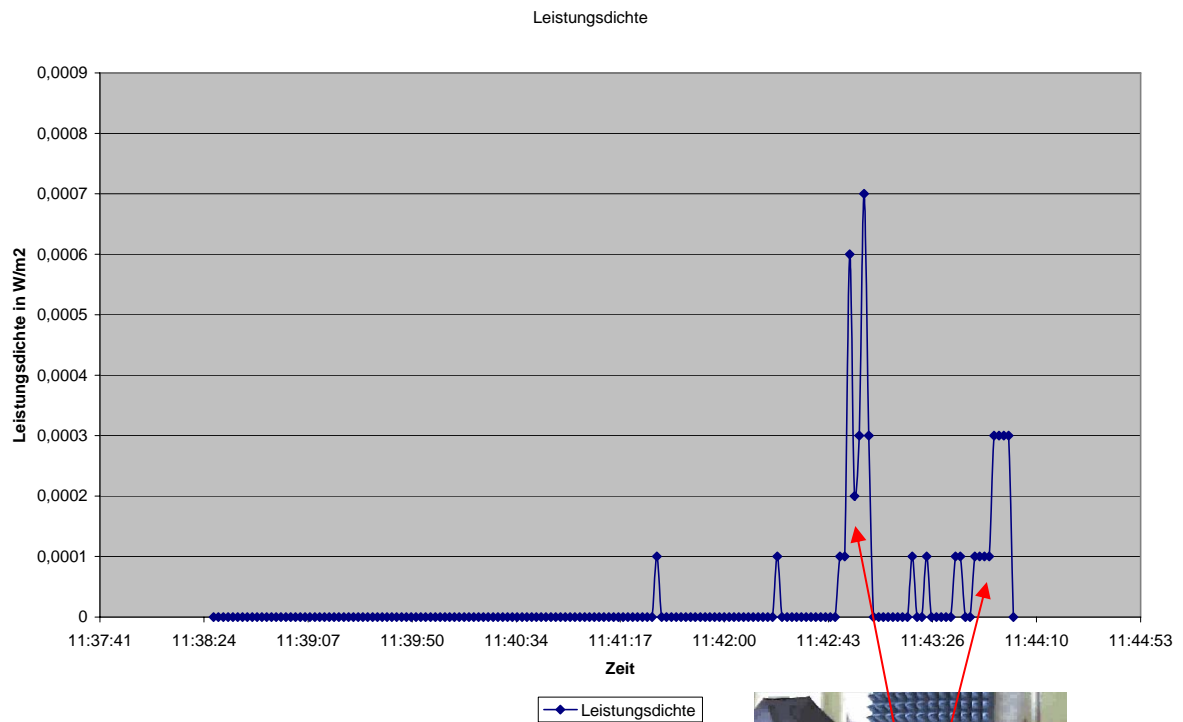


Abbildung 117
(Leistungsdichte aus Abbildung 115
in 10.000-facher Vergrößerung)



In **Tabelle 21** ist ein Teil der von der Focus Infocom-Software gelieferten relevanten Messdaten dargestellt.

START					
EMR-300 - H-0005 - V03,01	Probe: 18	type: E	Date: 05-19-2006		
Calibr Factor: 1,000	Unit: W/m²m	Max: OFF	Average: OFF		
Index	Time	x	y	z	Eff
124	11:42:34,0	0	0	0	0
125	11:42:36,0	0	0	0	0
126	11:42:38,0	0	0	0	0
127	11:42:40,0	0	0	0	0
128	11:42:42,0	0	0	0	0
129	11:42:44,0	0	0	0	0
130	11:42:46,0	0	0	0	0
131	11:42:48,0	0,0001	0	0	0,0001
132	11:42:50,0	0,0001	0	0	0,0001
133	11:42:52,0	0,0001	0,0004	0,0001	0,0006
134	11:42:54,0	0,0001	0,0001	0	0,0002
135	11:42:56,0	0,0001	0,0001	0,0001	0,0003
136	11:42:58,0	0,0001	0,0005	0,0001	0,0007
137	11:43:00,0	0,0001	0,0001	0,0001	0,0003
138	11:43:02,0	0	0	0	0
139	11:43:04,0	0	0	0	0
140	11:43:06,0	0	0	0	0
141	11:43:08,0	0	0	0	0
142	11:43:10,0	0	0	0	0
143	11:43:12,0	0	0	0	0
144	11:43:14,0	0	0	0	0
145	11:43:16,0	0	0	0	0
146	11:43:18,0	0	0	0,0001	0,0001
147	11:43:20,0	0	0	0	0
148	11:43:22,0	0	0	0	0
149	11:43:24,0	0	0	0,0001	0,0001
150	11:43:26,0	0	0	0	0
151	11:43:28,0	0	0	0	0
152	11:43:30,0	0	0	0	0
153	11:43:32,0	0	0	0	0
154	11:43:34,0	0	0	0	0
155	11:43:36,0	0	0	0,0001	0,0001
156	11:43:38,0	0	0	0,0001	0,0001
157	11:43:40,0	0	0	0	0
158	11:43:42,0	0	0	0	0
159	11:43:44,0	0	0	0,0001	0,0001
160	11:43:46,0	0	0	0,0001	0,0001
161	11:43:48,0	0	0	0,0001	0,0001
162	11:43:50,0	0,0001	0	0	0,0001
163	11:43:52,0	0,0002	0	0,0001	0,0003
164	11:43:54,0	0,0002	0	0,0001	0,0003

Tabelle 21

Minimal sendende UMTS-Handys und Handys, die sich z. B. bei GSM 1800 in dem unteren Regelbereich bei 1 mW befinden (der Mittelwert beträgt aufgrund des TDM-Zeitschlitzverfahrens: 0,125 mW), können keine Reflexionsüberhöhungen in Fahrzeugen oder in anderen teilgeschirmten Räumen erzeugen.

Selbst eine Addition der Sendeemissionen von vier im Fahrzeug befindlichen aktiven Telefonen, davon dreimal die niedrigste Stufe bei GSM 1800 und einmal bei UMTS, d. h. dreimal 0,125 mW plus 0,005 mW bewirken in einem mit vier Personen besetzten Fahrzeug keine Reflexionen, da die elektromagnetischen Wellen durch die anwesenden Personen stark gedämpft werden.

Um dennoch die Untersuchungen im Hinblick auf Feldstärkeüberhöhungen qualifiziert durchzuführen, wurde bewusst mit höher sendenden GSM-Mobiltelefonen gearbeitet, wobei der aktuelle Sendepiegel vor den Messungen nie vorausgesagt werden konnte, da der aktuelle Sendepiegel abhängig vom Regelalgorithmus ist und dieser ist wiederum in seiner Wirkung abhängig von den sich örtlich verändernden Gegebenheiten und auch der Netzlast.

9.5 Mess-Szenario Mittelklasse-Limousine des Typs Ford-Sierra

Das Ziel der Messungen ist festzustellen, ob in einer Mittelklasse-Limousine mit vier telefonierenden Personen Feldstärkeüberhöhungen auftreten können.



Abbildung 118



Abbildung 119



Abbildung 120



Abbildung 121



Abbildung 122

Im ersten Teil der Messungen ist die Sonde statisch zwischen Beifahrer und Fahrer platziert, dies ist in **Abbildung 118** erkennbar.

Im zweiten Teil der Messungen ab 13:44:43 Uhr wird die Sonde im Fahrzeug bewegt (**Abbildung 119** und **Abbildung 120**).

Ab 13:48:48 wird das Schiebedach geöffnet (siehe **Abbildung 121**). Zweimal wird der Sondenkopf außerhalb des Fahrzeuges durch das Schiebedach gehalten.

Abbildung 122 zeigt das Innere des leeren Fahrzeugs.

Die Messungen führten zu den Leistungsdichtemessungen, wie sie in **Abbildung 123** dargestellt sind. Der Grenzwert bei GSM 900 liegt bei $4,5 \text{ W/m}^2$. Der Grenzwert wird bei weitem nicht erreicht.

Die Spitze, die in **Abbildung 124** erkennbar ist, ergibt sich, wenn die Sonde in die Nähe eines telefonierenden Mobilteiles kommt. Ein Unterschied zwischen offenem und geschlossenem Schiebedach lässt sich anhand dieser Messungen nicht feststellen.

Die **Tabelle 22** zeigt einen Ausschnitt der Daten aus den EMR-Messungen.

EMR-Feldsonde, Leistungsdichte, PKW Sierra, 4 Personen mit 4 Handys (3 mal GSM 900 und 1 mal GSM 1800) mit und ohne Sprechen, 19.05.2006

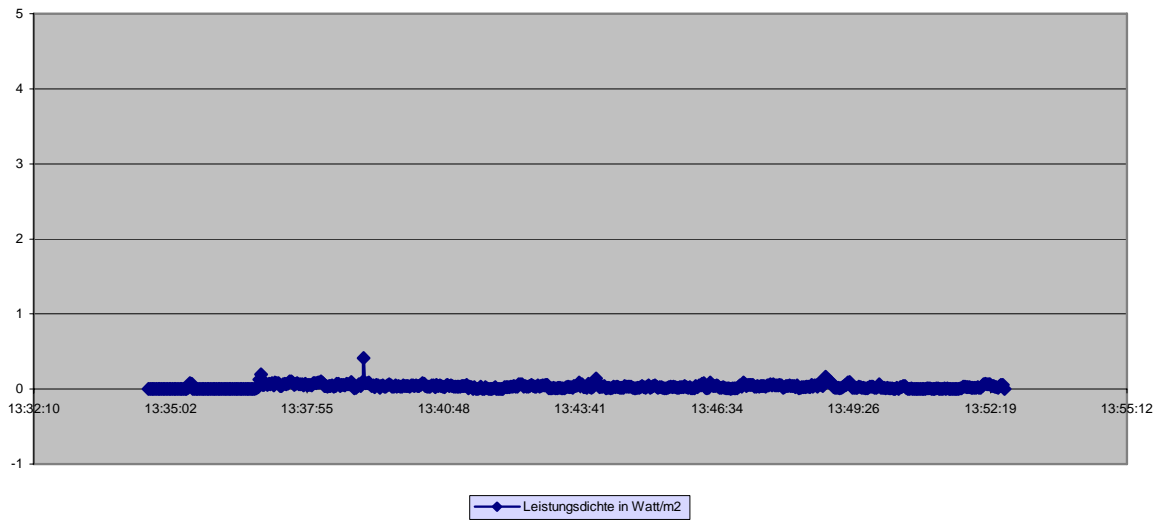


Abbildung 123

EMR-Feldsonde, Leistungsdichte, PKW Sierra, 4 Personen mit 4 Handys (3 mal GSM 900 und 1 mal GSM 1800) mit und ohne Sprechen, 19.05.2006

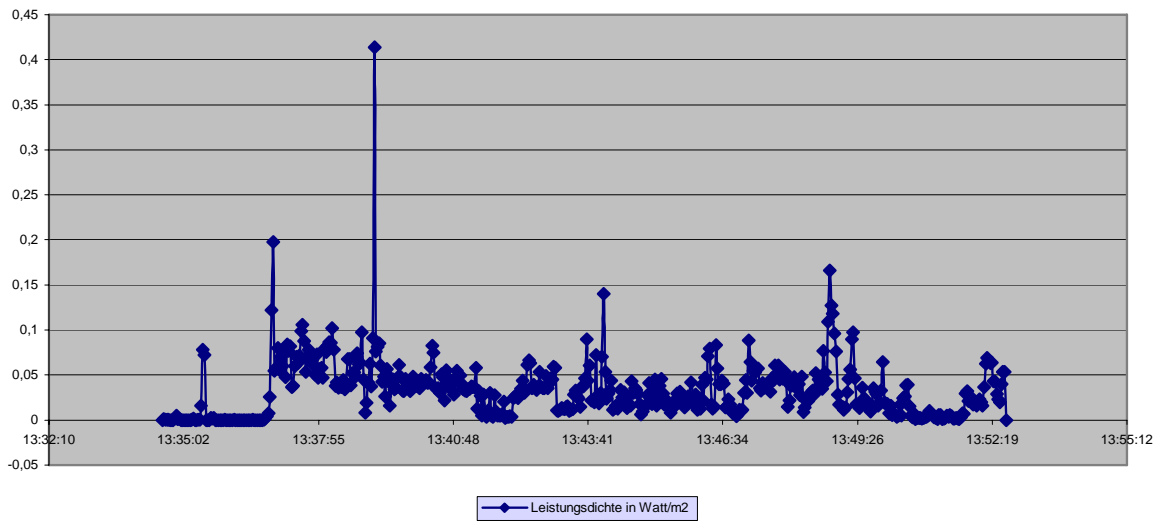


Abbildung 124

START						
EMR-300 - H-0005 - V03,01	Probe: 18	type: E	Date: 05-19-2006			
Calibr Factor: 1,000	Unit: W/m*m	Max: OFF	Average: OFF			
Index	Time	x	y	z	Eff	
66	13:36:45,0	0,0002	0,0002	0,0002	0,0006	13:36:45
67	13:36:47,0	0,0001	0,0003	0,0013	0,0017	13:36:47
68	13:36:49,0	0,0015	0,0007	0,0022	0,0044	13:36:49
69	13:36:51,0	0,0024	0,0035	0,0015	0,0074	13:36:51
70	13:36:53,0	0,0121	0,004	0,0099	0,026	13:36:53
71	13:36:55,0	0,0561	0,017	0,049	0,1221	13:36:55
72	13:36:57,0	0,0846	0,0238	0,0891	0,1975	13:36:57
73	13:36:59,0	0,0087	0,013	0,0333	0,055	13:36:59
74	13:37:01,0	0,0085	0,0164	0,0333	0,0582	13:37:01
75	13:37:03,0	0,0133	0,0426	0,0244	0,0803	13:37:03
76	13:37:05,0	0,0079	0,031	0,017	0,0559	13:37:05
77	13:37:07,0	0,0151	0,0307	0,0246	0,0704	13:37:07
78	13:37:09,0	0,0085	0,0333	0,0179	0,0597	13:37:09
79	13:37:11,0	0,0103	0,0487	0,0205	0,0795	13:37:11
80	13:37:13,0	0,0086	0,0082	0,0311	0,0479	13:37:13
81	13:37:15,0	0,013	0,0477	0,0233	0,084	13:37:15
82	13:37:17,0	0,0102	0,0453	0,0214	0,0769	13:37:17
83	13:37:19,0	0,0107	0,0382	0,0331	0,082	13:37:19
84	13:37:21,0	0,0081	0,0015	0,027	0,0366	13:37:21
85	13:37:23,0	0,0091	0,0045	0,0246	0,0382	13:37:23
86	13:37:25,0	0,0088	0,0293	0,0221	0,0602	13:37:25
87	13:37:27,0	0,0107	0,0297	0,0299	0,0703	13:37:27
88	13:37:29,0	0,0106	0,0321	0,0204	0,0631	13:37:29
89	13:37:31,0	0,0166	0,0292	0,0257	0,0715	13:37:31
90	13:37:33,0	0,0281	0,0489	0,0218	0,0988	13:37:33
91	13:37:35,0	0,0373	0,0517	0,0168	0,1058	13:37:35
92	13:37:37,0	0,0196	0,0435	0,0244	0,0875	13:37:37
93	13:37:39,0	0,0094	0,0102	0,0341	0,0537	13:37:39
94	13:37:41,0	0,0118	0,0254	0,031	0,0682	13:37:41
95	13:37:43,0	0,0092	0,0392	0,0298	0,0782	13:37:43
96	13:37:45,0	0,0098	0,0346	0,0217	0,0661	13:37:45
97	13:37:47,0	0,0099	0,0351	0,0221	0,0671	13:37:47
98	13:37:49,0	0,009	0,0285	0,0236	0,0611	13:37:49
99	13:37:51,0	0,0159	0,0125	0,0219	0,0503	13:37:51
100	13:37:53,0	0,0123	0,0422	0,0183	0,0728	13:37:53
101	13:37:55,0	0,0087	0,0292	0,0093	0,0472	13:37:55
102	13:37:57,0	0,0119	0,037	0,008	0,0569	13:37:57
103	13:37:59,0	0,0108	0,0392	0,0079	0,0579	13:37:59
104	13:38:01,0	0,008	0,0344	0,0046	0,047	13:38:01
105	13:38:03,0	0,013	0,0416	0,0245	0,0791	13:38:03
106	13:38:05,0	0,0206	0,0078	0,047	0,0754	13:38:05
107	13:38:07,0	0,0139	0,0387	0,0299	0,0825	13:38:07
108	13:38:09,0	0,0082	0,0595	0,0187	0,0864	13:38:09
109	13:38:11,0	0,0131	0,056	0,0168	0,0859	13:38:11
110	13:38:13,0	0,0153	0,0732	0,0136	0,1021	13:38:13
111	13:38:15,0	0,0255	0,0165	0,0359	0,0779	13:38:15

Tabelle 22

Die **Abbildung 125** zeigt die Sendeleistung am Monitor A eines GSM 900-Handys (Nokia 6150 im A1-Netz). Ein Regelvorgang lässt sich feststellen, den größten Teil der Zeit jedoch sendet das Handy mit der maximal möglichen Leistung von 2 Watt.

In **Abbildung 127** ist Monitor B dargestellt, ebenfalls mit einem Nokia 6150-Handy, ebenfalls im A1-Netz bei 900 MHz. Hier ist ein etwas stärkerer Regelvorgang zu erkennen.

In **Abbildung 129**, ebenfalls GSM 900 im A1-Netz, jedoch mit einem anderen Nokia-Gerät, dem Typ 8210, ist ein nur ganz schwach ausgeprägter Regelvorgang zu erkennen, d. h. bei den GSM-900-Mobiltelefonen ist eine recht starke mittlere Sendeleistung festzustellen, sodass hier ideale Rahmenbedingungen vorliegen würden, um Feldstärkeüberhöhungen zu messen.

Es wurde auch ein im GSM 1800-Netz sendendes Mobiltelefon verwendet. **Abbildung 131** zeigt das in Monitor C arbeitende Nokia 8210 im „Mobilfunknetz One“. Typisch für dieses Netz an diesem Messort war ein extrem schnelles Regelverhalten, sodass das Gerät sofort auf den niedrigen Wert herunter geregelt wurde. Der eingeschwungene geregelte Wert (ohne Anfangswert von 1 W) von 0,003 Watt zeigt, dass der Beitrag für GSM 1800 für eine Feldstärkeüberhöhung an diesem Messort zu vernachlässigen ist.

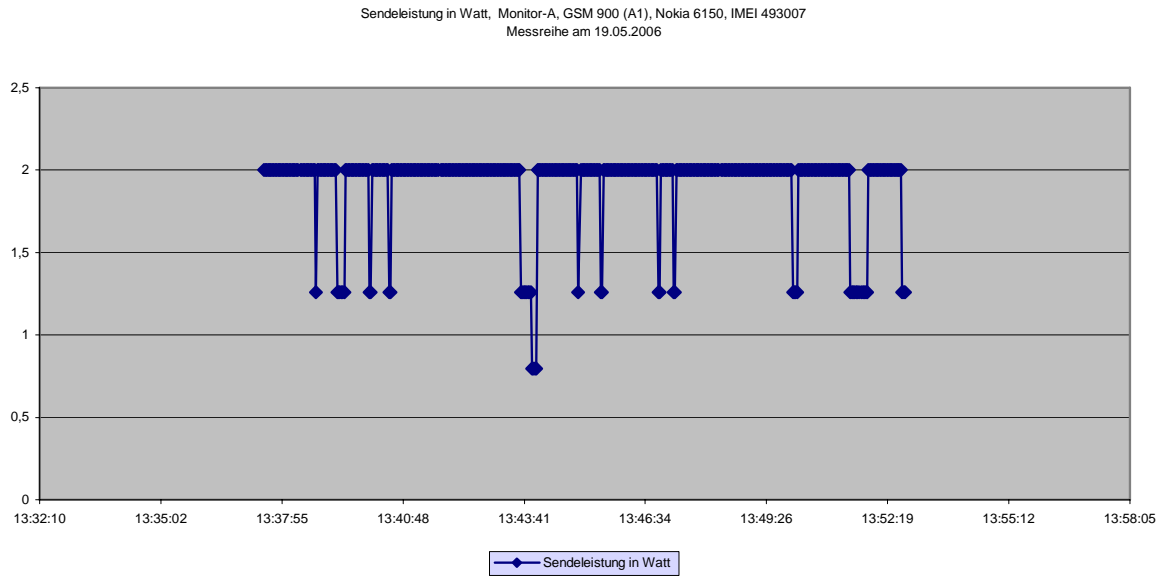


Abbildung 125 (gemittelte Sendeleistung = 1,9 Watt)

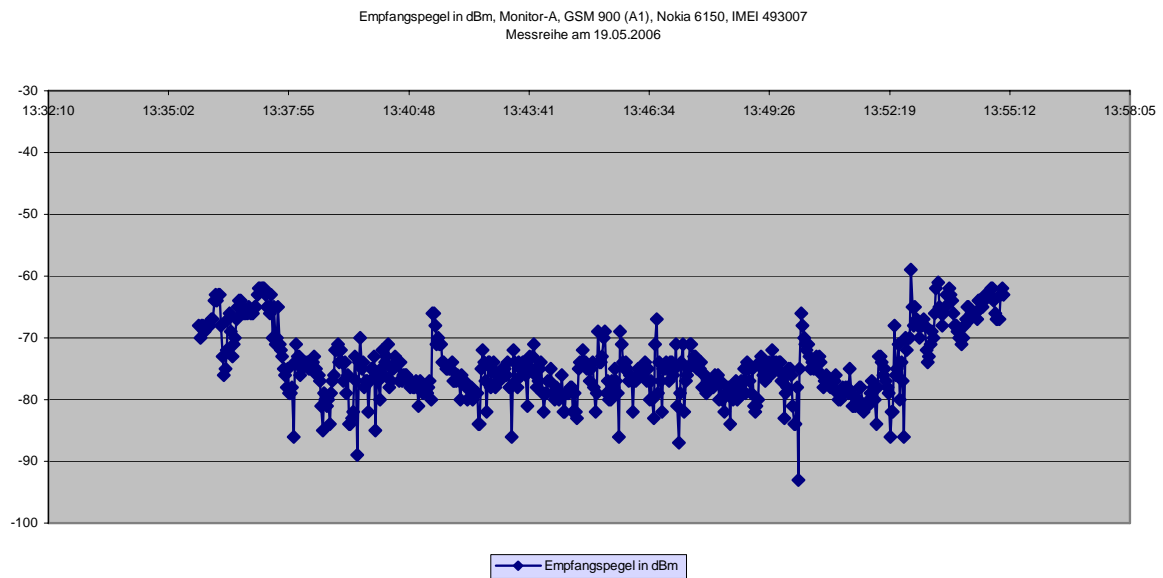


Abbildung 126

Monitor B, Log starting at 20060519132315(2.3.2.619R / NOKIA 6150 (2360/ 5.22) on FBUS / 493009102667487)

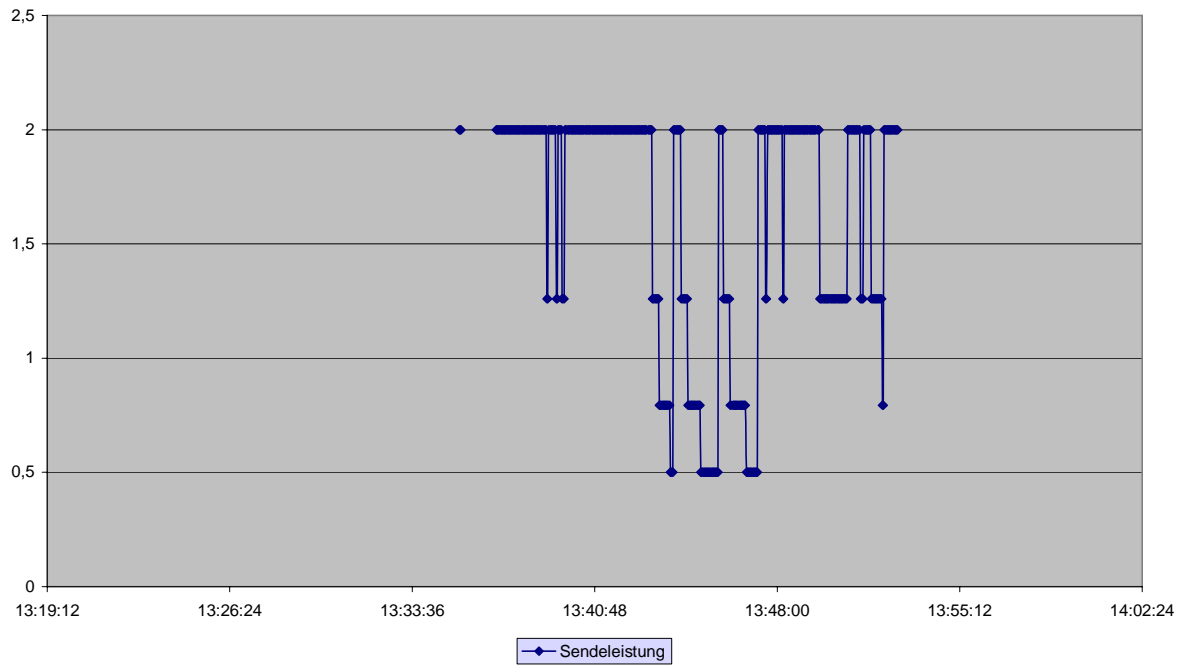


Abbildung 127 (gemittelte Sendeleistung = 1,6 Watt)

Monitor B, Log starting at 20060519132315(2.3.2.619R / NOKIA 6150 (2360/ 5.22) on FBUS / 493009102667487)

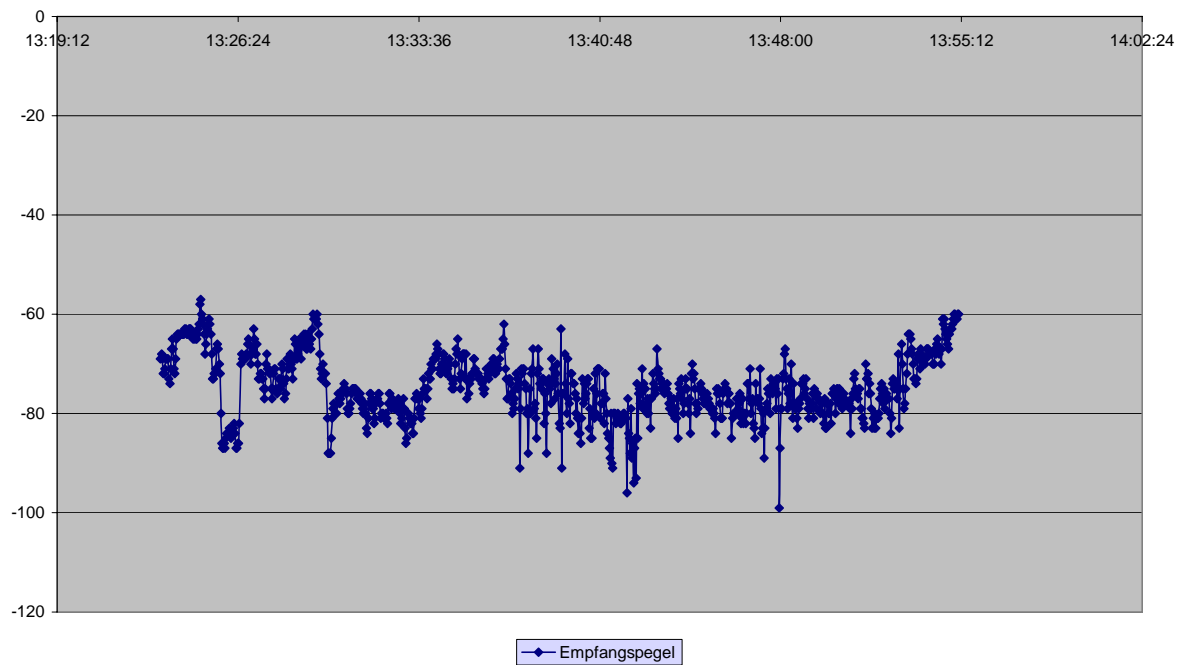


Abbildung 128

Monitor-D, GSM 900 (A1), Nokia 8210, 350613, 19.05.2006

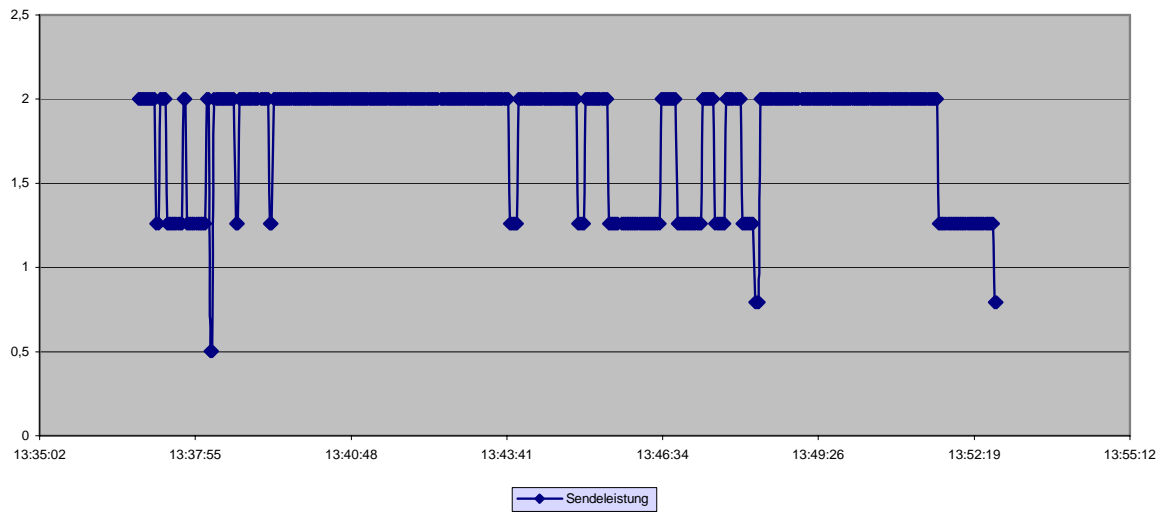


Abbildung 129 (gemittelte Sendeleistung = 1,8 Watt)

Monitor-D, GSM 900 (A1), Nokia 8210, IMEI 350613, 19.05.2006

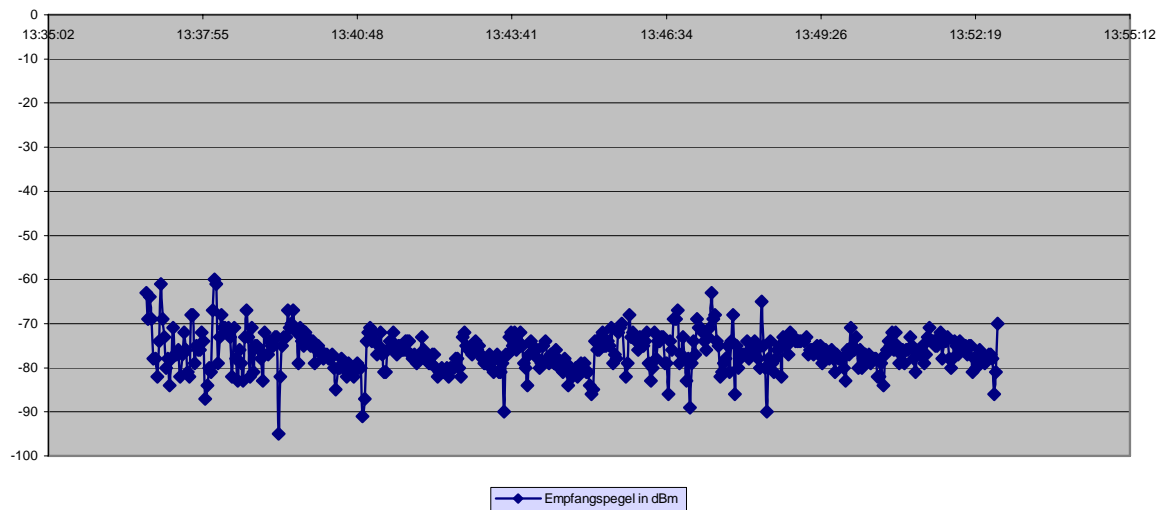
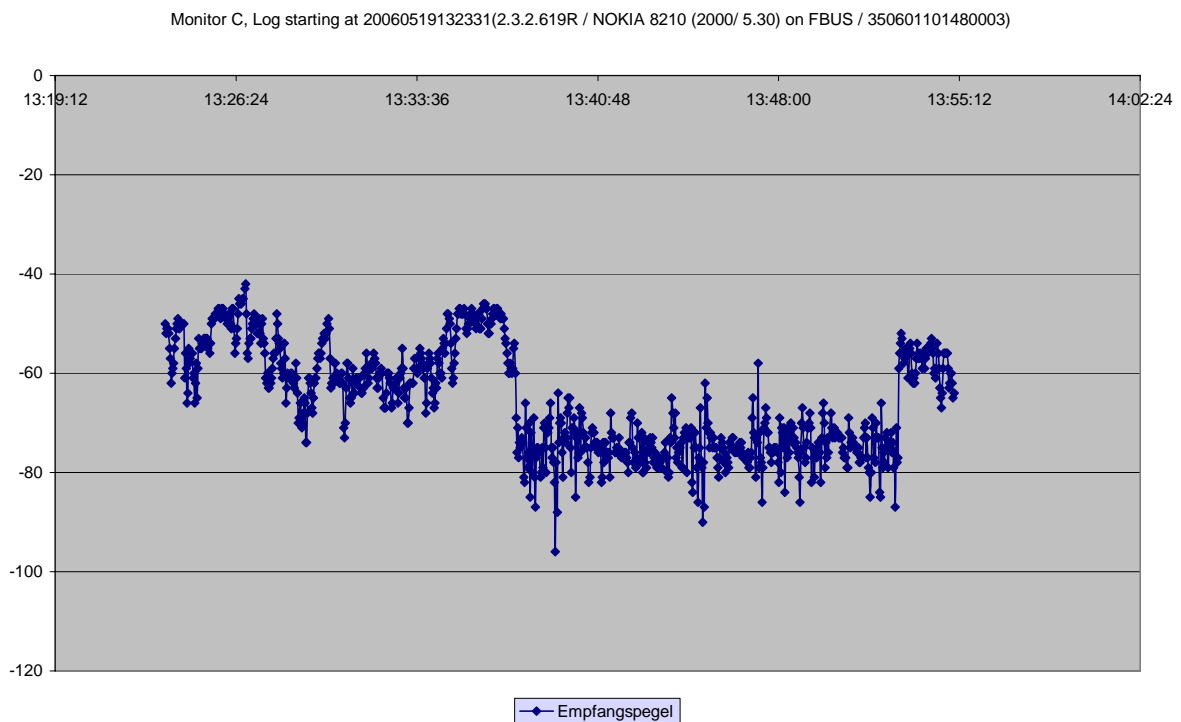
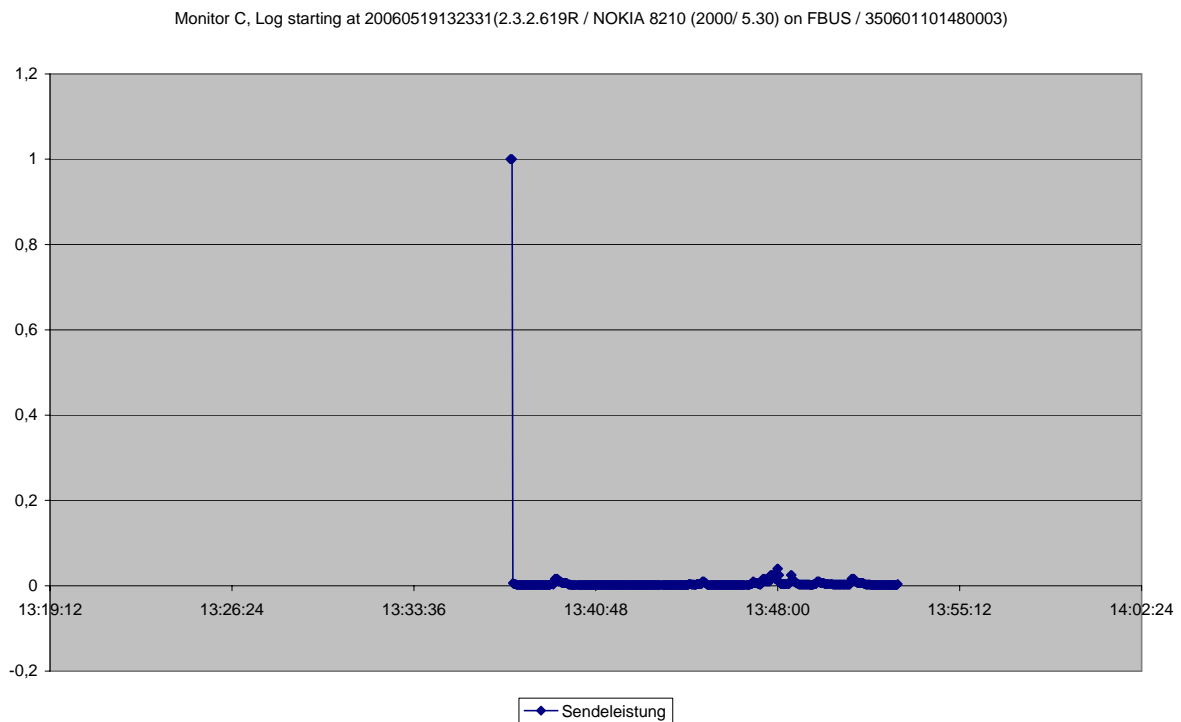


Abbildung 130



Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es selbst in einem Fahrzeug mit wenig Platz im Inneren und bei geschlossenem Schiebedach (bei offenem Schiebedach ist kein Unterschied festzustellen) nirgends an den gemessenen Stellen zu Feldstärkeüberhöhungen kam.

9.6 Mess-Szenario Aufzug

9.6.1 Allgemein und Leerlaufmessungen

Ein ebenfalls durchzuführendes Szenario waren die Messungen im Aufzug. Hier sollte untersucht werden, ob telefonierende Personen im Aufzug eine Feldstärkeüberhöhung durch Reflexionen erzeugen können.

Verwendet wurden zwei Nokia 8210-Telefone und sechs Nokia 6150-Telefone.

Es wurde zweimal im D1-Netz bei 900 MHz, einmal im E-Netz bei 1800 MHz und viermal im D2-Netz bei 900 MHz gemessen. Beim D1- und beim D2-Netz kann jedoch nicht sicher davon ausgegangen werden, dass die Mobilteile immer im 900 MHz-Frequenzbereich senden. Da beide Netzbetreiber auch 1800er-Frequenzen besitzen, kann jederzeit ein Wechsel in einen 1800er-Kanal auftreten. Dies ist durch die telefonierende Person nicht zu beeinflussen.

Es werden verschiedene Szenarien innerhalb der Aufzugsmessungen untersucht:

- Messungen ohne Personen im Leerlauf im Aufzug
- Messungen mit vier Personen mit je einem Handy ohne Telefonate im Aufzug
- Messungen mit aktiven Telefonaten und Personen
 - außerhalb und
 - innerhalb des Aufzuges.

Bei den Aufzugsszenarien wird wiederum unterschieden zwischen:

- offener Tür und
- geschlossener Tür und
- mit und
- ohne Sprechen.

In der Variante ohne Sprechen wird nach einiger Zeit der DTX-Modus eingeschaltet und die Mobiltelefone senden nur noch mit einem Bruchteil der sonst üblichen Leistung.

Bei dem UMTS-Einsatz des Mobiltelefons Nokia 6650 hat sich gezeigt, dass die UMTS-Feldstärke des genutzten Netzbetreibers an diesem Ort sehr gering ist, sodass – von den Netzbetreibern gewünscht und durch den Netzalgorithmus vorgesehen – das Mobilteil in ein GSM-Netz überwechselt. Nach dem Überwechseln in ein GSM-Netz sendet dieses ursprünglich als UMTS-Emission vorgesehene Gerät jedoch nicht mehr auf der UMTS-Frequenz, sondern auf einer GSM-Frequenz. Dies lässt sich erst bei der Auswertung der Messergebnisse im Nachhinein feststellen. Um nicht das Szenario unwissentlich zu verändern, wurde, nachdem festgestellt wurde, dass kein länger andauernder UMTS-Betrieb an diesem Ort möglich ist, auf die UMTS-Nutzung verzichtet.

Abbildung 133 und **Abbildung 134** zeigen den Aufzug.

Abbildung 135 zeigt den Messaufbau mit 4 Personen vor dem Aufzug.

Abbildung 136 zeigt die 4 Personen im Aufzug und **Abbildung 137** den Messvorgang (hier für das Foto mit geöffneter Aufzugstür) im Aufzug.

Abbildung 138 zeigt die EMR-Messungen ohne Personen, sogenannte Leerlaufmessungen. Die **Abbildung 139** ist die **Abbildung 138** in tausendfacher Vergrößerung, auch in tausendfacher Vergrößerung ist keine Feldstärke im Leerlauf erkennbar.



Abbildung 133



Abbildung 134



Abbildung 135



Abbildung 136



Abbildung 137

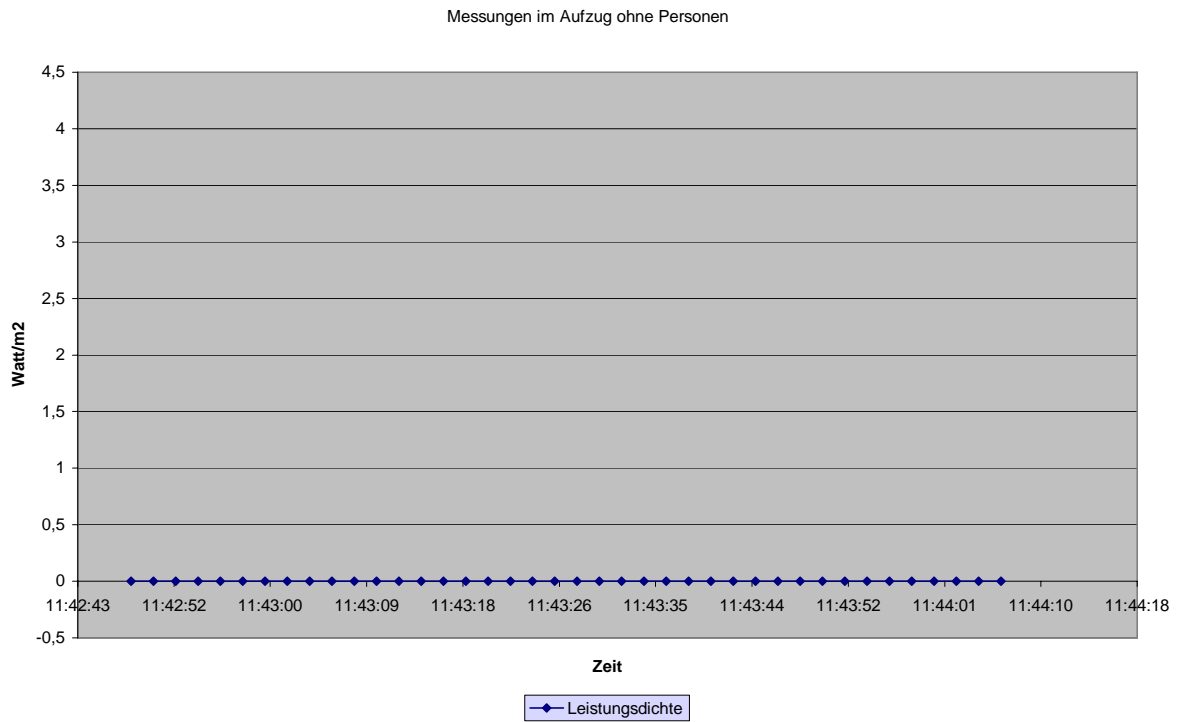


Abbildung 138

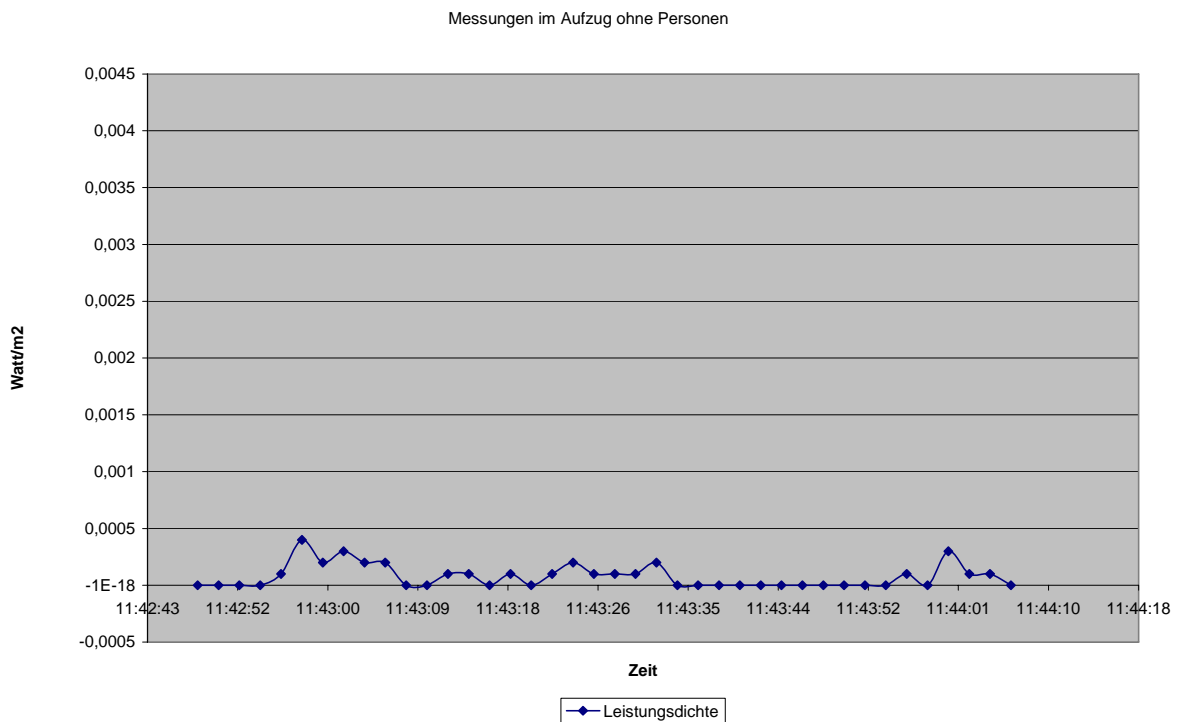


Abbildung 139

Abbildung 140 und **Abbildung 141** zeigen dasselbe Szenario zu der Zeit 10:02 bis 10:07. Hier wurden EMR-Messungen mit eingeschalteten Handys und mit Personen ohne Telefonate durchgeführt. Die zugehörige Abbildung ist die **Abbildung 135**. Die **Abbildung 141** ist die **Abbildung 140** in tausendfacher Vergrößerung.

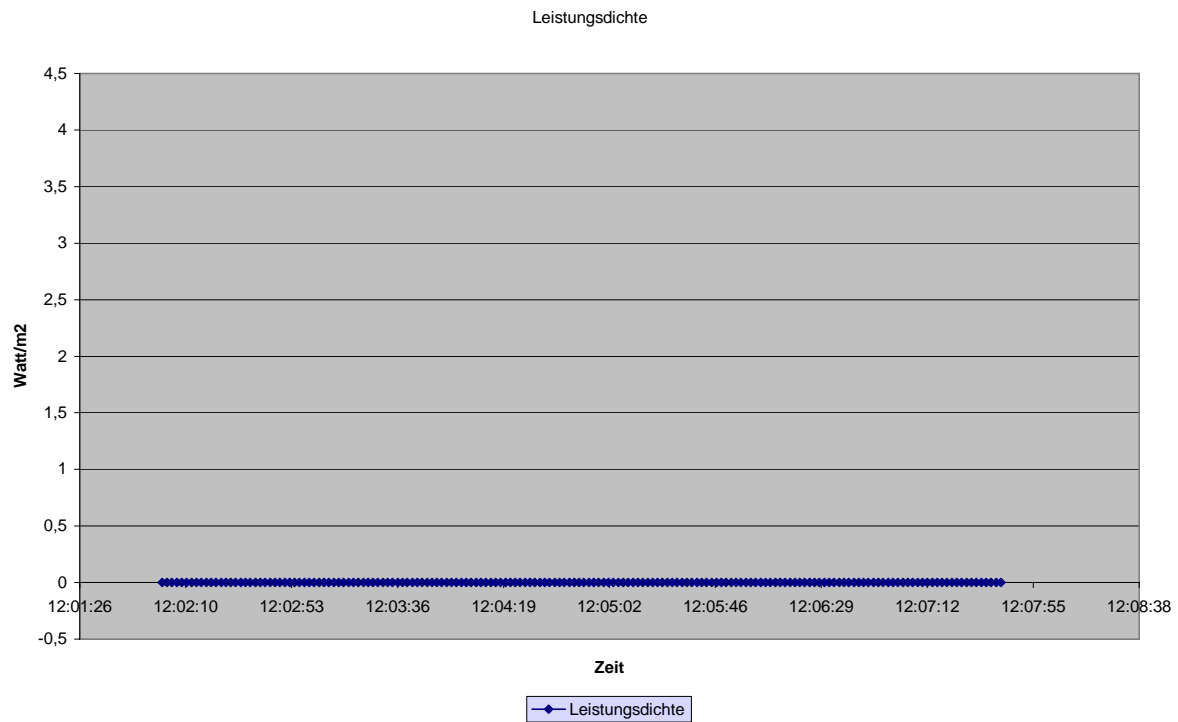


Abbildung 140

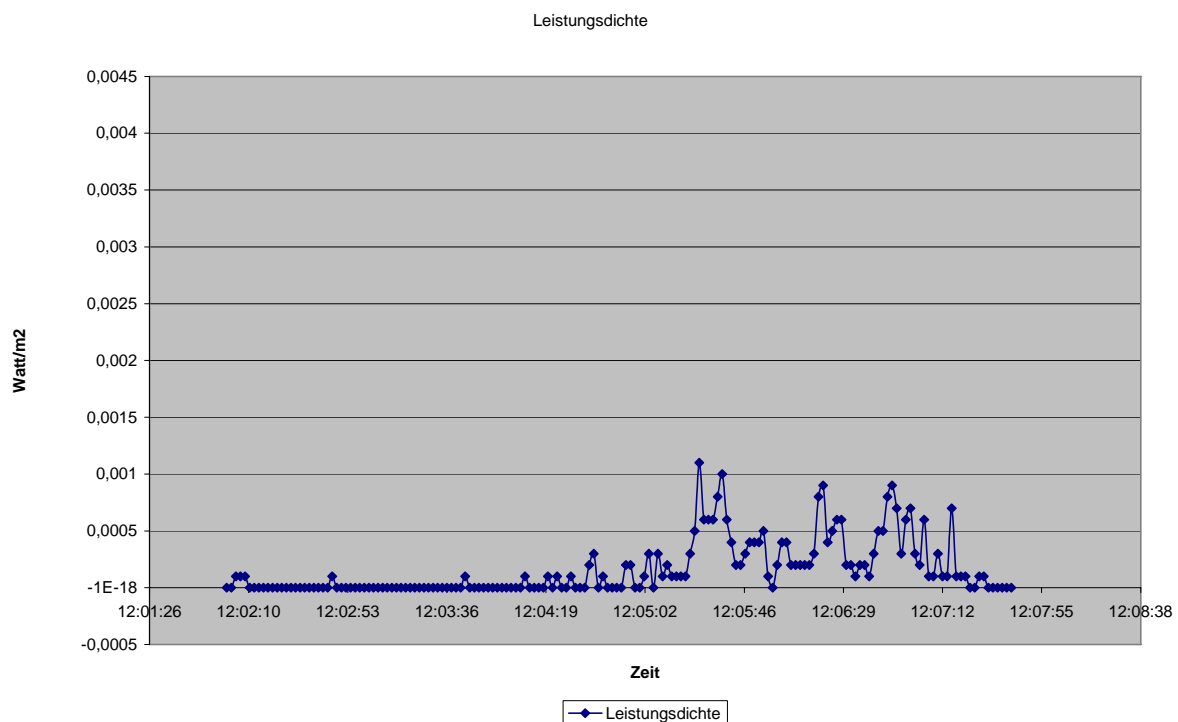


Abbildung 141 (in 1000-facher Vergrößerung)

Abbildung 142 und **Abbildung 143**, wobei **Abbildung 143** die 10-fache Vergrößerung darstellt, zeigen jetzt die Szenarien außerhalb des Aufzuges als Wiederholungsmessung:

- im Aufzug ohne Sprechen,
- im Aufzug mit Sprechen
 - bei offener und
 - bei geschlossener Tür.

Die jeweiligen äußeren Parameter wie Sprechen und Aufenthaltsort der Personen sind durch Fotos in die Diagramme einkopiert.

Es zeigt sich, dass bei aktiven Telefonaten außerhalb des Aufzuges es zu keiner Feldstärkeüberhöhung kommt. Auch im Aufzug sind in der Variante ohne Sprechen keine relevanten Feldstärkewerte zu erkennen.

In dem Moment, in dem mit dem Sprechen begonnen wird, ist eine Emission durch die Geräte vorhanden, diese ist in der 10-fachen Vergrößerung zu erkennen. Bei geschlossenen Aufzugstüren ist die Emission etwas höher, aber die Spitzen sind davon abhängig, wie dicht die Mess-Sonde an den Handys vorbei geführt wird. In **Abbildung 137** ist die geführte Mess-Sonde zu erkennen. **Abbildung 136** zeigt die Personen innerhalb des Aufzuges. Die Phase mit geschlossener Aufzugstür wurde selbstverständlich gemessen und beschrieben, hierzu konnten jedoch keine Bilder gemacht werden, da ein Fotografieren im Aufzug aufgrund der geringen Entfernung nicht möglich war.

In der **Tabelle 23** ist ein Auszug aus den EMR-Daten aufgelistet.

Abbildung 144 zeigt das Diagramm der Sendeleistung für ein im D1-Netz eingebuchtes Mobiltelefon; **Abbildung 145** den zugehörigen Empfangspegel. Der Zeitbereich umfasste Messungen außerhalb und innerhalb des Aufzuges und innerhalb des Aufzuges mit geschlossener Aufzugstür. Es ist zu erkennen, dass der Empfangspegel im Aufzug bei geschlossener Aufzugstür sehr gering ist, mit -100 dBm befindet er sich an der technischen Empfangsgrenze, die Sendeleistung arbeitet daher auch immer mit 2 Watt.

Die **Tabelle 24** zeigt für dieses eingesetzte Telefon die Netzmonitordaten. Es ist zu sehen, dass die Sendeleistung im Zeitauszug 12:25:49 bis 12:27:33 konstant bei 2 Watt bleibt und die Anzeige der Kanalnummer bedeutet, dass der Kanal nicht gewechselt wird. Der Netzbetreiber hat die Netz-ID 26201, d. h. D1-T-Mobile.

Abbildung 146 bis **Abbildung 151** zeigen die Sendeleistungen in mW und die Empfangspegel für im D2-Netz eingebuchte Telefone. Hier ist der Regelvorgang außerhalb des Aufzuges stärker. Die Empfangsfeldstärke für das Mobilteil ist so hoch, dass es zu Regelvorgängen der Basisstation kommt.

In der Phase der geschlossenen Aufzugstür, das ist sowohl in **Abbildung 146** und **Abbildung 148** als auch in **Abbildung 150** zu erkennen, wird die Sendeleistung immer auf einen maximalen Wert von 2 Watt hoch geregelt.

9.6.2 Erste Messreihe im Aufzug

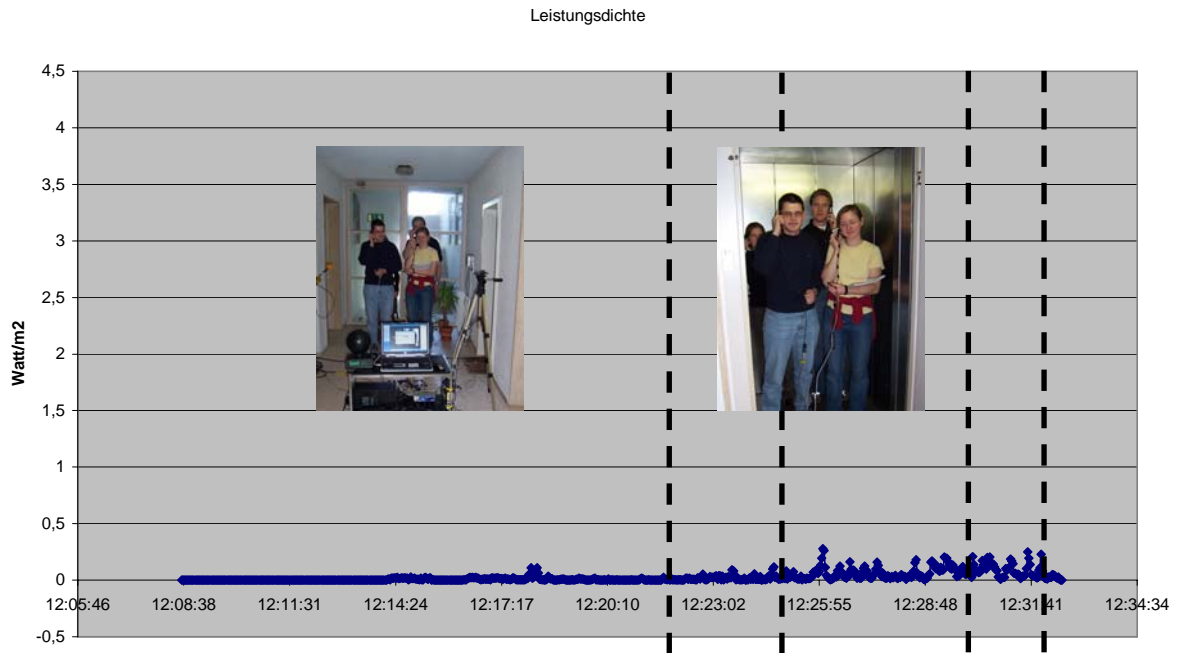


Abbildung 142

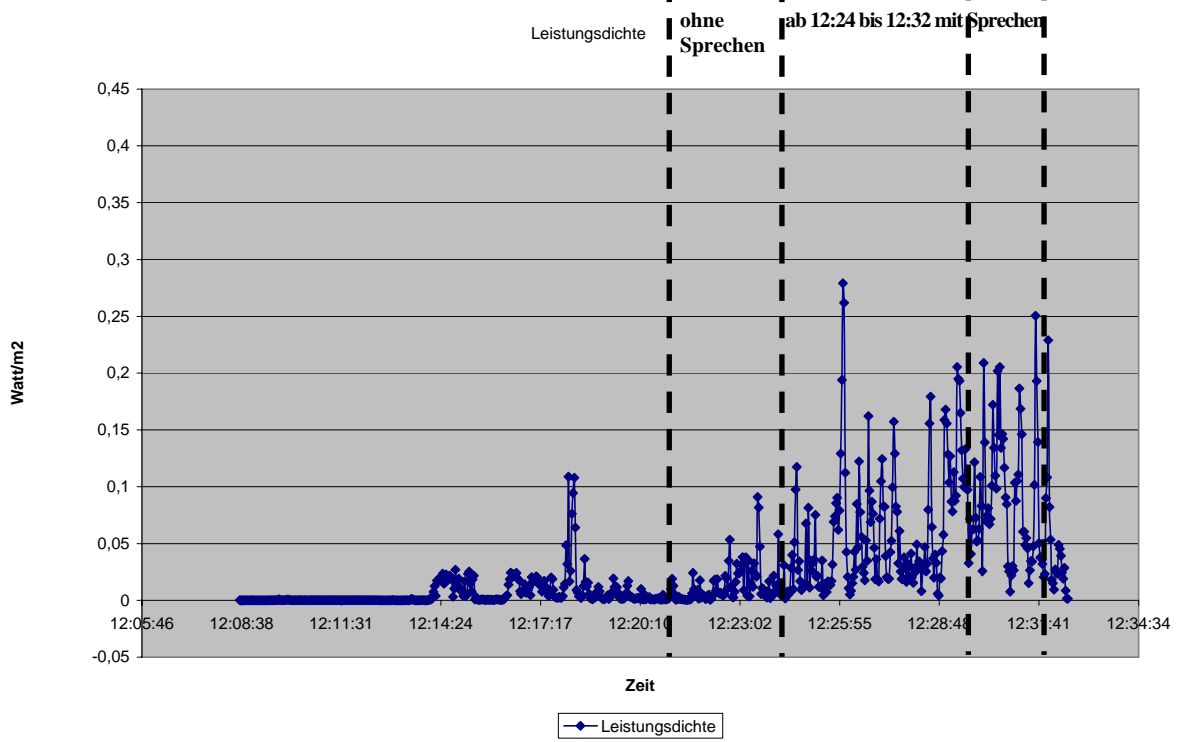


Abbildung 143

START							
EMR-300 - H-0005 - V03,01	Probe: 18	type: E	Date: 06-07-2006				
Calibr Factor: 0,900	Unit: W/m²m	Max: OFF	Average: OFF				
Index	Time	x	y	z	Eff		
633	12:29:39,0	0,0113	0,0143	0,0071	0,0327		12:29:39
634	12:29:41,0	0,0137	0,0361	0,0221	0,0719		12:29:41
635	12:29:43,0	0,0142	0,0162	0,0104	0,0408		12:29:43
636	12:29:45,0	0,0229	0,0303	0,009	0,0622		12:29:45
637	12:29:47,0	0,0256	0,0289	0,0081	0,0626		12:29:47
638	12:29:49,0	0,0524	0,0371	0,0321	0,1216		12:29:49
639	12:29:51,0	0,0313	0,0236	0,0179	0,0728		12:29:51
640	12:29:53,0	0,0242	0,0146	0,0128	0,0516		12:29:53
641	12:29:55,0	0,0326	0,0099	0,0103	0,0528		12:29:55
642	12:29:57,0	0,0223	0,0217	0,0189	0,0629		12:29:57
643	12:29:59,0	0,0191	0,052	0,0376	0,1087		12:29:59
644	12:30:01,0	0,0425	0,0196	0,0209	0,083		12:30:01
645	12:30:03,0	0,0117	0,0095	0,0045	0,0257		12:30:03
646	12:30:05,0	0,167	0,0267	0,0152	0,2089		12:30:05
647	12:30:07,0	0,0408	0,0755	0,0227	0,139		12:30:07
648	12:30:09,0	0,0182	0,0169	0,0349	0,07		12:30:09
649	12:30:11,0	0,0315	0,0239	0,0195	0,0749		12:30:11
650	12:30:13,0	0,0376	0,021	0,0226	0,0812		12:30:13
651	12:30:15,0	0,0227	0,0325	0,0117	0,0669		12:30:15
652	12:30:17,0	0,0421	0,0169	0,0126	0,0716		12:30:17
653	12:30:19,0	0,0545	0,0196	0,0269	0,101		12:30:19
654	12:30:21,0	0,1113	0,0295	0,0314	0,1722		12:30:21
655	12:30:23,0	0,0461	0,0327	0,0555	0,1343		12:30:23
656	12:30:25,0	0,05	0,0299	0,0298	0,1097		12:30:25
657	12:30:27,0	0,0298	0,0363	0,0322	0,0983		12:30:27
658	12:30:29,0	0,0809	0,0784	0,0426	0,2019		12:30:29
659	12:30:31,0	0,0599	0,0256	0,0602	0,1457		12:30:31
660	12:30:33,0	0,1084	0,0522	0,0448	0,2054		12:30:33
661	12:30:35,0	0,0867	0,0386	0,0087	0,134		12:30:35
662	12:30:37,0	0,0651	0,0387	0,0425	0,1463		12:30:37
663	12:30:39,0	0,0401	0,0638	0,0382	0,1421		12:30:39
664	12:30:41,0	0,042	0,0565	0,0183	0,1168		12:30:41
665	12:30:43,0	0,0538	0,0152	0,0216	0,0906		12:30:43
666	12:30:45,0	0,0403	0,0255	0,0188	0,0846		12:30:45
667	12:30:47,0	0,0022	0,0162	0,0116	0,03		12:30:47
668	12:30:49,0	0,0073	0,0064	0,0118	0,0255		12:30:49
669	12:30:51,0	0,0028	0,0026	0,0023	0,0077		12:30:51
670	12:30:53,0	0,0063	0,0066	0,0089	0,0218		12:30:53
671	12:30:55,0	0,0085	0,0087	0,013	0,0302		12:30:55
672	12:30:57,0	0,0128	0,0069	0,0067	0,0264		12:30:57
673	12:30:59,0	0,0497	0,0185	0,0354	0,1036		12:30:59
674	12:31:01,0	0,0223	0,048	0,0172	0,0875		12:31:01
675	12:31:03,0	0,0171	0,0607	0,0272	0,105		12:31:03
676	12:31:05,0	0,0247	0,0406	0,0454	0,1107		12:31:05
677	12:31:07,0	0,0752	0,0498	0,0615	0,1865		12:31:07
678	12:31:09,0	0,0367	0,0846	0,0473	0,1686		12:31:09
679	12:31:11,0	0,0655	0,0385	0,0422	0,1462		12:31:11

Tabelle 23

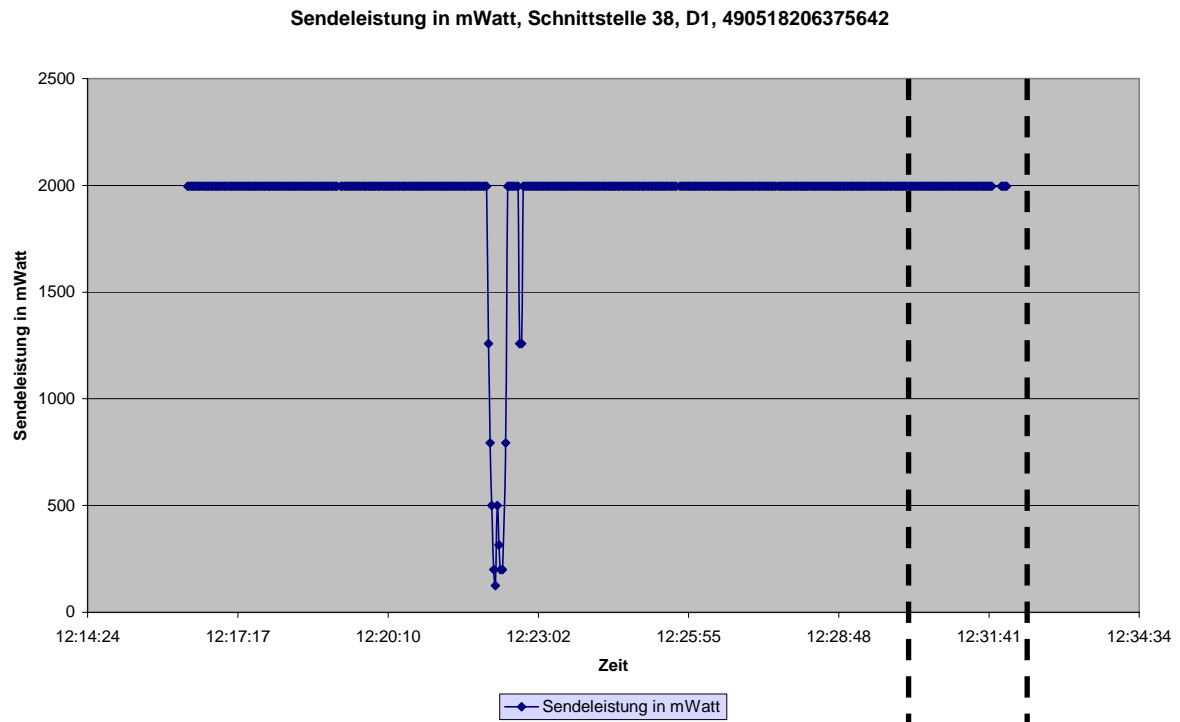


Abbildung 144

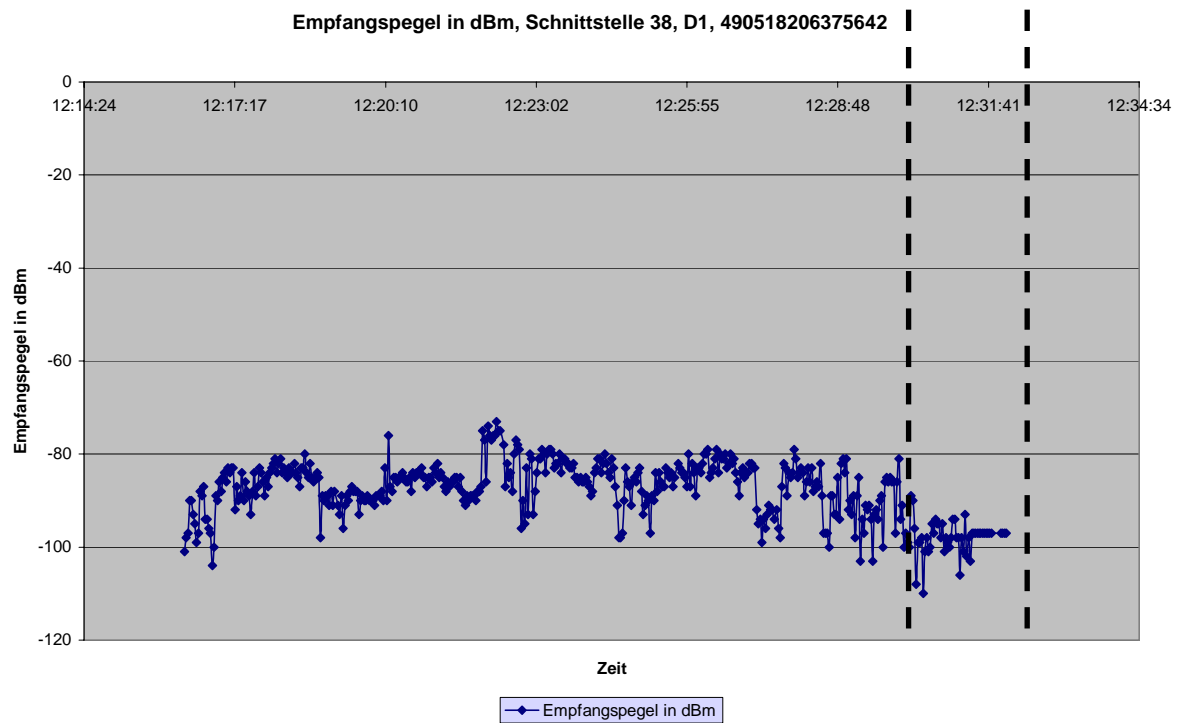


Abbildung 145

12:30-12:32
Aufzugstür
geschlossen

Datum	Uhrzeit	Cell-ID	Rufzone	Netz-ID	Empfangs- pegel in dBm	Sendelst. in mW	Kanal- nummer
07.06.2006	12:25:49	13393	25095	26201	-84	1995	35
07.06.2006	12:25:51	13393	25095	26201	-84	1995	35
07.06.2006	12:25:53	13393	25095	26201	-85	1995	35
07.06.2006	12:25:55	13393	25095	26201	-87	1995	35
07.06.2006	12:25:57	13393	25095	26201	-80	1995	35
07.06.2006	12:25:59	13393	25095	26201	-87	1995	35
07.06.2006	12:26:01	13393	25095	26201	-82	1995	35
07.06.2006	12:26:03	13393	25095	26201	-84	1995	35
07.06.2006	12:26:05	13393	25095	26201	-89	1995	35
07.06.2006	12:26:07	13393	25095	26201	-83	1995	35
07.06.2006	12:26:09	13393	25095	26201	-83	1995	35
07.06.2006	12:26:11	13393	25095	26201	-84	1995	35
07.06.2006	12:26:13	13393	25095	26201	-82	1995	35
07.06.2006	12:26:15	13393	25095	26201	-80	1995	35
07.06.2006	12:26:17	13393	25095	26201	-80	1995	35
07.06.2006	12:26:19	13393	25095	26201	-79	1995	35
07.06.2006	12:26:21	13393	25095	26201	-85	1995	35
07.06.2006	12:26:23	13393	25095	26201	-84	1995	35
07.06.2006	12:26:25	13393	25095	26201	-83	1995	35
07.06.2006	12:26:27	13393	25095	26201	-81	1995	35
07.06.2006	12:26:29	13393	25095	26201	-79	1995	35
07.06.2006	12:26:31	13393	25095	26201	-84	1995	35
07.06.2006	12:26:33	13393	25095	26201	-80	1995	35
07.06.2006	12:26:35	13393	25095	26201	-81	1995	35
07.06.2006	12:26:37	13393	25095	26201	-81	1995	35
07.06.2006	12:26:39	13393	25095	26201	-80	1995	35
07.06.2006	12:26:41	13393	25095	26201	-83	1995	35
07.06.2006	12:26:43	13393	25095	26201	-82	1995	35
07.06.2006	12:26:45	13393	25095	26201	-80	1995	35
07.06.2006	12:26:47	13393	25095	26201	-82	1995	35
07.06.2006	12:26:49	13393	25095	26201	-81	1995	35
07.06.2006	12:26:51	13393	25095	26201	-84	1995	35
07.06.2006	12:26:53	13393	25095	26201	-86	1995	35
07.06.2006	12:26:55	13393	25095	26201	-89	1995	35
07.06.2006	12:26:57	13393	25095	26201	-84	1995	35
07.06.2006	12:26:59	13393	25095	26201	-83	1995	35
07.06.2006	12:27:01	13393	25095	26201	-85	1995	35
07.06.2006	12:27:03	13393	25095	26201	-84	1995	35
07.06.2006	12:27:05	13393	25095	26201	-84	1995	35
07.06.2006	12:27:07	13393	25095	26201	-82	1995	35
07.06.2006	12:27:09	13393	25095	26201	-82	1995	35
07.06.2006	12:27:11	13393	25095	26201	-83	1995	35
07.06.2006	12:27:13	13393	25095	26201	-83	1995	35
07.06.2006	12:27:15	13393	25095	26201	-92	1995	35
07.06.2006	12:27:17	13393	25095	26201	-95	1995	35
07.06.2006	12:27:19	13393	25095	26201	-94	1995	35
07.06.2006	12:27:21	13393	25095	26201	-99	1995	35
07.06.2006	12:27:23	13393	25095	26201	-94	1995	29
07.06.2006	12:27:25	13393	25095	26201	-96	1995	29
07.06.2006	12:27:27	38021	25095	26201	-93	1995	29
07.06.2006	12:27:29	38021	25095	26201	-91	1995	29
07.06.2006	12:27:31	38021	25095	26201	-92	1995	29
07.06.2006	12:27:33	38021	25095	26201	-92	1995	29

Tabelle 24

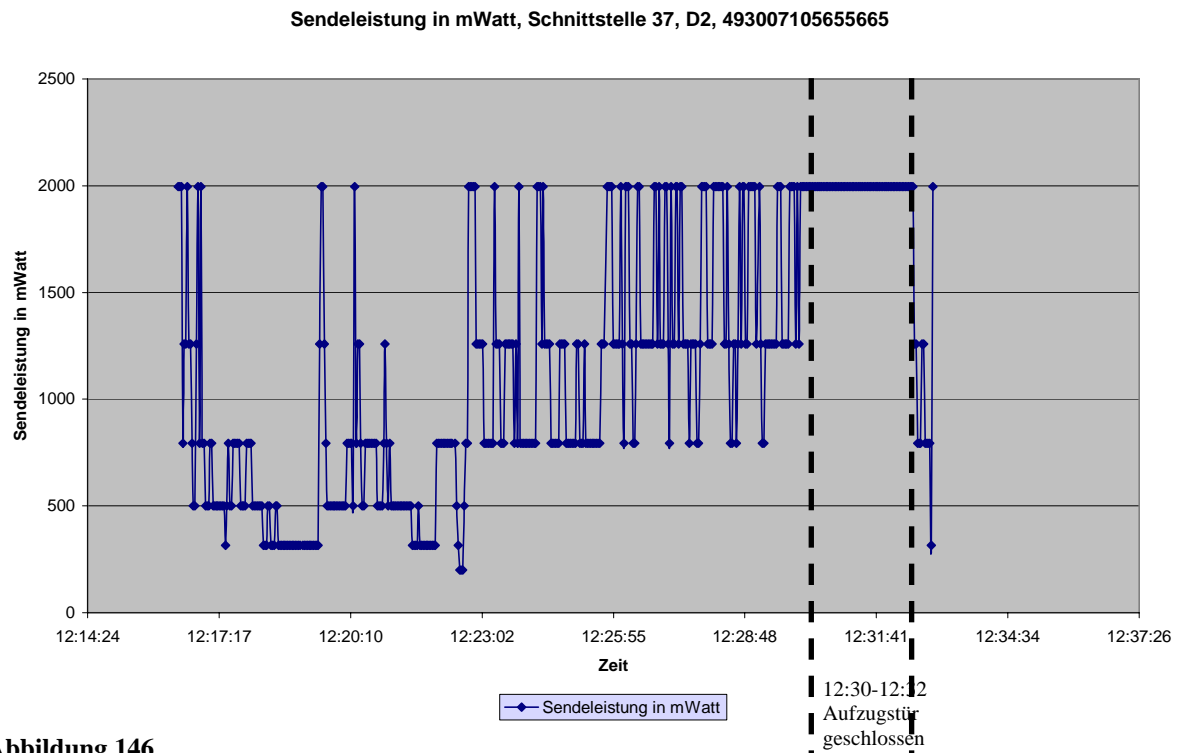


Abbildung 146

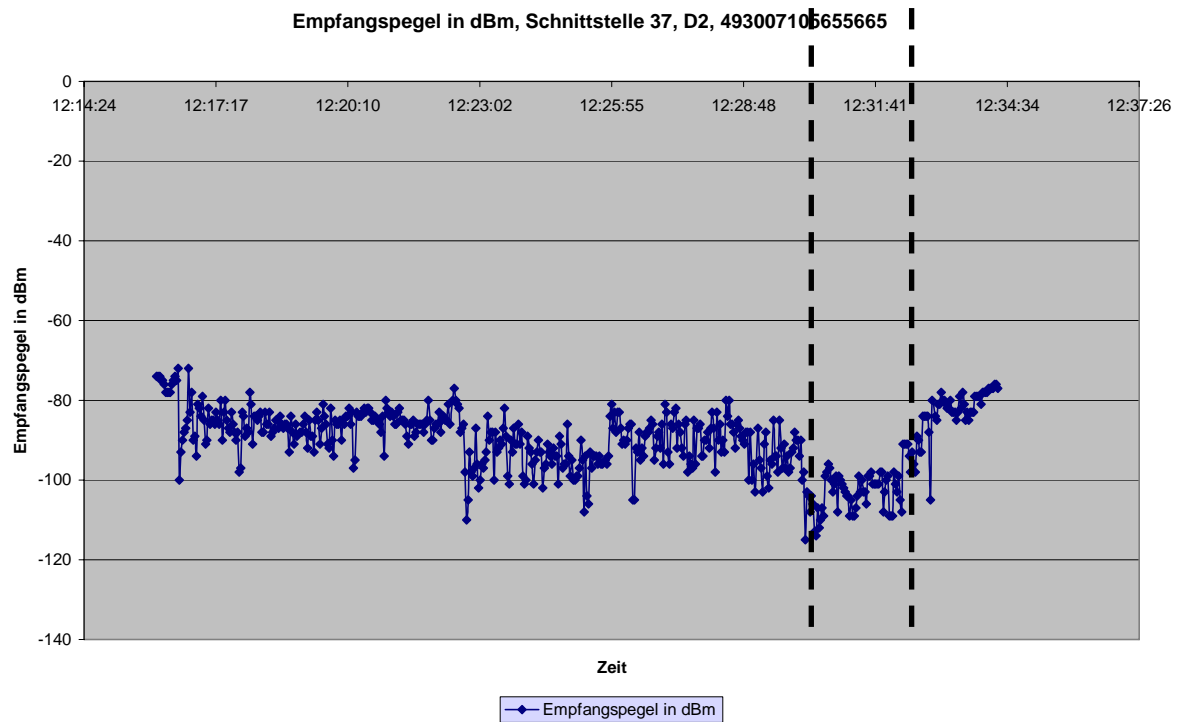


Abbildung 147

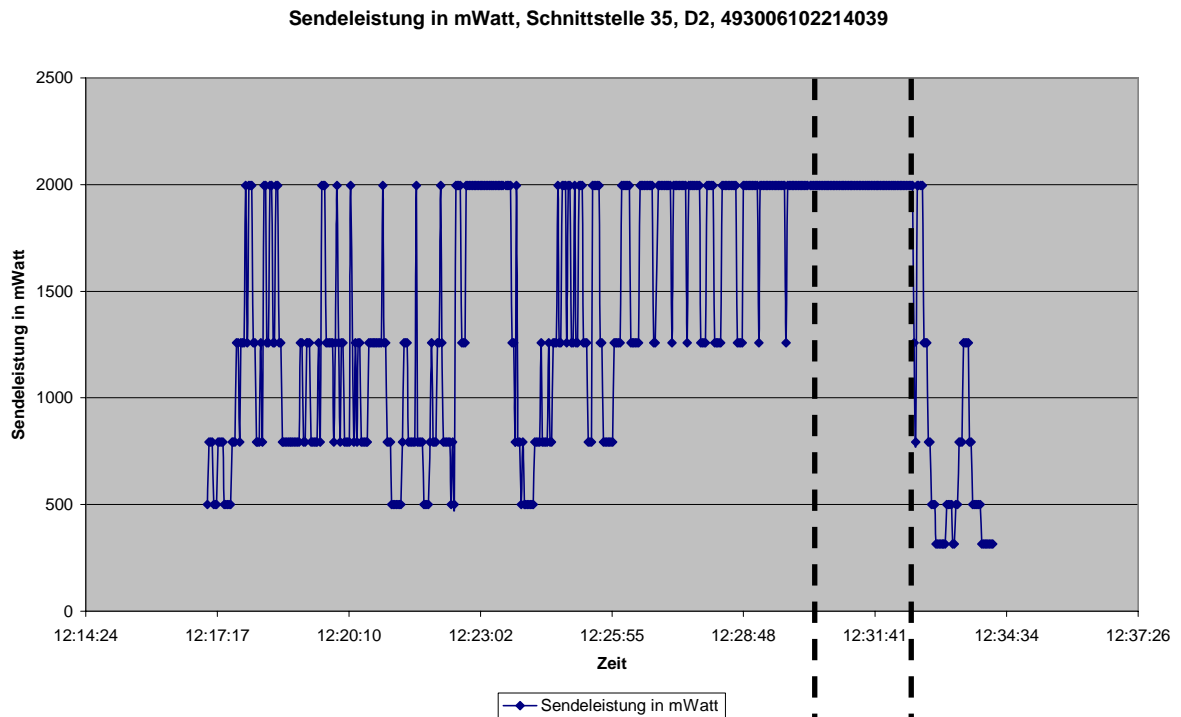


Abbildung 148

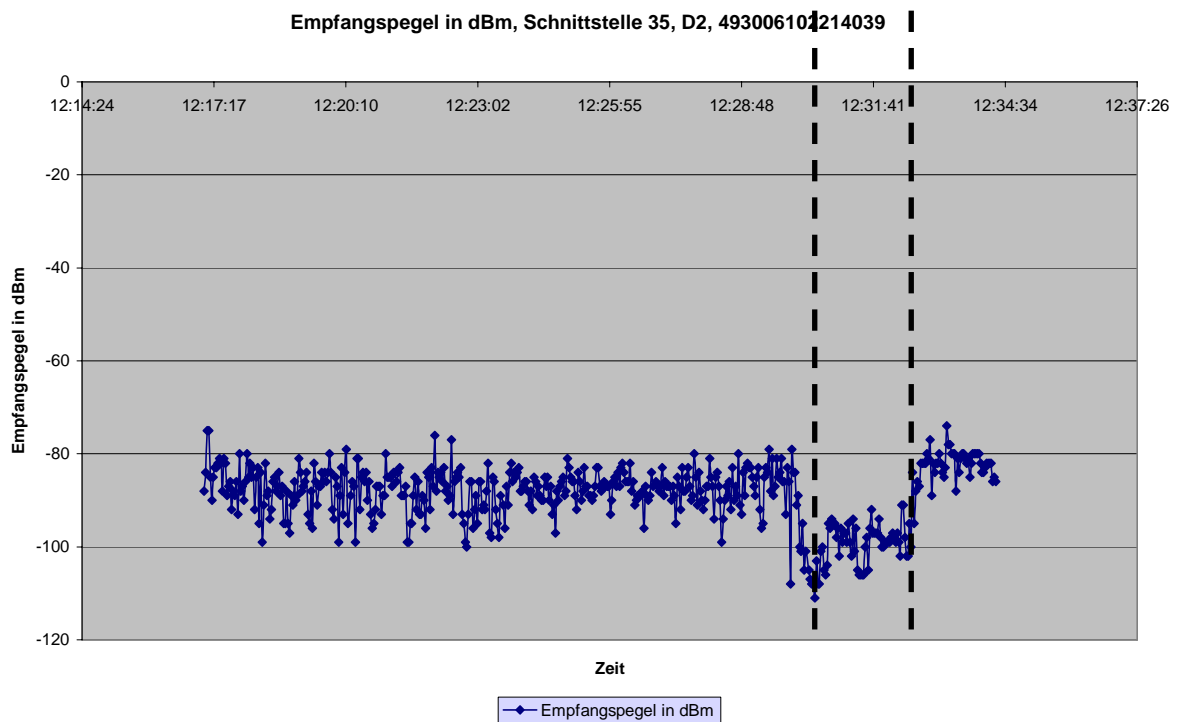


Abbildung 149

12:30-12:32
Aufzugstür
geschlossen

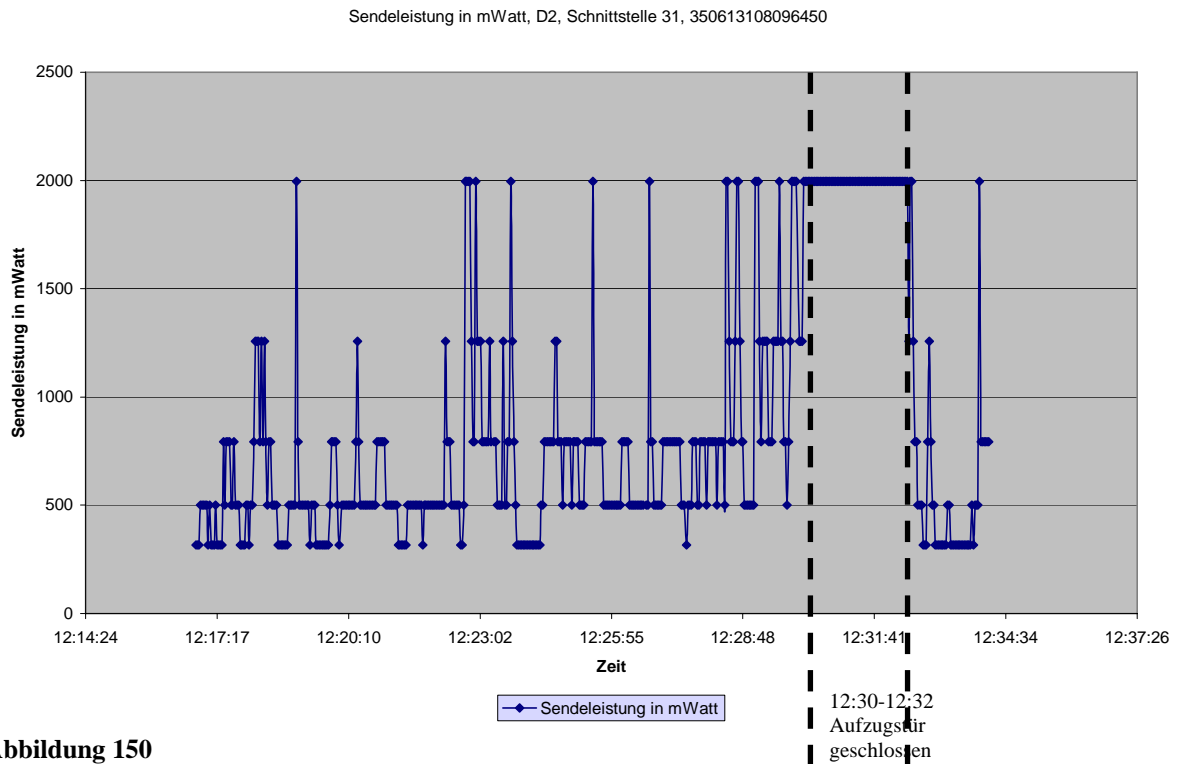


Abbildung 150

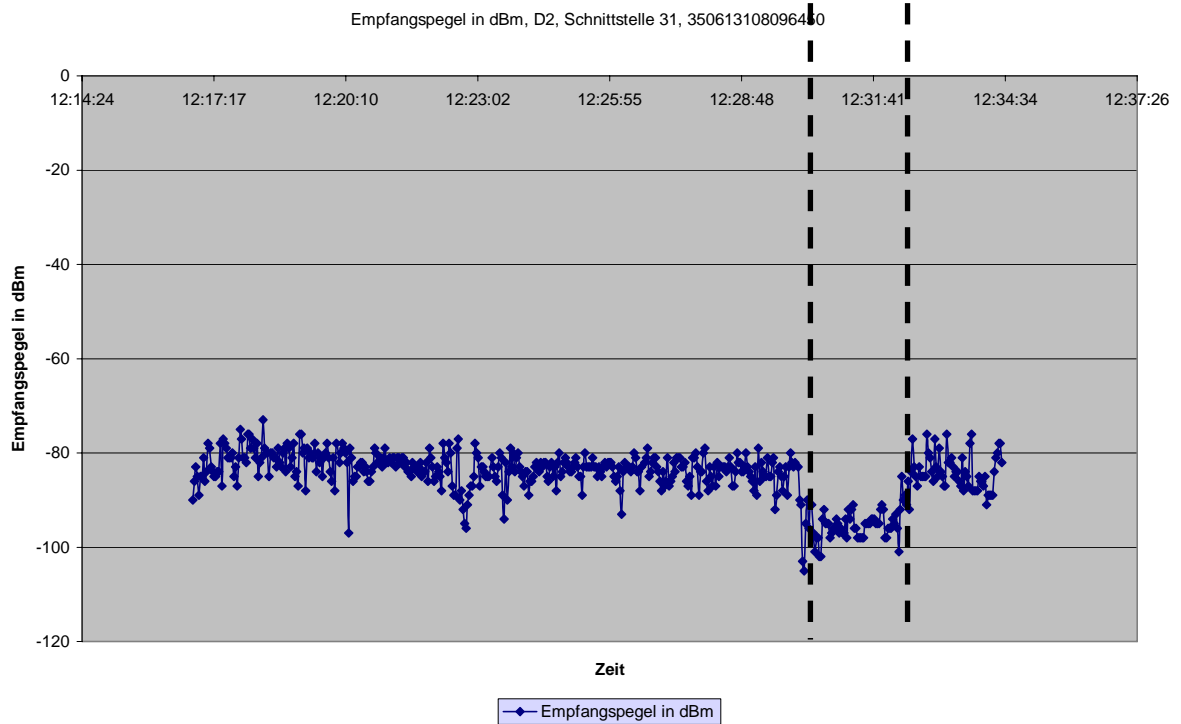


Abbildung 151

9.6.3 Zweite zusätzliche Messreihe zur Verifikation

Abbildung 152 und **Abbildung 153** zeigen die EMR-Feldstärkedaten der zweiten Messreihe im Aufzug. Diese zweite Messreihe wurde noch zusätzlich zur Verifikation durchgeführt. Es ist zu erkennen, dass erst ab dem Moment relevante Feldstärkewerte auftreten, ab dem gesprochen wird. Das ist verständlich, denn erst durch das Sprechen wird der DTX-Modus ausgeschaltet.

Es handelt sich hier um Messungen mit offener Aufzugstür.

Die Diagramme der Sendeleistungen und der Empfangspegel der verschiedenen Handys sind von **Abbildung 154** bis **Abbildung 163** dargestellt und die Werte in **Tabelle 25** und **Tabelle 26** gelistet.

Abbildung 164 und **Tabelle 27** zeigen die Sendeleistung für das UMTS-Gerät. Die Sendeleistung ist aufgrund der sehr niedrigen Empfangspegel höher. Eine konsequente Messung mit UMTS ließ sich, wie bereits anfangs des Kapitels erwähnt, nicht durchführen, da vom Netzregelalgorithmus die Verbindung vom UMTS-Netz in das an diesem Ort ebenfalls empfangbare GSM-1800-Netz des gleichen Netzbetreibers E-Plus übergeben wurden.

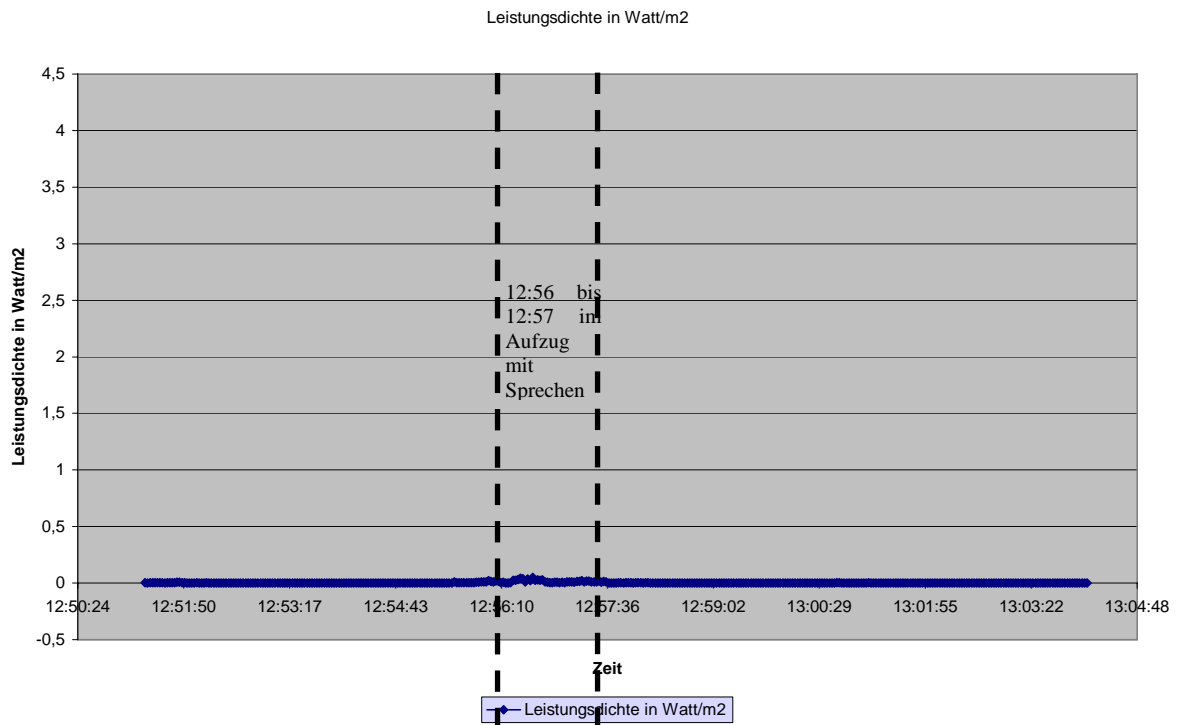


Abbildung 152

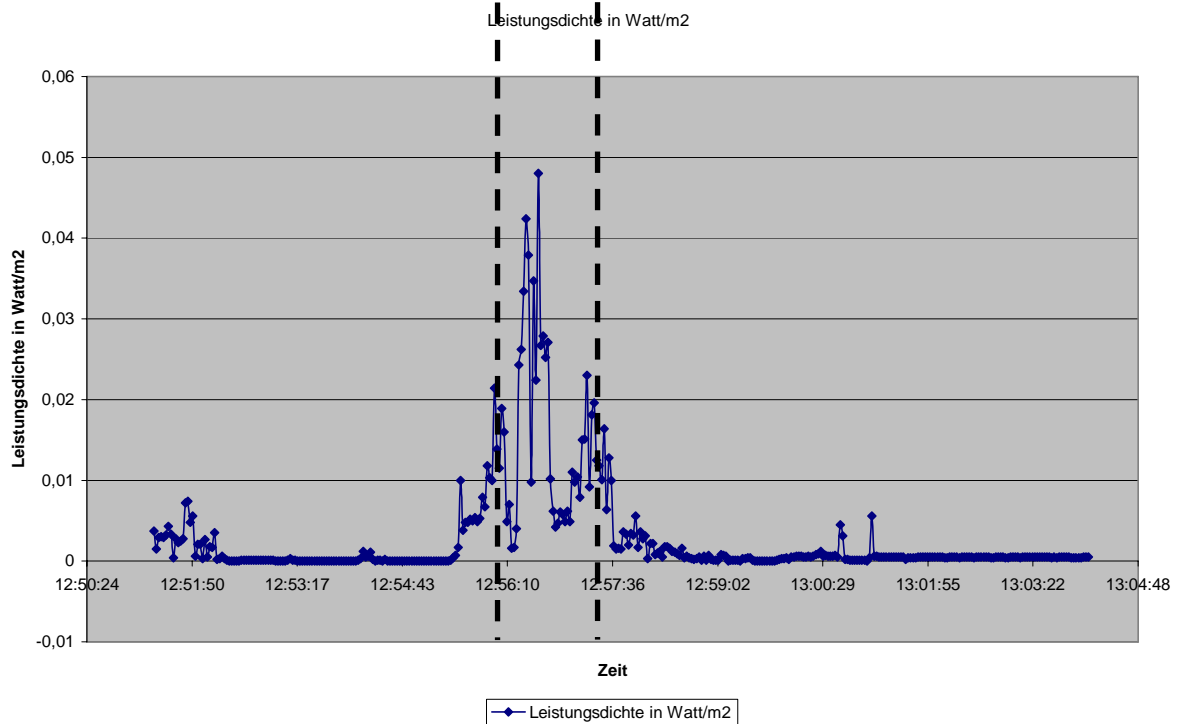


Abbildung 153 (in 75-facher Vergrößerung)

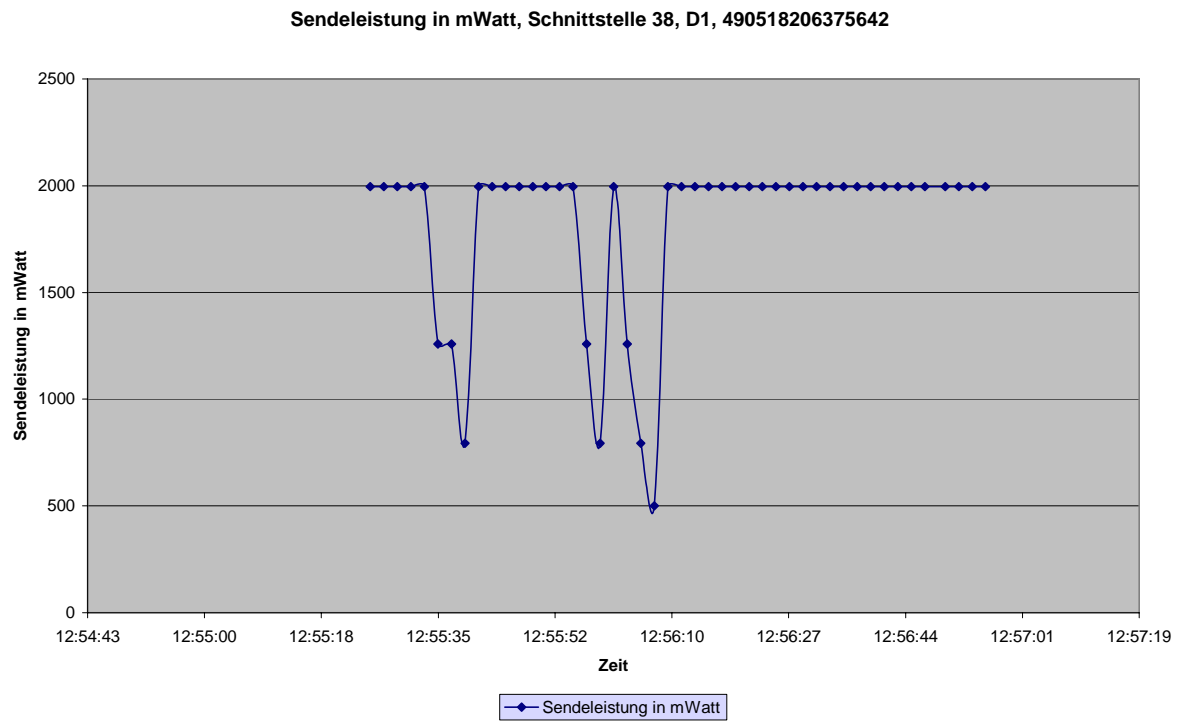


Abbildung 154

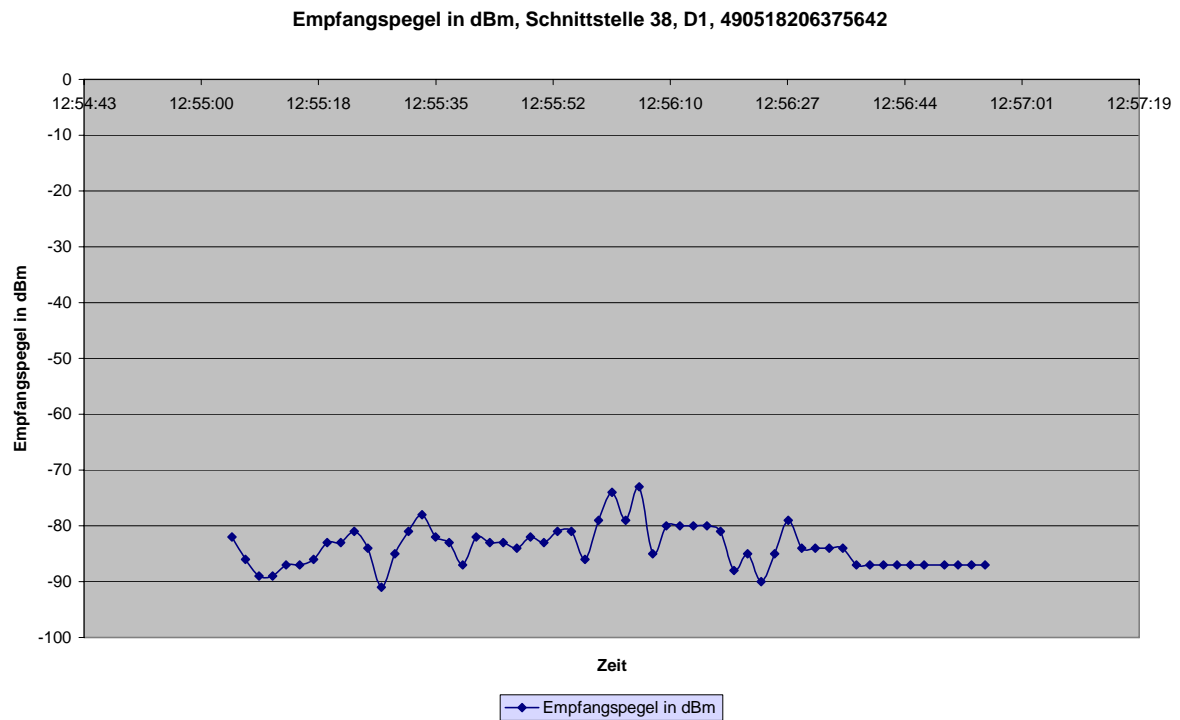


Abbildung 155

Datum	Uhrzeit	Netz-ID	Empfangs- pegel in dBm	Sendelst. in mW	Kanal- nummer
07.06.2006	12:55:05	26201	-82		35
07.06.2006	12:55:07	26201	-86		35
07.06.2006	12:55:09	26201	-89		35
07.06.2006	12:55:11	26201	-89		35
07.06.2006	12:55:13	26201	-87		35
07.06.2006	12:55:15	26201	-87		35
07.06.2006	12:55:17	26201	-86		35
07.06.2006	12:55:19	26201	-83		35
07.06.2006	12:55:21	26201	-83		35
07.06.2006	12:55:23	26201	-81		35
07.06.2006	12:55:25	26201	-84	1995	35
07.06.2006	12:55:27	26201	-91	1995	35
07.06.2006	12:55:29	26201	-85	1995	35
07.06.2006	12:55:31	26201	-81	1995	35
07.06.2006	12:55:33	26201	-78	1995	35
07.06.2006	12:55:35	26201	-82	1258	35
07.06.2006	12:55:37	26201	-83	1258	35
07.06.2006	12:55:39	26201	-87	794	35
07.06.2006	12:55:41	26201	-82	1995	35
07.06.2006	12:55:43	26201	-83	1995	35
07.06.2006	12:55:45	26201	-83	1995	35
07.06.2006	12:55:47	26201	-84	1995	35
07.06.2006	12:55:49	26201	-82	1995	35
07.06.2006	12:55:51	26201	-83	1995	35
07.06.2006	12:55:53	26201	-81	1995	35
07.06.2006	12:55:55	26201	-81	1995	35
07.06.2006	12:55:57	26201	-86	1258	35
07.06.2006	12:55:59	26201	-79	794	35
07.06.2006	12:56:01	26201	-74	1995	35
07.06.2006	12:56:03	26201	-79	1258	35
07.06.2006	12:56:05	26201	-73	794	35
07.06.2006	12:56:07	26201	-85	501	35
07.06.2006	12:56:09	26201	-80	1995	35
07.06.2006	12:56:11	26201	-80	1995	35
07.06.2006	12:56:13	26201	-80	1995	35
07.06.2006	12:56:15	26201	-80	1995	35
07.06.2006	12:56:17	26201	-81	1995	35
07.06.2006	12:56:19	26201	-88	1995	35
07.06.2006	12:56:21	26201	-85	1995	35
07.06.2006	12:56:23	26201	-90	1995	35
07.06.2006	12:56:25	26201	-85	1995	35
07.06.2006	12:56:27	26201	-79	1995	35
07.06.2006	12:56:29	26201	-84	1995	35
07.06.2006	12:56:31	26201	-84	1995	35
07.06.2006	12:56:33	26201	-84	1995	35
07.06.2006	12:56:35	26201	-84	1995	35
07.06.2006	12:56:37	26201	-87	1995	35
07.06.2006	12:56:39	26201	-87	1995	35

Tabelle 25

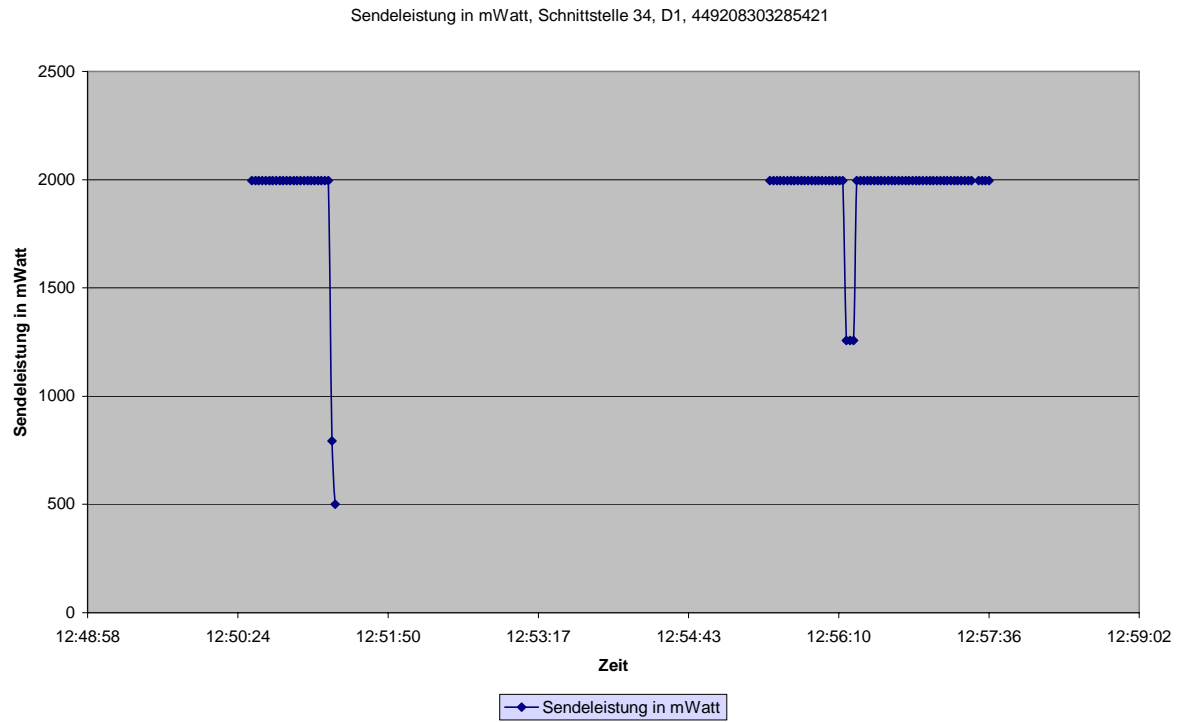


Abbildung 156

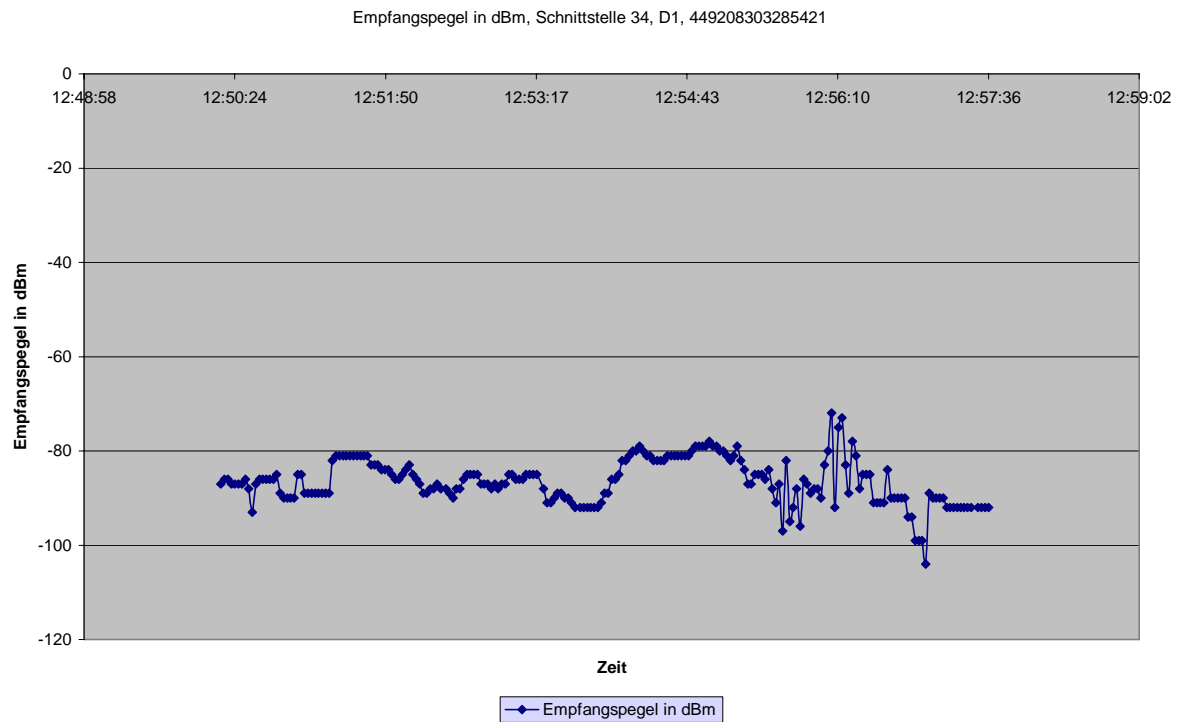


Abbildung 157

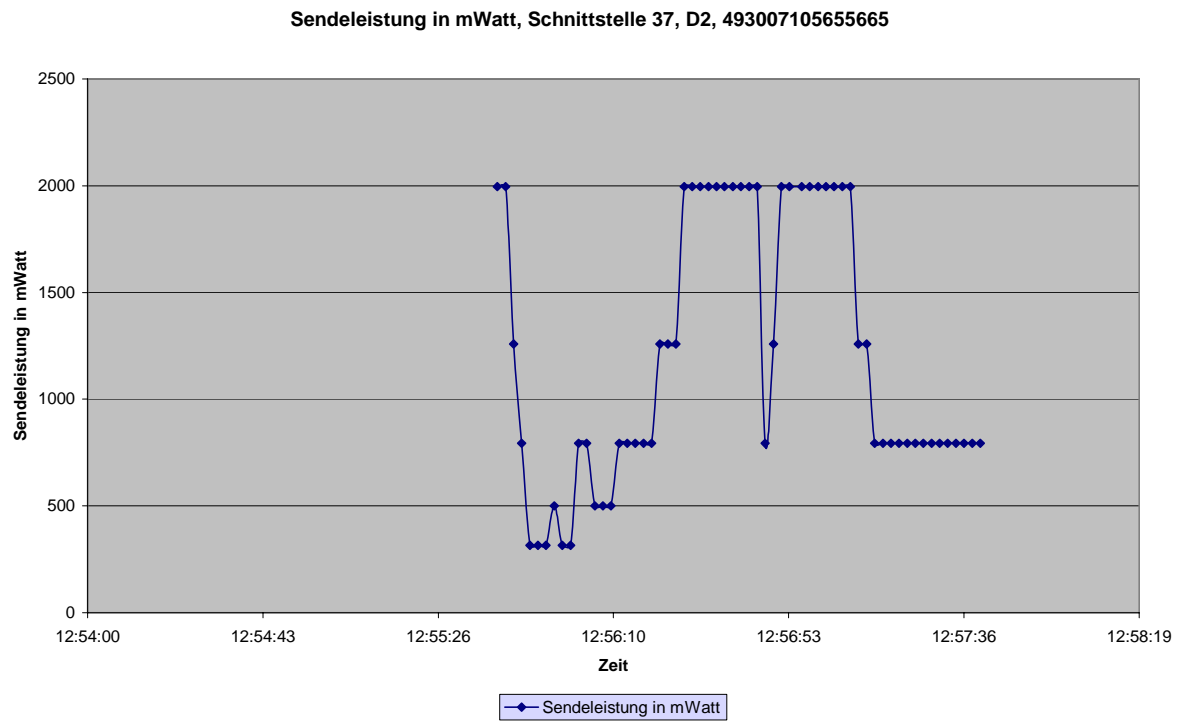


Abbildung 158

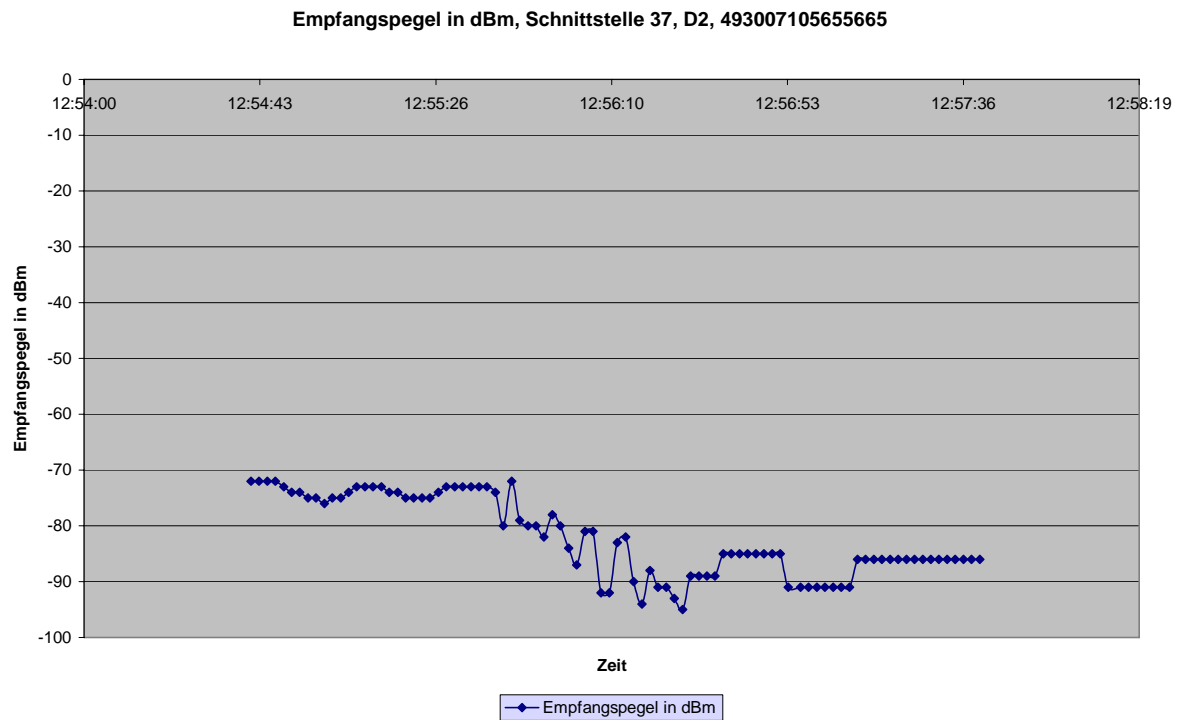


Abbildung 159

Datum	Uhrzeit	Cell-ID	Netz-ID	Empfangs- pegel in dBm	Sendelst. in mW	Kanal- nummer
07.06.2006	12:56:29	6791	26202	-89	1995	75
07.06.2006	12:56:31	6791	26202	-89	1995	75
07.06.2006	12:56:33	6791	26202	-89	1995	75
07.06.2006	12:56:35	6791	26202	-89	1995	75
07.06.2006	12:56:37	6791	26202	-85	1995	75
07.06.2006	12:56:39	6791	26202	-85	1995	75
07.06.2006	12:56:41	6791	26202	-85	1995	75
07.06.2006	12:56:43	6791	26202	-85	1995	75
07.06.2006	12:56:45	6791	26202	-85	1995	75
07.06.2006	12:56:47	6791	26202	-85	794	75
07.06.2006	12:56:49	6791	26202	-85	1258	75
07.06.2006	12:56:51	6791	26202	-85	1995	75
07.06.2006	12:56:53	6791	26202	-91	1995	75
07.06.2006	12:56:56	6791	26202	-91	1995	75
07.06.2006	12:56:58	6791	26202	-91	1995	75
07.06.2006	12:57:00	6791	26202	-91	1995	75
07.06.2006	12:57:02	6791	26202	-91	1995	75
07.06.2006	12:57:04	6791	26202	-91	1995	75
07.06.2006	12:57:06	6791	26202	-91	1995	75
07.06.2006	12:57:08	6791	26202	-91	1995	75
07.06.2006	12:57:10	6791	26202	-86	1258	75
07.06.2006	12:57:12	6791	26202	-86	1258	75
07.06.2006	12:57:14	6791	26202	-86	794	75
07.06.2006	12:57:16	6791	26202	-86	794	75
07.06.2006	12:57:18	6791	26202	-86	794	75
07.06.2006	12:57:20	6791	26202	-86	794	75
07.06.2006	12:57:22	6791	26202	-86	794	75
07.06.2006	12:57:24	6791	26202	-86	794	75
07.06.2006	12:57:26	6791	26202	-86	794	75
07.06.2006	12:57:28	6791	26202	-86	794	75
07.06.2006	12:57:30	6791	26202	-86	794	75
07.06.2006	12:57:32	6791	26202	-86	794	75
07.06.2006	12:57:34	6791	26202	-86	794	75
07.06.2006	12:57:36	6791	26202	-86	794	75
07.06.2006	12:57:38	6791	26202	-86	794	75
07.06.2006	12:57:40	6791	26202	-86	794	75

Tabelle 26

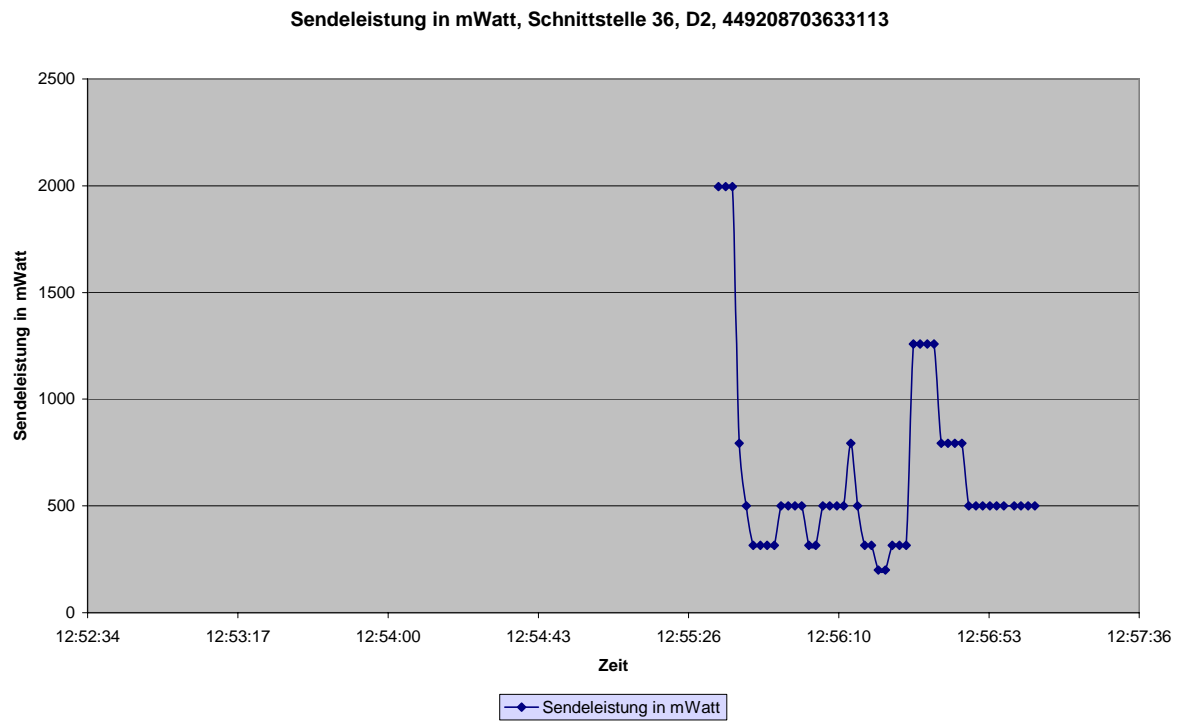


Abbildung 160

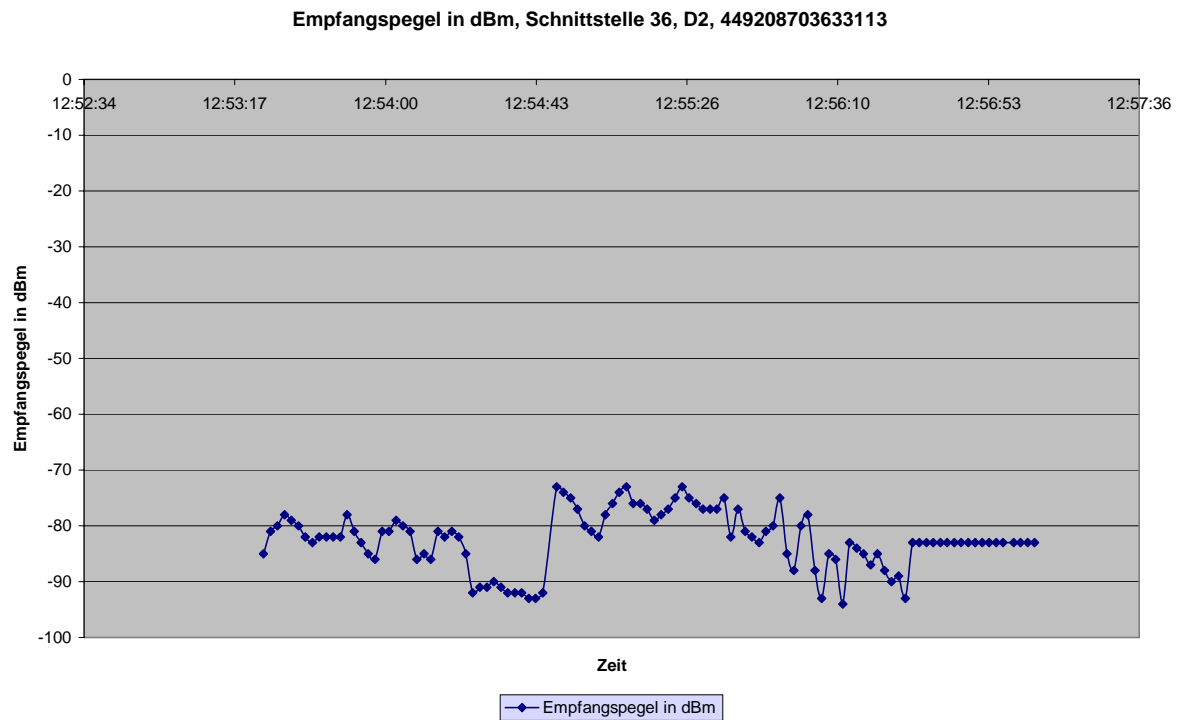


Abbildung 161

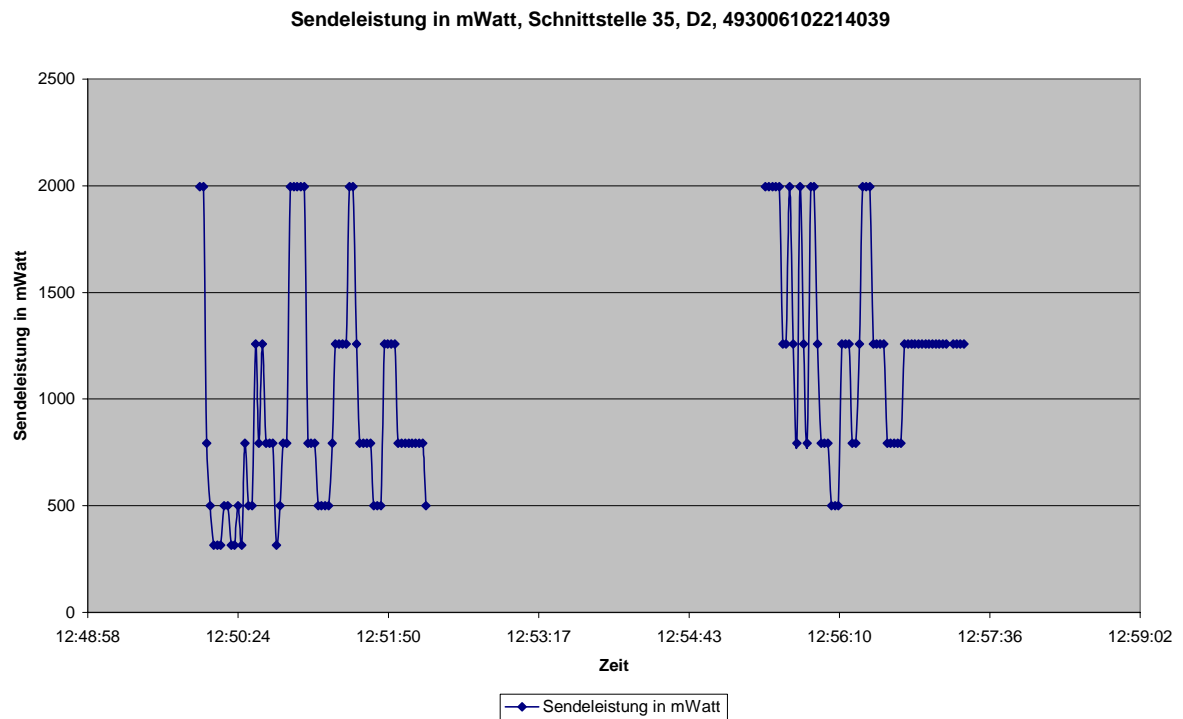


Abbildung 162

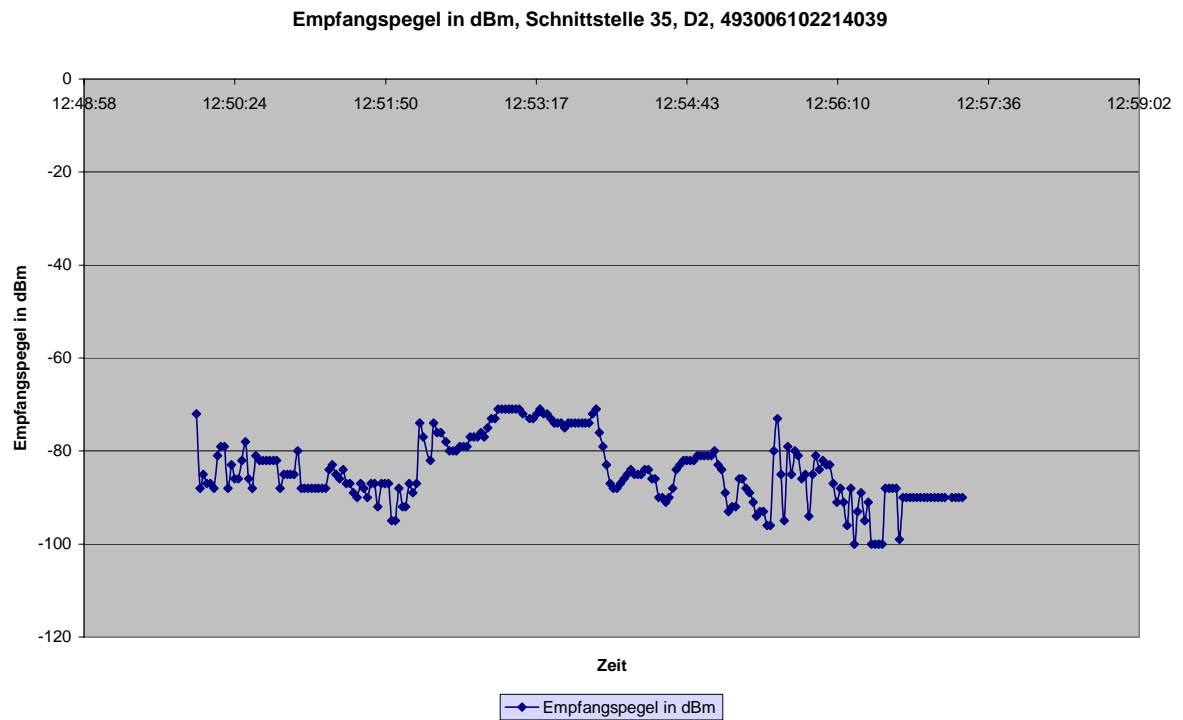


Abbildung 163

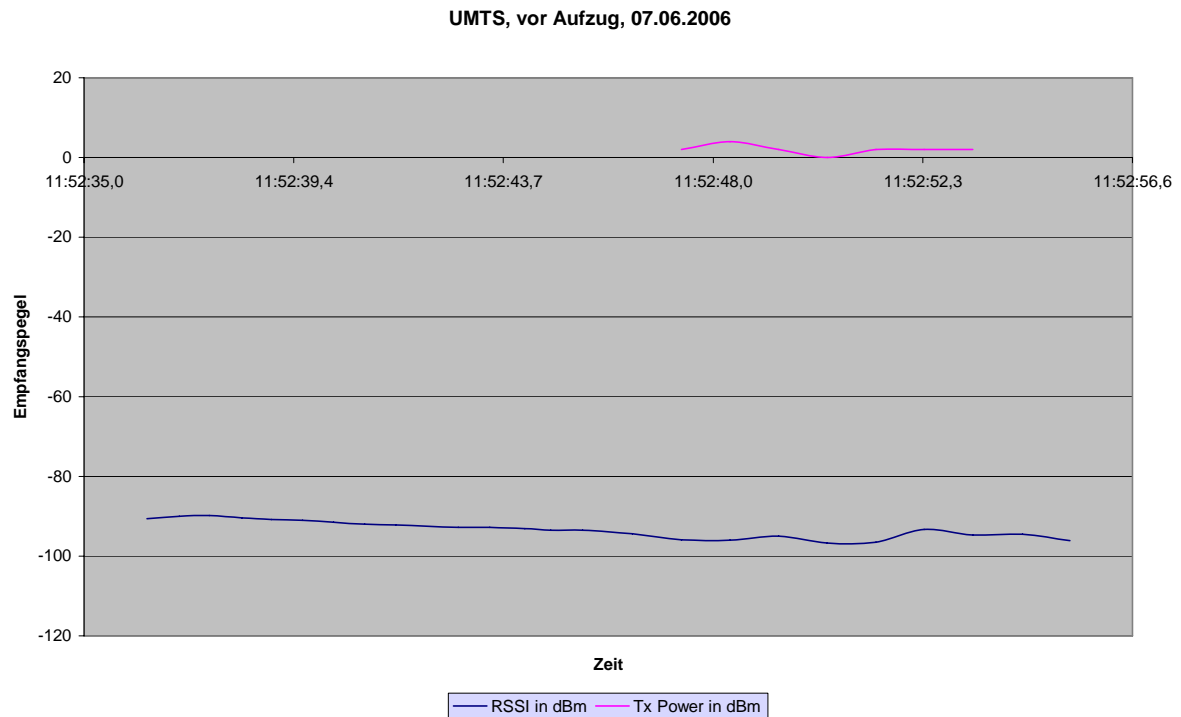


Abbildung 164

Date	Time	RSSI	Tx Power	UARFCN
07.06.2006	11:52:36,340	-90,59999847		10663
07.06.2006	11:52:37,000	-90		10663
07.06.2006	11:52:37,620	-89,80000305		10663
07.06.2006	11:52:38,290	-90,40000153		10663
07.06.2006	11:52:38,900	-90,80000305		10663
07.06.2006	11:52:39,540	-91		10663
07.06.2006	11:52:40,180	-91,5		10663
07.06.2006	11:52:40,820	-92		10663
07.06.2006	11:52:41,460	-92,19999695		10663
07.06.2006	11:52:42,750	-92,80000305		10663
07.06.2006	11:52:43,400	-92,80000305		10663
07.06.2006	11:52:44,120	-93,09999847		10663
07.06.2006	11:52:44,650	-93,5		10663
07.06.2006	11:52:45,310	-93,5		10663
07.06.2006	11:52:46,340	-94,40000153		10663
07.06.2006	11:52:47,350	-95,90000153	2	10663
07.06.2006	11:52:48,350	-96	4	10663
07.06.2006	11:52:49,350	-95	2	10663
07.06.2006	11:52:50,350	-96,69999695	0	10663
07.06.2006	11:52:51,350	-96,5	2	10663
07.06.2006	11:52:52,350	-93,30000305	2	10663
07.06.2006	11:52:53,350	-94,69999695	2	10663
07.06.2006	11:52:54,370	-94,5		10663
07.06.2006	11:52:55,350	-96,09999847	2	10663

Tabelle 27

9.7 Mess-Szenario Autobus

9.7.1 Allgemein

Ein Szenario war auch zu untersuchen, ob eine Feldstärkeüberhöhung in einem öffentlichen Bus durch mehrere telefonierende Personen erzeugt werden kann. Da die Werte nicht durch Zellwechsel beeinflusst werden sollten, wurde ein stehender Bus ausgewählt, und während der Wendezeit des Busses (jedes Mal ca. 15 Minuten) wurde das Fahrzeug betreten, die Messungen durchgeführt und der Bus wieder verlassen.



Abbildung 165



Abbildung 166

Abbildung 165 zeigt den Bus, einen Mercedes Benz Cito-Hybrid-Diesel. Abbildung 166 zeigt die Innenansicht des Busses.

Außerdem sollte verglichen werden, wie die Feldüberhöhung oder Feldbelastung im Bus und außerhalb des Busses ist. Dafür wurde am gleichen Ort das gleiche Szenario mit und ohne Bus nachgestellt.

Abbildung 167 die Personen mit der Telefonier- und Messeinrichtung SAR-Messkopf und EMR-Sonde außerhalb des Busses und Abbildung 168 und Abbildung 169 die Messeinrichtungen im Bus.



Abbildung 167



Abbildung 168



Abbildung 169

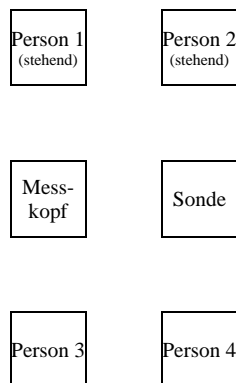


Abbildung 170 zeigt die Positionen von Personen, Messkopf und Mess-Sonde im Bus.

Abbildung 170

9.7.2 Messreihe außerhalb des Busses im Freien

Abbildung 171 zeigt die Ergebnisse der Messungen mit der EMR-Sonde in W/m^2 ohne Bus, Abbildung 172 das gleiche in tausendfacher Vergrößerung, die Belastung im Freien ist nahezu 0.

Die Zeitdaten der Netzmonitorschnittstellen sind in Abbildung 173 ff. aufgetragen. Charakteristisch für diesen Messort war eine sehr gute Feldversorgung im D2-Netz und ein sehr schnelles Regelverhalten, andererseits eine sehr schlechte Feldversorgung im E-Netz, das zu keiner Regelung führte. Das im E-Netz operierende Handy sendete an dieser Lokalität immer mit maximal 1000 mW.

In Abbildung 173 ist das sehr schnelle Regeln des Mobilteils im D2-Netz zu ersehen. In Abbildung 174 ist zu erkennen, dass vor dem Einbuchungsvorgang der mit starker Leistung sendende Basiskontrollkanal gemessen und dargestellt wurde. Nach dem Einbuchen wird nicht nur das Handy von der Basisstation in seiner Leistung herunter geregelt, auch die

Basisstation selbst senkt ihre Sendeleistung ab, da für die Kommunikation mit dem Mobilteil eine geringere Sendeleistung sowohl von der Basisstation als auch vom Mobilteil ausreichend ist. In **Abbildung 174** ist ein Absenken der Sendeleistung der Basisstation um ca. 30 dB zu erkennen, d. h., die Sendeleistung wird um den Faktor 1000 reduziert.

Abbildung 175 und **Abbildung 176** zeigen ein zweites Mobiltelefon im D2-Netz bei 900 MHz an einer anderen Schnittstelle. **Tabelle 28** zeigt den dazugehörigen Datenauszug. Es ist erkennbar, dass kein Kanalwechsel stattfindet und dass der Netzbetreiber den Regelvorgang bis hinunter auf 3 mW regelt, das ist die niedrigste Sendeleistungsstufe im GSM-900-Netz. An der Kanalnummer 73 ist zu erkennen, dass die Kommunikation im Vodafone-Netz bei 900 MHz stattfindet.

Abbildung 177 und **Abbildung 178** zeigen die Sendeleistungen für das E-Plus-Netz. Aufgrund der sehr schlechten Feldversorgung an dieser Lokalität bleibt das Mobilteil bei 1000 mW. In der dazugehörigen **Tabelle 29** ist der Netzbetreiber 26203, E-Plus, zu erkennen, und der sehr niedrige Empfangspegel und die hohe Sendeleistung von ca. 1 Watt.

Es finden zwar Kanalwechsel von 831 auf 789, dann wieder auf 831, dann wieder auf Kanal 790 statt, aber dieser Kanalwechsel wirkt sich in der Sendeleistung nicht aus, da in allen Kanälen aufgrund der niedrigen Feldversorgung mit voller Leistung gesendet wird. Charakteristisch für dieses Mess-Szenario sind also eine sehr geringe Sendeleistung bei D2 und eine hohe Sendeleistung bei GSM 1800.

Die UMTS-Nutzung erfolgte im E-Plus-Netz, erkennbar an der UARFCN-Nummer (**Tabelle 30**). Die Feldversorgung im UMTS-Bereich war an diesem Messort sehr schlecht. In **Abbildung 179** ist der sehr niedrige Empfangspegel zu erkennen, der zu einer für UMTS hohen Sendeleistung mit einem mittleren dBm-Wert von +1,8 dBm führt, d. h. um die 2 mW. In diesem Fall war die Sendeleistung des UMTS-Telefons nahezu vergleichbar der des GSM-Telefons bei 900 MHz. Eine sehr seltene Konstellation, die nur dann auftreten kann, wenn die Feldversorgung bei GSM 900 extrem gut und die bei UMTS an der Abbruchgrenze ist.

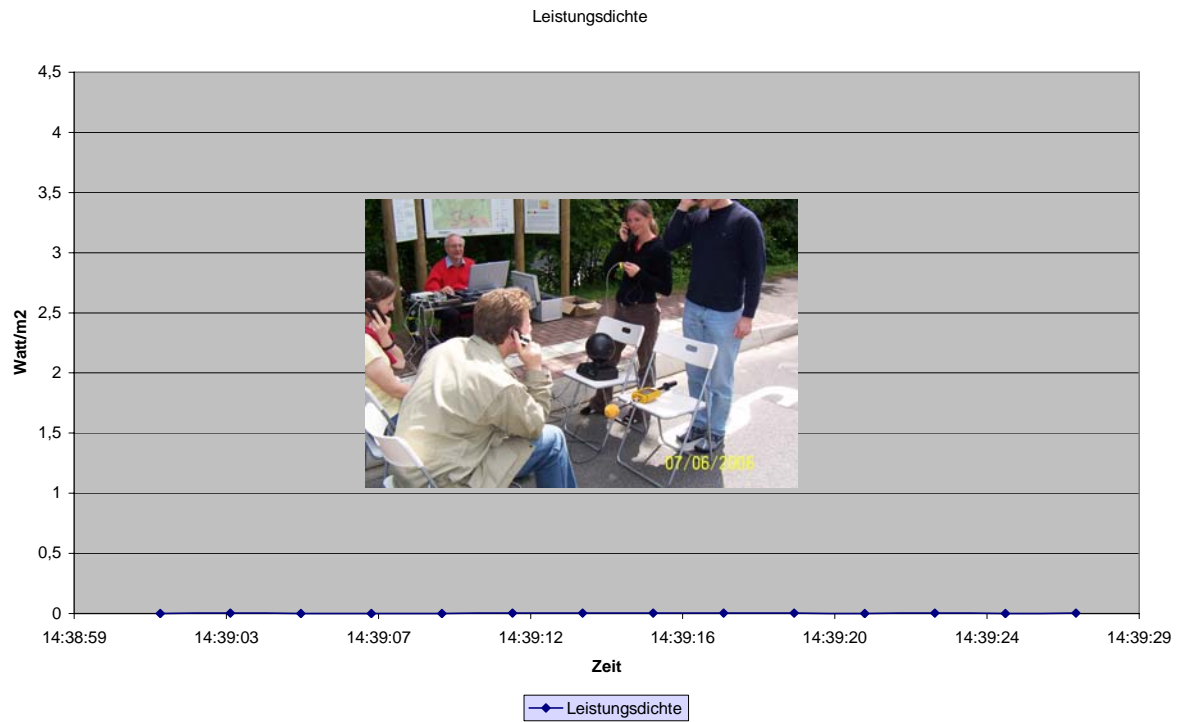


Abbildung 171

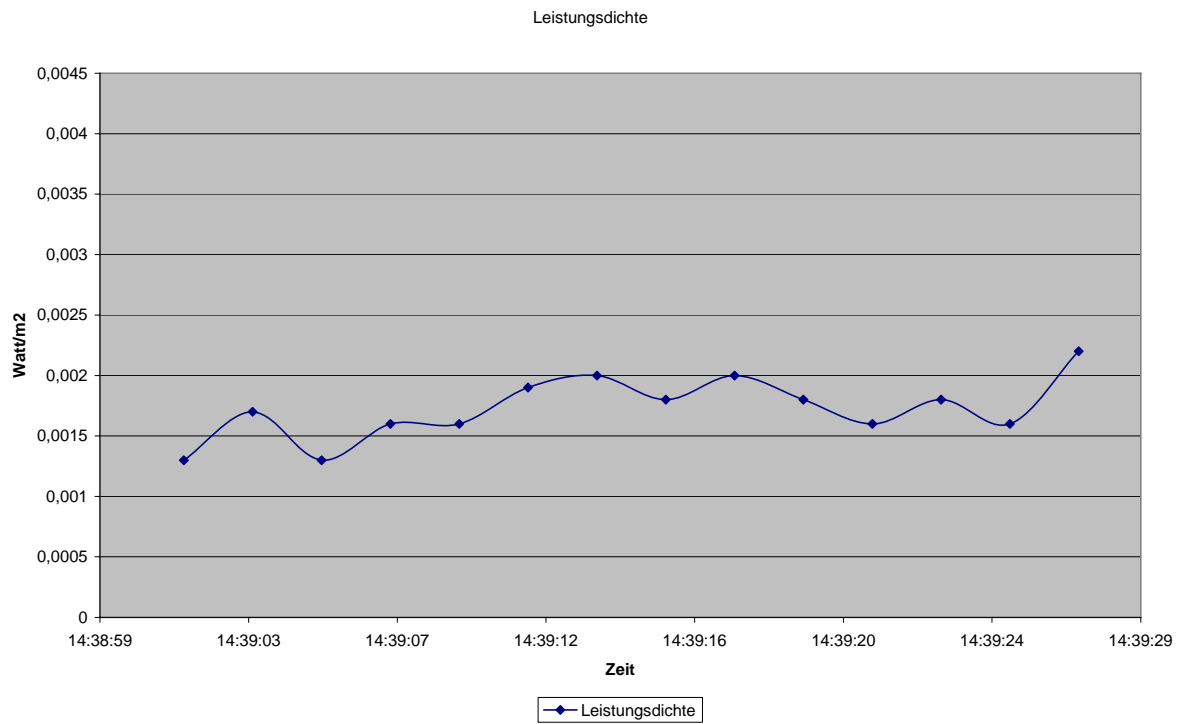


Abbildung 172 (in 1000-facher Vergrößerung)

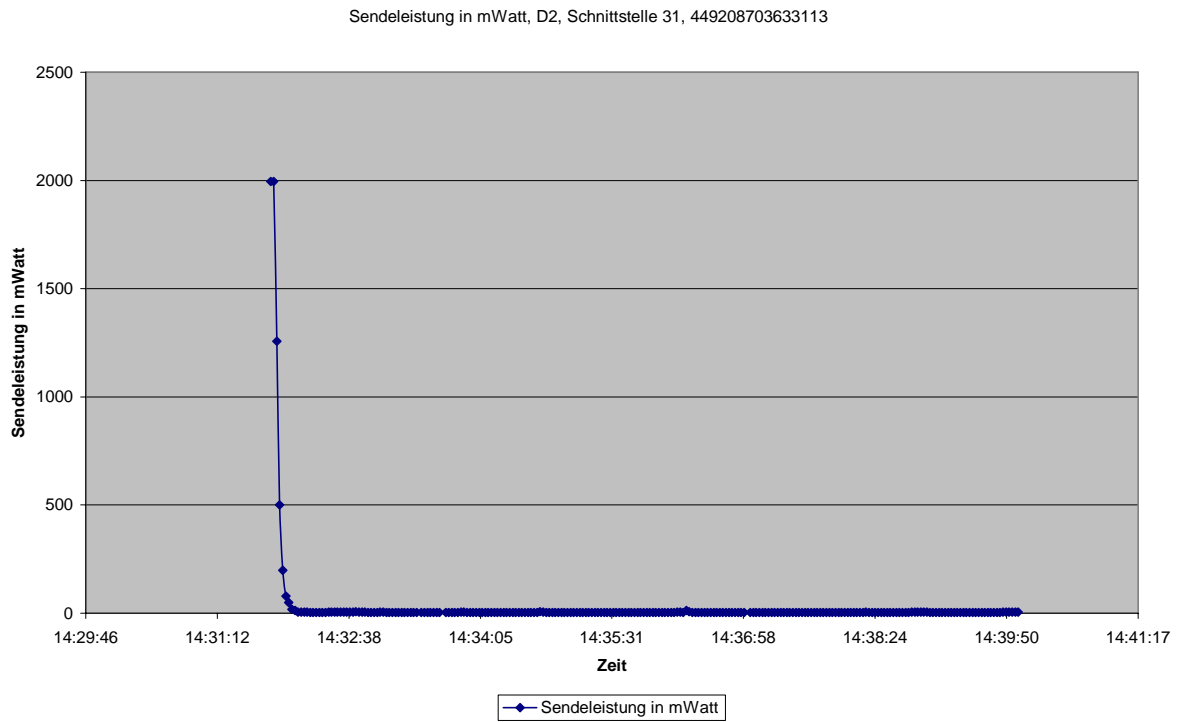


Abbildung 173

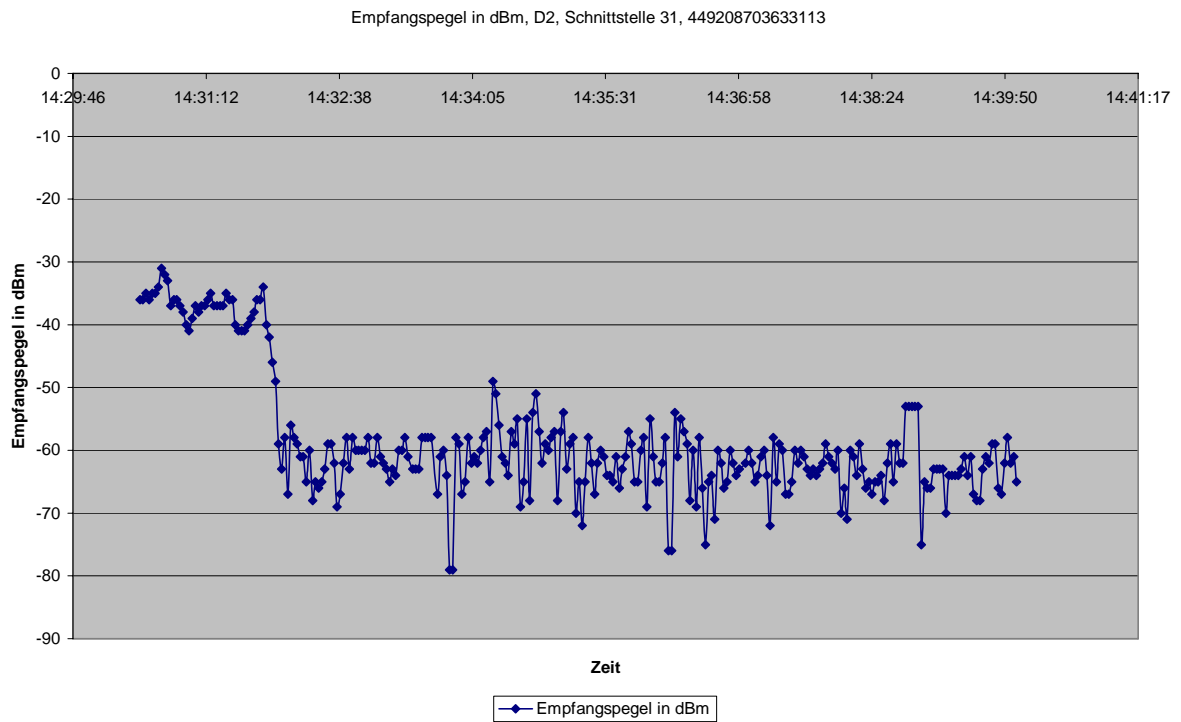


Abbildung 174

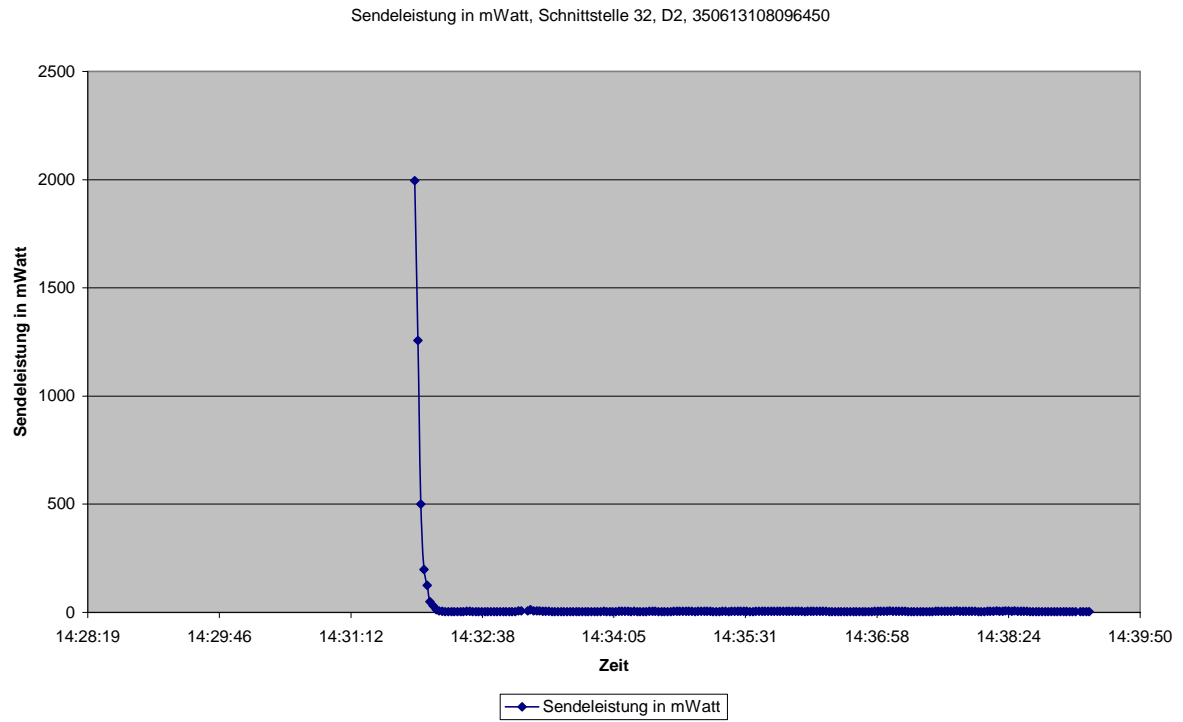


Abbildung 175

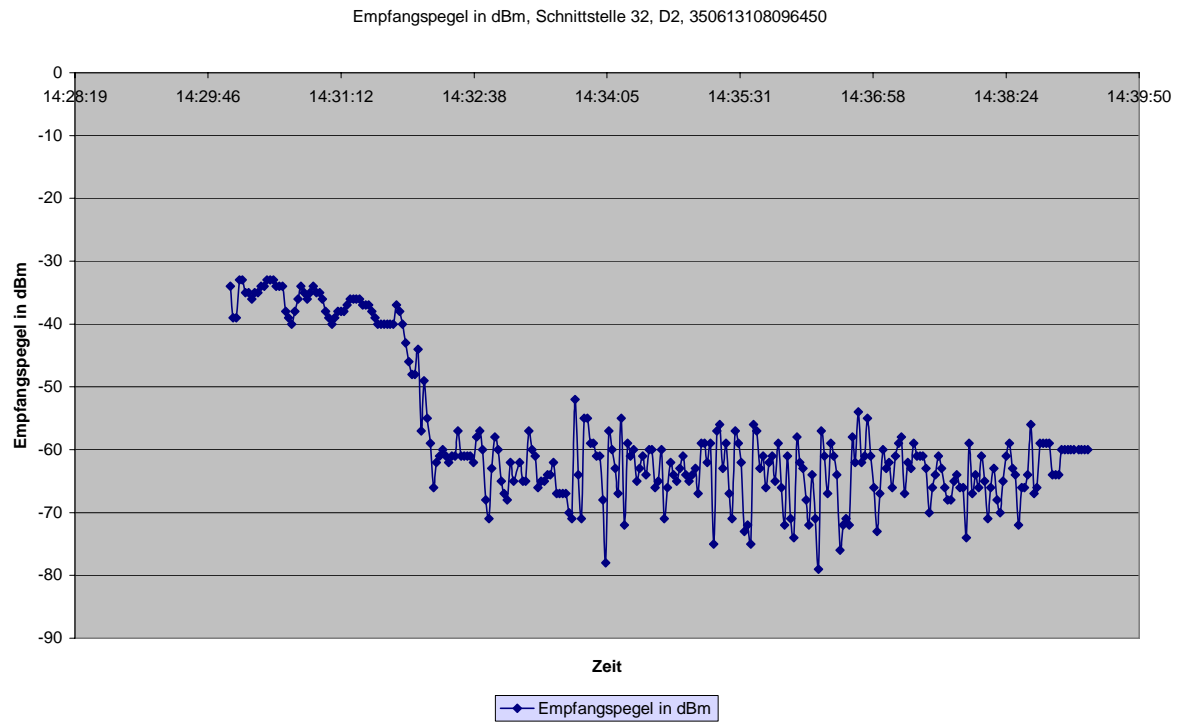


Abbildung 176

Datum	Uhrzeit	Netz-ID	Empfangs-Pegel in dBm	Sendelst. in mW	Kanalnummer
07.06.2006	14:31:50	26202	-38		73
07.06.2006	14:31:52	26202	-40		73
07.06.2006	14:31:54	26202	-43	1995	73
07.06.2006	14:31:56	26202	-46	1258	73
07.06.2006	14:31:58	26202	-48	501	73
07.06.2006	14:32:00	26202	-48	199	73
07.06.2006	14:32:02	26202	-44	125	73
07.06.2006	14:32:04	26202	-57	50	73
07.06.2006	14:32:06	26202	-49	31	73
07.06.2006	14:32:08	26202	-55	12	73
07.06.2006	14:32:10	26202	-59	7	73
07.06.2006	14:32:12	26202	-66	5	73
07.06.2006	14:32:14	26202	-62	3	73
07.06.2006	14:32:16	26202	-61	3	73
07.06.2006	14:32:18	26202	-60	3	73
07.06.2006	14:32:20	26202	-61	3	73
07.06.2006	14:32:22	26202	-62	3	73
07.06.2006	14:32:24	26202	-61	3	73
07.06.2006	14:32:26	26202	-61	3	73
07.06.2006	14:32:28	26202	-57	5	73
07.06.2006	14:32:30	26202	-61	5	73
07.06.2006	14:32:32	26202	-61	3	73
07.06.2006	14:32:34	26202	-61	3	73
07.06.2006	14:32:36	26202	-61	3	73
07.06.2006	14:32:38	26202	-62	3	73
07.06.2006	14:32:40	26202	-58	3	73
07.06.2006	14:32:42	26202	-57	3	73
07.06.2006	14:32:44	26202	-60	3	73
07.06.2006	14:32:46	26202	-68	3	73
07.06.2006	14:32:48	26202	-71	3	73
07.06.2006	14:32:50	26202	-63	3	73
07.06.2006	14:32:52	26202	-58	3	73
07.06.2006	14:32:54	26202	-60	3	73
07.06.2006	14:32:56	26202	-65	3	73
07.06.2006	14:32:58	26202	-67	3	73
07.06.2006	14:33:00	26202	-68	3	73
07.06.2006	14:33:02	26202	-62	7	73
07.06.2006	14:33:04	26202	-65	7	73
07.06.2006	14:33:08	26202	-62	7	73
07.06.2006	14:33:10	26202	-65	12	73
07.06.2006	14:33:12	26202	-65	7	73
07.06.2006	14:33:14	26202	-57	7	73
07.06.2006	14:33:16	26202	-60	7	73
07.06.2006	14:33:18	26202	-61	5	73
07.06.2006	14:33:20	26202	-66	5	73

Tabelle 28

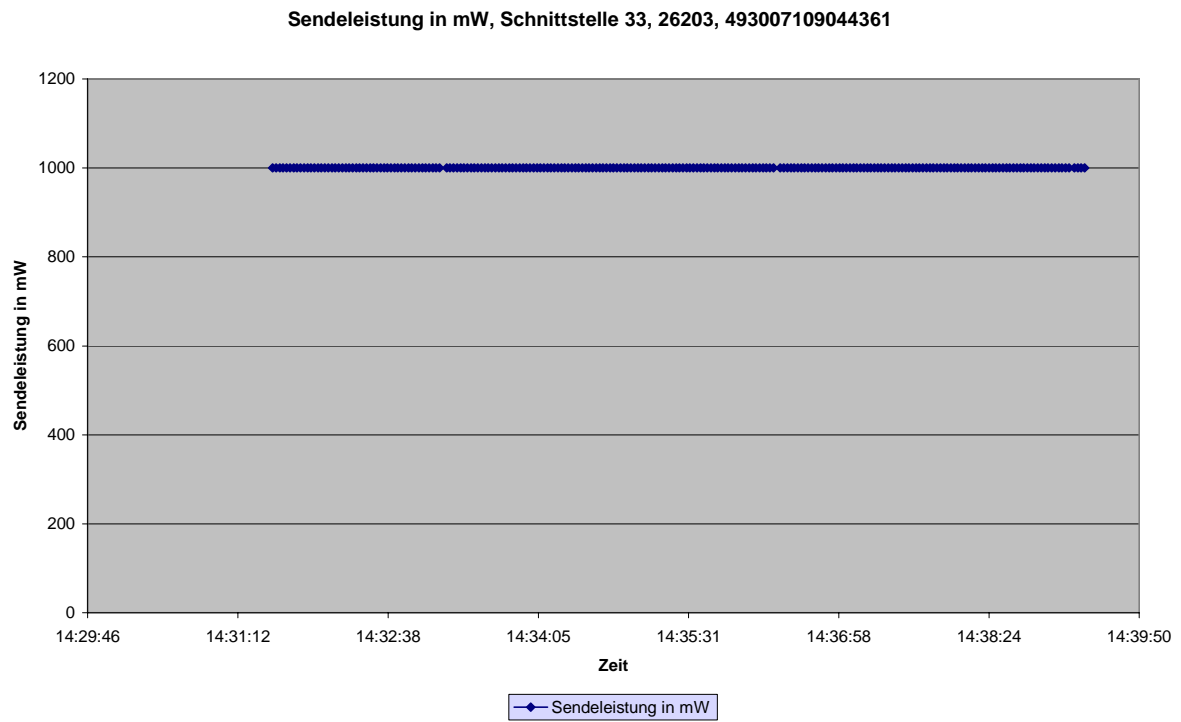


Abbildung 177

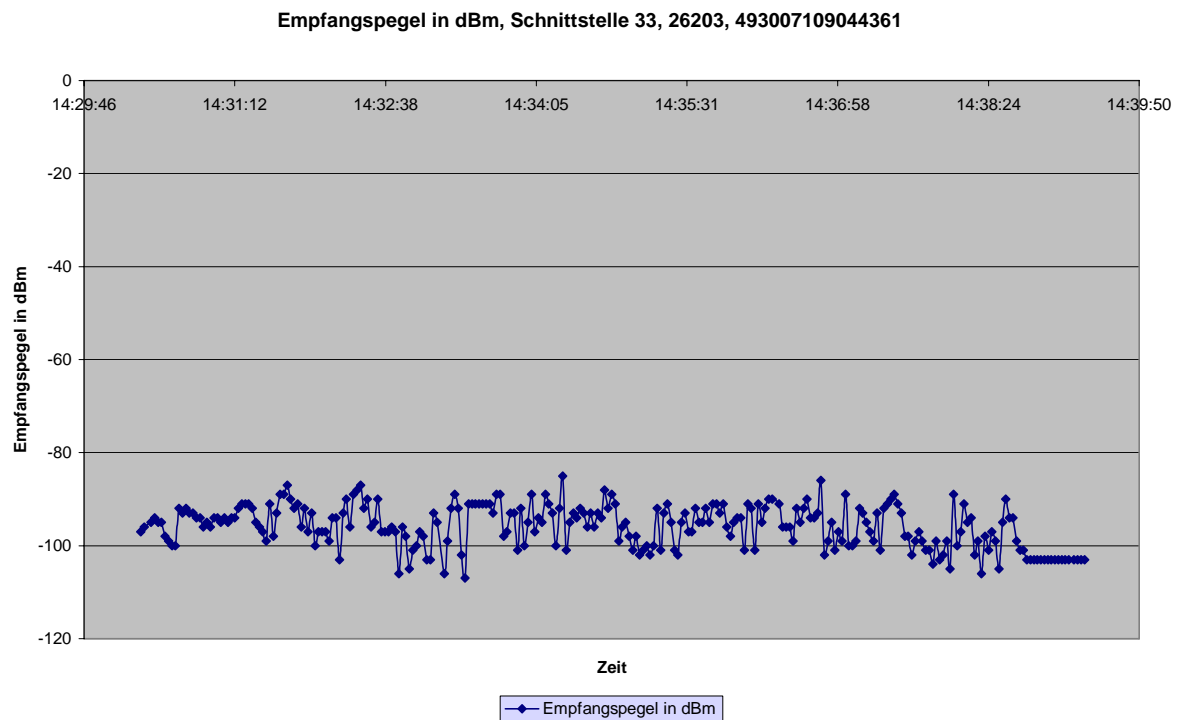
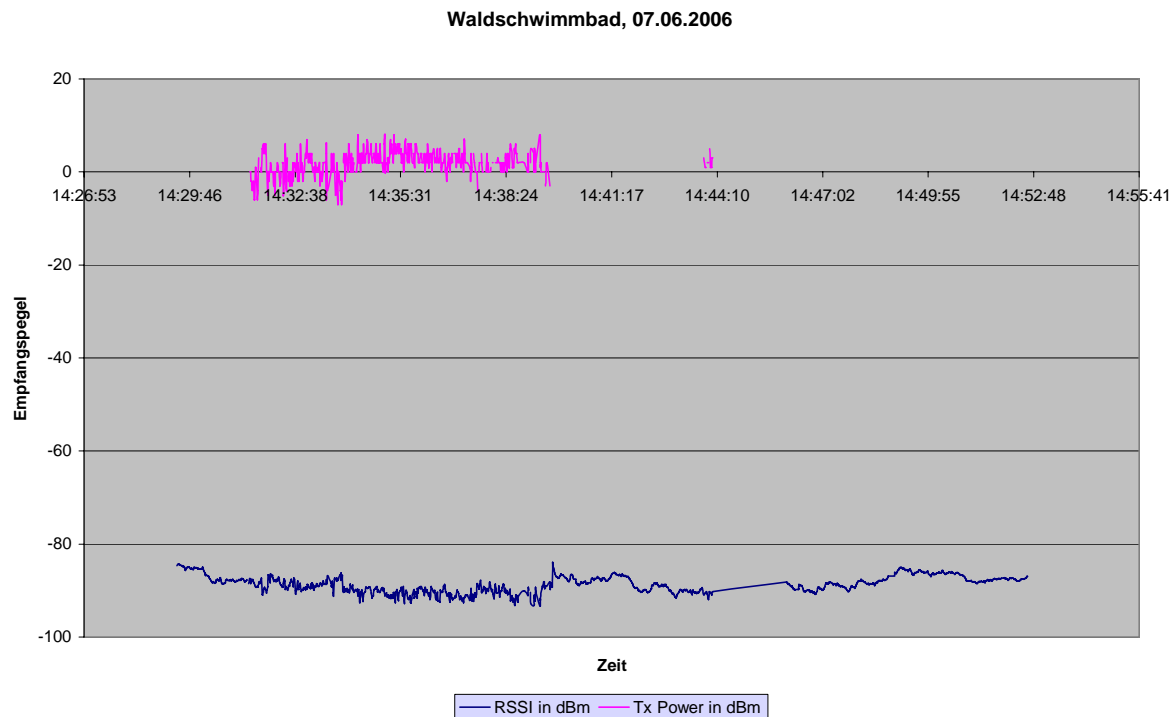


Abbildung 178

Datum	Uhrzeit	Netz-ID	Empfangs-Pegel in dBm	Sendelst. in mW	Kanalnummer
07.06.2006	14:32:20	26203	-89	1000	831
07.06.2006	14:32:22	26203	-88	1000	831
07.06.2006	14:32:24	26203	-87	1000	831
07.06.2006	14:32:26	26203	-92	1000	831
07.06.2006	14:32:28	26203	-90	1000	831
07.06.2006	14:32:30	26203	-96	1000	831
07.06.2006	14:32:32	26203	-95	1000	831
07.06.2006	14:32:34	26203	-90	1000	831
07.06.2006	14:32:36	26203	-97	1000	789
07.06.2006	14:32:38	26203	-97	1000	831
07.06.2006	14:32:40	26203	-97	1000	831
07.06.2006	14:32:42	26203	-96	1000	790
07.06.2006	14:32:44	26203	-97	1000	790
07.06.2006	14:32:46	26203	-106	1000	790
07.06.2006	14:32:48	26203	-96	1000	790
07.06.2006	14:32:50	26203	-98	1000	790
07.06.2006	14:32:52	26203	-105	1000	790
07.06.2006	14:32:54	26203	-101	1000	790
07.06.2006	14:32:56	26203	-100	1000	831
07.06.2006	14:32:58	26203	-97	1000	831
07.06.2006	14:33:00	26203	-98	1000	831
07.06.2006	14:33:02	26203	-103	1000	831
07.06.2006	14:33:04	26203	-103	1000	831
07.06.2006	14:33:06	26203	-93	1000	831
07.06.2006	14:33:08	26203	-95	1000	831
07.06.2006	14:33:12	26203	-106	1000	831
07.06.2006	14:33:14	26203	-99	1000	831
07.06.2006	14:33:16	26203	-92	1000	831
07.06.2006	14:33:18	26203	-89	1000	831
07.06.2006	14:33:20	26203	-92	1000	831
07.06.2006	14:33:22	26203	-102	1000	831
07.06.2006	14:33:24	26203	-107	1000	831
07.06.2006	14:33:26	26203	-91	1000	831
07.06.2006	14:33:28	26203	-91	1000	831
07.06.2006	14:33:30	26203	-91	1000	831
07.06.2006	14:33:32	26203	-91	1000	831
07.06.2006	14:33:34	26203	-91	1000	831
07.06.2006	14:33:36	26203	-91	1000	831
07.06.2006	14:33:38	26203	-91	1000	831
07.06.2006	14:33:40	26203	-93	1000	831
07.06.2006	14:33:42	26203	-89	1000	831
07.06.2006	14:33:44	26203	-89	1000	831
07.06.2006	14:33:46	26203	-98	1000	831
07.06.2006	14:33:48	26203	-97	1000	831
07.06.2006	14:33:50	26203	-93	1000	831
07.06.2006	14:33:52	26203	-93	1000	831
07.06.2006	14:33:54	26203	-101	1000	831
07.06.2006	14:33:56	26203	-92	1000	831
07.06.2006	14:33:58	26203	-100	1000	831
07.06.2006	14:34:00	26203	-95	1000	831
07.06.2006	14:34:02	26203	-89	1000	831
07.06.2006	14:34:04	26203	-97	1000	831
07.06.2006	14:34:06	26203	-94	1000	831

Tabelle 29

**Abbildung 179**

Mittelwert Tx Power in dBm = 1,8

Mittelwert RSSI in dBm = -88

Date	Time	RSSI	Tx Power	UARFCN
07.06.2006	14:31:42,390	-88,09999847	1	10663
07.06.2006	14:31:43,370	-87,40000153	0	10663
07.06.2006	14:31:44,370	-90,80000305	5	10663
07.06.2006	14:31:45,350	-91	5	10663
07.06.2006	14:31:46,370	-90,09999847	6	10663
07.06.2006	14:31:47,370	-89,59999847	4	10663
07.06.2006	14:31:48,350	-89,30000305	6	10663
07.06.2006	14:31:49,350	-89,80000305	4	10663
07.06.2006	14:31:50,370	-89,80000305	6	10663
07.06.2006	14:31:51,390	-90,59999847	0	10663
07.06.2006	14:31:52,350	-89,90000153	0	10663
07.06.2006	14:31:53,400	-89,19999695	-5	10663
07.06.2006	14:31:54,390	-86,59999847	0	10663
07.06.2006	14:31:55,480	-86,69999695	-2	10663
07.06.2006	14:31:56,370	-87,40000153	0	10663
07.06.2006	14:31:57,390	-88,30000305	0	10663
07.06.2006	14:31:58,350	-86,40000153	2	10663
07.06.2006	14:31:59,370	-87,09999847	0	10663
07.06.2006	14:32:00,370	-87	0	10663
07.06.2006	14:32:01,350	-86,69999695	0	10663
07.06.2006	14:32:02,370	-87,30000305	0	10663

Tabelle 30

9.7.3 Erste Messreihe innerhalb des Busses

Abbildung 180 zeigt das Mess-Szenario im Bus. Insgesamt telefonieren vier Personen. Von diesen vier Personen sitzen zwei Personen der Messeinrichtung bestehend aus Maschek-Messkopf und EMR-Sonde gegenüber und die anderen zwei Personen stehen hinter der Messeinrichtung.

Es wird ein Szenario dargestellt, bei dem ein Fahrgast sitzt und hinter ihm stehen zwei telefonierende Busmitfahrer und vor ihm sitzen zwei telefonierende Busmitfahrer. Es soll festgestellt werden, ob es an der Stelle, an der nicht telefonierende Fahrgäste sitzen, zu Feldstärkeüberhöhungen kommt.

Alle vier telefonierenden Personen bewegen sich kleinräumig auf ihren Sitzen und Stehplätzen, um festzustellen, ob es zu irgendwelchen Feldstärkespitzen kommen kann. Außerdem ist für dieses Mess-Szenario entscheidend, dass die Personen alle permanent sprechen. Im normalen Einsatzfall wird sicher nicht permanent gesprochen, es wird auch zugehört, sodass der DTX-Modus einsetzen kann. Um hier jedoch wirklich Maximalwerte zu erzeugen, waren alle Versuchspersonen angehalten zu sprechen.

Für das Mess-Szenario war noch Folgendes typisch: Um 15:12 sind alle Personen im Bus, alle Verbindungen sind aktiv, alle Personen sprechen. Um 15:15 gehen alle Personen telefonierend aus dem Bus heraus und um 15:17 gehen alle Personen wieder in den Bus hinein. In dieser Phase von 15:15 bis 15:17 ist auch kaum ein Empfangspegel festzustellen. Verständlich, wenn die telefonierenden Personen außerhalb sind, dann kann auch kein Feldstärkewert auftreten. Interessant ist in den **Abbildung 182** ff., dass sich an dem Regelverhalten des Mobiltelefons, ob im Bus oder außerhalb des Busses, nichts ändert.

Abbildung 183 zeigt die Sendeleistung im D2-Netz an der Monitorschnittstelle 32, ein sehr niedriger Wert, unabhängig ob drinnen oder draußen, und **Abbildung 186** zeigt die Sendeleistung an der Monitorschnittstelle 33, ein im E-Plus-Netz eingebuchtes Mobiltelefon. Abgesehen von einem kurzen Ausbuchungsvorgang, der aufgrund der niedrigen Feldversorgung erfolgte und wiederum einer Einbuchung, bleibt das Mobilteil immer bei 1000 mW. Das UMTS-Gerät, das zusätzlich verwendet wurde, hat, wie auch schon in dem ersten Versuch, aufgrund der sehr schlechten Feldversorgung einen verhältnismäßig hohen Sendepiegel von 2-3 mW. Die Feldversorgung wurde dann so schlecht, dass ein Roaming-Vorgang von UMTS nach GSM einsetzt und es für weitere Messungen nicht mehr verwendet werden konnte.

Maschek (GSM 900, 1800), Bus am Waldschwimmbad
07.06.2006

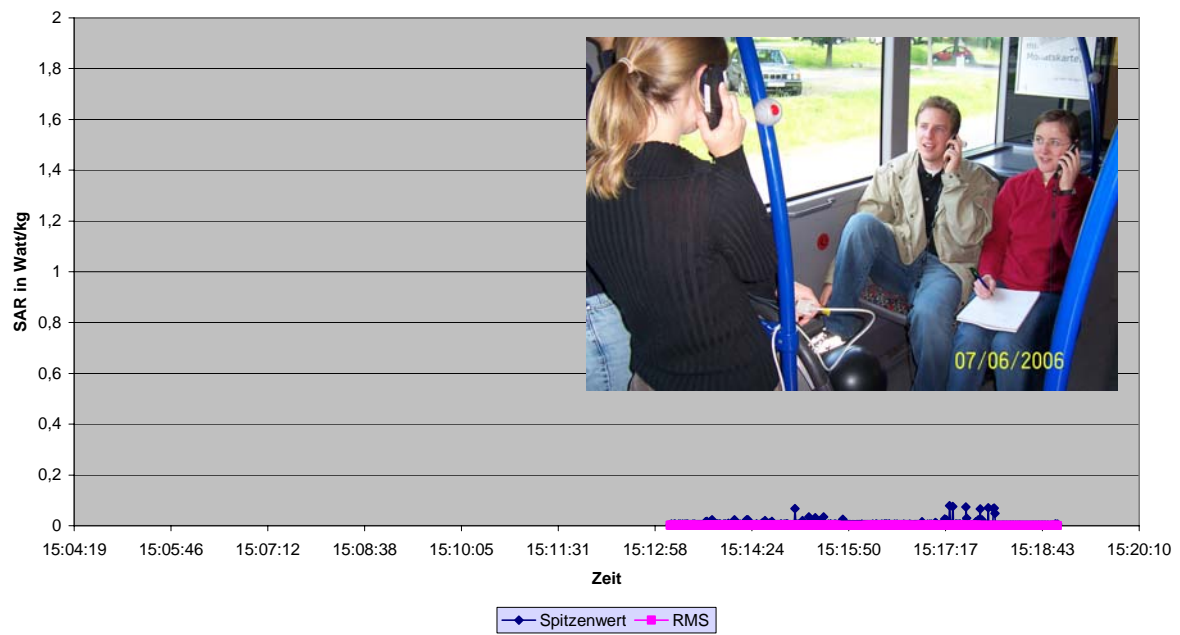


Abbildung 180

Maschek (GSM 900, 1800), Bus am Waldschwimmbad
07.06.2006

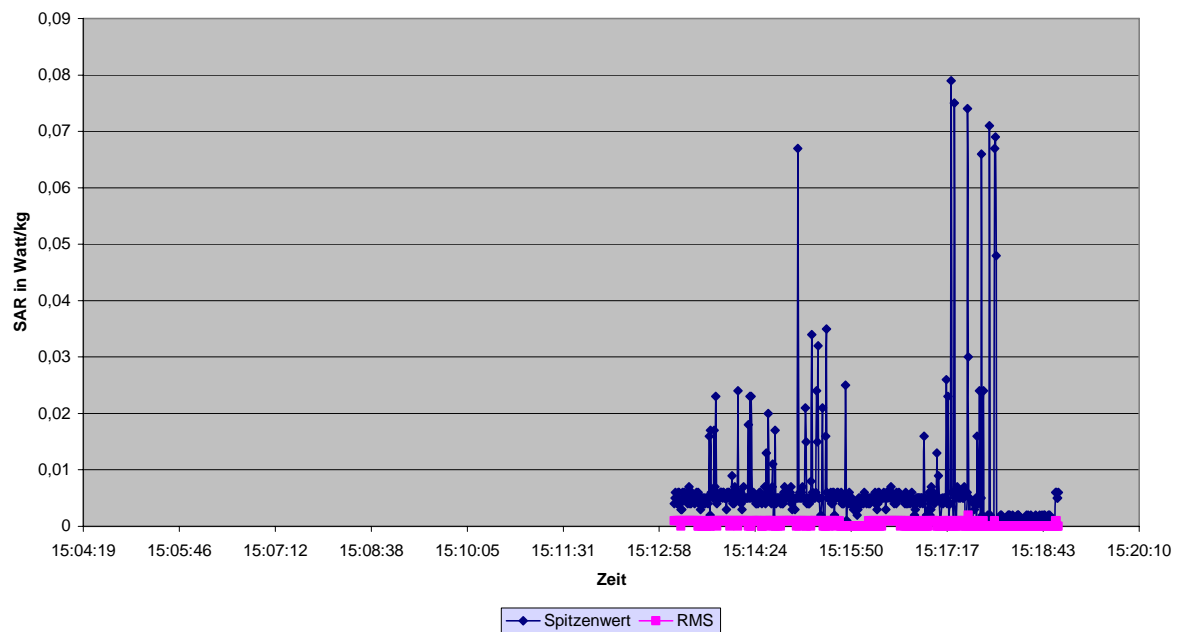


Abbildung 181 (in 22-facher Vergrößerung)

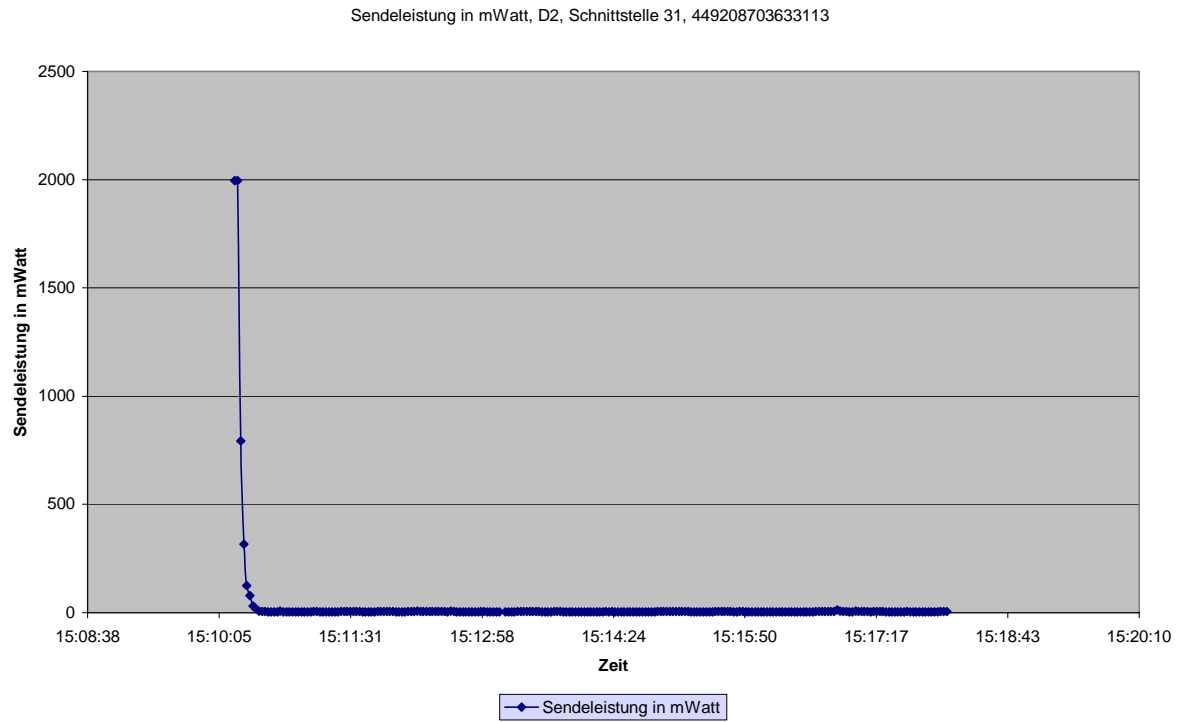


Abbildung 182

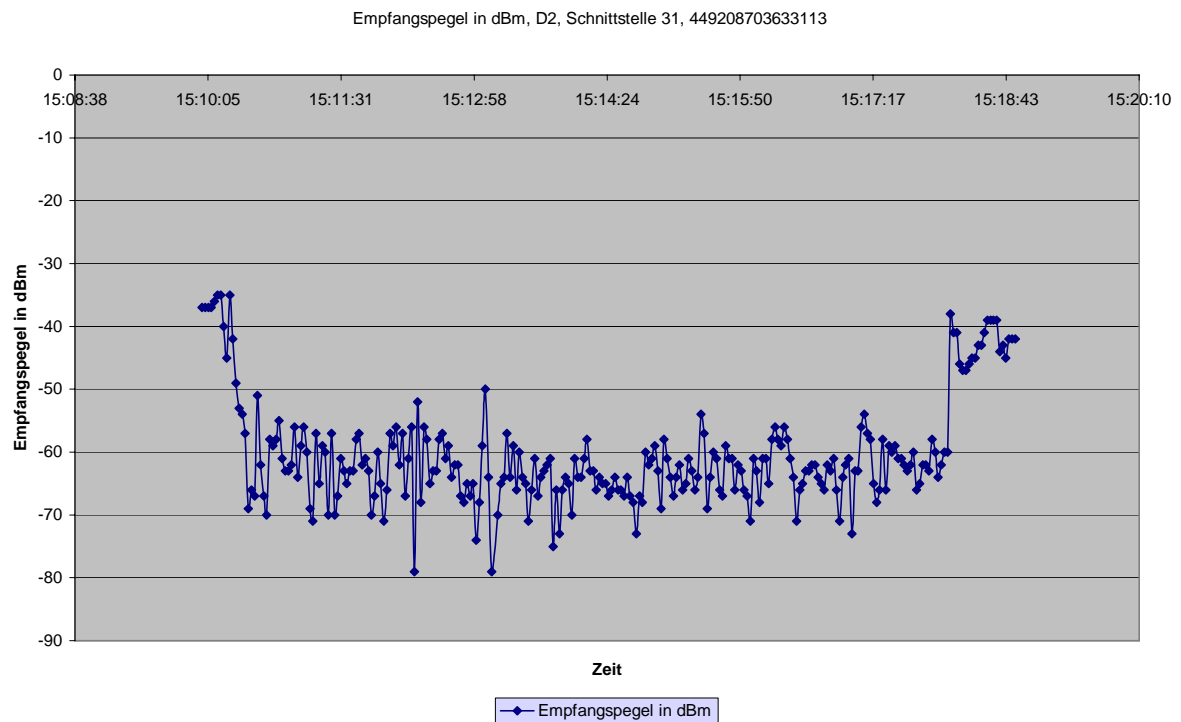


Abbildung 183

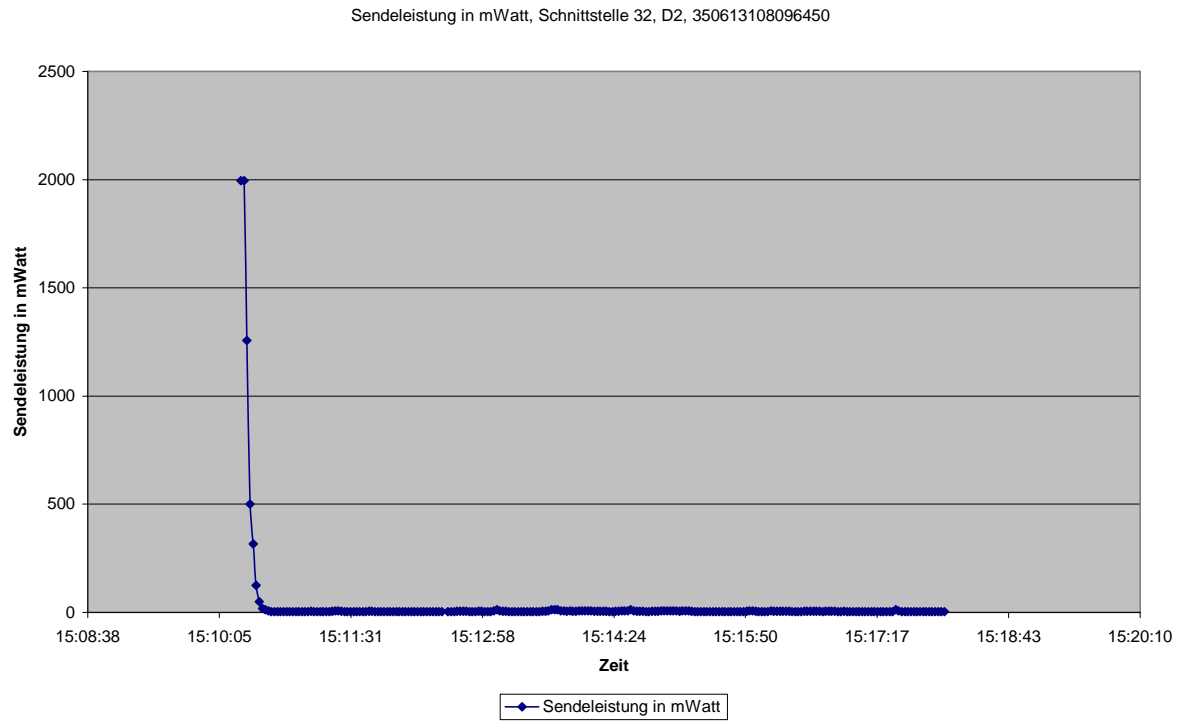


Abbildung 184

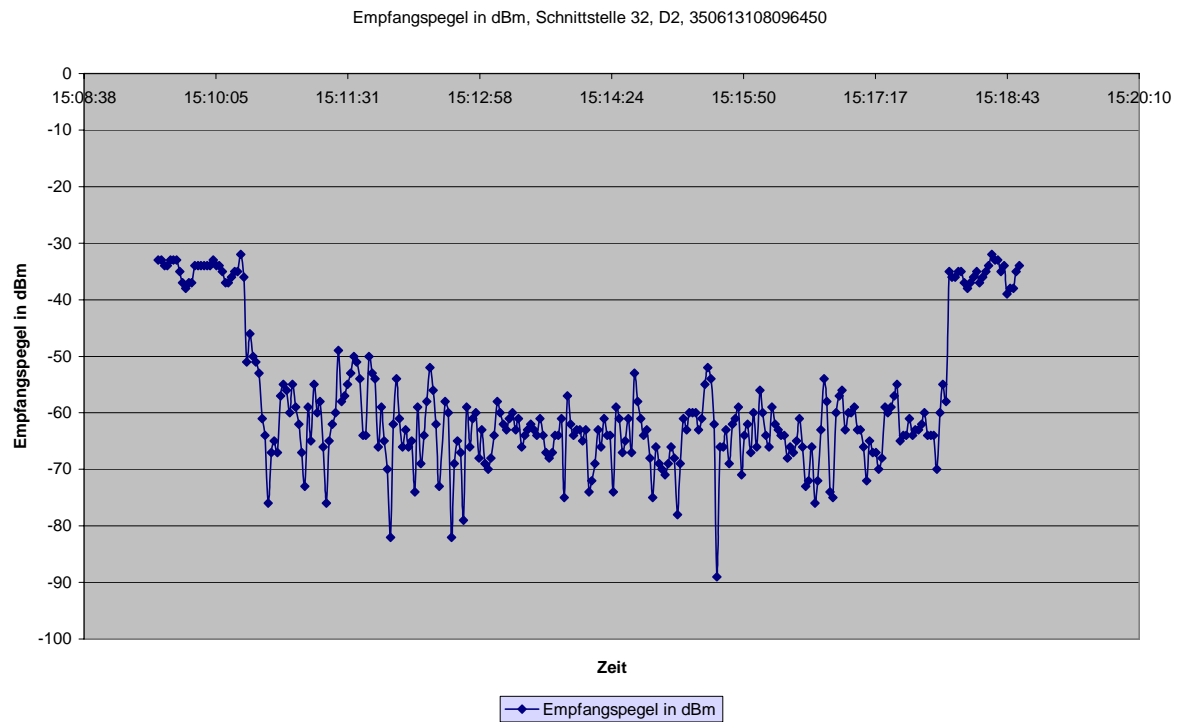


Abbildung 185

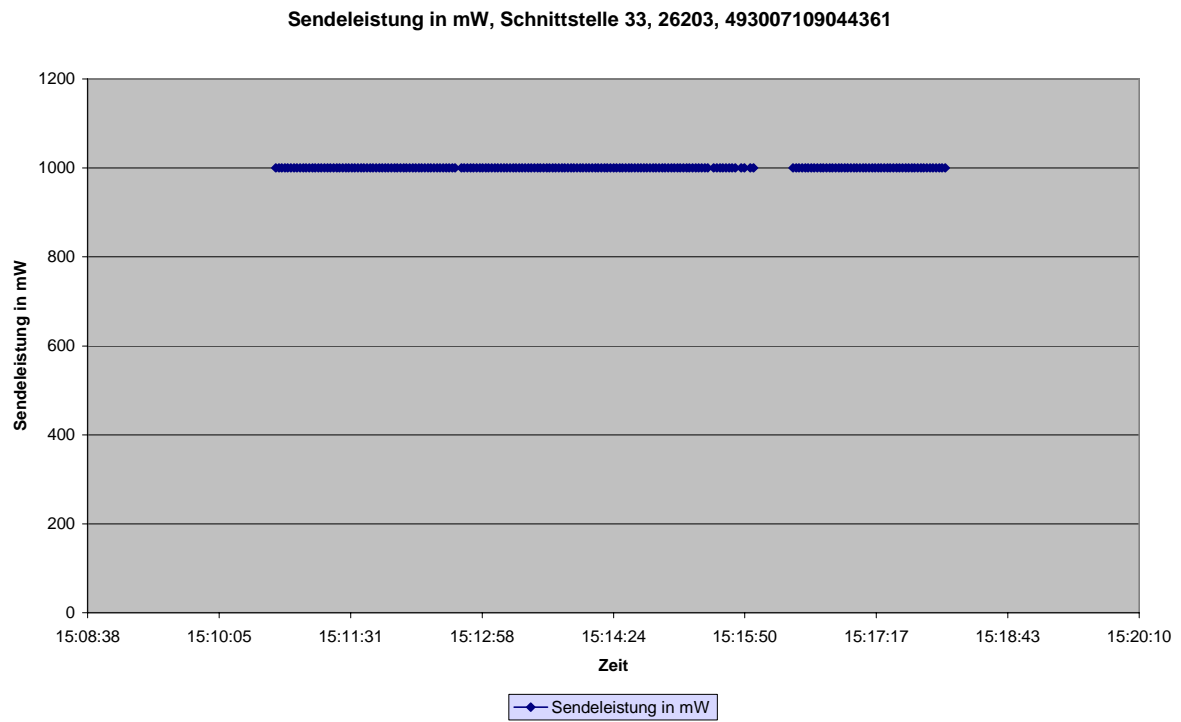


Abbildung 186

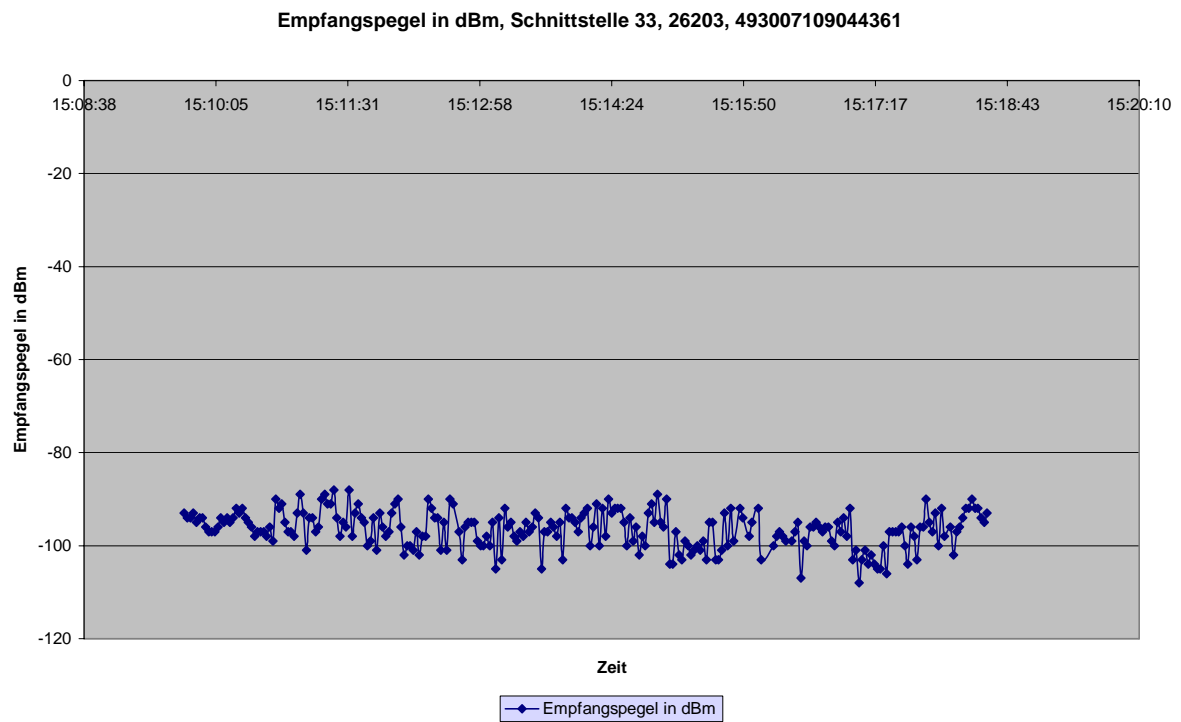
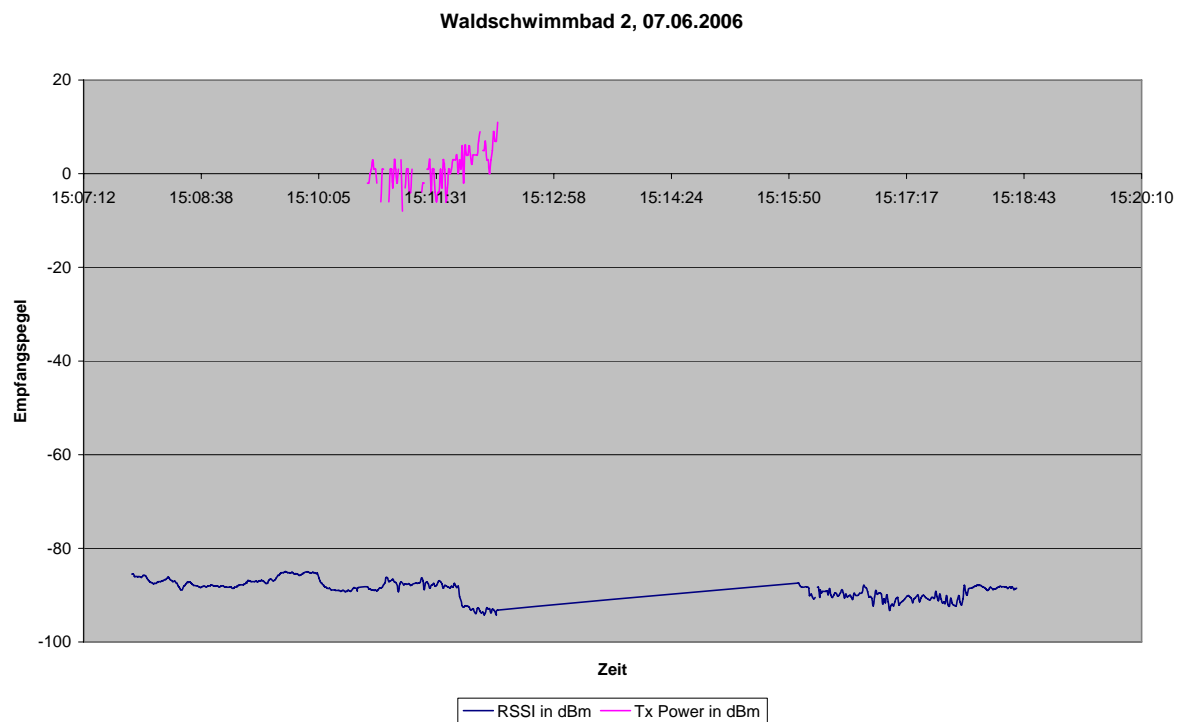


Abbildung 187

**Abbildung 188**

Mittelwert Tx Power in dBm = 1,2

Mittelwert RSSI in dBm = -88

9.7.4 Zweite Messreihe jedoch mit zwei (!) Handys je Versuchsperson (innerhalb und außerhalb des Busses)

Abbildung 189 zeigt ein Szenario, bei dem versucht wurde, eine höhere Feldstärke durch ein sehr untypisches Szenario zu erzeugen, und zwar sollte jede Person zwei Telefone gleichzeitig bedienen und gleichzeitig mit zwei Handys aktiv telefonieren.

Drei Mobiltelefone waren an die Monitorfunktion angeschlossen, die Daten wurden im Rechner gespeichert und protokolliert. Die zusätzlichen weiteren fünf Telefone trugen ebenfalls zur Emission bei, wurden jedoch in diesem Fall mit ihren Leistungsdaten nicht mitprotokolliert.

Es wurden drei Mobiltelefone im E-Plus-Netz und fünf Telefone im D2-Netz verwendet.

Das Szenario sah folgendermaßen aus:

Ab 16:14 waren alle Telefone in Betrieb, nachdem vorher das Telefon im E-Plus-Netz aufgrund der niedrigen Feldversorgung die Verbindung abgebrochen hat, war es wieder neu gestartet worden, ab 16:15 waren die Personen erst leise, dann sprachen sie extrem laut, um 16:16 stiegen alle Personen aus dem Bus aus und nahmen Messkopf und Sonde mit hinaus.

Alle Personen waren um 16:17 außerhalb des Busses und um 16:18 auf der Sitzgruppe außerhalb mit Messkopf und Sonde platziert.

Ein Szenario, wie es bereits in **Abbildung 167** dargestellt wurde, jetzt aber mit acht aktiven Telefonen.

Die Feldstärkewerte im Bus – erkennbar in der Maßstabserhöhung um den Faktor 100 in **Abbildung 190** – waren weit unterhalb des Grenzwertes.

In der Phase des Aussteigens und außerhalb des Busses waren die Werte ebenfalls sehr gering.

Der mit der EMR-Sonde gemessene Zacken um 16:18 Uhr kann dadurch zustande gekommen sein, dass beim Transport nach außen ein Telefon in die Nähe der Sonde gekommen ist.

Beim Maschek-Messkopf in **Abbildung 191** und **Abbildung 192** sind im Bus ganz schwache SAR-Werte zu erkennen, außerhalb des Busses sind diese nahezu 0.

Es traten keine Feldstärkeüberhöhungen im Bus auf.

Abbildung 193 zeigt ein Mobilteil im D2-Netz an der Monitorschnittstelle 31 mit Sende- und Empfangspegel. Typisch – wie bereits auch bei den anderen D2 Handys an diesem Messort festgestellt – ist das sehr starke Regelverhalten und auch das Absenken der empfangenen Sendeleistung.

Interessant ist **Abbildung 197**, die Daten des E-Plus-Handys zeigen, dass der Sendepiegel konstant bei 1000 mW bleibt.

Der Empfangspegel ist in **Abbildung 198** dargestellt. Der Empfangspegel liegt immer zwischen -90 und -100 dBm und plötzlich springt der Empfangspegel (hier mit einem orangen Kreis versehen) auf einen höheren Wert. Wäre nur dieses Bild zu bewerten, dann könnte vermutet werden, dass zu diesem Zeitpunkt ein Regelvorgang in eine stärkere Zelle stattgefunden hat und aus diesem Grund nunmehr ein besserer Empfang vorhanden ist.

Aus **Tabelle 31** ist jedoch Folgendes zu erkennen: Am Anfang dieses Zeitausschnittes, beginnend bei 16:18:14, ist das Mobilteil bei dem Netzbetreiber 26203 (E-Plus) eingebucht, die Sendeleistung bleibt immer bei 1000 mW, auch wenn die Kanäle gewechselt werden: 782, 754, dann wieder 782, 832, 785, 754, 782. Es findet ein häufiger Kanalwechsel statt, dieser führt jedoch nicht zu einer besseren Empfangsfeldstärke oder zum Start eines Regelvorgangs. Nachdem um 16:19:32 das E-Plus-Handygespräch beendet ist, geschieht um 16:22:12 Folgendes: Plötzlich ist der Empfangspegel höher und als Kanalnummer wird die 73 angezeigt, ein Kanal aus dem Teil des 900 MHz-Bereiches zu dem E-Plus keinen Zugang hat. Der Netzbetreiber ist in diesem Fall 26202 Vodafone, erkennbar an der Netz-ID in **Tabelle 31**. Zwischen E-Plus und Vodafone besteht kein Roaming-Abkommen, sodass es sich hier nicht um ein normales Roaming handelt, sondern im Display des Handys wird GSM-vereinbarungsgemäß angezeigt: „Nur Notruf möglich“.

Für Notrufe stehen immer alle Netze zur Verfügung, für die normale Kommunikation jedoch nur das zugelassene Netz. Das Besondere an der Spezifikation der GSM-Netze ist, dass für Notrufe alle Netze genutzt werden können, sodass auch diejenigen Nutzer, die an diesem Ort über ihren Normal-Netzbetreiber keine Verbindungen aufbauen können, trotzdem einen Notruf über die „112“ absetzen können.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass auch in einem Bus keine Feldstärkeerhöhungen aufgrund von Reflexionen gemessen wurden.

Die Grenzwerte waren immer weit unterschritten.



Abbildung 189

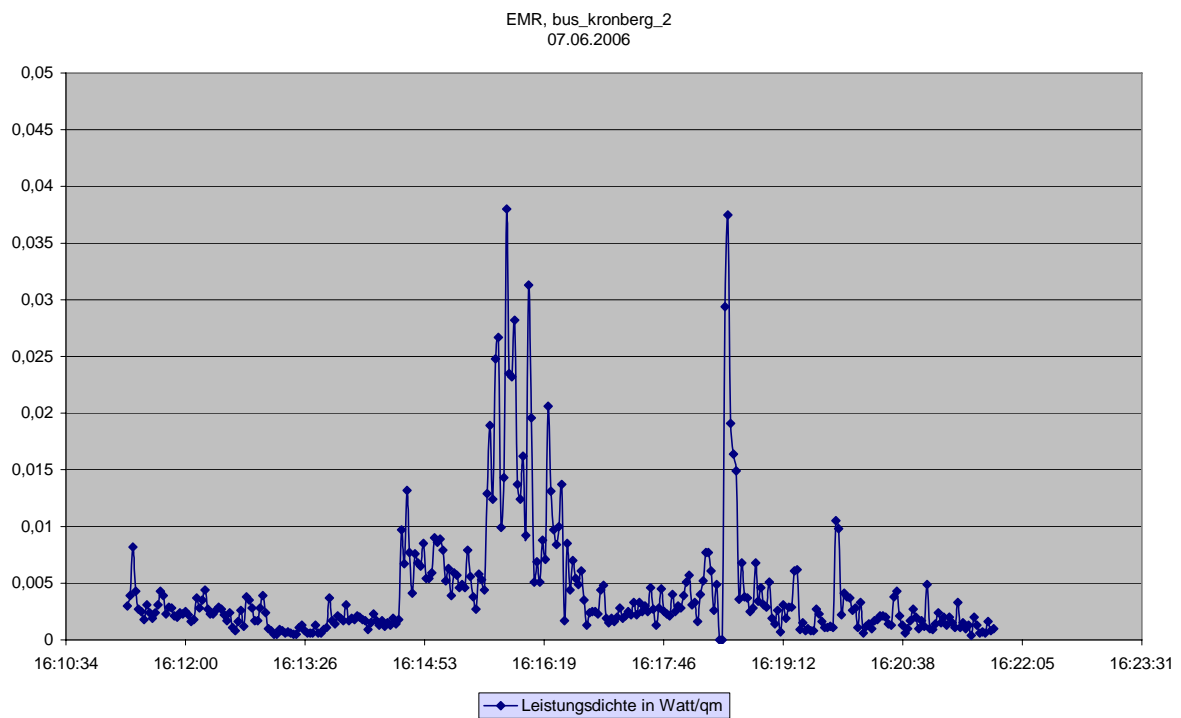


Abbildung 190 (in 90-facher Vergrößerung)

Maschek (GSM 900, 1800, 900), Waldschwimmbad
07.06.2006

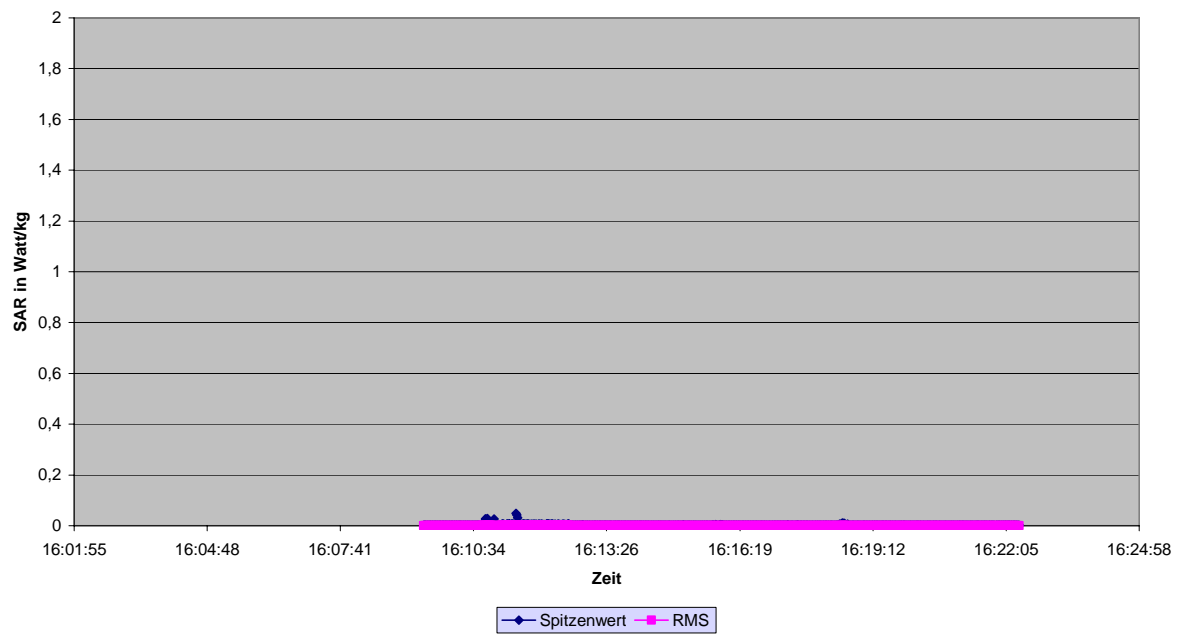


Abbildung 191

Maschek (GSM 900, 1800, 900), Waldschwimmbad
07.06.2006

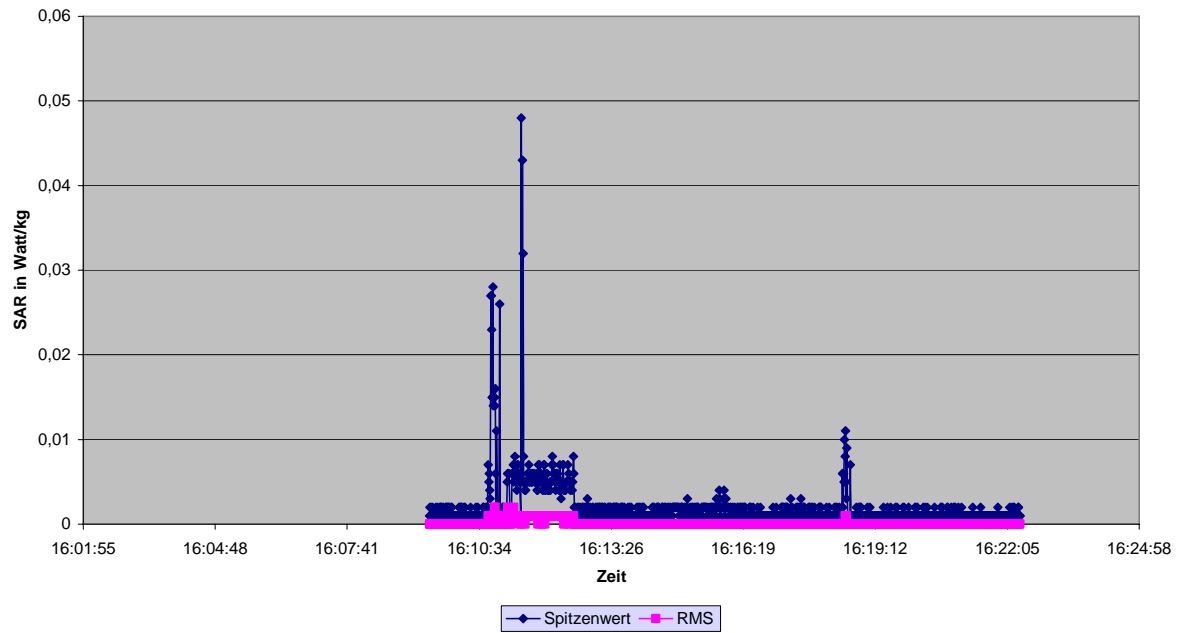


Abbildung 192 (in 33-facher Vergrößerung)

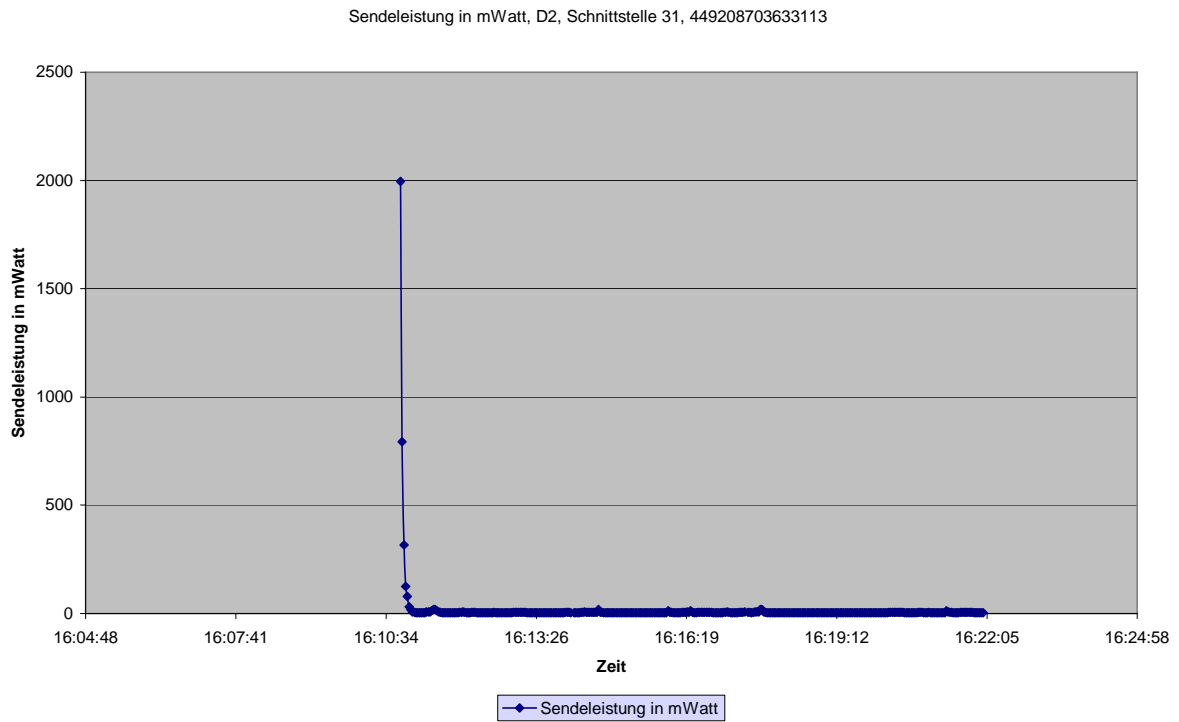


Abbildung 193

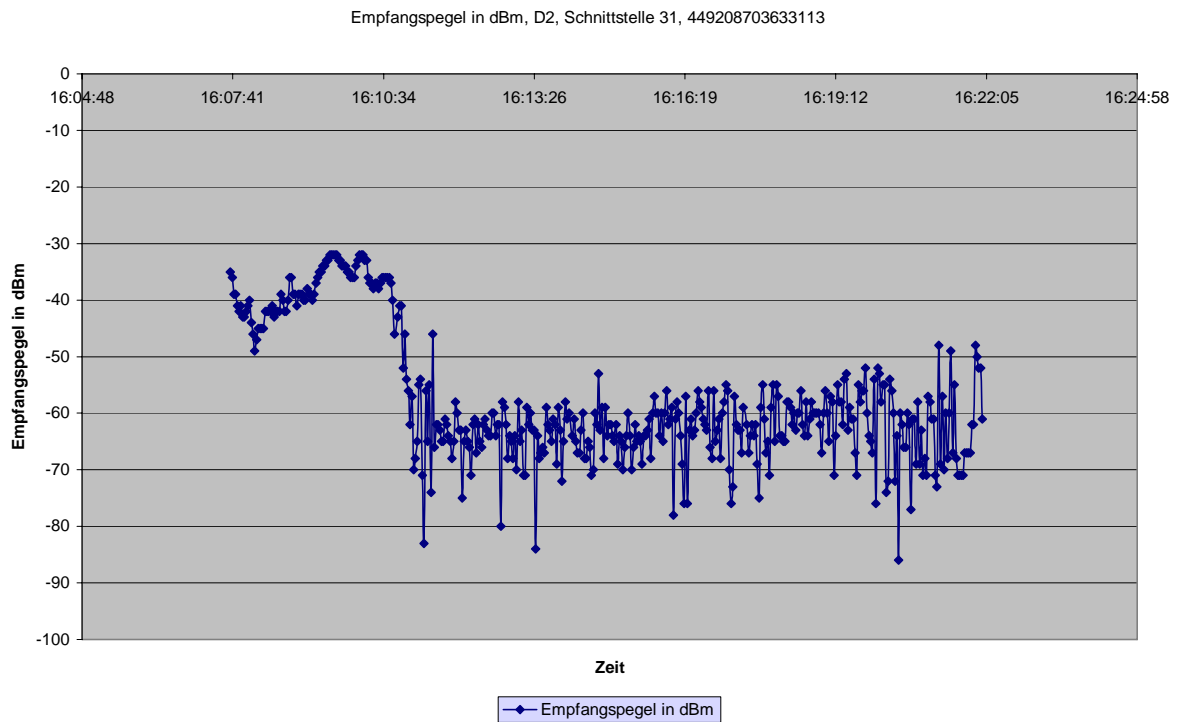


Abbildung 194

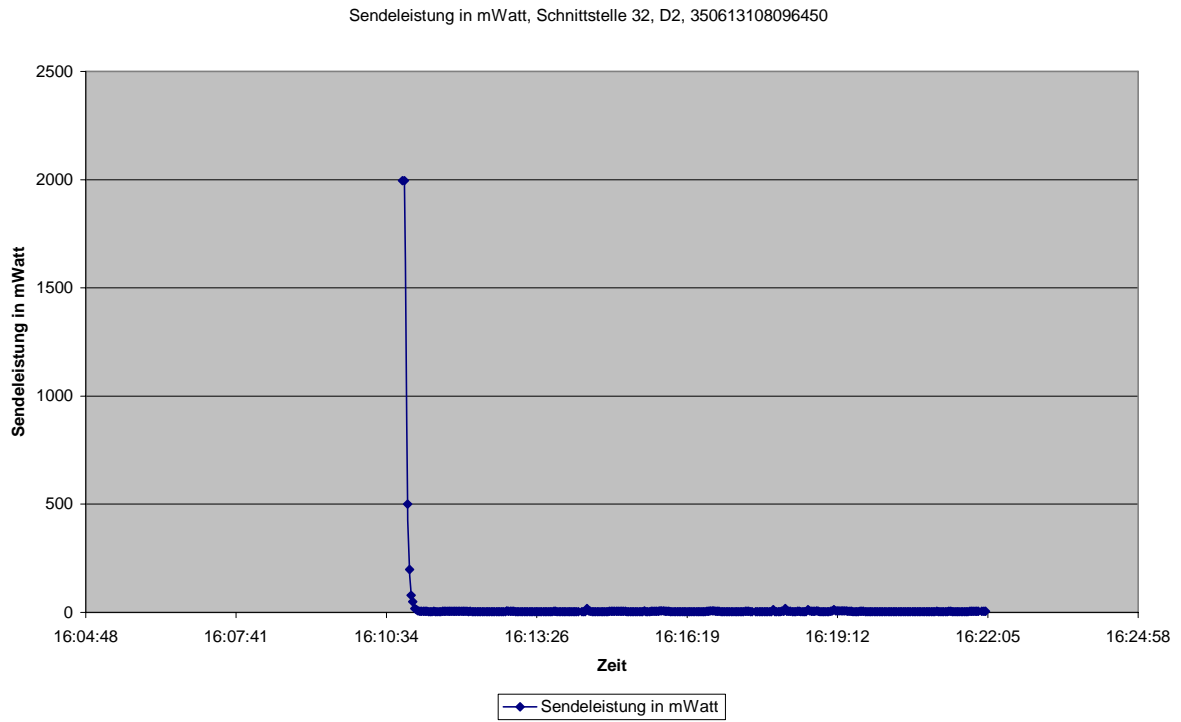


Abbildung 195

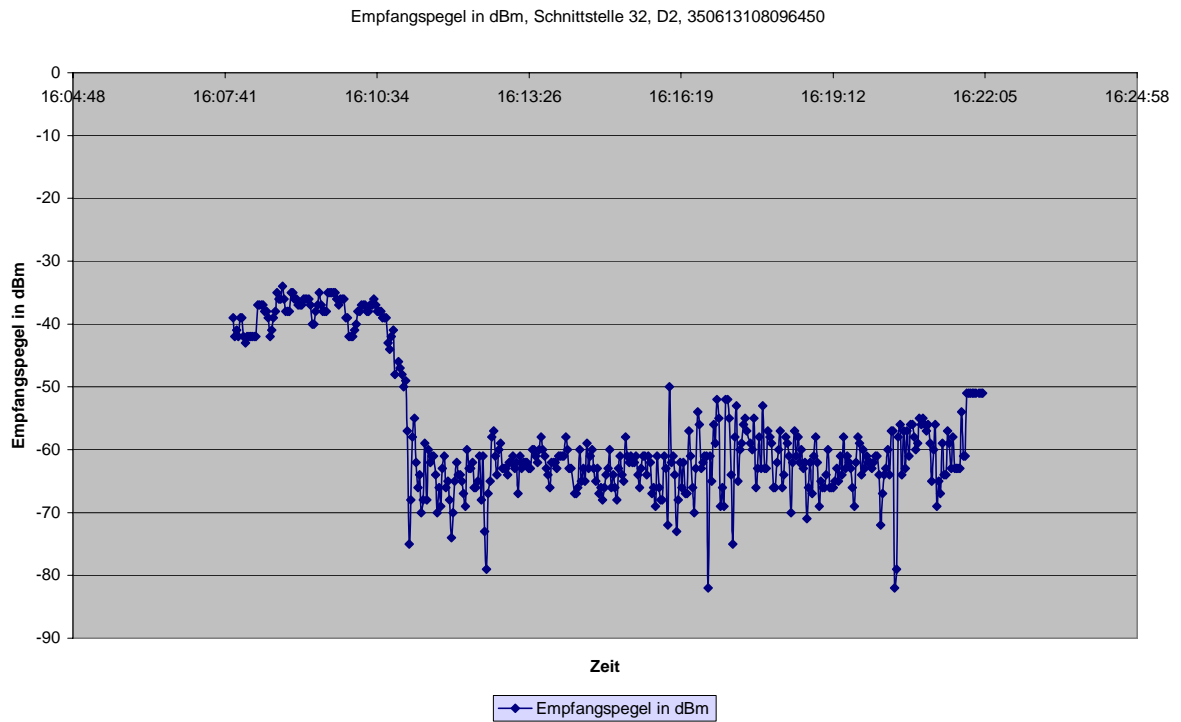


Abbildung 196

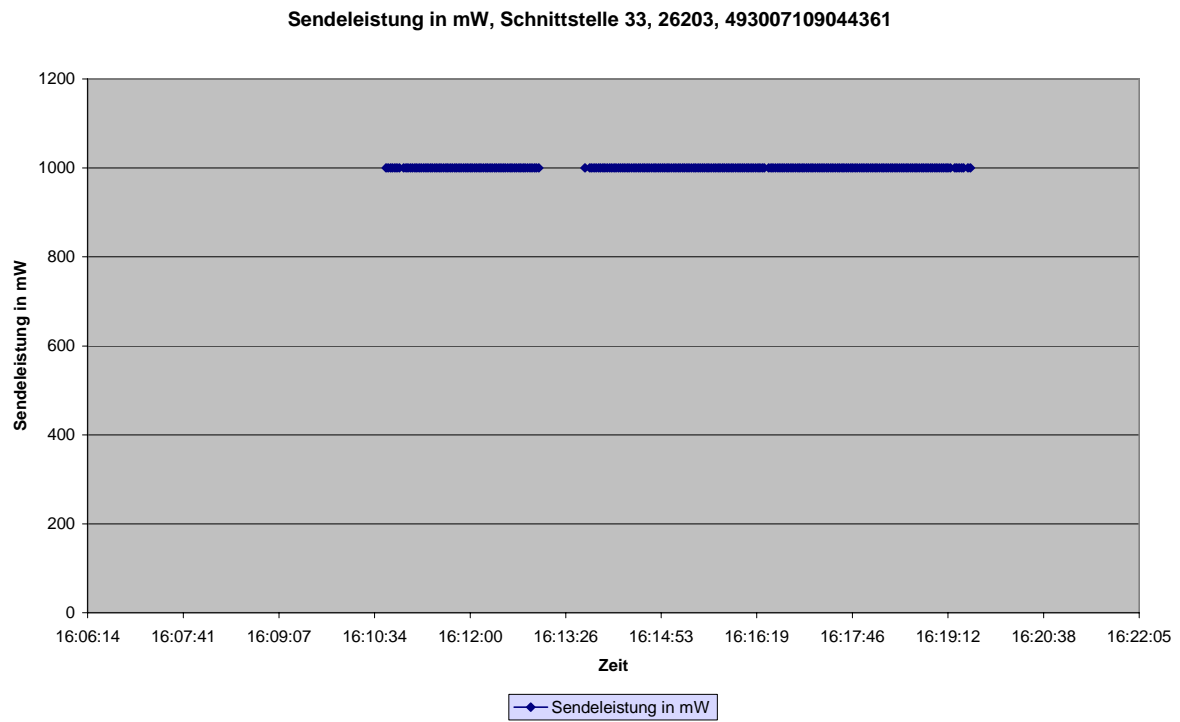


Abbildung 197

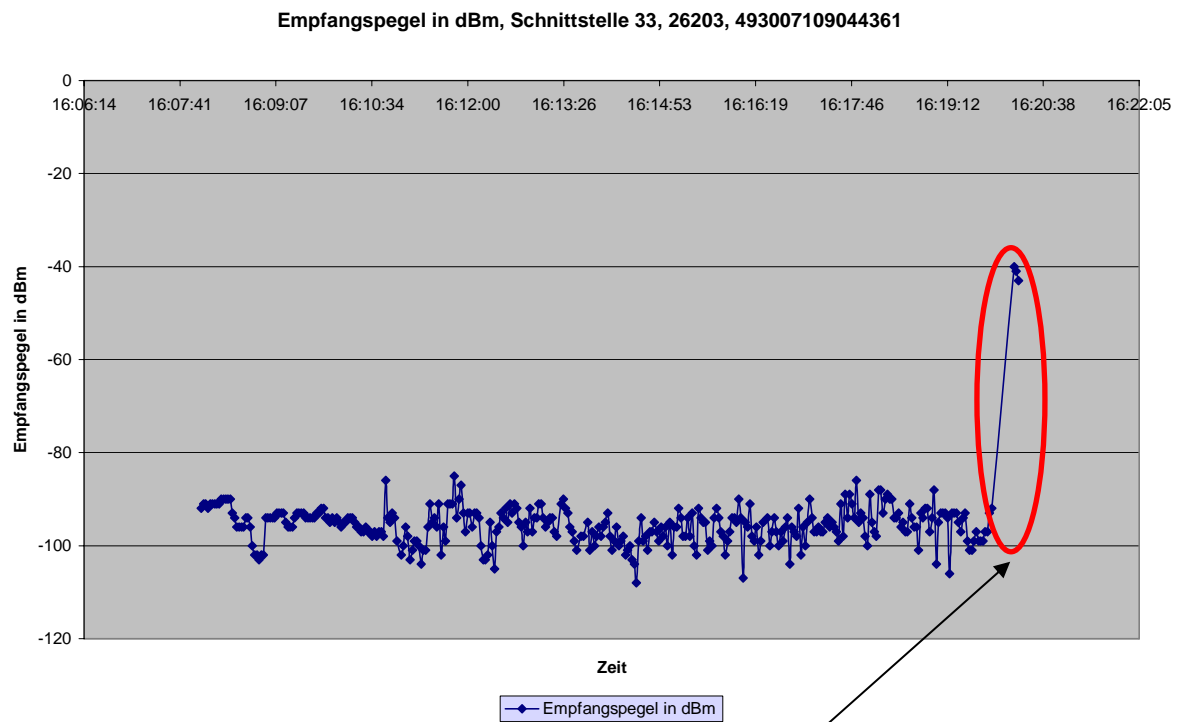


Abbildung 198

Erläuterung siehe Text zu **Abbildung 198**

Log starting at 07.06.2006 16:07:56(2.3.2.623R / NOKIA 6150 (2350/ 5.17) on FBUS / 493007109044361)

Datum	Uhrzeit	Cell-ID	Rufzone	Netz-ID	Empfangs-Pegel in dBm	Sendelst. in mW	Kanalnummer
07.06.2006	16:18:14	42835	365	26203	-93	1000	782
07.06.2006	16:18:16	42835	365	26203	-90	1000	782
07.06.2006	16:18:18	42835	365	26203	-89	1000	782
07.06.2006	16:18:20	42835	365	26203	-90	1000	754
07.06.2006	16:18:22	3935	365	26203	-90	1000	754
07.06.2006	16:18:24	3935	365	26203	-94	1000	754
07.06.2006	16:18:26	3935	365	26203	-94	1000	754
07.06.2006	16:18:28	3935	365	26203	-93	1000	754
07.06.2006	16:18:30	3935	365	26203	-96	1000	754
07.06.2006	16:18:32	42835	365	26203	-95	1000	782
07.06.2006	16:18:34	42835	365	26203	-97	1000	782
07.06.2006	16:18:36	42835	365	26203	-97	1000	782
07.06.2006	16:18:38	635	375	26203	-91	1000	832
07.06.2006	16:18:40	635	375	26203	-94	1000	832
07.06.2006	16:18:42	635	375	26203	-96	1000	832
07.06.2006	16:18:44	635	375	26203	-96	1000	832
07.06.2006	16:18:46	23635	365	26203	-101	1000	785
07.06.2006	16:18:48	23635	365	26203	-93	1000	785
07.06.2006	16:18:50	23635	365	26203	-94	1000	785
07.06.2006	16:18:52	23635	365	26203	-92	1000	785
07.06.2006	16:18:54	23635	365	26203	-92	1000	785
07.06.2006	16:18:56	23635	365	26203	-97	1000	785
07.06.2006	16:18:58	23635	365	26203	-94	1000	785
07.06.2006	16:19:00	23635	365	26203	-88	1000	754
07.06.2006	16:19:02	3935	365	26203	-104	1000	754
07.06.2006	16:19:04	3935	365	26203	-95	1000	754
07.06.2006	16:19:06	3935	365	26203	-93	1000	782
07.06.2006	16:19:08	42835	365	26203	-93	1000	782
07.06.2006	16:19:10	42835	365	26203	-93	1000	782
07.06.2006	16:19:12	42835	365	26203	-94	1000	782
07.06.2006	16:19:14	42835	365	26203	-106	1000	782
07.06.2006	16:19:16	38895	415	26203	-93		784
07.06.2006	16:19:18	38895	415	26203	-93	1000	784
07.06.2006	16:19:20	38895	415	26203	-93	1000	784
07.06.2006	16:19:22	38895	415	26203	-95	1000	784
07.06.2006	16:19:24	38895	415	26203	-97	1000	784
07.06.2006	16:19:26	38895	415	26203	-94	1000	784
07.06.2006	16:19:28	38895	415	26203	-93		784
07.06.2006	16:19:30	38895	415	26203	-99	1000	784
07.06.2006	16:19:32	38895	415	26203	-101	1000	784
07.06.2006	16:19:34	38895	415	26203	-101		784
07.06.2006	16:19:36	38895	415	26203	-99		784
07.06.2006	16:19:38	38895	415	26203	-97		784
07.06.2006	16:19:40	38895	415	26203	-99		784
07.06.2006	16:19:42	38895	415	26203	-99		784
07.06.2006	16:19:44	38895	415	26203	-99		784
07.06.2006	16:19:46	38895	415	26203	-97		784
07.06.2006	16:19:48	38895	415	26203	-97		784
07.06.2006	16:19:50	38895	415	26203	-93		784
07.06.2006	16:19:52	38895	415	26203	-92		784
07.06.2006	16:20:12	10282	615	26202	-40		73
07.06.2006	16:20:14	10282	615	26202	-41		73
07.06.2006	16:20:16	10282	615	26202	-43		73

Tabelle 31

9.8 Mess-Szenario ICE mit und ohne Repeater

Es sollte untersucht werden - und dies bei einer gleichzeitigen Nutzung von vielen aktiven Handys -, ob es in einem ICE-Wagen mit Repeater und in einem ICE-Wagen ohne Repeater zu Reflexionen und damit zu kritischen Feldstärkeüberhöhungen kommen kann.

Die Deutsche Bahn AG gestattete freundlicherweise im Rahmen dieses Projektes die Durchführung der gewünschten Messungen in einem ICE-Zug im Bahndepot in Frankfurt-Griesheim.

Die mehrstündigen Messungen konnten nur nachts im Depot durchgeführt werden, da tagsüber die ICE Züge unterwegs sind.

Die Messkampagne dauerte von 19 Uhr bis nach Mitternacht.

Abbildung 200 zeigt das Messteam in den Warnwesten der Deutschen Bahn AG vor dem Betreten des Depots.

Abbildung 201 zeigt den ICE-Zug im Depot, **Abbildung 202** die ICE-Nummer des betreffenden Wagens.

Abbildung 203 einen Teil der eigenen Messmannschaft mit dem Betreuer der Messungen seitens der DB AG, Herrn Hößl (rechts vorne) und zwei weiteren Mitarbeitern der DB AG und **Abbildung 204** die ICE-Wartungshalle in FFM-Griesheim.

Wagen 23	mit Repeater
Wagen 24	ohne Repeater
Bistro-Wagen	ohne Repeater
Wagen 26	mit Repeater
Wagen 27	mit Repeater
Wagen 28	ohne Repeater

Abbildung 199: Reihenfolge und Ausrüstung des ICE-Zugs



Abbildung 200



Abbildung 201



Abbildung 202



Abbildung 203



Abbildung 204

9.8.1 Erste Testmessungen zur Auswahl der für die Messungen geeigneten Mobilfunknetzbetreiber

Alle Messungen wurden am Mittwoch, den 7. Juni von 21:00 bis Mitternacht durchgeführt. Zuerst wurden in den einzelnen Mobilfunknetzen mittels Versuchsmessungen getestet, welcher Regelmechanismus in den einzelnen Netzen an dieser Lokalität realisiert ist. Ein aktiver Regelmechanismus ist erforderlich, um bei den späteren Messungen die Unterschiede zwischen den Repeater- und den Nicht-Repeater-Wagen feststellen zu können.

Abbildung 205 und **Abbildung 206** zeigen die Monitor A-Daten für ein im D1-Netz eingebuchtes Mobiltelefon. **Abbildung 207** und **Abbildung 208** zeigen die Monitor B-Daten für ein weiteres Mobiltelefon ebenfalls im D1-Netz.

Trotz unterschiedlicher Handys an etwas unterschiedlichen Orten zeigt sich, dass das gleiche Regelverhalten auftritt. Der Sendeleistungspegel bleibt in beiden Fällen permanent bei 2 Watt.

Die dazu gehörende **Tabelle 32** zeigt die entsprechenden Monitordaten. Es werden zwar die einzelnen Kanäle gewechselt, aber die Sendeleistung bleibt aufgrund eines niedrigen Empfangspegels immer bei 2 Watt. Damit ist eine Nutzung des D1-Netzes für den angestrebten Zweck ausgeschlossen, da ein Empfangspegel, der immer zu einer 2 Watt-Sendeleistung führt, keine Differenzierung zwischen innerhalb und außerhalb des Zuges, zwischen Repeater und Nicht-Repeater-Wagen ermöglicht.

Aus diesem Grund wurden die nachfolgenden Messungen nur im Vodafone-D2 und im E-Netz durchgeführt.

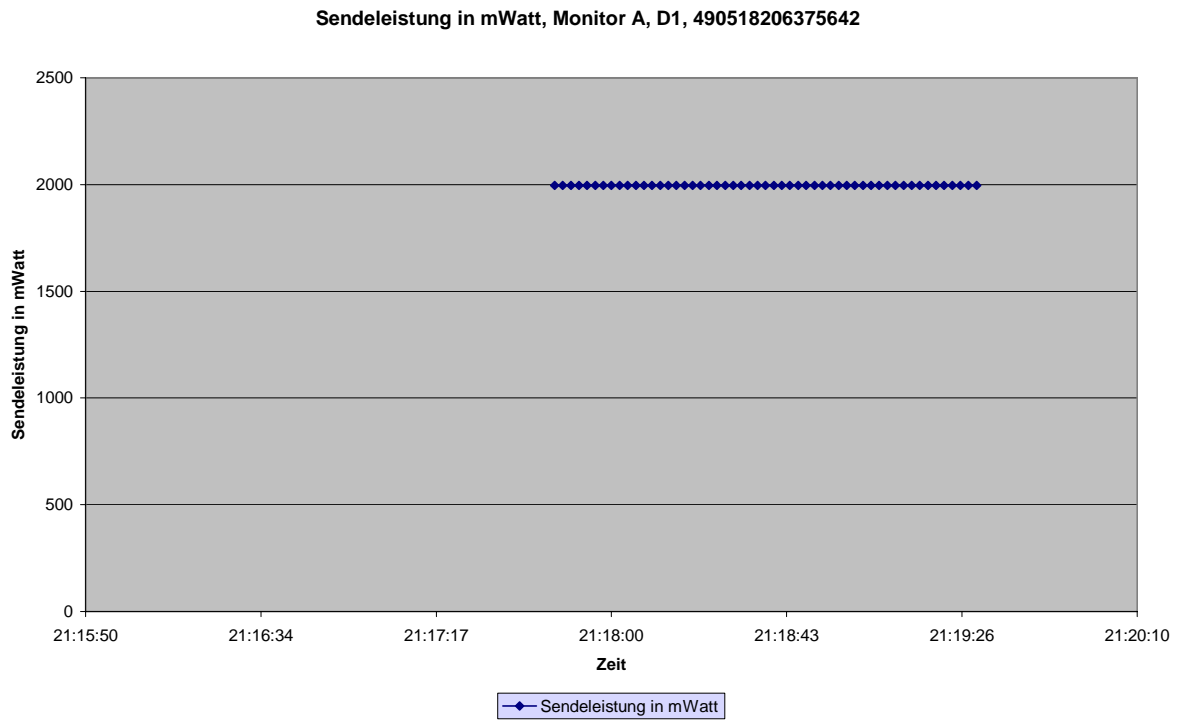


Abbildung 205

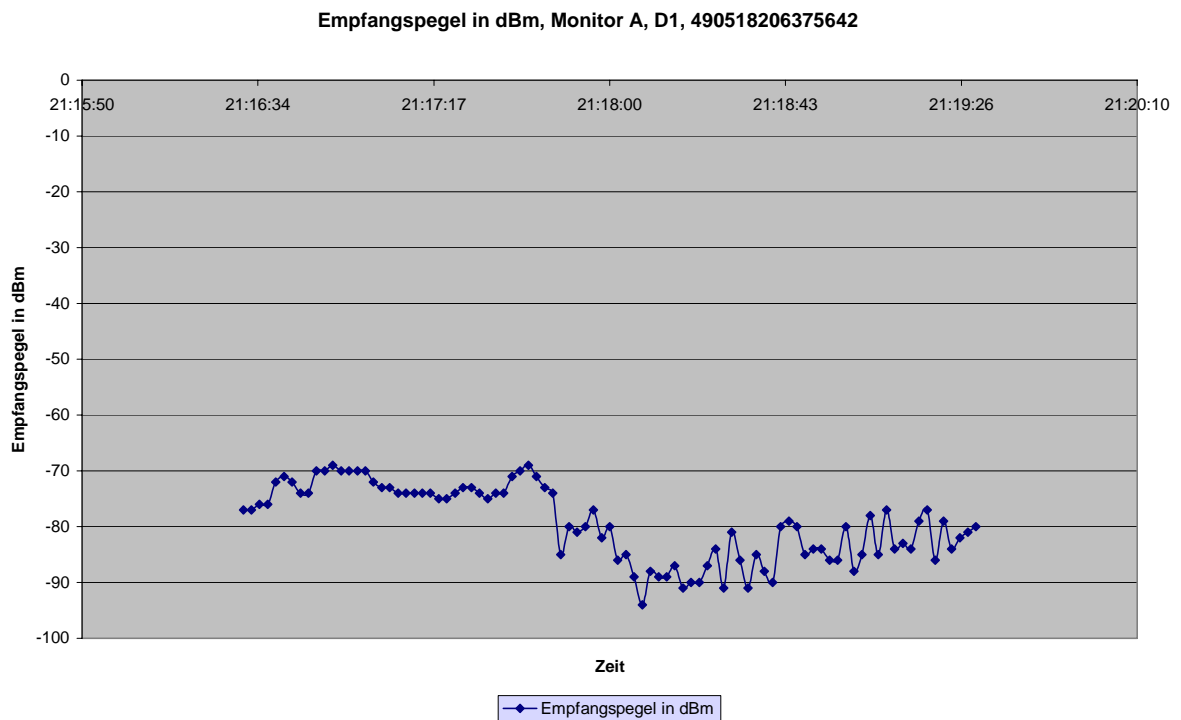


Abbildung 206

Datum	Uhrzeit	Cell-ID	Rufzone	Empfangs- pegel in dBm	Sendelst. in mW	Kanal- nummer
07.06.2006	21:17:46	34514	26201	-74	1995	87
07.06.2006	21:17:48	34514	26201	-85	1995	87
07.06.2006	21:17:50	34514	26201	-80	1995	87
07.06.2006	21:17:52	34514	26201	-81	1995	87
07.06.2006	21:17:54	34514	26201	-80	1995	87
07.06.2006	21:17:56	34514	26201	-77	1995	87
07.06.2006	21:17:58	34514	26201	-82	1995	87
07.06.2006	21:18:00	34514	26201	-80	1995	87
07.06.2006	21:18:02	34514	26201	-86	1995	87
07.06.2006	21:18:04	34514	26201	-85	1995	87
07.06.2006	21:18:06	34514	26201	-89	1995	87
07.06.2006	21:18:08	34514	26201	-94	1995	87
07.06.2006	21:18:10	34514	26201	-88	1995	87
07.06.2006	21:18:12	34514	26201	-89	1995	87
07.06.2006	21:18:14	34514	26201	-89	1995	87
07.06.2006	21:18:16	34514	26201	-87	1995	87
07.06.2006	21:18:18	34514	26201	-91	1995	87
07.06.2006	21:18:20	34514	26201	-90	1995	87
07.06.2006	21:18:22	34514	26201	-90	1995	87
07.06.2006	21:18:24	34514	26201	-87	1995	87
07.06.2006	21:18:26	34514	26201	-84	1995	87
07.06.2006	21:18:28	34514	26201	-91	1995	87
07.06.2006	21:18:30	34514	26201	-81	1995	87
07.06.2006	21:18:32	34514	26201	-86	1995	87
07.06.2006	21:18:34	34514	26201	-91	1995	87
07.06.2006	21:18:36	34514	26201	-85	1995	87
07.06.2006	21:18:38	34514	26201	-88	1995	87
07.06.2006	21:18:40	34514	26201	-90	1995	87
07.06.2006	21:18:42	34514	26201	-80	1995	87
07.06.2006	21:18:44	34514	26201	-79	1995	87
07.06.2006	21:18:46	34514	26201	-80	1995	87
07.06.2006	21:18:48	34514	26201	-85	1995	87
07.06.2006	21:18:50	34514	26201	-84	1995	87
07.06.2006	21:18:52	34514	26201	-84	1995	87
07.06.2006	21:18:54	34514	26201	-86	1995	87
07.06.2006	21:18:56	34514	26201	-86	1995	87
07.06.2006	21:18:58	34514	26201	-80	1995	42
07.06.2006	21:19:00	14913	26201	-88	1995	42
07.06.2006	21:19:02	14913	26201	-85	1995	42
07.06.2006	21:19:04	14913	26201	-78	1995	42
07.06.2006	21:19:06	14913	26201	-85	1995	42
07.06.2006	21:19:08	14913	26201	-77	1995	87
07.06.2006	21:19:10	34514	26201	-84	1995	87
07.06.2006	21:19:12	34514	26201	-83	1995	87
07.06.2006	21:19:14	34514	26201	-84	1995	87
07.06.2006	21:19:16	34514	26201	-79	1995	87
07.06.2006	21:19:18	34514	26201	-77	1995	87
07.06.2006	21:19:20	34514	26201	-86	1995	87
07.06.2006	21:19:22	34514	26201	-79	1995	87
07.06.2006	21:19:24	34514	26201	-84	1995	87

Tabelle 32

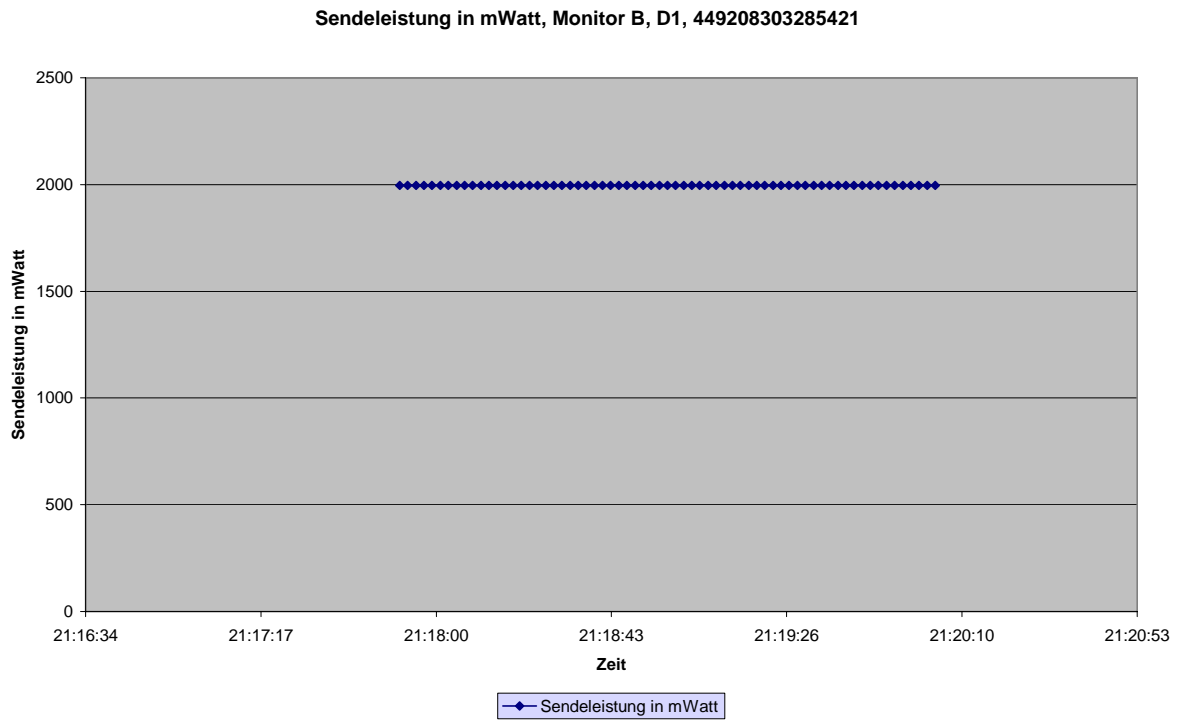


Abbildung 207

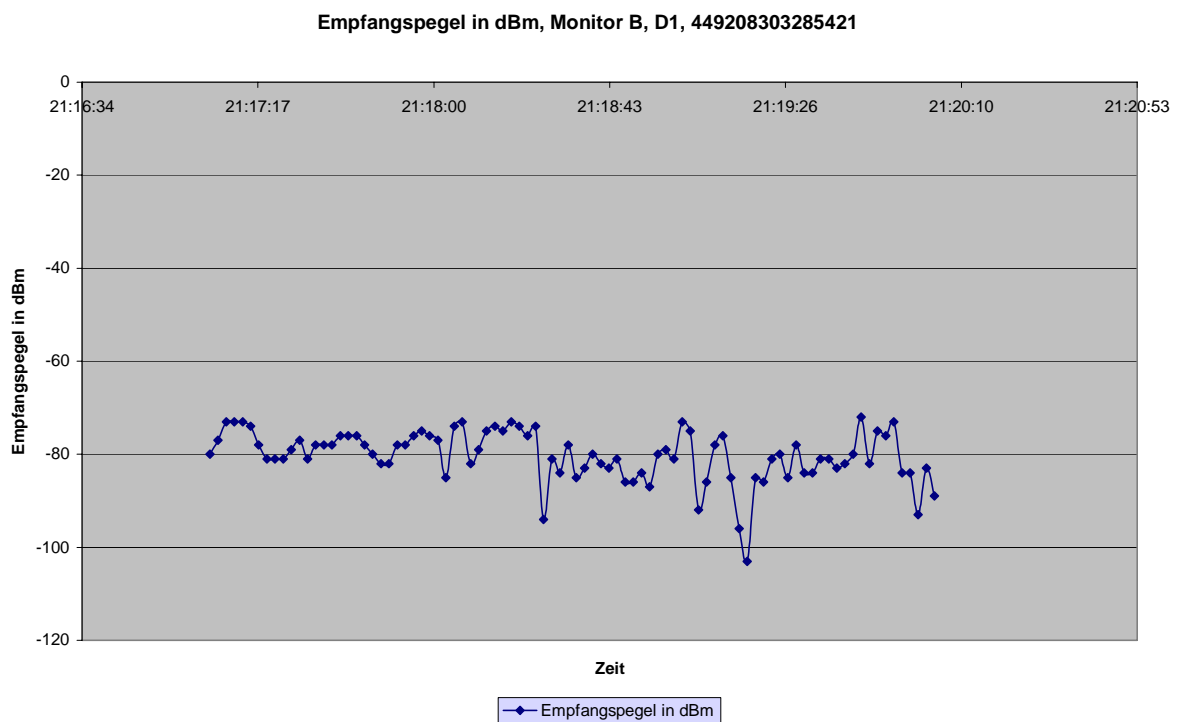


Abbildung 208

9.8.2 Zweite Messreihe, Durchlaufen des Zugs (Hin- und separat Rückweg)

Abbildung 209 zeigt den aktiven Rechner mit den E-Feld-Sonden-Daten. In **Abbildung 210** ist der zweite Rechner mit den eingeblendeten Mehrfach-Monitordaten abgebildet.

Abbildung 211 zeigt den Gang durch den Zug, hier ein Großraumwagen der 1. Klasse.

Abbildung 212 zeigt einen anderen ICE-Wagen,

Abbildung 213 das Passieren des Ganges und

Abbildung 214 einen Großraumwagen der 2. Klasse.

Abbildung 215 einen weiteren Übergang in einen anderen ICE-Wagen und

Abbildung 216 einen weiteren ICE-Wagen.



Abbildung 209



Abbildung 210



Abbildung 211



Abbildung 212



Abbildung 213



Abbildung 214



Abbildung 215



Abbildung 216

Abbildung 217 zeigt die Leistungsdichte (**Abbildung 218** ist eine hundertfach vergrößerte Ausschnittsvergrößerung) beim Durchlaufen eines ICE-Wagens mit und anschließend eines ICE-Wagen ohne Repeater.

Der EMR-Empfangspegel ist sehr gering, erst in einer Vergrößerung um den Faktor 100 sind Feldstärkeunterschiede zu erkennen.

In **Abbildung 219** und **Abbildung 220** sind die Sendeleistungen und der Empfangspegel eines GSM-1800 Handys wiedergegeben; eingezeichnet sind die Zeitabschnitte in denen Repeater und Nicht-Repeater-Wagen durchlaufen werden. Es ist gut zu erkennen, dass in dem Repeater-Wagen die Sendeleistung herunter geregelt wird, da die Empfangsfeldstärke höher ist als in dem Wagen ohne Repeater.

Abbildung 221 und **Abbildung 222** zeigen die Monitor B-Daten für ein anderes Mobilteil ebenfalls eingebucht im E-Plus-Netz. In der **Abbildung 221** ist sehr gut der Unterschied der Leistungsregelung im Repeater-Wagen und der Zeit außerhalb des Repeater-Wagens zu erkennen.

Abbildung 223 zeigt die Monitor C-Daten im D2-Netz beim Durchgang durch Repeater- und Nicht-Repeater-Wagen. Auch hier ist sehr gut das Herunterregeln im Repeater-Wagen zu erkennen.

Abbildung 225 zeigt die Monitor D-Daten für ein weiteres im D2-Netz eingebuchtes Mobiltelefon. Auch hier ist zu erkennen, dass im Repeater-Wagen die Sendeleistung geringer ist.

Die **Tabelle 33** zeigt die Monitor D-Daten aus **Abbildung 225** mit Netz-ID 26202 (D2 Vodafone), der Sendeleistung und der Kanalnummer. Durch den häufigen Kanalwechsel kommt es immer wieder zum Hochregeln auf 2 Watt.

Abbildung 227 zeigt den Rückweg mit den Daten der Leistungsdichtewerte der EMR-Sonde. Nach dem ersten Durchlaufen wurde gedreht und anschließend wieder zurückgegangen. Zuerst kam der Wagen mit Repeater, dann der ohne Repeater. Die Feldstärkewerte sind in beiden ICE-Wagen sehr gering; im Bereich ohne Repeater etwas erhöht, aber weit unterhalb der Grenzwerte.

Tabelle 34 zeigt einen Tabellenauszug der EMR-Daten.

Abbildung 230 zeigt die Monitor A-Daten für das im E-Plus-Netz eingebuchte Mobilteil. Im Wagen mit Repeater ist die Sendeleistung sofort geringer.

Abbildung 232 und **Abbildung 233** zeigen die ebenfalls im E-Plus-Netz eingebuchten Monitor-daten eines Handys. Bei diesen Messungen ist auch gut der unterschiedliche Empfangspegel im Wagen mit und ohne Repeater zu erkennen.

Abbildung 234 und **Abbildung 235** zeigen die Monitor C-Daten für ein im D2-Netz eingebuchtes Mobiltelefon. Auch in **Abbildung 235** ist gut der höhere Empfangspegel im Repeater-Wagen zu erkennen und die daraus folgende stärkere Herunterregelung der Sendeleistung.

Abbildung 236 und **Abbildung 237** zeigen die Monitor D-Daten im D2-Netz – auch hier sind die Werte im Repeater-Wagen geringer.

Tabelle 35 zeigt den Auszug aus den Monitor D-Daten. Der Netzbetreiber hat die ID 26202 (D2, Vodafone), die Rufzone 611 ist Frankfurt. Anhand der Cell-ID ist festzustellen, dass bei dem Kanalwechsel auch eine andere Zelle verwendet wird. Es sind auch Kanalwechsel innerhalb der eigenen Zelle möglich.

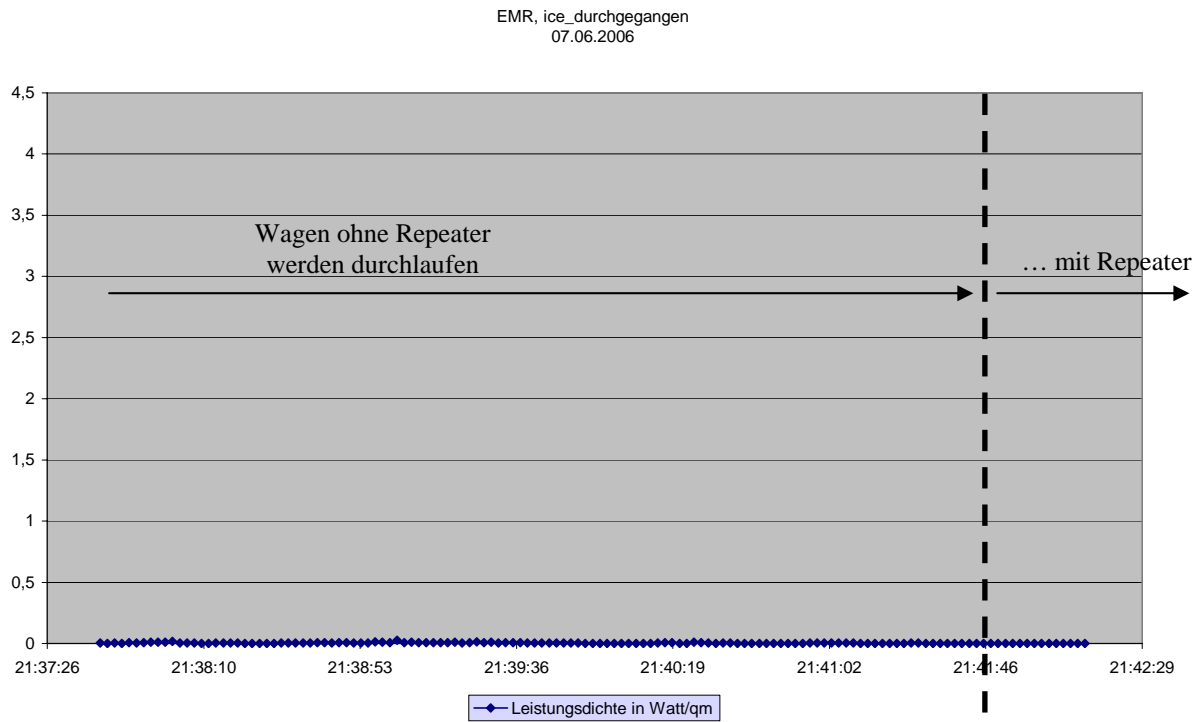


Abbildung 217

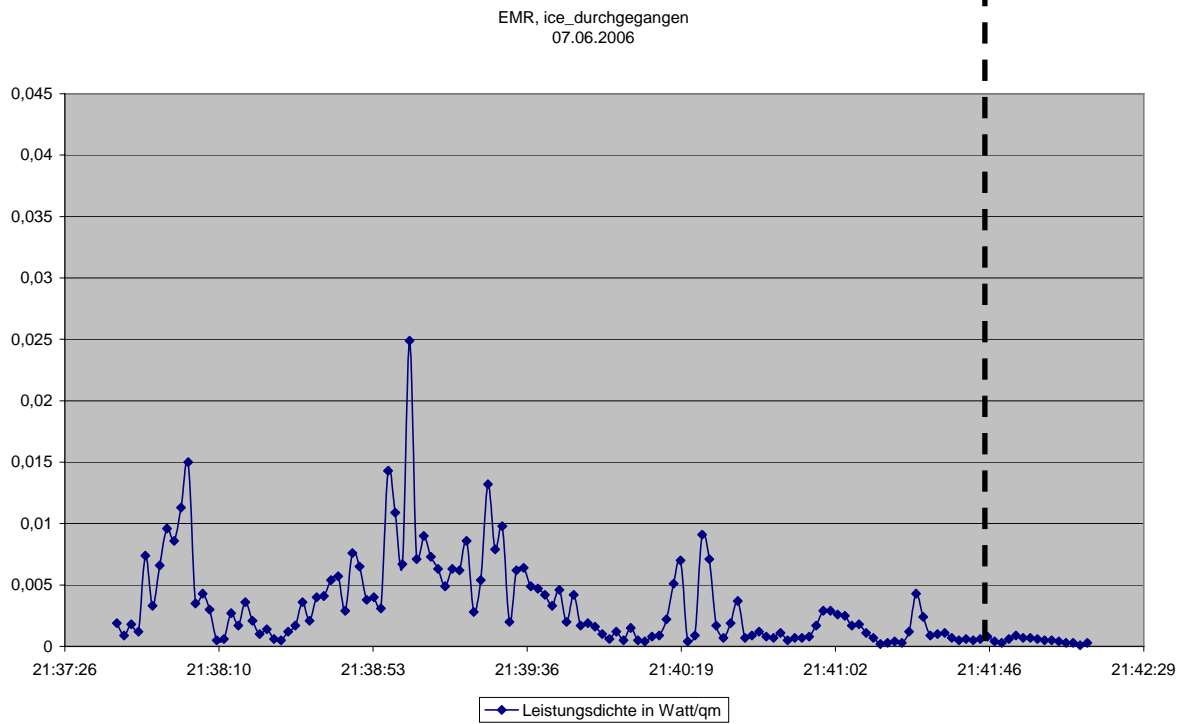


Abbildung 218 (in 100-facher Vergrößerung)

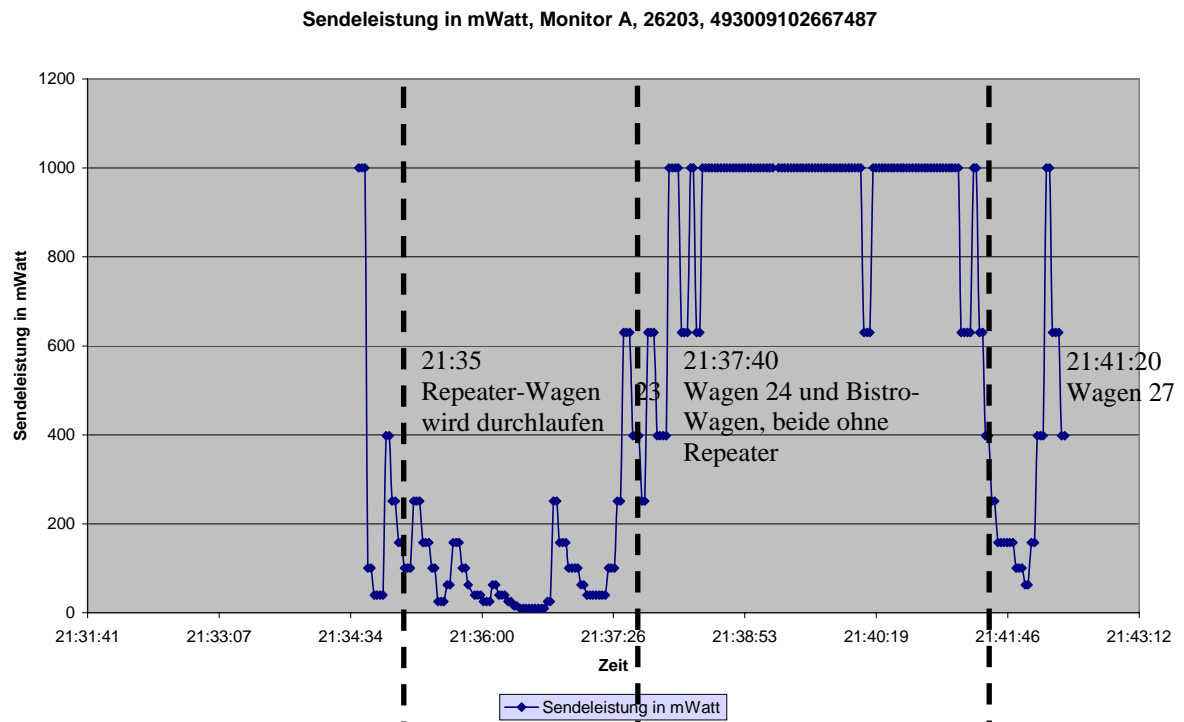


Abbildung 219

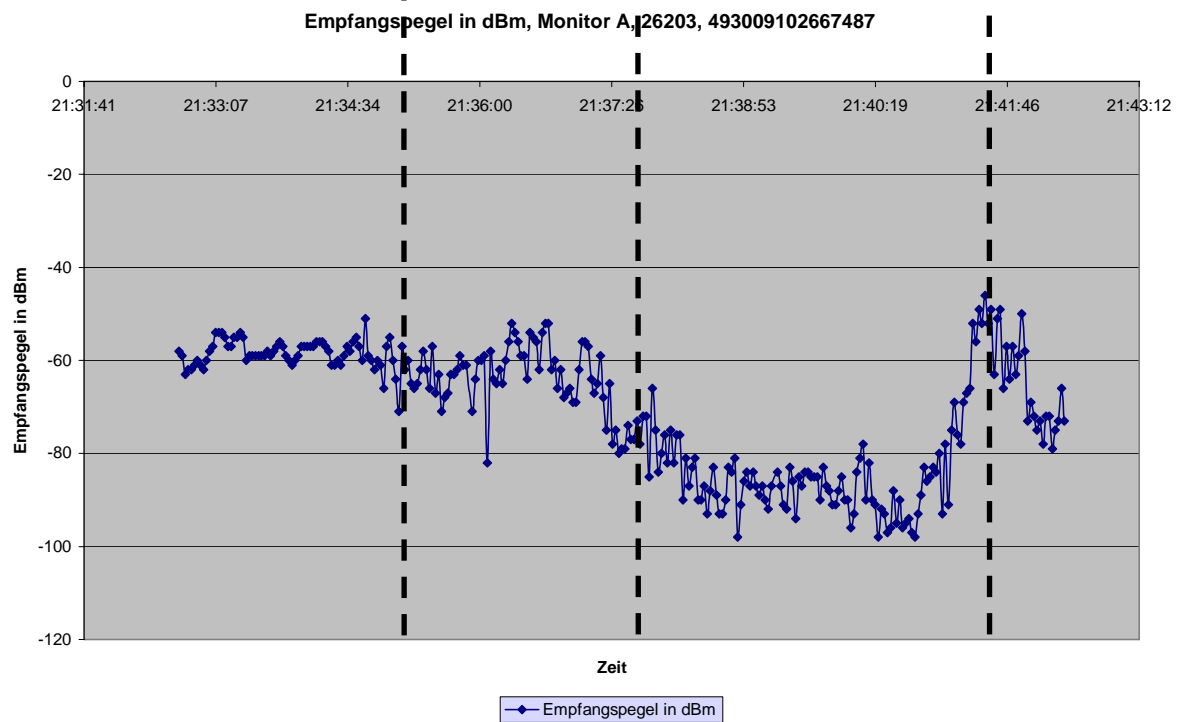


Abbildung 220

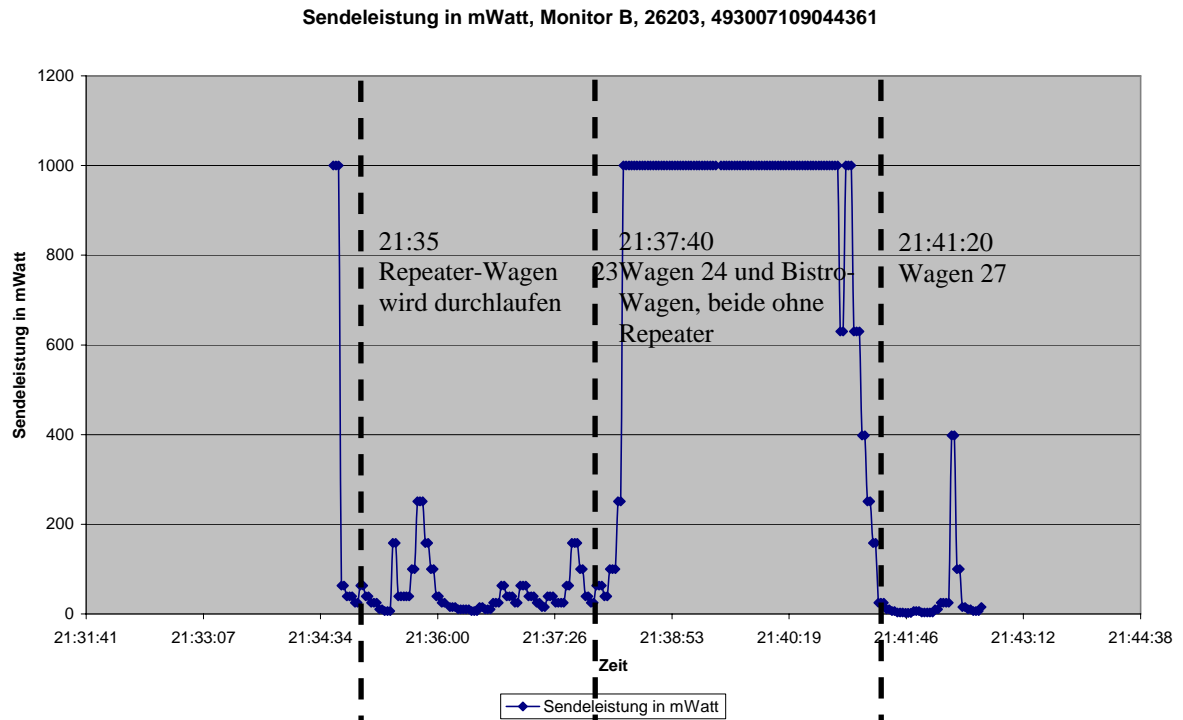


Abbildung 221

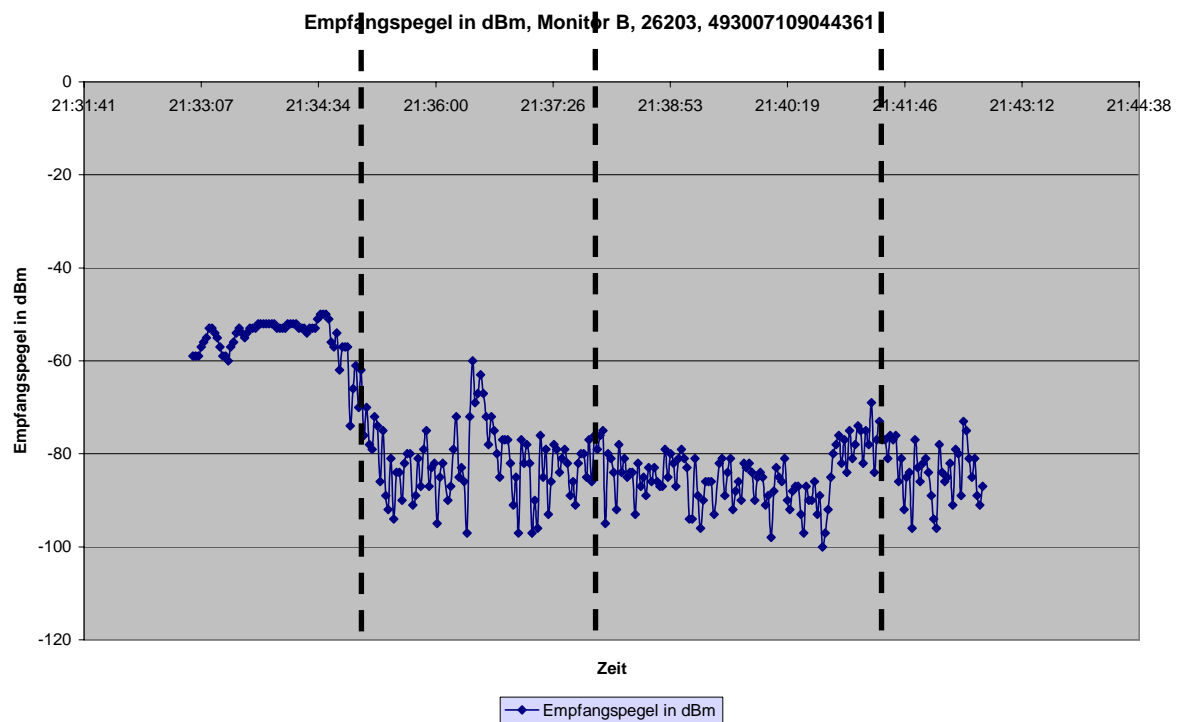


Abbildung 222

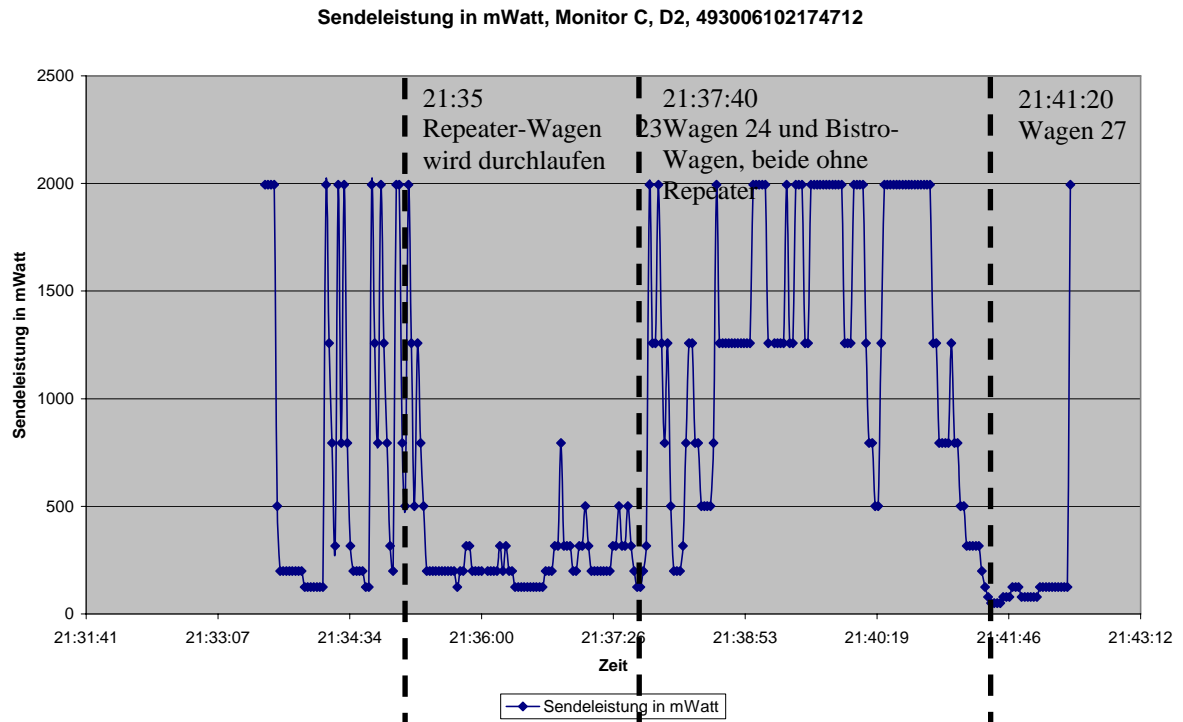


Abbildung 223

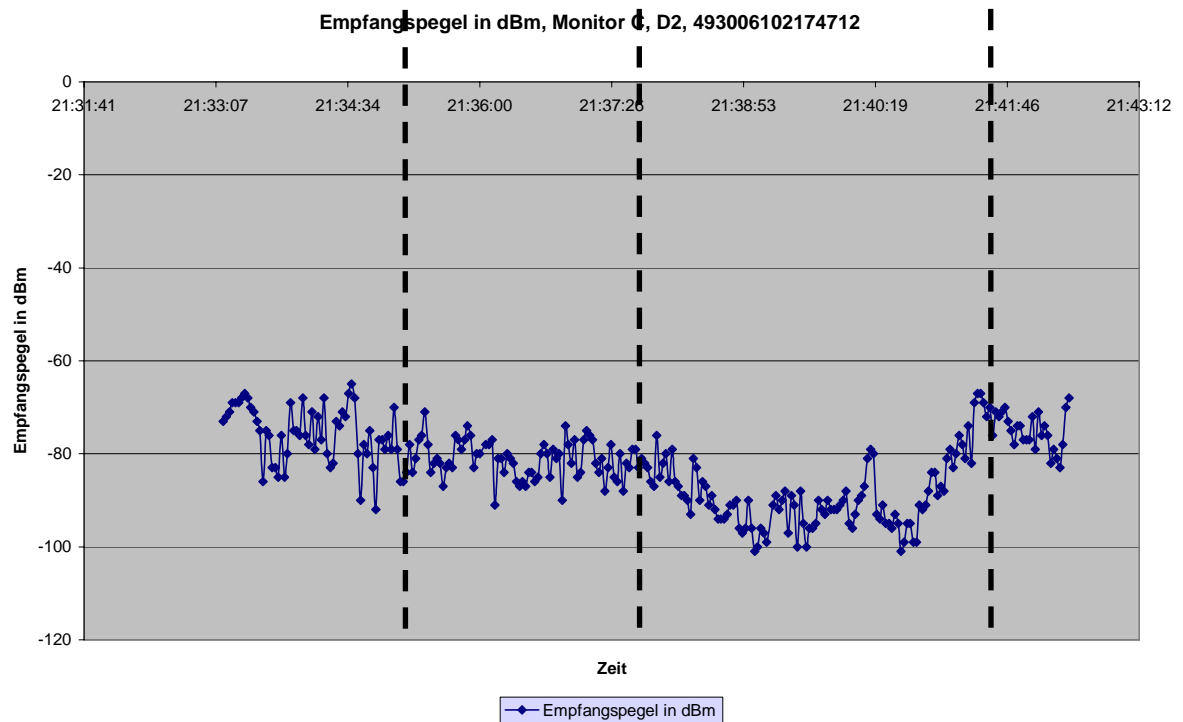


Abbildung 224

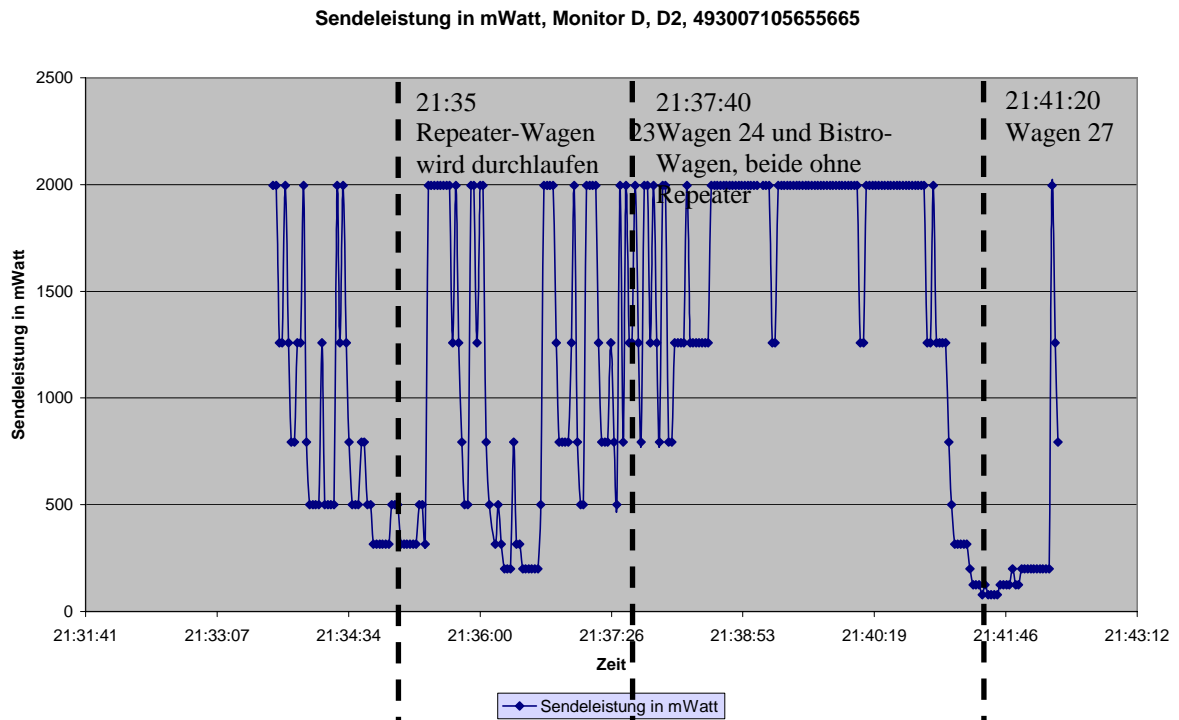


Abbildung 225

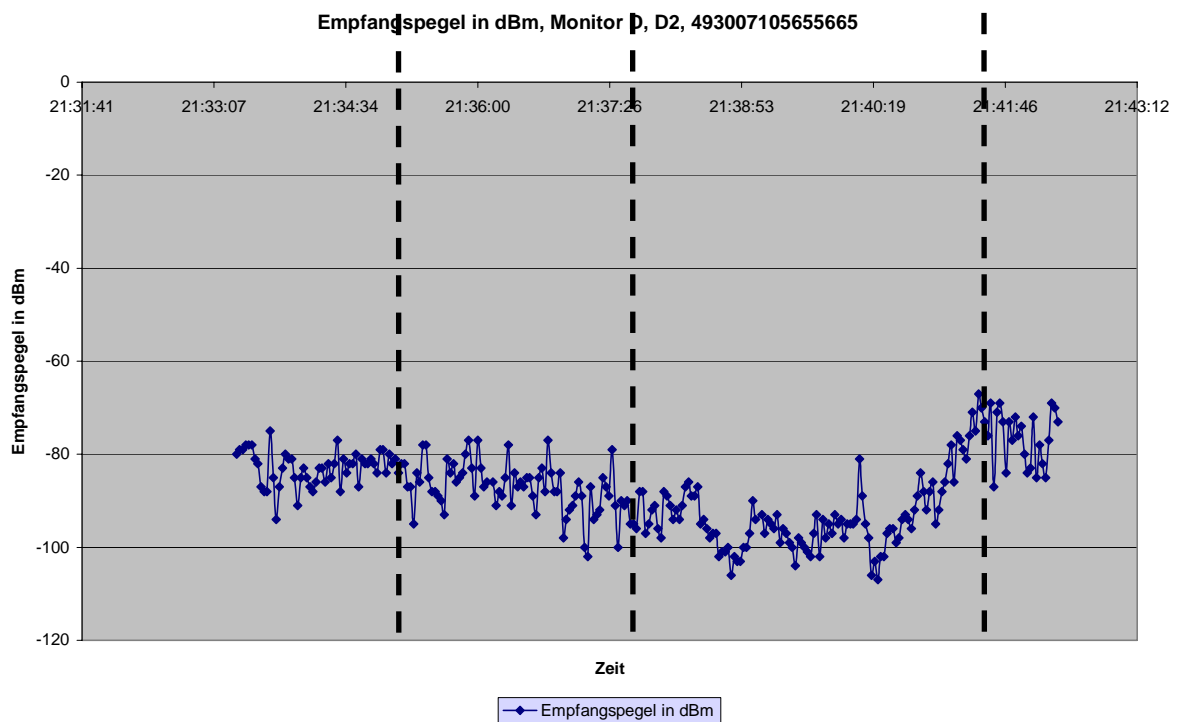


Abbildung 226

Datum	Uhrzeit	Cell-ID	Netz-ID	Empfangs- pegel in dBm	Sendelst. in mW	Kanal- nummer
07.06.2006	21:34:26	26233	26202	-82	1995	108
07.06.2006	21:34:28	26233	26202	-77	1258	108
07.06.2006	21:34:30	26233	26202	-88	1995	108
07.06.2006	21:34:32	26233	26202	-81	1258	108
07.06.2006	21:34:34	26233	26202	-84	794	108
07.06.2006	21:34:36	26233	26202	-82	501	108
07.06.2006	21:34:38	26233	26202	-82	501	108
07.06.2006	21:34:40	26233	26202	-80	501	108
07.06.2006	21:34:42	26233	26202	-87	794	108
07.06.2006	21:34:44	26233	26202	-81	794	108
07.06.2006	21:34:46	26233	26202	-82	501	108
07.06.2006	21:34:48	26233	26202	-82	501	108
07.06.2006	21:34:50	26233	26202	-81	316	108
07.06.2006	21:34:52	26233	26202	-82	316	108
07.06.2006	21:34:54	26233	26202	-84	316	108
07.06.2006	21:34:56	26233	26202	-79	316	108
07.06.2006	21:34:58	26233	26202	-79	316	108
07.06.2006	21:35:00	26233	26202	-84	316	108
07.06.2006	21:35:02	26233	26202	-80	501	108
07.06.2006	21:35:04	26233	26202	-82	501	108
07.06.2006	21:35:06	26233	26202	-81	501	108
07.06.2006	21:35:08	26233	26202	-84	316	108
07.06.2006	21:35:10	26233	26202	-82	316	108
07.06.2006	21:35:12	26233	26202	-82	316	108
07.06.2006	21:35:14	26233	26202	-87	316	108
07.06.2006	21:35:16	26233	26202	-87	316	108
07.06.2006	21:35:18	26233	26202	-95	316	108
07.06.2006	21:35:20	26233	26202	-84	501	108
07.06.2006	21:35:22	26233	26202	-86	501	108
07.06.2006	21:35:24	26233	26202	-78	316	108
07.06.2006	21:35:26	26233	26202	-78	1995	57
07.06.2006	21:35:28	49713	26202	-85	1995	57
07.06.2006	21:35:30	49713	26202	-88	1995	57
07.06.2006	21:35:32	49713	26202	-88	1995	57
07.06.2006	21:35:34	16002	26202	-89	1995	8
07.06.2006	21:35:36	16002	26202	-90	1995	8
07.06.2006	21:35:38	16002	26202	-93	1995	8
07.06.2006	21:35:40	16002	26202	-81	1995	108
07.06.2006	21:35:42	26233	26202	-84	1258	108
07.06.2006	21:35:44	26233	26202	-82	1995	108
07.06.2006	21:35:46	26233	26202	-86	1258	108
07.06.2006	21:35:48	26233	26202	-85	794	108
07.06.2006	21:35:50	26233	26202	-84	501	108
07.06.2006	21:35:52	26233	26202	-80	501	108
07.06.2006	21:35:54	26233	26202	-77	1995	57
07.06.2006	21:35:56	49713	26202	-83	1995	57
07.06.2006	21:35:58	49713	26202	-89	1258	57
07.06.2006	21:36:00	49713	26202	-77	1995	108
07.06.2006	21:36:02	26233	26202	-83	1995	108
07.06.2006	21:36:04	26233	26202	-87	794	108
07.06.2006	21:36:06	26233	26202	-86	501	108
07.06.2006	21:36:10	26233	26202	-86	316	108
07.06.2006	21:36:12	26233	26202	-91	501	108
07.06.2006	21:36:14	26233	26202	-88	316	108
07.06.2006	21:36:16	26233	26202	-89	199	108

Tabelle 33

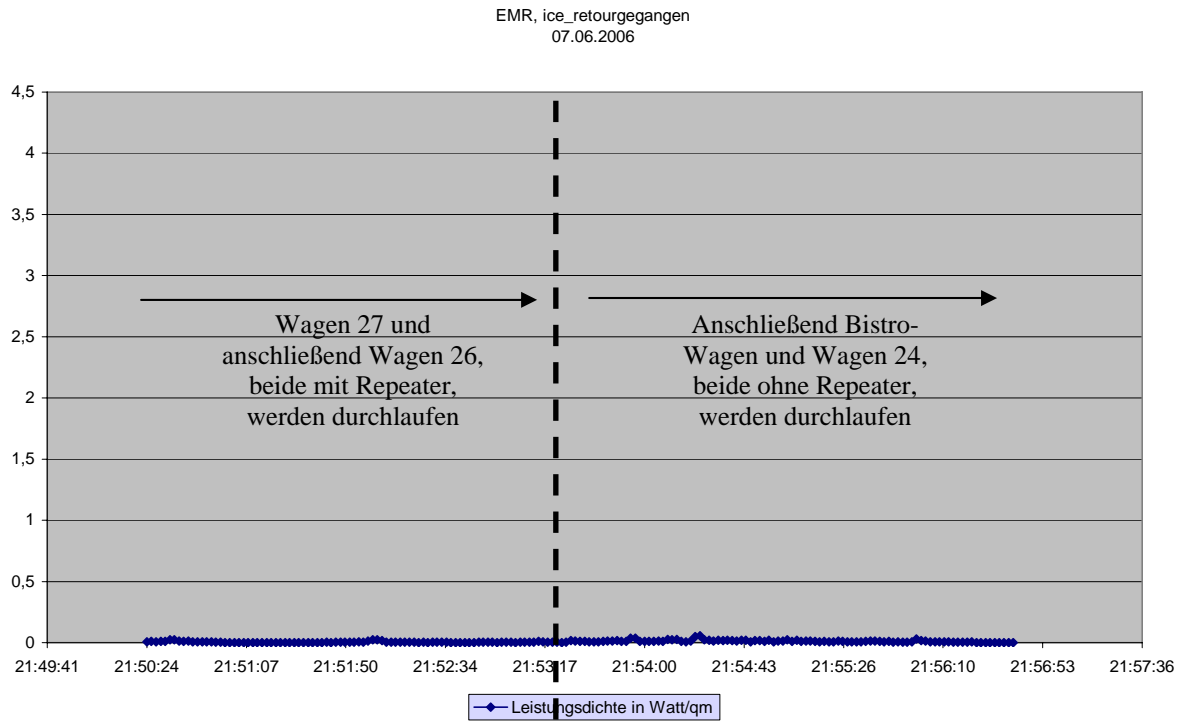


Abbildung 227

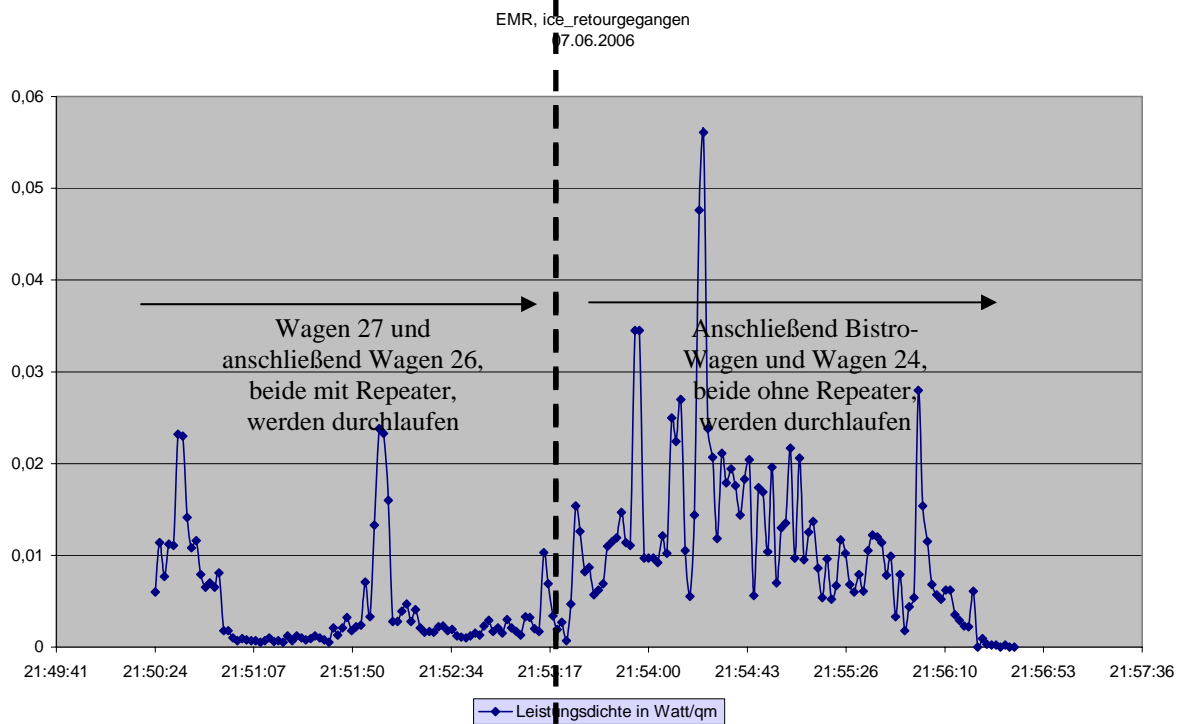


Abbildung 228 zeigt Abbildung 229 in nunmehr 75-facher Vergrößerung

START						
EMR-300 - H-0005 - V03,01		Probe: 18	type: E	Date: 06-07-2006		
Calibr Factor: 0,900		Unit: W/m²m	Max: OFF	Average: OFF		
Index	Time	x	y	z	Eff	
80	21:53:00,0	0,0011	0,0004	0,0006	0,0021	
81	21:53:02,0	0,0008	0,0005	0,0004	0,0017	
82	21:53:04,0	0,0006	0,0004	0,0003	0,0013	
83	21:53:06,0	0,0025	0,0005	0,0003	0,0033	
84	21:53:08,0	0,001	0,0015	0,0007	0,0032	
85	21:53:10,0	0,0006	0,0009	0,0005	0,002	
86	21:53:12,0	0,0008	0,0005	0,0004	0,0017	
87	21:53:14,0	0,0015	0,003	0,0058	0,0103	
88	21:53:16,0	0,0024	0,001	0,0035	0,0069	
89	21:53:18,0	0,0008	0,0018	0,0008	0,0034	
90	21:53:20,0	0,0006	0,0005	0,0008	0,0019	
91	21:53:22,0	0,0006	0,0009	0,0012	0,0027	
92	21:53:24,0	0,0002	0,0003	0,0002	0,0007	
93	21:53:26,0	0,002	0,0018	0,0009	0,0047	
94	21:53:28,0	0,0027	0,0088	0,0039	0,0154	
95	21:53:30,0	0,0034	0,0047	0,0045	0,0126	
96	21:53:32,0	0,002	0,0037	0,0025	0,0082	
97	21:53:34,0	0,0045	0,0017	0,0025	0,0087	
98	21:53:36,0	0,0027	0,0013	0,0017	0,0057	
99	21:53:38,0	0,0016	0,0024	0,0022	0,0062	
100	21:53:40,0	0,0022	0,0017	0,003	0,0069	
101	21:53:42,0	0,0044	0,0032	0,0034	0,011	
102	21:53:44,0	0,0069	0,0037	0,0009	0,0115	
103	21:53:46,0	0,0046	0,0051	0,0022	0,0119	
104	21:53:48,0	0,0063	0,0048	0,0036	0,0147	
105	21:53:50,0	0,0032	0,0065	0,0017	0,0114	
106	21:53:52,0	0,0041	0,0047	0,0023	0,0111	
107	21:53:54,0	0,0017	0,0319	0,0009	0,0345	
108	21:53:56,0	0,0017	0,0319	0,0009	0,0345	
109	21:53:58,0	0,0023	0,0032	0,0042	0,0097	
110	21:54:00,0	0,0023	0,0032	0,0042	0,0097	
111	21:54:02,0	0,0023	0,0032	0,0042	0,0097	
112	21:54:04,0	0,002	0,0024	0,0048	0,0092	
113	21:54:06,0	0,0052	0,0028	0,0041	0,0121	
114	21:54:08,0	0,0071	0,0011	0,002	0,0102	
115	21:54:10,0	0,0066	0,0107	0,0077	0,025	
116	21:54:12,0	0,0031	0,0142	0,0051	0,0224	
117	21:54:14,0	0,0183	0,0052	0,0035	0,027	
118	21:54:16,0	0,0037	0,0022	0,0046	0,0105	
119	21:54:18,0	0,0012	0,0017	0,0026	0,0055	
120	21:54:20,0	0,0028	0,0054	0,0062	0,0144	
121	21:54:22,0	0,0128	0,0153	0,0195	0,0476	
122	21:54:24,0	0,0292	0,0071	0,0198	0,0561	
123	21:54:26,0	0,0099	0,004	0,0099	0,0238	
124	21:54:28,0	0,0108	0,0053	0,0046	0,0207	
125	21:54:30,0	0,0063	0,0027	0,0028	0,0118	
126	21:54:32,0	0,0101	0,0051	0,0059	0,0211	
127	21:54:34,0	0,0052	0,0059	0,0068	0,0179	
128	21:54:36,0	0,0074	0,0075	0,0045	0,0194	
129	21:54:38,0	0,0081	0,0041	0,0054	0,0176	
130	21:54:40,0	0,0056	0,0054	0,0034	0,0144	
131	21:54:42,0	0,0049	0,0069	0,0065	0,0183	

Tabelle 34

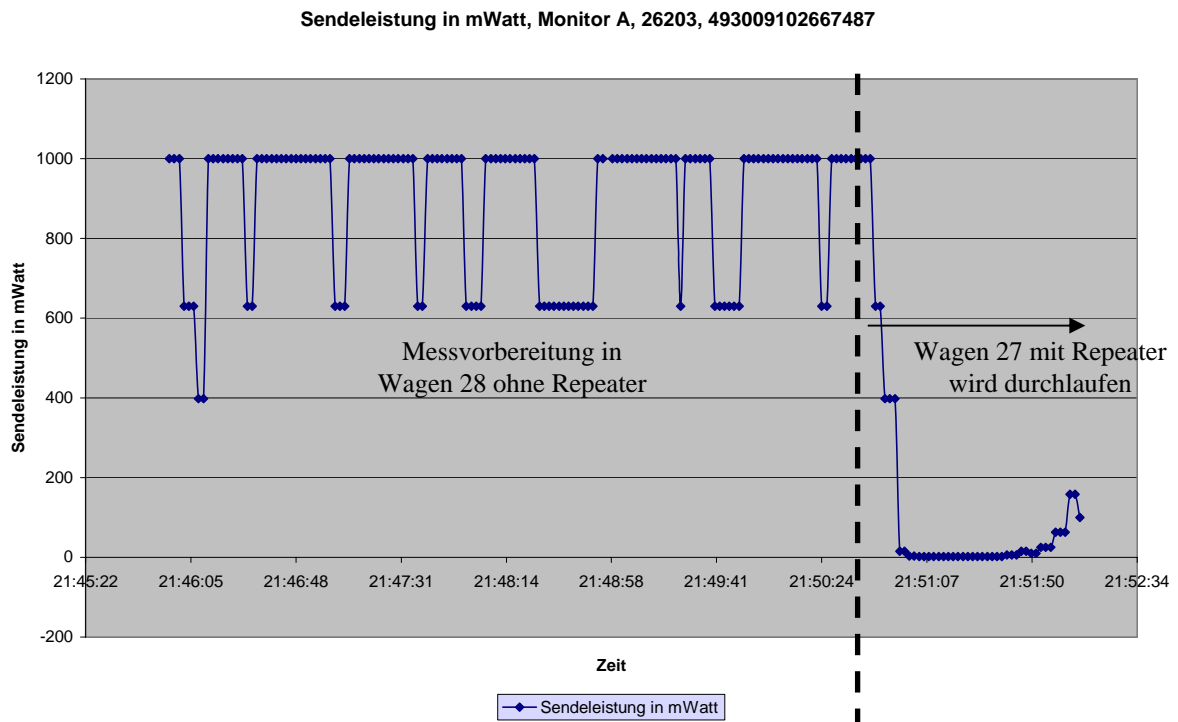


Abbildung 230

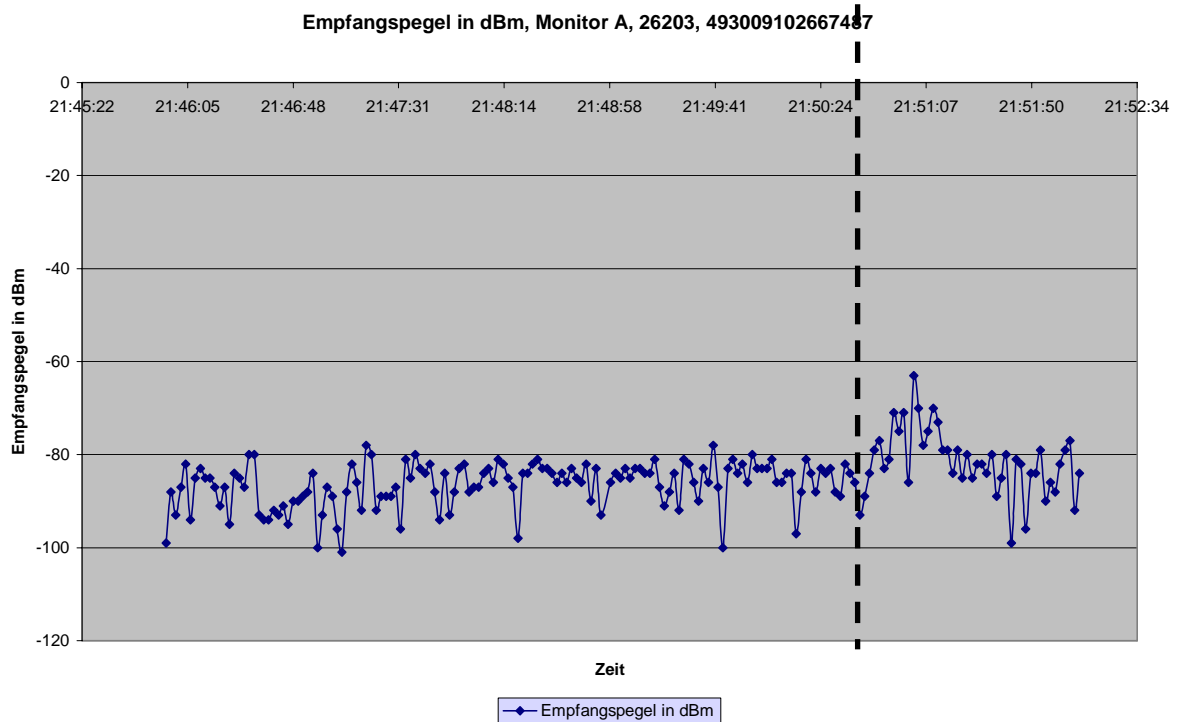


Abbildung 231

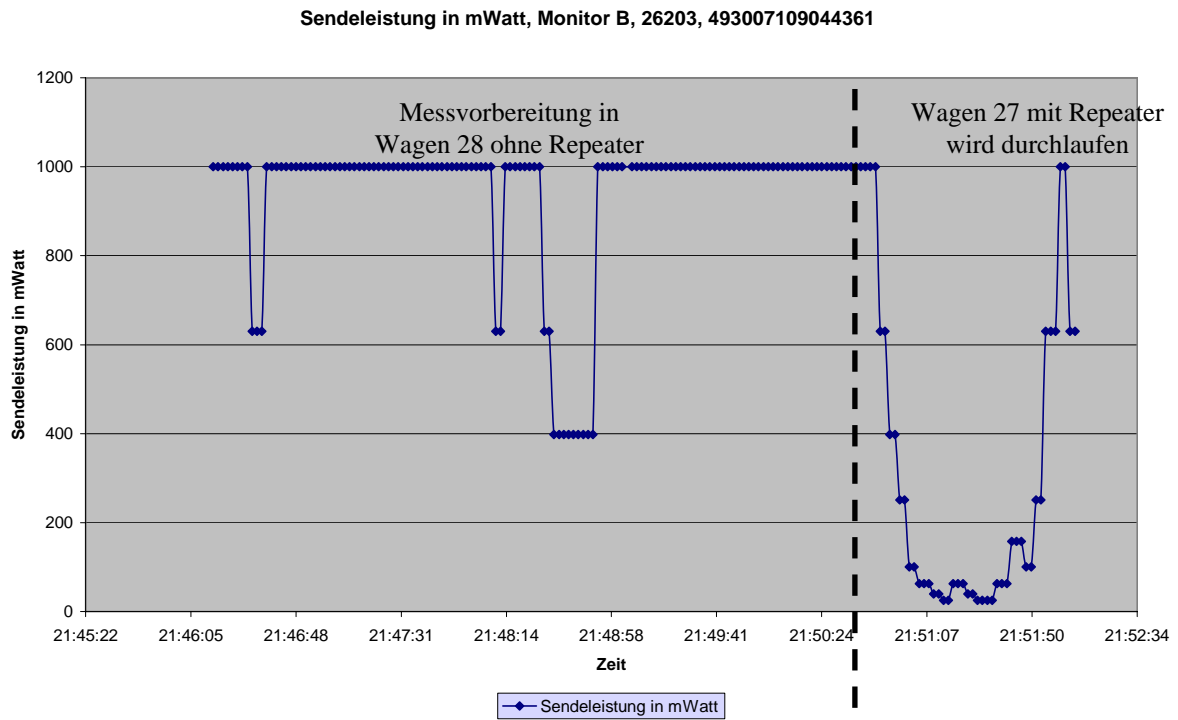


Abbildung 232

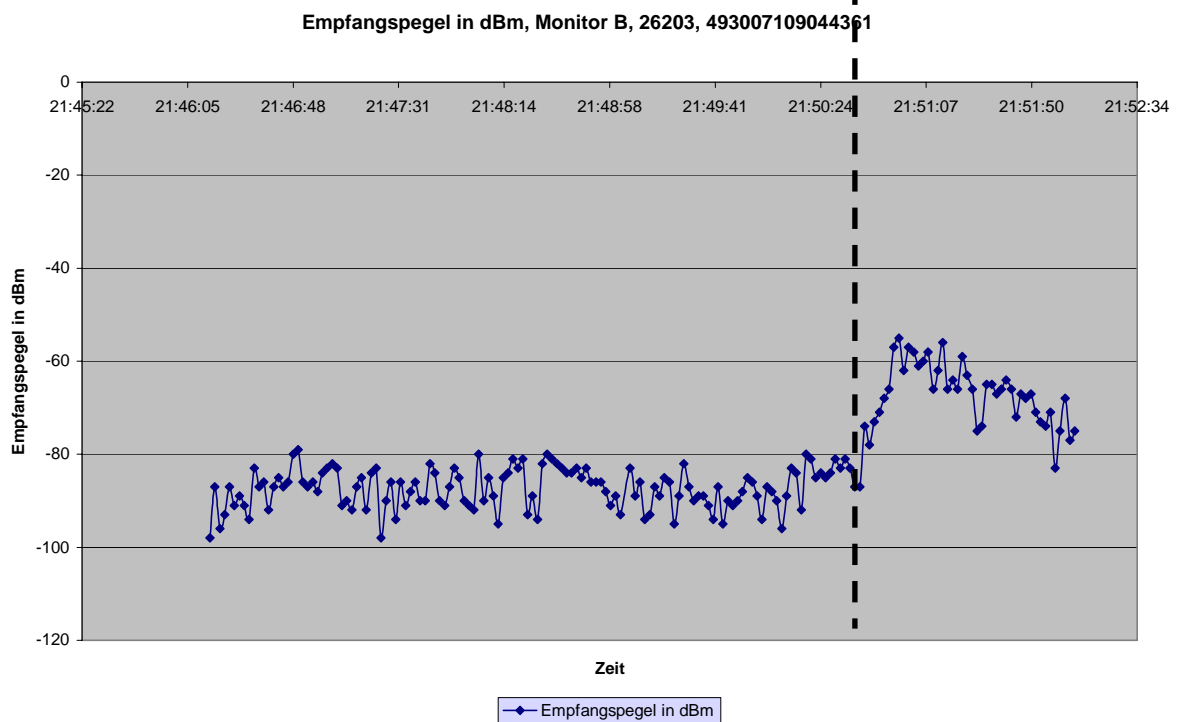


Abbildung 233

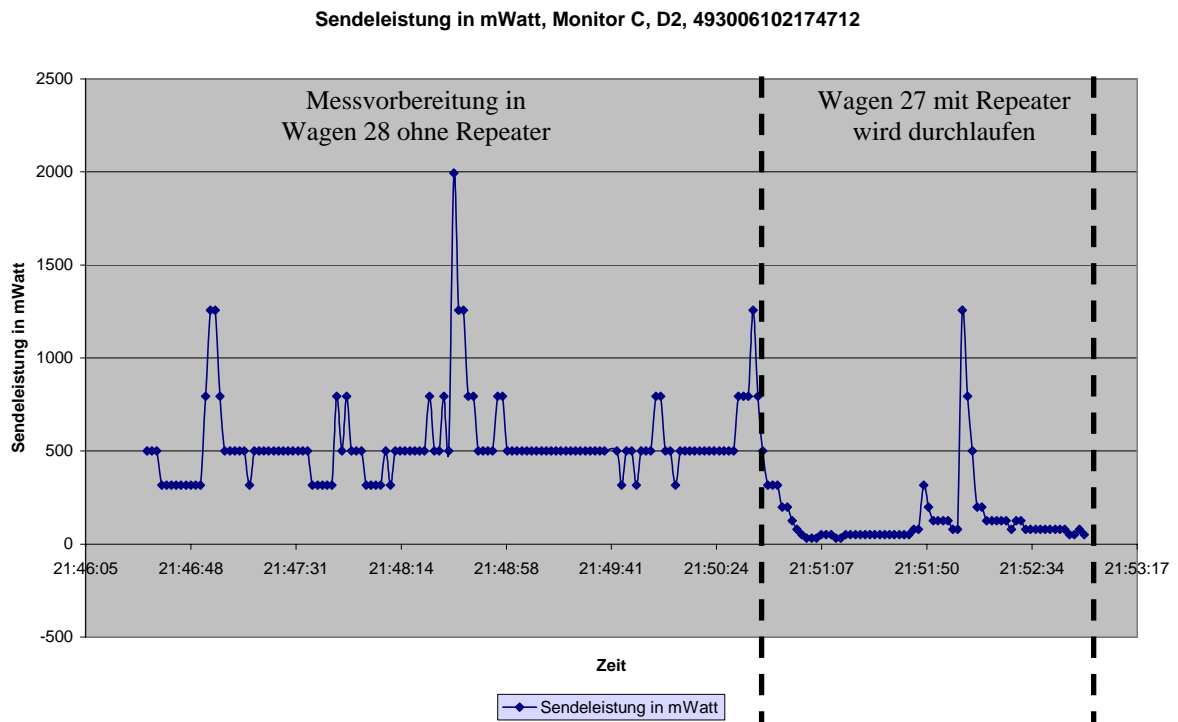


Abbildung 234

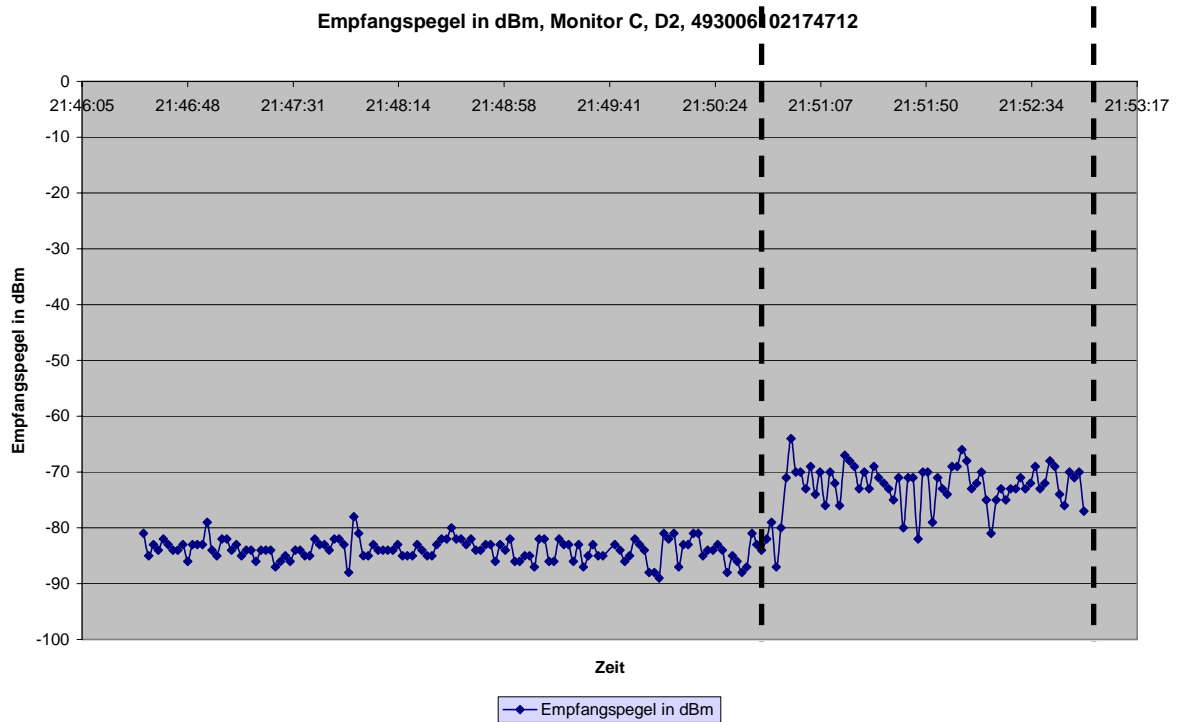


Abbildung 235

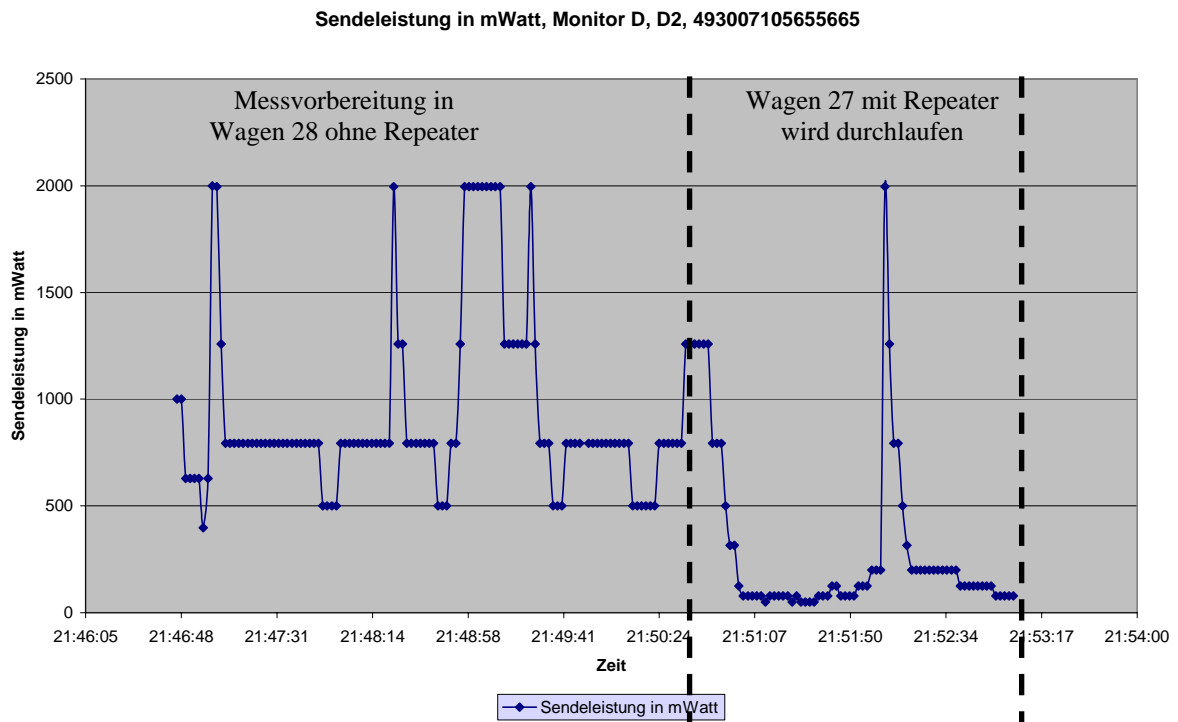


Abbildung 236

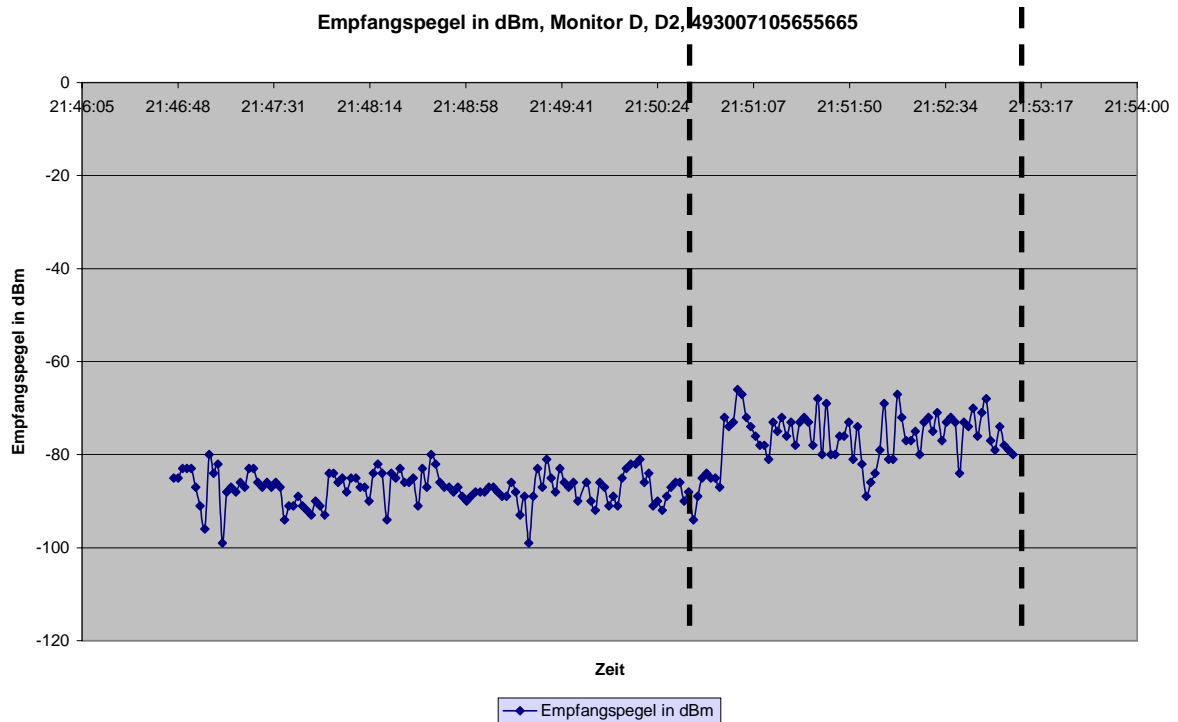


Abbildung 237

Datum	Uhrzeit	Cell-ID	Rufzone	Netz-ID	Empfangs- pegel in dBm	Sendelst. in mW	Kanal- nummer
07.06.2006	21:50:56	49713	611	26202	-74	316	57
07.06.2006	21:50:58	49713	611	26202	-73	316	57
07.06.2006	21:51:00	49713	611	26202	-66	125	57
07.06.2006	21:51:02	49713	611	26202	-67	79	57
07.06.2006	21:51:04	49713	611	26202	-72	79	57
07.06.2006	21:51:06	49713	611	26202	-74	79	57
07.06.2006	21:51:08	49713	611	26202	-76	79	57
07.06.2006	21:51:10	49713	611	26202	-78	79	57
07.06.2006	21:51:12	49713	611	26202	-78	50	57
07.06.2006	21:51:14	49713	611	26202	-81	79	57
07.06.2006	21:51:16	49713	611	26202	-73	79	57
07.06.2006	21:51:18	49713	611	26202	-75	79	57
07.06.2006	21:51:20	49713	611	26202	-72	79	57
07.06.2006	21:51:22	49713	611	26202	-76	79	57
07.06.2006	21:51:24	49713	611	26202	-73	50	57
07.06.2006	21:51:26	49713	611	26202	-78	79	57
07.06.2006	21:51:28	49713	611	26202	-73	50	57
07.06.2006	21:51:30	49713	611	26202	-72	50	57
07.06.2006	21:51:32	49713	611	26202	-73	50	57
07.06.2006	21:51:34	49713	611	26202	-78	50	57
07.06.2006	21:51:36	49713	611	26202	-68	79	57
07.06.2006	21:51:38	49713	611	26202	-80	79	57
07.06.2006	21:51:40	49713	611	26202	-69	79	57
07.06.2006	21:51:42	49713	611	26202	-80	125	57
07.06.2006	21:51:44	49713	611	26202	-80	125	57
07.06.2006	21:51:46	49713	611	26202	-76	79	57
07.06.2006	21:51:48	49713	611	26202	-76	79	57
07.06.2006	21:51:50	49713	611	26202	-73	79	57
07.06.2006	21:51:52	49713	611	26202	-81	79	57
07.06.2006	21:51:54	49713	611	26202	-74	125	57
07.06.2006	21:51:56	49713	611	26202	-82	125	57
07.06.2006	21:51:58	49713	611	26202	-89	125	57
07.06.2006	21:52:00	49713	611	26202	-86	199	57
07.06.2006	21:52:02	49713	611	26202	-84	199	57
07.06.2006	21:52:04	49713	611	26202	-79	199	57
07.06.2006	21:52:06	26233	611	26202	-69	1995	108
07.06.2006	21:52:08	26233	611	26202	-81	1258	108
07.06.2006	21:52:10	26233	611	26202	-81	794	108
07.06.2006	21:52:12	26233	611	26202	-67	794	108
07.06.2006	21:52:14	26233	611	26202	-72	501	108
07.06.2006	21:52:16	26233	611	26202	-77	316	108
07.06.2006	21:52:18	26233	611	26202	-77	199	108
07.06.2006	21:52:20	26233	611	26202	-75	199	108
07.06.2006	21:52:22	26233	611	26202	-80	199	108
07.06.2006	21:52:24	26233	611	26202	-73	199	108
07.06.2006	21:52:26	26233	611	26202	-72	199	108
07.06.2006	21:52:28	26233	611	26202	-75	199	108
07.06.2006	21:52:30	26233	611	26202	-71	199	108
07.06.2006	21:52:32	26233	611	26202	-77	199	108
07.06.2006	21:52:34	26233	611	26202	-73	199	108
07.06.2006	21:52:36	26233	611	26202	-72	199	108
07.06.2006	21:52:38	26233	611	26202	-73	199	108
07.06.2006	21:52:40	26233	611	26202	-84	125	108
07.06.2006	21:52:42	26233	611	26202	-73	125	108
07.06.2006	21:52:44	26233	611	26202	-74	125	108

Tabelle 35

9.8.3 Entlanggehen außen am Zug

Abbildung 238, Abbildung 239, Abbildung 240 und Abbildung 241 zeigen Fotos des Mess-Szenarios „Entlanggehen außen am Zug“. Anhand der Fotos ist gut zu erkennen, dass auf der einen Seite die Metallfläche des ICE gleich blieb, aber auf der anderen Seite freie Flächen, Metallkästen, Leitern und Hebebühnen abwechselten. Es wurde eine Strecke von ca. 500 Metern zurückgelegt.

Die Messungen wurden um 22:06:03 begonnen.

Um 22:07:40 wurde der Bistro-Wagen, der über keinen Repeater verfügt, außen passiert, um 22:08:42 der Wagen 26 mit Repeater, ab 22:09:38 der Wagen 27 ebenfalls mit Repeater und ab 22:10:33 der Wagen 28 ohne Repeater.

Gegen 22:13:20 wurde die Mess-Sonde einmal in die sprechende Gruppe gehalten. Es ist eine Leistungsdichteerhöhung zu erkennen, um 22:13:43 war die Mess-Sonde 5 Meter von der Gruppe entfernt.

Abbildung 242 und Abbildung 243 (Abbildung 243 in 100-facher Vergrößerung) zeigen die Leistungsdichte in W/m² für das Entlanglaufen außen am Zug.

Außerhalb des Zuges ist kein Feldstärkeunterschied festzustellen, ob es sich nun um die Passage eines Wagens mit Repeater oder eines Wagens ohne Repeater handelt.

In **Abbildung 244** (vergrößert **Abbildung 245**) ist eine kurze Feldstärkeerhöhung zu erkennen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Mess-Sonde in die Gruppe hineingehalten wurde.

Abbildung 247 zeigt die Sendeleistung in mW des unter Monitor-A registrierten E-Netz-Telefons.

Die **Tabelle 36** zeigt den Auszug aus dem Datensatz. Ein Kanalwechsel ist zu erkennen.

Abbildung 249 zeigt das Sendeleistungsregelverhalten eines anderen E-Plus-Mobilteils angeschlossen am Monitor-B.

In **Abbildung 251** ist die Überlagerung beider Sendeleistungen dargestellt, es ist eine verhältnismäßig gute Korrelation zu erkennen.

Abbildung 252 zeigt die Daten für ein im D2-Netz eingebuchtes Mobiltelefon beim Entlanglaufen außen am Zug.

Die **Tabelle 37** listet einen Auszug aus dem Datensatz für dieses Handy auf. Anhand der Netz-ID ist der Netzbetreiber Vodafone, D2, zu erkennen. Der Regelalgorithmus bewirkt einen Wechsel zwischen der 1800er- und der 900er-Netzversorgung. So springt z. B. zum Zeitpunkt 22:08:01 das Handy von einer GSM 1800-Frequenz im Kanal 747 auf den Kanal 57, der in der 900-Frequenz arbeitet. Dies bewirkt ein Heraufregeln auf 2 Watt.

Die im Monitor-D registrierten D2-Daten eines anderen Handys sind in **Abbildung 254** aufgetragen. Auch hier ist eine gute Korrelation beider Mobiltelefone beim Gang außen entlang des Zuges zu erkennen.



Abbildung 238



Abbildung 239



Abbildung 240



Abbildung 241

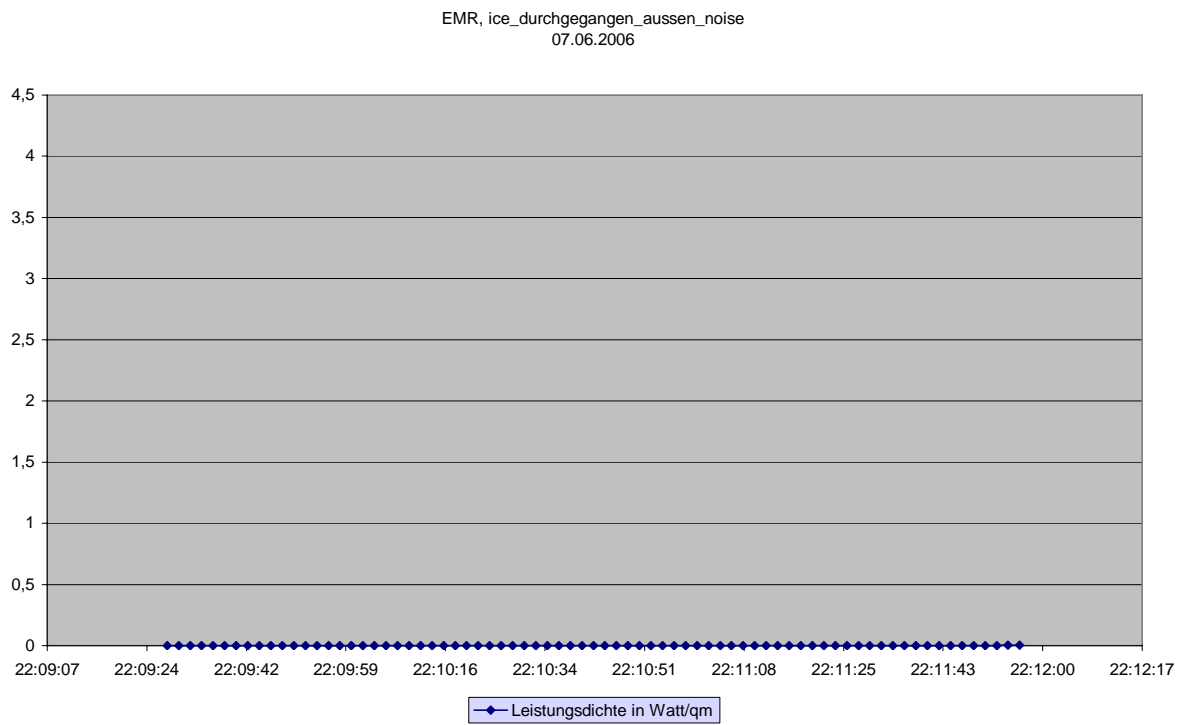


Abbildung 242

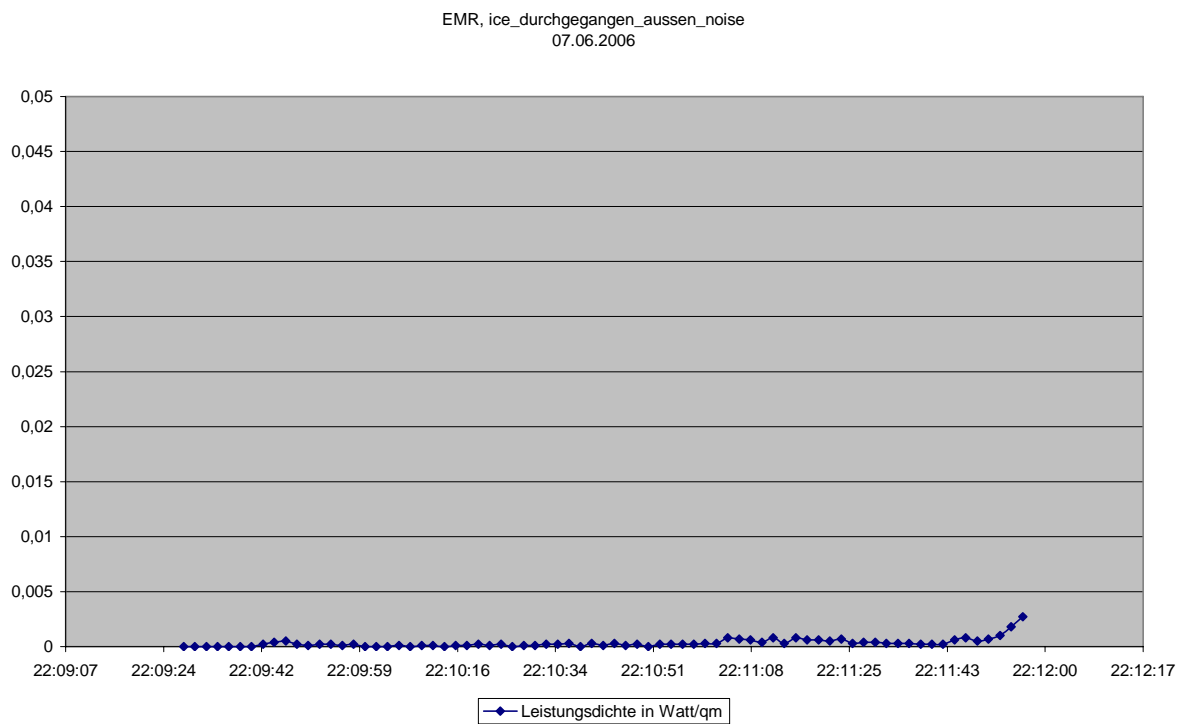


Abbildung 243 (in 90-facher Vergrößerung)

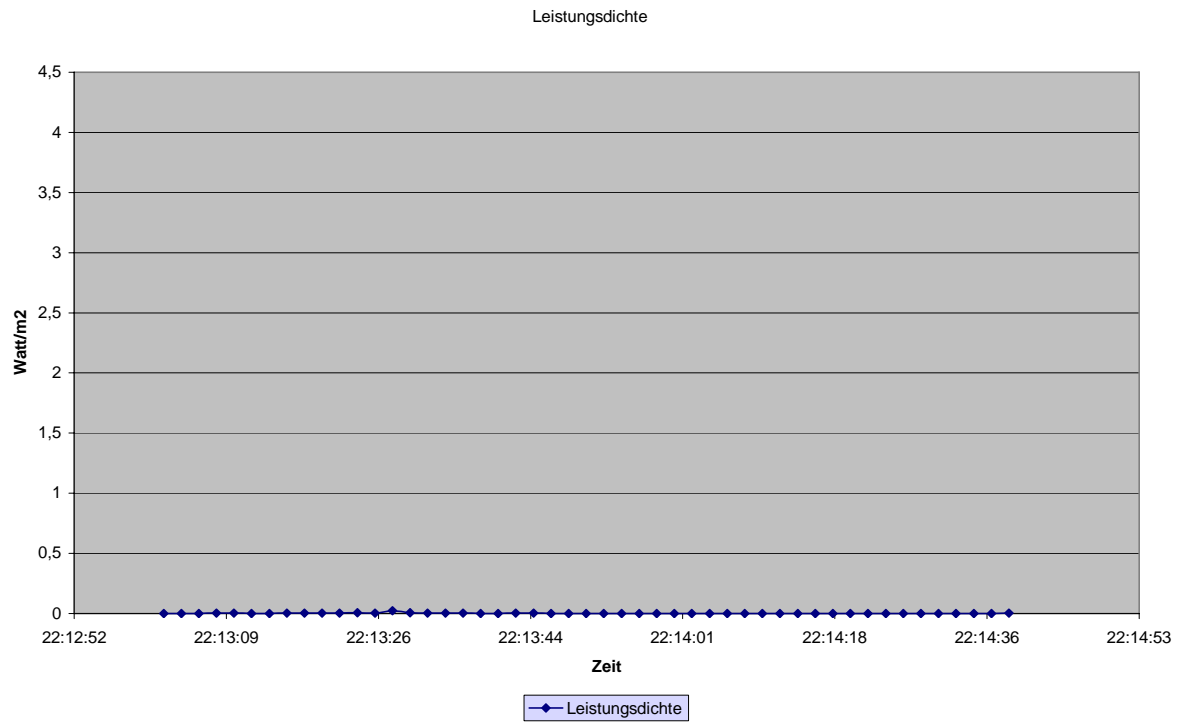
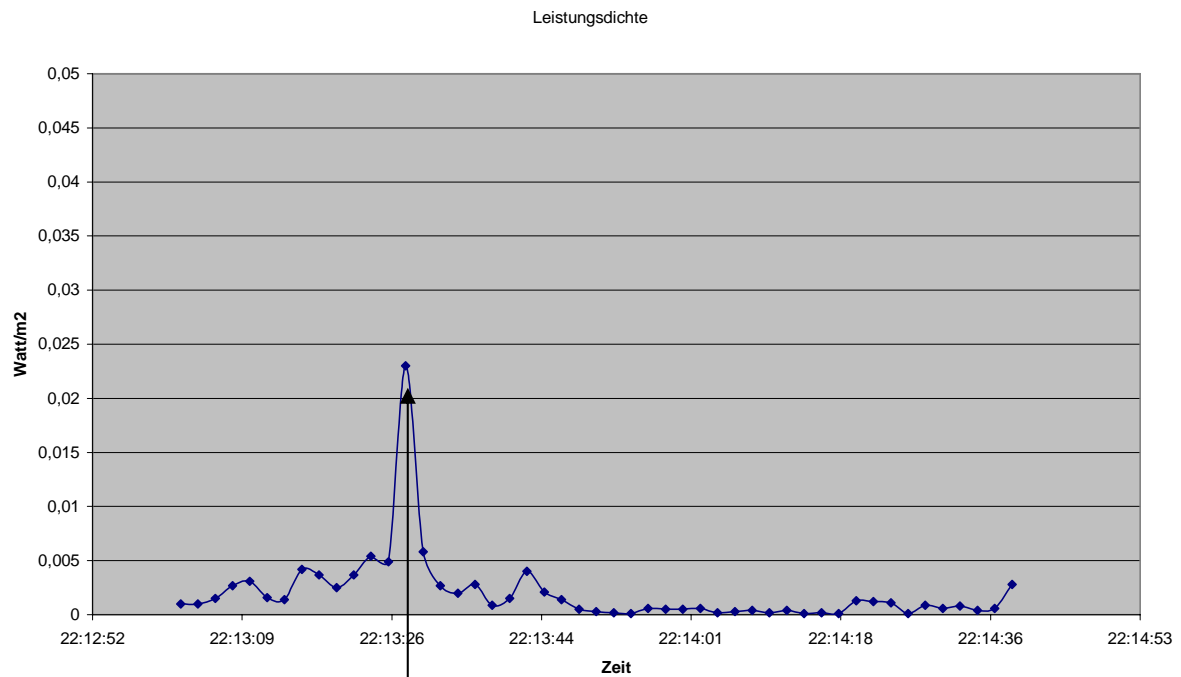


Abbildung 244



EMR-Mess-Sonde innerhalb aktiv redender und telefonierender Gruppe

Abbildung 245
(90-fache Vergrößerung der Abbildung 246)



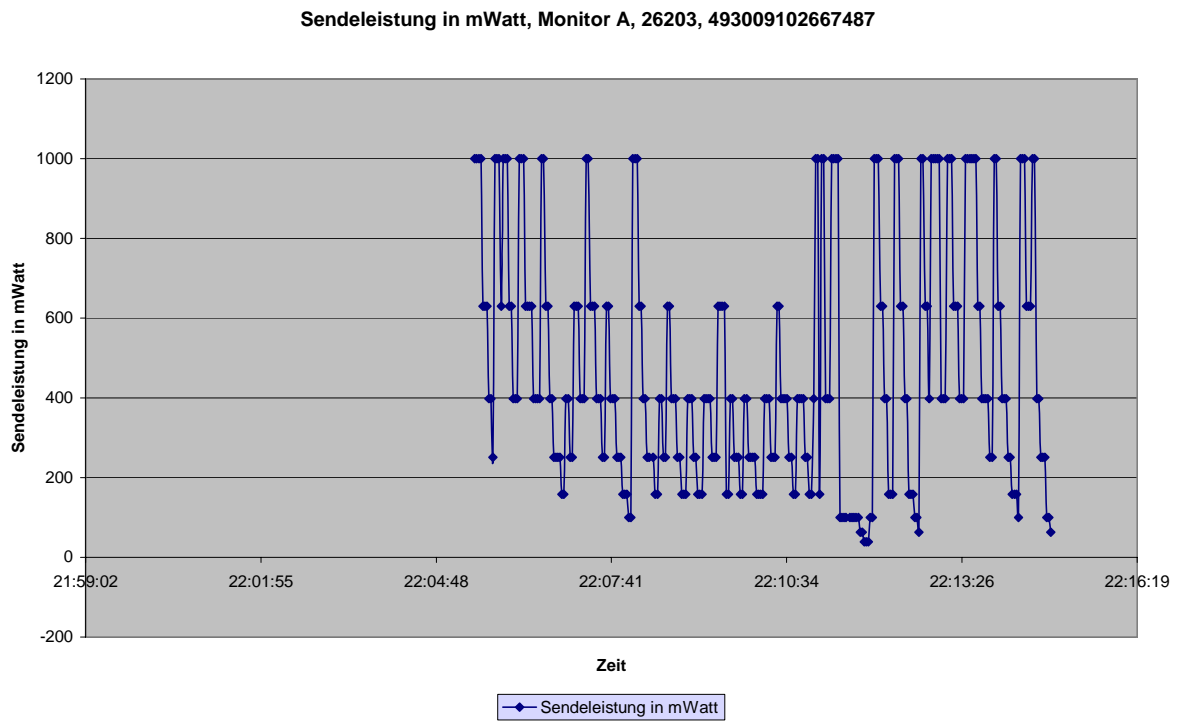


Abbildung 247

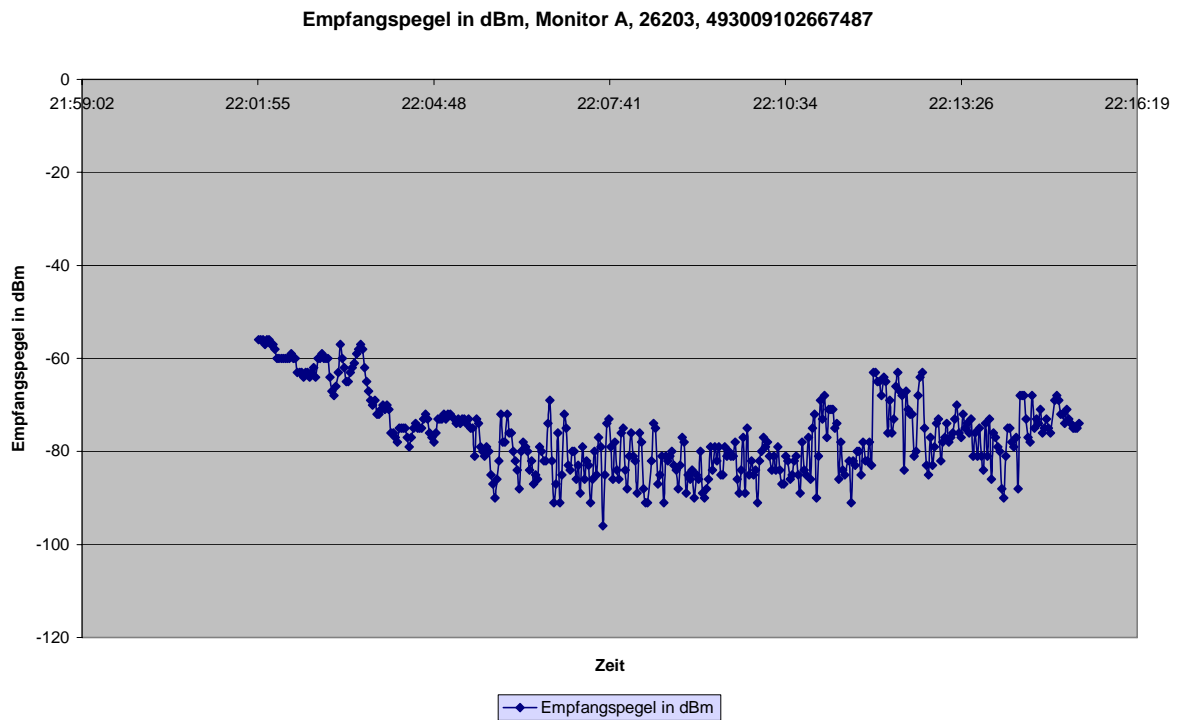


Abbildung 248

Datum	Uhrzeit	Cell-ID	Netz-ID	Empfangspegel in dBm	Sendelst. in mW	Kanalnummer
07.06.2006	22:13:54	1035	26203	-73	251	789
07.06.2006	22:13:56	1035	26203	-86	251	789
07.06.2006	22:13:58	13085	26203	-76	1000	798
07.06.2006	22:14:00	13085	26203	-77	1000	798
07.06.2006	22:14:02	13085	26203	-79	630	798
07.06.2006	22:14:04	13085	26203	-80	630	798
07.06.2006	22:14:06	13085	26203	-88	398	798
07.06.2006	22:14:08	13085	26203	-90	398	798
07.06.2006	22:14:10	13085	26203	-81	398	798
07.06.2006	22:14:12	13085	26203	-75	251	798
07.06.2006	22:14:14	13085	26203	-75	251	798
07.06.2006	22:14:16	13085	26203	-78	158	798
07.06.2006	22:14:18	13085	26203	-79	158	798
07.06.2006	22:14:20	13085	26203	-77	158	798
07.06.2006	22:14:22	13085	26203	-88	100	798
07.06.2006	22:14:24	1035	26203	-68	1000	789
07.06.2006	22:14:26	1035	26203	-68	1000	789
07.06.2006	22:14:28	1035	26203	-68	1000	789
07.06.2006	22:14:30	1035	26203	-73	630	789
07.06.2006	22:14:32	1035	26203	-77	630	789
07.06.2006	22:14:34	1035	26203	-78	630	789
07.06.2006	22:14:36	1035	26203	-68	1000	789
07.06.2006	22:14:38	1035	26203	-75	1000	789
07.06.2006	22:14:40	1035	26203	-73	398	789
07.06.2006	22:14:42	1035	26203	-74	398	789
07.06.2006	22:14:44	1035	26203	-71	251	789
07.06.2006	22:14:46	1035	26203	-76	251	789
07.06.2006	22:14:48	1035	26203	-75	251	789
07.06.2006	22:14:50	1035	26203	-73	100	789
07.06.2006	22:14:52	1035	26203	-75	100	789
07.06.2006	22:14:54	1035	26203	-76	63	789

Tabelle 36

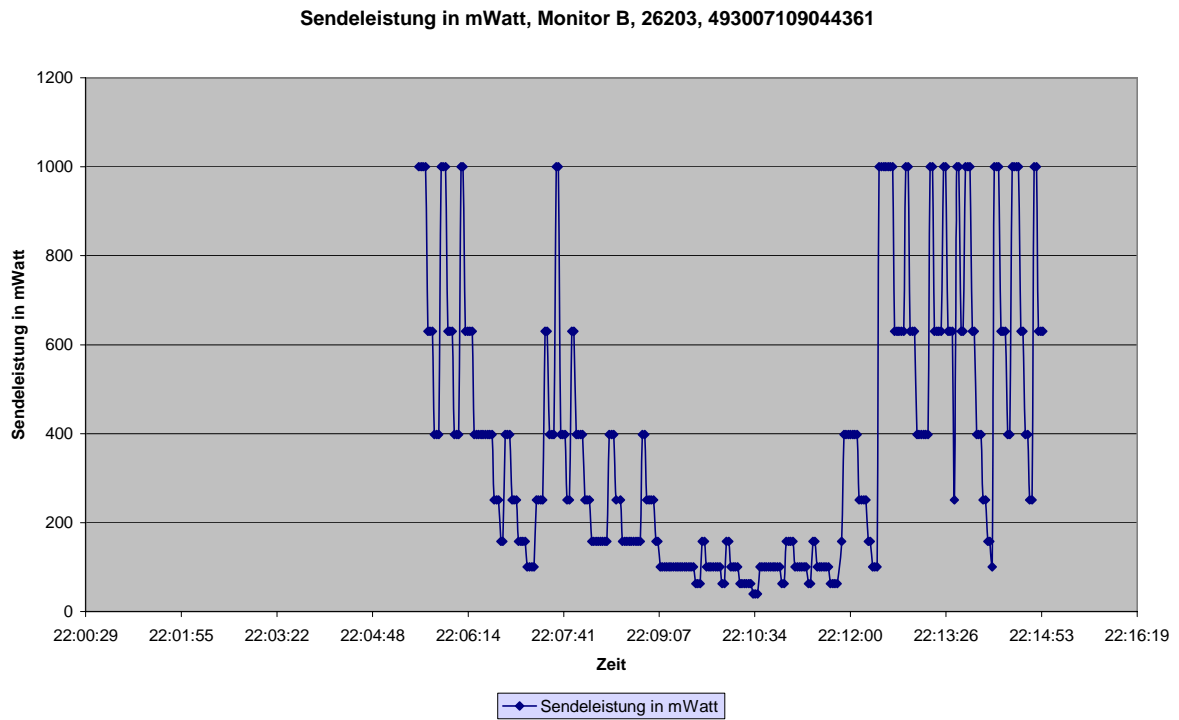


Abbildung 249

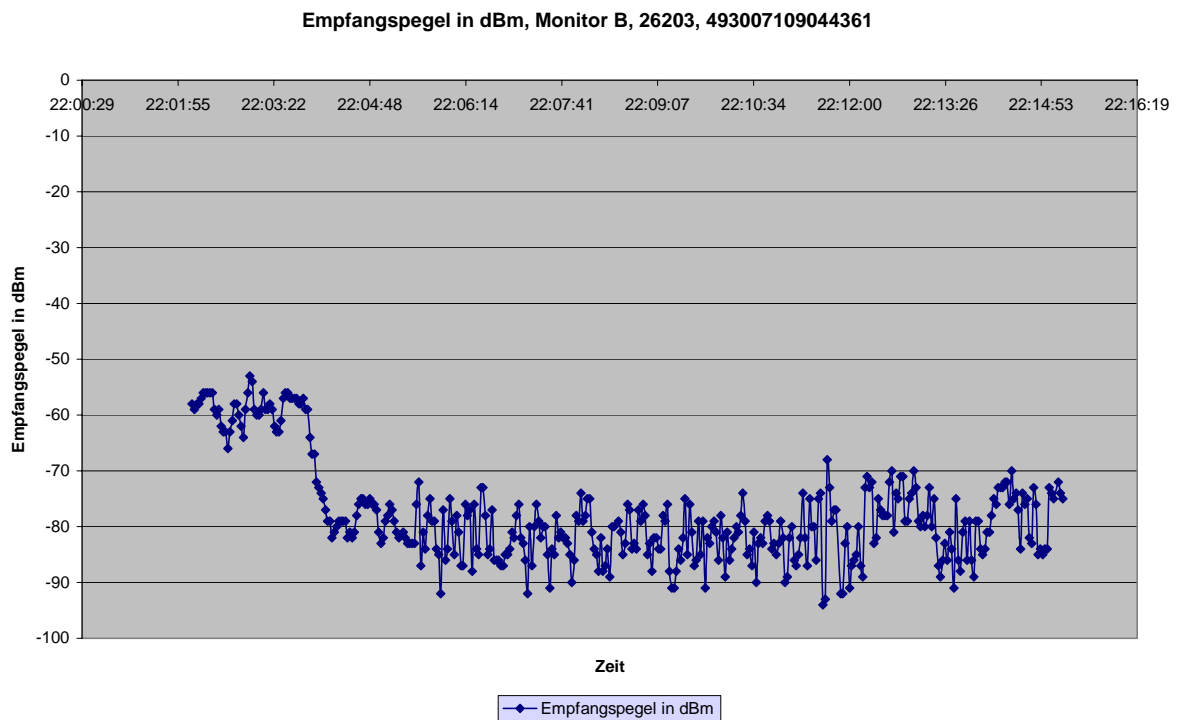


Abbildung 250

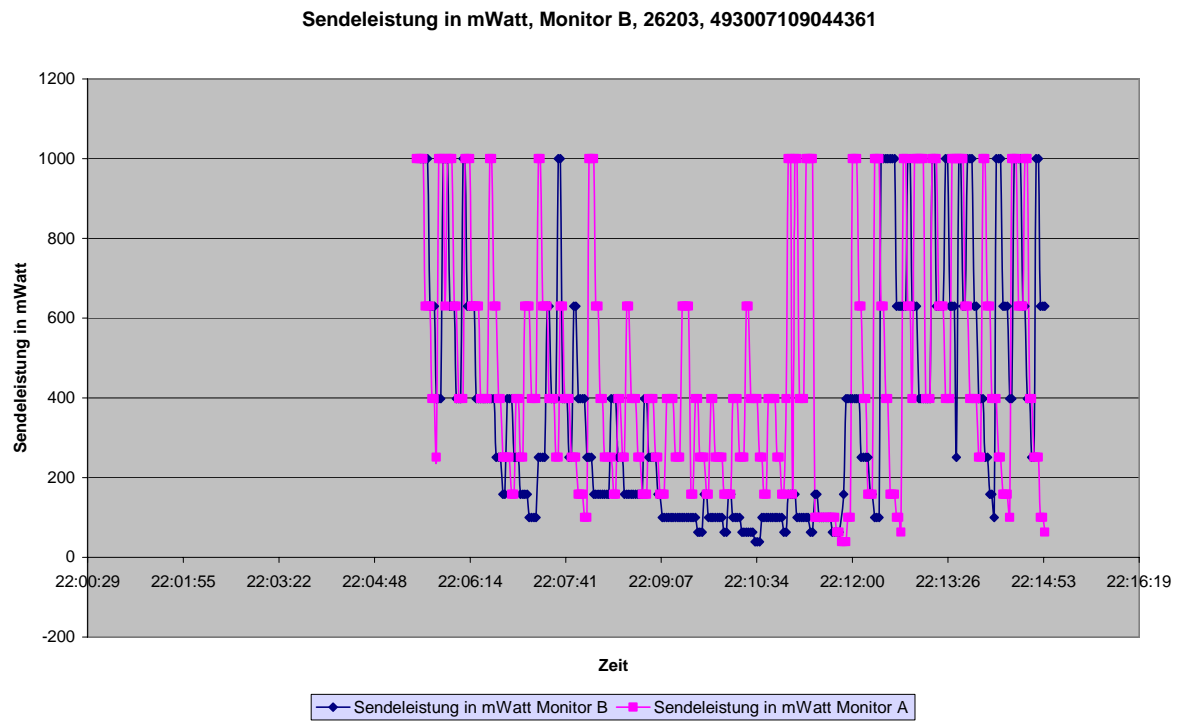


Abbildung 251

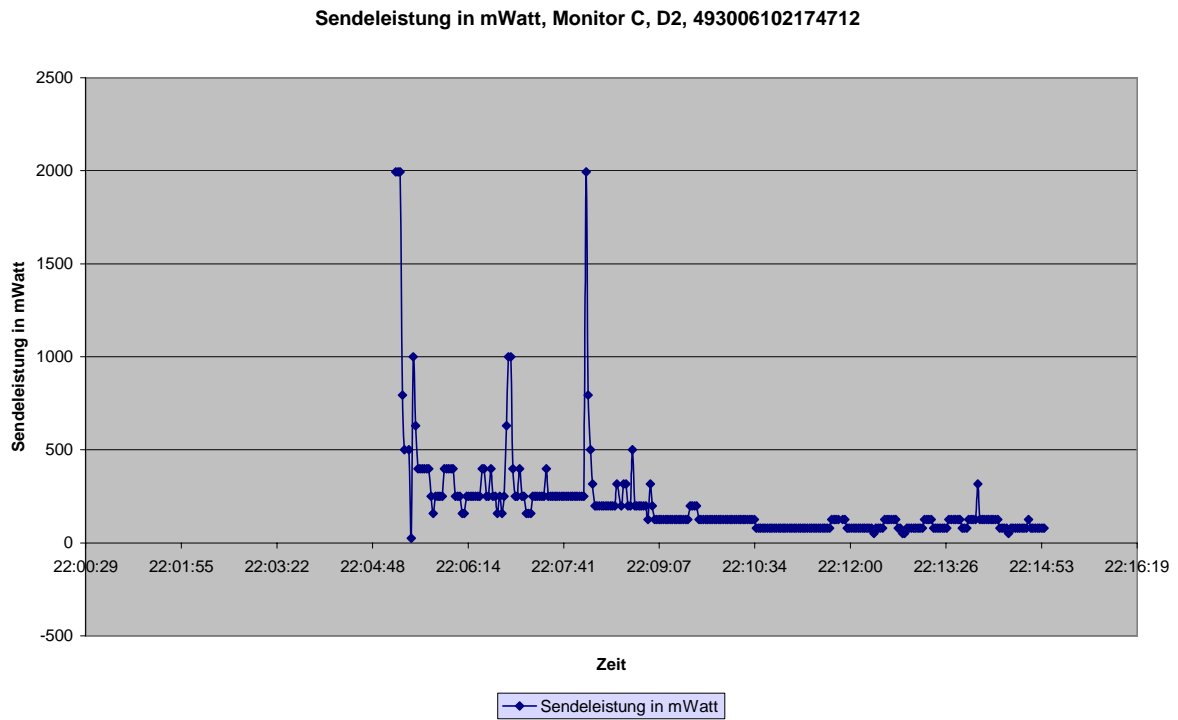


Abbildung 252

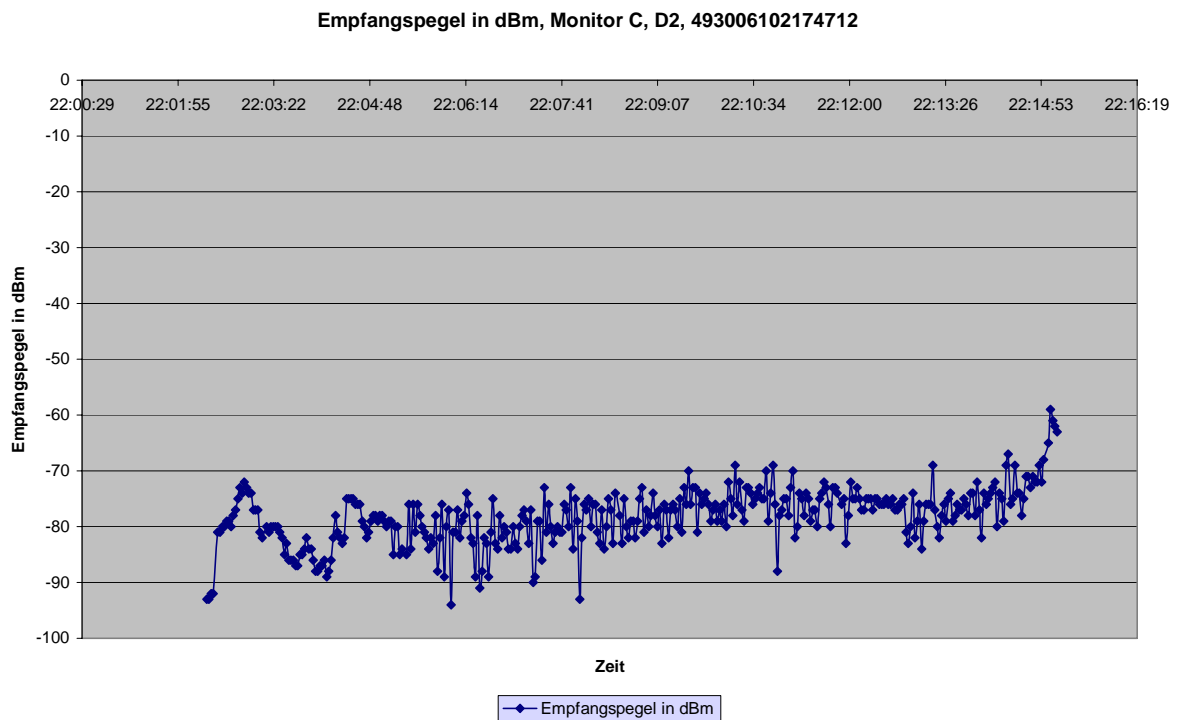


Abbildung 253

Datum	Uhrzeit	Cell-ID	Rufzone	Empfangs- pegel in dBm	Sendelst. in mW	Kanal- nummer
07.06.2006	22:07:01	12157	26202	-84	398	747
07.06.2006	22:07:03	12157	26202	-80	251	747
07.06.2006	22:07:05	12157	26202	-78	251	747
07.06.2006	22:07:07	12157	26202	-77	158	747
07.06.2006	22:07:09	12157	26202	-79	158	747
07.06.2006	22:07:11	12157	26202	-83	158	747
07.06.2006	22:07:13	12157	26202	-77	251	747
07.06.2006	22:07:15	12157	26202	-90	251	747
07.06.2006	22:07:17	12157	26202	-89	251	747
07.06.2006	22:07:19	12157	26202	-79	251	747
07.06.2006	22:07:21	12157	26202	-79	251	747
07.06.2006	22:07:23	12157	26202	-86	251	747
07.06.2006	22:07:25	12157	26202	-73	398	747
07.06.2006	22:07:27	12157	26202	-81	251	747
07.06.2006	22:07:29	12157	26202	-76	251	747
07.06.2006	22:07:31	12157	26202	-80	251	747
07.06.2006	22:07:33	12157	26202	-83	251	747
07.06.2006	22:07:35	12157	26202	-81	251	747
07.06.2006	22:07:37	12157	26202	-80	251	747
07.06.2006	22:07:39	12157	26202	-81	251	747
07.06.2006	22:07:41	12157	26202	-81	251	747
07.06.2006	22:07:43	12157	26202	-76	251	747
07.06.2006	22:07:45	12157	26202	-77	251	747
07.06.2006	22:07:47	12157	26202	-80	251	747
07.06.2006	22:07:49	12157	26202	-73	251	747
07.06.2006	22:07:51	12157	26202	-84	251	747
07.06.2006	22:07:53	12157	26202	-75	251	747
07.06.2006	22:07:55	12157	26202	-79	251	747
07.06.2006	22:07:57	12157	26202	-93	251	747
07.06.2006	22:07:59	12157	26202	-82	251	747
07.06.2006	22:08:01	49713	26202	-76	1995	57
07.06.2006	22:08:03	49713	26202	-77	794	57
07.06.2006	22:08:05	49713	26202	-75	501	57
07.06.2006	22:08:07	49713	26202	-80	316	57
07.06.2006	22:08:09	49713	26202	-76	199	57
07.06.2006	22:08:11	49713	26202	-76	199	57
07.06.2006	22:08:13	49713	26202	-81	199	57
07.06.2006	22:08:15	49713	26202	-83	199	57
07.06.2006	22:08:17	49713	26202	-77	199	57
07.06.2006	22:08:19	49713	26202	-84	199	57
07.06.2006	22:08:21	49713	26202	-80	199	57
07.06.2006	22:08:23	49713	26202	-75	199	57
07.06.2006	22:08:25	49713	26202	-77	199	57
07.06.2006	22:08:27	49713	26202	-83	199	57
07.06.2006	22:08:29	49713	26202	-74	316	57
07.06.2006	22:08:33	49713	26202	-78	199	57
07.06.2006	22:08:35	49713	26202	-83	316	57
07.06.2006	22:08:37	49713	26202	-75	316	57
07.06.2006	22:08:39	49713	26202	-80	199	57
07.06.2006	22:08:41	49713	26202	-82	199	57
07.06.2006	22:08:43	49713	26202	-79	501	57
07.06.2006	22:08:45	49713	26202	-79	199	57
07.06.2006	22:08:47	49713	26202	-82	199	57
07.06.2006	22:08:49	49713	26202	-79	199	57
07.06.2006	22:08:51	49713	26202	-75	199	57
07.06.2006	22:08:53	49713	26202	-73	199	57
07.06.2006	22:08:55	49713	26202	-81	199	57

Tabelle 37

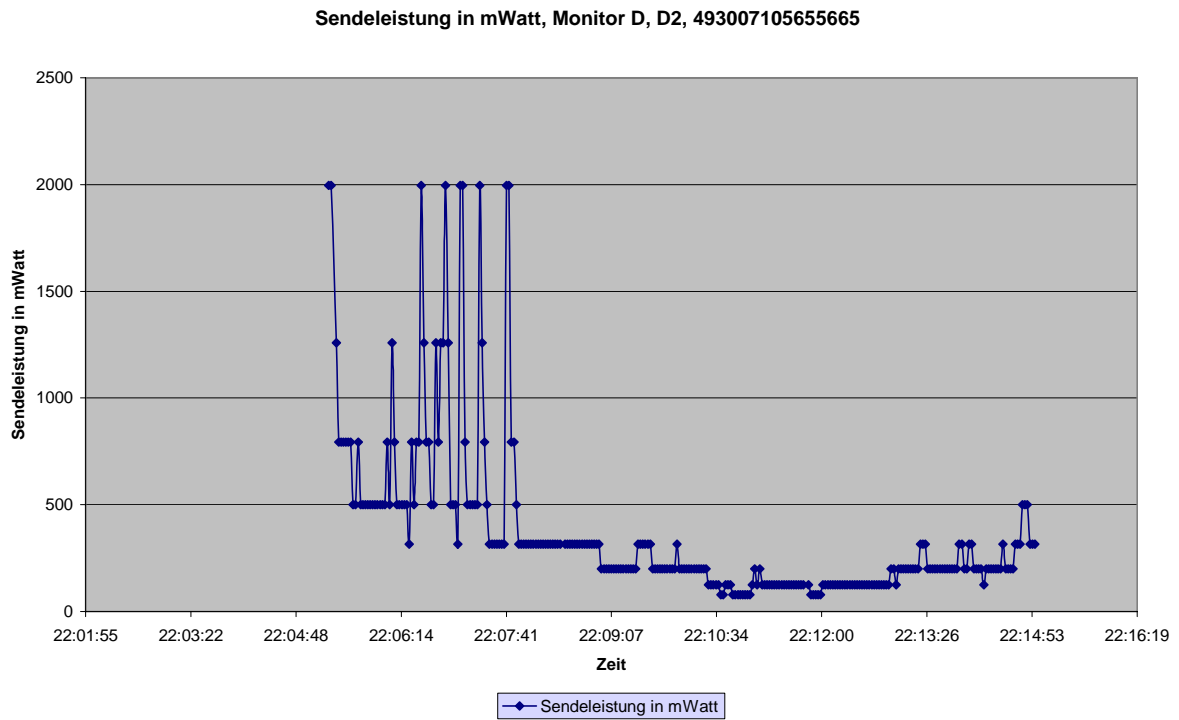


Abbildung 254

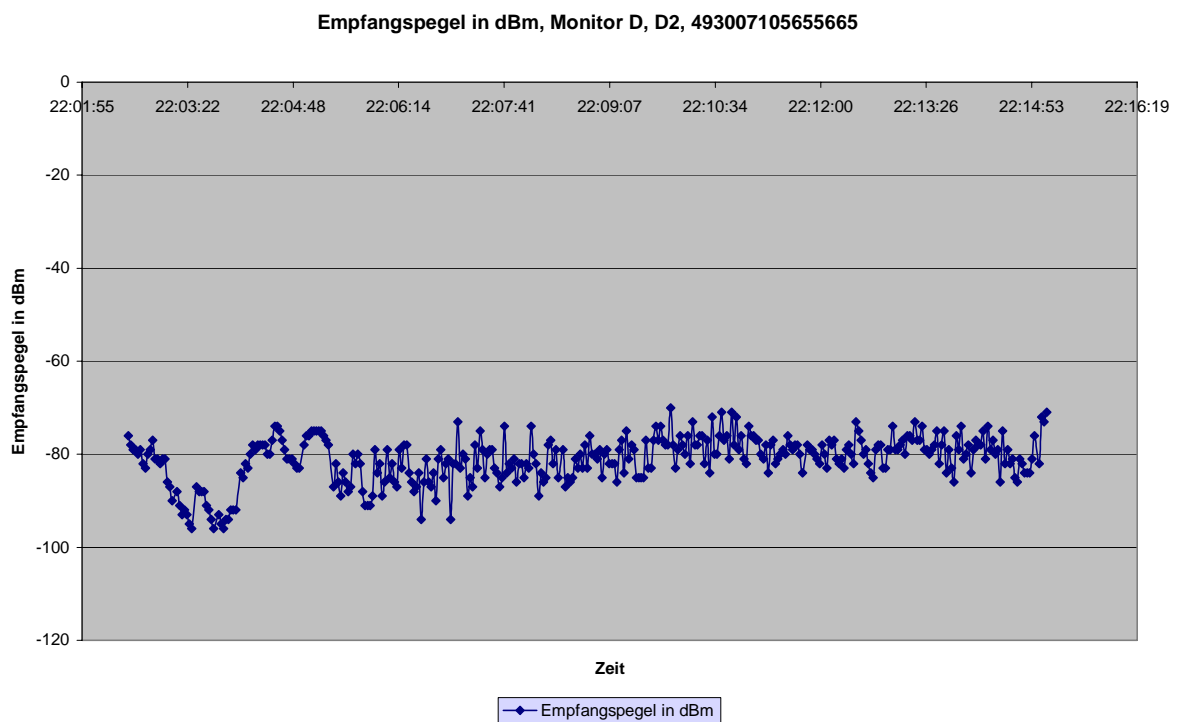


Abbildung 255

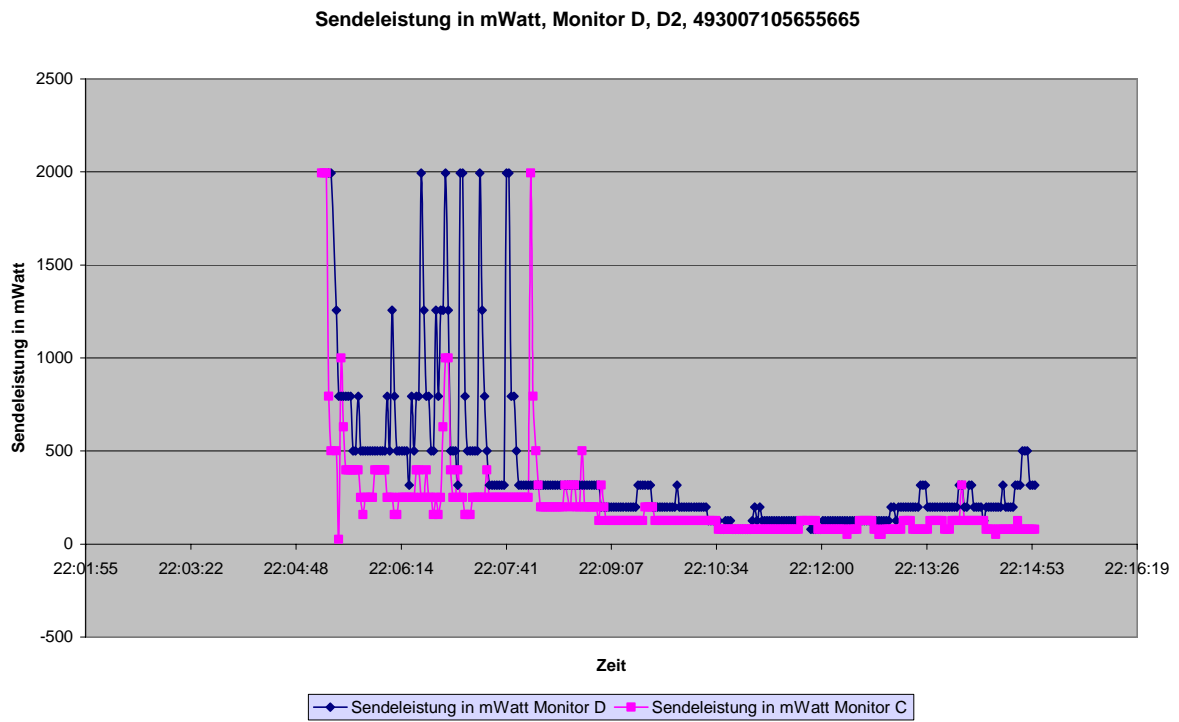


Abbildung 256

9.8.4 Stationäre Messungen mit aus- und mit eingeschaltetem Repeater

Der dritte Teil der Messungen umfasste stationäre Messungen im ICE-Wagen 23 mit

- eingeschaltetem und mit
- ausgeschaltetem Repeater.

In diesem Mess-Szenario sollte festgestellt werden, ob es zu Feldstärkeüberhöhungen bei vielen gleichzeitig in der Nähe der Messeinrichtungen telefonierenden Personen kommen kann.

Die Messungen sollten sowohl mit ein- als auch mit ausgeschaltetem Repeater durchgeführt werden um etwaige Unterschiede feststellen zu können.

Abbildung 257 zeigt einen Teil der bei diesen Messungen verwendeten Mobiltelefone.



Abbildung 257

Abbildung 258 zeigt den Messaufbau mit SAR-Messkopf und Mess-Sonde; beide Messeinrichtungen blieben stationär, während die Personen mit den Telefonen sich kleinräumig vor den Messeinrichtungen bewegten (**Abbildung 259**).



Abbildung 258



Abbildung 259

Abbildung 260 - in 10-facher Vergrößerung dargestellt in **Abbildung 261** - zeigt den SAR-Wert vor Beginn der eigentlichen Messungen. Der Datei-Auszug (**Tabelle 38**) aus dem Maschek-Datenprotokoll zeigt – der Messkopf war auf automatische Empfangsbereichswahl eingestellt – dass der Messkopf die Messfrequenzbereiche 900 MHz und 1800 MHz wechselt.

Einige Handys wurden zu Testzwecken - entfernt von den Messeinrichtungen - in Betrieb genommen, daher die minimalen Pegelwerte.

Bei der späteren Auswertung der Monitordaten der einzelnen Handys konnte dieses Phänomen geklärt werden.

Abbildung 262 und **Abbildung 263** (90-fache Vergrößerung) stellen die mit der EMR-Sonde gemessenen Leistungsdichtewerte während dieser Vorphase dar.

Da es sich gemäß der Vorgaben um viele Emissionsquellen handeln musste, die in nicht vorhersagbaren, unterschiedlichen und permanent gewechselten Frequenzbändern und mit nicht vorhersagbarer, unterschiedlicher und sich ebenfalls permanent wechselnder Leistung an sich permanent wechselnden Orten sendeten, konnten vorgabengemäß keine signifikanten Reflexionen aufgrund von Feldüberlagerungen auftreten.

Maschek (GSM 900, bei Werten GSM 1800), ICE2
07.06.2006

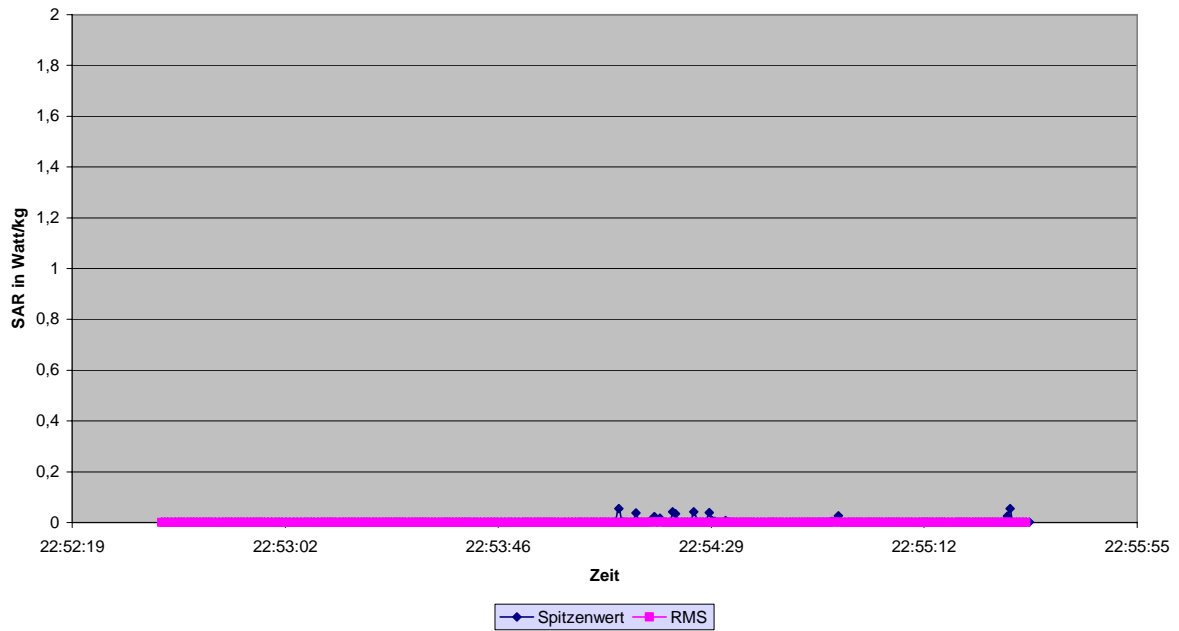


Abbildung 260

Maschek (GSM 900, bei Werten GSM 1800), ICE2
07.06.2006

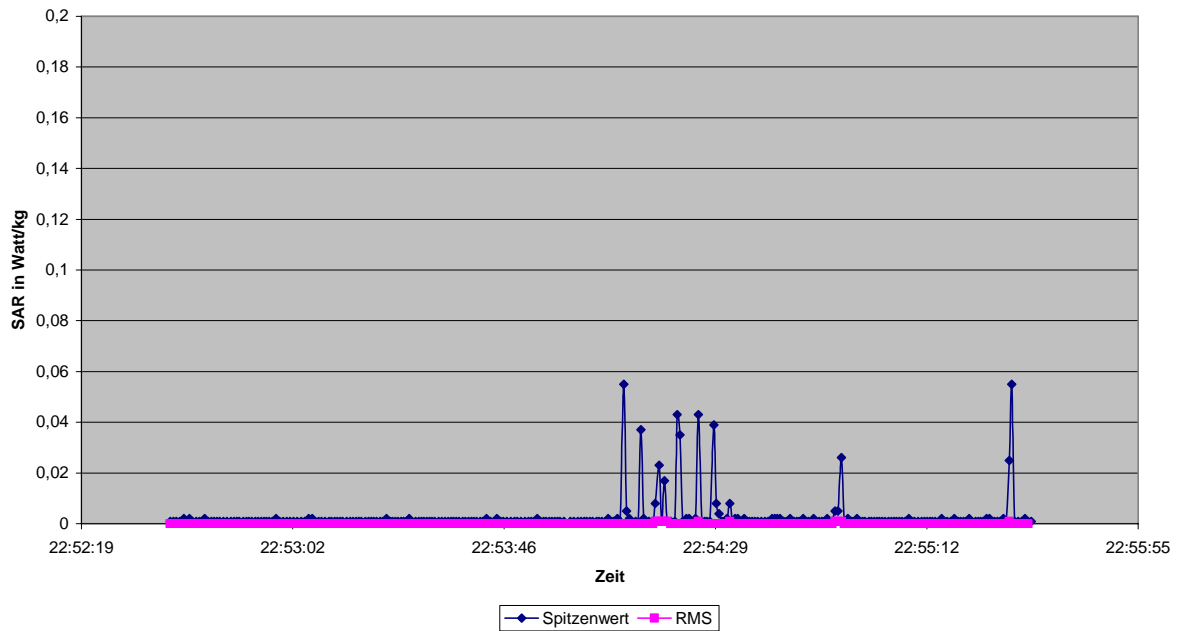


Abbildung 261

Datum	Uhrzeit	Spitzenwert	RMS-Wert	Netz
07.06.06	22:54:11	0,005	0	GSM-1800
07.06.06	22:54:11	0,002	0	GSM-900
07.06.06	22:54:12	0,001	0	GSM-900
07.06.06	22:54:12	0,001	0	GSM-900
07.06.06	22:54:13	0	0	GSM-900
07.06.06	22:54:14	0,037	0	GSM-900
07.06.06	22:54:14	0,002	0	GSM-900
07.06.06	22:54:15	0,001	0	GSM-900
07.06.06	22:54:15	0,001	0	GSM-900
07.06.06	22:54:16	0,001	0	GSM-900
07.06.06	22:54:17	0,008	0,001	GSM-1800
07.06.06	22:54:17	0,023	0,001	GSM-1800
07.06.06	22:54:18	0,001	0,001	GSM-900
07.06.06	22:54:18	0,017	0,001	GSM-900
07.06.06	22:54:19	0,001	0,001	GSM-900
07.06.06	22:54:20	0,001	0	GSM-900
07.06.06	22:54:20	0,001	0	GSM-900
07.06.06	22:54:21	0,043	0	GSM-900
07.06.06	22:54:22	0,035	0	GSM-900
07.06.06	22:54:22	0,001	0	GSM-900
07.06.06	22:54:23	0,002	0	GSM-900
07.06.06	22:54:23	0,002	0	GSM-900
07.06.06	22:54:24	0,001	0	GSM-900
07.06.06	22:54:25	0,002	0	GSM-900
07.06.06	22:54:25	0,043	0,001	GSM-900
07.06.06	22:54:26	0,001	0	GSM-900
07.06.06	22:54:27	0,001	0	GSM-900
07.06.06	22:54:27	0,001	0	GSM-900
07.06.06	22:54:28	0,001	0	GSM-900
07.06.06	22:54:28	0,039	0	GSM-900
07.06.06	22:54:29	0,008	0	GSM-1800
07.06.06	22:54:30	0,004	0	GSM-1800
07.06.06	22:54:30	0,001	0	GSM-900
07.06.06	22:54:31	0,001	0	GSM-900
07.06.06	22:54:31	0,002	0	GSM-900
07.06.06	22:54:32	0,008	0,001	GSM-1800
07.06.06	22:54:32	0,001	0	GSM-900
07.06.06	22:54:33	0,002	0	GSM-900
07.06.06	22:54:33	0,002	0	GSM-900
07.06.06	22:54:34	0,001	0	GSM-900
07.06.06	22:54:35	0,002	0	GSM-900
07.06.06	22:54:35	0,001	0	GSM-900
07.06.06	22:54:36	0,001	0	GSM-900
07.06.06	22:54:36	0,001	0	GSM-900
07.06.06	22:54:37	0,001	0	GSM-900

Tabelle 38

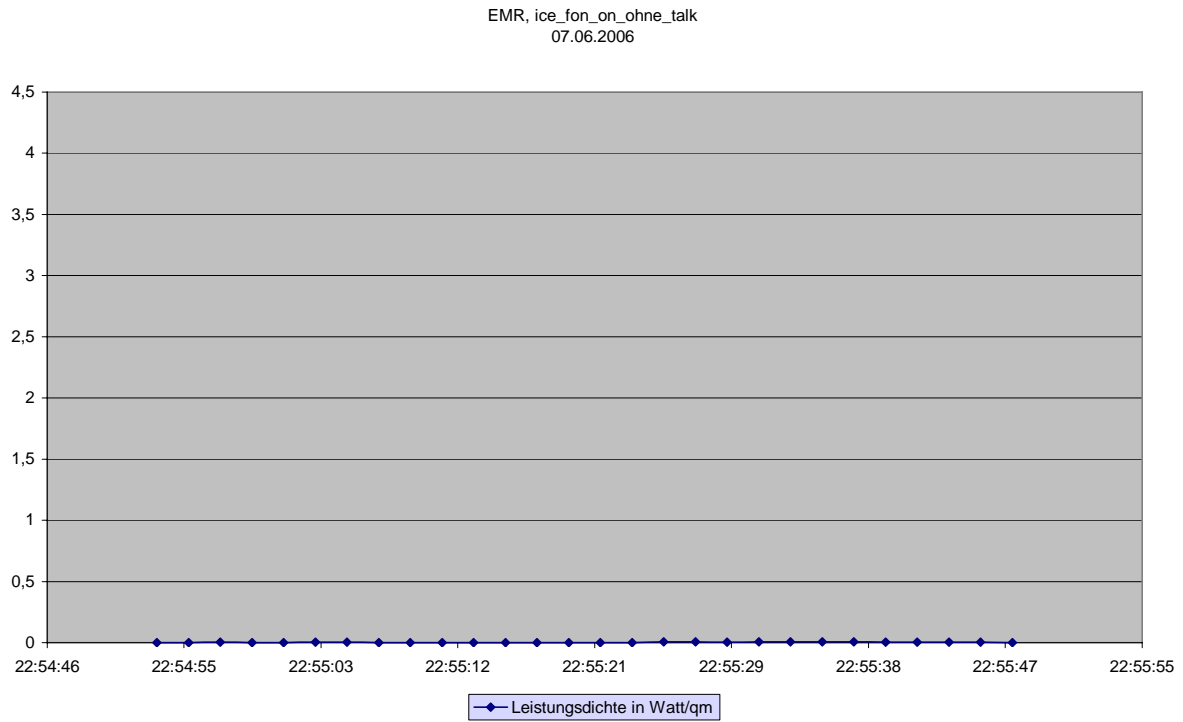


Abbildung 262

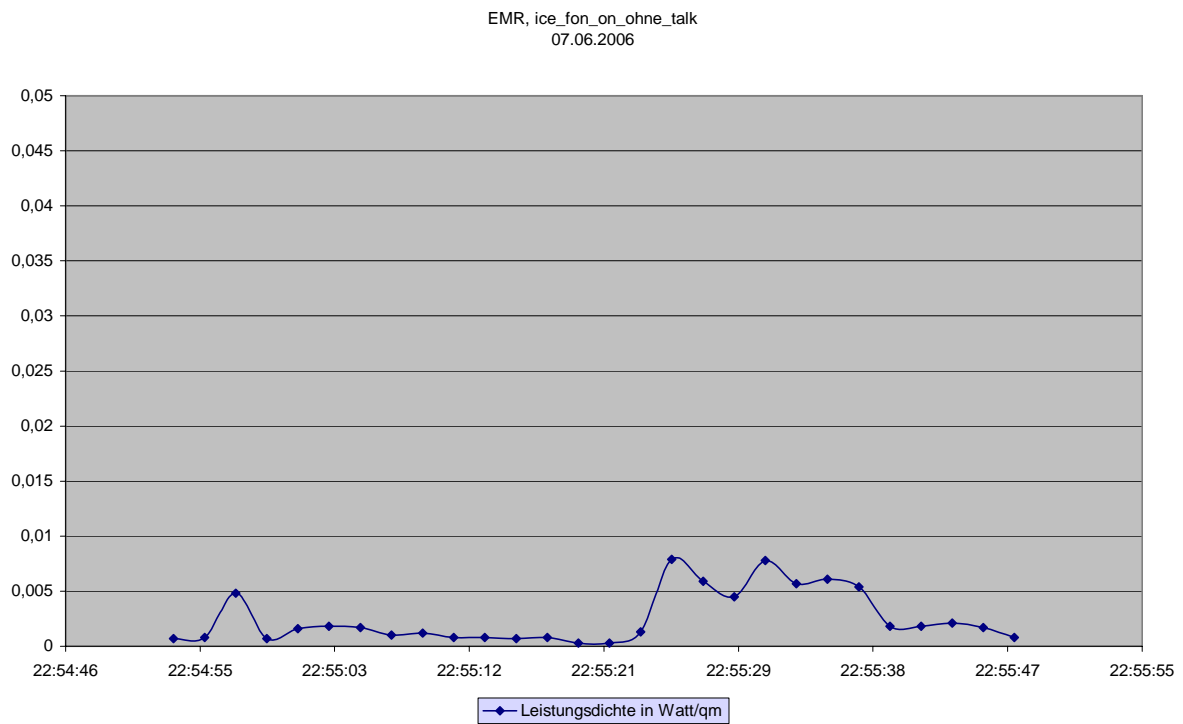


Abbildung 263 (in 90-facher Vergrößerung)

Szenario:

Alle Personen befinden sich in der Nähe der beiden Messeinrichtungen und telefonieren unter permanentem Sprechen während der gesamten Messzeit.

Während dieser Messzeit wird manuell der Repeater für diesen ICE-Wagen aus- und anschließend wieder eingeschaltet.

Um das Regelverhalten der Mobilfunkhandys während des Repeaterbetriebs und während des Nicht-Repeaterbetriebs zu verstehen, sind einige Informationen über die eingesetzten Repeater erforderlich:

Ein Repeater verstärkt nur, er wirkt nicht als Minibasisstation.

Die Repeater sind in ihrer Verstärkung so eingestellt, dass sie die durch die Metallhülle des ICE-Wagens erfolgte Dämpfung annähernd ausgleichen.

Des Weiteren verstärken die eingesetzten Repeater nur die 900 MHz Frequenzen für D1 und D2, die GSM-1800 Frequenzen dieser beiden Netzbetreiber werden nicht verstärkt. Aufgrund der mit Repeater dann sehr guten Feldversorgung bei 900 MHz wechseln die D1 und D2 Handys bei eingeschaltetem Repeater nicht mehr in das 1800er Netz sondern bleiben im 900 MHz-Netz, während sie bei ausgeschaltetem Repeater auch das 1800-MHz-Netz nutzen.

Die 1800er Frequenz des Netzbetreibers E-Plus wird jedoch verstärkt.

Abbildung 264 zeigt die Messwerte der Leistungsdichte im ICE-Wagen mit ein- und mit ausgeschaltetem Repeater.

Während der Ausschaltphase des Repeaters sind etwas höhere, aber noch weit unterhalb des Grenzwertes liegende Feldstärkewerte zu messen.

Tabelle 39 zeigt einen Auszug aus dem Datensatz.

Abbildung 266 und **Abbildung 267** zeigen die Messwerte des Maschek-Messkopfes. Auch hier lassen sich gut die Unterschiede zwischen ein- und ausgeschaltetem Repeater erkennen. (Der Zeitfehler ist nachträglich durch Verschieben der Linien korrigiert worden.)

Gesamtbewertung:

Auch ohne Repeaterbetrieb (hierbei senden die Handys mit stärkerer Leistung) sind die gemessenen Immissionswerte weit unter dem Grenzwert und dies auch bei der in der Praxis nicht auftretender Nutzung vieler Handys in der Nähe zweier Sitze.

Mit Repeaterbetrieb werden die Sendeleistungen der eingesetzten Handys abgesenkt und es kommt zu einer feststellbaren Absenkung der Immissionen. Die Emission durch den Repeater spielt hingegen – dies ist auch bei den Leerlaufmessungen zu erkennen – keine Rolle.

Entscheidend sind die Sendeleistungen der Handys.

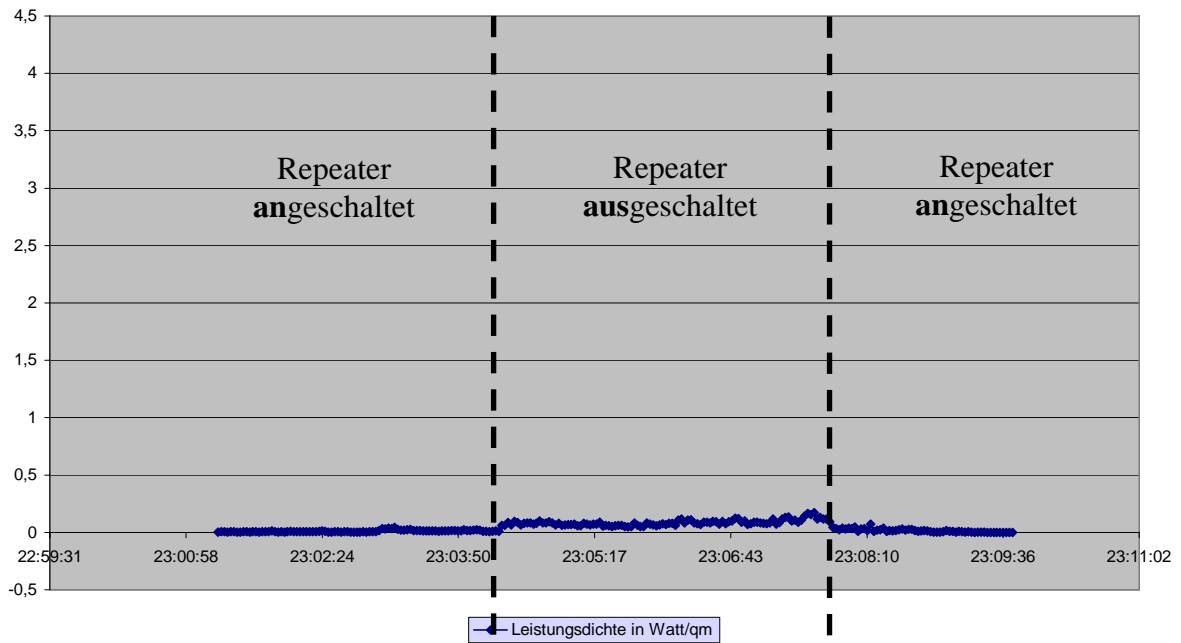


Abbildung 264

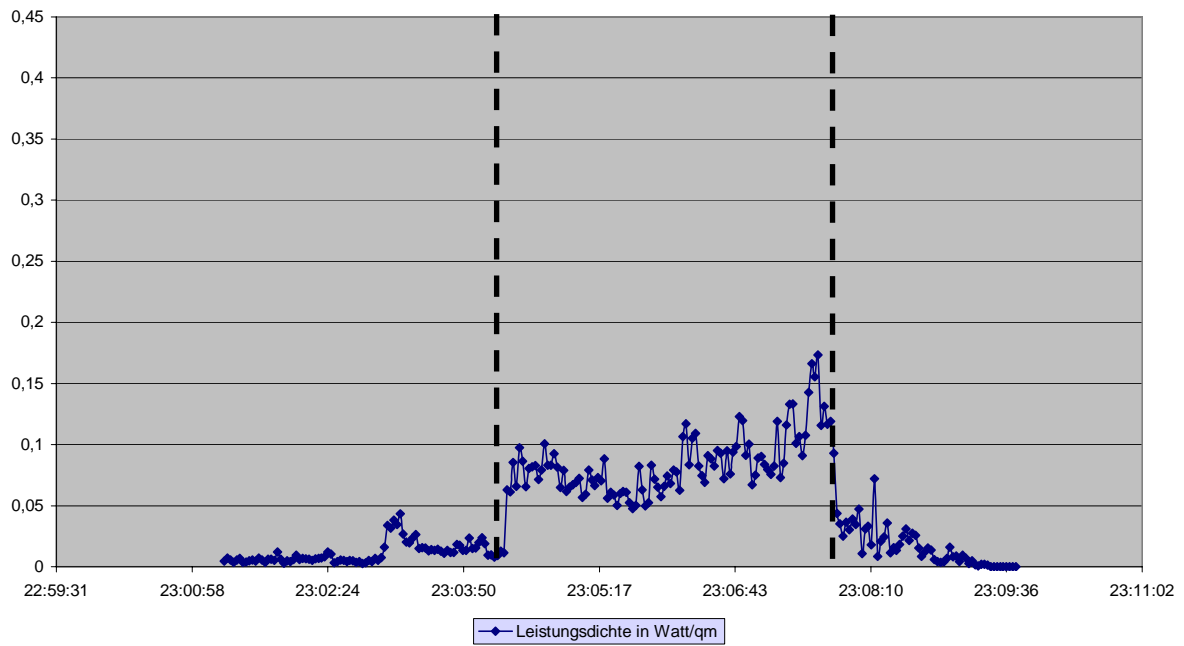


Abbildung 265

START						
EMR-300 - H-0005 - V03,01	Probe: 18	type: E	Date: 06-07-2006			
Calibr Factor: 0,900	Unit: W/m²m	Max: OFF	Average: OFF			
Index	Time	x	y	z	Eff	
83	23:04:00,0	0,0121	0,0028	0,005	0,0199	
84	23:04:02,0	0,012	0,0068	0,005	0,0238	
85	23:04:04,0	0,0086	0,0064	0,0038	0,0188	
86	23:04:06,0	0,0045	0,0026	0,0023	0,0094	
87	23:04:08,0	0,0052	0,0017	0,0029	0,0098	
88	23:04:10,0	0,0042	0,0014	0,0023	0,0079	
89	23:04:12,0	0,0044	0,0024	0,0022	0,009	
90	23:04:14,0	0,0066	0,0027	0,0035	0,0128	
91	23:04:16,0	0,0054	0,0027	0,0033	0,0114	
92	23:04:18,0	0,0246	0,0158	0,0224	0,0628	
93	23:04:20,0	0,0318	0,0118	0,0176	0,0612	
94	23:04:22,0	0,0403	0,0249	0,0203	0,0855	
95	23:04:24,0	0,0304	0,0167	0,0186	0,0657	
96	23:04:26,0	0,0449	0,0297	0,0229	0,0975	
97	23:04:28,0	0,0383	0,0262	0,0219	0,0864	
98	23:04:30,0	0,0254	0,0232	0,017	0,0656	
99	23:04:32,0	0,0304	0,0277	0,0225	0,0806	
100	23:04:34,0	0,029	0,0313	0,0214	0,0817	
101	23:04:36,0	0,0328	0,0301	0,0198	0,0827	
102	23:04:38,0	0,0345	0,013	0,0237	0,0712	
103	23:04:40,0	0,0363	0,0198	0,0231	0,0792	
104	23:04:42,0	0,0457	0,0225	0,0326	0,1008	
105	23:04:44,0	0,0394	0,0218	0,0218	0,083	
106	23:04:46,0	0,0286	0,0247	0,0298	0,0831	
107	23:04:48,0	0,0285	0,0285	0,0355	0,0925	
108	23:04:50,0	0,0293	0,026	0,0261	0,0814	
109	23:04:52,0	0,018	0,0231	0,0236	0,0647	
110	23:04:54,0	0,035	0,0177	0,026	0,0787	
111	23:04:56,0	0,0254	0,0121	0,024	0,0615	
112	23:04:58,0	0,0319	0,0202	0,0132	0,0653	
113	23:05:00,0	0,0292	0,0245	0,0135	0,0672	
114	23:05:02,0	0,0293	0,026	0,0137	0,069	
115	23:05:04,0	0,0297	0,0205	0,022	0,0722	
116	23:05:06,0	0,0141	0,0196	0,023	0,0567	
117	23:05:08,0	0,0125	0,0227	0,024	0,0592	
118	23:05:10,0	0,0187	0,0352	0,0253	0,0792	
119	23:05:12,0	0,0135	0,0352	0,0223	0,071	
120	23:05:14,0	0,012	0,0301	0,0244	0,0665	
121	23:05:16,0	0,0222	0,0173	0,0334	0,0729	
122	23:05:18,0	0,0254	0,0126	0,0325	0,0705	
123	23:05:20,0	0,0276	0,0207	0,0401	0,0884	
124	23:05:22,0	0,018	0,0102	0,0278	0,056	
125	23:05:24,0	0,0198	0,0179	0,0231	0,0608	
126	23:05:26,0	0,0211	0,0114	0,0262	0,0587	
127	23:05:28,0	0,0184	0,0101	0,0217	0,0502	
128	23:05:30,0	0,0177	0,0132	0,0289	0,0598	
129	23:05:32,0	0,0232	0,0107	0,0278	0,0617	
130	23:05:34,0	0,0207	0,0129	0,0274	0,061	
131	23:05:36,0	0,0176	0,015	0,0198	0,0524	
132	23:05:38,0	0,0165	0,0165	0,0147	0,0477	
133	23:05:40,0	0,019	0,0131	0,0182	0,0503	
134	23:05:42,0	0,0471	0,0227	0,0122	0,082	
135	23:05:44,0	0,0241	0,0213	0,0174	0,0628	
136	23:05:46,0	0,0208	0,0161	0,0128	0,0497	
137	23:05:48,0	0,0192	0,0183	0,0149	0,0524	

Tabelle 39

Maschek (GSM 900 und 1800), ICE3
07.06.2006

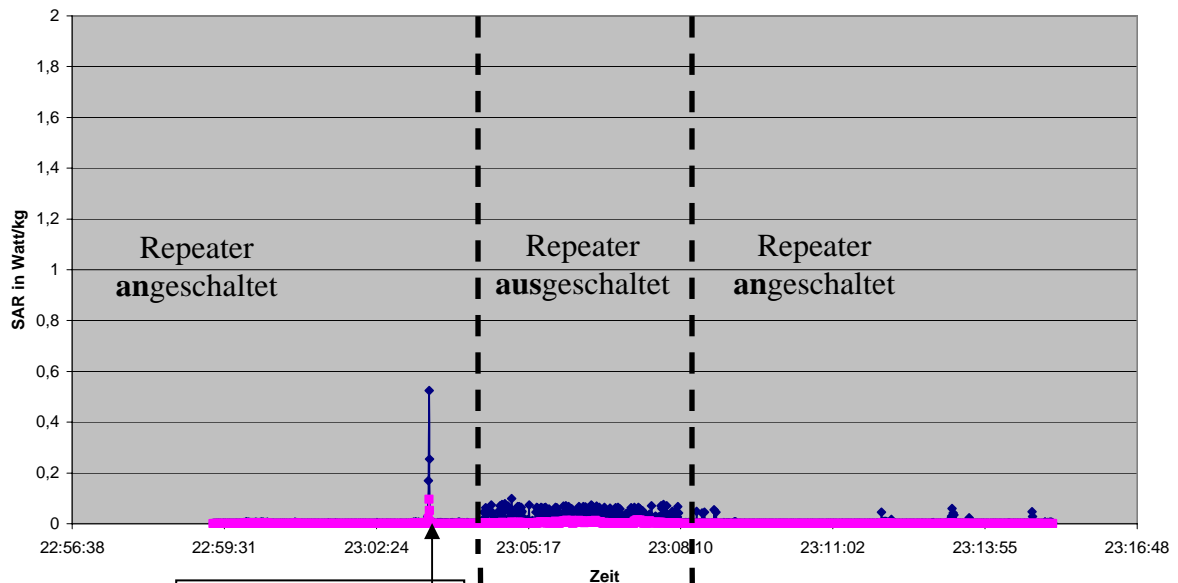


Abbildung 266

Funktionstest durch externe Emissionsquelle

Maschek (GSM 900 und 1800), ICE3
07.06.2006

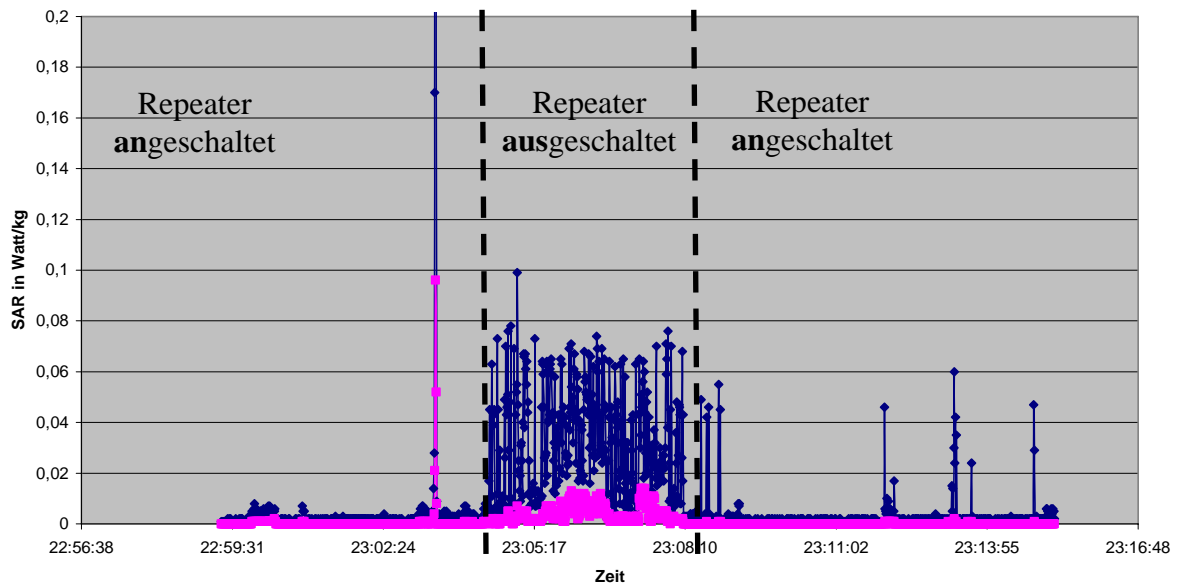


Abbildung 267

Datum	Uhrzeit	Spitzenwert	RMS-Wert	Netz
07.06.06	23:04:16	0,002	0	GSM-900
07.06.06	23:04:16	0,002	0	GSM-900
07.06.06	23:04:17	0,001	0	GSM-900
07.06.06	23:04:18	0,002	0	GSM-900
07.06.06	23:04:18	0,002	0	GSM-900
07.06.06	23:04:19	0,006	0,001	GSM-900
07.06.06	23:04:20	0,004	0,001	GSM-900
07.06.06	23:04:21	0,008	0,001	GSM-900
07.06.06	23:04:21	0,003	0,001	GSM-900
07.06.06	23:04:22	0,005	0,001	GSM-900
07.06.06	23:04:23	0,002	0,001	GSM-900
07.06.06	23:04:23	0,006	0,001	GSM-900
07.06.06	23:04:24	0,007	0,001	GSM-900
07.06.06	23:04:25	0,006	0	GSM-900
07.06.06	23:04:25	0,017	0,001	GSM-900
07.06.06	23:04:26	0,045	0,001	GSM-900
07.06.06	23:04:26	0,005	0	GSM-900
07.06.06	23:04:27	0,006	0,001	GSM-900
07.06.06	23:04:28	0,063	0,001	GSM-1800
07.06.06	23:04:29	0,011	0,001	GSM-900
07.06.06	23:04:29	0,044	0,002	GSM-900
07.06.06	23:04:30	0,039	0,002	GSM-1800
07.06.06	23:04:30	0,043	0,001	GSM-900
07.06.06	23:04:31	0,045	0,001	GSM-900
07.06.06	23:04:32	0,004	0,001	GSM-900
07.06.06	23:04:32	0,004	0	GSM-900
07.06.06	23:04:33	0,005	0	GSM-900
07.06.06	23:04:34	0,007	0,001	GSM-900
07.06.06	23:04:34	0,073	0,002	GSM-1800
07.06.06	23:04:35	0,012	0,002	GSM-900
07.06.06	23:04:35	0,045	0,001	GSM-900
07.06.06	23:04:36	0,004	0	GSM-900
07.06.06	23:04:37	0,006	0	GSM-900
07.06.06	23:04:37	0,029	0,001	GSM-1800
07.06.06	23:04:38	0,003	0	GSM-900
07.06.06	23:04:39	0,009	0,001	GSM-900
07.06.06	23:04:39	0,008	0,001	GSM-900
07.06.06	23:04:40	0,005	0,001	GSM-900
07.06.06	23:04:40	0,011	0,001	GSM-900
07.06.06	23:04:41	0,006	0,001	GSM-900
07.06.06	23:04:41	0,008	0,001	GSM-900
07.06.06	23:04:42	0,007	0,001	GSM-900
07.06.06	23:04:43	0,049	0,001	GSM-900
07.06.06	23:04:43	0,026	0,001	GSM-900
07.06.06	23:04:44	0,007	0,001	GSM-900
07.06.06	23:04:44	0,07	0,002	GSM-1800
07.06.06	23:04:45	0,043	0,001	GSM-900
07.06.06	23:04:45	0,046	0,001	GSM-900
07.06.06	23:04:46	0,051	0,002	GSM-900
07.06.06	23:04:47	0,076	0,005	GSM-1800
07.06.06	23:04:47	0,029	0,005	GSM-900
07.06.06	23:04:48	0,029	0,002	GSM-900
07.06.06	23:04:48	0,01	0,002	GSM-900

Tabelle 40

Abbildung 268 und Abbildung 269 zeigen die Sendeleistung und den Empfangspegel für das am Monitor-A angeschlossene Mobilgerät im GSM 1800-Netz.

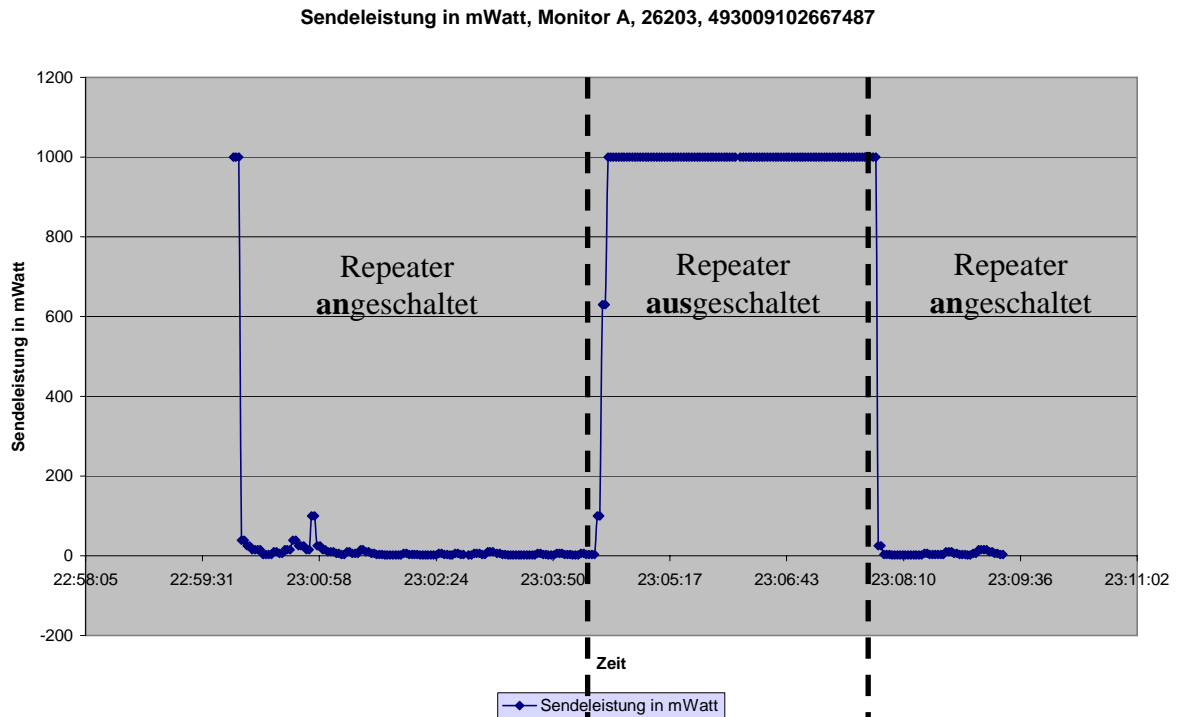


Abbildung 268

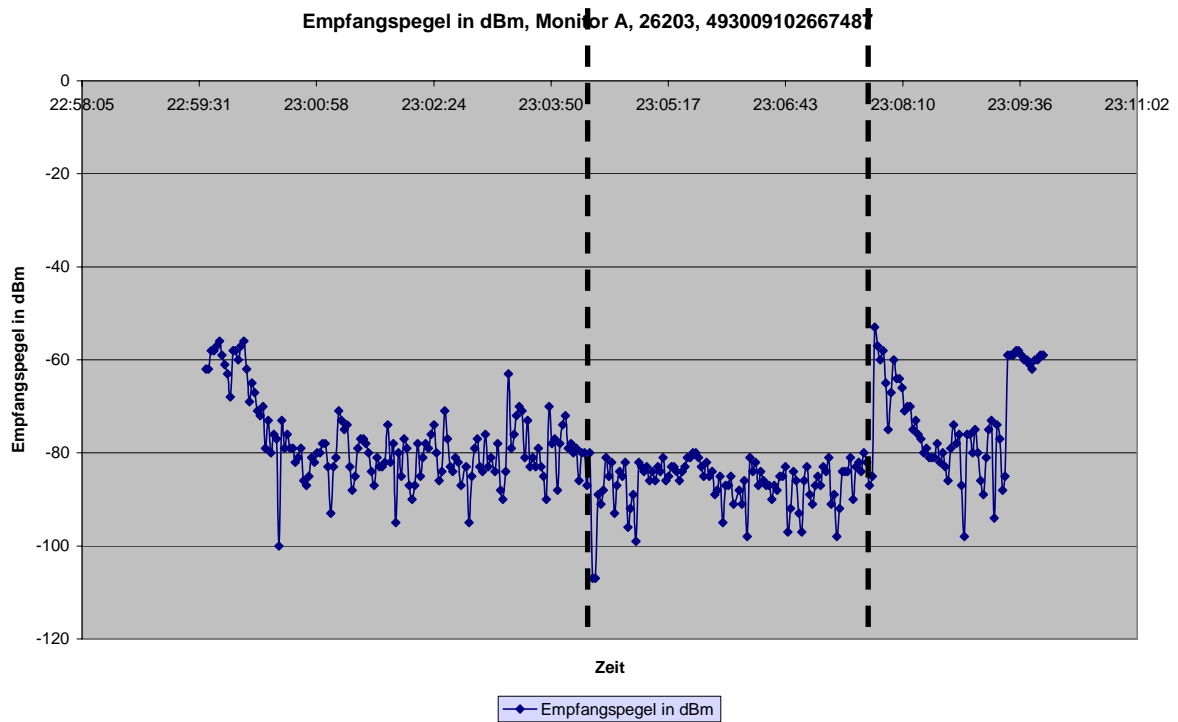


Abbildung 269

Abbildung 270 und Abbildung 271 zeigen Monitor-B im E-Plus-Netz

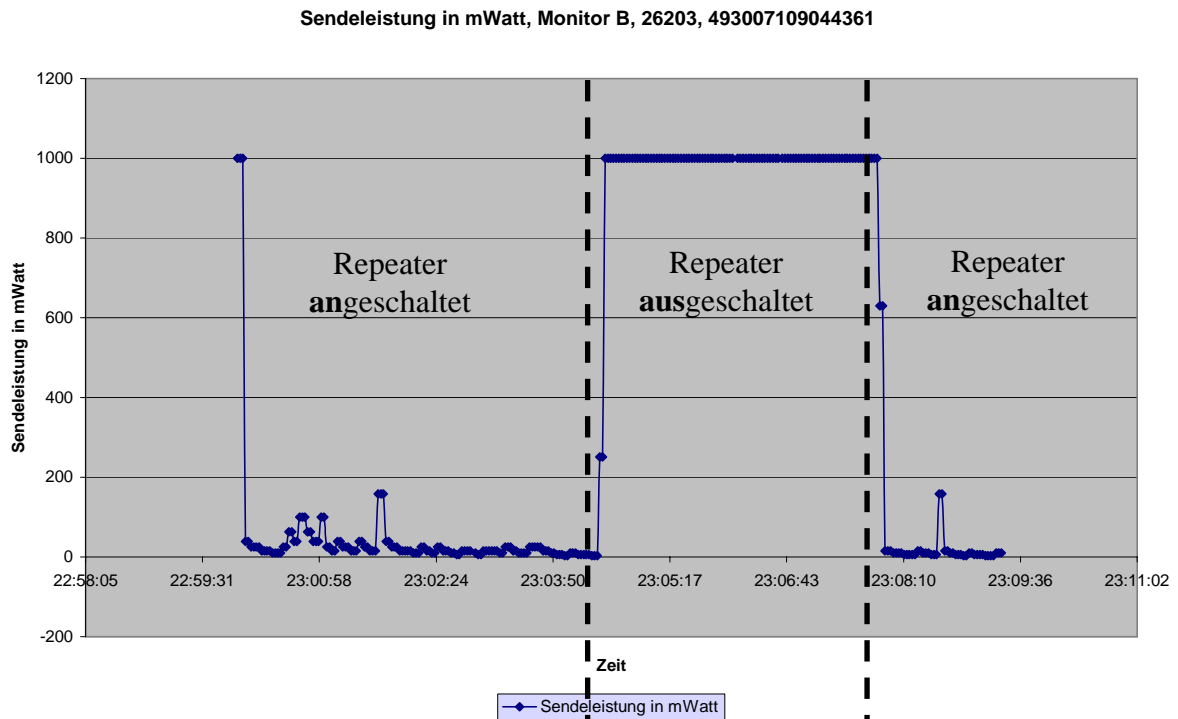


Abbildung 270

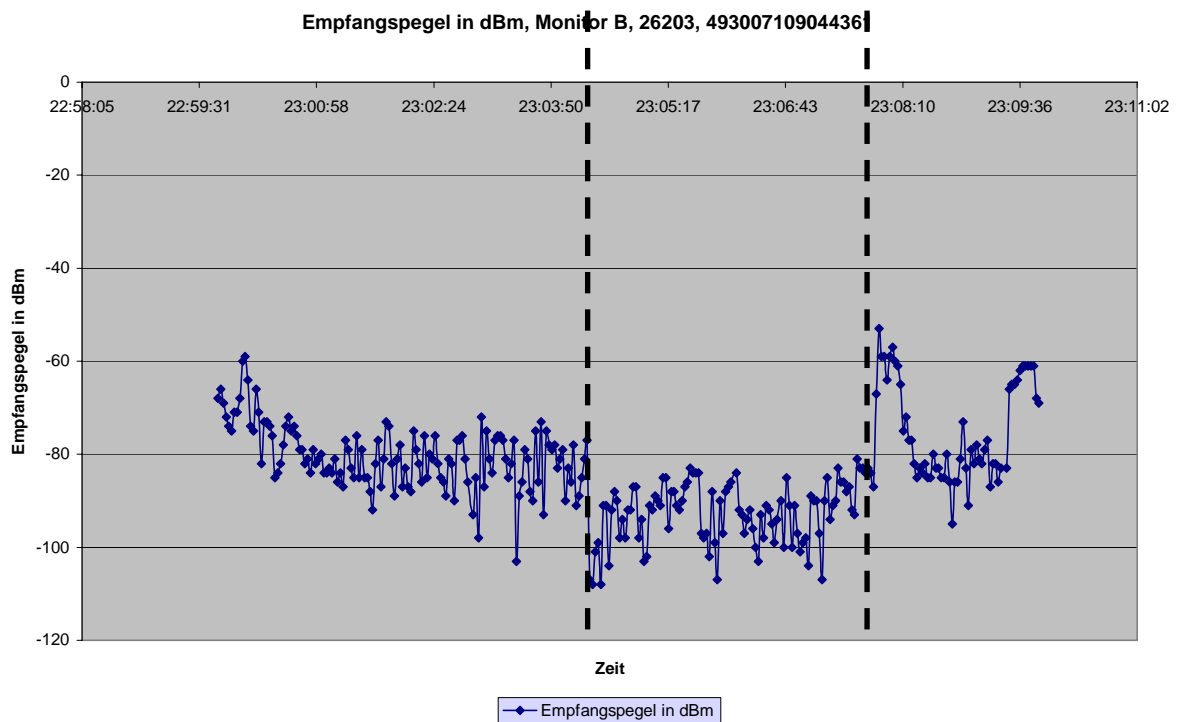


Abbildung 271

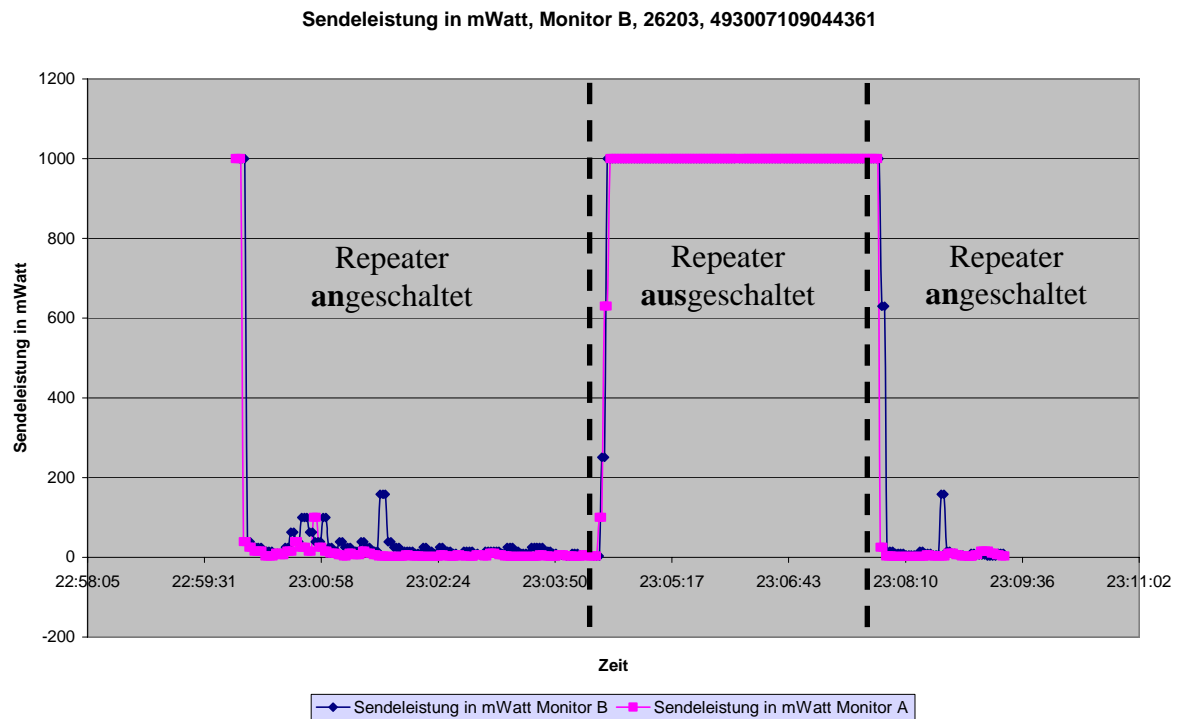


Abbildung 272

Abbildung 272 zeigt die Überlagerung der beiden E-Plus Monitoraten. Es ist eine sehr gute Kongruenz zu erkennen. Der Einfluß des Repeaters ist lehrbuchmäßig perfekt.

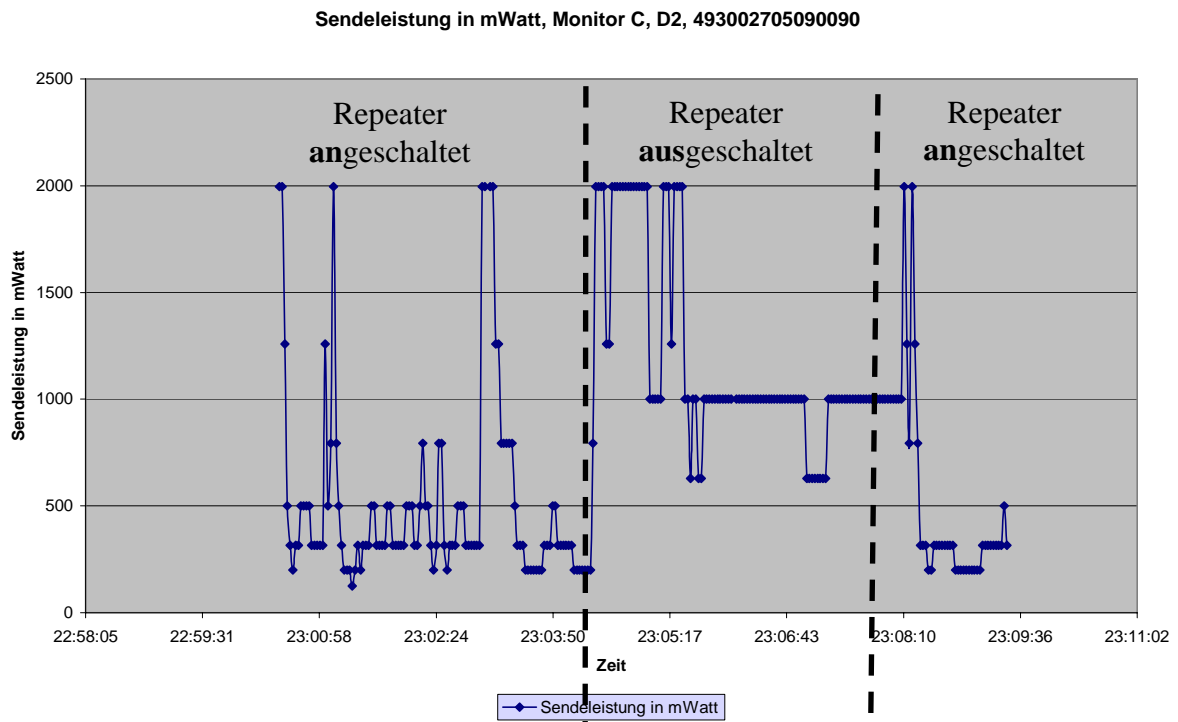


Abbildung 273

Abbildung 273 und Abbildung 274 Monitordaten für D2

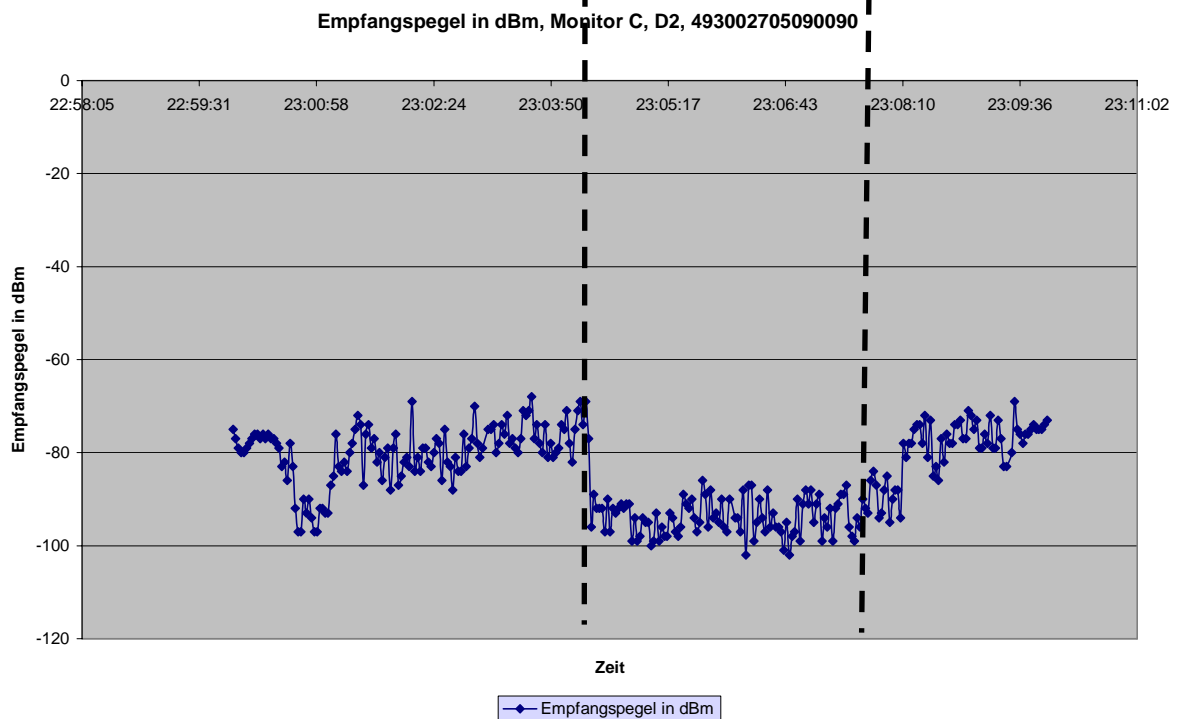


Abbildung 274

Datum	Uhrzeit	Cell-ID	Rufzone	Empfangspegel in dBm	Sendelst. in mW	Kanalnummer
07.06.2006	23:04:52	26233	26202	-94	1995	108
07.06.2006	23:04:54	26233	26202	-99	1995	108
07.06.2006	23:04:56	26233	26202	-98	1995	108
07.06.2006	23:04:58	26233	26202	-94	1995	108
07.06.2006	23:05:00	26233	26202	-95	1995	108
07.06.2006	23:05:02	26235	26202	-95	1000	726
07.06.2006	23:05:04	26235	26202	-100	1000	726
07.06.2006	23:05:06	26235	26202	-99	1000	726
07.06.2006	23:05:08	26235	26202	-93	1000	726
07.06.2006	23:05:10	26235	26202	-99	1000	726
07.06.2006	23:05:12	26233	26202	-96	1995	108
07.06.2006	23:05:14	26233	26202	-98	1995	108
07.06.2006	23:05:16	26233	26202	-98	1995	108
07.06.2006	23:05:18	26233	26202	-93	1258	108
07.06.2006	23:05:20	26233	26202	-94	1995	108
07.06.2006	23:05:22	26233	26202	-97	1995	108
07.06.2006	23:05:24	26233	26202	-98	1995	108
07.06.2006	23:05:26	26233	26202	-96	1995	108
07.06.2006	23:05:28	26233	26202	-89	1000	726
07.06.2006	23:05:30	26235	26202	-91	1000	726
07.06.2006	23:05:32	26235	26202	-92	630	726
07.06.2006	23:05:34	26235	26202	-90	1000	726
07.06.2006	23:05:36	26235	26202	-94	1000	726
07.06.2006	23:05:38	26235	26202	-97	630	726
07.06.2006	23:05:40	26235	26202	-95	630	726
07.06.2006	23:05:42	26235	26202	-86	1000	747
07.06.2006	23:05:44	12157	26202	-89	1000	747
07.06.2006	23:05:46	12157	26202	-96	1000	747
07.06.2006	23:05:48	12157	26202	-88	1000	747
07.06.2006	23:05:50	12157	26202	-94	1000	747
07.06.2006	23:05:52	12157	26202	-93	1000	747
07.06.2006	23:05:54	12157	26202	-95	1000	747
07.06.2006	23:05:56	12157	26202	-90	1000	747
07.06.2006	23:05:58	12157	26202	-96	1000	747
07.06.2006	23:06:00	12157	26202	-97	1000	747
07.06.2006	23:06:02	12157	26202	-90	1000	726
07.06.2006	23:06:06	26235	26202	-94	1000	726
07.06.2006	23:06:08	26235	26202	-94	1000	726
07.06.2006	23:06:10	26235	26202	-97	1000	726
07.06.2006	23:06:12	26235	26202	-88	1000	735
07.06.2006	23:06:14	16006	26202	-102	1000	735
07.06.2006	23:06:16	16006	26202	-87	1000	735
07.06.2006	23:06:18	16006	26202	-87	1000	735
07.06.2006	23:06:20	16006	26202	-99	1000	735
07.06.2006	23:06:22	16006	26202	-95	1000	735
07.06.2006	23:06:24	16006	26202	-90	1000	735
07.06.2006	23:06:26	16006	26202	-94	1000	735
07.06.2006	23:06:28	16006	26202	-97	1000	735
07.06.2006	23:06:30	26235	26202	-88	1000	726
07.06.2006	23:06:32	26235	26202	-96	1000	726
07.06.2006	23:06:34	26235	26202	-93	1000	726
07.06.2006	23:06:36	26235	26202	-96	1000	726
07.06.2006	23:06:38	26235	26202	-96	1000	726
07.06.2006	23:06:40	26235	26202	-97	1000	726
07.06.2006	23:06:42	26235	26202	-101	1000	726
07.06.2006	23:06:44	26235	26202	-95	1000	726
07.06.2006	23:06:46	26235	26202	-102	1000	726
07.06.2006	23:06:48	16006	26202	-98	1000	735
07.06.2006	23:06:50	16006	26202	-97	1000	735
07.06.2006	23:06:52	26235	26202	-90	1000	726

Tabelle 41 (Tabellenauszug von Monitor-C)

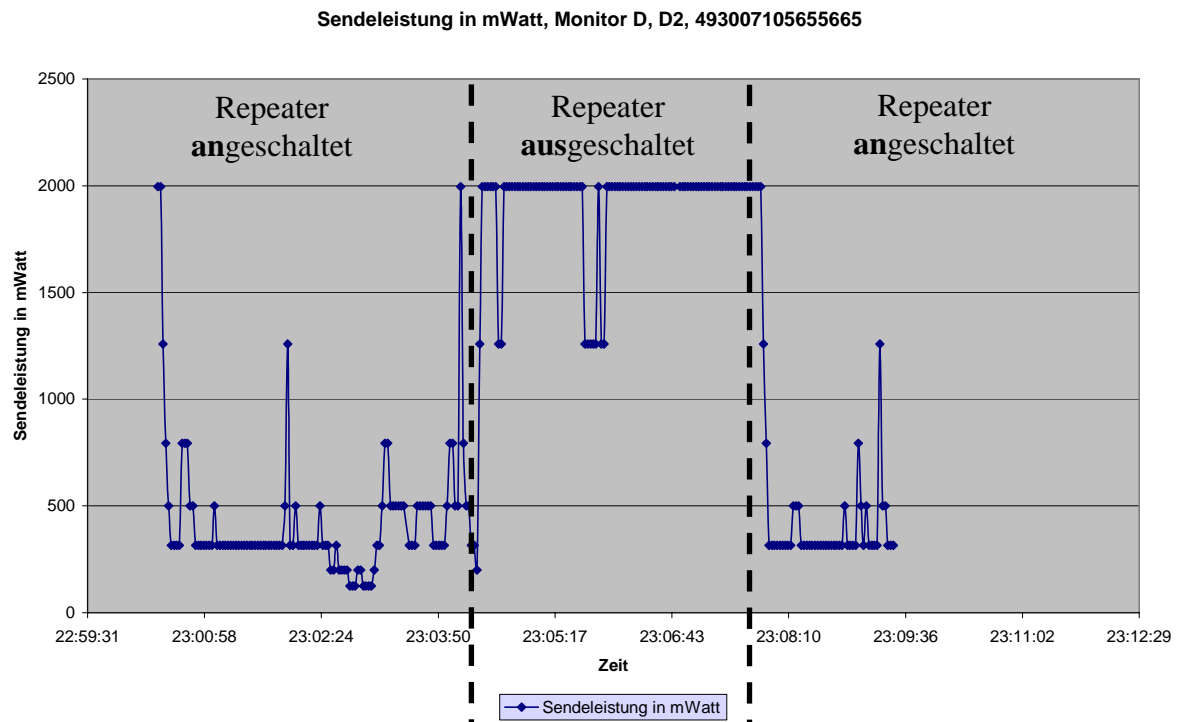


Abbildung 275

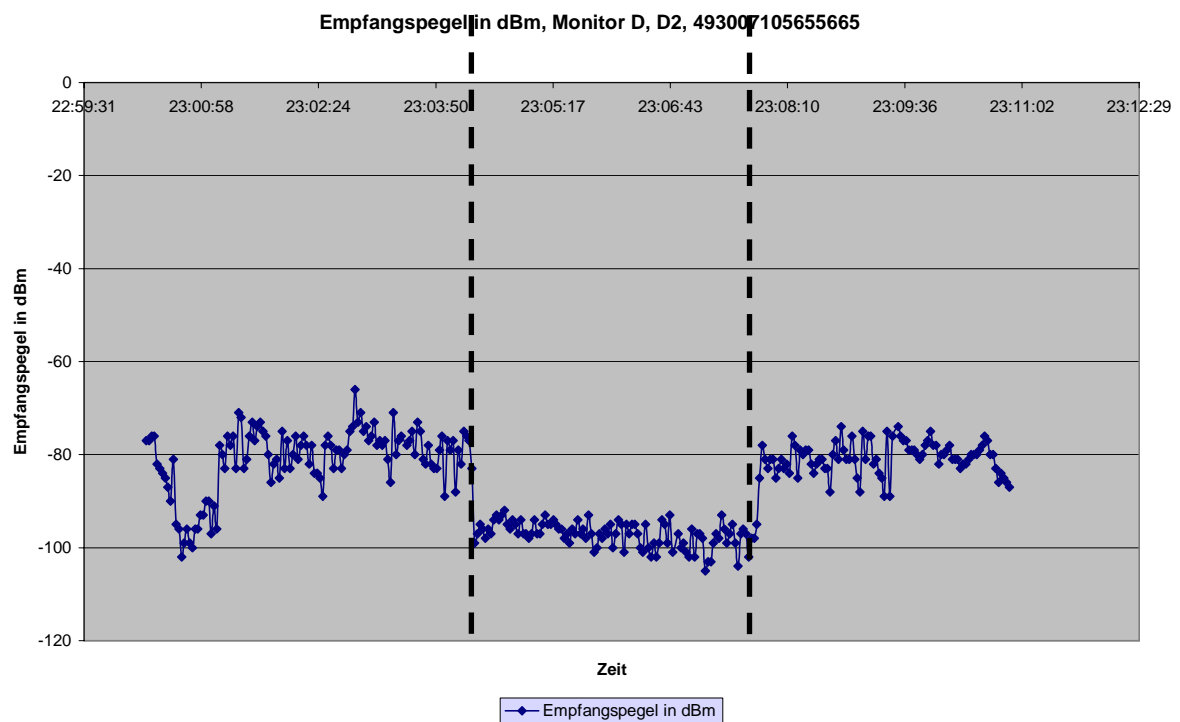


Abbildung 276

Abbildung 273 und Abbildung 274 Monitor-D Graphik

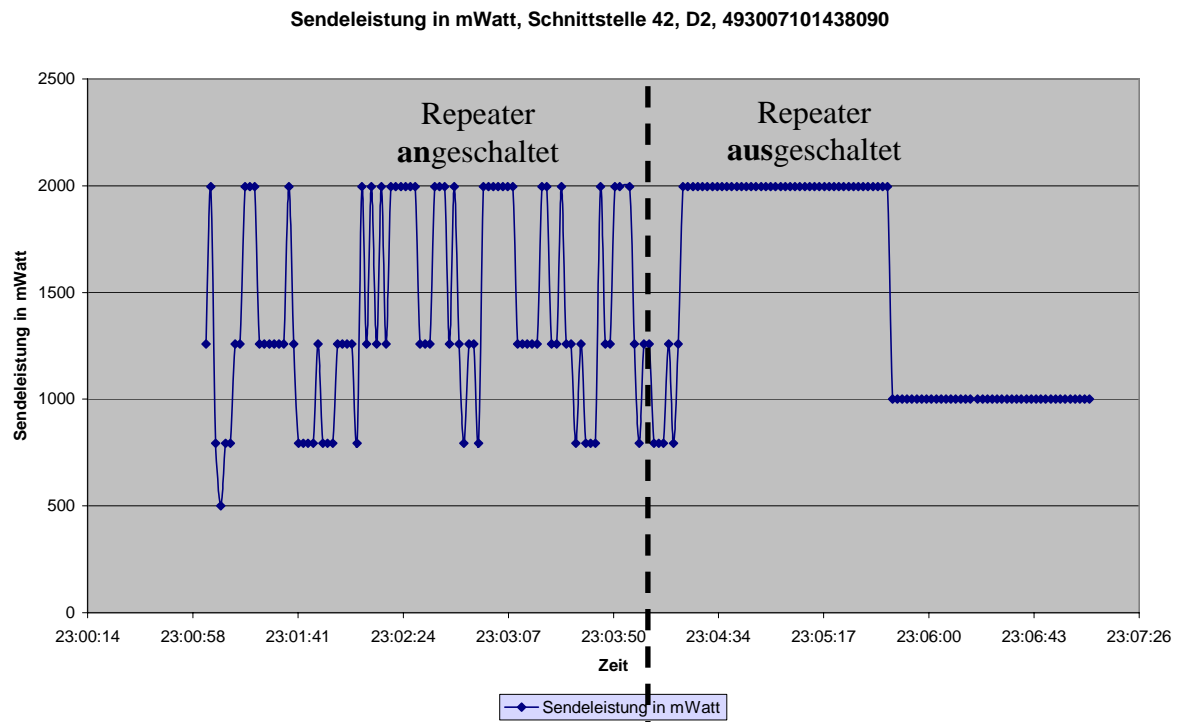


Abbildung 277

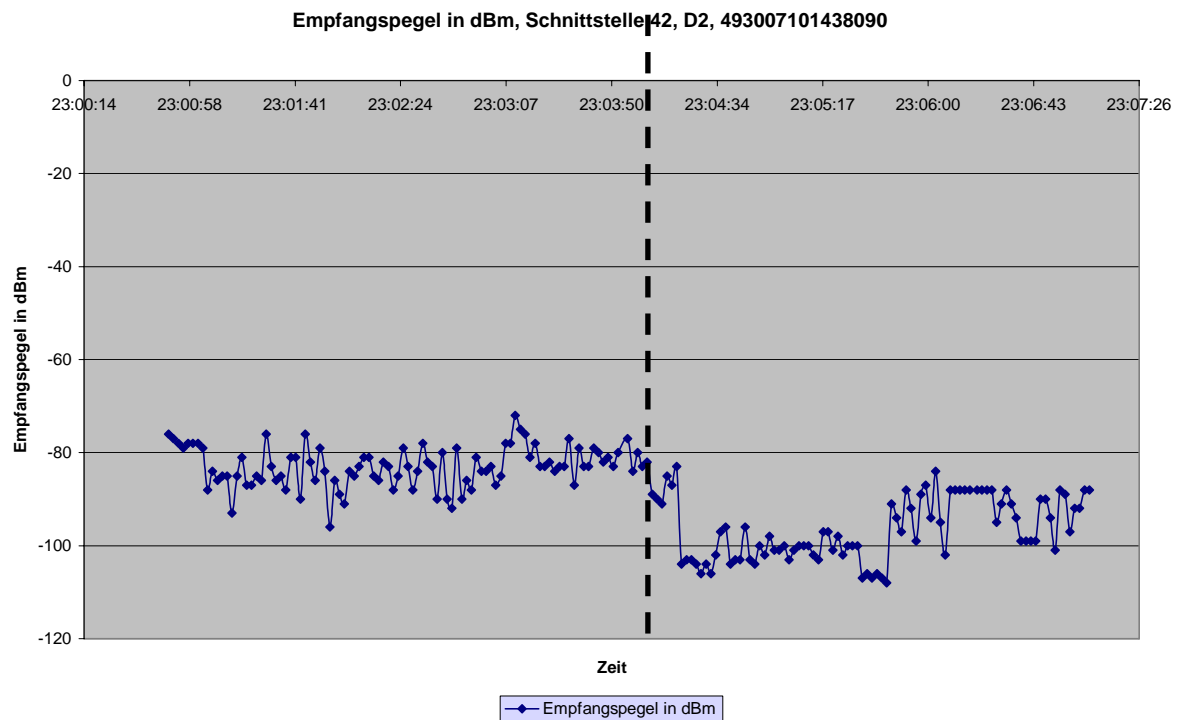


Abbildung 278

Datum	Uhrzeit	Cell-ID	Rufzone	Netz-ID	Empfangs- pegel in dBm	Sendelst. in mW	Kanal- nummer
07.06.2006	23:01:05	26233	611	26202	-88	1995	108
07.06.2006	23:01:07	26233	611	26202	-84	794	108
07.06.2006	23:01:09	26233	611	26202	-86	501	108
07.06.2006	23:01:11	26233	611	26202	-85	794	108
07.06.2006	23:01:13	26233	611	26202	-85	794	108
07.06.2006	23:01:15	26233	611	26202	-93	1258	108
07.06.2006	23:01:17	26233	611	26202	-85	1258	108
07.06.2006	23:01:19	26233	611	26202	-81	1995	108
07.06.2006	23:01:21	26233	611	26202	-87	1995	108
07.06.2006	23:01:23	26233	611	26202	-87	1995	108
07.06.2006	23:01:25	26233	611	26202	-85	1258	108
07.06.2006	23:01:27	26233	611	26202	-86	1258	108
07.06.2006	23:01:29	26233	611	26202	-76	1258	108
07.06.2006	23:01:31	26233	611	26202	-83	1258	108
07.06.2006	23:01:33	26233	611	26202	-86	1258	108
07.06.2006	23:01:35	26233	611	26202	-85	1258	108
07.06.2006	23:01:37	26233	611	26202	-88	1995	108
07.06.2006	23:01:39	26233	611	26202	-81	1258	108
07.06.2006	23:01:41	26233	611	26202	-81	794	108
07.06.2006	23:01:43	26233	611	26202	-90	794	108
07.06.2006	23:01:45	26233	611	26202	-76	794	108
07.06.2006	23:01:47	26233	611	26202	-82	794	108
07.06.2006	23:01:49	26233	611	26202	-86	1258	108
07.06.2006	23:01:51	26233	611	26202	-79	794	108
07.06.2006	23:01:53	26233	611	26202	-84	794	108
07.06.2006	23:01:55	26233	611	26202	-96	794	108
07.06.2006	23:01:57	26233	611	26202	-86	1258	108
07.06.2006	23:01:59	26233	611	26202	-89	1258	108
07.06.2006	23:02:01	26233	611	26202	-91	1258	108
07.06.2006	23:02:03	26233	611	26202	-84	1258	108
07.06.2006	23:02:05	26233	611	26202	-85	794	108
07.06.2006	23:02:07	26233	611	26202	-83	1995	108
07.06.2006	23:02:09	26233	611	26202	-81	1258	108
07.06.2006	23:02:11	26233	611	26202	-81	1995	108
07.06.2006	23:02:13	26233	611	26202	-85	1258	108
07.06.2006	23:02:15	26233	611	26202	-86	1995	108
07.06.2006	23:02:17	26233	611	26202	-82	1258	108
07.06.2006	23:02:19	26233	611	26202	-83	1995	108
07.06.2006	23:02:21	26233	611	26202	-88	1995	108
07.06.2006	23:02:23	26233	611	26202	-85	1995	108
07.06.2006	23:02:25	26233	611	26202	-79	1995	108
07.06.2006	23:02:27	26233	611	26202	-83	1995	108
07.06.2006	23:02:29	26233	611	26202	-88	1995	108
07.06.2006	23:02:31	26233	611	26202	-84	1258	108
07.06.2006	23:02:33	26233	611	26202	-78	1258	108
07.06.2006	23:02:35	26233	611	26202	-82	1258	108
07.06.2006	23:02:37	26233	611	26202	-83	1995	108
07.06.2006	23:02:39	26233	611	26202	-90	1995	108
07.06.2006	23:02:41	26233	611	26202	-80	1995	108
07.06.2006	23:02:43	26233	611	26202	-90	1258	108
07.06.2006	23:02:45	26233	611	26202	-92	1995	108
07.06.2006	23:02:47	26233	611	26202	-79	1258	108
07.06.2006	23:02:49	26233	611	26202	-90	794	108
07.06.2006	23:02:51	26233	611	26202	-86	1258	108
07.06.2006	23:02:53	26233	611	26202	-88	1258	108
07.06.2006	23:02:55	26233	611	26202	-81	794	108
07.06.2006	23:02:57	26233	611	26202	-84	1995	108

Tabelle 42 Anfangsdaten

Datum	Uhrzeit	Cell-ID	Rufzone	Netz-ID	Empfangs- pegel in dBm	Sendelst. in mW	Kanal- nummer
07.06.2006	23:05:07	26233	611	26202	-100	1995	108
07.06.2006	23:05:09	26233	611	26202	-100	1995	108
07.06.2006	23:05:11	26233	611	26202	-100	1995	108
07.06.2006	23:05:13	26233	611	26202	-102	1995	108
07.06.2006	23:05:15	26233	611	26202	-103	1995	108
07.06.2006	23:05:17	26233	611	26202	-97	1995	108
07.06.2006	23:05:19	26233	611	26202	-97	1995	108
07.06.2006	23:05:21	26233	611	26202	-101	1995	108
07.06.2006	23:05:23	26233	611	26202	-98	1995	108
07.06.2006	23:05:25	26233	611	26202	-102	1995	108
07.06.2006	23:05:27	26233	611	26202	-100	1995	108
07.06.2006	23:05:29	26233	611	26202	-100	1995	108
07.06.2006	23:05:31	26233	611	26202	-100	1995	57
07.06.2006	23:05:33	49713	611	26202	-107	1995	57
07.06.2006	23:05:35	49713	611	26202	-106	1995	57
07.06.2006	23:05:37	49713	611	26202	-107	1995	57
07.06.2006	23:05:39	49713	611	26202	-106	1995	57
07.06.2006	23:05:41	49713	611	26202	-107	1995	57
07.06.2006	23:05:43	49713	611	26202	-108	1995	57
07.06.2006	23:05:45	49713	611	26202	-91	1000	747
07.06.2006	23:05:47	12157	611	26202	-94	1000	747
07.06.2006	23:05:49	12157	611	26202	-97	1000	747
07.06.2006	23:05:51	12157	611	26202	-88	1000	747
07.06.2006	23:05:53	12157	611	26202	-92	1000	747
07.06.2006	23:05:55	12157	611	26202	-99	1000	747
07.06.2006	23:05:57	12157	611	26202	-89	1000	747
07.06.2006	23:05:59	12157	611	26202	-87	1000	747
07.06.2006	23:06:01	12157	611	26202	-94	1000	747
07.06.2006	23:06:03	12157	611	26202	-84	1000	747
07.06.2006	23:06:05	12157	611	26202	-95	1000	747
07.06.2006	23:06:07	12157	611	26202	-102	1000	747
07.06.2006	23:06:09	12157	611	26202	-88	1000	747
07.06.2006	23:06:11	12157	611	26202	-88	1000	747
07.06.2006	23:06:13	12157	611	26202	-88	1000	747
07.06.2006	23:06:15	12157	611	26202	-88	1000	747
07.06.2006	23:06:17	12157	611	26202	-88	1000	747
07.06.2006	23:06:20	12157	611	26202	-88	1000	747
07.06.2006	23:06:22	12157	611	26202	-88	1000	747
07.06.2006	23:06:24	12157	611	26202	-88	1000	747
07.06.2006	23:06:26	12157	611	26202	-88	1000	747
07.06.2006	23:06:28	12157	611	26202	-95	1000	747
07.06.2006	23:06:30	12157	611	26202	-91	1000	747
07.06.2006	23:06:32	12157	611	26202	-88	1000	747
07.06.2006	23:06:34	12157	611	26202	-91	1000	747
07.06.2006	23:06:36	12157	611	26202	-94	1000	747
07.06.2006	23:06:38	12157	611	26202	-99	1000	747
07.06.2006	23:06:40	12157	611	26202	-99	1000	747
07.06.2006	23:06:42	12157	611	26202	-99	1000	747
07.06.2006	23:06:44	12157	611	26202	-99	1000	747
07.06.2006	23:06:46	12157	611	26202	-90	1000	747
07.06.2006	23:06:48	12157	611	26202	-90	1000	747
07.06.2006	23:06:50	12157	611	26202	-94	1000	747
07.06.2006	23:06:52	12157	611	26202	-101	1000	747
07.06.2006	23:06:54	12157	611	26202	-88	1000	747
07.06.2006	23:06:56	12157	611	26202	-89	1000	747
07.06.2006	23:06:58	12157	611	26202	-97	1000	747
07.06.2006	23:07:00	12157	611	26202	-92	1000	747
07.06.2006	23:07:02	12157	611	26202	-92	1000	747
07.06.2006	23:07:04	12157	611	26202	-88	1000	747
07.06.2006	23:07:06	12157	611	26202	-88	1000	747

Tabelle 43, Tabelle 10 Schlussdaten

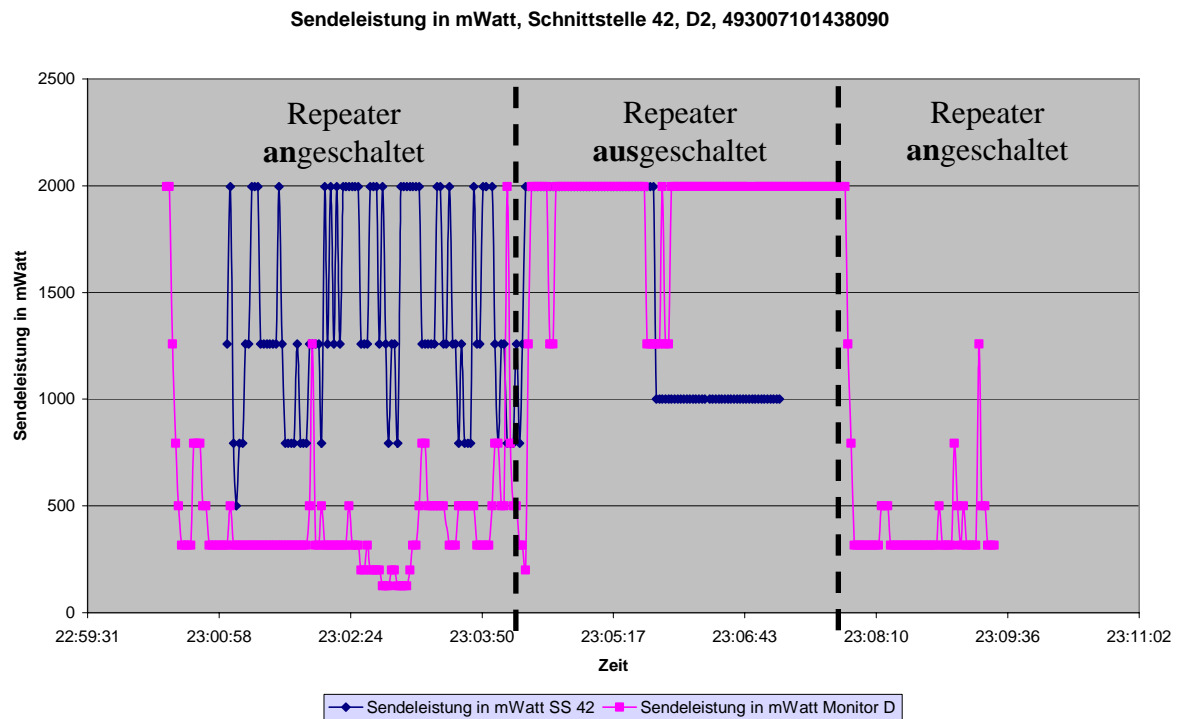
**Abbildung 279**

Abbildung 279 zeigt die Überlagerung der Sendeleistungen des an die Schnittstelle 42 und des anderen an die Schnittstelle D angeschlossenen D2-Handys.

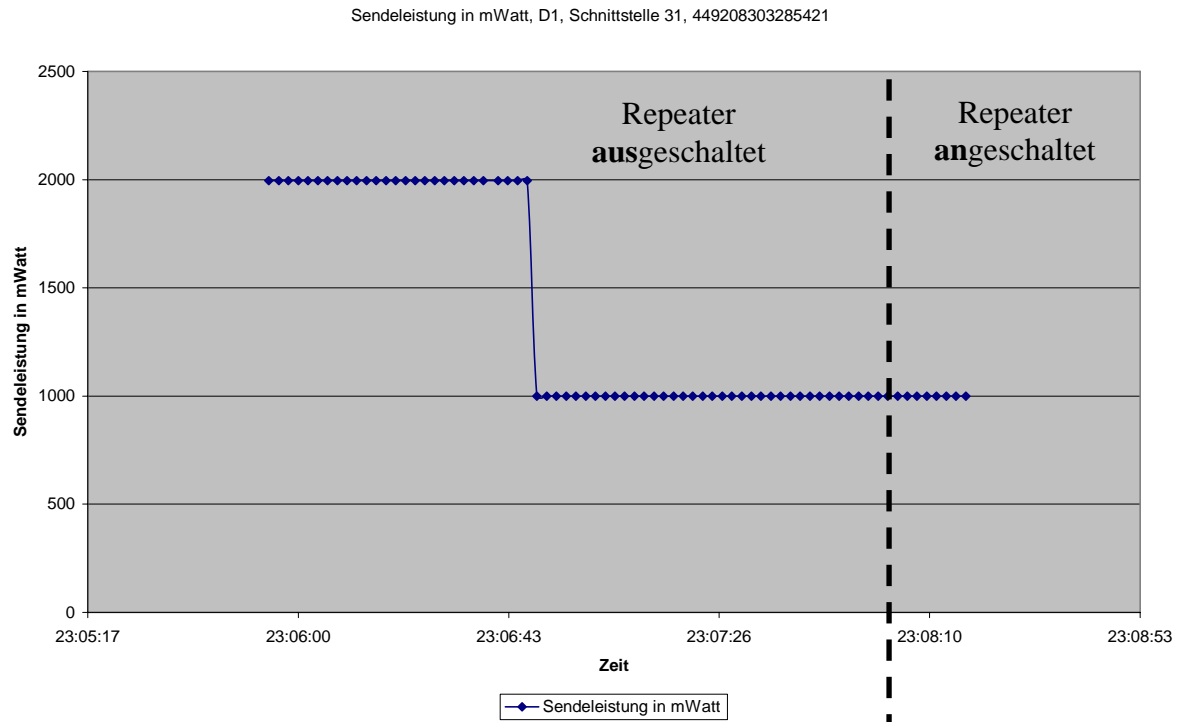


Abbildung 280

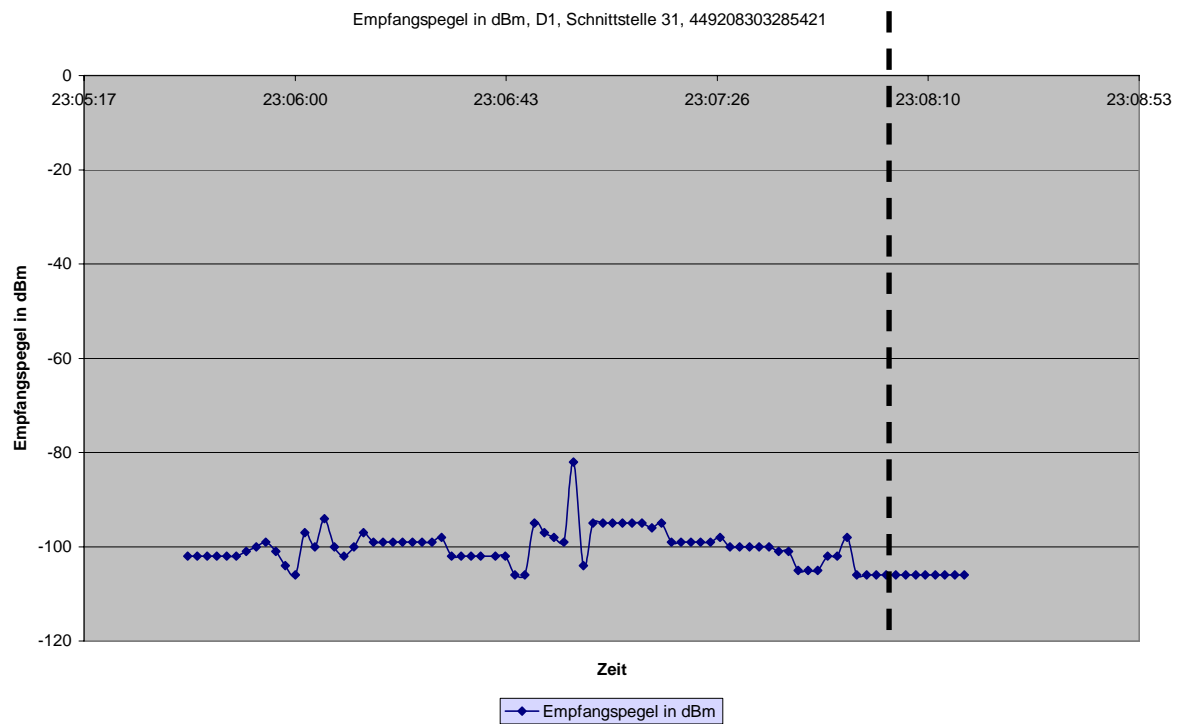


Abbildung 281

Datum	Uhrzeit	Cell-ID	Rufzone	Empfangs- pegel in dBm	Sendelst. in mW	Kanal- nummer
07.06.2006	23:05:54	38156	26201	-99	1995	98
07.06.2006	23:05:56	38156	26201	-101	1995	98
07.06.2006	23:05:58	38156	26201	-104	1995	98
07.06.2006	23:06:00	38156	26201	-106	1995	98
07.06.2006	23:06:02	38156	26201	-97	1995	87
07.06.2006	23:06:04	34514	26201	-100	1995	87
07.06.2006	23:06:06	34514	26201	-94	1995	87
07.06.2006	23:06:08	34514	26201	-100	1995	87
07.06.2006	23:06:10	34514	26201	-102	1995	87
07.06.2006	23:06:12	34514	26201	-100	1995	87
07.06.2006	23:06:14	34514	26201	-97	1995	87
07.06.2006	23:06:16	34514	26201	-99	1995	87
07.06.2006	23:06:18	34514	26201	-99	1995	87
07.06.2006	23:06:20	34514	26201	-99	1995	87
07.06.2006	23:06:22	34514	26201	-99	1995	87
07.06.2006	23:06:24	34514	26201	-99	1995	87
07.06.2006	23:06:26	34514	26201	-99	1995	87
07.06.2006	23:06:28	34514	26201	-99	1995	87
07.06.2006	23:06:30	34514	26201	-98	1995	87
07.06.2006	23:06:32	34514	26201	-102	1995	87
07.06.2006	23:06:34	34514	26201	-102	1995	87
07.06.2006	23:06:36	34514	26201	-102	1995	87
07.06.2006	23:06:38	34514	26201	-102	1995	87
07.06.2006	23:06:41	34514	26201	-102	1995	87
07.06.2006	23:06:43	34514	26201	-102	1995	87
07.06.2006	23:06:45	34514	26201	-106	1995	87
07.06.2006	23:06:47	34514	26201	-106	1995	87
07.06.2006	23:06:49	62441	26201	-95	1000	602
07.06.2006	23:06:51	62441	26201	-97	1000	602
07.06.2006	23:06:53	62441	26201	-98	1000	602
07.06.2006	23:06:55	62441	26201	-99	1000	602
07.06.2006	23:06:57	62441	26201	-82	1000	602
07.06.2006	23:06:59	62441	26201	-104	1000	602
07.06.2006	23:07:01	62441	26201	-95	1000	602
07.06.2006	23:07:03	62441	26201	-95	1000	602
07.06.2006	23:07:05	62441	26201	-95	1000	602
07.06.2006	23:07:07	62441	26201	-95	1000	602
07.06.2006	23:07:09	62441	26201	-95	1000	602
07.06.2006	23:07:11	62448	26201	-95	1000	589
07.06.2006	23:07:13	62448	26201	-96	1000	589
07.06.2006	23:07:15	62448	26201	-95	1000	589
07.06.2006	23:07:17	62448	26201	-99	1000	589
07.06.2006	23:07:19	62448	26201	-99	1000	589
07.06.2006	23:07:21	62448	26201	-99	1000	589
07.06.2006	23:07:23	62448	26201	-99	1000	589
07.06.2006	23:07:25	62448	26201	-99	1000	589
07.06.2006	23:07:27	62441	26201	-98	1000	602
07.06.2006	23:07:29	62448	26201	-100	1000	589
07.06.2006	23:07:31	62448	26201	-100	1000	589
07.06.2006	23:07:33	62448	26201	-100	1000	589
07.06.2006	23:07:35	62448	26201	-100	1000	589
07.06.2006	23:07:37	62448	26201	-100	1000	589
07.06.2006	23:07:39	62448	26201	-101	1000	589
07.06.2006	23:07:41	62441	26201	-101	1000	602
07.06.2006	23:07:43	62448	26201	-105	1000	589
07.06.2006	23:07:45	62448	26201	-105	1000	589

Tabelle 44

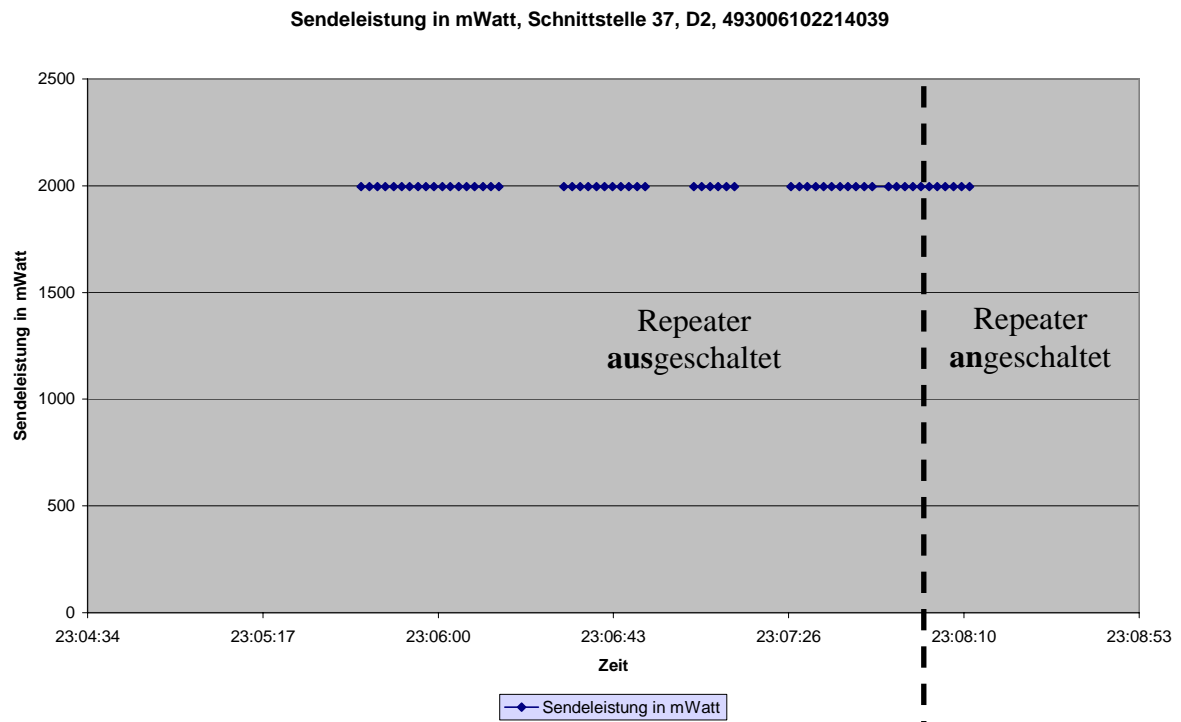


Abbildung 282

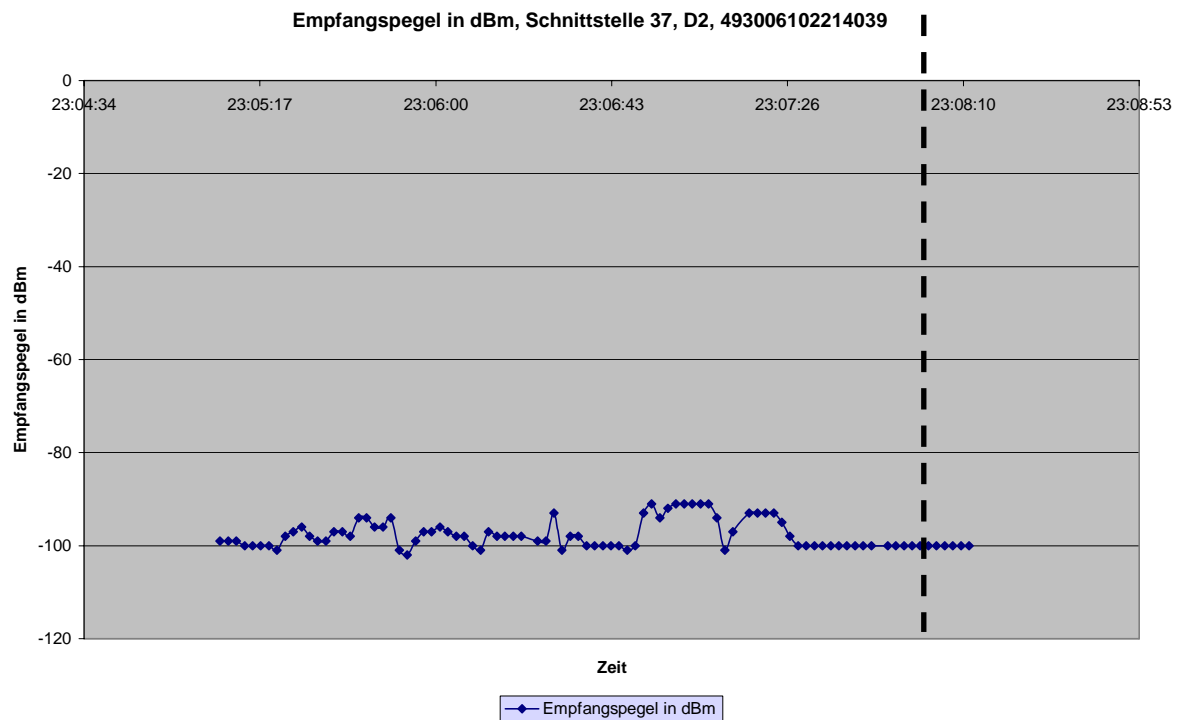


Abbildung 283

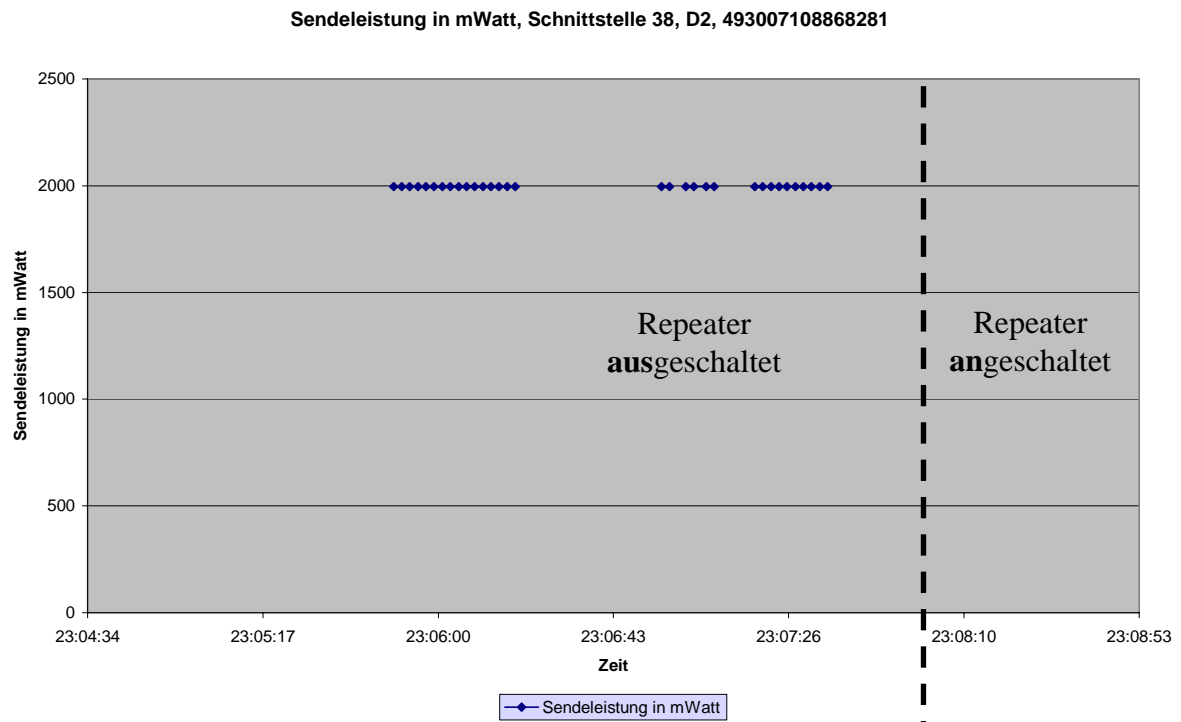


Abbildung 284

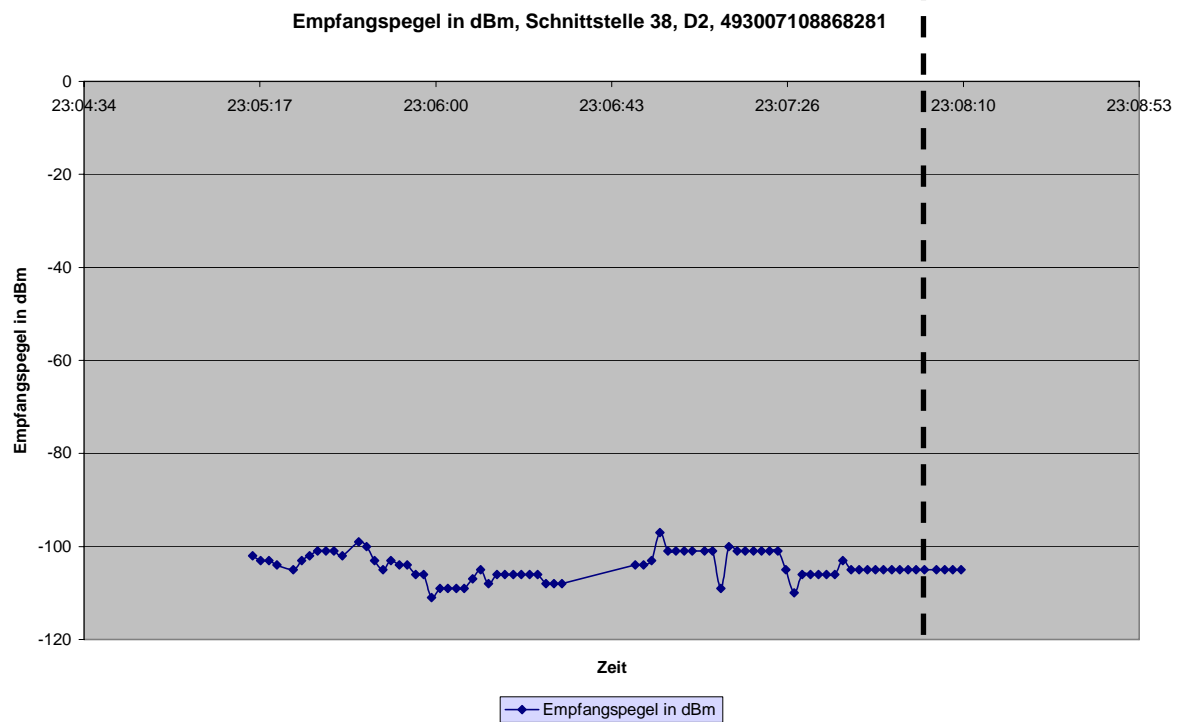


Abbildung 285

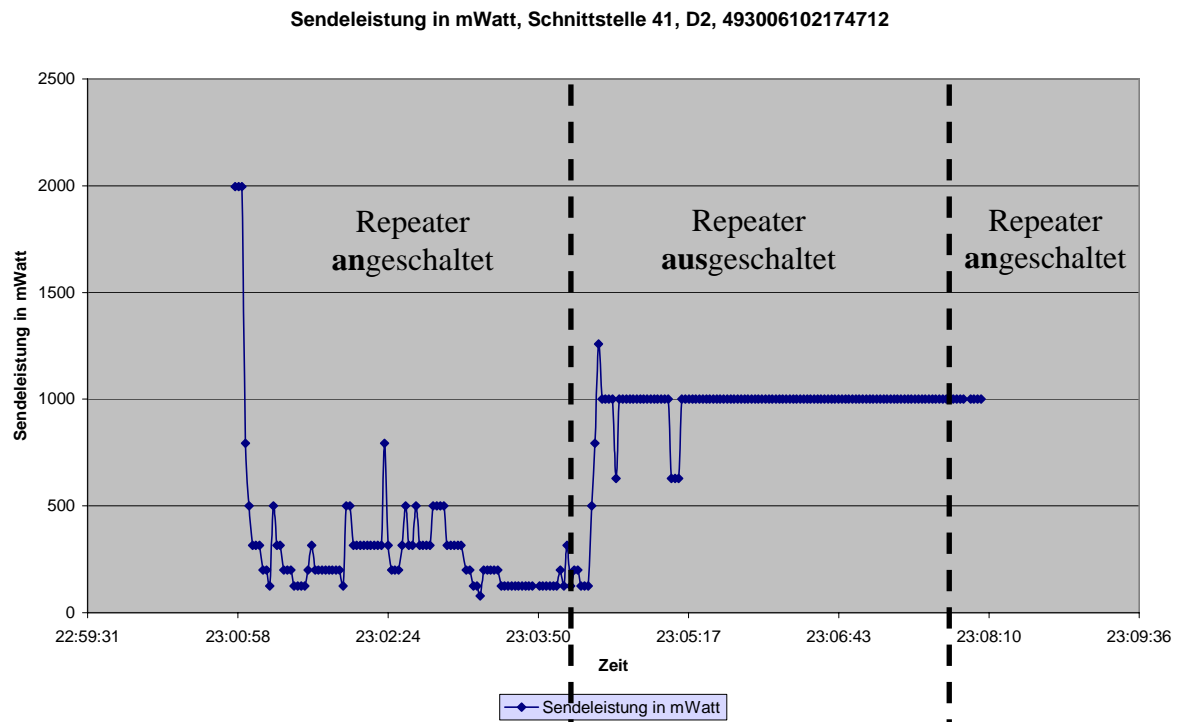


Abbildung 286

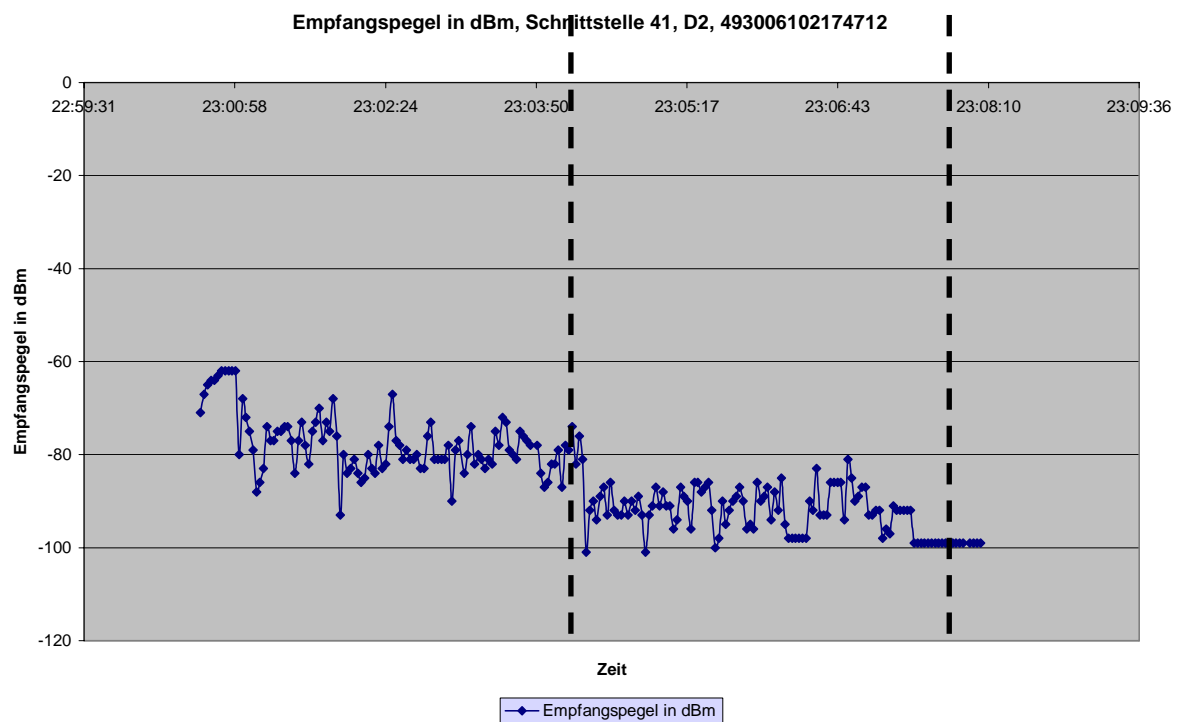


Abbildung 287

Während der Zeit in der der Repeater ausgeschaltet ist, bucht sich das D2 Handy im GSM-1800 Netz des Netzbetreibers ein.

Datum	Uhrzeit	Cell-ID	Netz-ID	Empfangs- pegel in dBm	Sendelst. in mW	Kanal- nummer
07.06.2006	23:04:09	26233	26202	-79	125	108
07.06.2006	23:04:11	26233	26202	-74	199	108
07.06.2006	23:04:13	26233	26202	-82	199	108
07.06.2006	23:04:15	26233	26202	-76	125	108
07.06.2006	23:04:17	26233	26202	-81	125	108
07.06.2006	23:04:19	26233	26202	-101	125	108
07.06.2006	23:04:21	26233	26202	-92	501	108
07.06.2006	23:04:23	26233	26202	-90	794	108
07.06.2006	23:04:25	26233	26202	-94	1258	108
07.06.2006	23:04:27	16006	26202	-89	1000	735
07.06.2006	23:04:29	16006	26202	-87	1000	735
07.06.2006	23:04:31	16006	26202	-93	1000	735
07.06.2006	23:04:33	16006	26202	-86	1000	735
07.06.2006	23:04:35	16006	26202	-92	630	735
07.06.2006	23:04:37	16006	26202	-93	1000	735
07.06.2006	23:04:39	16006	26202	-93	1000	735
07.06.2006	23:04:41	16006	26202	-90	1000	735
07.06.2006	23:04:43	16006	26202	-93	1000	735
07.06.2006	23:04:45	16006	26202	-90	1000	735
07.06.2006	23:04:47	16006	26202	-92	1000	735
07.06.2006	23:04:49	16006	26202	-89	1000	735
07.06.2006	23:04:51	16006	26202	-93	1000	735
07.06.2006	23:04:53	16006	26202	-101	1000	735
07.06.2006	23:04:55	16006	26202	-93	1000	735
07.06.2006	23:04:57	16006	26202	-91	1000	735
07.06.2006	23:04:59	16006	26202	-87	1000	735
07.06.2006	23:05:01	16006	26202	-91	1000	735
07.06.2006	23:05:03	16006	26202	-88	1000	735
07.06.2006	23:05:05	16006	26202	-91	1000	735
07.06.2006	23:05:07	16006	26202	-91	630	735
07.06.2006	23:05:09	16006	26202	-96	630	735
07.06.2006	23:05:11	16006	26202	-94	630	735
07.06.2006	23:05:13	16006	26202	-87	1000	747
07.06.2006	23:05:15	12157	26202	-89	1000	747
07.06.2006	23:05:17	12157	26202	-90	1000	747
07.06.2006	23:05:19	12157	26202	-96	1000	747
07.06.2006	23:05:21	12157	26202	-86	1000	747
07.06.2006	23:05:23	12157	26202	-86	1000	747
07.06.2006	23:05:25	12157	26202	-88	1000	747
07.06.2006	23:05:27	12157	26202	-87	1000	747
07.06.2006	23:05:29	12157	26202	-86	1000	747
07.06.2006	23:05:31	12157	26202	-92	1000	747
07.06.2006	23:05:33	12157	26202	-100	1000	747
07.06.2006	23:05:35	12157	26202	-98	1000	747
07.06.2006	23:05:37	12157	26202	-90	1000	747
07.06.2006	23:05:39	12157	26202	-95	1000	747
07.06.2006	23:05:41	12157	26202	-92	1000	747
07.06.2006	23:05:43	12157	26202	-90	1000	747
07.06.2006	23:05:45	12157	26202	-89	1000	747
07.06.2006	23:05:47	12157	26202	-87	1000	747
07.06.2006	23:05:49	12157	26202	-90	1000	747
07.06.2006	23:05:51	12157	26202	-96	1000	747
07.06.2006	23:05:53	12157	26202	-95	1000	726
07.06.2006	23:05:55	26235	26202	-96	1000	726
07.06.2006	23:05:57	26235	26202	-86	1000	747
07.06.2006	23:05:59	12157	26202	-90	1000	747

Tabelle 45
Abbildung 279

EMR, ice_fon_on_ohne_talk
07.06.2006

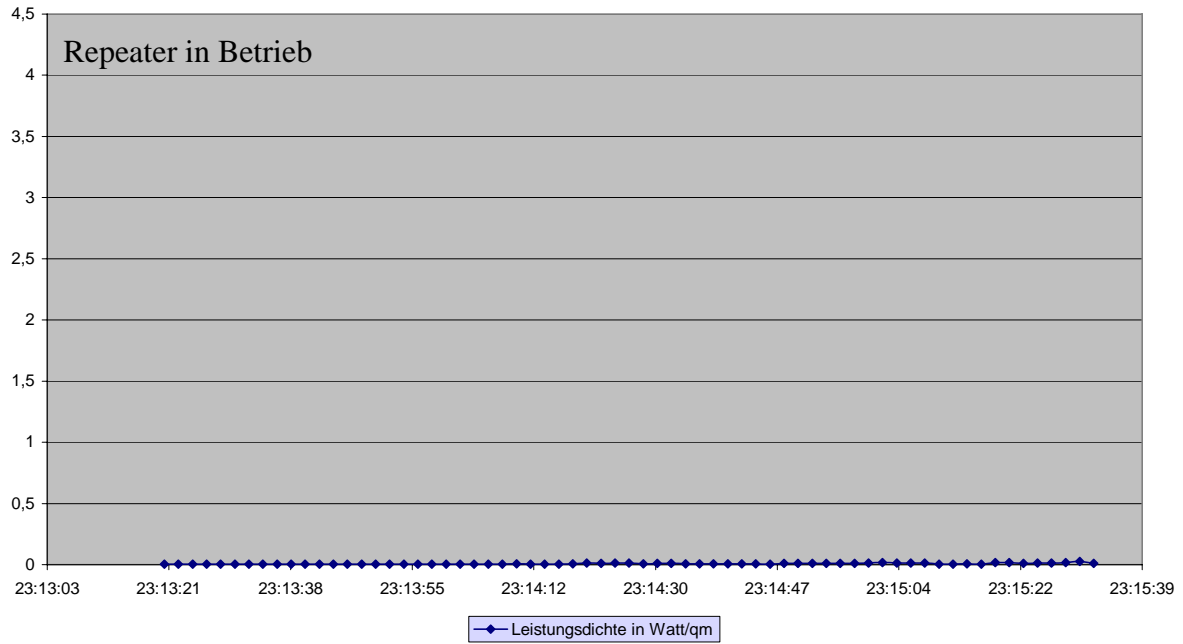


Abbildung 288

EMR, ice_fon_on_ohne_talk
07.06.2006

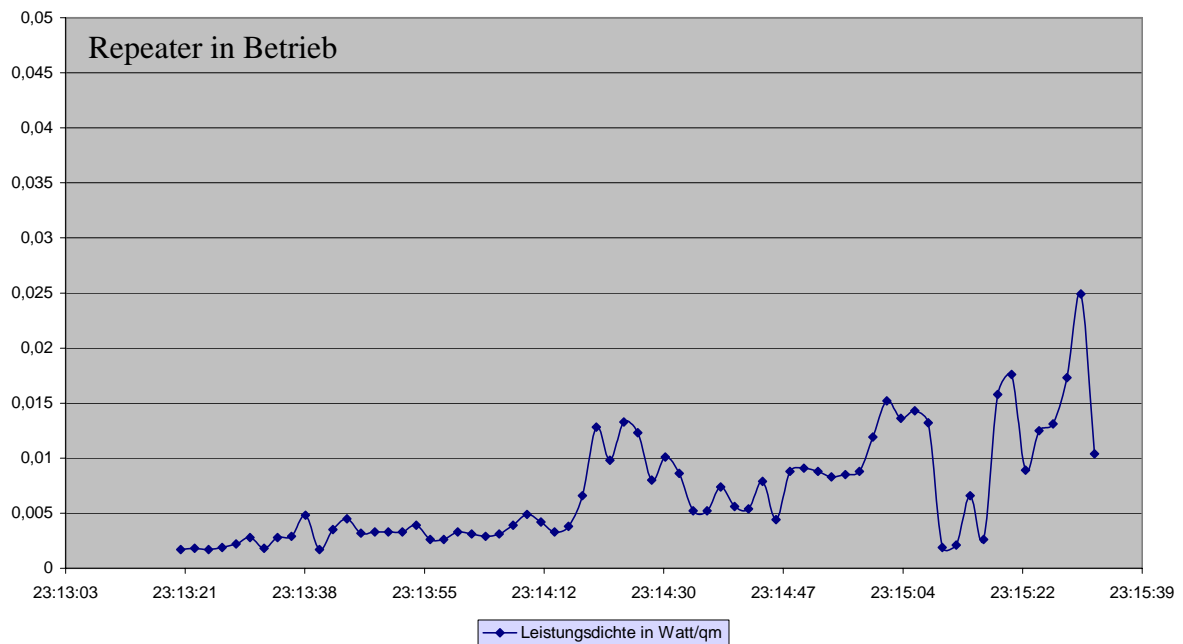


Abbildung 289

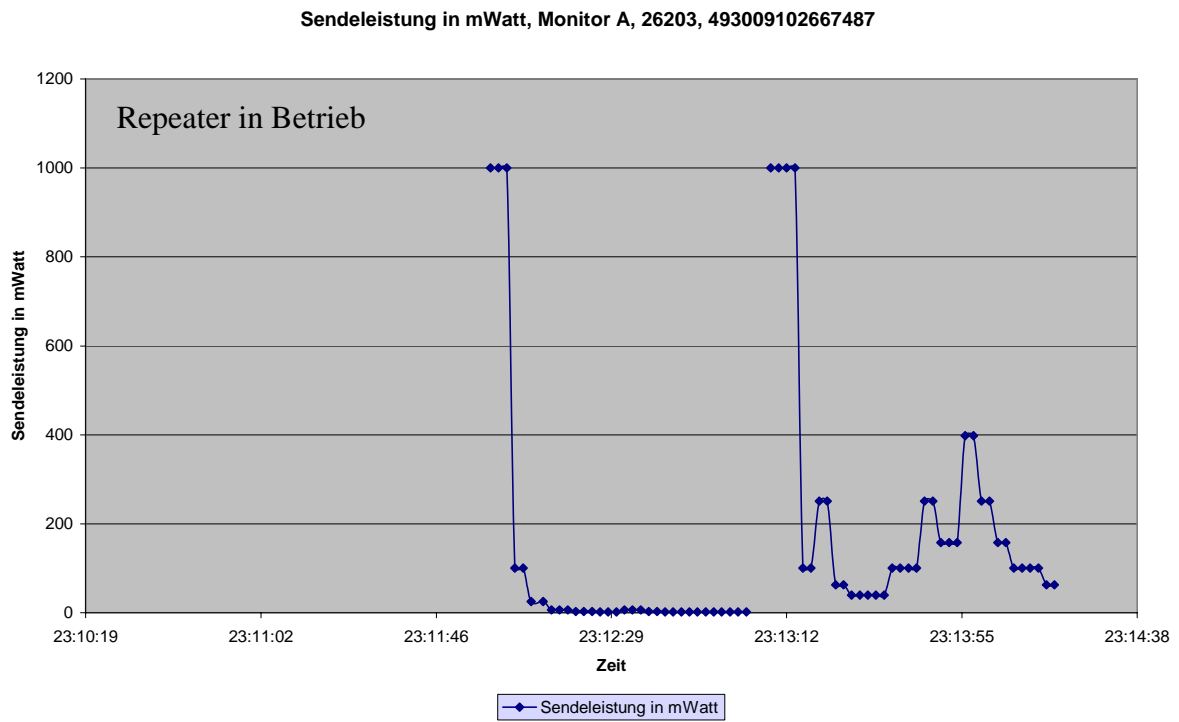


Abbildung 290

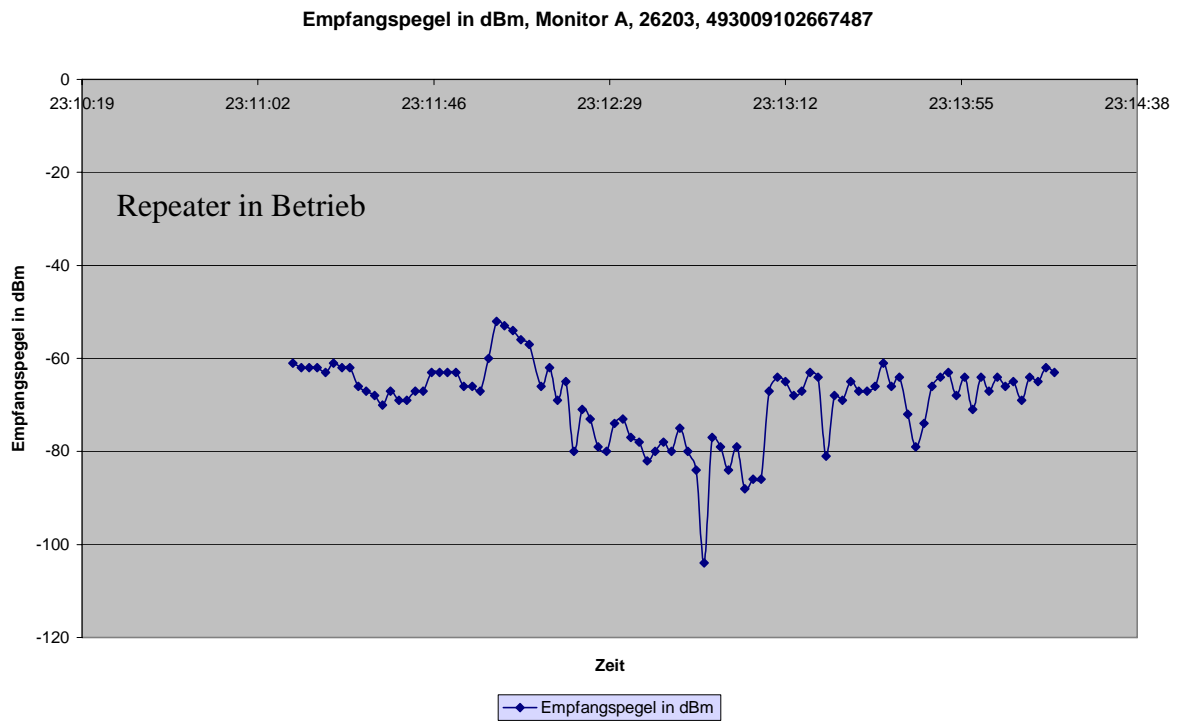


Abbildung 291

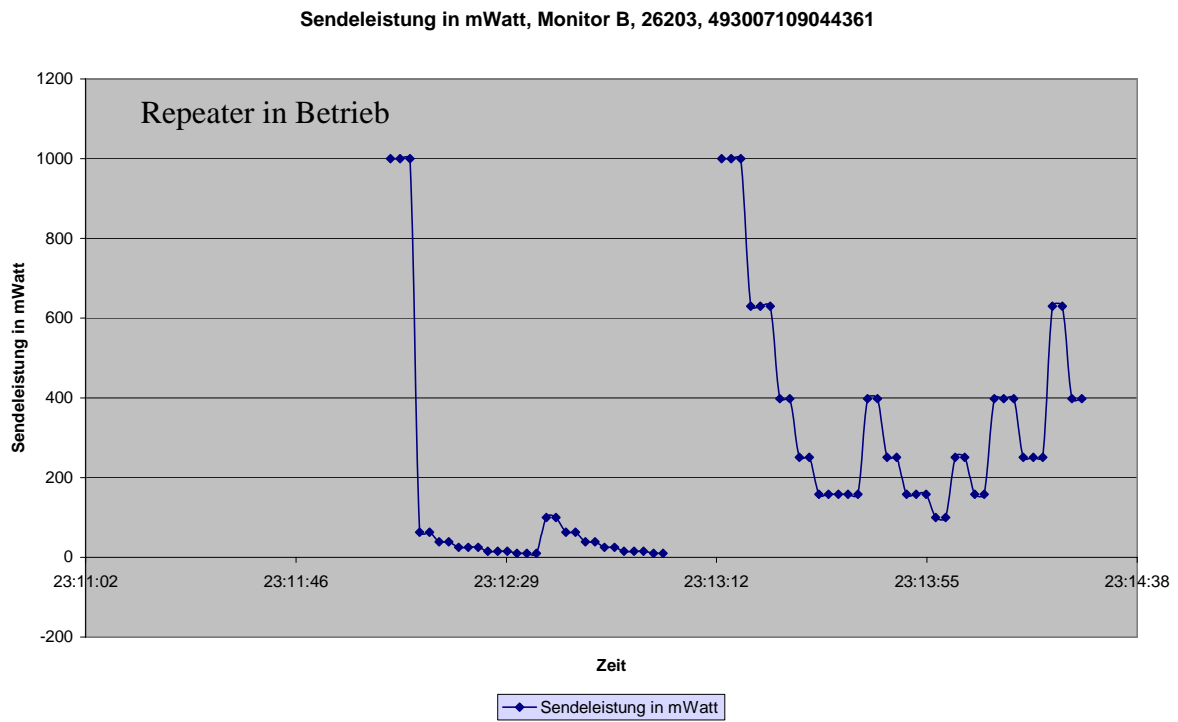


Abbildung 292

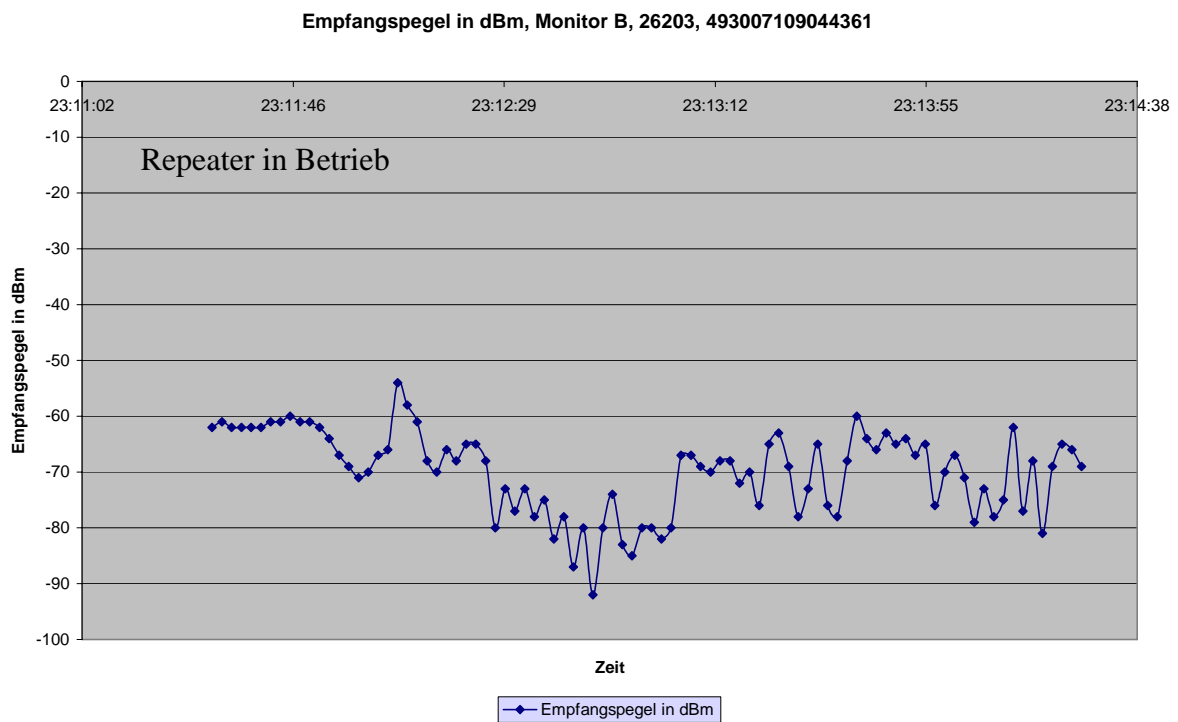


Abbildung 293

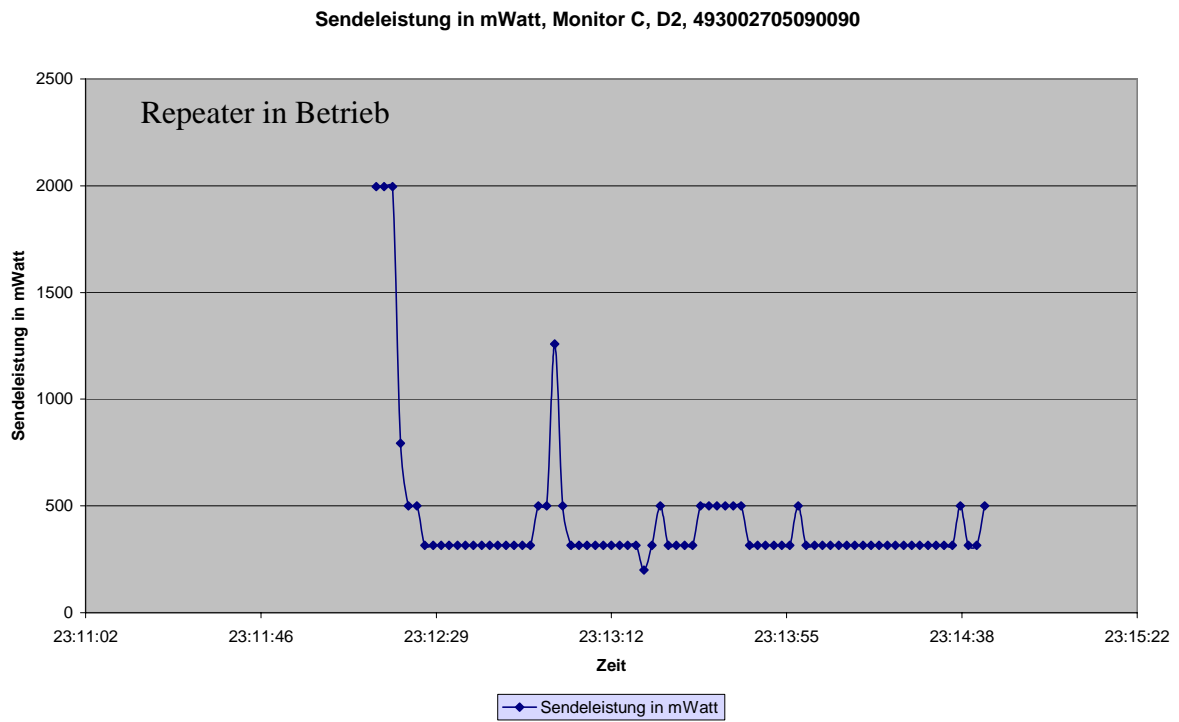


Abbildung 294

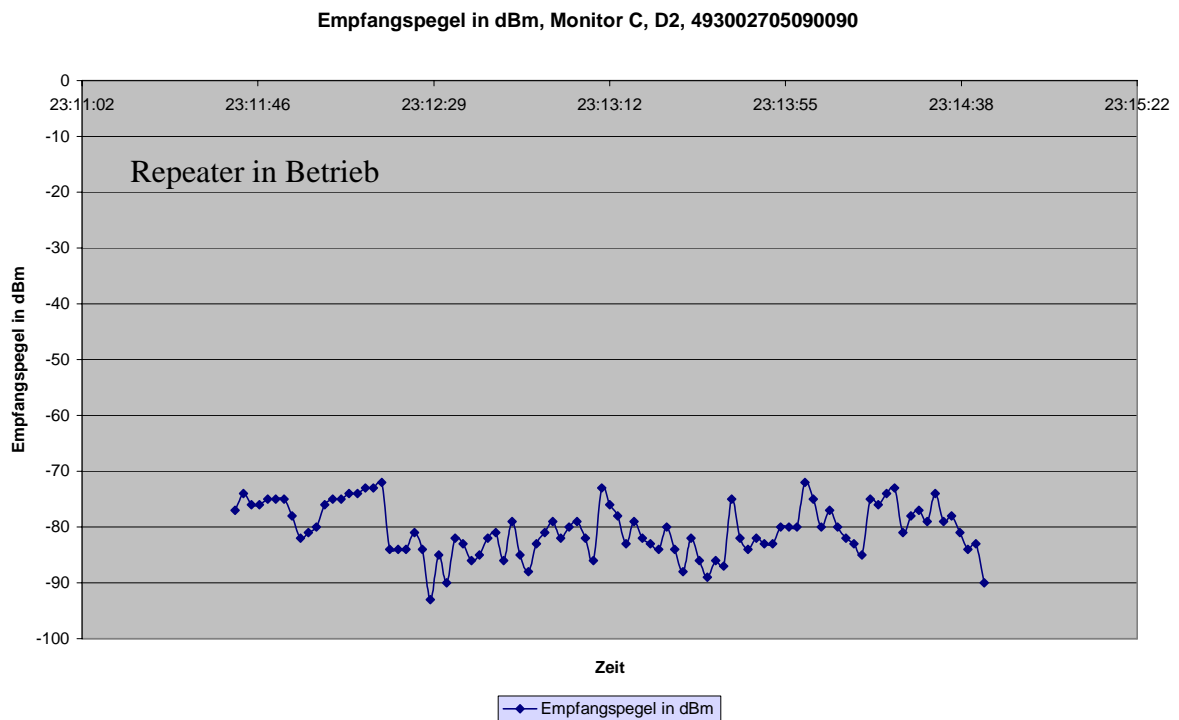


Abbildung 295

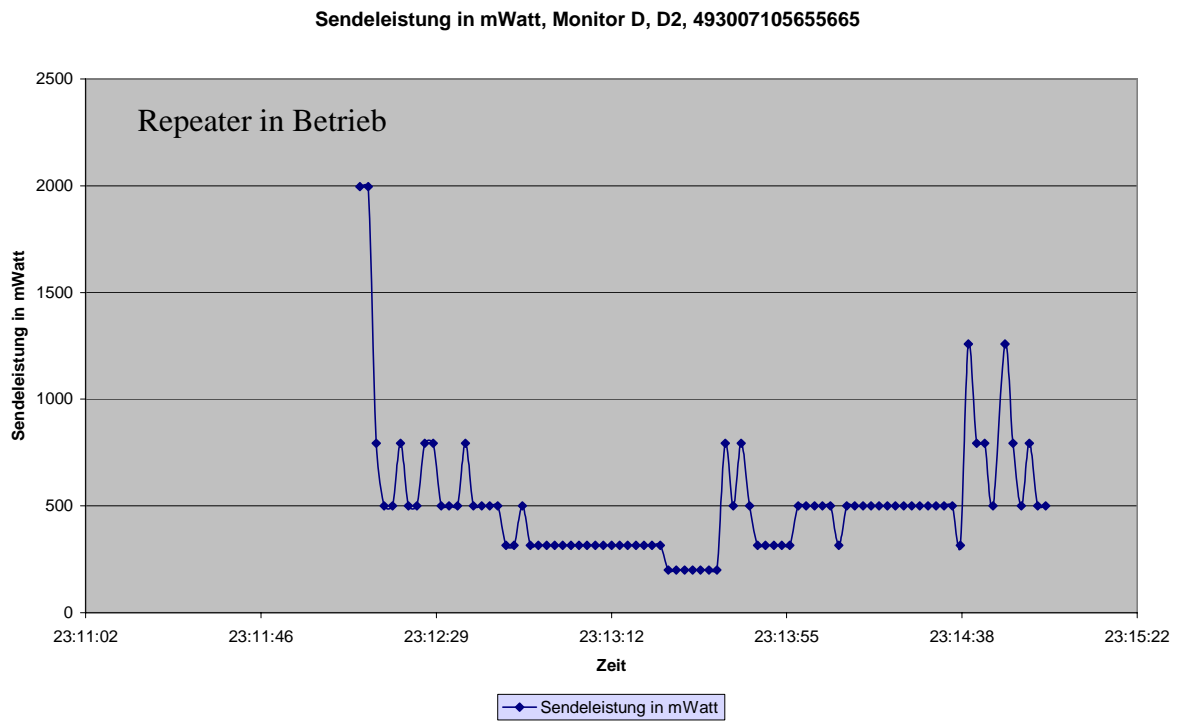


Abbildung 296

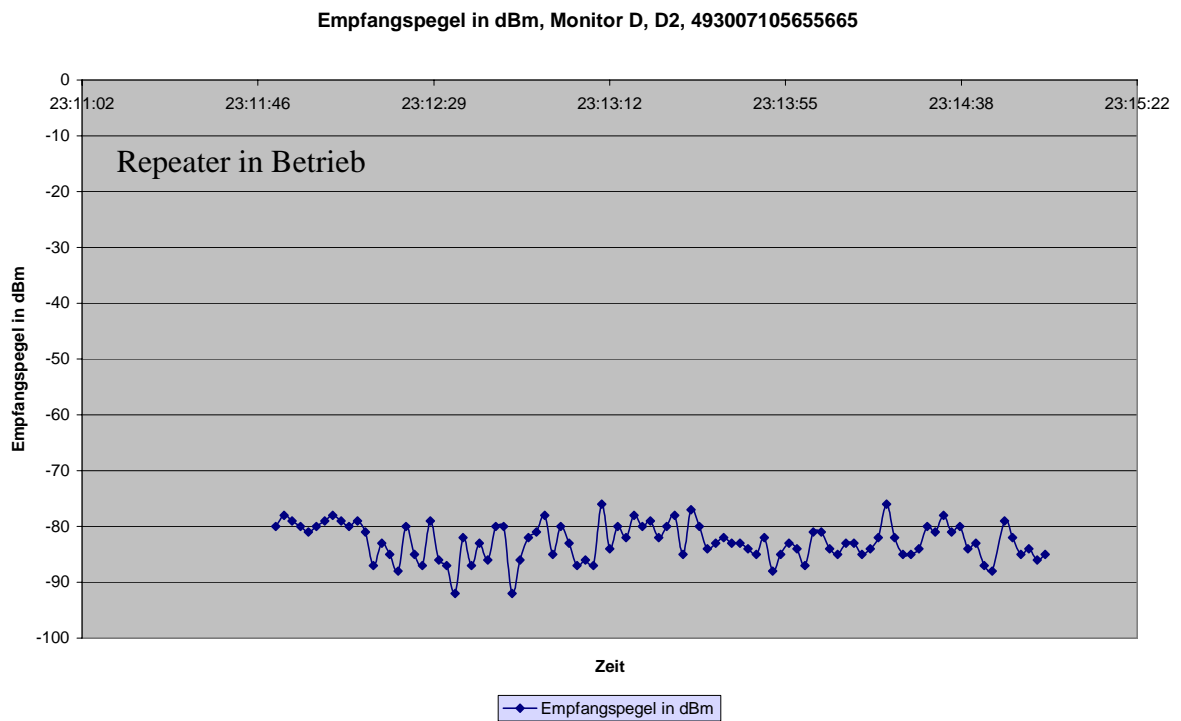


Abbildung 297