

Funkfeldmessung in einem Linienbus

Zusammenfassung

In einem Standard-Linienbus der Stadt München wurde die elektromagnetische Feldbelastung an jedem Sitzplatz gemessen. Feldquellen waren drei handelsübliche GSM-900-Handys, die im vorderen Teil des Busses mit maximaler Sendeleistung betrieben wurden. In unmittelbarer Nähe der drei Feldquellen wurde an einem der vorderen Sitzplätze unter Worst-Case-Bedingungen (Spitzenwert) eine maximale Leistungsflussdichte von 776 mW/m^2 ermittelt. Auf den hinteren Sitzplätzen in 4 m bis 8 m Entfernung zu den Feldquellen fiel die Feldbelastung erwartungsgemäß erheblich kleiner aus, dort wurde – ebenfalls unter Worst-Case-Bedingungen – eine Leistungsflussdichte zwischen 16 mW/m^2 und 70 mW/m^2 ermittelt. Unabhängig von diesen Messungen wurde an unterschiedlichen Stellen im Münchener Stadtgebiet insgesamt 39-mal gültig ermittelt, wie es sich auf die Sendeleistung eines Handys auswirkt, wenn man während eines im Freien begonnenen Telefonats ein öffentliches Verkehrsmittel besteigt und das Gespräch dort fortsetzt. Hierbei ergab sich 1-mal eine Reduzierung der Sendeleistung, 5-mal blieb die Sendeleistung unverändert und 33-mal stieg die Sendeleistung an. Im ungünstigsten Fall stieg die Sendeleistung um das 25fache, im Durchschnitt um das 6fache. Alle Messwerte blieben deutlich unter den gesetzlichen Grenzwerten. Im Vergleich zu Telefonaten im Freien können Telefonate in Fahrzeugen jedoch im Umkreis von mehreren Metern eine erhebliche Mehrbelastung der Buspassagiere bewirken.

Messungen im Bus

Für die spätere Zuordnung der Messergebnisse zu den Sitzplätzen des Busses wurden alle 32 Sitzplätze mit Nummern versehen (Abb. 1).

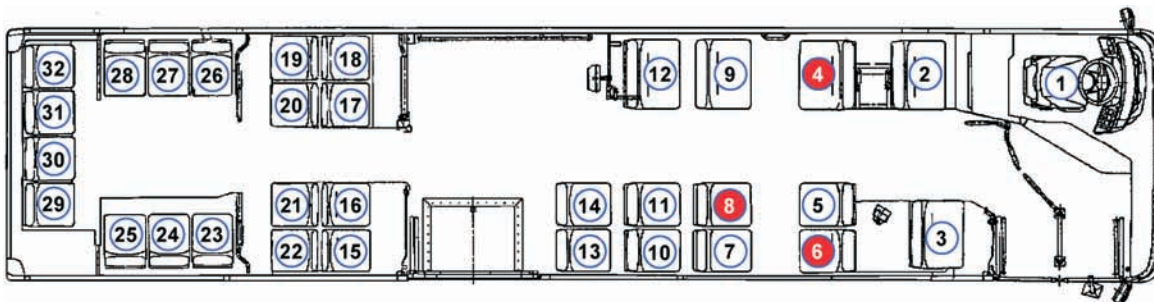
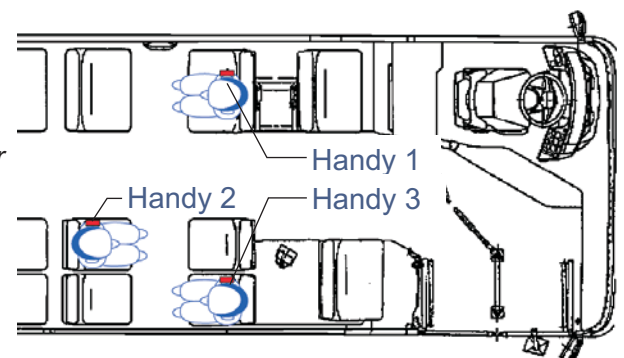


Abb. 1: Nummerierte Bestuhlung des Linienbusses. An den Sitzplätzen 4, 6 und 8 befanden sich die drei Handys.

An den Sitzplätzen 4, 6 und 8 wurden drei handelsübliche Handys der Marke Nokia (siehe Anhang) mit einer nichtmetallischen Hilfskonstruktion (lackiertes Kiefernholz) so in Position gebracht, dass sie sich in Kopfhöhe sitzender Fahrgäste befanden. Alle drei Handys waren während der gesamten Messreihe in der Weise angeordnet, wie es Abb. 2 veranschaulicht. Diese Anordnung ist später, bei der Interpretation der Messresultate von Bedeutung (Richtwirkung der Handy-Antennen).

Abb. 2: Die symbolischen Figuren verdeutlichen die Ausrichtung der Handys.



Um Störungen durch nahegelegene Mobilfunk-Basisstationen zu vermeiden, wurden mit einem Spektrumanalysator am Messort drei freie Kanäle im GSM-900-Band gesucht. Auf diesen Kanälen sendeten während der Messung die Handys und der Spektrumanalysator erfasste frequenzselektiv auf diesen Kanälen die elektrische Feldstärke.

Für die Zuordnung zwischen Handy, Kanalnummer und Sitzplatz galt:

Handy 1	Kanal 5	(891,0 MHz)	Sitzplatz 4
Handy 2	Kanal 70	(904,0 MHz)	Sitzplatz 8
Handy 3	Kanal 122	(914,4 MHz)	Sitzplatz 6

Drei Funkmessplätze des Typs Willtek 4200 wurden zur Simulation realer Mobilfunk-Basisstationen nahe der Handys aufgestellt. Aufgabe dieser Messplätze war es, für definierte Messbedingungen zu sorgen, indem sie die Handys drahtlos (via Antenne) auf den jeweils gewünschten Sprechkanal (TCH) dirigierten (Kanalnummer 5, 70, 122) und zugleich die Handys anwies, den Sendebetrieb mit der Leistungsstufe für höchste Sendeleistung aufzunehmen (Power Level 5 = Nominalwert 2 W). Nach Abschluss der Messreihe wurden die drei Handys in den Entwicklungslabors der Firma Willtek Communications, Ismaning, dahingehend geprüft, welche tatsächliche Sendeleistung sie bei PL = 5 bereitstellen. Diese Prüfung ergab, dass keines der Handys den Nominalwert von 2 W erreichte, sie vielmehr um bis zu rd. 590 mW darunter lagen (siehe Anhang). Die daraus resultierenden geringeren Messwerte gegenüber Handys mit tatsächlich 2 W Sendeleistung wurden weder rechnerisch korrigiert noch anderweitig bei der Interpretation berücksichtigt.

Die isotrope Messsonde des Spektrumanalysators FSH 3 von Rohde & Schwarz wurde während der Messreihe mit einem Klemmstativ am Haltebügel der Sitzplätze in Kopfhöhe befestigt. Der Vorteil dieser Messsonde ist, dass sie drei Antennen für die Achsen x, y, z enthält und deshalb eine Kugelcharakteristik für die in geschlossenen Räumen wichtige Messung der Signalreflexionen aufweist. Von der Messsoftware (RFEX) werden die einzelnen Messwerte pro Achse vektoriell zu einem Summenwert addiert. Da die Messungen auf den drei Achsen nicht gleichzeitig, sondern seriell erfolgen, ist es bei gepulsten Signalen wichtig, mit einer ausreichend langen Verweildauer pro Achse zu messen. Ausreichend lang bedeutet mindestens die Periodendauer der Pulsfrequenz. Dies gewährleistet, dass bei der Messung auf jeder Achse mindestens ein Signalburst gemessen werden kann. Bei zu kurzer Verweildauer wäre nicht auszuschließen, dass während der Messung auf einer Achse ein Burst verfehlt und deshalb das Messresultat verfälscht wird. Bei GSM-Handys beträgt die Periodendauer der Pulsfrequenz 4,6 ms, die auf rd. 550 ms eingestellte Verweildauer war daher bei weitem ausreichend.

Bei Vorversuchen zur eigentlichen Messreihe zeigte sich, dass auch bei unveränderten Umgebungsbedingungen am Messort bei Wiederholungsmessungen eine gewisse Streuung auftrat. Um deren Wirkung statistisch zu minimieren wurden pro Sitzplatz drei aufeinander folgende Messungen durchgeführt und von den Resultaten der arithmetische Mittelwert gebildet.

Während der Messungen hielten sich im Bus vier Personen auf. Drei belegten in den Messphasen die Sitzplätze 2, 3 und 7, die vierte Person (Messtechniker) bediente den Spektrumanalysator und bewegte sich im Verlauf der Messreihe im Bus von vorne nach hinten. Während der Messphasen wurde darauf geachtet, dass sich der Messtechniker nicht auf der Verbindungslinie zwischen den Handys und der Messsonde befand und dass – soweit möglich – gleichbleibende Messbedingungen herrschten (z. B. geschlossene Fahrzeurtüren).

Gemessen wurde an allen Sitzplätzen, ausgenommen die Sitzplätze 4, 6 und 8, weil sich dort die Handys an der Messposition befanden. Alle Messungen wurden frequenzselektiv pro Kanal mit 200 kHz Messbandbreite und mit Peak-Hold ausgeführt. Während jeder Messung sendeten alle Handys gleichzeitig mit Maximalleistung PL = 5. Die Identifikation, welches Handy welche Feldstärke am jeweiligen Sitzplatz zur Folge hatte, war wegen der bekannten Sendefrequenzen der Handys allein schon über die frequenzselektive Messung gegeben (Abb. 3).

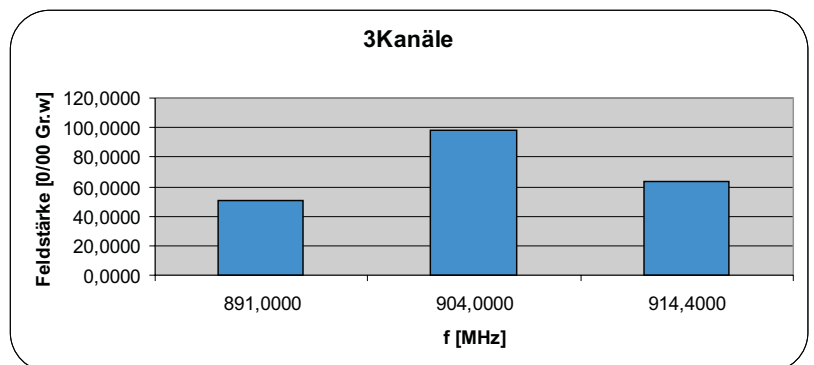


Abb. 3: Die Auswertesoftware RFEX von Rohde & Schwarz zeigt grafisch die an einem Sitzplatz gemessenen Feldstärkewerte in Promille des Grenzwerts, hier gemäß ICNIRP.

Ergebnisse der Messungen im Bus

Eine Tabelle mit allen numerischen Messwerten der drei Messungen pro Sitzplatz und die daraus berechneten arithmetischen Mittelwerte pro Sitzplatz befindet sich im Anhang. Alle folgenden grafischen Auswertungen der Busmessung stützen sich ausschließlich auf die arithmetischen Mittelwerte aus den drei Messungen. Sie dürfen nicht mit den Mittelwerten verwechselt werden, die ein Tastverhältnis von 1:8 berücksichtigen, um dem thermischen Wirkungsmodell gepulster GSM-Signale gerecht zu werden. Diese Form der Mittelung wurde hier *nicht* angewandt, weil eine biologische Relevanz der Spitzenwerte nicht mit absoluter Gewissheit auszuschließen ist. Da sämtliche Originalmessdaten im Anhang nachzulesen sind steht es jedem frei, die Auswertung der Busmessungen auch auf das thermische Wirkungsmodell zu beziehen.

Abb. 4 zeigt für jeden Sitzplatz die dort einwirkende Leistungsflussdichte der drei Handys. Der höchste Wert erreicht am Sitzplatz P07 rd. 556 mW/m^2 , verursacht durch das am Nachbarplatz P08 betriebene Handy 2. Hierzu ist anzumerken, dass dieses Handy auch dasjenige ist, das von den drei Handys bei $PL = 5$ am stärksten strahlte (siehe Anhang). Dies mag erklären, warum Handy 3 auf Platz 06 am Nachbarplatz 05 lediglich mit dem zweithöchsten Wert von 440 mW/m^2 einwirkte, obwohl die anzunehmende Richtwirkung der Handy-Antenne (vom Kopf weg) in diesem Fall den höchsten Wert erwarten ließ.

Abb. 5 zeigt die gleichen Zusammenhänge wie Abb. 4, jedoch für die elektrische Feldstärke. Der in beiden Abbildungen gut zu erkennende Pegelabfall von Platz P014 zu Platz P015 ist durch die breite Stehplatzzone zu erklären, die beide Sitzplätze etwa 2 m voneinander trennt.

Abb. 6 zeigt die resultierende Gesamtbelastung pro Sitzplatz, wenn die Leistungsflussdichten linear addiert (kumuliert) werden. Der Höchstwert an Platz P05 erreicht rd. 776 mW/m^2 .

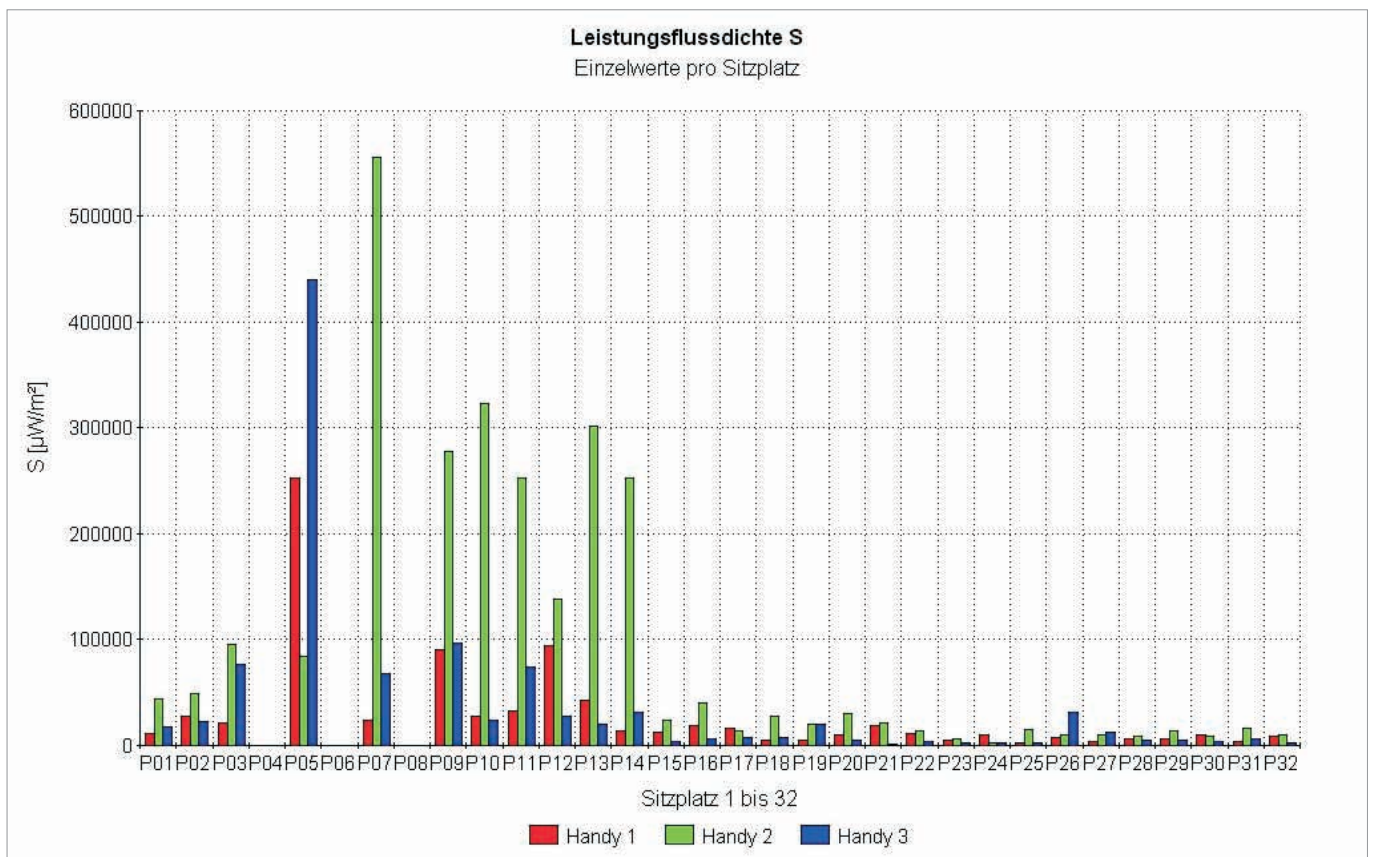


Abb. 4: Exposition S an den Sitzplätzen im Bus, verursacht durch die drei Handys an den Plätzen 4, 6 und 8.

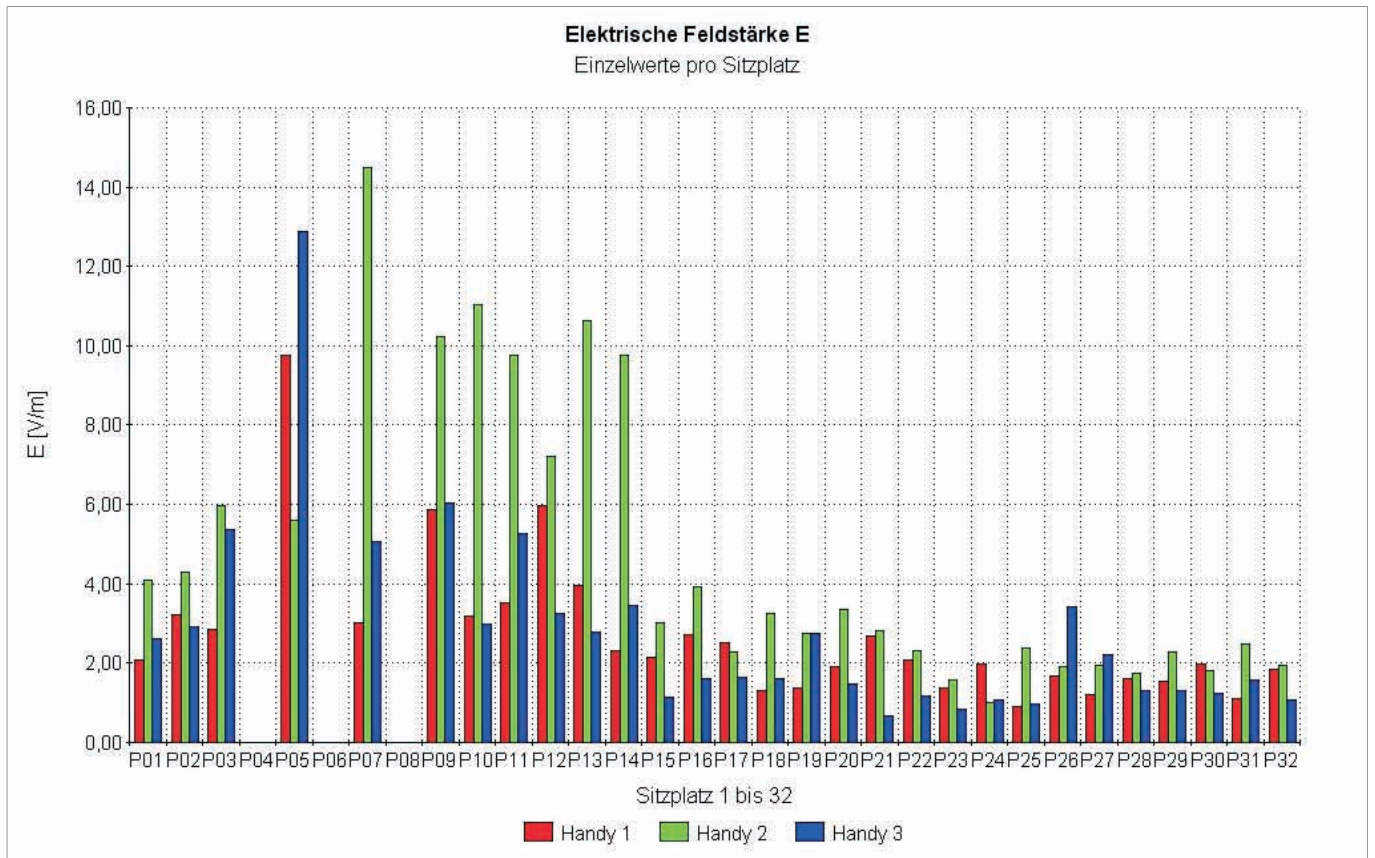


Abb. 5: Exposition E an den Sitzplätzen im Bus, verursacht durch die drei Handys an den Plätzen 4, 6 und 8.

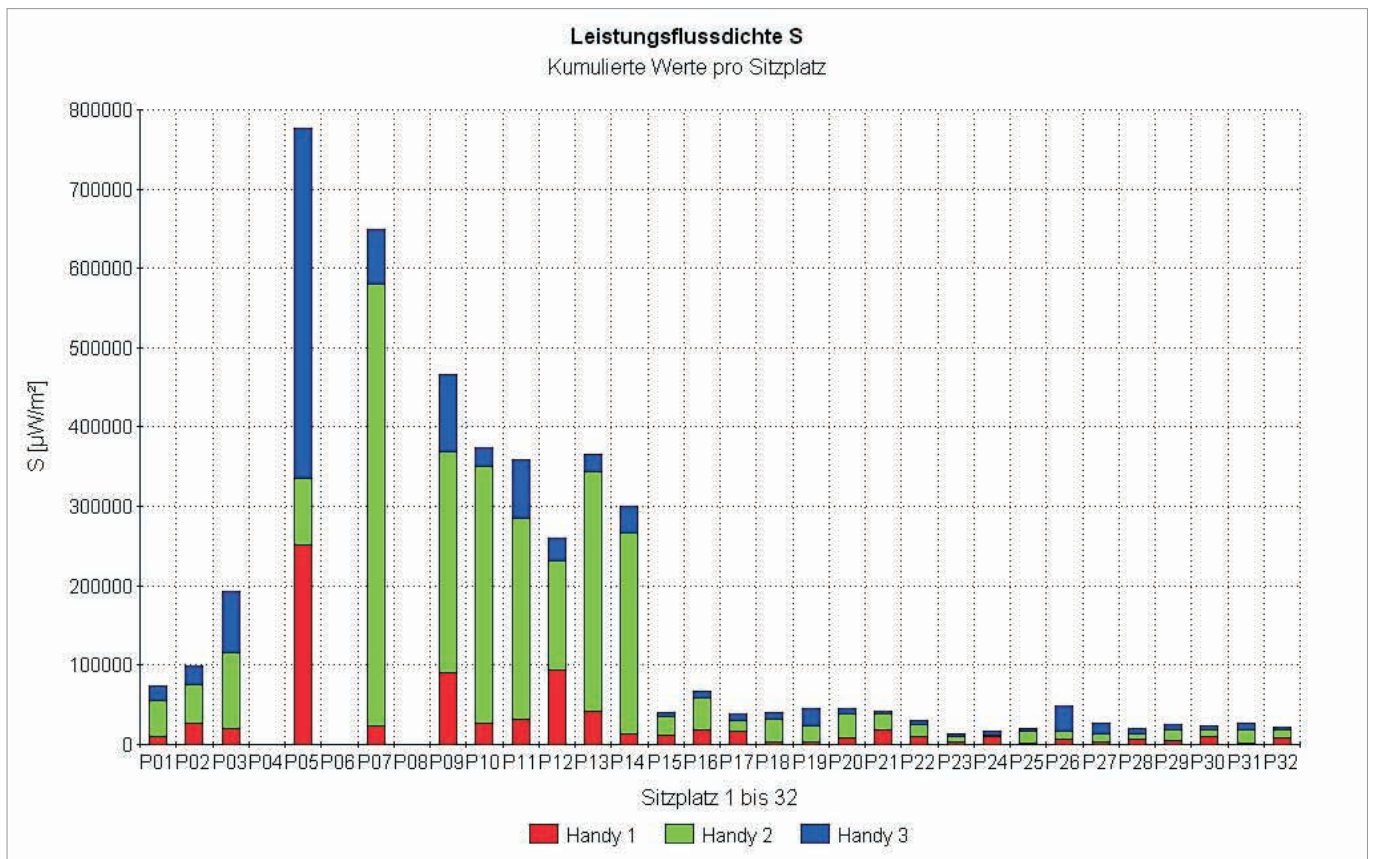


Abb. 6: Bei linearer Kumulation der Werte aus Abb. 4 ergibt sich diese Belastungssituation pro Sitzplatz.

Abb. 7 zeigt das Belastungsprofil der Buspassagiere, indem hier die Plätze nach der Exposition (Leistungsflussdichte) geordnet wurden. In dieser Darstellung wurde als Best-Case-Szenario lediglich die Leistungsflussdichte des pro Platz am stärksten einwirkenden Handys verwendet. Die schwächeren Werte der beiden anderen Handys wurden nicht berücksichtigt. Dies deckt die Situation ab, dass alle drei Handys zu unterschiedlichen Zeitpunkten senden und somit zwar die Expositionsdauer auf das 3-fache ansteigt, eine Kumulation der einzelnen Expositionswerte jedoch nicht stattfindet.

Abb. 8 zeigt ebenso wie Abb. 7 das Belastungsprofil der Buspassagiere, diesmal jedoch wurde als Worst-Case-Szenario die kumulierte Leistungsflussdichte aller drei Handys berücksichtigt. Dies deckt die Situation ab, dass alle drei Handys zum selben Zeitpunkten senden und somit zwar die Expositionsdauer auf den Wert eines einzelnen Handys sinkt, jedoch eine Kumulation der einzelnen Expositionswerte stattfindet.

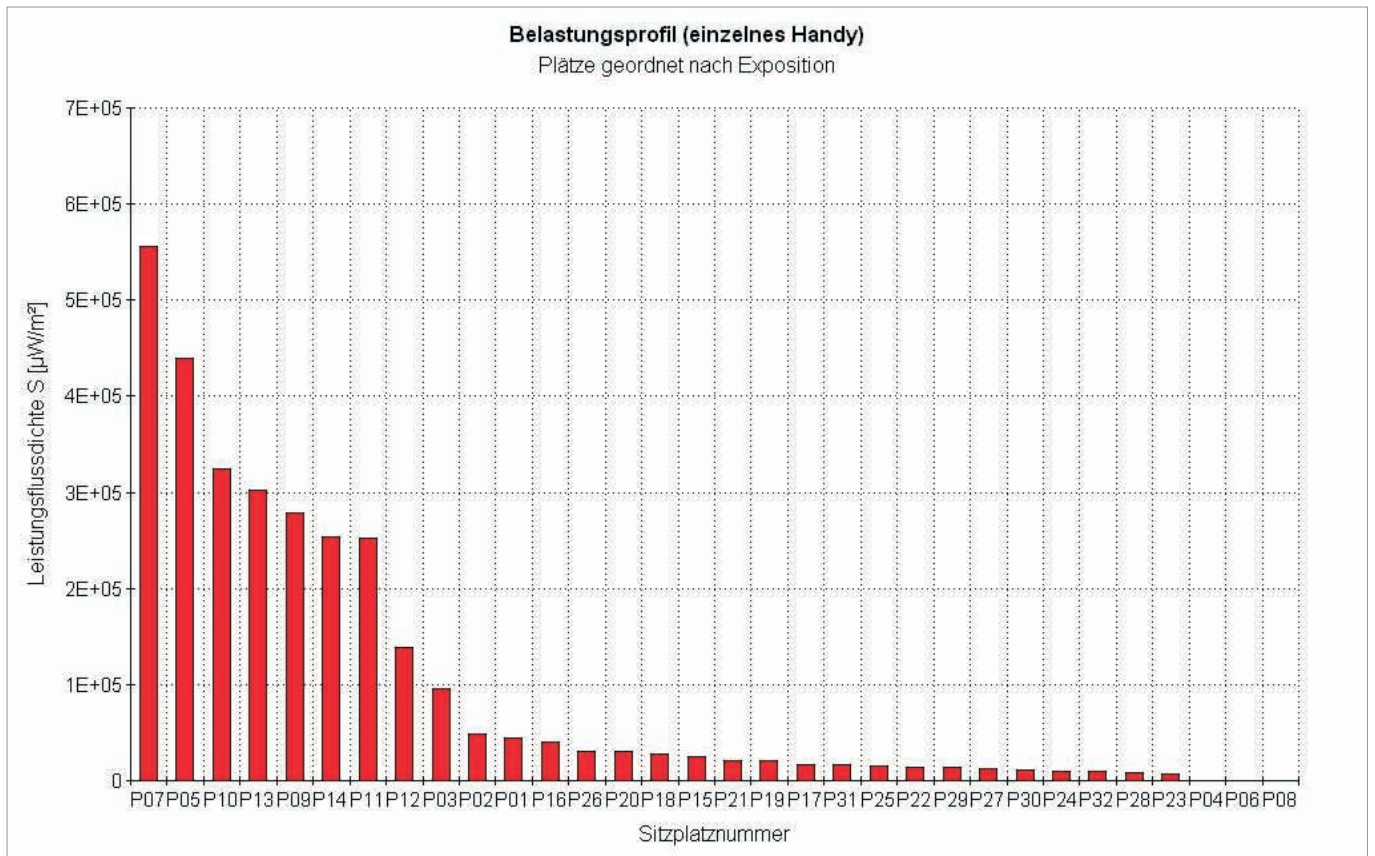


Abb. 7: Strahlungsbelastung der Sitzplätze, geordnet nach Exposition durch das am stärksten einwirkende Handy

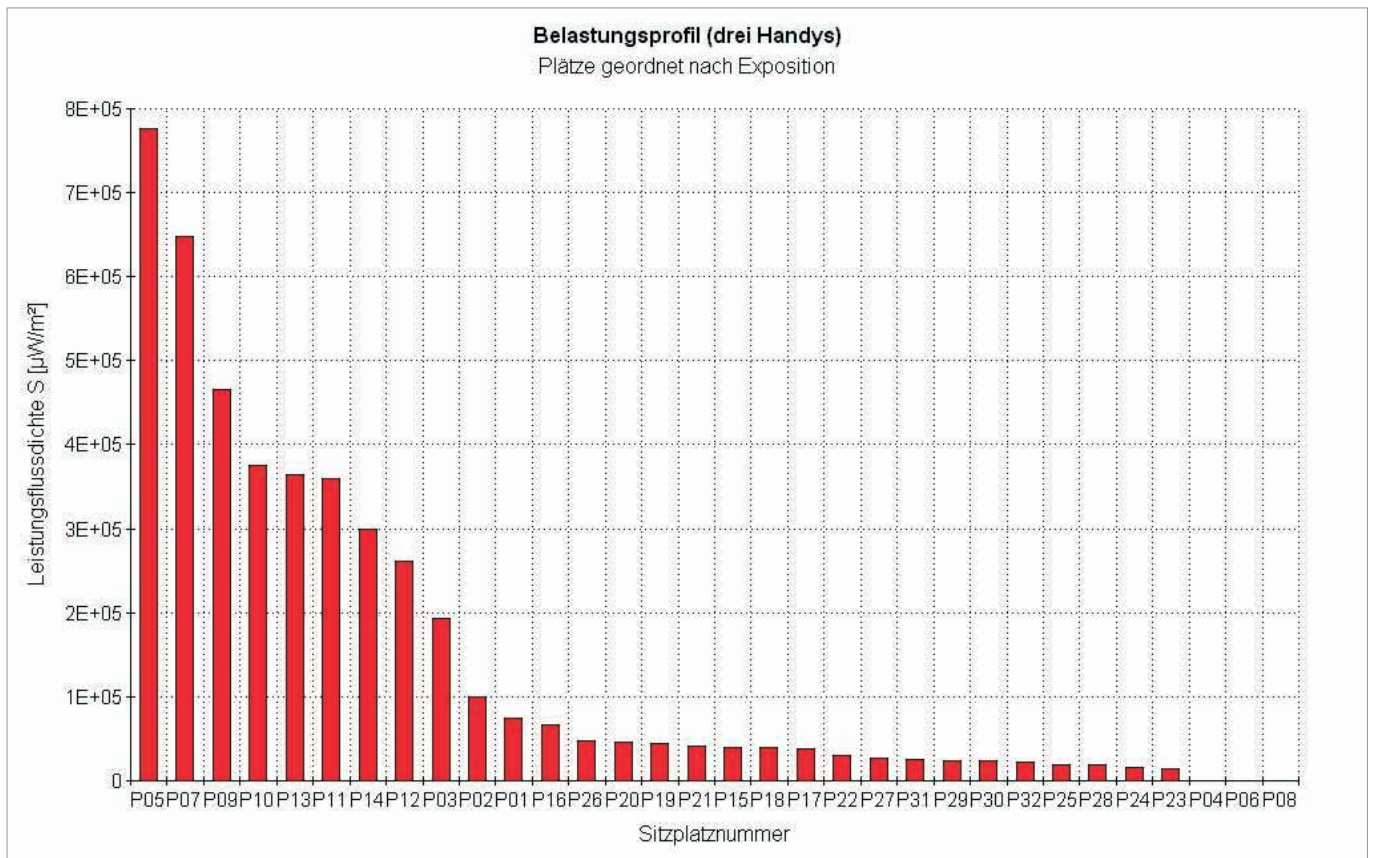


Abb. 8: Strahlungsbelastung der Sitzplätze, geordnet nach Exposition durch alle drei Handys.

Ermittlung der Leistungsstufenvariation

Mit einer zweiten Messreihe wurde die Frage untersucht, inwieweit sich die Sendeleistung eines Handys ändert, wenn ein Gespräch im Freien vor einem Bus begonnen und dann im Bus fortgesetzt wird. Wegen der abschirmenden Eigenschaft der metallischen Fahrgastzelle (faradayscher Käfig) ist die Kenntnis allgemein verbreitet, dass im Fahrzeug mit einer höheren Sendeleistung gerechnet werden muss, konkrete Messwerte (für die Situation in München) sind jedoch nicht bekannt.

Die Sendeleistung eines Handys wird bei einer aufgebauten Verbindung situationsabhängig von der Basisstation geregelt. Gerät das Handy z. B. durch Gebäudeabschattung in eine ungünstige Empfangs- und Sendeposition bekommt das Handy von der Basisstation die Anweisung, die Sendeleistung zu erhöhen. Im umgekehrten Fall kommt es zu einer Reduzierung der Sendeleistung. Damit ist gewährleistet, dass Handys nicht mit unnötig hoher Sendeleistung die Energiereserven des Akkus verschwenden. Die Prüfung und ggf. Anpassung der Handy-Sendeleistung durch die Basisstation geschieht 2-mal pro Sekunde, wobei die Anpassung nicht stufenlos, sondern schrittweise in Form von "Leistungsstufen" (Power Level) erfolgt. Die höchste Sendeleistung von 2000 mW erreicht ein GSM-900-Handy bei Leistungsstufe 5, der schwächsten Sendeleistung von 3,2 mW ist die Leistungsstufe 19 zugeordnet. Kleinere Werte der Leistungsstufe bedeuten demnach eine *höhere* Sendeleistung, was bei den folgenden Abbildungen zu beachten ist. Der Zusammenhang zwischen Leistungsstufen und Sendeleistungen ist im Anhang angegeben.

Bei einigen Handys ist bekannt, wie sich diese in eine besondere Betriebsart, den so genannten Monitormodus versetzen lassen. Im Monitormodus zeigen Handys am Display viele netzinterne Informationen über die momentanen Betriebsparameter einer Verbindung an, z. B. den aktuellen Power Level, den momentan benutzten Kanal, fürs Umbuchen in Frage kommende Nachbarkanäle oder die Cell Identity (typische Kennung) der momentan gültigen Funkzelle.

Für die Ermittlung der Leistungsstufenvariation wurden zwei Handys von Bosch (GSM 909 Dual S) und von Siemens (S4) verwendet. Beide Geräte zeigen im Monitormodus alle für die zweite Messreihe erforderlichen Informationen.

Die Ermittlung der Leistungsstufenvariation lief stets nach dem gleichen Schema ab. Nach Aufsuchen des Messorts (Haltestelle) wurde unmittelbar vor Ankunft des Verkehrsmittels eine Gesprächsverbindung aufgebaut und das Handy in den Monitormodus gebracht. Dann wurde vor und nach dem Besteigen des Verkehrsmittels der jeweils vom Handy gemeldete Power Level (PL) abgelesen. Im Bus wurde der PL-Wert stets bei geschlossenen Türen an der gleichen Stelle ermittelt (in Höhe von Sitzplatz 5, siehe Abb. 1) noch bevor sich das Fahrzeug wieder in Bewegung setzte. Um Messfehler auszuschließen, die auf einer Funkzellen-Umbuchung des Handys zwischen den beiden PL-Wert-Ablesungen zurückzuführen sind, wurden zusätzlich zwei für jede Funkzelle typische Parameter protokolliert (Organisationskanal BCCH und mit Siemens S4 zusätzlich die Cell Identity). Änderten sich die Funkzellenparameter während der PL-Wert-Ablesung, wurde diese Ablesung verworfen, da bei der Umbuchung in eine andere Funkzelle sich der PL-Wert allein schon wegen dieser Umbuchung erheblich verändern kann. Insgesamt wurden auf diese Weise 39 gültige Messungen an zufällig ausgewählten unterschiedlichen Messorten im Münchener Stadtgebiet vorgenommen, drei Messungen wurden wegen einer Funkzellen-Umbuchung in der Messphase verworfen.

Ergebnisse der Leistungsstufenermittlung

Abb. 11 zeigt die unmittelbaren Ergebnisse der Leistungsstufenvariation für jeden Messort. Zu beachten ist bei der Interpretation dieser Grafik, dass PL-Wert und Sendeleistung gegenläufig verlaufen, große PL-Werte also eine geringe Sendeleistung bedeuten und umgekehrt. Weil Abb. 11 eine nur mühevoll Interpretation zulässt, wurden in Abb. 12 die PL-Werte gegen die entsprechenden Leistungswerte laut GSM-Spezifikation ersetzt. Die Grafik zeigt, dass innerhalb des Busses Handys in aller Regel mit deutlich höherer Sendeleistung arbeiten müssen, um die Verbindung zur Basisstation aufrecht zu erhalten. An 33 der 39 Messorte dirigierte die Basisstation das Handy im Bus auf höhere Sendeleistungen, davon siebenmal auf die höchstzulässige Leistung von 2000 mW. Abb. 13 gibt Auskunft, welcher Power Level wie oft ermittelt wurde.

Am Messort 24 wurde im Bus eine um 1 Leistungsstufe geringere Sendeleistung als im Freien registriert. Eine Erklärung für dieses unerwartete Resultat könnten Signalüberlagerungen am Messort sein (Reflexionen). So ist es denkbar, dass die Messung vor dem Bus zufällig in einer Auslöschungszone stattfand, die Messung im Bus dagegen in einer Verstärkungszone. Wegen der geringen Abweichung um nur 1 Leistungsstufe könnten aber ebenso gut Toleranzen in der Signalverarbeitungskette für das Resultat verantwortlich sein.



Abb. 9: Messtechniker Manfred Haider zog mit Spektrumanalysator und isotroper Messantenne (Branchenjargon: Lolly) im Bus von Sitzplatz zu Sitzplatz, um dort die Feldbelastung vor Ort zu messen.



Abb. 10: Im vorderen Teil des Busses waren die Handys untergebracht und die Funkmessplätze, die die drei Handys (hier sind nur zwei zu sehen) in den gewünschten Betriebszustand dirigierten.

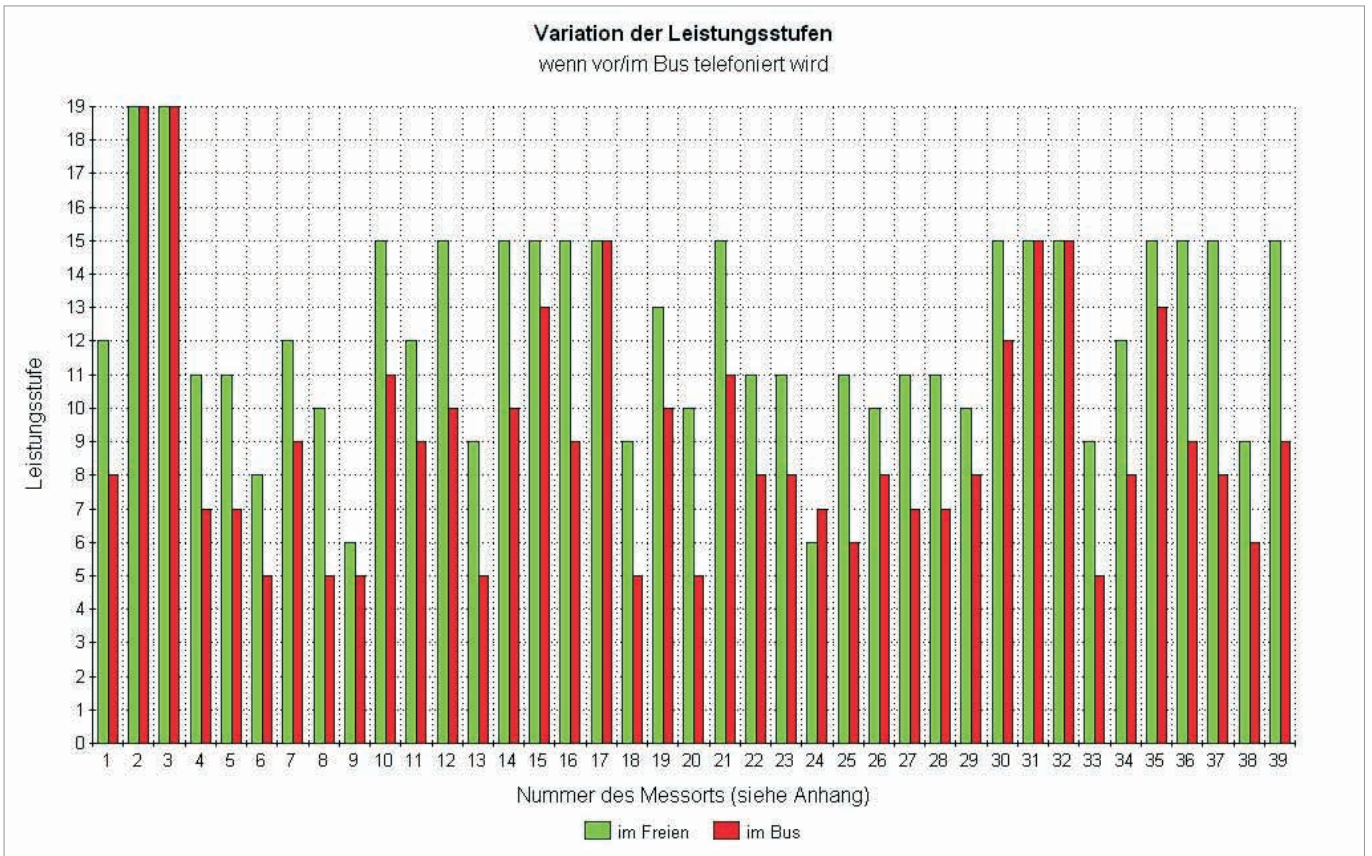


Abb. 11: Variation der Leistungsstufen an 39 Messorten, wenn ein im Freien begonnenes Handygespräch im Bus fortgesetzt wird. Da große Werte der Leistungsstufe eine kleine Sendeleistung bedeuten stehen lange Balken (z. B. Messort 2 und 3) für kleine Sendeleistung, kurze Balken (z. B. Messort 5) für hohe Sendeleistung.

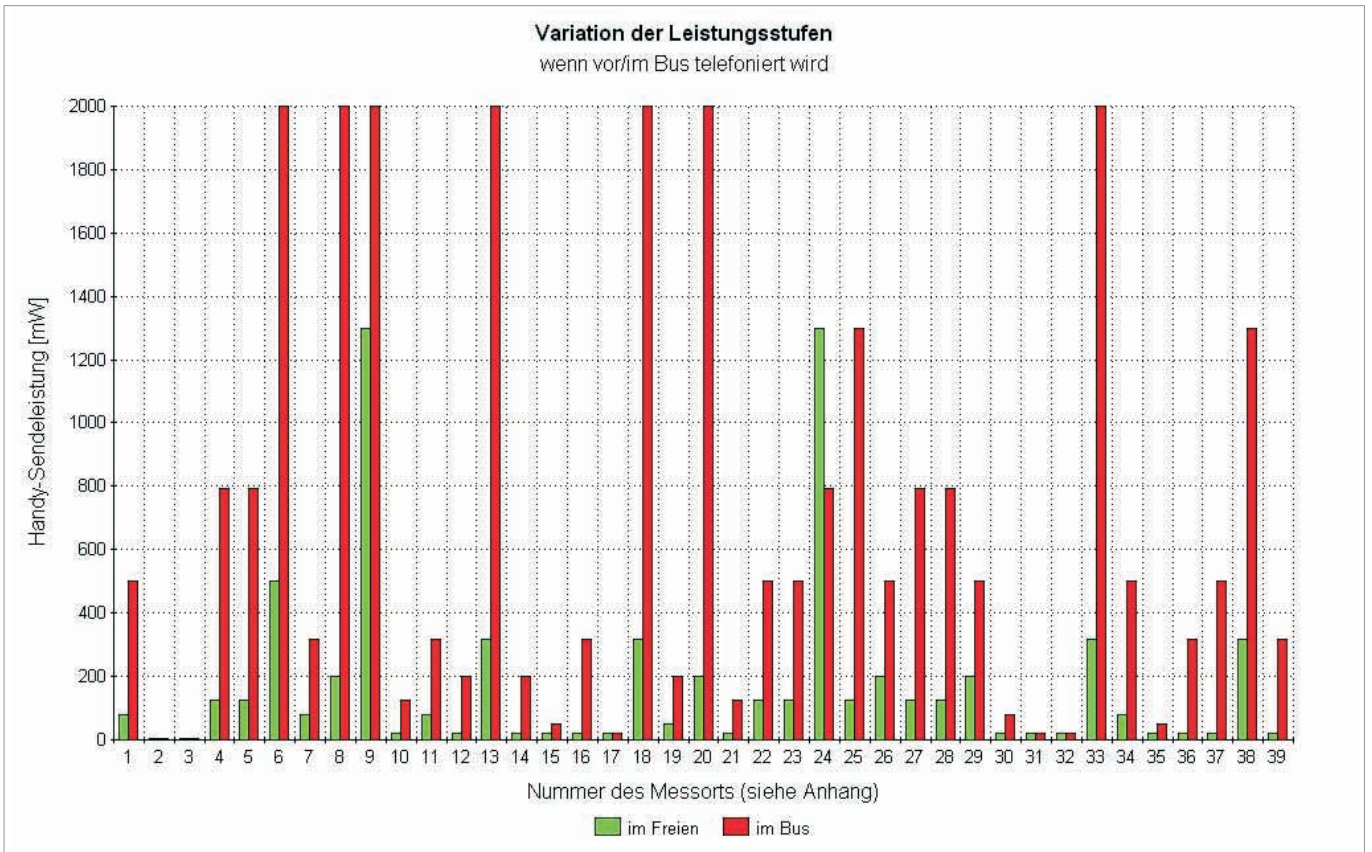


Abb. 12: Wie Abb. 11, jedoch anstelle der PL-Werte die leichter interpretierbare Sendeleistung.

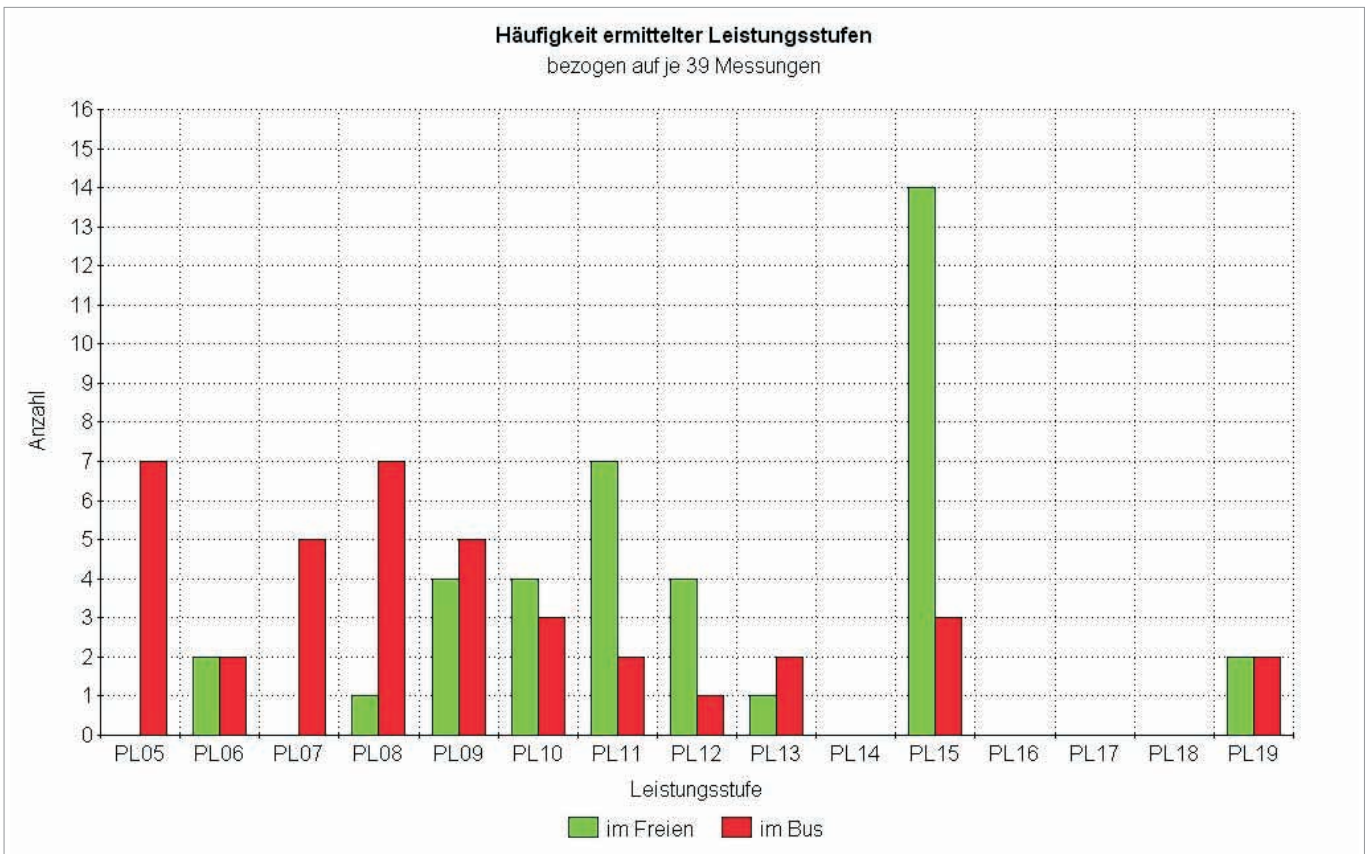


Abb. 13: Diese Grafik zeigt, wie oft im Freien und im Bus welche Leistungsstufe (Power Level PL05 bis PL19) ermittelt wurde. Der Wert PL08 beispielsweise wurde im Freien einmal ermittelt, im Bus siebenmal.

Messung der Feldstärkevariation

Durch die Ermittlung der Leistungsstufenvariation wurde deutlich, dass die niedrige Leistungsstufe 15 im Freien vorherrschend ist und die hohe Leistungsstufe 5 innerhalb von Verkehrsmitteln mit am häufigsten vorkommt (Abb. 13). Aufgabe einer dritten Messreihe war es, die aus diesen beiden Leistungsstufen resultierende Feldbelastungen in unterschiedlichen Abständen zur Feldquelle (Handy) zu messen.

Für diese Messung wurde lediglich ein einziges Handy verwendet (Handy 1), das auf Kanal 5 mit einem 4200-Funkmessplatz dazu stimuliert wurde, im Freien mit Leistungsstufe 15 zu senden (20 mW) im Bus dagegen mit Leistungsstufe 5 (2000 mW). Mit dem Spektrumanalysator FSH 3 wurde in beiden Fällen in definierten Abständen zum Handy (0,6 m, 1,3 m, 3,3 m, 5,3 m, 7,3 m) die elektrische Feldstärke gemessen. Die Abbildungen 14 und 15 zeigen den Messaufbau im Freien und im Bus. Das Handy hatte jeweils eine feste Position (im Bus vorne neben dem Fahrscheinautomaten), bewegt wurden nur Messantenne und Spektrumanalysator in gerader Linie vom Handy weg. Eine Suche der Maxima, die sich im Bus aufgrund von Signalinterferenzen ausbilden können, fand *nicht* statt.

Die Resultate der Messungen im Freien und im Bus werden gemeinsam in Abb. 16 dargestellt. Die Grafik zeigt, dass ein Buspassagier, der sich in 7,3 m Abstand zu einem Handy befindet, einem fast doppelt so starkem Feld ausgesetzt sein kann (1,98 V/m) wie eine Person, die sich im Freien in nur 0,6 m Abstand zu einem Handytelefonierer befindet (1,2 V/m). Diese Aussage beruht allein auf der weit höheren Sendeleistung im Bus, beschreibt jedoch wie zuvor dargelegt ein durchaus realistisches Szenario.

Zu beachten ist, dass auch bei dieser Messreihe keine Mittelung bezogen auf das Tastverhältnis von 1:8 der GSM-Bursts vorgenommen wurde. Dies sollte jedoch bei dieser dritten Messreihe unstrittig sein, da hier nicht die Absolutwerte von Bedeutung sind, sondern eher das Verhältnis der Messwerte im Freifeld zu den Messwerten im Bus.



Abb. 14: Feldstärkemessung im Freien. Das Handy ist in etwa 170 cm Höhe auf der gelb lackierten Haltestange befestigt.



Abb. 15: Feldstärkemessung im Bus (Vorderwagen).

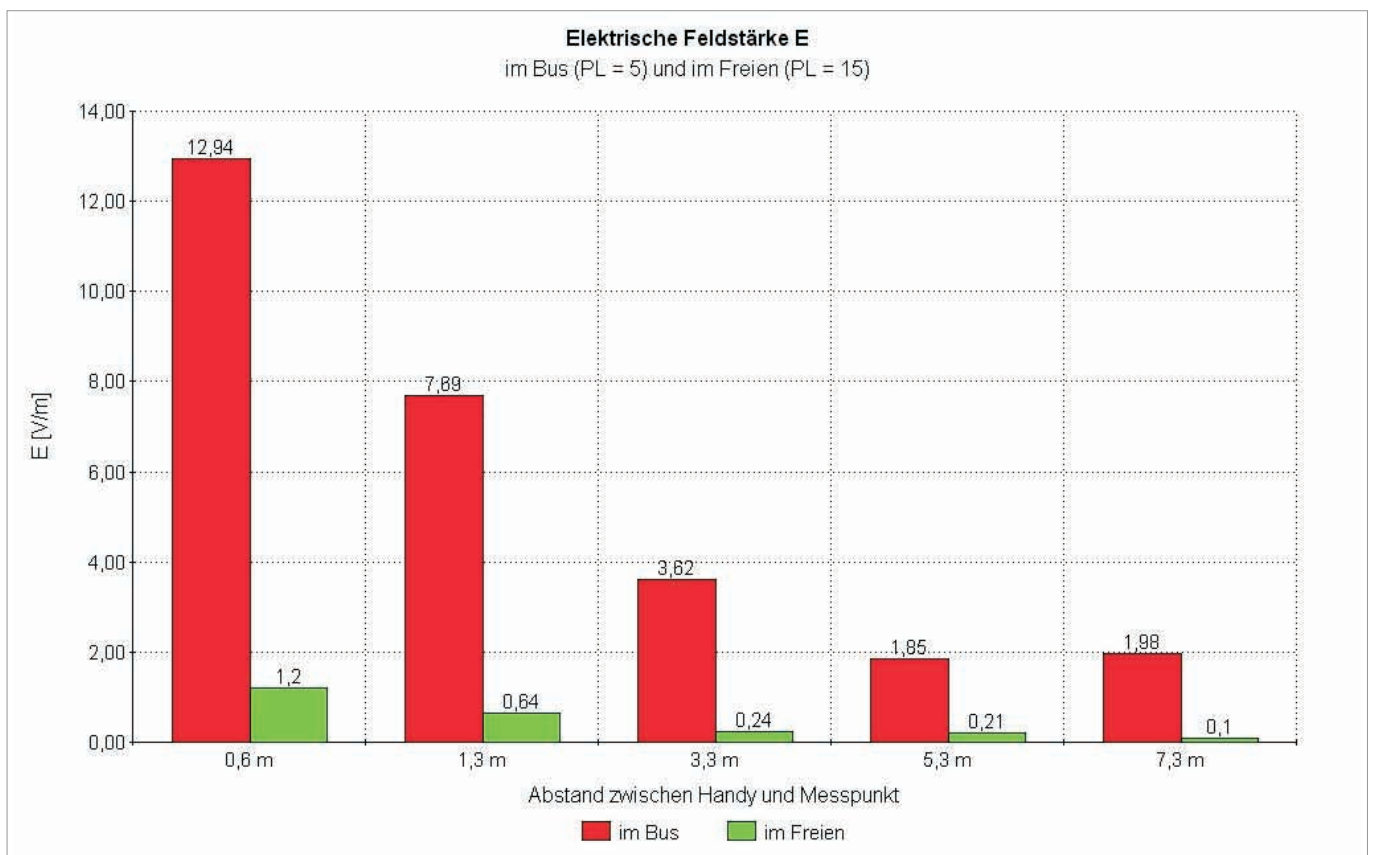


Abb. 16: Resultate der Feldstärkemessungen im Freien und im Bus bei Abständen von 0,6 m bis 7,3 m zum Handy. Bei der Interpretation dieser Grafik muss beachtet werden, dass das Handy im Bus mit erheblich höherer Leistung sendete (PL5) als im Freien (PL15).

Schlussfolgerung

Das Messprojekt macht deutlich, dass Handytelefonate in öffentlichen Verkehrsmitteln sowohl den Telefonierenden als auch unbeteiligte Buspassagiere mit hoher Wahrscheinlichkeit einer höheren Feldbelastung aussetzen als dies bei einem Handytelefonat im Freien der Fall wäre. Bei 39 Stichproben im Münchener Stadtgebiet regelte in 33 Fällen das Handy die Sendeleistung nach oben, sobald der Tester das Verkehrsmittel betrat. 21-mal wurde dabei eine der vier höchsten (von 15) Sendeleistungsstufen erreicht, die höchste Leistungsstufe 5 (2000 mW) konnte im Bus 7-mal beobachtet werden, im Freien kein einziges mal. Wegen der guten Versorgung im Münchener Stadtgebiet stellen Handys im Freien bevorzugt die niedrige Leistungsstufe 15 ein (20 mW). Diese wurde bei den 39 Stichproben mit den verwendeten Testhandys (Siemens S4 und Bosch 909) 14-mal beobachtet, die nächsthäufigere Leistungsstufe 11 (126 mW) wurde bereits nur 7-mal beobachtet. Im Mittel aller 39 Stichproben senden Handys im Bus mit 6-mal höherer Leistung als im Freien.

Feldstärkemessungen in definierten Abständen zu einem sendenden Handy ergaben, dass ein Buspassagier selbst in mehr als 7 m Abstand zu einem Handy immer noch einer knapp doppelt so hohen Feldbelastung ausgesetzt ist wie jemand, der im Freien nur 0,6 m Abstand zu einem sendenden Handy hat. Diese Angaben gelten unter den zuvor genannten Randbedingungen, dass ein Handy im Freien mit der schwachen Leistungsstufe 15 sendet, im Bus dagegen mit der hohen Leistungsstufe 5.

Drei gleichzeitig mit höchster Sendeleistung in einem Bus betriebene Handys führten unter Worst-case-Betrachtung zu einer Spitzenwertbelastung von 776 mW/m^2 . Dies entspricht einer Grenzwertausschöpfung von rd. 17 %. Punktuell dürften in Fahrzeugen aufgrund von Signalreflexionen durchaus noch höhere Werte anzutreffen sein, wenn nach diesen Maxima gesucht wird. Aus Zeitmangel wurde auf diese Suche beim vorliegenden Messprojekt jedoch verzichtet. Dies ist beim Vergleich der Resultate mit einem in Nürnberg durchgeführten Messprojekt (mit Maximasuche) zu beachten. Zu beachten ist bei Fremdinterpretationen auch, dass alle genannten Messwerte Spitzenwerte sind. Eine Mittelung über das GSM-Tastverhältnis 1:8 fand nicht statt.

In Bezug auf die 26. Bundensimmissionsschutzverordnung hat das Messprojekt keine Überschreitung der geltenden gesetzlichen Grenzwerte erbracht. Wegen der zuvor genannten erheblichen Auswirkungen auch auf unbeteiligte Buspassagiere kollidiert die Erlaubnis zum Telefonieren in öffentlichen Verkehrsmitteln jedoch mit einem Minimierungsgebot, so sich einzelne Städte und Gemeinden ein solches im Zuge von Vorsorgemodellen freiwillig auferlegt haben.

Nicht untersucht wurde durch das Messprojekt die Frage, inwieweit Basisstationen ihre Sendeleistung anheben, so wie dies Handys machen, wenn ein Gespräch im Freien begonnen und dann im Fahrzeug fortgesetzt wird. Die aus einer Anhebung resultierende Mehrbelastung der Anwohner von Basisstationen darf in einer Gesamtbilanz nicht fehlen. Unter Mitwirkung der Netzbetreiber (Offenlegung einzelner Verkehrsprotokolle) wäre es sehr wünschenswert, diese interessante Frage durch ein weiterführendes Messprojekt zu klären.

Das vorliegende Messprojekt wurde von allen Beteiligten nach bestem Wissen und Gewissen durchgeführt. Es erhebt jedoch nicht den Anspruch einer wissenschaftlichen Studie, sondern wurde ausschließlich zum Zweck der Informationsgewinnung für die Münchener Verkehrsgesellschaft MVG geplant und realisiert. Ziel war es, die MVG vor der Entscheidung über eine Freigabe des Handytelefonierens in den öffentlichen Verkehrsmitteln mit Messdaten zu versorgen.

München, 18. Juli 2004

Stephan Schall

Informationszentrum gegen Mobilfunk
Zinnienstrasse 12
80939 München
info@izgmf.de

Danksagung

Der Autor dankt allen an dem Messprojekt beteiligten für die unbürokratische, unentgeltliche und vor allem zielführende Unterstützung sowie für die kritischen Anmerkungen in der Planungsphase des Projekts:

Die Firma **EMV vor Ort**, Eggstätt, (Herr Manfred Haider), wickelte mit dem eigenen Spektrumanalysator FSH 3 die aufwendige Messreihe an allen Sitzplätzen des überlassenen Linienbusses ab sowie die Feldstärkemessungen in definierten Abständen zum Handy.

Die Firma **Rohde & Schwarz**, München, (Herr Frank Meyer-Giesow), stellte die isotrope Messantenne für den FSH 3-Spektrumanalysator sowie die PC-Auswertesoftware RFEX.

Die Firma **Willtek Communications**, Ismaning, (Herr Achim Grolman), stellte drei Funkmessplätze vom Typ 4200, drei Handys für die Messungen im Bus sowie einen Mitarbeiter (Herrn Peter Müller) für die Bedienung der Funkmessplätze und Handys.

Das **Umweltinstitut München** e. V., (Herr Hans-Ulrich Raithel), stellte für die Ermittlung der Leistungsstufenvariation ein Bosch-Handy 909 zur Verfügung und ermittelte selbst einige Leistungsstufenpaare.

Die **Münchner Verkehrsgesellschaft MVG**, (Herr Fendt), stellte dem Messprojekt für einen ganzen Tag einen Linienbus zur Verfügung.

Das **Referat für Gesundheit und Umwelt (RGU)** der Stadt München zeigte Interesse an der Verwirklichung des Messprojekts und half bei der Beschaffung des Linienbusses.

Literatur

Wuschek, M., Ergebnisbericht über die Messung elektromagnetischer Felder in der Umgebung von Mobilfunksendeanlagen, 2003, <http://www.umwelt.nuernberg.de/download/info/mobilfunkmessungen2003.pdf>

Bundesamt für Strahlenschutz, Exposition von Personen durch die Nutzung von Mobiltelefonen in Räumen die durch metallische Wände begrenzt sind (z.B. KfZ, Eisenbahnwaggons), 2002, http://www.bfs.de/elektro/papiere/begr_raeume.html

Grolman, A., Handys im Service, Franzis-Verlag, 2003, 183 Seiten, ISBN 3-7723-5896-9

Anhang

Für die Busmessung verwendete Handys

	Modell	IMEI	Kontrollmessung Ausgangsleistung Istwerte	Ausgangsleistung Sollwerte
Handy 1	Nokia 6800	350880100037135	PL5 = 31,98 dBm; PL15 = 12,80 dBm	PL5 = 33 dBm ±3 dBm PL15 = 13 dBm ±3 dBm
Handy 2	Nokia 6210	449214200118749	PL5 = 32,02 dBm; PL15 = 13,66 dBm	
Handy 3	Nokia 7110	493605100416166	PL5 = 31,49 dBm; PL15 = 12,01 dBm	

Angaben zum Linienbus

Kennzeichen: M-VB-4102, Busnummer: 4102, Klimabus, getönte, jedoch lt. Auskunft MVG nicht metallbedampfte Scheiben

Länge: 12 m, Breite 2,47 m, Anzahl Stehplätze: 52, Anzahl Sitzplätze: 32, Gangbreite: etwa 72 cm

Fensterflächen [m x m]: Front 2,47x1,10+Heck 2,47x0,6+Seiten 2x((4x1,40x1,07)+(2x1,40x0,85)+(0,66x0,78))

Glaskennzeichnung: Arva, V-VI TOUGHENED, E17, 43R-00004, [00]

Verwendete Messgeräte

Spektrumanalysator für frequenzselektive Messungen: FSH3 (Rohde & Schwarz) mit kalibrierter isotroper 3-Achsen-Messsonde

Spektrumanalysator zur Ermittlung freier Messkanäle: 9101 (Willtek Communications)

Funkmessplätze zur Stimulation der Handys: 3 x 4200 (Willtek Communications)

Messparameter frequenzselektive Messung

Verweildauer (Messdauer) pro Sondenachse: 5 000 ms

Gemessene Kanäle (Sendefrequenz Handy): 5 = 891MHz, 70 = 904 MHz, 122 = 914,4 MHz

Messbandbreite: 200 kHz

Messung mit aktiviertem Peak-Hold

Angaben zum Messort

Datum der Messung: 25. Mai 2004

Ort: Freifläche am östlichen Rand des Betriebshofes West der Münchener Verkehrsgesellschaft

Temperatur: ca. 20 °C, trocken, Bodenbeschaffenheit: Kopfsteinpflaster

Messwerte (Rohdaten und daraus berechnete Mittelwerte)

	Frequenz [MHz]	Messung 1		Messung 2		Messung 3		Gemittelte Werte aus den drei Messungen	
		Feldstärke E [V/m]	Leistungsdichte S [μ W/m ²]	Feldstärke E [V/m]	Leistungsdichte S [μ W/m ²]	Feldstärke E [V/m]	Leistungsdichte S [μ W/m ²]	Mittelwert E [V/m]	Mittelwert S [μ W/m ²]
Platz 01	891,00	2,0580	1,12E+04	2,0744	1,14E+04	2,1412	1,22E+04	2,09	11600
	904,00	4,0500	4,35E+04	4,0607	4,37E+04	4,1205	4,50E+04	4,08	44067
	914,40	2,6391	1,85E+04	2,6164	1,82E+04	2,6020	1,80E+04	2,62	18233
Platz 02	891,00	3,3182	2,92E+04	3,2307	2,77E+04	3,0889	2,53E+04	3,21	27400
	904,00	4,4010	5,14E+04	4,4035	5,14E+04	4,0780	4,41E+04	4,29	48967
	914,40	3,0106	2,40E+04	2,9451	2,30E+04	2,8409	2,14E+04	2,93	22800
Platz 03	891,00	2,8090	2,09E+04	2,8957	2,22E+04	2,8827	2,20E+04	2,86	21700
	904,00	6,3205	1,06E+05	5,9054	9,25E+04	5,7115	8,65E+04	5,98	95000
	914,40	5,4138	7,77E+04	5,3870	7,70E+04	5,3027	7,46E+04	5,37	76433
Platz 05	891,00	9,6973	2,49E+05	9,6561	2,47E+05	9,9266	2,61E+05	9,76	252333
	904,00	6,3518	1,07E+05	5,1880	7,14E+04	5,2553	7,33E+04	5,60	83900
	914,40	12,5531	4,18E+05	12,9673	4,46E+05	13,1099	4,56E+05	12,88	440000
Platz 07	891,00	3,2163	2,74E+04	2,9978	2,38E+04	2,8187	2,11E+04	3,01	24100
	904,00	14,6369	5,68E+05	14,4029	5,50E+05	14,4129	5,51E+05	14,48	556333

Messwerte (Rohdaten und daraus berechnete Mittelwerte)									
	Messung 1			Messung 2		Messung 3		Gemittelte Werte aus den drei Messungen	
	Frequenz [MHz]	Feldstärke E [V/m]	Leistungs-dichte S [$\mu\text{W}/\text{m}^2$]	Feldstärke E [V/m]	Leistungs-dichte S [$\mu\text{W}/\text{m}^2$]	Feldstärke E [V/m]	Leistungs-dichte S [$\mu\text{W}/\text{m}^2$]	Mittelwert E [V/m]	Mittelwert S [$\mu\text{W}/\text{m}^2$]
	914,40	5,0687	6,81E+04	5,0223	6,69E+04	5,0851	6,86E+04	5,06	67867
Platz 09	891,00	5,9450	9,37E+04	5,7783	8,86E+04	5,8573	9,10E+04	5,86	91100
	904,00	10,2306	2,78E+05	9,7477	2,52E+05	10,7053	3,04E+05	10,23	278000
	914,40	5,9738	9,47E+04	6,0187	9,61E+04	6,1249	9,95E+04	6,04	96767
Platz 10	891,00	3,6312	3,50E+04	2,9724	2,34E+04	2,9826	2,36E+04	3,20	27333
	904,00	10,9888	3,20E+05	11,1532	3,30E+05	10,9926	3,21E+05	11,04	323667
	914,40	3,0123	2,41E+04	2,9444	2,30E+04	3,0175	2,42E+04	2,99	23767
Platz 11	891,00	3,5567	3,36E+04	3,6070	3,45E+04	3,4226	3,11E+04	3,53	33067
	904,00	9,8378	2,57E+05	9,4276	2,36E+05	9,9793	2,64E+05	9,75	252333
	914,40	5,1725	7,10E+04	5,3223	7,51E+04	5,3463	7,58E+04	5,28	73967
Platz 12	891,00	5,9993	9,55E+04	6,0027	9,56E+04	5,9279	9,32E+04	5,98	94767
	904,00	7,5709	1,52E+05	6,9287	1,27E+05	7,1384	1,35E+05	7,21	138000
	914,40	3,1805	2,68E+04	3,3136	2,91E+04	3,2315	2,77E+04	3,24	27867
Platz 13	891,00	4,5295	5,44E+04	3,8958	4,03E+04	3,4962	3,24E+04	3,97	42367
	904,00	9,4287	2,36E+05	11,3006	3,39E+05	11,1751	3,31E+05	10,63	302000
	914,40	2,7441	2,00E+04	2,7638	2,03E+04	2,8405	2,14E+04	2,78	20567
Platz 14	891,00	2,1827	1,26E+04	2,3182	1,43E+04	2,4575	1,60E+04	2,32	14300
	904,00	10,3789	2,86E+05	9,8537	2,58E+05	9,0219	2,16E+05	9,75	253333
	914,40	3,4443	3,15E+04	3,4786	3,21E+04	3,4638	3,18E+04	3,46	31800
Platz 15	891,00	2,0809	1,15E+04	2,1454	1,22E+04	2,1953	1,28E+04	2,14	12167
	904,00	3,0921	2,54E+04	2,9017	2,23E+04	3,0889	2,53E+04	3,03	24333
	914,40	1,1768	3,67E+03	1,0998	3,21E+03	1,1161	3,30E+03	1,13	3393
Platz 16	891,00	2,6182	1,82E+04	2,6776	1,90E+04	2,8233	2,11E+04	2,71	19433
	904,00	4,0309	4,31E+04	3,8927	4,02E+04	3,8446	3,92E+04	3,92	40833
	914,40	1,7201	7,85E+03	1,6269	7,02E+03	1,4740	5,76E+03	1,61	6877
Platz 17	891,00	2,5145	1,68E+04	2,5264	1,69E+04	2,5328	1,70E+04	2,52	16900
	904,00	2,4615	1,61E+04	2,2548	1,35E+04	2,1662	1,24E+04	2,29	14000
	914,40	1,7507	8,13E+03	1,6846	7,53E+03	1,5569	6,43E+03	1,66	7363
Platz 18	891,00	1,2891	4,41E+03	1,3539	4,86E+03	1,2700	4,28E+03	1,30	4517
	904,00	3,2337	2,77E+04	3,1670	2,66E+04	3,3978	3,06E+04	3,27	28300
	914,40	1,5798	6,62E+03	1,5115	6,06E+03	1,7691	8,30E+03	1,62	6993
Platz 19	891,00	1,3172	4,60E+03	1,3916	5,14E+03	1,3909	5,13E+03	1,37	4957
	904,00	2,5728	1,76E+04	3,0779	2,51E+04	2,5757	1,76E+04	2,74	20100
	914,40	2,7990	2,08E+04	2,7243	1,97E+04	2,7252	1,97E+04	2,75	20067
Platz 20	891,00	1,7155	7,81E+03	2,0109	1,07E+04	1,9613	1,02E+04	1,90	9570
	904,00	3,6538	3,54E+04	3,1945	2,71E+04	3,2708	2,84E+04	3,37	30300
	914,40	1,5655	6,50E+03	1,3566	4,88E+03	1,4446	5,54E+03	1,46	5640
Platz 21	891,00	2,6745	1,90E+04	2,7287	1,97E+04	2,6623	1,88E+04	2,69	19167
	904,00	2,6555	1,87E+04	2,8474	2,15E+04	2,9380	2,29E+04	2,81	21033
	914,40	0,6280	1,05E+03	0,7500	1,49E+03	0,6504	1,12E+03	0,68	1220
Platz 22	891,00	2,1286	1,20E+04	2,0725	1,14E+04	2,0687	1,14E+04	2,09	11600
	904,00	2,4423	1,58E+04	2,3049	1,41E+04	2,1770	1,26E+04	2,31	14167
	914,40	1,1070	3,25E+03	1,1357	3,42E+03	1,3086	4,54E+03	1,18	3737
Platz 23	891,00	1,4381	5,49E+03	1,3018	4,50E+03	1,3690	4,97E+03	1,37	4987
	904,00	1,9002	9,58E+03	1,5529	6,40E+03	1,2347	4,04E+03	1,56	6673
	914,40	0,8088	1,74E+03	0,8366	1,86E+03	0,9163	2,23E+03	0,85	1943
Platz 24	891,00	2,0678	1,13E+04	1,9425	1,00E+04	1,9253	9,83E+03	1,98	10377

Messwerte (Rohdaten und daraus berechnete Mittelwerte)									
	Frequenz [MHz]	Messung 1		Messung 2		Messung 3		Gemittelte Werte aus den drei Messungen	
		Feldstärke E [V/m]	Leistungs-dichte S [$\mu\text{W}/\text{m}^2$]	Feldstärke E [V/m]	Leistungs-dichte S [$\mu\text{W}/\text{m}^2$]	Feldstärke E [V/m]	Leistungs-dichte S [$\mu\text{W}/\text{m}^2$]	Mittelwert E [V/m]	Mittelwert S [$\mu\text{W}/\text{m}^2$]
	904,00	1,0020	2,66E+03	1,1083	3,26E+03	0,9536	2,41E+03	1,02	2777
	914,40	1,1280	3,37E+03	1,0471	2,91E+03	1,0689	3,03E+03	1,08	3103
Platz 25	891,00	0,9463	2,38E+03	0,9484	2,39E+03	0,8623	1,97E+03	0,92	2247
	904,00	2,2151	1,30E+04	2,4342	1,57E+04	2,4675	1,61E+04	2,37	14933
	914,40	1,0515	2,93E+03	0,9381	2,33E+03	0,9607	2,45E+03	0,98	2570
Platz 26	891,00	1,5955	6,75E+03	1,7673	8,28E+03	1,6798	7,48E+03	1,68	7503
	904,00	1,8285	8,87E+03	1,9546	1,01E+04	1,9736	1,03E+04	1,92	9757
	914,40	3,3853	3,04E+04	3,3147	2,91E+04	3,5339	3,31E+04	3,41	30867
Platz 27	891,00	1,1908	3,76E+03	1,2862	4,39E+03	1,1537	3,53E+03	1,21	3893
	904,00	1,7918	8,52E+03	1,9266	9,85E+03	2,1434	1,22E+04	1,95	10190
	914,40	2,1981	1,28E+04	2,2748	1,37E+04	2,1441	1,22E+04	2,21	12900
Platz 28	891,00	1,5499	6,37E+03	1,6036	6,82E+03	1,6381	7,12E+03	1,60	6770
	904,00	1,8423	9,00E+03	1,7752	8,36E+03	1,6732	7,43E+03	1,76	8263
	914,40	1,3357	4,73E+03	1,2201	3,95E+03	1,3377	4,75E+03	1,30	4477
Platz 29	891,00	1,4755	5,78E+03	1,5565	6,43E+03	1,5520	6,39E+03	1,53	6200
	904,00	2,4191	1,55E+04	2,1868	1,27E+04	2,2133	1,30E+04	2,27	13733
	914,40	1,2570	4,19E+03	1,3081	4,54E+03	1,3677	4,96E+03	1,31	4563
Platz 30	891,00	1,9182	9,76E+03	2,0651	1,13E+04	1,9582	1,02E+04	1,98	10420
	904,00	1,7675	8,29E+03	1,8270	8,85E+03	1,8804	9,38E+03	1,82	8840
	914,40	1,1466	3,49E+03	1,2487	4,14E+03	1,3250	4,66E+03	1,24	4097
Platz 31	891,00	1,1694	3,63E+03	1,1404	3,45E+03	1,0423	2,88E+03	1,12	3320
	904,00	2,6635	1,88E+04	2,4912	1,65E+04	2,2600	1,35E+04	2,47	16267
	914,40	1,6357	7,10E+03	1,5838	6,65E+03	1,4625	5,67E+03	1,56	6473
Platz 32	891,00	1,8097	8,69E+03	1,8694	9,27E+03	1,8882	9,46E+03	1,86	9140
	904,00	1,8222	8,81E+03	2,0188	1,08E+04	1,9521	1,01E+04	1,93	9903
	914,40	1,1178	3,31E+03	1,0729	3,05E+03	1,0678	3,02E+03	1,09	3127

Leistungsstufenvariation, ermittelt an 39 Messorten in München												
Nr.	Datum	Handy	Haltestelle	Uhrzeit	Linie	CH	CI	PL (außen)	PL in mW	PL (innen)	PL in mW	Faktor (außen/innen)
1	18.4.2004	909	Rosenheimer Platz	11:05	S-Ersatz	89		12	79	8	501	6,34
2	18.4.2004	909	Ostbahnhof	11:08	S-Ersatz	15		19	3,2	19	3,2	1,00
3	18.4.2004	909	Ostbahnhof	11:14	56	86		19	3,2	19	3,2	1,00
4	18.4.2004	909	Schweigerstr.	11:20	56	24		11	126	7	794	6,30
5	18.4.2004	909	Schweigerstr.	11:23	56	32		11	126	7	794	6,30
6	18.4.2004	909	Gebtsattelstr.	11:39	56	18		8	501	5	2000	3,99
7	18.4.2004	909	Schweigerstr.	11:41	56	24		12	79	9	316	4,00
8	18.4.2004	909	Schweigerstr.	11:43	56	24		10	200	5	2000	10,00
9	18.4.2004	909	Gebtsattelstr.	11:45	56	32		6	1300	5	2000	1,54
10	18.4.2004	909	Gebtsattelstr.	11:47	Tram 25	16		15	20	11	126	6,30
11	18.4.2004	909	Rosenheimer Platz	11:49	Tram 25	89		12	79	9	316	4,00
12	15.5.2004	S4	Freimann U-Bahnhof	14:20	U6	00	7222	15	20	10	200	10,00
13	15.5.2004	S4	Kiefergarten	14:35	Bus 84	90	FF6C	9	316	5	2000	6,33
14	15.5.2004	S4	Bernsteinweg	15:20	Bus 84	90	FF6C	15	20	10	200	10,00
15	15.5.2004	S4	Werner Eckbogen	15:39	Bus 85	46	A81F	15	20	13	50	2,50
16	15.5.2004	S4	Heidemannstraße	16:03	Bus 85	83	8055	15	20	9	316	15,80
17	15.5.2004	S4	Gundelkoflerstraße	16:14	Bus 85	94	805D	15	20	15	20	1,00
18	15.5.2004	S4	Domagkstraße	16:25	Bus 185	34	7FCA	9	316	5	2000	6,33
19	15.5.2004	S4	Schenkendorfstraße Nord	16:37	Bus 85	36	721A	13	50	10	200	4,00
20	15.5.2004	S4	Domagkstraße	16:46	Bus 43	34	7FCA	10	200	5	2000	10,00
21	15.5.2004	S4	Ungererstraße	17:00	Bus 43	94	8063	15	20	11	126	6,30
22	15.5.2004	S4	Studentenstadt	17:28	Bus 293	00	DCA4	11	126	8	501	3,98
23	16.5.2004	S4	Abstraße	09:54	Bus 43	35	77F5	11	126	8	501	3,98
24	16.5.2004	S4	Korbinianplatz	10:07	Bus 43	48	E039	6	1300	7	794	0,61
25	16.5.2004	S4	Olympiapark	10:26	Bus 41	00	657C	11	126	6	1300	10,32
26	16.5.2004	S4	Gärtnersstraße	10:45	Bus 41	00	6E14	10	200	8	501	2,51
27	16.5.2004	S4	Olympiazentrum	10:55	Bus 41	00	86F9	11	126	7	794	6,30
28	16.5.2004	S4	Meggendorferstraße	11:10	Bus 41	00	DD0A	11	126	7	794	6,30
29	16.5.2004	S4	Bingener Straße	11:28	Bus 36	00	DD0A	10	200	8	501	2,51
30	16.5.2004	S4	Ehrenbreiteiner Straße	11:42	Bus 36	00	D4F9	15	20	12	79	3,95
31	16.5.2004	S4	Lerchenauer Straße	11:52	Bus 43	00	65E0	15	20	15	20	1,00
32	16.5.2004	S4	Heidemannstraße	14:50	Bus 84	18	8054	15	20	15	20	1,00
33	16.5.2004	S4	Rose Pichler Straße	15:04	Bus 84	00	4F9C	9	316	5	2000	6,33
34	16.5.2004	S4	Harthof	15:18	Bus 84	34	1686	12	79	8	501	6,34
35	16.5.2004	S4	Hasenberlstraße	15:35	Bus 84	27	1689	15	20	13	50	2,50
36	16.5.2004	S4	Feldmochinger Anger	15:42	Bus 86	30	DD72	15	20	9	316	15,80
37	16.5.2004	S4	Feldmochinger Bahn	15:53	Bus 182	14	DD77	15	20	8	501	25,05
38	16.5.2004	S4	Grashoferstraße	16:07	Bus 182	41	640D	9	316	6	1300	4,11
39	16.5.2004	S4	Heidemannstraße	16:45	Bus 84	00	8054	15	20	9	316	15,80

Hinweise: CH = während der Messung beobachteter Kanal; CI = Cell Identity der Funkzelle; PL = Power Level (Leistungsstufe) des Handys