
Abschlussbericht

„Immissionsmessungen an WLAN-Szenarien“

erstellt für das
Informationszentrum Mobilfunk e.V.

23. Juni 2005

Projektleitung beim Auftragnehmer

Dr. Christian Bornkessel
Institut für Mobil- und Satellitenfunktechnik (IMST) GmbH
Abteilung Prüfzentrum
Carl-Friedrich-Gauß-Straße 2
47475 Kamp-Lintfort
Tel: 02842/981-383
Fax: 02842/981-399
E-Mail: bornkessel@imst.de

Prof. Dr. Matthias Wuschek
EM-Institut GmbH
Carlstraße 5
93049 Regensburg
Tel.: 0941/298365-0
Fax: 0941/298365-2
E-Mail: matthias.wuschek@em-institut.de

Autoren

Dr. Christian Bornkessel, IMST GmbH
Prof. Dr. Matthias Wuschek, EM-Institut GmbH

Projektleitung beim Auftraggeber

Ulf Stüwe
Informationszentrum Mobilfunk e.V.
Hegelplatz 1
10117 Berlin-Mitte
Tel.: 030/2091698-22
Fax: 030/2091698-11
E-Mail: ulf.stuewe@izmf.de

Kurzfassung

Dieser Bericht dokumentiert Messungen von WLAN-Immissionen an insgesamt 123 Messpunkten in drei unterschiedlichen Szenarien

- Typische Arbeitsplatzumgebung, wobei primär die Immission durch den Access-Point betrachtet wird,
- Typische Arbeitsplatzumgebung, wobei primär die Immission durch das WLAN-Endgerät betrachtet wird,
- Lounge, bei der eine Immission sowohl durch Access-Points, als auch durch Endgeräte erfolgt.

Durch die Messpunktanzahl sowie eine Vielzahl von untersuchten Access-Points, Endgeräten und Umgebungsbedingungen erhält man eine gute Übersicht der Immissionen, die bei typischer WLAN-Szenarien auftreten.

Erwartungsgemäß sind die Immissionen direkt an der Feldquelle am höchsten; der Maximalwert der vorliegenden Messreihen beträgt $0,12 \text{ W/m}^2$. Die Immissionen fallen bei wachsendem Abstand sehr schnell ab; in 5 m Entfernung wurden Immissionen zwischen $0,000001$ und $0,0005 \text{ W/m}^2$ gemessen. Die Abnahme der Immission mit der Entfernung kann im Einzelfall punktuell durch Interferenzen oder veränderte Sichtbedingungen gestört sein, bleibt aber auch dort bei Berücksichtigung benachbarter Messpunkte in der Tendenz erhalten. Eine einfache Formel für die Entfernungsabhängigkeit kann also nicht angegeben werden, da die Spannweite zwischen den einzelnen Messwerten bei gleichem Abstand mit mehr als 20 dB zu groß ist.

Aufgrund dieser Entfernungsabhängigkeit lässt sich ableiten, dass für typische Aufenthaltsorte von Personen in Bereichen, die für WLAN-Betrieb ausgerüstet sind, die individuelle Exposition primär durch das Endgerät (z.B. Notebook, PDA) bestimmt wird und die Immission durch den Access-Point oft nur eine untergeordnete Rolle spielt.

Für WLAN-Immissionen sind die Grenzwerte der EU-Ratsempfehlung 99/519/EG relevant, die im hier betrachteten Frequenzbereich (2400 - 2483,5 MHz) den Grenzwerten der 26. BImSchV entsprechen. An allen Messpunkten wurden die Grenzwerte zum Schutz der Allgemeinbevölkerung weit unterschritten. Der Messpunkt mit der höchsten Immission (direkt an einem WLAN-Notebook) schöpft die Grenzwerte zu etwa 1,2 % (bezogen auf die Leistungsflussdichte) aus. An mehr als 98 % der Messpunkte beträgt die Grenzwertausschöpfung weniger als 0,1 %.

Für die Messungen wurde ein Messverfahren entwickelt, das auf den spezifischen Signalstrukturen von WLAN basiert. Das Messverfahren ermöglicht eine schnelle, praktikable und genaue messtechnische Erfassung von WLAN-Immissionen bei normativ vorgegebener Maximalauslastung der Systeme. Es sei hier darauf hingewiesen, dass es sich bei den dokumentierten Werten um die maximalen Immissionswerte der Access-Points bzw. Endgeräte bei höchster Anlagenauslastung handelt. Im realen Betrieb werden sich deutlich niedrigere Immissionen ergeben. Wird z.B. gar kein Datenverkehr von den Access-Points abgewickelt, reduzieren sich die Immissionswerte durch diese um etwa den Faktor 360 gegenüber dem Maximalwert.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	3
1 Einleitung	5
1.1 Zielsetzung des Projekts	5
1.2 Aufbau des Berichtes.....	5
2 Signalstrukturen bei WLAN	6
3 Messverfahren	8
4 Grenzwerte	11
5 Messergebnisse	13
5.1 Immission durch Access-Points	13
5.1.1 <i>Vorgehensweise</i>	13
5.1.2 <i>Administrative Angaben</i>	13
5.1.3 <i>Beschreibung der Messpunkte</i>	16
5.1.4 <i>Messergebnisse und Grenzwertvergleich</i>	19
5.1.5 <i>Auswertung</i>	22
5.2 Immission durch Endgeräte	24
5.2.1 <i>Vorgehensweise und Anordnung der Messpunkte</i>	24
5.2.2 <i>Administrative Angaben</i>	25
5.2.3 <i>Messergebnisse und Grenzwertvergleich</i>	25
5.2.4 <i>Auswertung</i>	27
5.3 Immission in einer gemischten Umgebung (Lounge)	27
5.3.1 <i>Vorgehensweise</i>	27
5.3.2 <i>Administrative Angaben</i>	27
5.3.3 <i>Beschreibung der Messpunkte</i>	28
5.3.4 <i>Messergebnisse und Grenzwertvergleich</i>	30
5.3.5 <i>Auswertung</i>	31
6 Auswertung und Schlussfolgerungen	32
Literaturverzeichnis	34

1 Einleitung

1.1 Zielsetzung des Projekts

In jüngster Zeit ist der vermehrte Aufbau drahtloser Zugangsstellen für Internetdienste, so genannter WLAN-Access-Points, zu beobachten. Netze von WLAN-Sendeanlagen existieren sowohl in öffentlich zugänglichen Bereichen wie Cafes (z.B. Kette Starbucks), Flughafengebäuden, Bahnhöfen und Messegeländen, aber auch in Bereichen mit beschränktem Zugang wie Firmen und Bildungseinrichtungen (Schulen, Hochschulen und Universitäten).

Wenngleich die abgestrahlte Leistung der einzelnen stationären WLAN-Access-Points und der mobilen Endgeräte der Nutzer relativ gering ist, hat deren Installation eine öffentliche Diskussion bezüglich der elektromagnetischen Immissionen dieser Technik ausgelöst. Ein Grund hierfür ist, dass sich die Drahtlosnetzwerke nicht nur auf häusliche Anwendungen beschränken, sondern zunehmend auch in öffentlich zugängliche Bereiche vordringen, d.h. hier im Sinne einschlägiger Regularien eine Exposition von „nicht kontrollierten Aufenthaltsbereichen von Personen“ vorliegt. Für den WLAN-Nutzer an sich ist darüber hinaus die Körpernähe der Sendeeinrichtung (z.B. Notebook mit WLAN-Karte) maßgeblich, da hier in der Regel kein Abstand von mehreren Metern zur Strahlungsquelle besteht, sondern das Notebook z.B. direkt auf dem Bürotisch oder sogar auf dem Schoß betrieben wird.

Als Reaktion auf die öffentliche Diskussion bezüglich elektromagnetischer Immissionen von WLAN-Einrichtungen hat sich das Informationszentrum Mobilfunk e.V. entschieden, Messungen der Immissionen in verschiedenen WLAN-Szenarien durchführen zu lassen. Die dabei gewonnenen Messergebnisse sollen mit Grenzwerten zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischer Strahlung verglichen werden.

1.2 Aufbau des Berichtes

Die Aufgabenstellung der messtechnischen Erfassung von WLAN-Immissionen ist sehr anspruchsvoll; entsprechende etablierte Messverfahren existieren derzeit nicht oder nur ansatzweise. Deswegen wird, aufbauend auf den relevanten Signalstrukturen der WLAN-Funkkommunikation, ein geeignetes Messverfahren entwickelt, das geeignet ist, die Immission durch WLAN-Komponenten bei Volllastbetrieb zu ermitteln.

Nach einer Diskussion der relevanten Grenzwerte werden die Ergebnisse von Messungen in drei unterschiedlichen Szenarien vorgestellt:

- Typische Arbeitsplatzumgebung, wobei primär die Immission durch den Access-Point betrachtet wird,
- Typische Arbeitsplatzumgebung, wobei primär die Immission durch das WLAN-Endgerät betrachtet wird,
- Lounge, bei der eine Immission sowohl durch Access-Points, als auch durch Endgeräte erfolgt.

Die Messergebnisse werden mit den Grenzwerten verglichen.

Der großen Verbreitung entsprechend bleiben die Untersuchungen dieses Berichtes auf WLAN-Geräte des Standards IEEE 802.11b beschränkt. WLAN-Komponenten anderer Standards (IEEE 802.11, IEEE 802.11a, g, h) werden nach [SCHMI 04-1] auf dem europäischen Markt entweder nicht mehr angeboten oder sind noch nicht weit verbreitet.

2 Signalstrukturen bei WLAN

WLAN-Systeme des Standards IEEE 802.11b arbeiten im ISM-Frequenzbereich 2400 - 2483,5 MHz. Die Signalbandbreite beträgt theoretisch 22 MHz; in vorliegenden Untersuchungen wurden Bandbreiten von etwa 20 MHz praktisch gemessen. Bild 2.1 zeigt das Spektrum eines auf Kanal 1 (Mittenfrequenz 2412 MHz) arbeitenden WLAN-Systems.

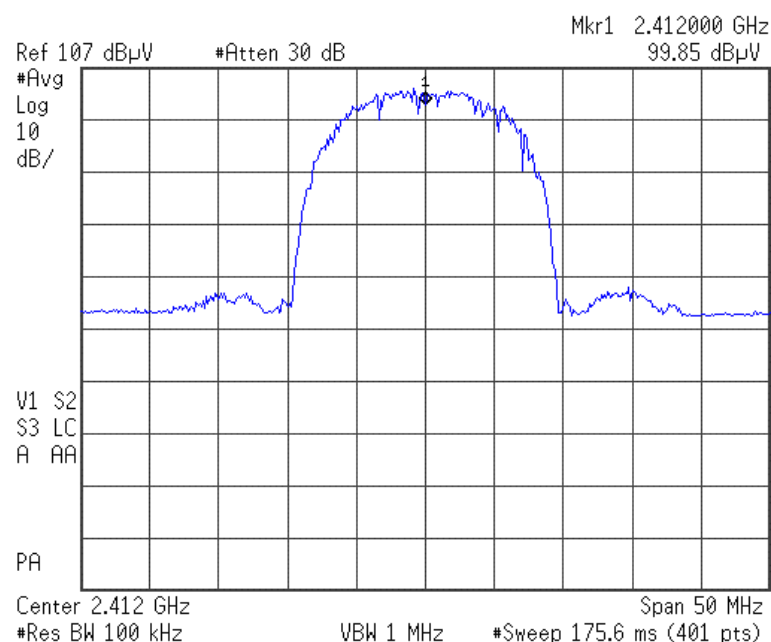


Bild 2.1 Frequenzspektrum eines WLAN-Systems bei 2412 MHz Mittenfrequenz

WLAN-Systeme nach IEEE 802.11b können in zwei Netzwerkarchitekturen betrieben werden: In einem „Infrastruktur-Netzwerk“ läuft die gesamte Kommunikation der Endgeräte immer über einen zentralen Knotenpunkt, den Access-Point. Eine direkte Kommunikation mehrerer Endgeräte miteinander ist nicht möglich; hierfür existiert mit dem „Ad-hoc Netzwerk“ eine andere Netzwerkarchitektur. Für Access-Point und Endgerät beträgt die maximal zulässige Sendeleistung jeweils 100 mW.

In einem Infrastuktur-Netzwerk sendet der Access-Point permanent Funksignale, so genannte Baken, aus. Diese dienen den Endgeräten zur Synchronisation. Die Baken werden alle 100 ms abgesendet. Das Bakensignal eines Access-Points ist in Bild 2.2 im Zeitbereich dargestellt.

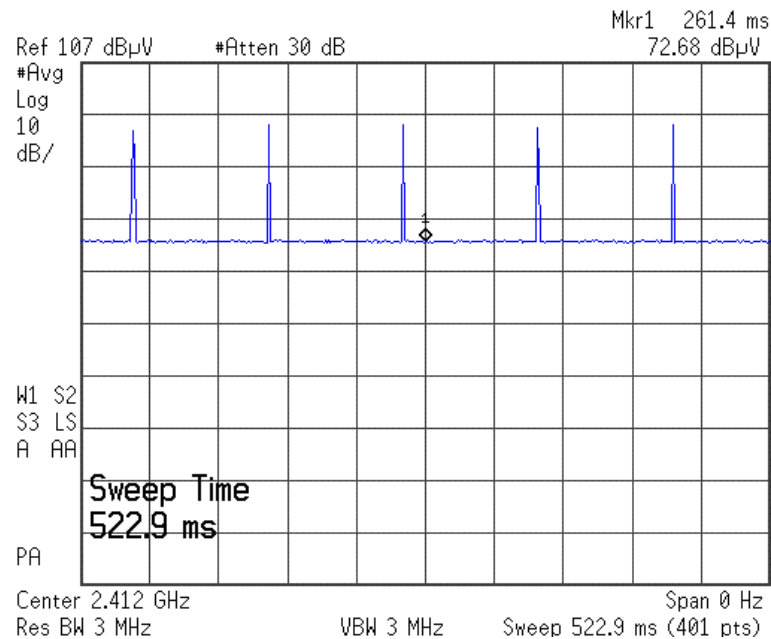


Bild 2.2 Bakensignal eines Access-Points im Zeitbereich

Hat ein WLAN-Endgerät eine Verbindung zum Access-Point aufgenommen und werden Daten ausgetauscht, erfolgt die Kommunikation vom Endgerät zum Access-Point und in entgegengesetzter Richtung zeitlich in den Lücken zwischen den Baken-Signalen. Dies ist in Bild 2.3 dargestellt; hierbei wurden mittels eines „ping“-Befehls kurze Datenpakete vom Endgerät an den Access-Point abgesendet. Zwischen dem dritten und vierten Bakensignal ist das vom Endgerät abgesendete Datensignal zu erkennen.

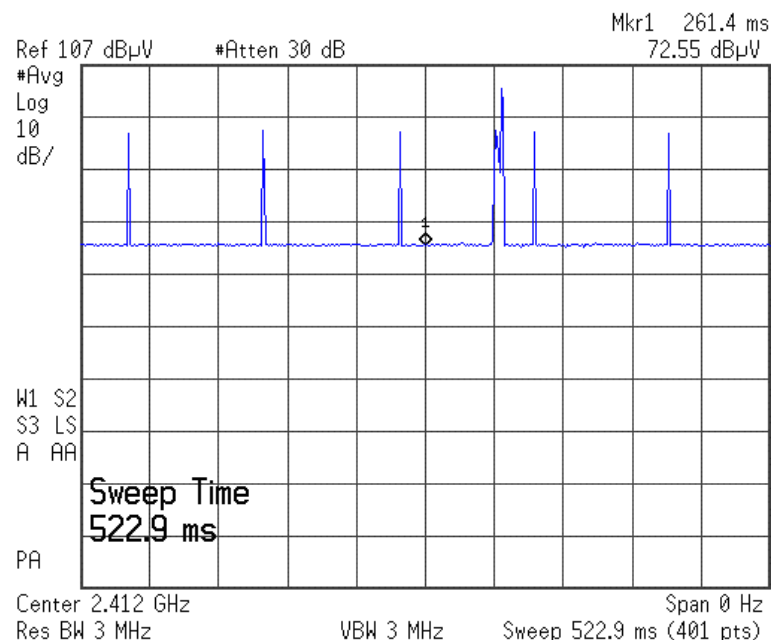


Bild 2.3 Überlagerung von Bakensignalen des Access-Points mit gesendeten Datenpaketen des Endgerätes

Wie viel „Platz zwischen den Baken“ mit Daten ausgefüllt werden kann, ist vom augenblicklichen Datenverkehr abhängig. Somit ist auch die momentane Immission in einem WLAN-

Netzwerk stark auslastungsabhängig. Nach [SCHMI 04-2] kann in der Praxis die effektive, d.h. zeitgemittelte Sendeleistung eines Access-Points bis zu 90 % der Pulsleistung des Bakensignals erreichen. Für ein WLAN-Endgerät hingegen liegt die mittlere abgestrahlte Sendeleistung maximal bei etwa 98 % der Pulsleistung [SCHMI 04-1]. Da bezüglich eines Grenzwertvergleichs der in Kapitel 5 dokumentierten Messungen die Betriebsbedingungen primär *bei maximaler Anlagenauslastung* relevant sind, sind die vorgenannten Prozentangaben für eine entsprechende Hochrechnung auf den Maximalzustand notwendig.

3 Messverfahren

Ein Messverfahren zur Erfassung der Immissionen von WLAN-Einrichtungen muss

- möglichst einfach und praktikabel sein, um nicht nur unter Laborbedingungen, sondern auch unter Vorortbedingungen schnell und unkompliziert eingesetzt werden zu können,
- technisch korrekte Immissionswerte liefern und
- eine Skalierung der Messwerte auf den Zustand bei maximaler Anlagenauslastung ermöglichen.

Für Immissionsmessungen im Hochfrequenzbereich haben sich in letzter Zeit vor allem breitbandige Messungen und frequenzselektive Messungen etabliert.

Breitbandige Messungen werden in der Regel mit kompakten Feldstärkemessgeräten durchgeführt, die aus einer Anzeigeeinheit und einer aufgesteckten Feldsonde bestehen. Hierbei ist eine frequenzmäßige Aufspaltung des gemessenen Feldes oft nicht möglich; es wird lediglich ein Wert für den gesamten Frequenzbereich der Sonde (z.B. 100 kHz bis 2,5 GHz) zur Anzeige gebracht. Außerdem haben Breitbandsonden eine geringe Empfindlichkeit; Feldstärken von weniger als 1 V/m werden oftmals nicht mehr zuverlässig angezeigt. Wie weiter unten noch gezeigt wird, liegen die Immissionen vor allem von Access-Points fast durchgängig unterhalb dieser Anzeigeschwelle, weswegen eine Anwendung von Breitbandmessgeräten auch unter dem Gesichtspunkt der fehlenden Frequenzselektivität für die Messung von WLAN-Immissionen nicht sinnvoll erscheint. Der Vollständigkeit halber sei hier auch darauf hingewiesen, dass die absolute Anzeige von Breitbandsonden bei komplexen Signalen mit hohem Crestfaktor immer besonders kritisch betrachtet werden sollte, da es zu deutlichen pegelabhängigen Fehlbewertungen der Exposition kommen kann [KEL 96].

Frequenzselektive Messungen werden üblicherweise mit einem Spektrumanalysator und einer geeigneten Empfangsantenne durchgeführt. Mit der Antenne wird dem elektromagnetischen Strahlungsfeld Energie entnommen und über ein Kabel dem Spektrumanalysator zugeleitet. Mit diesem wird die Empfangsleistung spektral aufgespaltet, d.h. es wird bestimmt, wie groß die gemessenen Immissionen bei welcher Frequenz sind. Damit können WLAN-Immissionen von anderen Immissionen (z.B. Mobilfunk oder Rundfunk- und Fernsehsender) separiert werden. Außerdem ist die Empfindlichkeit derartiger Messsysteme wesentlich größer; in der Regel sind Immissionen bis zu etwa 0,001 V/m nachweisbar. Den Vorteilen einer hohen Empfindlichkeit und einer Frequenzselektivität steht allerdings der Nachteil einer ungleich aufwändigeren Messung gegenüber. Die Messungen verlangen große Kennt-

nisse über die Signalcharakteristika des zu messenden Signals und ein Verständnis der Funktionsweise eines Spektrumanalysators. Werden Messparameter falsch gewählt, können die Immissionen wesentlich fehlerhaft bewertet werden.

Im folgenden werden die wesentlichen Geräteeinstellungen des Spektrumanalysators für die Messung von WLAN-Signalen, wie sie für die in Kapitel 5 vorgestellten Messungen verwendet wurden, abgeleitet und erläutert:

Bei Immissionsmessungen von (zeitkontinuierlichen) GSM-Mobilfunksignalen (BCCH) sowie Rundfunk- und Fernsehsignalen wird der Spektrumanalysator üblicherweise in einer Betriebsart betrieben, bei der die Immissionen über der *Frequenzachse* gemessen und angezeigt werden. Diese Betriebsart weist bei der Messung realer WLAN-Signale die Schwierigkeit auf, dass aufgrund des diskontinuierlichen Sendebetriebs (z.B. Baken-Signale des Access-Points) der Spektrumanalysator beim Durchlaufen des eingestellten Frequenzbereiches jeweils nur einen Teil des gesamten WLAN-Spektrums erfasst und es deswegen typischerweise bis zu einigen Minuten dauert, bis sich das komplette Spektrum nach Bild 2.1 auf der Analysatoranzeige aufgebaut hat. Aus diesem Bild würde dann der Maximalwert ausgelesen und ausgewertet werden. Der Fakt des sehr langsamen Aufbaus des Spektrumbildes ist deswegen als kritisch anzusehen, da es im Umfeld von WLAN-Systemen aufgrund von Interferenzen kleinräumige Immissionsschwankungen gibt, d.h. die Immissionen an zwei nur wenige Zentimeter voneinander entfernten Raumpunkten können sehr stark voneinander differieren (typ. Faktor 10 und mehr bezüglich der Leistungsflussdichte). Somit sind Messungen, bei denen die Empfangsantenne fest in einem Raumpunkt montiert ist, für Immissionsuntersuchungen ungeeignet, da hier die Gefahr besteht, dass die Antenne sich in einem lokalen Immissionsminimum befindet. Besser geeignet ist die *Schwenkmethode*: Hierbei wird die Messantenne nicht an einer festen Position installiert, sondern es wird mit ihr handgeführt ein Messvolumen abgetastet, wobei gleichzeitig die Vorzugsrichtung und die Polarisationsrichtung der Antenne variiert wird. Während des Schwenkvorgangs werden die Immissionen mit der „Maxhold“ Funktion des Messgerätes kontinuierlich erfasst. Dauert der Aufbau des Spektrums nun wie beschrieben Minuten, ist allerdings eine Anwendung der Schwenkmethode nicht mehr sinnvoll möglich und der Ort des Immissionsmaximums kann in einem erträglichen Zeitrahmen nicht mehr sicher ermittelt werden.

Eine Alternative dazu bietet die Betriebsart „Zero Span“. Hierbei wird der Spektrumanalysator auf eine feste Frequenz (Mittenfrequenz des betreffenden WLAN-Kanals) eingestellt und der Signalverlauf im Zeitbereich dargestellt. Dies hat den Vorteil, dass dieser Mode sehr viel besser für die Schwenkmethode geeignet ist, da bei jedem Sweep des Analysators einige Signale „eingefangen“ werden und deren Immission bei maximaler Sendeleistungsamplitude dargestellt wird (siehe z.B. Bild 2.2). Mit Aktivierung der „Maxhold“ Funktion füllt sich das Display des Analysators zunehmend mit Signalen, so dass die einzelnen zeitlich diskreten Aussendungen nicht mehr unterscheidbar sind (Bild 3.1). Wird während dieser Zeit die Messantenne geschwenkt, ist der abgelesene Maximalwert der sich dann ergebenden Kurve repräsentativ für den maximal auftretenden Immissionswert im Schwenkvolumen bei einer theoretischen Auslastung des WLAN-Systems von 100 %.

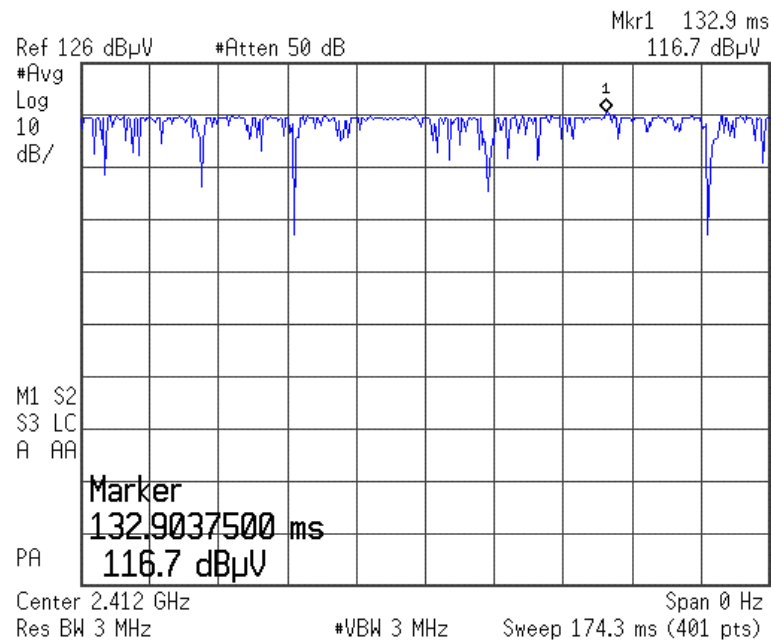


Bild 3.1 Ergebnis einer Langzeitmessung mit Maxhold im Zero Span

Die Messung hat mit einer möglichst hohen Auflösungsbreite des Analysators zu erfolgen. Allerdings sind derzeit standardmäßig keine Geräte verfügbar, die Bandbreiten von 20 MHz aufweisen. Hier kann mit einer kleineren Bandbreite (z.B. 10 MHz oder auch 3 MHz) gemessen und die Immissionen, z.B. in Form der elektrischen Feldstärke E , nach folgender Formel bandbreitenkorrigiert werden [RegTP 03]:

$$E_{\text{eff}} [\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}] = E_{\text{gemessen}} [\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}] + 10 \cdot \log(\text{Signalbandbreite}/\text{Rauschbandbreite}) \quad (3.1)$$

Für die Rauschbandbreite kann in erster Näherung die eingestellte Auflösungsbreite des Analysators verwendet werden. Ist also beispielsweise mit einer Auflösungsbreite von 3 MHz gemessen worden, dann sind unter Zugrundelegung einer WLAN-Signalbandbreite von 20 MHz alle gemessenen Immissionen mit einem Faktor von 8,2 dB bandbreitenbezogen zu korrigieren. Für die Messung ist ein RMS-Detektor zu verwenden, der nach den Bestimmungen der relevanten Grenzwertnormen den zeitlich leistungsgemittelten Wert ausgibt (Root Mean Square). Bei der Verwendung eines RMS-Detektors ist darauf zu achten, dass die Sweep-Time des Analysators ausreichend groß zu wählen ist; hier sind analysatorabhängige Werte von mindestens 100 ms einzustellen.

Die somit gemessenen Immissionen sind diejenigen, die sich bei kontinuierlicher Abstrahlung des Access-Points ergeben würden. Wie bereits im Kapitel 2 dargestellt wurde, wird dieser Vollaustanzustand aber nie erreicht; für maximal 90 % Auslastung bei den Access-Points und 98 % beim WLAN-Endgerät sind von den bei maximaler Sendeamplitude ermittelten Immissionen entsprechend 0,5 dB bzw. 0,1 dB abzuziehen.

Eine messtechnische Erfassung von *momentan vorhandenen* Immissionen ist

- aufgrund ständig wechselndem Verkehrsaufkommen und
- erheblicher messtechnischer Probleme

praktisch nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich. Allerdings kann die *Spannbreite* der momentanen Immissionen auf Basis der Sendecharakteristika der WLAN-Komponenten relativ einfach abgeschätzt werden: Laut [SCHMI 04-2] kann in der Praxis die effektive Sendeleistung eines einzelnen Access-Points zwischen ca. 0,25 % (nur Bakensignal) und ca. 90 % der maximalen Sendeleistungsamplitude variieren. Dies ist bei der Bewertung der in Kapitel 5 dokumentierten Messergebnisse zu berücksichtigen. Für ein Endgerät kann nach [SCHMI 04-1] die im zeitlichen Mittel abgestrahlte Sendeleistung praktisch jeden Wert zwischen 0 und etwa 98 % der maximalen Sendeleistungsamplitude annehmen.

Die Messunsicherheit der nach diesem Verfahren durchgeführten Messungen beträgt etwa ± 3 dB bei einer Vertrauenswahrscheinlichkeit von 95 %. Bei allen in Kapitel 5 dokumentierten Messergebnissen wurde die Messunsicherheit nicht zu den Messwerten addiert.

4 Grenzwerte

Als Grenzwerte zum Schutz der Allgemeinbevölkerung vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch elektromagnetische Felder von Hochfrequenz-Sendeanlagen werden in Deutschland oftmals die Grenzwerte der 26. BImSchV herangezogen [26. BImSchV]. Diese ist für WLAN-Einrichtungen aber streng genommen nicht anwendbar, da die 26. BImSchV nur für *fest installierte* Hochfrequenzanlagen mit einer *Sendeleistung von 10 W EIRP oder mehr* gilt, die *gewerblichen Zwecken* dienen oder im Rahmen wirtschaftlicher Unternehmungen Verwendung finden.

Speziell zur Demonstration der Konformität von „Basisstationen und stationären Teilnehmergeräten von schnurlosen Telekommunikationsanlagen“ mit Bevölkerungsschutzgrenzwerten (Allgemeinbevölkerung) existiert die Norm EN 50385 [EN 50385]. Diese ist in Deutschland als DIN VDE 0848 Teil 385 gültig. Im Anwendungsbereich sind zwar stationäre WLAN-Stationen (Access-Points) nicht direkt erwähnt, allerdings erscheinen sie durch explizite Nennung in der für die gleiche Gruppe von Sendegeräten geltende Vornorm prEN 50401 [prEN 50401] unbedingt mit eingeschlossen. Die prEN 50401 erweitert die Vorgaben der EN 50385 speziell für das Inbetriebnehmen der Sendeanlage.

Beide Normen verweisen bezüglich der Grenzwerte auf die EU-Ratsempfehlung 99/519/EG [99/519/EG]. In dieser „Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz – 300 GHz)“ werden Personenschutzgrenzwerte für die Allgemeinbevölkerung im europäischen Rahmen empfohlen.

Für Endgeräte, also z.B. das Notebook mit WLAN-Karte, erscheint die Fachgrundnorm DIN EN 50392 [EN 50392] sinnvoll anwendbar. Diese dient zur Demonstration der Konformität elektronischer und elektrischer Geräte mit den Basisgrenzwerten für die Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz) und ist anwendbar für elektronische und elektrische Geräte, für die keine spezifische Produkt- oder Produktfamilienorm im Hinblick auf die Sicherheit von Personen in elektromagnetischen Feldern besteht. Auch die DIN EN 50392 verweist bezüglich der Grenzwerte auf die EU-Ratsempfehlung 99/519/EG.

Damit sind für die Beurteilung der Exposition sowohl durch die Access-Points, als auch durch die WLAN-Endgeräte die Grenzwerte der EU-Ratsempfehlung heranzuziehen. Die Grenzwerte im durch die hier betrachteten WLAN-Komponenten des Standards IEEE 802.11b belegten Frequenzbereiches werden definiert wie folgt:

Frequenz [GHz]	Elektrische Feldstärke [V/m]	Magnetische Feldstärke [A/m]	Magnetische Flussdichte [μ T]	Elektrische Leistungsflussdichte [W/m^2]
2-300	61	0,16	0,20	10

Tab. 4.1 Referenz-Grenzwerte der EU-Ratsempfehlung 99/519/EG für den WLAN-Frequenzbereich nach IEEE 802.11b, Effektivwerte

Wenngleich, wie eingangs bemerkt, die 26. BImSchV auf WLAN-Komponenten nicht anwendbar ist, stimmen doch die Grenzwerte der 26. BImSchV mit denen der Tabelle 4.1 wertmäßig überein.

In den nachfolgenden Auswertungen werden die gemessenen Immissionen sowohl als elektrische Feldstärke, als auch als elektrische Leistungsflussdichte dokumentiert. Die Grenzwertausschöpfung wird allein bezüglich der Leistungsflussdichte beurteilt, um hier eine Vergleichbarkeit mit anderen, ähnlich gelagerten Messprojekten zu ermöglichen. Dies ist hinreichend, da elektrische und magnetische Feldstärke, magnetische Flussdichte und elektrische Leistungsflussdichte im Fernfeld einer Strahlungsquelle dieselbe Information beinhalten und sich über den Freiraum-Wellenwiderstand ineinander umrechnen lassen.

5 Messergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse von Messungen in drei typischen Szenarien vorgestellt. Betrachtet wird hierbei:

- eine typische Arbeitsplatzumgebung, wobei primär die Immission durch den Access-Point betrachtet wird,
- eine typische Arbeitsplatzumgebung, wobei primär die Immission durch das WLAN-Endgerät betrachtet wird,
- eine Lounge, bei der eine Immission sowohl durch Access-Points, als auch durch Endgeräte erfolgt.

5.1 Immission durch Access-Points

5.1.1 Vorgehensweise

Die Messungen an den Access-Points (AP) wurden in Gebäuden der Fachhochschule (FH) Deggendorf durchgeführt. Um einen Eindruck über die Örtlichkeiten zu erhalten, sind in Bild 5.1 beispielhaft die Grundrisse zweier Gebäudeteile dargestellt, in denen die Messungen unter anderem stattfanden.

Die großen Räume stellen Hörsäle, Labore oder Computerräume dar, die kleinen Räume sind in der Regel Büros. In Gebäudeteil 1 (Bild 5.1a) sind zwei WLAN-Access-Points („Avaya AP-1000“, 11 Mbit/s; 2,4 GHz, 802.11b) installiert (rote Punkte). Der linke AP befindet sich im Flur und dient der Versorgung der Büros, der rechte ist in einem Computerraum (Studentische Arbeitsplätze) installiert (siehe Bild 5.2). Die schwarzen Kreise haben einen Radius von fünf Meter und dienen zur Einschätzung der realen Größenverhältnisse.

Im Gebäudeteil 2 (Bild 5.1b) sind beide Access-Points im Flur installiert. Bild 5.3 zeigt links oben den rechten AP und die Messpunkte 30 - 33.

5.1.2 Administrative Angaben

Messort:	2 Gebäudeteile der Fachhochschule Deggendorf, Edlmairstraße 6+8, 94469 Deggendorf
Messzeit:	16.12.2004
Durchführende:	Prof. M. Wuschek, Herr Baumgartner, Herr Kölbl (FH Deggendorf)
Access-Point:	Systeme verschiedener Hersteller (Avaya, HP)
Endgerät:	Am MP 56 und 78 befanden sich Notebooks mit WLAN
Frequenzkanal:	verschiedene im Bereich 2400 - 2483,5 MHz
Messgeräte:	Spektrumanalysator Rohde & Schwarz FSP30, Hornantenne Rohde & Schwarz HF906, HF-Kabel Rosenberger 8 m

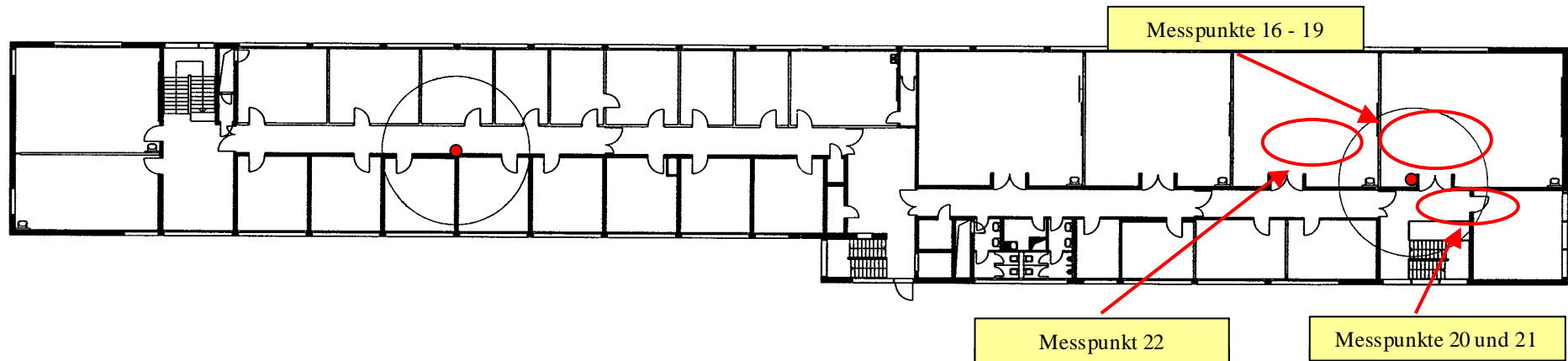


Bild 5.1a Gebäudeteil 1: In diesem Gebäudeteil sind zwei Access-Points (rote Punkte) im Flur (links) bzw. in einem Computerraum (rechts) installiert.

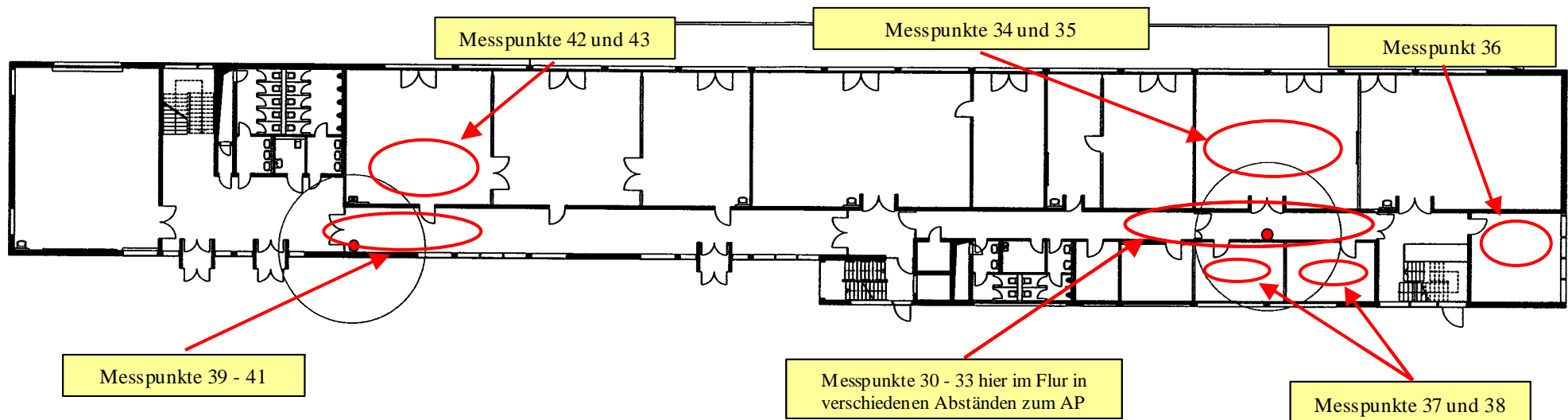


Bild 5.1b Gebäudeteil 2: In diesem Gebäudeteil sind zwei Access-Points im Flur installiert.



Bild 5.2 Access-Point im Computerraum von Gebäudeteil 1



Bild 5.3 Access-Point in der rechten Flurhälfte von Gebäudeteil 2 (rot umkreist) und die MP 30-33

5.1.3 Beschreibung der Messpunkte

Die Messungen wurden sowohl in unmittelbarer Nähe der Access-Points, als auch in etwas größeren Abständen, z.B. in benachbarten Räumen, vorgenommen. Insbesondere wurden Büroarbeitsplätze berücksichtigt. Aufgrund der großen Zahl von 85 Messpunkten erhält man ein sehr detailliertes Bild über die entstehenden Immissionen und ihre räumliche Verteilung.

Zusätzlich zu den Messungen in den einzelnen Räumen wurden mehrfach Abstandsprofile aufgenommen (siehe Abstandsangaben in Tabelle 5.1), um die Entfernungsabhängigkeit der Immission vom Access-Point zu dokumentieren.

In Tabelle 5.1 sind die untersuchten Messpunkte aufgelistet.

MP. Nr.	Bemerkungen	Abstand zum Access-Point [m]
1	Labor (Access-Point im Raum)	1,5
2	Labor (Access-Point im Raum)	3,5
3	Labor (Access-Point im Raum)	5,5
4	Labor (Access-Point im Raum)	8
5	Büro (Tür offen)	10
6	Büro (Tür geschlossen)	10
7	Labor	6
8	Flur	12
9	Labor	6
10	Hörsaal (Access-Point im Raum)	1,5
11	Hörsaal (Access-Point im Raum)	3
12	Hörsaal (Access-Point im Raum)	5
13	Hörsaal (Access-Point im Raum)	8
14	Flur	10
15	Büro	10
16	Labor (Access-Point im Raum)	1,5
17	Labor (Access-Point im Raum)	3
18	Labor (Access-Point im Raum)	5
19	Labor (Access-Point im Raum)	10
20	Büro	6

MP. Nr.	Bemerkungen	Abstand zum Access-Point [m]
21	Flur	5
22	Labor	5
23	Flur (Nahe Access-Point)	1,5
24	Flur (Nahe Access-Point)	3
25	Flur (Nahe Access-Point)	5
26	Flur (Nahe Access-Point)	8
27	Büro, Arbeitsplatz 1	2
28	Büro, Arbeitsplatz 2	3
29	Büro, Arbeitsplatz 3	4
30	Flur (Nahe Access-Point)	1,5
31	Flur (Nahe Access-Point)	3
32	Flur (Nahe Access-Point)	5
33	Flur (Nahe Access-Point)	8
34	Labor (Tür offen)	3
35	Labor (Tür zu)	3
36	Büro	15
37	Labor	3
38	Labor	3
39	Flur (Nahe Access-Point)	1,5
40	Flur (Nahe Access-Point)	3
41	Flur (Nahe Access-Point)	5
42	Büro (Tür geschlossen)	5
43	Büro (Tür offen)	5
44	Flur (Nahe Access-Point)	1,5
45	Flur (Nahe Access-Point)	3
46	Flur (Nahe Access-Point)	5
47	Büro (Tür offen)	5
48	Flur (Nahe Access-Point)	1,5

MP. Nr.	Bemerkungen	Abstand zum Access-Point [m]
49	Flur (Nahe Access-Point)	3
50	Flur (Nahe Access-Point)	5
51	Büro (Tür offen)	2
52	Büro (Tür offen)	8
53	Büro (Tür offen)	5
54	Büro (Tür offen)	2
55	Büro (Tür geschlossen)	2
56	Büro (mit aktivem WLAN-Notebook)	2
57	Büro (Tür offen)	2
58	Büro (Tür offen)	7
59	Büro (Tür offen)	6
60	Flur (Nahe Access-Point)	1,5
61	Flur (Nahe Access-Point)	3
62	Flur (Nahe Access-Point)	5
63	Hörsaal	2
64	Archiv	9
65	Flur (Nahe Access-Point)	5
66	Labor (Access-Point im Raum)	6,5
67	Büro	2,5
68	Flur (Nahe Access-Point)	1,5
69	Flur (Nahe Access-Point)	3
70	Flur (Nahe Access-Point)	5
71	Hörsaal	
72	Nähe A214 (Access-Point im Flur)	1,5
73	Nähe A214 (Access-Point im Flur)	3
74	Nähe A214 (Access-Point im Flur)	5
75	Hörsaal	4
76	Mensa (Speisesaal)	8
77	Mensa (Speisesaal)	15

MP. Nr.	Bemerkungen	Abstand zum Access-Point [m]
78	Mensa (Speisesaal) (4 Notebooks in Betrieb)	Mitte Speisesaal
79	Mensa (Zwischendeck)	5
80	Cafeteria (Thekenbereich)	1,5
81	Cafeteria	5
82	Cafeteria (Kassenbereich)	5
83	Rechenzentrum, Rechnerraum	3
84	Rechenzentrum, Rechnerraum	10
85	Büro	1,5

Tabelle 5.1 Beschreibung der Messpunkt für das Szenario Access-Points

5.1.4 Messergebnisse und Grenzwertvergleich

In Tabelle 5.2 sind die Messergebnisse als elektrische Feldstärke bzw. Leistungsflussdichte dargestellt. Alle Werte sind bereits auf maximale Anlagenauslastung extrapoliert.

MP Nr.	Elektrische Feldstärke [V/m]	Leistungsflussdichte [W/m ²]	Ausschöpfungsgrad Grenzwert Leistungsflussdichte [%]
1	0,617	0,001008	0,01008
2	0,462	0,000567	0,00567
3	0,309	0,000253	0,00253
4	0,166	0,000073	0,00073
5	0,146	0,000057	0,00057
6	0,075	0,000015	0,00015
7	0,091	0,000022	0,00022
8	0,029	0,000002	0,00002
9	0,082	0,000018	0,00018
10	0,490	0,000636	0,00636
11	0,385	0,000392	0,00392
12	0,295	0,000231	0,00231

MP Nr.	Elektrische Feldstärke [V/m]	Leistungsflussdichte [W/m ²]	Ausschöpfungsgrad Grenzwert Leistungsflussdichte [%]
13	0,324	0,000278	0,00278
14	0,030	0,000002	0,00002
15	0,022	0,000001	0,00001
16	0,214	0,000121	0,00121
17	0,209	0,000116	0,00116
18	0,116	0,000036	0,00036
19	0,048	0,000006	0,00006
20	0,029	0,000002	0,00002
21	0,029	0,000002	0,00002
22	0,138	0,000051	0,00051
23	0,403	0,000430	0,00430
24	0,403	0,000430	0,00430
25	0,202	0,000108	0,00108
26	0,051	0,000007	0,00007
27	0,093	0,000023	0,00023
28	0,105	0,000029	0,00029
29	0,122	0,000039	0,00039
30	0,367	0,000358	0,00358
31	0,556	0,000820	0,00820
32	0,234	0,000146	0,00146
33	0,178	0,000084	0,00084
34	0,234	0,000146	0,00146
35	0,115	0,000035	0,00035
36	0,069	0,000013	0,00013
37	0,114	0,000034	0,00034
38	0,075	0,000015	0,00015
39	0,473	0,000594	0,00594
40	0,097	0,000025	0,00025

MP Nr.	Elektrische Feldstärke [V/m]	Leistungsflussdichte [W/m ²]	Ausschöpfungsgrad Grenzwert Leistungsflussdichte [%]
41	0,114	0,000034	0,00034
42	0,037	0,000004	0,00004
43	0,090	0,000022	0,00022
44	0,380	0,000383	0,00383
45	0,122	0,000039	0,00039
46	0,178	0,000084	0,00084
47	0,272	0,000197	0,00197
48	0,195	0,000101	0,00101
49	0,186	0,000092	0,00092
50	0,432	0,000494	0,00494
51	0,060	0,000010	0,00010
52	0,042	0,000005	0,00005
53	0,049	0,000006	0,00006
54	0,129	0,000044	0,00044
55	0,097	0,000025	0,00025
56	0,105	0,000029	0,00029
57	0,046	0,000006	0,00006
58	0,082	0,000018	0,00018
59	0,067	0,000012	0,00012
60	0,316	0,000265	0,00265
61	0,195	0,000101	0,00101
62	0,186	0,000092	0,00092
63	0,119	0,000037	0,00037
64	0,111	0,000033	0,00033
65	0,229	0,000139	0,00139
66	0,061	0,000010	0,00010
67	0,182	0,000088	0,00088

MP Nr.	Elektrische Feldstärke [V/m]	Leistungsflussdichte [W/m ²]	Ausschöpfungsgrad Grenzwert Leistungsflussdichte [%]
68	0,269	0,000192	0,00192
69	0,275	0,000201	0,00201
70	0,162	0,000070	0,00070
71	0,168	0,000075	0,00075
72	0,339	0,000305	0,00305
73	0,195	0,000101	0,00101
74	0,086	0,000020	0,00020
75	0,105	0,000029	0,00029
76	0,102	0,000028	0,00028
77	0,051	0,000007	0,00007
78	0,363	0,000350	0,00350
79	0,023	0,000001	0,00001
80	0,186	0,000092	0,00092
81	0,202	0,000108	0,00108
82	0,127	0,000043	0,00043
83	0,285	0,000216	0,00216
84	0,127	0,000043	0,00043
85	0,029	0,000002	0,00002

Tabelle 5.2 Messergebnisse und Grenzwertvergleich für das Szenario Access-Points

5.1.5 Auswertung

Die gefundenen Leistungsflussdichtewerte liegen in einer Größenordnung von 0,000001 bis 0,001 W/m². Bei einem gesetzlichen Grenzwert von 10 W/m² bedeutet dies, dass dieser maximal nur zu etwa 0,1 Promille ausgeschöpft wird.

Die Entfernungsprofile:

- MP 1-4,
- MP 10-13,
- MP 16-19,
- MP 23-26,

- MP 30-33,
- MP 39-41,
- MP 44-46,
- MP 48-50,
- MP 60-62,
- MP 68-70 und
- MP 72-74

zeigen in der Tendenz eine Abnahme der Immission mit wachsendem Abstand vom Access-Point. Diese muss jedoch nicht immer gleichmäßig sein, wie z.B. MP 10-13 zeigt: Hier wurde am 8 m vom AP entfernten MP 13 eine geringfügig höhere Immission gemessen als am 5 m entfernten MP 12. Dies kann innerhalb von Gebäuden durch die Ausbildung von stehenden Wellen oder auch durch wechselnde Sichtverhältnisse vom Messpunkt zum Access-Point begründet sein.

Es sei hier nochmals darauf hingewiesen, dass es sich bei den dokumentierten Werten um die maximalen Immissionswerte der Access-Points bei höchster Anlagenauslastung handelt. Im realen Betrieb werden sich vermutlich nochmals deutlich niedrigere Immissionen ergeben. Wird gar kein Datenverkehr von den Access-Points abgewickelt, reduzieren sich die Immissionswerte um etwa den Faktor 360 gegenüber dem Maximalwert [SCHMI 04-2].

5.2 Immission durch Endgeräte

5.2.1 Vorgehensweise und Anordnung der Messpunkte

Die Messungen am WLAN-Endgerät wurden in der EMV-Absorberkammer der IMST GmbH durchgeführt. Die Absorberkammer wurde gewählt, um eine möglichst störungsfreie Messumgebung zu realisieren, bei der das Messergebnis weder durch äußere Störquellen (z.B. andere WLAN-Geräte), noch durch Raumreflexionen verfälscht wird. Ziel ist es zu untersuchen, mit welchen maximalen Immissionen direkt am Endgerät zu rechnen ist und wie sich die Feldverteilung in verschiedenen Abständen vom Endgerät darstellt.

Die Messungen wurden an einem Notebook mit interner WLAN-Karte durchgeführt. In der Absorberkammer wurde ein Access-Point installiert und mit Absorbermatten in der Weise abgedeckt, dass zwar eine Kommunikation zum Notebook gewährleistet war, die Immissionen durch den Access-Point aber andererseits an den Messpunkten im Vergleich zu den Immissionen durch das Endgerät vernachlässigbar waren. Vom Notebook wurden mittels eines "ping"-Kommandos permanent Datenpakete zum Access-Point gesendet.

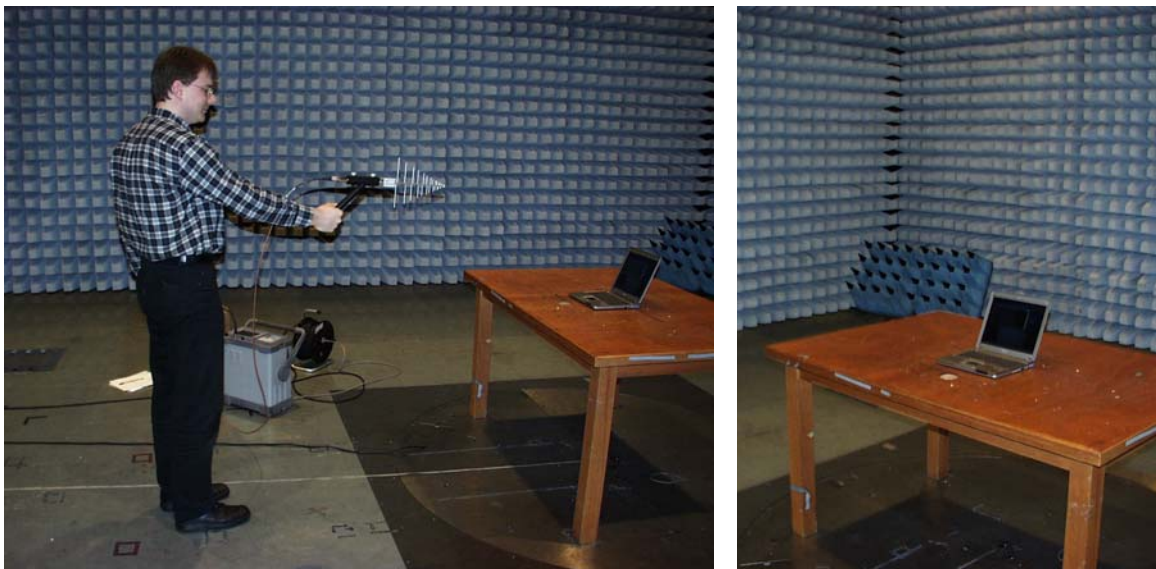


Bild 5.4 Messaufbau zur Vermessung des WLAN-Notebooks. Im linken Bildteil ist der Spektrumanalysator und die handgeführte Messantenne zu sehen. Der Access-Point befindet sich im rechten Bildteil in der Kammerecke und ist mit zwei Absorberblöcken abgedeckt.

Bei der Ermittlung der Entfernungsabhängigkeit der Immission wurde der Umstand berücksichtigt, dass sich unter Umständen durch die WLAN-Antenne selber bzw. durch ihre Installation im Notebook eine Richtungsabhängigkeit der Immission ergeben könnte. Deswegen wurde die Entfernungsabhängigkeit nicht nur in einer Richtung vom Notebooks ermittelt, sondern in vier Raumrichtungen. Diese sind in Bild 5.5 grafisch dargestellt.

Die handgeführte Messantenne wurde in der Höhe zwischen etwa 2 m und 1,5 m geschwenkt, um in diesem Schwenkbereich das Immissionsmaximum zu finden. Außerdem wurde die Polarisationsrichtung der Antenne verändert.

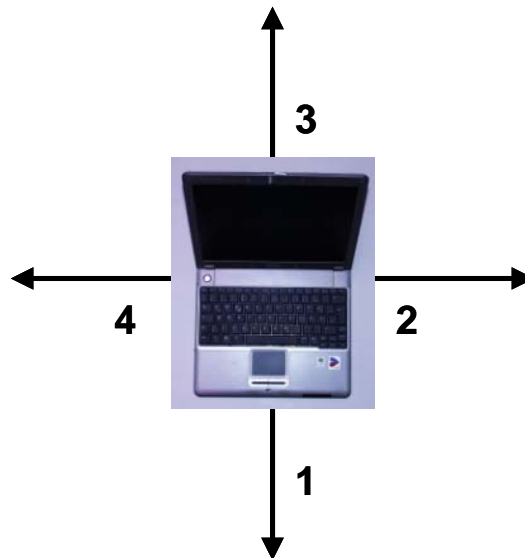


Bild 5.5 Zuordnung der Richtungen zur gemessenen Abstandsabhängigkeit

Die Messungen erfolgten sowohl direkt am Notebook (hier wurde die Antenne direkt um das Notebook geführt), als auch in Abständen von 0,5 m, 1,0 m, 2,0 m, 3,0 m 4,0 m und 5,0 m. Der Abstand bezieht sich auf die Entfernung zwischen der Spitze der Messantenne und dem Mittelpunkt des Notebooks.

5.2.2 Administrative Angaben

Messort: EMV-Absorberkammer der IMST GmbH,
Carl-Friedrich-Gauß-Straße 2, 47475 Kamp-Lintfort

Messzeit: 21.04.2005

Durchführende: Dr. Christian Bornkessel, Michael Neikes (IMST GmbH)

Access-Point: Lucent Technologies Nederland B.V., Model #AP-500, P/N 015153/B

Endgerät: Notebook Dell Latitude X300 mit integrierter WLAN-Karte 802.11b,
WLAN-Chipsatz Intel PRO/Wireless LAN 2100

Frequenzkanal: 1 (2.412,0 MHz)

Messgeräte: Spektrumanalysator Agilent E4405B,
logarithmisch-periodische Antenne Schwarzbeck USLP 9142,
HF-Kabel Workhorse WHU 18-1818-120

5.2.3 Messergebnisse und Grenzwertvergleich

In Tabelle 5.3 sind die Messergebnisse als elektrische Feldstärke bzw. Leistungsflussdichte dargestellt. Alle Werte sind bereits auf maximale Anlagenauslastung extrapoliert.

MP. Nr.	Beschreibung	Elektrische Feldstärke [V/m]	Leistungsflussdichte [W/m ²]	Ausschöpfungsgrad Grenzwert Leistungsflussdichte [%]
1	direkt am Gerät	6,68	0,1185	1,185
	<i>Richtung 1</i>			
2	0,5 m	1,80	0,0086	0,086
3	1,0 m	1,08	0,0031	0,031
4	2,0 m	0,62	0,0010	0,010
5	3,0 m	0,41	0,0004	0,004
6	4,0 m	0,38	0,0004	0,004
7	5,0 m	0,27	0,0002	0,002
	<i>Richtung 2</i>			
8	0,5 m	3,20	0,0271	0,271
9	1,0 m	1,32	0,0046	0,046
10	2,0 m	0,70	0,0013	0,013
11	3,0 m	0,63	0,0011	0,011
12	4,0 m	0,56	0,0008	0,008
13	5,0 m	0,39	0,0004	0,004
	<i>Richtung 3</i>			
14	0,5 m	1,80	0,0086	0,086
15	1,0 m	0,72	0,0014	0,014
16	2,0 m	0,64	0,0011	0,011
17	3,0 m	0,40	0,0004	0,004
18	4,0 m	0,35	0,0003	0,003
19	5,0 m	0,30	0,0002	0,002
	<i>Richtung 4</i>			
20	0,5 m	1,74	0,0080	0,080
21	1,0 m	1,00	0,0027	0,027
22	2,0 m	0,57	0,0009	0,009
23	3,0 m	0,38	0,0004	0,004
24	4,0 m	0,32	0,0003	0,003
25	5,0 m	0,29	0,0002	0,002

Tabelle 5.3 Messergebnisse und Grenzwertvergleich für das Szenario WLAN-Endgerät

5.2.4 Auswertung

Die Immissionen sind direkt am Endgerät erwartungsgemäß am höchsten und nehmen sehr schnell mit der Entfernung ab. Direkt am Endgerät werden die Grenzwerte der EU-Ratsempfehlung leistungsflussdichtebezogen zu etwa 1 % ausgeschöpft, in 5 m Entfernung liegt die Ausschöpfung unter 0,01 %.

Beim hier untersuchten Notebook ist eine deutliche Richtungsabhängigkeit der Immission festzustellen; die Messwerte in Richtung 2 sind höher als in den anderen Richtungen. Es wird vermutet, dass dies mit dem Einbauort der WLAN-Karte bzw. dessen Antenne zusammenhängt, die sich wahrscheinlich an der rechten Geräteseite befindet. An dieser Stelle konnte auch mit einer Feldsonde ein lokales Immissionsmaximum festgestellt werden.

Die Messwerte am Endgerät sind, begründet durch den geringeren Abstand zur Feldquelle, im Mittel höher als die in Abschnitt 5.1 präsentierten Ergebnisse in der Umgebung von Access-Points. Das deutet darauf hin, dass in üblichen WLAN-Szenarien nicht vorrangig die Access-Points, sondern die WLAN-Endgeräte die Hauptquelle der individuellen Exposition darstellen.

5.3 Immission in einer gemischten Umgebung (Lounge)

5.3.1 Vorgehensweise

Die Messungen dieses Szenarios wurden in der Lounge der T-Mobile Zentrale in Bonn durchgeführt. Im Gegensatz zu den Szenarien 1 und 2, die ihre Schwerpunkte auf die Immissionen durch Access-Points oder Endgeräte legten, beinhaltet Szenario 3 eine Umgebung, bei der beide Immissionsquellen gemeinsam auftreten und in ihrem Zusammenwirken untersucht werden sollen. Außerdem zeichnet sich das Lounge-Szenario durch einen unbeschränkten Zutritt aus, wie er typisch für z.B. Flughafen- oder Bahnlounges, aber auch andere allgemein zugängliche Bereiche wie WLAN-Cafes ist. Auch hier steht primär die Frage im Vordergrund, wie groß die individuelle Exposition bei verschiedenen Abständen vom Access-Point und Endgerät ist, wobei hier verstärkt der Umstand der Exposition von „Unbeteiligten“ zum Tragen kommt.

5.3.2 Administrative Angaben

Messort:	Empfangslounge der T-Mobile Zentrale Bonn, Landgrabenweg 151, 53227 Bonn
Messzeit:	09.03.2005
Durchführende:	Dr. Christian Bornkessel, Michael Neikes (IMST GmbH)
Beteiligte:	Herr J. Schönauer, Herr Müller (T-Mobile Deutschland GmbH)
Access-Point:	In 8 m Höhe an der Decke montiert, Sendeleistung 50 mW, Antennengewinn 2,2 dBi

- Endgeräte: Ein Notebook und ein PDA an der Sitzgruppe 1, siehe Bild 5.8.
Mit diesen wurde durch Download- bzw. ping-Aktivitäten ein WLAN-Verkehr erzeugt.
- Frequenzkanal: 1 (2.412,0 MHz)
- Messgeräte: Spektrumanalysator Agilent E4405B,
logarithmisch-periodische Antenne Schwarzbeck USLP 9142,
HF-Kabel Workhorse WHU 18-1818-120

5.3.3 Beschreibung der Messpunkte

Die Anordnung der Messpunkte ist den nachfolgenden Bildern zu entnehmen.



Bild 5.6 Empfangslounge der T-Mobile Zentrale Bonn



Bild 5.7 Sitzgruppe 1 mit WLAN-Notebook und PDA

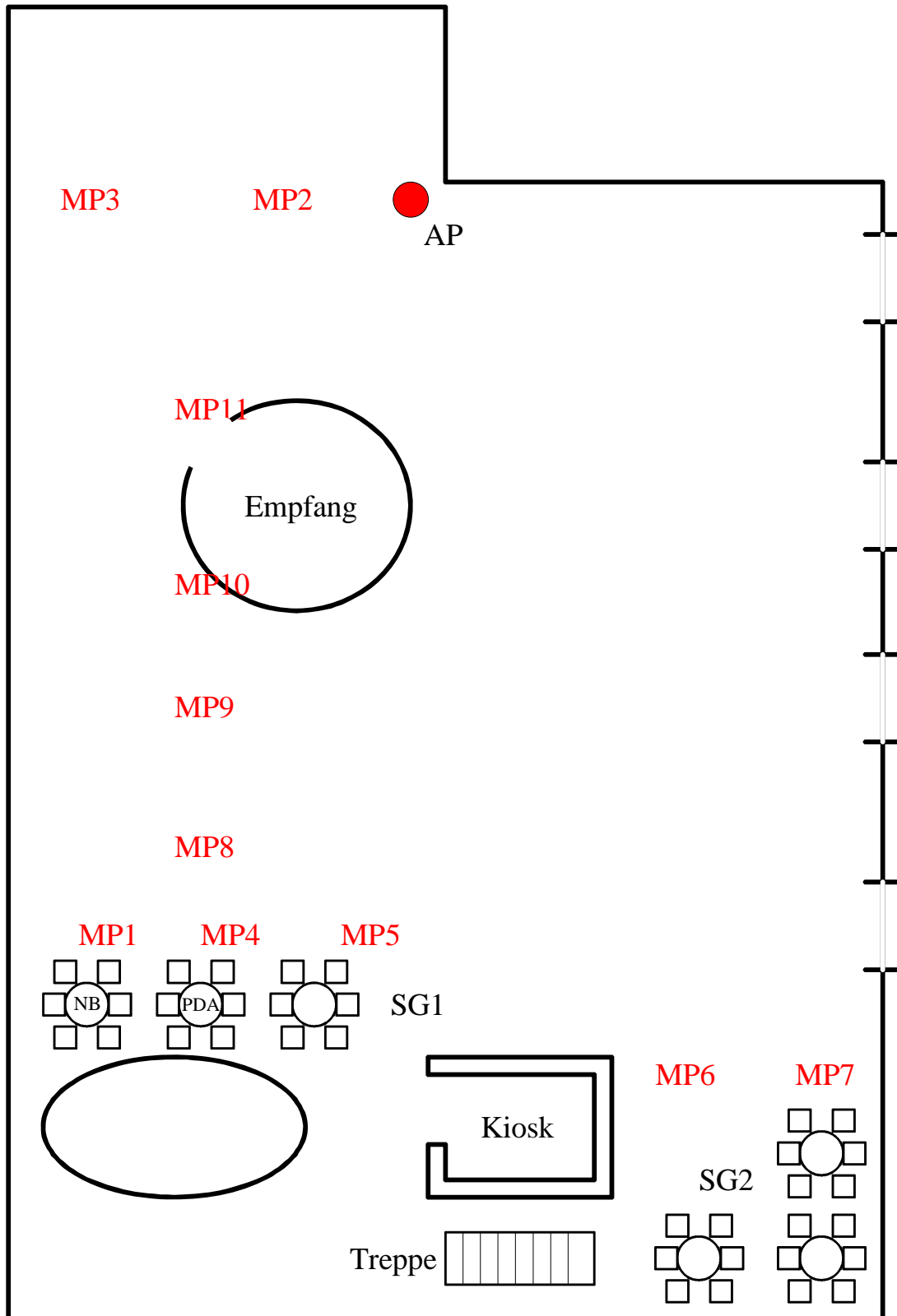


Bild 5.8

Grundriss der untersuchten Lounge mit den Messpunkten (MP). An der Sitzgruppe 1 (SG 1) waren ein Notebook (NB) und ein PDA in Betrieb. Der Access-Point (AP) ist durch einen roten Punkt gekennzeichnet.

MP. Nr.	Bemerkungen	Abstand [m] zum	
		Access-Point	Notebook und PDA
1.1	an SG1, NB und PDA aus	23	2
1.2	an SG1, NB und PDA an	23	2
2	am AP, NB und PDA aus	9	28
3	NB und PDA aus	15	26
4.1	an SG1, NB und PDA an	22	2
4.2	NB und PDA an, direkt am NB	22	0
5	an SG1, NB und PDA an	21	5
6	an SG2, NB und PDA an SG1 an	24	12
7	an SG2, NB und PDA an SG1 an	25	15
8	NB/PDA an, Entfernungsprofil	20	3
9	NB/PDA an, Entfernungsprofil	17	6
10	NB/PDA an, Entfernungsprofil	13	10
11	NB/PDA an, Entfernungsprofil	10	13

Tabelle 5.4 Beschreibung der Messpunkte für das Szenario Lounge. Die Entfernungsangaben zum in 8 m Höhe installierten Access-Point sind radiale Abstände.

Bei der Auswahl der Messpunkte wurden primär folgende Aspekte betrachtet:

- unmittelbare Nähe zum Access-Point sowie zum Notebook/PDA,
- Bereiche der Sitzgruppen 1 und 2, da sich dort oft Personen aufhalten,
- Bereich des Empfangs, da sich dort oft Personen aufhalten,
- Entfernungsprofil (MP 4.2, MP 4.1, MP 8-11),
- Untersuchung des Immissionsverhältnisses von Endgerät bzw. Access-Point an identischen Messpunkten (MP1.1, MP 1.2).

Messungen in anderen Bereichen, so z.B. die rechte Hallenseite im Bereich der Türen, erschienen sowohl aufgrund der Tatsache, dass sich dort nicht permanent Personen aufhalten, als auch wegen des geringen untersuchungstechnischen Nährwertes als wenig interessant.

5.3.4 Messergebnisse und Grenzwertvergleich

In Tabelle 5.5 sind die Ergebnisse dargestellt. Alle Ergebnisse sind auf maximale Anlagenlastung extrapoliert.

MP Nr.	Elektrische Feldstärke [V/m]	Leistungsflussdichte [W/m^2]	Ausschöpfungsgrad Grenzwert Leistungsflussdichte [%]
1.1	0,058	0,000009	0,00009
1.2	0,182	0,000088	0,00088
2	0,097	0,000025	0,00025
3	0,076	0,000015	0,00015
4.1	0,316	0,000265	0,00265
4.2	1,245	0,004108	0,04108
5	0,047	0,000006	0,00006
6	0,065	0,000011	0,00011
7	0,073	0,000014	0,00014
8	0,197	0,000102	0,00102
9	0,111	0,000032	0,00032
10	0,099	0,000026	0,00026
11	0,083	0,000018	0,00018

Tabelle 5.5 Messergebnisse und Grenzwertvergleich für das Szenario Lounge

5.3.5 Auswertung

Die gefundenen Leistungsflussdichtewerte liegen in einer Größenordnung von 0,000006 bis 0,004 W/m^2 . Bei einem gesetzlichen Grenzwert von 10 W/m^2 bedeutet dies, dass dieser maximal nur zu etwa 0,4 Promille ausgeschöpft wird. Die Messungen in der Lounge ergeben also vergleichbare Ergebnisse wie die Messungen im Szenario „Access-Points“.

Das Entfernungsprofil MP 4.2, MP 4.1, MP 8-11 zeigt eine gleichmäßige Abnahme der Immission, beginnend direkt am Endgerät bis zu etwa 13 m von ihm entfernt. Im Unterschied zum Szenario 1 (Access-Points), wo dieser Effekt nicht immer so klar zu sehen war, ist in der Lounge aufgrund der Hallengröße die Ausbildung von stehenden Wellen begrenzt.

Der Unterschied zwischen MP 1.1 und 1.2 (selber Ort, bei MP 1.1 nur AP aktiv, bei MP 1.2 zusätzlich auch WLAN-Notebook und PDA) zeigt, dass in unmittelbarer Nähe von Endgeräten die Immission primär durch diese (und nicht durch den Access-Point) bestimmt wird.

6 Auswertung und Schlussfolgerungen

Es wurden Messungen von WLAN-Immissionen an insgesamt 123 Messpunkten in den drei unterschiedlichen Szenarien

- Typische Arbeitsplatzumgebung, wobei primär die Immission durch den Access-Point betrachtet wird,
- Typische Arbeitsplatzumgebung, wobei primär die Immission durch das WLAN-Endgerät betrachtet wird,
- Lounge, bei der eine Immission sowohl durch Access-Points, als auch durch Endgeräte erfolgt

durchgeführt. Durch die Messpunktanzahl sowie eine Vielzahl von untersuchten Access-Points, Endgeräten und Umgebungsbedingungen erhält man eine gute Übersicht der Immissionen, die bei typischer WLAN-Szenarien auftreten.

Mit diesen Daten ist es möglich, Spannbreiten der Immission bei verschiedenen Abständen zum Access-Point bzw. zum Endgerät aufzuzeigen, siehe Bild 6.1.

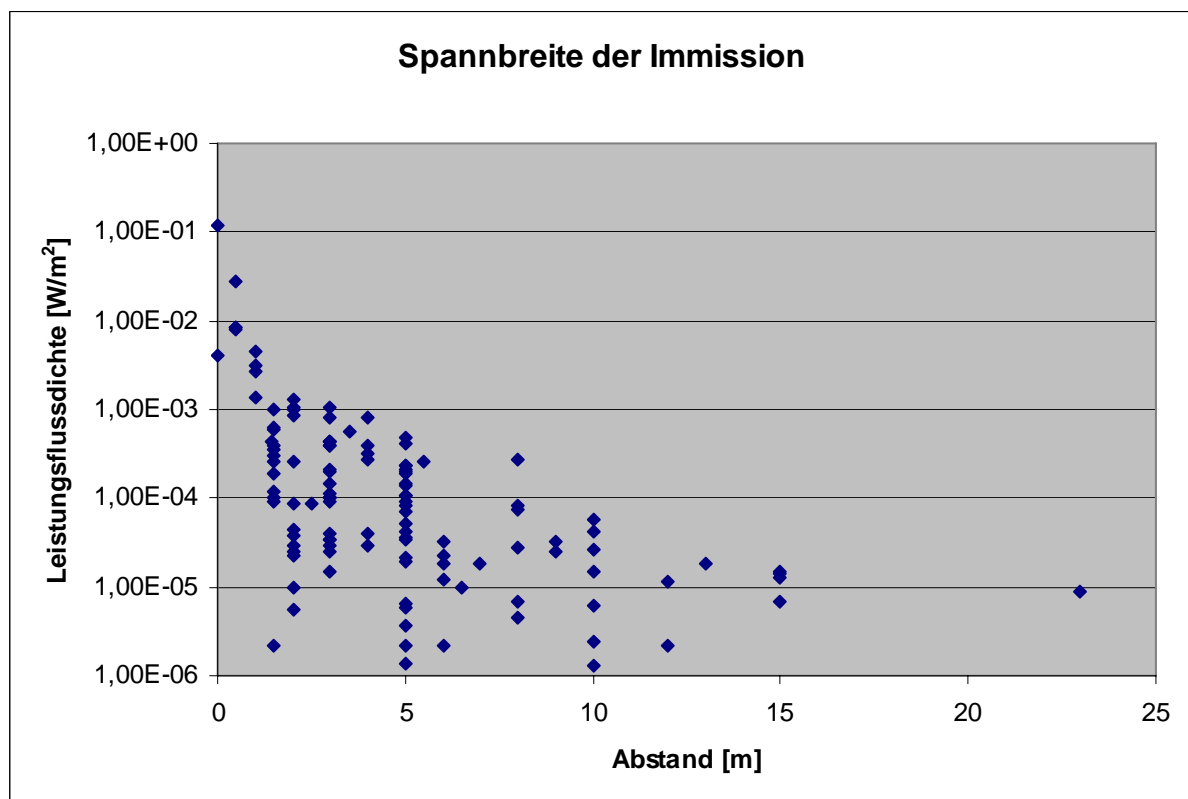


Bild 6.1 Spannbreite der Immissionen bei unterschiedlichen Abständen vom Access-Point bzw. Endgerät

Erwartungsgemäß sind die Immissionen direkt an der Feldquelle am höchsten; der Maximalwert der vorliegenden Messreihen beträgt $0,12 \text{ W/m}^2$. Die Immissionen fallen bei wachsendem Abstand sehr schnell ab; in 5 m Entfernung wurden Immissionen zwischen $0,000001$ und $0,0005 \text{ W/m}^2$ gemessen. Die Abnahme der Immission mit der Entfernung kann im Einzelfall punktuell durch Interferenzen oder veränderte Sichtbedingungen gestört sein,

bleibt aber auch dort bei Berücksichtigung benachbarter Messpunkte in der Tendenz erhalten. Eine einfache Formel für die Entfernungsabhängigkeit kann also nicht angegeben werden, da die Spannweite zwischen den einzelnen Messwerten bei gleichem Abstand mit mehr als 20 dB zu groß ist.

Aufgrund dieser Entfernungsabhängigkeit lässt sich ableiten, dass für typische Aufenthaltsorte von Personen in Bereichen, die für WLAN-Betrieb ausgerüstet sind, die individuelle Exposition primär durch das Endgerät (z.B. Notebook, PDA) bestimmt wird und die Immission durch den Access-Point oft nur eine untergeordnete Rolle spielt.

Für WLAN-Immissionen sind die Grenzwerte der EU-Ratsempfehlung 99/519/EG relevant, die im hier betrachteten Frequenzbereich (2400 - 2483,5 MHz) den Grenzwerten der 26. BImSchV entsprechen. An allen Messpunkten wurden die Grenzwerte zum Schutz der Allgemeinbevölkerung weit unterschritten. Der Messpunkt mit der höchsten Immission (direkt an einem WLAN-Notebook) schöpft die Grenzwerte zu etwa 1,2 % (bezogen auf die Leistungsflussdichte) aus. An mehr als 98 % der Messpunkte beträgt die Grenzwertausschöpfung weniger als 0,1 %.

Ein auf Basis der spezifischen Signalstrukturen von WLAN abgeleitetes frequenzselektives Messverfahren ermöglicht eine schnelle, praktikable und genaue messtechnische Erfassung von WLAN-Immissionen bei normativ vorgegebener Maximalauslastung der Systeme. Es sei hier nochmals darauf hingewiesen, dass es sich bei den dokumentierten Werten um die maximalen Immissionswerte der Access-Points bzw. Endgeräte bei höchster Anlagenauslastung handelt. Im realen Betrieb werden sich deutlich niedrigere Immissionen ergeben. Wird z.B. gar kein Datenverkehr von den Access-Points abgewickelt, reduzieren sich die Immissionswerte durch diese um etwa den Faktor 360 gegenüber dem Maximalwert.

Literaturverzeichnis

- [26. BImSchV] **26. BImSchV**, *Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV)*, BGBl. Jg. 1996 Teil I Nr. 66, 20.12.1996.
- [99/519/EG] **1999/519/EG**, *Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz – 300 GHz)*, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 199/59, 30.07.1999.
- [EN 50383] **EN 50383:2002**, *Basic Standard for the Calculation and Measurement of Electromagnetic Field Strength and SAR Related to Human Exposure From Radio Base Stations and Fixed Terminal Stations for Wireless Telecommunication Systems (110 MHz - 40 GHz)*. CENELEC Standard, August 2002.
- [EN 50385] **EN 50385:2002**, *Product Standard to Demonstrate the Compliance of Radio Base Stations and Fixed Terminal Stations for Wireless Telecommunication Systems With the Basic Restrictions or the Reference Levels Related To Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields (110 MHz - 40 GHz) - General Public*. CENELEC Standard, August 2002.
- [EN 50392] **DIN EN 50392 (VDE 0848 Teil 392)**, *Fachgrundnorm zur Demonstration der Konformität elektronischer und elektrischer Geräte mit den Basisgrenzwerten für die Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz); Deutsche Fassung EN 50392:2004*. DIN-Norm, VDE Verlag GmbH, 2004.
- [KEL 96] **H. Keller**, *Normgerechte Personenschutzmessungen im HF- und Mikrowellenbereich mit den Feldstärkemessgeräten EMR-20 / EMR-30*, Firmenschrift Wandel & Goltermann, Eningen, (1996).
- [prEN 50400] **prEN 50400:200X**, *Basic Standard to Demonstrate the Compliance of Fixed Equipment for Radio Transmission (110 MHz - 40 GHz) Intended for Use in Wireless Telecommunication Networks With the Basic Restrictions or the Reference Levels Related to General Public Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, When Put Into Service*. CENELEC Draft Standard, Oktober 2004.
- [prEN 50401] **prEN 50401**, *Product Standard to Demonstrate the Compliance of Fixed Equipment for Radio Transmission (110 MHz - 40 GHz) Intended for Use in Wireless Telecommunication Networks With the Basic Restrictions or the Reference Levels Related to General Public Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, When Put Into Service*. CENELEC Draft Standard, Oktober 2004.
- [RegTP 03] **Reg TP MV 09/EMF/3**, *Messvorschrift für bundesweite EMVU-Messreihen der vorhandenen Umgebungsfeldstärken*, RegTP Bonn, Ausgabe Februar 2003.

- [SCHMI 04-1] **G. Schmid, P. Preiner, R. Überbacher und G. Neubauer**, *Bestimmung der Exposition bei Verwendung kabelloser Übermittlungsverfahren in Haushalt und Büro*, Studie im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz, Zwischenbericht *Arbeitspaket 1: Bestandsaufnahme*, Seibersdorf, (2004).
- [SCHMI 04-2] **G. Schmid, D. Lager und P. Preiner**, *Bestimmung der Exposition bei Verwendung kabelloser Übermittlungsverfahren in Haushalt und Büro*, Studie im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz, Zwischenbericht *Arbeitspaket 2: Mess- und Berechnungsverfahren*, Seibersdorf, (2004).