

Dr. Peter Nießen
Siebengebirgsallee 60
50939 Köln
Tel. 02 21 / 9 41 59 77
Fax 02 21 / 9 41 59 76
info@EMF-Institut.de
www.EMF-Institut.de

Gutachten

zur Feststellung der Belastung durch hochfrequente elektromagnetische Strahlung
durch WLAN-Netzwerke im 2,4-GHz- und 5-GHz-Bereich

22. März 2010

Auftraggeber	Universität Bremen Der Kanzler Bibliotheksstraße 1, 28359 Bremen
Untersuchungsobjekt	Erweiterung WLAN-System im 2,4-GHz und 5-GHz-Band: <ul style="list-style-type: none">• WLAN Access-Points in ausgewählten Gebäuden und Räumen auf dem Campus der Universität Bremen• exemplarische WLAN-Adapter und Notebooks mit eingebauten WLAN-Antennen

Inhaltsverzeichnis:

1 Auftrag und Zweck des Gutachtens.....	2
2 Grenz- und Vorsorgewerte	3
3 Mess- und Auswerteverfahren.....	5
4 Durchführung der Messung	11
5 Zusammenfassung und Bewertung der Messergebnisse	34
6 Anhangsverzeichnis	40

1 Auftrag und Zweck des Gutachtens

Auf dem Campus der Universität Bremen ist ein flächendeckendes WLAN-Konzept realisiert.

Zur Überprüfung der durch dieses System verursachten Immissionen hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung sollen exemplarisch im Umkreis der neuen Access-Points in verschiedenen Gebäuden der Universität an relevanten Standorten Messungen zur Feststellung der Immissionen durchgeführt werden und ein Vergleich der unterschiedlichen Betriebsarten durchgeführt werden.

Ebenfalls sollen exemplarische Abstandsmessungen an Notebooks und Adaptern durchgeführt werden.

Am 31. März 2010 wurde das EMF-Institut mit Auftrag Nr. 4700003229 mit der Untersuchung beauftragt.

Ziel ist es zu ermitteln, ob in typischen Daueraufenthaltsbereichen (insbesondere an Arbeitsplätzen der Universitätsmitarbeiter) durch die WLAN-Komponenten Grenz- oder Vorsorgewerte erreicht oder überschritten werden. Ebenfalls sollen die ermittelten Werte in Relation gesetzt werden zu anderen Quellen hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung wie Mobilfunk, Radio- und Fernsehsender, schnurlose Telefone nach dem DECT-Standard.

Das EMF-Institut¹ hat bereits in den Jahren 2001 und 2004 das seinerzeit im Aufbau befindliche WLAN-Netz untersucht [1, 2]

In vorliegendem Gutachten werden die Ergebnisse der messtechnischen Untersuchung in den Gebäuden der Universität Bremen dargestellt und bewertet.

Grundlage der Bewertung sind die in Kapitel 2 diskutierten Grenzwerte und Vorsorgeempfehlungen. Das Mess- und Auswerteverfahren wird in Kapitel 3 dargestellt. In Kapitel 4 und 5 erfolgt die Darstellung der Messergebnisse. Eine Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse erfolgt in Kapitel 6.

¹ seinerzeit EMF-Abteilung des nova-Instituts

2 Grenz- und Vorsorgewerte

Abgesehen vom gesetzlichen Grenzwert (26. BImSchV) sind die nachstehend angegebenen Grenz- und Vorsorgewerte im Wesentlichen durch die in den letzten Jahren intensiv geführte Diskussion um Mobilfunkstrahlung entstanden. Da es sich bei der Strahlung der WLAN-Systeme ebenso wie beim Mobilfunk um gepulste Hochfrequenzstrahlung handelt, werden diese Grenz- und Vorsorgewerte in diesem Gutachten auch zur Bewertung der Immissionen im WLAN-Bereich herangezogen. Die gesetzlichen Grenzwerte in Deutschland finden bei WLAN-Systemen u. a. aufgrund der geringen Sendeleistung keine Anwendung. Es sei darauf hingewiesen, dass diese Grenzwerte und Vorsorgeempfehlungen – abgesehen von der 26. BImSchV – nur für Bereiche gelten, in denen sich Menschen dauerhaft aufhalten.

Tabelle 1: Empfehlungen und Grenzwerte für die Leistungsflussdichte² hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung in den verschiedenen Frequenzbereichen:

	Leistungsflussdichte in mW/m ²					
	bis 400 MHz (UKW, usw.)	930 MHz (GSM900)	1800 MHz (GSM1800, DECT)	2100 MHz (UMTS)	2400 MHz WLAN (802.11b, g)	5000 MHz WLAN (802.11a)
Gesetzlicher Grenzwert (26. BImSchV) ³	2000	4650	9000 bis 9400	10000	10000	10000
Schweiz Anlagengrenzwert für Wohnbereiche	23,9	42,5	95,5	95,5	95,5	95,5
Salzburger Richtwert 1998 ⁴ (Summe GSM ⁵ außen)	(1)*	1	1	1	(1)	(1)
Salzburger Richtwert 2002 (Summe GSM außen)		0,01	0,01	0,01	(0,01)	(0,01)
Salzburger Richtwert 2002 (Summe GSM innen)		0,001	0,001	0,001	(0,001)	(0,001)

* Für die eingeklammerten Werte existiert keine Definition des Verordnungsgebers. Die hier in Klammern angegebenen Werte wurden sinngemäß ergänzt.

Erläuterung: Der gesetzliche Grenzwert in Deutschland entsprechend der 26. BImSchV (26. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz) stützt sich aus-

² Die Leistungsflussdichte ist die Messgröße, die die an einem bestimmten Ort (Immissionspunkt) vorliegende Intensität elektromagnetischer Strahlung beschreibt. Die Leistungsflussdichte wird normalerweise angegeben in Watt pro Quadratmeter (W/m²). In vorliegendem Gutachten wird der besseren Lesbarkeit wegen die Einheit mW/m² verwendet (1 W/m² = 1000 mW/m²)

³ Die gesetzlichen Grenzwerte in Deutschland für elektromagnetische Strahlung stützen sich weitgehend auf Empfehlungen der internationalen Strahlenschutzkommission (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP).

⁴ Dieser Wert wurde 1998 von der Landessanitätsdirektion Salzburg empfohlen und mit dem dort seinerzeit tätigen Netzbetreiber abgestimmt. Da hierbei gezeigt wurde, dass ein funktionierendes Mobilfunknetz bei Einhaltung dieses Vorsorgewertes von 1 mW/m² aufgebaut werden kann, wird der Wert in diesem Gutachten zur Beurteilung mit herangezogen.

⁵ GSM = Global System for mobile communication (Mobilfunkstandard für D- und E-Netze)

schließlich auf thermische Effekte, das heißt man geht davon aus, dass der einzige biologisch relevante Effekt hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung die Erwärmung des Körpergewebes ist. Der Grenzwert für die Leistungsflussdichte wird so festgelegt, dass die resultierende Erwärmung (mit einem hinreichenden Sicherheitsabstand) unter der medizinisch tolerierbaren Erwärmung bleibt [3].

Viele Wissenschaftler sind der Ansicht, dass es über die direkte Erwärmung hinausgehende Auswirkungen – sog. athermische Effekte – hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung gibt. Dies könnten z.B. direkte Auswirkungen der hochfrequenten elektrischen Felder auf Körperzellen sein. Die Wissenschaftler stützen ihre Vorsorgeempfehlungen auf Effekte, die in ernst zu nehmenden wissenschaftlichen Studien gefunden wurden, über die aber keine Einigkeit in der Wissenschaft besteht. Oder anders ausgedrückt: Es gibt einen großen Grauzonenbereich, in dem Schädigungen vermutet werden, aber noch nicht mit absoluter Sicherheit nachgewiesen sind. Der gesetzliche Grenzwert liegt am oberen Ende dieser Grauzone, die Vorsorgewerte kritischer Institute basieren auf dem Ansatz eines vorsorgenden Umwelt- und Gesundheitsschutzes bei hinreichendem Verdacht auf nachteilige Wirkungen für den Menschen und liegen daher am unteren Ende dieser Grauzone.

Entsprechend der aktuellen wissenschaftlichen Kenntnislage orientiert sich das EMF-Institut bei der Einschätzung möglicher Gesundheitsgefahren an zwei im europäischen Raum verwendeten Grenz- bzw. Vorsorgewerten. Zur Einschätzung der Belastung durch elektromagnetische Strahlung an Daueraufenthaltsplätzen, d.h. vornehmlich in Wohn- und Schlafbereichen sowie Dauerarbeitsplätze wird die Einhaltung des Salzburger Vorsorgewertes von 1 mW/m^2 (1998) empfohlen [4]. Für alle übrigen Bereiche, in denen nur temporärer Aufenthalt erfolgt, d.h. zum Beispiel für Bereiche, in denen der Aufenthalt auf einige Stunden während des Tages beschränkt ist, erscheint es nach Ansicht des EMF-Instituts ausreichend, den Schweizer Anlagengrenzwert einzuhalten [5].

Der Vorsorgeaspekt wird zum Beispiel auch vom Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV) im Rahmen der Immissionsminimierung elektromagnetischer Strahlung diskutiert. So wurden bei der Bewertung der Ergebnisse umfangreicher Immissionsmessungen von Mobilfunk-Basisstationen der in der Schweiz gültige Anlagengrenzwert für Orte mit empfindlicher Nutzung (OMEN) als Bewertungsgröße herangezogen [6]. Die Schweizer Werte der Leistungsflussdichte liegen ca. bei einem Hundertstel der Grenzwerte in Deutschland.

Auch das Bundesamt für Strahlenschutz setzt sich für Vorsorgemaßnahmen ein und empfiehlt „...unnötige Expositionen müssen vermieden und unvermeidbare Expositi-

onen müssen so weit wie möglich minimiert werden...⁶“.

In vorliegendem Gutachten werden die Messergebnisse in Relation gesetzt zu den gesetzlichen Grenzwerten, den Schweizer Anlagengrenzwerten sowie dem Salzburger Vorsorgewert von 1998 (vgl. Fußnote 4). Einen Überblick über weitere Grenz- und Vorsorgewerte findet sich im Anhang, Anlage 1.

3 Mess- und Auswerteverfahren

3.1 Vorgehensweise

Die Messungen wurden durchgeführt mit folgenden Messgeräten:

- Spektrumanalysator Advantest R 3131 A für den Frequenzbereich bis 3 GHz
- Spektrumanalysator Tektronix 492 AP für den Frequenzbereich ab 3 GHz
- bikonische Messantenne Schwarzbeck UBA 9116 für den Frequenzbereich von 80 MHz bis 1 GHz
- Dipolantenne Schwarzbeck UBA 9125 D mit verschiedenen Elementlängen für den Frequenzbereich von 1 GHz bis 5 GHz.
- Logarithmisch-periodische Messantenne Schwarzbeck ESLP 9145 für den Frequenzbereich ab 3 GHz.



Spektrumanalysator Advantest R 3131 A



Bikonische Rundstrahl- bzw. Rundstrahlantenne Schwarzbeck UBA 9116



Dipol-Rundstrahl- bzw. Rundstrahlantenne Schwarzbeck UBA 9125 D

3.2 Übersichtsmessung und externe Quellen

An sechs Messpunkten wurde zu Beginn der Messungen ein Übersichtsspektrum über den Frequenzbereich von 50 bis 3000 MHz aufgenommen, um alle relevanten Frequenzbänder zu ermitteln, die neben den WLAN-Systemen als Immissionsquellen von Bedeutung sind.

⁶ Wolfram König, Präsident des Bundesamtes für Strahlenschutz in seiner Eröffnungsansprache zum zweiten BfS-Fachgespräch „Forschungsprojekte zur Wirkung elektromagnetischer Felder des Mobilfunks“, Berlin, 25.9.2003.

Weiterhin tragen diese Übersichtsmessungen auch dazu bei, die Immissionen hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung durch die WLAN-Systeme in Relation setzen zu können zu den durch andere Strahlungsquellen hervorgerufenen Immissionen in anderen Frequenzbereichen.

Die Ergebnisse sind in den **Diagrammen 1 bis 6** im Anhang dargestellt.

Im Anschluss an die Übersichtsmessungen wurde an den gleichen Standorten in den bei den Übersichtsmessungen festgestellten Frequenzbereichen mit Dauersendern Detailmessungen vorgenommen, sofern die Intensitäten in diesen Frequenzbereichen nicht bereits den Spektren der Übersichtsmessung zu entnehmen waren.

Dabei handelt es sich um:

- Rundfunksender im UKW-Bereich
- Fernsehsender sowie weitere Quellen im VHF- und UHF-Bereich
- Mobilfunksender im GSM-900 Bereich (klassisch D-Netze): separate Messung
- Mobilfunksender im GSM-1800 Bereich (klassisch E-Netze): separate Messung
- Schnurlose Telefone nach dem DECT-Standard (Messung zusammen mit dem GSM-1800 Frequenzbereich)
- Mobilfunksender im UMTS-Bereich: separate Messung

3.2.1 Rundfunk- und Fernsehsender

Die Leistungsflussdichten der UKW-Rundfunksender wurden durch Integration des UKW-Frequenzbereichs aus separaten Spektren für den Frequenzbereich 80 bis 110 MHz ermittelt. Die Intensitäten der Fernsehsender und weiterer Quellen im UHF-Bereich wurden aus den Übersichtsspektren bestimmt (vgl. Diagramme 1 bis 6 im Anhang). Die Ergebnisse sind in **Tabelle M1** und **M2** im Anhang enthalten.

3.2.2 Mobilfunksender

Wie sich bei den Übersichtsmessungen zeigte, tragen die Mobilfunksender zu den Gesamtmissionen nicht unerheblich bei, allerdings – je nach Lage des Messpunktes – in sehr unterschiedlichem Ausmaß. Im Anschluss an die Übersichtsmessungen wurden jeweils am gleichen Standort die Frequenzbereiche der Mobilfunksender der Netze GSM-900 (D-Netze) und GSM-1800 (E-Netze) und UMTS in separaten Messungen untersucht.

Jeweils unmittelbar benachbarte Frequenzbereiche wurden in die Messung mit eingeschlossen:

- GSM-900: Frequenzbereich von 920 bis 960 MHz (einschließlich GSM-Rail)
- GSM-1800: Frequenzbereich von 1820 bis 1900 MHz (einschließlich DECT-Telefone)

Abgesehen davon wurde der Frequenzbereich auf das Downlink-Band⁷ des jeweiligen Mobilfunknetzes beschränkt, um dort die Intensitäten einzelner Kanäle erkennen und separat analysieren zu können. Wie es für Mobilfunkbasisstationen üblich ist, wurden sowohl im GSM-900- als auch im GSM-1800-Bereich viele Sendefrequenzen (Kanäle) festgestellt.

Die aus den Kanalintensitäten sowie der Kanalanzahl bestimmten integralen Messwerte sind (nach Hochrechnung auf Volllastung (vgl. die folgenden Kapitel 3.3.1 und 3.3.2) ebenfalls in den Tabellen M1 und M2 im Anhang angegeben.

3.3 Messverfahren Mobilfunksender und Hochrechnung auf Volllastung

An den Messpunkten der Übersichtsmessung wurden für die GSM-900-Netze, die GSM-1800-Netze und die UMTS-Netze jeweils ein Einzelspektrum mit der Max-Hold-Funktion des Spektrumanalysators aufgenommen. Dabei wurde die Messantenne manuell in dem zu untersuchenden Bereich bewegt (Schwenkmethode), um den höchsten Wert zu ermitteln.

Mobilfunksendeanlagen senden nicht permanent mit voller Leistung, sondern mit einer Sendeleistung, die sowohl durch die aktuelle Gesprächsauslastung als auch durch die Qualität der Funkverbindung der einzelnen Verbindungen zu den Endgeräten (Handys) bestimmt wird. Zur Berücksichtigung der wechselnden Anlagenauslastung wurden – wie bei Messuntersuchungen im Mobilfunkbereich üblich – auch bei dieser Messung die am Messtag ermittelten Leistungsflussdichten auf volle Auslastung der Mobilfunkanlagen hochgerechnet.

Das Hochrechnungsverfahren unterscheidet sich für GSM- und UMTS-Basisstationen und wird in den folgenden Unterkapiteln dargestellt.

3.3.1 Hochrechnung auf Volllastung für die GSM-Basisstationen

Die Hochrechnung auf Volllastung wurde für die GSM-Basisstationen der einzelnen Betreiber basierend auf der Annahme durchgeführt, dass die Basisstationen der Betreiber T-Mobile und Vodafone üblicherweise mit insgesamt 4 Kanälen pro Sektor arbeiten und die Basisstationen der Betreiber E-Plus und O₂ normalerweise mit 2 Kanälen pro Sektor ausgestattet sind. Soweit aus den gemessenen Spektren andere Kanalzahlen für die einzelnen Netzbetreiber zu entnehmen waren, wurden diese bei der Hochrechnung verwendet.

Mit der Kenntnis der Kanalanzahl wurde sodann die folgende Hochrechnung auf Volllastung der einzelnen Basisstationen vorgenommen: Aus den Spektren wurde die Intensität des Basiskanals der einzelnen Sektoren bestimmt und diese Kanalintensität mit der Anzahl der maximal gleichzeitig benutzten Kanäle multipliziert. Die so ermittelte Leistungsflussdichte entspricht der maximal zu erwartenden Immission,

⁷ Downlink = Übertragungsrichtung von der Basisstation zum Mobilgerät (Handy)

wenn in allen Sektoren dieser Basisstation alle Kanäle mit voller Sendeleistung betrieben werden.

3.3.2 Hochrechnung auf Volllastung für die UMTS-Basisstationen

Für die UMTS-Basisstationen erfolgte die Hochrechnung auf Volllastung unter der Annahme, dass das UMTS-Netz zur Zeit nur mit mäßiger Auslastung betrieben wird.

Es wurde daher angenommen, dass die gemessenen Intensitäten ausschließlich durch die – unabhängig von der Auslastung stets ausgestrahlten – Pilotkanäle und eine sehr geringe Nutzdatenübertragung verursacht werden und für diese zusammen zur Zeit nur ca. 15 Prozent der Maximalsendeleistung benutzt werden⁸. Zur Hochrechnung auf Volllastung wurden dementsprechend die Messergebnisse mit einem Faktor 6,7 multipliziert sowie die Benutzung des zweiten Frequenzkanals berücksichtigt. Die Hochrechnung auf Volllastung entspricht somit der Immissionssituation, die im ungünstigsten Fall bei maximaler Sendeleistung der derzeitigen Sendeanlagen zu erwarten ist.

Weiterhin wurden bei allen Ergebnissen mögliche Messunsicherheiten entsprechend Kapitel 3.5, S. 9 berücksichtigt, wie es bei Untersuchungen zur Grenzwertüberprüfung üblich ist. Dies entspricht für die in den Tabellen M1 bis M4 genannten Ergebnisse einer Verdopplung der tatsächlich gemessenen Leistungsflussdichten.

3.4 WLAN-System

In den Gebäuden auf dem Campus der Universität Bremen ist bisher ein WLAN-System installiert, das parallel im Frequenzbereich 2,4 GHz (Standards IEEE 802.11b und IEEE 802.11g) und im Frequenzbereich 5 GHz (Standard IEEE 802.11a) arbeitet. Das WLAN-System dient hauptsächlich zur mobilen Anbindung von Notebooks usw. an das Internet und das Datennetz der Universität.

Das WLAN-System unterliegt im Normalfall der automatischen Steuerung durch einen Controller-Rechner, der sowohl die Kanalzuordnung als auch die Sendeleistung der Access-Points steuert. Durch diese automatische Steuerung ist es schwierig, an einzelnen Access-Points gezielt eine hohe Datenübertragungslast zu erzeugen und dem Access-Point eine bestimmte Betriebsart vorzugeben.

Für die Durchführung der in diesem Gutachten beschriebenen Messungen wurden daher von den Mitarbeitern der Universität Bremen für die zu untersuchenden Access-Points spezielle Profile eingerichtet, die diese Access-Points aus der automatischen Steuerung herausnehmen und es den zur Erzeugung der Datenübertragungs-

⁸ Hierbei handelt es sich um eine Worst-Case-Abschätzung, da für den Fall, dass die Basisstation zum Messzeitpunkt doch einen höheren Anteil Nutzdaten übertragen hat, ein höherer Messwert ermittelt wurde als es der reinen Pilotkanalleistung entspricht und demzufolge auch das hochgerechnete Endergebnis zu hoch ausfällt.

last eingesetzten Notebooks ermöglichen, sich mit einem dezidierten Access-Point zu verbinden und die gewünschte Betriebsart vorzugeben. Weiterhin wurden bei dieser manuellen Konfiguration auch die höchsten Sendeleistungen der Access-Points ausgewählt, so dass die gemessenen Immissionen der Worst-Case-Situation entsprechen.

Alle Messungen an den WLAN-Komponenten (Access-Points und Notebook bzw. WLAN-Adapter) wurden bei hoher Datentransferrate zwischen dem Access-Point und einem Notebook vorgenommen. Dazu wurde an dem jeweiligen Access-Point ein Notebook eingesetzt, das durch Kopieren großer Dateien eine hohe Auslastung der Funkstrecke bewirkte. Bei den Messungen in der Cafeteria wurden gleichzeitig 4 Notebooks zur Erzeugung der Datenübertragungslast eingesetzt. Daneben waren auch die Notebooks der dort anwesenden Studenten in Betrieb.

Die Messungen wurden mit der Max-Hold-Funktion des Spektrumanalysators durchgeführt. Die Beobachtungszeit wurde dabei jeweils so lange ausgedehnt, bis sich ein vollständiges Spektrum über das vom jeweils untersuchten Access-Point benutzte Frequenzband ausgebildet hatte.

Da der Access-Point während der Messungen unter hoher Last betrieben wurde, bildet sich das Spektrum jeweils schnell heraus. Durch die Messung im Max-Hold-Modus wird in jedem Fall (unabhängig von der zum Messzeitpunkt tatsächlich vorliegenden Auslastung) die maximal mögliche Emission durch den Access-Point ermittelt. Das heißt, es wird eine Worst-Case-Betrachtung durchgeführt⁹.

3.4.1 Integration der Spektren

Die einzelnen Kanäle von WLAN-Access-Points nach IEEE 802.11_ belegen eine Bandbreite von jeweils ca. 20 MHz.

Da die belegte Bandbreite von ca. 20 MHz wesentlich größer ist als die Auflösungsbandbreite des Spektrumanalysators (RBW = Resolution Bandwidth) von 1 MHz, kann die Leistungsflussdichte nicht einfach durch Ablesen der maximalen Peakhöhe im Spektrum bestimmt werden, sondern es muss eine Integration über den gesamten vom Access-Point benutzten Frequenzkanal vorgenommen werden.

3.5 Messunsicherheiten

Eine Messung im Hochfrequenzbereich erstreckt sich typischerweise über viele Größenordnungen der Leistungsflussdichte und ist zum Beispiel auf Grund der Kalibrierpräzision der eingesetzten Messgeräte und Messantennen immer mit gewissen Unsicherheiten behaftet. Um im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung als Endergebnis einer Untersuchung eine Aussage der Art *„Die Strahlungsimmission ist nicht höher als ...“* treffen zu können, werden die bei der Messung ermittelten Werte mit einem

Sicherheitsaufschlag zur Berücksichtigung der Messunsicherheiten versehen.

Zu den Messunsicherheiten gehören in diesem Fall unter anderen:

- Kalibrierung der Spektrumanalysatoren
- Kalibrierung der Messantennen und des Messkabels
- Manuelle Abtastung des zu untersuchenden Raumvolumens (Schwenkmethode).

Die Messunsicherheit des gesamten Messsystems bestehend aus Spektrumanalysator, Messantennen und -kabeln wird für alle Messungen mit 3 dB abgeschätzt.

Im Innenbereich hat die Reflexion der Strahlung an Gebäudewänden, -decken und -böden erheblichen Einfluss auf die Immission an einem bestimmten Ort. Sowohl bei hausinternen Quellen (WLAN-Access-Points, DECT-Telefon-Basisstationen) als auch bei externem Strahlungseinfall aus undefinierter Richtung (Rundfunk, Fernsehen, Mobilfunk) unterliegen daher die Leistungsflussdichten in Innenräumen deutlich größeren Schwankungen als bei Messungen im Außenbereich. Zur Berücksichtigung dieses Effekts wurde – wiederum im Sinne einer Worst-Case-Abschätzung – für alle Messungen außer den Abstandsverteilungen an Notebook und WLAN-USB-Adapter ein größeres Raumvolumen durch manuelles Schwenken der Messantenne abgesehen (Schwenkmethode). Da während des Schwenkens der Spektrumanalysator im Max-Hold-Modus betrieben wird, wird hierdurch sichergestellt, dass das Maximum der Immissionen in dem untersuchten Raumvolumen erfasst wird.

Bei der Abstandsuntersuchung an Notebook und WLAN-USB-Adapter verbietet sich naturgemäß ein großräumiges Schwenken, da ansonsten kein definierter Abstand eingehalten werden kann. Bei diesen Messungen wurde allerdings durch manuelles Drehen der Messantenne sichergestellt, dass das Maximum der Feldstärke bei verschiedenen Polarisationsrichtungen erfasst wurde.

Die Abstandsmessungen wurden bewusst in normalen Arbeitsräumen durchgeführt, um die Immissionen unter möglichst realistischen Verhältnissen zu erfassen. Dabei wurden die kleinräumigen Schwankungen der Feldstärke durch Beugung und Reflexion in Innenräumen bewusst in Kauf genommen. Es ist daher bei diesen Abstandsmessungen nicht zu erwarten, dass sich das aus der Theorie zu erwartende Abstandsverhalten¹⁰ ergibt.

Entsprechend den vorstehenden Erläuterungen wurde für die Berechnung der in den Tabellen M1 bis M4 angegebenen Leistungsflussdichten zu den Originalmesswerten der beschriebene Sicherheitsaufschlag von 3 dB hinzuaddiert, wodurch die dort genannten Leistungsflussdichten um den **Faktor 2** höher liegen als die tatsächlichen Messwerte.

⁹ Die relativ hohe Auslastung der Access-Points ist somit nur für eine zügige Durchführung der Messungen erforderlich, nicht aber für die Herstellung der Worst-Case-Situation.

¹⁰ die Leistungsflussdichte sinkt mit dem Quadrat des Abstandes

4 Durchführung der Messung

Datum der Messungen: **Mittwoch: 17.02.2010, 08:30 bis 19:15 Uhr**
Donnerstag: 18.02.2010, 08:30 bis 16:30 Uhr

4.1 Vorbereitungen

Vor Untersuchungsbeginn am 17.02. erfolgte eine Besprechung im Mehrzweckhochhaus (MZH), Raum 4380, 4. Ebene, an der folgende Personen teilnahmen:

Herr Niels Pollem, Herr Markus Germeier

Frau Christel Wienrich und Herr Jürgen Hubrich vom Personalrat

Frau Sabine Kaulbach vom Referat Arbeitssicherheit

Herr Schwarzenbach, Herr Volk

sowie 2 studentische Hilfskräfte Herr Domrose und Erik....

Frau Bathow und Herr Nießen vom EMF-Institut aus Köln.

Nach einer Vorstellungsrunde wurden der Messablauf, die Messpunktauswahl und die Untersuchungen an den Notebooks besprochen:

- Exemplarisch sollen in drei Gebäuden des Campus die Immissionen im Umkreis von Standorten gemessen werden, an denen sich bereits Access-Points befinden.
- An einem Access-Point sollen exemplarisch die Betriebsarten verglichen werden.
- Bei der Messpunktauswahl sollen vor allem hochexponierte Standorte ausgewählt werden, also in Nähe der Access-Points.
- Die Untersuchung der anderer Quellen hochfrequenter Strahlung (Übersichtsmessungen) sollen je nach Situation in den einzelnen Gebäuden erfolgen.
- In der Cafeteria sollen Standorte mit exemplarischen Nutzern und Standorte ohne direkte Nutzer untersucht werden.
- Immissionsmessungen in verschiedenen Abständen und Benutzungssituationen sollen an einem Notebook mit im Deckel (neben dem Display) eingebauter Antenne und an einem WLAN-USB-Adapter erfolgen.

4.2 Messablauf

Die Messungen erfolgten entsprechend dem in Kap. 3, S. 5 ff. beschriebenen Verfahren. Die Messstandorte sind die in **Lagepläne 1 bis 5** im Anhang eingezeichnet.

Die Einzeluntersuchungen sind detailliert in den Kapiteln 5.1 bis 5.5 (ab S. 14) beschrieben. Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass es sich bei allen Messungen an den WLAN-Komponenten um die Worst-Case-Situation handelt, da die Access-Points – wie in Kapitel 3.4 beschrieben – manuell auf maximale Sendeleistung konfiguriert wurden und durch speziell zur Erzeugung von Datenübertragungslast eingesetzte Notebook mit hoher Auslastung betrieben wurden.

Die Ergebnisse der Einzelmessungen sind in den Tabellen **M1** bis **M4** im Anhang dargestellt.

Bei den Messungen in der Cafeteria (vgl. Kap. 5.4, ab S. 22) waren im Sinne einer möglichst realistischen Betrachtungsweise der Summationswirkung mehrerer Access-Points und vieler Nutzer-Notebooks (wie im Normalfall) auch die Notebooks der dort anwesenden Studenten im Normalbetrieb mit üblicher WLAN-Nutzung.

4.3 Sonstige Quellen

Zur Erfassung der Immissionen hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung aus weiteren (über das WLAN-System hinausgehenden) Quellen wurden an sechs Messpunkten (MP1, MP4, MP5, MP8, MP10, MP11) Übersichtsmessungen im Frequenzbereich von 50 bis 3000 MHz entsprechend dem in Kapitel 3.2 beschriebenen Verfahren vorgenommen.

Dabei wurde jeweils ein großer Teil des zu untersuchenden Raums mit der Schwenkmethode (manuelles Schwenken der Messantenne, vgl. Kapitel 3.5) nach den höchsten Immissionen abgesucht.

Die Spektren der Übersichtsmessungen sind in den **Diagrammen 1** bis **6** im Anhang dargestellt. Weiterhin sind die Ergebnisse der Detailmessungen sonstiger Quellen bei den genannten Messpunkten in den Ergebnistabellen M1 und M2 im Anhang mit aufgeführt sowie neben den Fotos in Kapitel 5.3 und 5.4 (ab S. 18) angegeben.

Wie die Diagramme zeigen tragen im Wesentlichen folgende externe Quellen zu den Immissionen bei:

- UKW-Rundfunk- und Fernsehsender (Frequenzbereich 80 bis 750 MHz)
- Mobilfunksender der GSM-900-Netze (Frequenzbereich 925 bis 960 MHz)
- Mobilfunksender der GSM-1800-Netze (Frequenzbereich ca. 1820 bis 1880 MHz)
- Mobilfunksender der UMTS-Netze (Frequenzbereich ca. 2110 bis 2170 MHz)

Als Ergebnis zeigte sich, dass vor allem UKW-Rundfunksender und Mobilfunkbasisstationen der GSM-900- und UMTS-Netze wesentlich zu den Gesamtmissionen beitragen.

Für die Frequenzen der Mobilfunksender der GSM-900- und GSM-1800- und UMTS-Netze wurden jeweils separate Detailmessungen durchgeführt, bei denen die einzelnen Kanäle der Mobilfunksender erfasst wurden, um eine Hochrechnung auf Vollaustattung der Mobilfunknetze zu ermöglichen (vgl. Kapitel 3.3, S. 7)¹¹.

Weiterhin sind natürlich auch die Immissionen der WLAN-Access-Points im 2,4 GHz-Bereich in den Spektren der Übersichtsmessung enthalten. Die Intensität des WLAN-Signals ist in diesen Diagrammen allerdings ohne besondere Bedeutung, da bei den

¹¹ Die Einzelspektren sind im Gutachten nicht dargestellt, wurden aber separat ausgewertet, um die in den Tabellen angegebenen Immissionen durch die GSM-900-, GSM-1800- und UMTS-Netzen sowie die Basisstationen der schnurlosen Telefone nach dem DECT-Standard zu ermitteln.

Übersichtsmessungen ein größeres Raumvolumen abgesucht wurde und daher sehr unterschiedliche Entfernungen zum Access-Point während der Messung auftraten und die Access-Points sich nicht in einem dezidierten Betriebszustand befanden. Für die Beurteilung der Immissionen durch das WLAN-System sind daher ausschließlich die numerischen Ergebnisse in den Tabellen M1 bis M4 heranzuziehen.

4.3.1 Zusammenfassung externe Quellen

Insgesamt ist hinsichtlich der externen Quellen festzustellen, dass die durch Mobilfunkbasisstationen (insbesondere GSM-900- und UMTS-Netze) verursachten Immissionen in den untersuchten Räumen der Universität Bremen je nach Lage in Bezug zu der Mobilfunksendeanlage auf dem Universitätsgelände sowie zu sonstigen Mobilfunkbasisstationen in der Umgebung sehr unterschiedlich ausfallen. Die Summe der durch externe Quellen verursachten Immissionen (Rundfunk- und Fernsehsender, Mobilfunknetze) liegt an den Messpunkten im Gebäude SFG sowie in der Cafeteria im Gebäude GW2 weit unterhalb von 1 mW/m^2 .

An den hochgelegenen Messpunkten in Ebene 5 im Gebäude MZH treten durch die externen Quellen allerdings wesentlich höhere Immissionen auf:

An Messpunkt MP1 (MZH, Raum 5210) verursachen die externen Quellen Immissionen von ca. 3 mW/m^2 . Wegen der vergleichbaren Lage des benachbarten Raums 5200 sind auch dort (MP2) Immissionen durch externe Quellen in ähnlicher Höhe zu erwarten.

Wesentlich höhere Immissionen durch externe Quellen (ca. 30 mW/m^2) traten an Messpunkt MP4 (MZH, Ebene 5, Raum 5370) auf. Diese Immissionen werden im Wesentlichen verursacht durch die von dort in direkter Sicht zu sehende Mobilfunkbasisstation auf dem Universitätsgelände (vgl. die folgenden Fotos).



Foto 1: Blick aus Raum 5370 (MZH) auf die Mobilfunkbasisstationen gegenüber

5 Untersuchungen WLAN-System und Darstellung der Ergebnisse

Alle Messpunkte und die Standorte der untersuchten Access-Points sind in den Lageplänen 1 bis 5 im Anhang eingezeichnet. Die einzelnen Untersuchungsteile zum WLAN-System werden in den folgenden fünf Unterkapiteln dargestellt.

5.1 Einfluss von Access-Points auf anderen Etagen

Messpunkt MP1: MZH Raum 5210

Zu Beginn der Untersuchungen galt es, zunächst die Frage zu klären, welche Summationswirkung von Access-Points zu erwarten ist, die in unterschiedlichen Räumen aber relativ dicht beieinander liegen. Dazu wurde an MP1 exemplarisch untersucht, welcher Einfluss von einem Access-Point in der Etage unterhalb des Messpunktes ausgeht.

Die Messung erfolgte im Mehrzweckhochhaus (MZH), Ebene 5, Raum 5210.

Zunächst erfolgte eine Messung der Immissionen, die durch den im direkt angrenzenden Nebenraum 5221 befindlichen Access-Point verursacht wurden. Zwischen Messpunkt und Access-Point befindet sich in diesem Fall nur eine Gipskartonwand. Anschließend wurde dieser Access-Point in Raum 5221 außer Betrieb genommen. Fast unmittelbar unterhalb von MP1 befindet sich auf Ebene 4 ein Access-Point in Raum 4200 (vgl. Plan 2 im Anhang). An diesem Access-Point wurden nacheinander sowohl im 5 GHz-Band als auch im 2,4 GHz-Band mittels Notebooks hohe Auslastungen erzeugt. Damit erfolgte dann in Raum 5210, die Messung der Immissionen.

Wie die Ergebnisse in Tabelle M1 im Anhang zeigen stellte sich heraus, dass in beiden WLAN-Frequenzbereichen eine Dämpfung ca. um den Faktor 100 oder mehr vorliegt (bezogen auf die Leistungsflussdichten).

5.1.1 Ergebnis

Für den weiteren Untersuchungsablauf bedeutet dies, dass Access-Points auf anderen Etagen bei den Immissionsmessungen nicht berücksichtigt werden müssen.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass in Gebäuden mit Betondecken, die durch Access-Points in anderen Etagen verursachten Immissionen so gering sind, dass sie im Vergleich zu anderen Quellen hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung unbedeutend sind.

5.2 Detaillierter Vergleich verschiedener Access-Points in unterschiedlichen Betriebsarten

Seit etwa 2004 wird auf dem Campus der Universität Bremen zur WLAN-Versorgung der Access-Point Cisco 1131 eingesetzt, der über folgende Betriebsarten verfügt:

- IEEE 802.11 b/g (WLAN-Netze im Frequenzbereich 2,4 GHz)
- IEEE 802.11 a (WLAN-Netze im Frequenzbereich 5 GHz).

Als Nachfolgemodell wird ab 2009/2010 der Access-Point Cisco 1142 eingesetzt, der zusätzlich über folgende Betriebsarten verfügt:

- IEEE 802.11 n (WLAN-Netze im Frequenzbereich 2,4 GHz)
- IEEE 802.11 n (WLAN-Netze im Frequenzbereich 5 GHz).

Bei den Messungen in diesem Kapitel wird untersucht, inwieweit sich die Immissionen durch die seit 2009/2010 eingesetzten Access-Points und die zusätzlichen Betriebsarten von den Immissionen durch die seit 2004 in Betrieb befindlichen Access-Points unterscheiden.

Die Detailmessungen zum Betriebsartvergleich wurden alle in der Umgebung des Access-Points in Raum 5221 (5. Ebene MZH) durchgeführt. Die Messungen erfolgten in:

- Raum 5210 (Seminarraum)
- Raum 5200 (Sekretariat)
- Raum 5221 (kleiner Lagerraum neben Raum 5220)
Dieser Raum wurde exemplarisch ausgewählt für eine Situation mit einem sehr dicht an einem Arbeitsplatz befindlichen Access-Point.

Untersucht wurden im 2,4 GHz Bereich:

- Cisco 1131 (Einsatz ab 2004)
 - Betriebsart IEEE 802.11 b/g
- Cisco 1142 (Einsatz ab 2009/2010)
 - Betriebsart IEEE 802.11 b/g
 - Betriebsart IEEE 802.11 n

Untersucht wurden im 5 GHz Bereich:

- Cisco 1131 (Einsatz ab 2004)
 - Betriebsart IEEE 802.11 a
- Cisco 1142 (Einsatz ab 2009/2010)
 - Betriebsart IEEE 802.11 a
 - Betriebsart IEEE 802.11 n

Um einen realistischen Vergleich zu ermöglichen wurde die Messung so durchgeführt, dass die zu vergleichenden Access-Points gleichzeitig, aber auf verschiedenen Kanälen betrieben werden. Dadurch können die Immissionen in einer einzigen Messwertaufnahme im gleichen Spektrum erfasst werden (vgl. beispielhaft das folgende Spektrum).

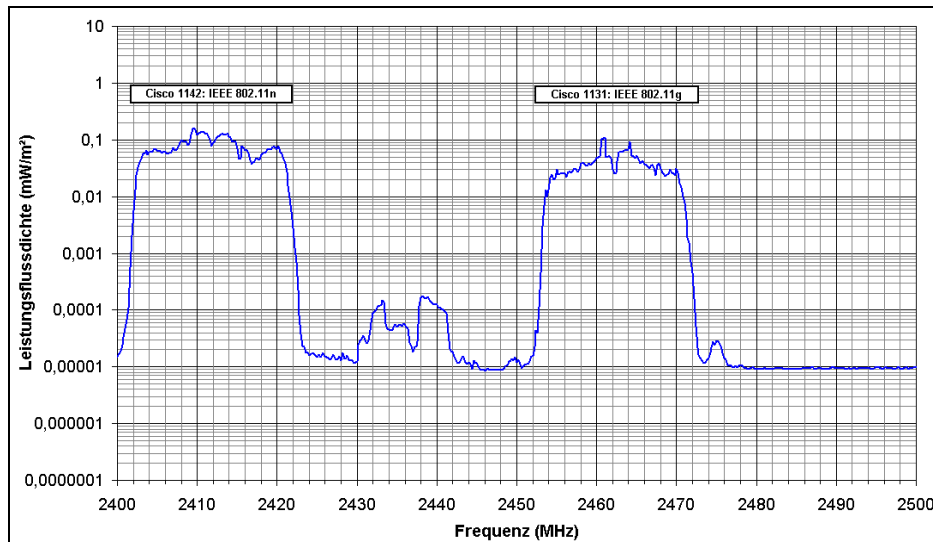
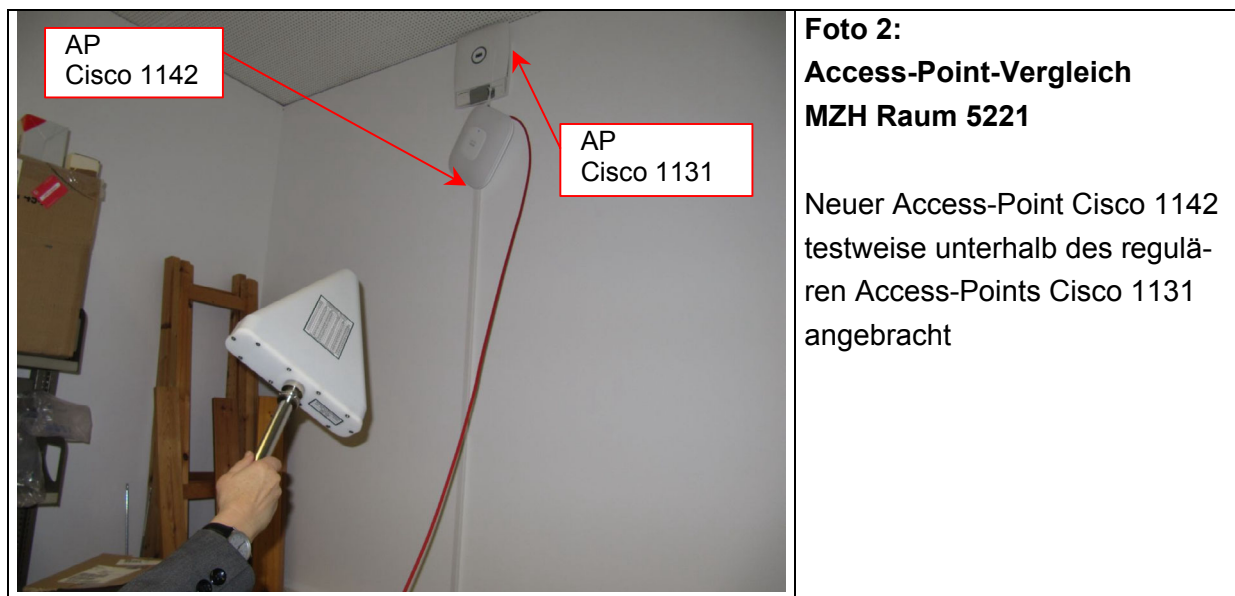


Abbildung 1: Beispielspektrum (gleichzeitige Messung verschiedener Access-Points)



**Foto 2:
Access-Point-Vergleich
MZH Raum 5221**

Neuer Access-Point Cisco 1142
testweise unterhalb des regulären
Access-Points Cisco 1131
angebracht

Der Hauptvorteil dieses Verfahrens liegt darin, dass das Ergebnis unabhängig wird von dem untersuchten Raumvolumen, das während der Messwertaufnahme durch Schwenken der Messantenne erfasst wird. Bei zwei separaten Messungen besteht stets die Gefahr, dass die untersuchten Raumbereiche sich etwas unterscheiden und diese Unterschiede im untersuchten Raumvolumen ggf. mehr Einfluss auf das Ergebnis haben als die durch die unterschiedlichen Access-Points bzw. Betriebsarten verursachten Emissionen. Dieser Vorteil wird erkaufte durch die wesentlich aufwendigere Einrichtung des Messaufbaus, bei dem beide Access-Points gleichzeitig unter hoher Übertragungslast und auf verschiedenen Frequenzen betrieben werden müssen.

Bei den Vergleichen wurde untersucht:

1. bisherige und neue Access-Points in gleicher Betriebsart
2. bisherige und neue Access-Points in jeweils bestmöglicher (neuester) Betriebsart

Etwas detaillierter bedeutet dies:

1. bisherige und neue Access-Points in gleicher Betriebsart
 - Im 2,4 GHz-Bereich werden somit verglichen:
 - Cisco 1131 (Einsatz ab 2004) Betriebsart IEEE 802.11 b/g
 - Cisco 1142 (Einsatz ab 2009/2010) Betriebsart IEEE 802.11 b/g
 - Im 5 GHz-Bereich werden somit verglichen:
 - Cisco 1131 (Einsatz ab 2004) Betriebsart IEEE 802.11 a
 - Cisco 1142 (Einsatz ab 2009/2010) Betriebsart IEEE 802.11 a
2. bisherige und neue Access-Points in jeweils bestmöglicher (neuester) Betriebsart
 - Im 2,4 GHz-Bereich werden somit verglichen:
 - Cisco 1131 (Einsatz ab 2004) Betriebsart IEEE 802.11 b/g
 - Cisco 1142 (Einsatz ab 2009/2010) Betriebsart IEEE 802.11 n
 - Im 5 GHz-Bereich werden somit verglichen:
 - Cisco 1131 (Einsatz ab 2004) Betriebsart IEEE 802.11 a
 - Cisco 1142 (Einsatz ab 2009/2010) Betriebsart IEEE 802.11 n

5.2.1 Ergebnisse

Die Einzelergebnisse sind in Tabelle M1 im Anhang aufgeführt. Die Messergebnisse zeigen, dass weder die unterschiedlichen Betriebsarten noch die verschiedenen Access-Points wesentliche Unterschiede bei den Immissionen aufweisen. Weiterhin ist zu erkennen, dass die Ergebnisse sowohl nach oben als auch nach unten geringfügig voneinander abweichen, was wahrscheinlich auf Exemplarstreuungen der Access-Points oder kleine Unterschiede in der Montageposition zurückzuführen ist. Unabhängig von dem Access-Point-Modell fällt auf, dass immer dann etwas höhere Immissionen auftreten, wenn im 2,4-GHz-Bereich eher bei älteren Notebooks die älteste WLAN-Betriebsart 802.11b eingesetzt wird.

5.3 Vergleich der verschiedenen Access-Points in der jeweils aktuellen Betriebsart an typischen Einsatzpunkten in verschiedenen Gebäuden

In diesem Kapitel wird der wesentliche Vergleich zwischen den Access-Point-Generationen dargestellt. Dabei handelt es sich um den Vergleich der ab 2009/2010 eingesetzten Access-Points Cisco 1142 gegen die seit 2004 in Betrieb befindlichen Access-Points Cisco 1131. Verglichen wird dabei jeweils die modernste Betriebsart beider Access-Point-Generationen:


- Cisco 1131 (Einsatz ab 2004)
 - Betriebsart IEEE 802.11 b/g im 2,4 GHz Bereich
 - Betriebsart IEEE 802.11 a im 5 GHz Bereich
- Cisco 1142 (Einsatz ab 2009/2010)
 - Betriebsart IEEE 802.11 n im 2,4 GHz Bereich
 - Betriebsart IEEE 802.11 n im 5 GHz Bereich

Bei den im Folgenden beschriebenen Immissionsmessungen in der Umgebung von Access-Points wurde die zur Datenübertragung eingesetzten Notebooks jeweils weit entfernt vom Messpunkt aufgestellt, um die Messung der durch die Access-Points verursachten Immissionen nicht zu beeinflussen.

Im Folgenden werden die einzelnen Messpositionen dokumentiert – zum größten Teil durch Fotos – und wesentliche Ergebnisse besprochen. Die Messergebnisse sind detailliert in Tabelle M1 im Anhang dargestellt. Die Relation zu internationalen Grenz- und Vorsorgewerten ist in der Fußzeile der Tabelle angegeben.

5.3.1 Messungen im Mehrzweckhochhaus (MZH)

5.3.1.1 Messpunkt MP1, Raum 5210

	<p>Foto 3: MZH, R. 5210, MP 1g, Raum ges.</p> <p>Access-Point in R. 5221 WLAN 2,4 GHz Cisco 1131: 0,96 mW/m² Cisco 1142: 0,93 mW/m²</p> <p>WLAN 5 GHz Cisco 1131: 1,23 mW/m² Cisco 1142: 0,56 mW/m²</p> <p>Rundfunk: 0,95 mW/m² Mobilfunk: 2,0 mW/m²</p>
---	---

An diesem Messpunkt ist zu beobachten, dass im 2,4 GHz-Bereich die Immissionen durch die neuere Access-Point-Generation etwa gleich (MP1g) oder etwas höher (MP1h u. 1i) ausfällt als durch die seit 2004 benutzten Access-Point-Modelle Cisco 1131.

Im 5-GHz-Bereich ist die Situation eher umgekehrt mit deutlich höheren Immissionen durch die bisherigen Access-Point-Modelle Cisco 1131 (MP 1g und 1 h).

Die höchsten Immissionen treten in der Nähe der Tür auf, d. h. in Nähe des Access-Points in Raum 5221. Hier liegen die Immissionen in beiden WLAN-Bändern bei bis zu ca. 1 mW/m² (MP1d und 1g). Im übrigen Raum (Sitzplatzbereich) liegen die Summenimmissionen durch beide WLAN-Bänder unter 0,7 mW/m² (MP 1e und 1h), im Dozentenbereich unterhalb von 0,5 mW/m² (MP1i).

5.3.1.2 Messpunkt MP2, Raum 5200

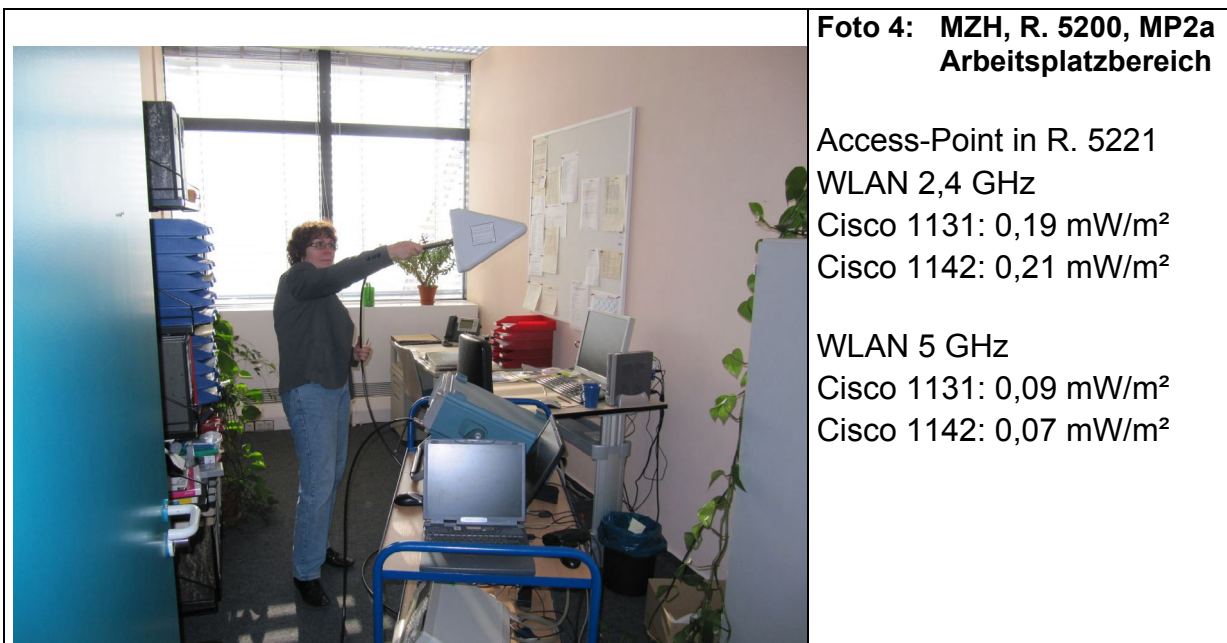


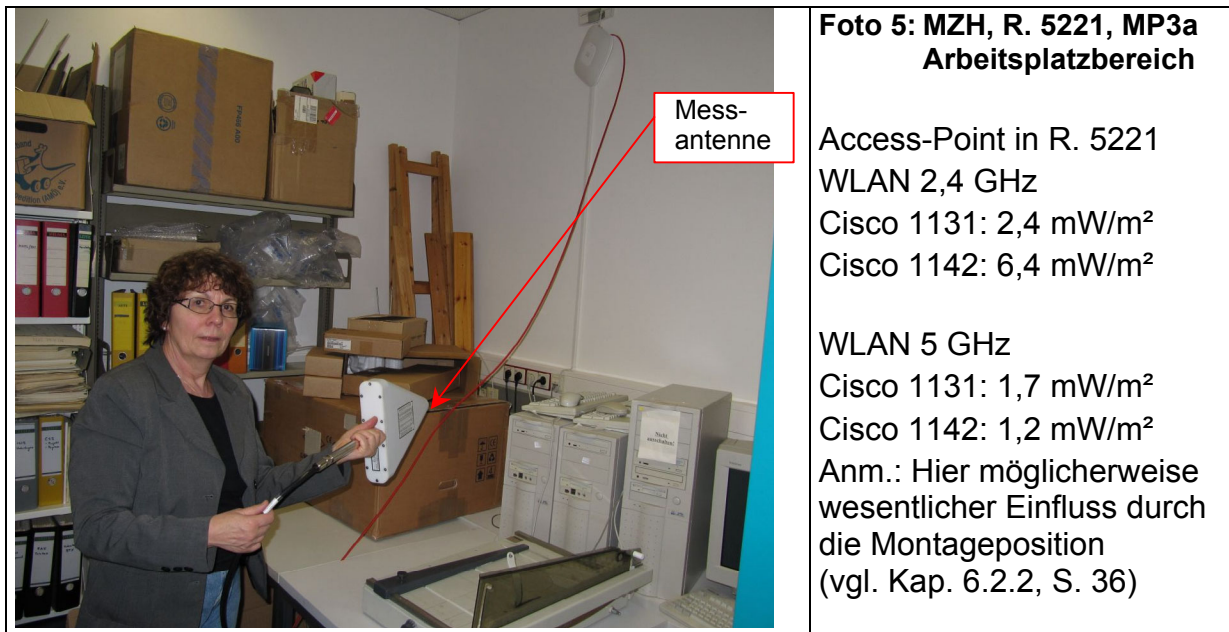
Foto 4: MZH, R. 5200, MP2a Arbeitsplatzbereich

Access-Point in R. 5221
WLAN 2,4 GHz
Cisco 1131: 0,19 mW/m²
Cisco 1142: 0,21 mW/m²

WLAN 5 GHz
Cisco 1131: 0,09 mW/m²
Cisco 1142: 0,07 mW/m²

Wie die Messergebnisse zeigen sind die Immissionen durch die beiden Access-Point-Generationen im Rahmen der Messgenauigkeit in etwa gleich und erreichen selbst bei geöffneter Tür im Arbeitsplatzbereich maximal 0,21 mW/m² (MP 2a in Tabelle M1).

5.3.1.3 Messpunkt MP3, Raum 5221

**Foto 5: MZH, R. 5221, MP3a Arbeitsplatzbereich**

Access-Point in R. 5221
WLAN 2,4 GHz
Cisco 1131: 2,4 mW/m²
Cisco 1142: 6,4 mW/m²

WLAN 5 GHz
Cisco 1131: 1,7 mW/m²
Cisco 1142: 1,2 mW/m²
Anm.: Hier möglicherweise wesentlicher Einfluss durch die Montageposition (vgl. Kap. 6.2.2, S. 36)

In diesem Raum befindet sich kein realer Arbeitsplatz. Der Standort wurde exemplarisch ausgewählt für eine Situation mit einem sehr dicht an einem Arbeitsplatz befindlichen Access-Point (vgl. obiges Foto 2). Die Immissionen betragen hier in einer denkbaren Arbeitsplatzposition bis zu 6,4 mW/m² im 2,4 GHz-Band und bis zu 1,7 mW/m² im 5 GHz-Band (MP3a). Hieraus wird deutlich, dass Dauerarbeitsplätze in ähnlicher Nähe zu einem Access-Point vermieden werden sollten.

5.3.1.4 Messpunkt MP4, Raum 5370

**Foto 6: MZH, R. 5370, MP4b Arbeitsplatzbereich**

Access-Point in R. 5281
WLAN 2,4 GHz
Cisco 1131: 0,045 mW/m²
Cisco 1142: 0,084 mW/m²

WLAN 5 GHz
Cisco 1131: 0,057 mW/m²
Cisco 1142: 0,036 mW/m²

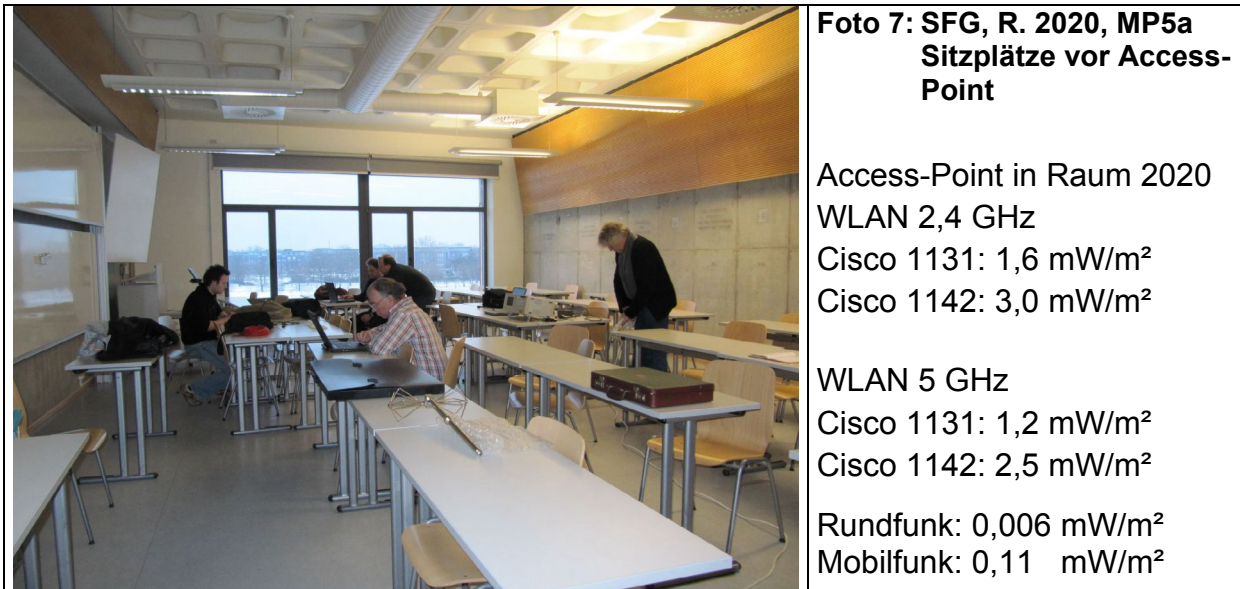
Rundfunk: 1,5 mW/m²
Mobilfunk: 29,0 mW/m²

Auch an diesem Messpunkt zeigt sich eine weitgehende Übereinstimmung der Immissionen der beiden Access-Point-Generationen im Rahmen der Messgenauigkeit. Im 2,4 GHz-Bereich fallen die Immissionen durch die ab 2009/2010 eingesetzte Ac-

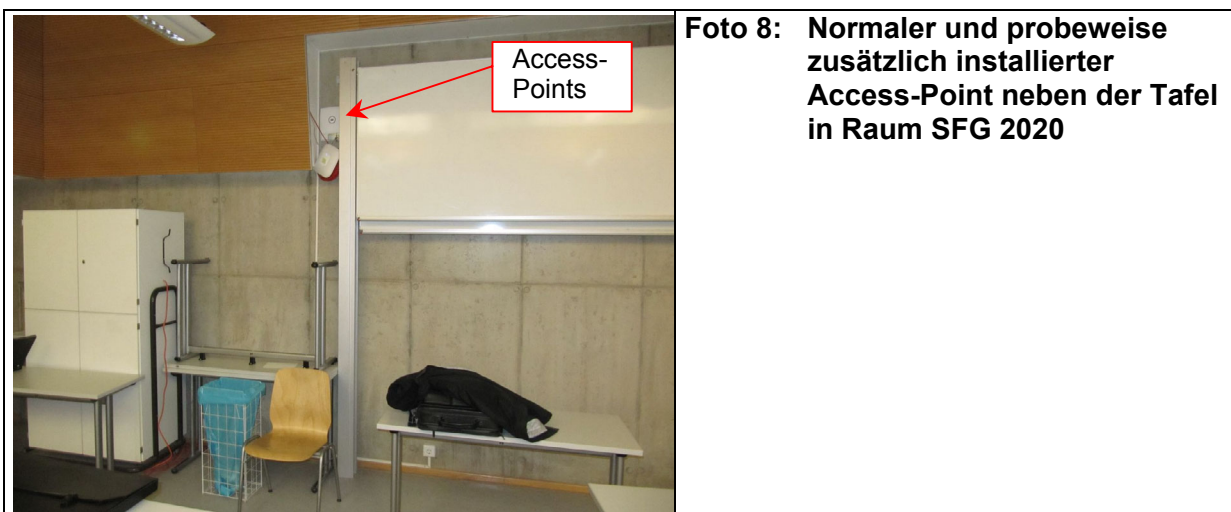
cess-Point-Modell Cisco 1142 etwas höher aus, im 5 GHz-Bereich etwas niedriger. Insgesamt zeigen sich in diesem Raums sehr unproblematische Immissionen, die in der Summe bei maximal 0,34 mW/m² liegen (MP4a). Im Arbeitsplatzbereich betragen die Summenimmissionen maximalen 0,12 mW/m² (MP4b).

5.3.2 Messungen im Seminar- und Forschungsverfügungsgebäude (SFG)

5.3.2.1 Messpunkt MP5, Raum 2020



Beim SFG-Gebäude handelt es sich um ein Gebäude mit massiven Innenwänden. Im Bereich der Vorlesungsräume sind die Access-Points daher innerhalb der zu versorgenden Räume angebracht. Die Messungen in diesem Raum wurden unterteilt in einen Bereich unmittelbar vor dem neben der Tafel angebrachten Access-Point (Foto 8) mit 3 bis 4 Sitzplätzen (MP5a) und dem restlichen Raum wozu alle anderen Sitzplätze und der Dozentenbereich gehören.



An Messpunkt 5a im unmittelbaren Nahbereich (vgl. obiges Foto 7) betragen die Immissionen durch die ab 2009/2010 eingesetzte Access-Point-Modelle (Cisco 1142)

bis zu 5,5 mW/m² bei gleichzeitigem Betrieb beider WLAN-Bänder. Im übrigen Raum (MP5b) betragen die Summenimmissionen hingegen bei beiden Access-Point-Generationen jeweils maximal 1,1 mW/m².

5.3.2.2 Messpunkt MP6, Raum 2030

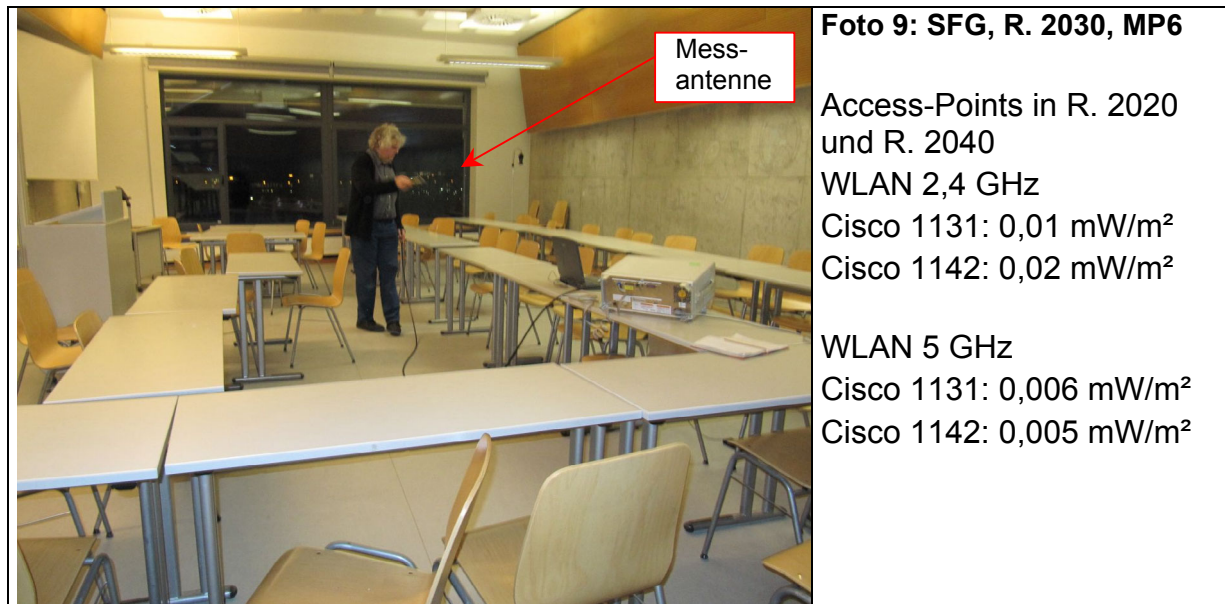


Foto 9: SFG, R. 2030, MP6

Access-Points in R. 2020
und R. 2040

WLAN 2,4 GHz

Cisco 1131: 0,01 mW/m²

Cisco 1142: 0,02 mW/m²

WLAN 5 GHz

Cisco 1131: 0,006 mW/m²

Cisco 1142: 0,005 mW/m²

Im Raum 2030, der unmittelbar neben dem zuvor untersuchten Raum 2020 liegt, befindet sich kein Access-Point. Die hier auftretenden Immissionen werden durch die Access-Points in Raum 2020 und Raum 2040 verursacht und betragen in Summe maximal 0,026 mW/m².

5.4 Untersuchung der Summenimmissionen bei Betrieb einer größeren Anzahl von Access-Points im gleichen Raum

5.4.1 Vorbemerkungen

Untersucht werden soll der Betrieb mehrere Access-Points auf relativ engem Raum in einer realistischen Betriebssituation. Für die Untersuchung ausgewählt wurden verschiedene Ebenen der Cafeteria im Gebäude der Geisteswissenschaft (GW2).

Im Gegensatz zu der in den meisten Universitätsgebäuden vorliegenden Installation der Access-Points in größerem Abstand, sind in der Cafeteria im Gebäude GW2 fünf Access-Points installiert (vgl. Pläne 4 und 5 im Anhang).

Für die Messung wurde mit mehreren in den Räumen der Cafeteria verteilten Access-Points auf jeweils mindestens 4 der dortigen Access-Points eine hohe Auslastung an Datenübertragung erzeugt.

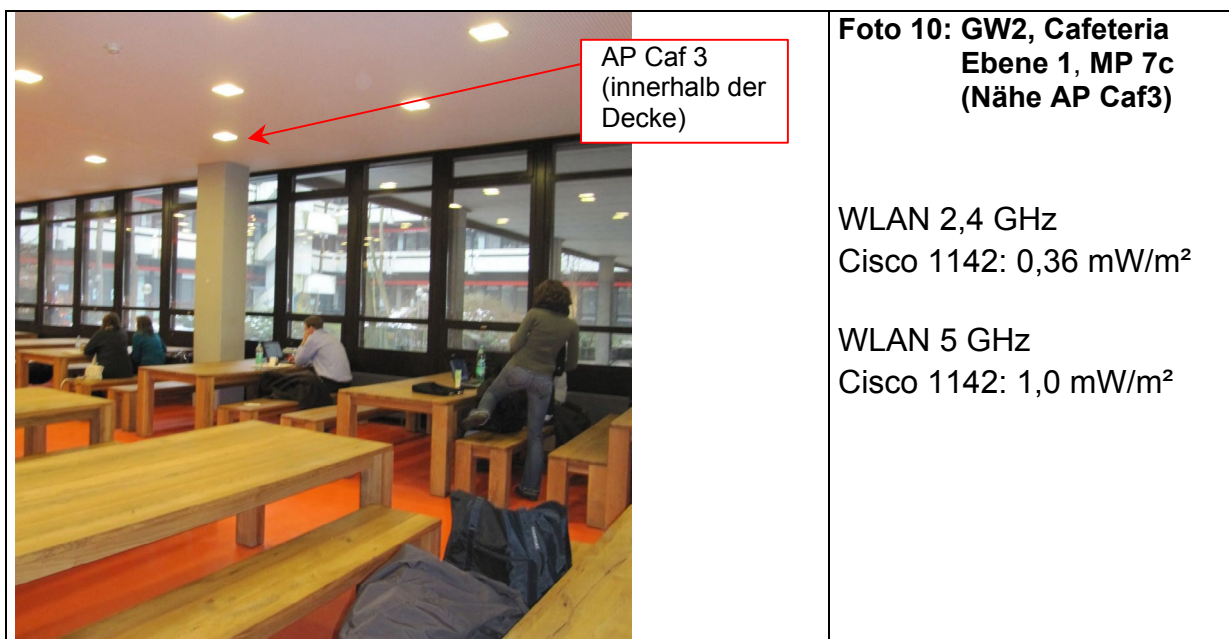
Die Messungen erfolgten an typischen Aufenthaltspunkten in der Cafeteria. Dass hierbei sowohl Summationseffekte zwischen den einzelnen Access-Points auftreten als auch die Immissionen durch Access-Points und Notebooks gemeinsam betrach-

tet werden, ist bei diesem Untersuchungsteil im Sinne einer realistischen Abschätzung der Gesamtimmissionen erwünscht.

In der Cafeteria sind bereits die Access-Points Cisco 1142 (Einsatz ab 2009/2010) installiert und befinden sich dort im Probetrieb. Bei den Messungen in der Cafeteria wurden keine Vergleichsmessungen zwischen verschiedenen Access-Point-Modellen durchgeführt, sondern hier werden die Immissionen durch die neueste Access-Point-Generation Cisco 1142 und ausschließlich in der neuesten Betriebsart 802.11n untersucht. Die Untersuchungen werden separat für das 2,4 GHz- und 5 GHz-Band durchgeführt.

5.4.1.1 Gebäude GW2, Cafeteria Ebene 1

Die Lage der Access-Points und Messbereiche sind in Plänen 4 und 5 im Anhang eingezeichnet. Die Messergebnisse sind im Einzelnen in Tabelle M2 im Anhang aufgeführt. Im Folgenden sind die Messpunkte zum großen Teil durch Fotos dokumentiert und einige Ergebnisse aufgeführt. Wegen der aufwendigeren Inbetriebnahme der zur Lasterzeugung eingesetzten Notebooks im 5-GHz-Band konnten nicht an jedem Messstandort mehrere Einzelergebnisse aufgenommen werden. Außerdem waren an einigen Messpunkten Nutzernotebooks im 2,4 GHz-Band in realem Betrieb, die in zusätzlichen Messpunkten erfasst wurden.





**Foto 11: GW2, Cafeteria
Ebene 1, MP 8**

WLAN 2,4 GHz
Cisco 1142: 0,13 mW/m²

WLAN 5 GHz
Cisco 1142: 0,43 mW/m²

Rundfunk: 0,015 mW/m²
Mobilfunk: 0,050 mW/m²




**Foto 12: GW2, Cafeteria
Ebene 1, MP 9a
(Nähe Access-
Point Caf5)**


Immissionen im Bereich
umliegender Tische:

WLAN 2,4 GHz
Cisco 1142: 0,33 mW/m²

WLAN 5 GHz
Cisco 1142: 0,46 mW/m²

5.4.1.2 Gebäude GW2, Cafeteria Ebene 2

	<p>AP Caf 4</p>	<p>Foto 13: GW2, Cafeteria Ebene 2, MP 10b (Nähe Access-Point Caf4)</p> <p>Immissionen am nächstliegenden Tisch:</p> <p>WLAN 2,4 GHz Cisco 1142: 0,14 mW/m²</p> <p>WLAN 5 GHz Cisco 1142: 0,65 mW/m²</p> <p>Rundfunk: 0,040 mW/m² Mobilfunk: 0,063 mW/m²</p>
---	-----------------	---

	<p>Foto 14: GW2, Cafeteria Ebene 2, MP11a (Nähe Access-Point Caf4)</p> <p>WLAN 2,4 GHz Cisco 1142: 0,15 mW/m²</p> <p>WLAN 5 GHz Cisco 1142: 0,22 mW/m²</p> <p>Rundfunk: 0,01 mW/m² Mobilfunk: 0,04 mW/m²</p>
---	---



**Foto 15: GW2, Cafeteria
Ebene 2, MP12a
(Nähe Access-
Point Caf2)**

WLAN 2,4 GHz
Cisco 1142: 0,54 mW/m²

WLAN 5 GHz
Cisco 1142: 0,48 mW/m²



**Foto 16: GW2, Cafeteria
Ebene 2, MP13a
(Umgebung Ac-
cess-Point Caf1)**

WLAN 2,4 GHz
Cisco 1142: 0,18 mW/m²

WLAN 5 GHz
Cisco 1142: 0,19 mW/m²



**Foto 17: GW2, Cafeteria
Ebene 2, MP14a
(Nähe Access-
Point Caf1)**

WLAN 2,4 GHz
Cisco 1142: 0,13 mW/m²

WLAN 5 GHz
Cisco 1142: 0,31 mW/m²



**Foto 18: GW2, Cafeteria
Ebene 2, MP15
(Nähe Access-
Point Caf1)**

WLAN 2,4 GHz
Cisco 1142: 0,17 mW/m²

WLAN 5 GHz
Cisco 1142: 0,37 mW/m²

5.4.2 Ergebnisse

Wie die Messergebnisse in Tabelle M2 im Anhang zeigen ist grundsätzlich festzustellen, dass der gemeinsame Betrieb von 5 Access-Points in der Cafeteria in den untersuchten Bereichen, die sich nicht in unmittelbarer Nähe eines einzelnen Access-Points befinden, nicht zu relevant erhöhten Immissionen führt.

Die höchsten Immissionen treten jeweils in unmittelbarer Nähe eines einzelnen Access-Points auf und liegen dort in ähnlicher Höhe wie bei den in Kapitel 5.3, ab S. 18 untersuchten einzelnen Access-Points.

In der Cafeteria sind von diesen Bereichen höherer Immissionen insbesondere jeweils der Tisch an MP7 und MP9 betroffen, die sich direkt unterhalb der dortigen Access-Points befinden. Dort treten folgende Immissionen auf:

- MP7b, Kopfhöhe stehend: $0,73 \text{ mW/m}^2$ im 2,4 GHz-Bereich (der 5-GHz-Bereich konnte hier nicht ermittelt werden)
- MP7c, Kopfhöhe sitzend: $0,36 \text{ mW/m}^2$ (2,4 GHz) + $1,0 \text{ mW/m}^2$ (5-GHz)
- MP9, Kopfhöhe sitzend: $1,3 \text{ mW/m}^2$ (2,4 GHz) (5 GHz konnte hier nicht ermittelt werden)

Bei diesen beiden Messpunkten handelt es sich um die höchsten durch Access-Points exponierten Aufenthaltsbereiche in der Cafeteria. Deutlich höhere Immissionen werden auch an diesen Punkten durch die dort betriebenen Nutzernotebooks hervorgerufen (vgl. MP9c, Kopfhöhe sitzend: $4,4 \text{ mW/m}^2$ einschließlich Nutzernotebook).

Immissionen in vergleichbarer Höhe treten ebenfalls in direkter Nähe von Access-Point Caf4 an MP10a auf: $1,4 \text{ mW/m}^2$ im 2,4-GHz-Bereich. Hierbei handelt es sich um einen reinen Durchgangsbereich in direkter Nähe einer Eingangstür (siehe auch Foto 13), sodass diese Immissionen für Aufenthaltsbereich weniger bedeutend sind. Bereits am zum Access-Point nächstliegenden Tisch betragen die Summenimmissionen durch beide WLAN-Netze maximal $0,8 \text{ mW/m}^2$ (vgl. MP10b). An den umliegenden Tischen betragen die Immissionen maximal $0,33 \text{ mW/m}^2$.

Abgesehen von dem Tisch direkt unterhalb des jeweiligen Access-Points liegen die Summenimmissionen durch beide WLAN-Netze dort jeweils bei maximal $0,8 \text{ mW/m}^2$ (vgl. MP7a und MP9a).

An allen anderen Messpunkten in der Cafeteria bleiben die Summenimmissionen durch alle Access-Points in der Cafeteria und gleichzeitiger Betrachten beider WLAN-Netze unterhalb von 1 mW/m^2 , wobei die höchsten Immissionen an MP12a (Empore, nächstgelegene Sitzgruppe zu AP Caf 2, vgl. Foto 15 mit ca. $1,0 \text{ mW/m}^2$) auftreten.

Bei den übrigen Messpunkten bleiben die Immissionen deutlich darunter.

Deutlich höhere Immissionen treten an allen Messpunkten auf, wenn die in der Nähe arbeitenden Nutzernotebooks bei den Immissionen mit berücksichtigt werden (vgl. Tabelle M2, z.B. Messpunkte MP12 b und MP12d).

Insgesamt treten in der Cafeteria wegen ihrer relativ niedrigen Lage und der durch andere Gebäude eingeschränkten Sicht in die Umgebung nur sehr geringe Immissionen durch Rundfunksender und Mobilfunkbasisstationen auf (max. $0,1 \text{ mW/m}^2$). Dabei sei darauf hingewiesen, dass bei den im Rahmen dieser Untersuchung durchgeführten Messungen zum Mobilfunk nur die (permanenten) Immissionen durch Mobilfunkbasisstationen erfasst wurden, nicht aber die (temporären) Immissionen durch die Handys der Nutzer. Es ist davon auszugehen, dass in dieser Situation im Einzelfall die Immissionen durch Mobiltelefone wesentlich höher liegen als durch die Basisstationen.

5.5 Untersuchung der Immissionen durch Notebooks und WLAN-Adapter

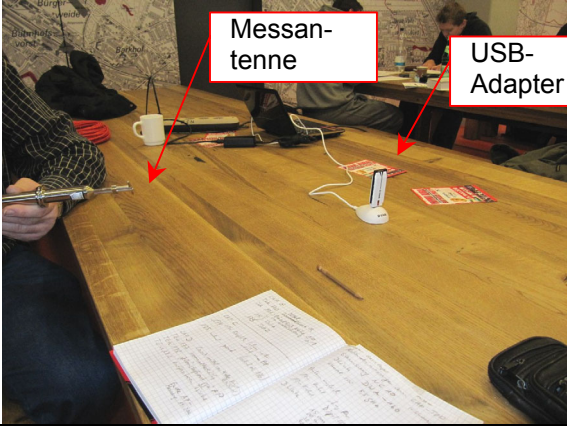



Das WLAN-Netz der Universität Bremen wird zum großen Teil durch private Notebooks der Studierenden genutzt. Dabei kommt naturgemäß eine große Anzahl verschiedener und häufig wechselnder Notebooks zum Einsatz. Eine repräsentative Untersuchung der in der Umgebung dieser Notebooks auftretenden Immissionen würde den Rahmen dieser Untersuchung sprengen. Es wurden daher exemplarisch an einem externen WLAN-Adapter (USB-Stick) und einem Notebook (mit seitlich neben dem Display eingebauten WLAN-Antennen) die Immissionen in unterschiedlichen Abständen sowohl im 2,4- als auch im 5-GHz-Bereich untersucht. Die einzelnen Messergebnisse sind in **Tabelle M3** (externer Adapter) und **Tabelle M4** (Notebook) im Anhang aufgeführt.



Die Abstandsmessungen an Notebooks und Access-Points wurden bewusst in normaler Arbeitssituation (hier in der Cafeteria) durchgeführt, um die Immissionen unter möglichst realistischen Verhältnissen zu erfassen. Dabei wurden die kleinräumigen Schwankungen der Feldstärke durch Beugung und Reflexion in Innenräumen bewusst in Kauf genommen.

Es ist daher bei diesen Abstandsmessungen nicht zu erwarten, dass sich das aus der Theorie zu erwartende Abstandsverhalten (das heißt: die Leistungsflussdichte sinkt mit dem Quadrat des Abstandes) ergibt. Damit wird auch deutlich, dass zur Erfassung von realistischen Situationen die Immissionen nur durch eine Messung bestimmt werden können.

Im folgenden Kapitel 5.1.1 sind einzelne Abstandsmessungen an einem USB-Adapter und in Kapitel 5.5.2 an dem Notebook in Fotos dokumentiert.

5.5.1 Messungen am USB-Adapter D-Link DWA 160

Messpunkt	Messposition	Erläuterungen
16_		<p>Foto 19: USB-Adapter auf Adapter, freistehend</p> <p>Immissionen in verschiedenen Abständen vom freistehenden Adapter</p>
17a		<p>Foto 20: USB-Adapter in Notebook eingesteckt</p> <p>Abstandsmessung erfolgte vom Ende des Adapters.</p>
MP17 b-f		<p>Foto 21: USB-Adapter in Notebook eingesteckt</p> <p>Immissionen seitlich vom Adapter, relevant für danebensitzende Personen</p>
MP18a		<p>Foto 22: USB-Adapter in Notebook eingesteckt</p> <p>Immissionen zur Frontseite, Nutzer mittig vor Notebook, Messantenne mittig vor USB-Stick</p>

Messpunkt	Messposition	Erläuterungen
18c		<p>Foto 23: USB-Adapter in Notebook eingesteckt</p> <p>normale Arbeitshaltung</p>
18e		<p>Foto 24: USB-Adapter in Notebook eingesteckt</p> <p>Bei dieser Messung wird untersucht, welche Immissionen den Bauchraum treffen, wenn das Notebook auf dem Schoß benutzt wird.</p>

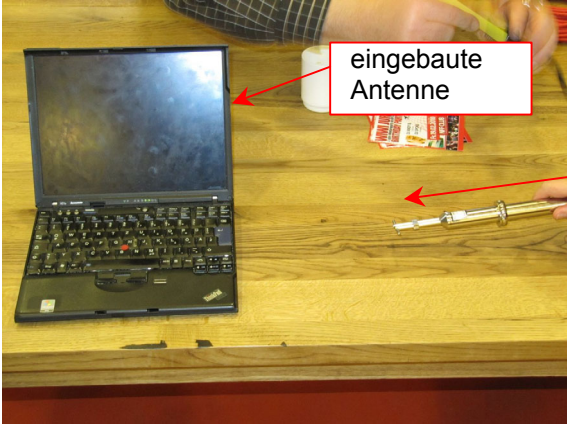

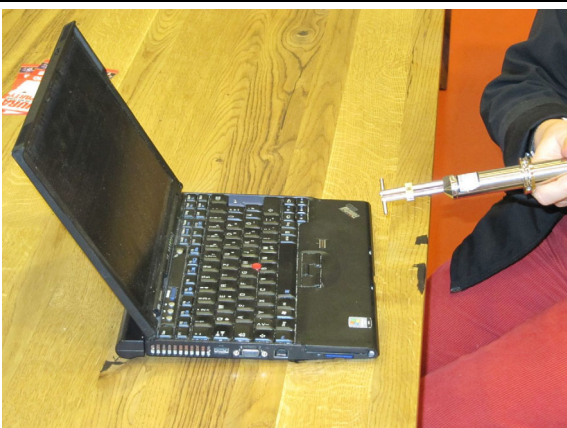

5.5.1.1 Ergebnisse:

Wie die Messergebnisse in Tabelle M3 im Anhang zeigen werden durch den untersuchten USB-Adapter relativ hohe Immissionen sowohl für den Nutzer als auch für in der Umgebung befindliche Personen verursacht. Bei freistehendem Adapter treten Immissionen oberhalb von 1 mW/m^2 noch bis zu einer Entfernung von 1,5 m (2,4-GHz-Band und bis zu 2,5 m im 5-GHz-Band auf.

Bei dem im Notebook eingesteckten Adapter wird bei einer seitlichen Entfernung von mindestens 75 cm 1 mW/m^2 unterschritten.

In typischer Arbeitshaltung vor dem Notebook treten in Entfernungen von 45 bis 60 cm vom Display Immissionen von 5 bis 27 mW/m^2 auf (vgl. MP18 in Tabelle M3).

5.5.2 Messungen am Notebook IBM Thinkpad X61S

Messpunkt	Messposition	Erläuterungen
19		<p>Foto 25: Antenne im Deckel seitlich neben dem Display im Notebook eingebaut</p> <p>Messantenne</p> <p>Abstandsmessungen</p>
20b		<p>Foto 26: Antenne im Deckel seitlich neben dem Display im Notebook eingebaut</p> <p>typische Arbeitshaltung</p>
20d		<p>Foto 27: Antenne im Deckel seitlich neben dem Display im Notebook eingebaut</p> <p>Bei dieser Messung wird untersucht, welche Immissionen den Bauchraum treffen, wenn das Notebook auf dem Schoß benutzt wird.</p>
20j		<p>Foto 28: Übersicht</p> <p>Hier wird die Situation in großem Abstand von der Notebook-Antenne untersucht</p>

5.5.2.1 Ergebnisse:

Wie die Messergebnisse in Tabelle M4 im Anhang zeigen treten auch durch die in diesem Notebook eingebauten WLAN-Antennen wesentlich höhere Immissionen auf als durch die untersuchten Access-Points.

Die Immissionen sind allerdings deutlich niedriger als bei dem zuvor untersuchten USB-Adapter. Die maximalen Immissionen treten auf, wenn man sehr dicht vor dem Notebook arbeitet (vgl. MP20a, 25 cm Abstand vom Display mit 24 mW/m^2) oder das Notebook auf dem Schoß benutzt (vgl. MP20d: 28 mW/m^2 Bauchraum).

In typischer Arbeitshaltung liegen die Immissionen zwischen 2 und 7 mW/m^2 (vgl. MP20b und MP20c).

Für Personen, die sich in der Umgebung des Notebooks aufhalten wird ab einem Abstand von 1 m die Immissionen von 1 mW/m^2 unterschritten.

6 Zusammenfassung und Bewertung der Messergebnisse

Die vorliegende Untersuchung in exemplarischen Räumen auf dem Campus der Universität Bremen dient vor allem dazu, festzustellen, ob durch die seit 2009/2010 eingesetzte neue Access-Point-Generation (Cisco 1142), die zusätzlich über die moderne Betriebsart IEEE 802.11n verfügt, höhere Immissionen verursacht werden als durch das seit 2004 im Einsatz befindliche Access-Point-Modell Cisco 1131.

Die verschiedenen Access-Point-Modelle und Betriebsarten wurden detailliert in Kap. 5.2 besprochen

Weiterhin wurde die Immissionssituation sowohl durch das WLAN-System als auch externe Quellen in exemplarischen Räumen untersucht und mit Grenz- und Vorsorgewerten verglichen.

Um die Immissionen zu erfassen von denen die Nutzer des WLAN-Systems betroffen sind, wurden Messungen vorgenommen, die die Immissionen im Nahbereich der Notebooks bzw. WLAN-Adapter und die Abnahme der Immissionen mit zunehmendem Abstand untersuchen.

Um die so ermittelten Immissionen in Relation setzen zu können zu anderen Quellen hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung wurden an sechs Messpunkte zusätzlich die Immissionen aus anderen Quellen gemessen.

6.1 Vergleich zu Grenz- und Vorsorgewerten

Die gesetzlich festgelegten Grenzwerte für elektromagnetische Strahlung entsprechend der 26. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (26. BImSchV) sind in Kapitel 2, S. 3 für die vorkommenden Frequenzen beschrieben. Außerdem sind dort Vorsorgewerte und Regelungen anderer Institutionen und in anderen europäischen Staaten genannt.

6.1.1 Gesetzlicher Grenzwert 26. BImSchV

Erwartungsgemäß wurden die gesetzlichen Grenzwerte der 26. BImSchV in allen Messpositionen und an allen Messpunkten weit unterschritten (vgl. Tabellen M1 bis M4).

Aufgrund des nach wie vor unsicheren wissenschaftlichen Kenntnisstandes bezüglich der biologischen Wirkungen nichtionisierender elektromagnetischer Strahlung unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte raten kritische Wissenschaftler und auch offizielle Stellen zur Vorsorge. Daher wurden – wie in Kapitel 2, S. 3 erläutert – die gemessenen Werte im vorliegenden Gutachten in Relation gesetzt sowohl zu den gesetzlichen Grenzwerten in Deutschland als auch zu den Anlagengrenzwerten in der Schweiz sowie dem Salzburger Vorsorgewert von 1 mW/m^2 (vgl. Fußnote 4, S. 3).

6.1.2 Schweizer Anlagengrenzwert

Die Messergebnisse zeigen, dass der Schweizer Anlagengrenzwert von 95 mW/m^2 an allen Messpunkten in der Umgebung der Access-Points deutlich unterschritten wird (vgl. Tabellen M1 und M2 im Anhang). Die maximalen Immissionen durch Access-Points wurden an Messpunkt MP3b in 1 Meter Abstand zum Access-Point ermittelt (in Summe über beide WLAN-Frequenzbänder ca. 32 mW/m^2). Dieser geringe Abstand erscheint für einen Daueraufenthalt eher unrealistisch. An allen andern untersuchten Messpunkten liegen die Immissionen durch Access-Points noch deutlich weiter unterhalb des Schweizer Anlagengrenzwertes (maximal $7,6 \text{ mW/m}^2$ Summenimmissionen an MP3a¹²).

In der Umgebung des untersuchten USB-WLAN-Adapters und des Notebooks wird der Schweizer Anlagengrenzwert mit Ausnahme des Messpunktes MP16a (15 cm Abstand vom Adapter, veraltete Betriebsart) stets eingehalten (vgl. Tabellen M3 und M4).

6.1.3 Salzburger Vorsorgewert von 1 mW/m^2 (1998)

Bei Betrachtung des Salzburger Vorsorgewertes von 1 mW/m^2 (vgl. Fußnote 4, S. 3) stellt sich die Situation sehr unterschiedlich dar.

In einigen Räumen (insbesondere hochgelegenen Räumen mit freier Sicht nach außen) liegen Immissionen aus externen Quellen hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung vor, die den Salzburger Vorsorgewert deutlich übersteigen (z.B. MP1 und MP4; Näheres siehe Tabellen M1 und M2).

Bei ausschließlicher Betrachtung des WLAN-Systems liegen die Immissionen an typischen Daueraufenthaltsbereichen meist unterhalb des Salzburger Vorsorgewertes. Auf Details wurde in Kapitel 4 und 5 eingegangen.

Bei Benutzung eines Notebooks mit aktiver WLAN-Verbindung ist davon auszugehen, dass der Salzburger Vorsorgewert im Allgemeinen überschritten wird. Dabei zeigen sich erhebliche Unterschiede je nach Modell des Notebooks (vgl. MP16 bis MP20).

Insgesamt ist festzustellen, dass der Salzburger Vorsorgewert durch das WLAN-System allein an den meisten untersuchten Messpunkten unterschritten wird. Bei Betrachtung auch der sonstigen Quellen hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung wird der Salzburger Vorsorgewert auch bereits unabhängig vom WLAN-System in vielen Situationen überschritten.

Nach Einschätzung des EMF-Instituts ist die Einhaltung des Salzburger Vorsorgewertes jedoch vor allem für die nächtlichen Ruhe- und Erholungsphasen anzustreben.

¹² kein realer Arbeitsplatz sondern Simulation eines Arbeitsplatzes unmittelbar unterhalb eines Access-Points

6.2 Einzelergebnisse

6.2.1 Vergleich der Access-Point-Generationen und Betriebsarten

Ein detaillierter Vergleich der verschiedenen Access-Points und Betriebsarten wurde exemplarisch in Raum 5210 im Gebäude MZH, Ebene 5 durchgeführt. Bei der in Kap. 5.1 (S. 14) durchgeführten Voruntersuchung hatte sich herausgestellt, dass die Dämpfung der Geschossdecken so hoch ist (Dämpfung ca. um den Faktor einhundert), dass Access-Points aus anderen Etagen bei den Gesamtmissionen nicht berücksichtigt werden müssen.

Die Einzeluntersuchungen in Kapitel 5.2 haben ergeben:

- Bei Beibehaltung der Betriebsart (IEEE 802.11 b/g für das 2,4 GHz-Band und IEEE 802.11a für das 5 GHz-Band) führt der Wechsel vom seit 2004 eingesetzten Access-Point-Modell Cisco 1131 zu dem seit 2009/2010 eingesetzten Modell Cisco 1142 in beiden Frequenzbändern zu etwas niedrigeren Immissionen (vgl. Messpunkte 1d bis 1f in Tabelle M1)
- Bei Wechsel der Betriebsart von IEEE 802.11 b/g auf die modernere Betriebsart IEEE 802.11n (für das 2,4 GHz-Band) und von IEEE 802.11a auf die Betriebsart IEEE 802.11n (für das 5 GHz-Band) zeigt sich ein unterschiedliches Bild für die beiden Frequenzbänder: Im 2,4 GHz-Band zeigt sich eine leichte Erhöhung, im 5 GHz-Band allerdings meistens eine deutliche Erniedrigung der Immissionen (vgl. Messpunkte 1g bis 1i in Tabelle M1)

Insgesamt ist festzustellen, dass bei beiden Generationen und Betriebsarten in der Raumecke, die sich in unmittelbarer Nähe des Access-Points befindet, der empfohlene Vorsorgewert von 1 mW/m^2 bei gleichzeitigem Betrieb beider Frequenzbänder überschritten wird (vgl. Messpunkte 1d und 1g), in den Daueraufenthaltsbereichen des Raumes (Sitzplatzbereich und Dozentenbereich) in allen untersuchten Situationen jedoch eingehalten wird (vgl. Messpunkte 1e, 1f, 1h und 1i).

Es ist somit nicht zu erwarten, dass sich die Immissionssituation durch den Wechsel des Access-Point-Modells oder der Betriebsart insgesamt wesentlich ändert.

Ergänzend ist festzustellen, dass bei der (mittlerweile eher veralteten) Betriebsart IEEE 802.11b eher höhere Immissionen auftreten als bei den moderneren Betriebsarten IEEE 802.11g, IEEE 802.11a und IEEE 802.11n.

6.2.2 Vergleich der Access-Point-Generationen in jeweils modernster Betriebsart in exemplarischen Räumen

An insgesamt 6 Messpunkten (MP1 bis MP6) in den Gebäuden MZH (Ebene 5) und SFG (Ebene 2) wurden Vergleichsmessungen zwischen dem seit 2004 eingesetzten Access-Point-Modell Cisco 1131 und dem seit 2009/2010 eingesetzten Modell Cisco 1142 in jeweils aktueller Betriebsart durchgeführt. Dabei wurden die neuen Access-Points provisorisch in unmittelbarer Nähe der vorhandenen Access-Points montiert

und gleichzeitig in Betrieb genommen. Die Durchführung dieser Untersuchungen sowie die Ergebnisse wurden in Kapitel 5.3 (S. 18) ausführlich besprochen.

Als Ergebnis ist hier festzustellen, dass sich an Messpunkt MP1, MP2, MP4, MP5b und MP6 die Immissionen durch die bisher in Betrieb befindlichen und die neuen Access-Point-Modelle nicht wesentlich unterscheiden. In den meisten Fällen stimmen die Messergebnisse im Rahmen der Messgenauigkeit überein, oder es zeigen sich leichte Abweichungen nach unten und oben.

Deutliche Abweichungen zeigen sich hingegen an Messpunkt MP3 und an Messpunkt MP5a, bei denen jeweils deutlich höhere Immissionen durch das neue Access-Point-Modell festgestellt wurden, meistens ca. um den Faktor 2 höher. In beiden Fällen handelt es sich um Messsituationen in nur wenigen Metern Abstand zu den vorhandenen und den probeweise installierten Access-Points, wobei die probeweise installierten neuen Access-Points jeweils niedriger montiert waren als die vorhandenen. Es ist daher nicht auszuschließen, dass die Unterschiede bei diesen Messungen in unmittelbarer Nähe der Access-Points auf geometrischen Unterschieden beruhen und nicht auf tatsächlich unterschiedlicher Strahlungsemission.

Unabhängig von den unterschiedlichen Access-Point-Modellen ist aus den Messergebnissen an MP3 (4,1 bis 31 mW/m² Summenimmission) zu schließen, dass Dauerarbeitsplätze in unmittelbarer Nähe eines Access-Points vermieden werden sollten. Bei Messpunkt MP5a (SFG-Raum 2020) handelt es sich um einige Sitzplätze in der ersten Reihe dieses Vorlesungsraums, die sich unmittelbar vor dem Access-Point befinden. Hier treten Summenimmissionen von 2,8 bis 5,6 mW/m² auf. Obwohl es sich hier nicht um einen Dauerarbeitsplatz handelt, erscheinen Verbesserungsmöglichkeiten für die Vorlesungsräume in diesem Gebäude denkbar, zum Beispiel durch Verlegung des Access-Points an eine weiter von Personen entfernte Stelle im Raum. Eine andere Möglichkeit bestünde darin, den Access-Point mit geringerer Leistung zu betreiben. In diesem Fall ist es wahrscheinlich nicht mehr möglich, durch einen Access-Point mehrere benachbarte Räume zu versorgen, da diese durch Betonwände voneinander getrennt sind. Zum Ausgleich müsste dann jeder der Vorlesungsräume einen eigenen Access-Point mit entsprechend reduzierter Sendeleistung erhalten.

6.2.3 Untersuchung der Summenimmissionen bei Betrieb einer größeren Anzahl von Access-Points in einem großen Raum hier: Cafeteria in Gebäude GW2

Am Beispiel der Cafeteria im Gebäude GW2 wurde untersucht, ob der gleichzeitige Betrieb mehrerer Access-Points in einem großen Raum bzw. einem nicht durch Zwischenwände unterteilten Gebäudetrakt zu erhöhten Immissionen führt.

In der GW2-Cafeteria sind auf 2 offenen Ebenen insgesamt 5 Access-Points der neuen Generation Cisco 1142 montiert und arbeiten dort probeweise im Normalbe-

trieb, das heißt zur WLAN-Versorgung der dort mit Notebooks arbeitenden Studierenden (vgl. Plan 4 und 5 im Anhang).

Die Messungen in der Cafeteria beschränkten sich demzufolge auf das neue Access-Point-Modell Cisco 1142, wobei für die Dauer der Durchführung der Messungen sichergestellt wurde, dass diese Access-Points auch in der neuesten Betriebsart IEEE 802.11n betrieben wurden.

Die Ergebnisse wurden in Kapitel 5.4 besprochen und sind im Detail in Tabelle M2 im Anhang aufgeführt.

Insgesamt ist festzustellen, dass der gemeinsame Betrieb der 5 Access-Points in der Cafeteria nicht zu relevanten Summationseffekten der Immissionen führt.

Auch in zentral gelegenen Bereichen, die Sicht zu mehreren Access-Points haben, liegen die Immissionen deutlich unterhalb des Vorsorgewertes von 1 mW/m^2 .

Die höchsten Immissionen treten jeweils in unmittelbarer Nähe eines einzelnen Access-Points auf und liegen dort in ähnlicher Höhe wie bei den in Kapitel 5.3, ab S. 18 untersuchten einzelnen Access-Points.

Die relevanten Bereiche mit erhöhten Immissionen wurden in Kapitel 5.4 besprochen. Als einzige Aufenthaltsbereiche sind davon die Tische unterhalb der Access-Points Caf3 und Caf5 (MP7b,c und MP9b,c) betroffen. An allen untersuchten Arbeitsplätzen innerhalb der Cafeteria zum Beispiel MP8 liegen eher geringe Immissionen vor.

Insgesamt treten in der Cafeteria wegen ihrer relativ niedrigen Lage und der durch andere Gebäude eingeschränkten Sicht in die Umgebung nur sehr geringe Immissionen durch Rundfunksender und Mobilfunkbasisstationen auf ($\text{max. } 0,1 \text{ mW/m}^2$), wobei allerdings zusätzliche Immissionen durch die Benutzung von Mobiltelefonen wahrscheinlich sind (vgl. Hinweis am Ende von Kapitel 5.4.2).

6.2.4 Untersuchung der Immissionen durch Notebooks und WLAN-Adapter

Um die Immissionen zu erfassen von denen die Nutzer des WLAN-Systems betroffen sind, wurden Messungen an den Notebooks der Nutzer bzw. entsprechenden WLAN-Adaptern vorgenommen, die die Immissionen im Nahbereich der Geräte und die Abnahme der Immissionen mit zunehmendem Abstand untersuchen. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in den Tabellen M3 und M4 dargestellt und wurden in Kapitel 5.5 ausführlich besprochen.

Grundsätzlich hat sich hier gezeigt, dass der Nutzer eines Notebooks bei aktiver WLAN-Verbindung fast immer Immissionen ausgesetzt ist, die deutlich oberhalb des empfohlenen Vorsorgewertes von 1 mW/m^2 liegen (vgl. Tabelle M3 und M4). Inwieweit von diesen Immissionen auch Personen in der unmittelbaren Umgebung betroffen sind, unterscheidet sich deutlich nach dem verwendeten Notebook bzw. WLAN-Adapter. Bei dem hier untersuchten IBM-Notebook beschränkte sich der Bereich mit

Immissionen oberhalb von 1 mW/m^2 auf einen Abstand von ca. 1 m, wohingegen bei dem externen WLAN-USB-Adapter die Bereiche in bis zu 2,5 m Entfernung von solchen Immissionen betroffen waren.

Es ist daher grundsätzlich zu empfehlen, Netzwerkanbindungen an Dauerarbeitsplätzen immer kabelgebunden herzustellen und aktive WLAN-Nutzung möglichst zeitlich zu begrenzen.

Köln, den 19. April 2010

Dipl.-Phys. Dr. Peter Nießen, EMF-Institut
öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für EMVU

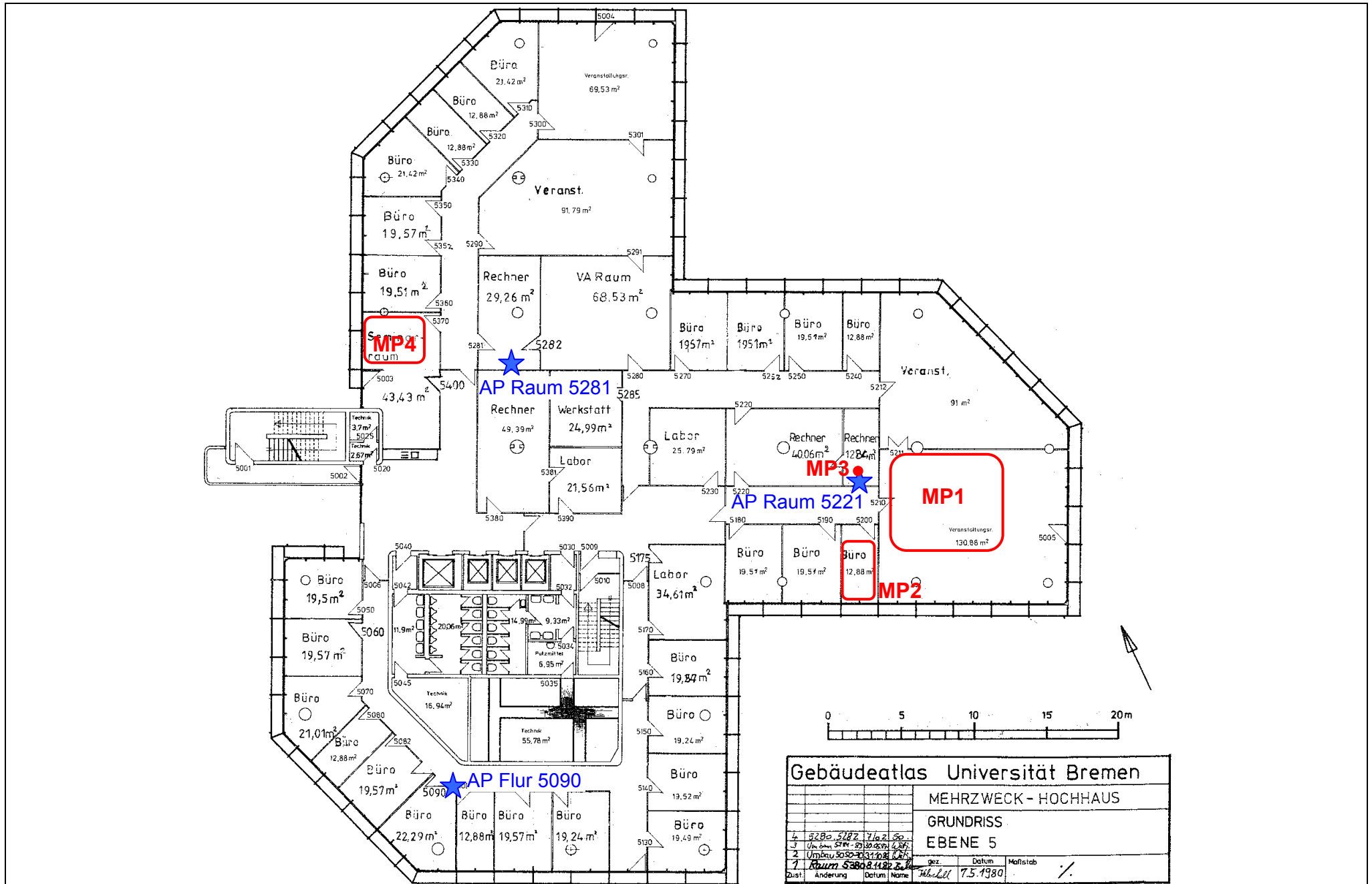
Anhangsverzeichnis

		Anzahl Seiten
Lageplan 1	Gebäude MZH, Ebene 5: Lage der Access-Points und der Messpunkte	1
Lageplan 2	Gebäude MZH, Ebene 4: Lage der Access-Points	1
Lageplan 3	Gebäude SFG, Ebene 2: Lage der Access-Points und der Messpunkte	1
Lageplan 4	Gebäude GW2, Cafeteria, Ebene 1: Lage der Access-Points und der Messpunkte	1
Lageplan 5	Gebäude GW2, Cafeteria, Ebene 2 und 2a: Lage der Access-Points und der Messpunkte	1
Diagramme 1 und 2	Spektren der Übersichtsmessungen im Gebäude MZH, Ebene 5	2
Diagramm 3	Spektrum der Übersichtsmessung im Gebäude SFG, Ebene 2	1
Diagramme 4 bis 6	Spektren der Übersichtsmessungen im Gebäude GW2, Cafeteria, Ebenen 1 und 2	3
Tabelle M1	Immissionsmessungen in den Gebäuden MZH und SFG	1
Tabelle M2	Immissionsmessungen im Gebäuden GW2, Cafeteria	1
Tabelle M3	Immissionsmessungen am USB-Adapter D-Link DWA 160	1
Tabelle M4	Immissionsmessungen am Notebook IBM Thinkpad X61S	1

Dieses Dokument unterliegt dem Urheberrecht. Eine Vervielfältigung oder Speicherung des Berichts in Auszügen bedarf der vorhergehenden schriftlichen Genehmigung durch den Auftraggeber und das EMF-Institut. Das vollständige Gutachten darf mit Zustimmung des Auftraggebers unter Angabe der Quelle, des Autors und diesem ©-Vermerk vervielfältigt oder veröffentlicht werden.

Literatur:

- [1] Nießen, P: "Gutachten zur Feststellung der Belastung durch hochfrequente elektromagnetische Strahlung durch Funk-Netzwerke an der Universität Bremen", nova-Institut GmbH, Hürth, 11/01, erstellt im Auftrag der Universität Bremen
- [2] Nießen, P: "Gutachten zur Feststellung der Belastung durch hochfrequente elektromagnetische Strahlung durch Frunk-Netzwerke an der Universität Bremen", nova-Institut GmbH, Hürth, 10/04, erstellt im Auftrag der Universität Bremen
- [3] 26. BImSchV, 26. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes, BGB1, S. 1966, 16.12.1996
- [4] Oberfeld, G, Konfliktmanagement „Salzburger Modell“, Historie und Entwicklung, in: 2. Rheinland-Pfälzisch-Hessisches Mobilfunksymposium, Tagungsband, BUND (Hrsg.), S. 5 ff, 26.04.2003
- [5] NISV, Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung, Schweizerischer Bundesrat, 23. Dezember 1999
- [6] Bornkessel, Ch, Kunisch, J, Pamp, J: „Einfluss von Grenzwertverschärfungen auf die Gesamtmission“, Institut für Mobil- und Satellitenfunktechnik GmbH, Kamp-Lintfort, 03/02, erstellt für das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, www.munlv.nrw.de.

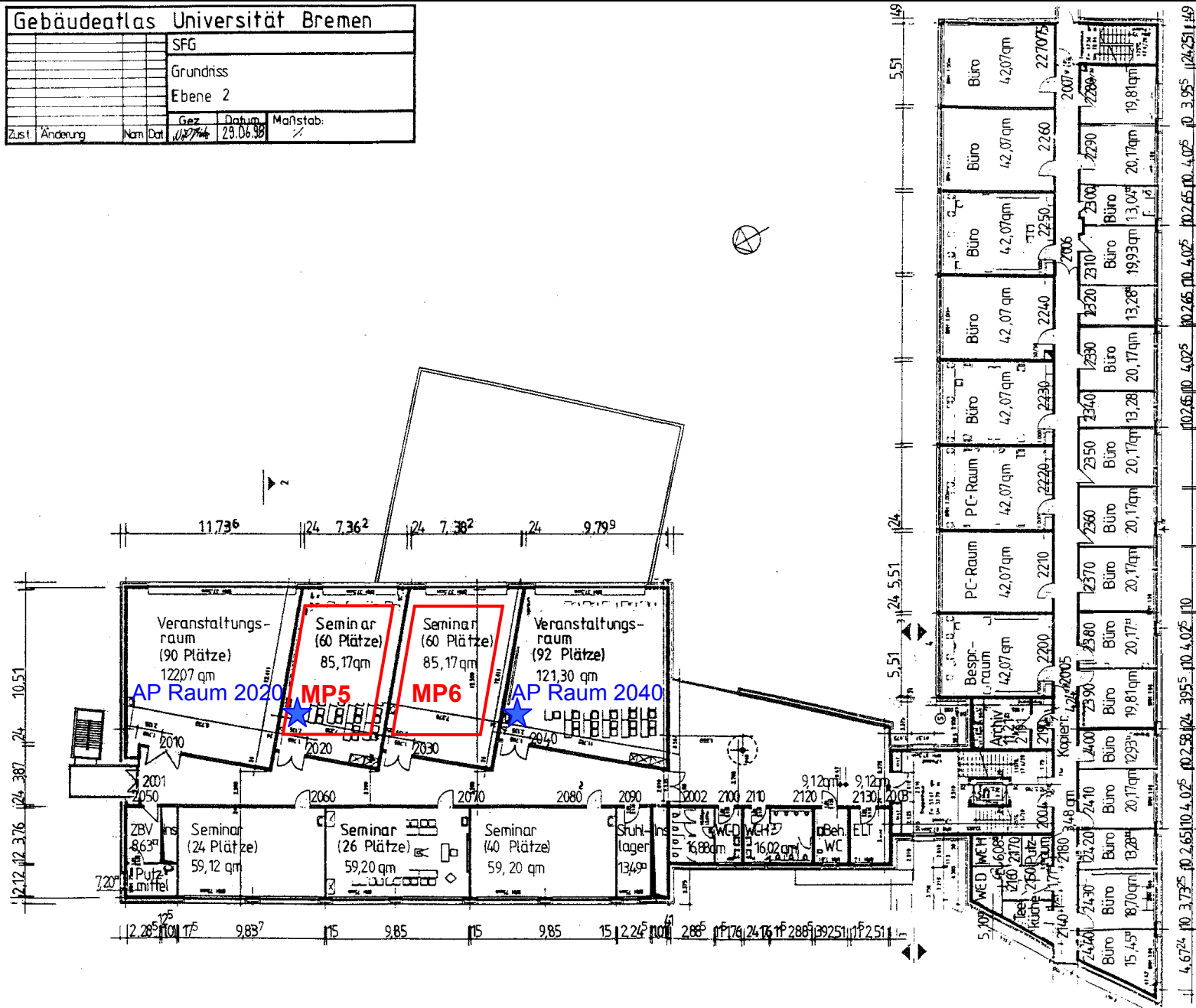


Lageplan 1: Mehrzweckhochhaus (MZH), Ebene 5, Lage der Messpunkte (MP) und Access-Points (AP)

Hochfrequente elektromagnetische Strahlung Universität Bremen, Messung am 17. und 18.2.2010 Sachverständigengutachten EMF-Institut 22.3.2010

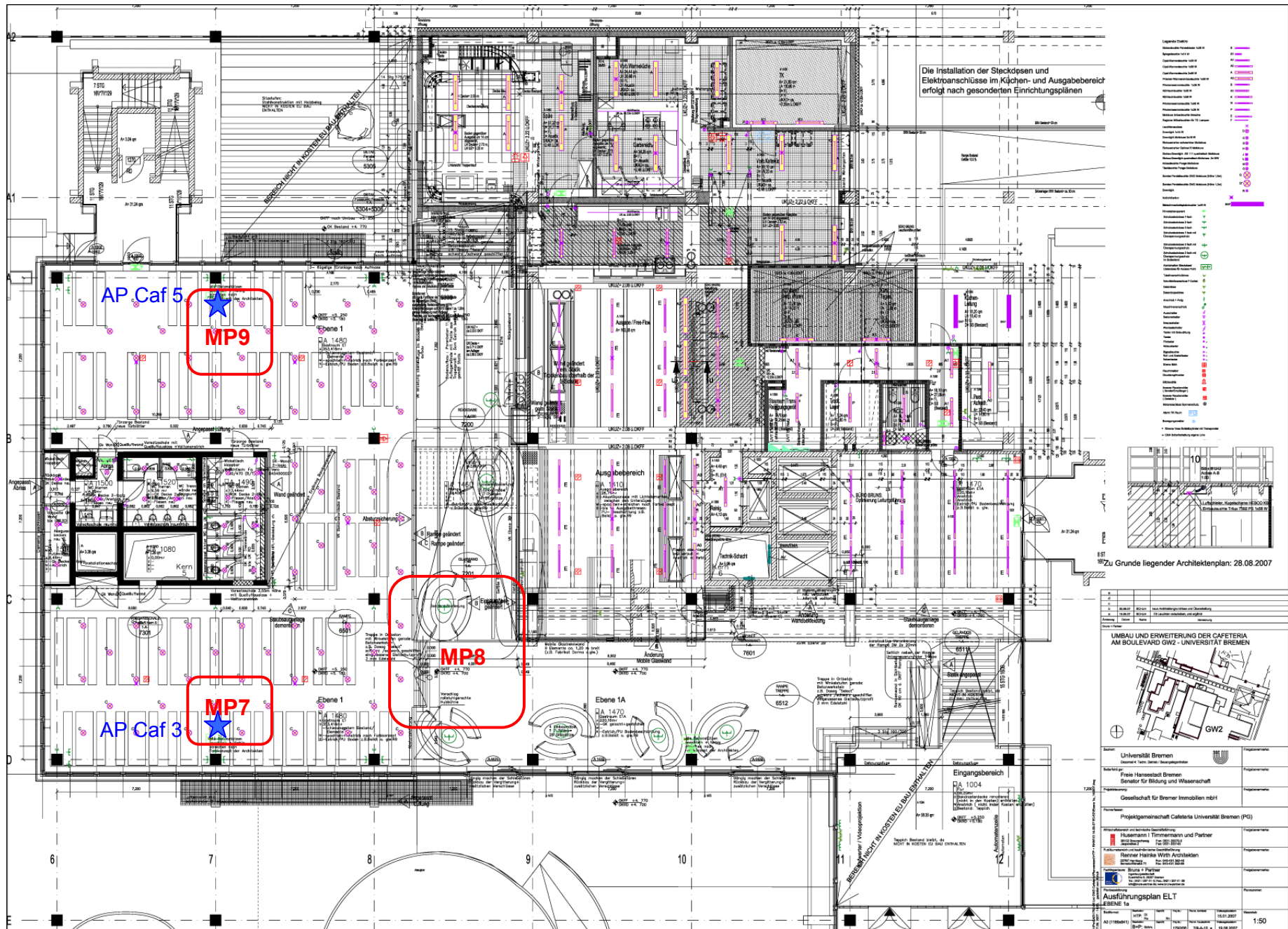
Gebäudeatlas Universität Bremen			
MEHRZWECK - HOCHHAUS			
GRUNDRISS			
EBENE 5			
1	5280, 5282, 5285	1/12/10	
2	Umgebung 5280-5285	1/12/10	
3	Raum 5280, 5282, 5285	1/12/10	
4	Raum 5280, 5282, 5285	1/12/10	
5	Raum 5280, 5282, 5285	1/12/10	
6	Raum 5280, 5282, 5285	1/12/10	
7	Raum 5280, 5282, 5285	1/12/10	
Zust:	Änderung	Datum	Name
		7.5.1980	Hubel

Gebäudeatlas Universität Bremen			
			SFG
			Grundriss
			Ebene 2
		Gez	Datum
		11/27/10	23.06.38
			Maßstab:
			1/
Zust.	Änderung	Nam	Dat



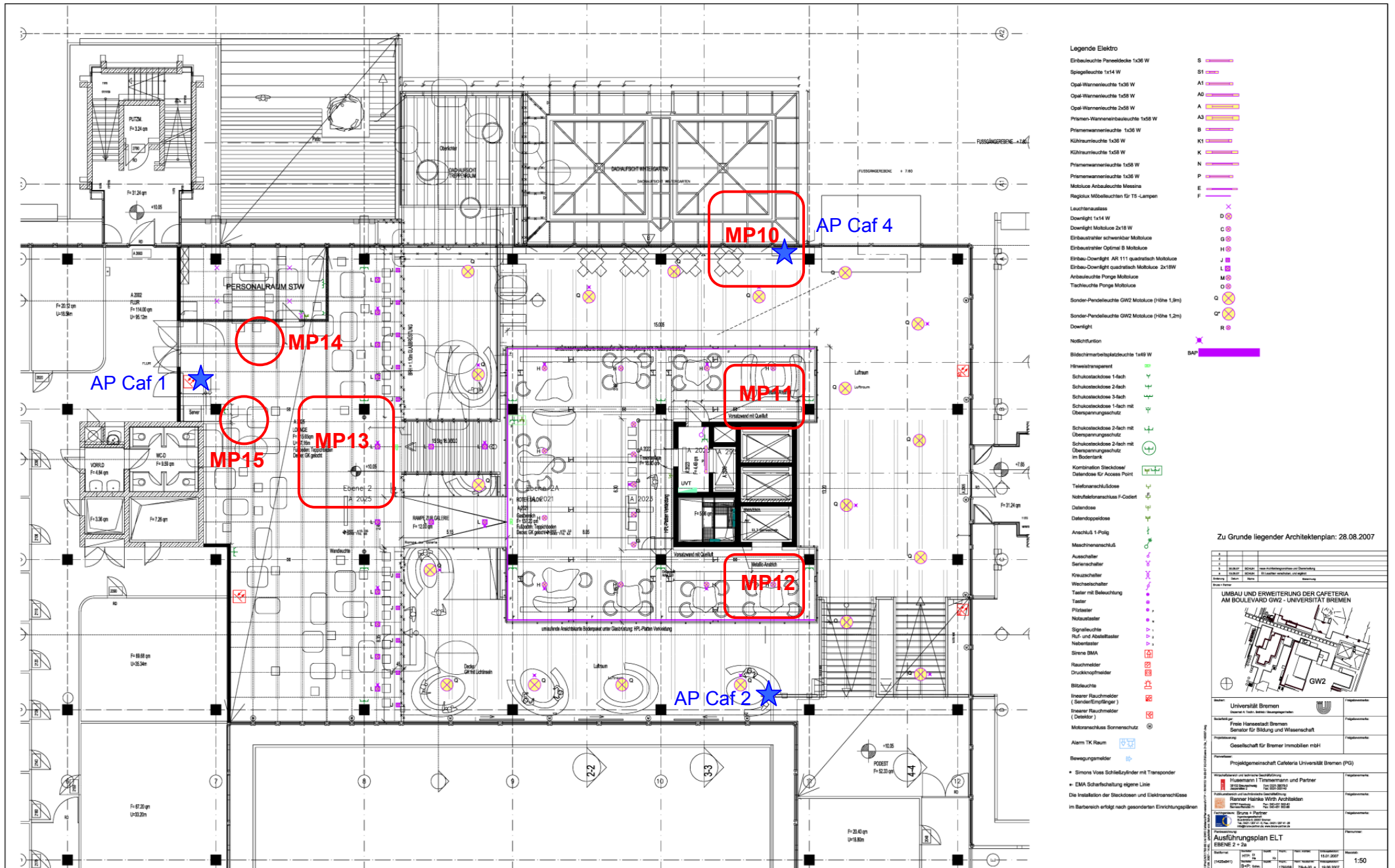
Lageplan 3: Seminar- und Forschungsverfügungsbäude (SFG), Ebene 2, Lage der Messpunkte (MP) und Access-Points (AP)

Hochfrequente elektromagnetische Strahlung Universität Bremen, Messung am 17. und 18.2.2010 Sachverständigengutachten EMF-Institut 22.3.2010



Lageplan 4: Geisteswissenschaften 2 (GW2), Cafeteria Ebene 1, Lage der Messpunkte (MP) und Access-Points (AP)

Hochfrequente elektromagnetische Strahlung Universität Bremen, Messung am 17. und 18.2.2010 Sachverständigenutachten EMF-Institut 22.3.2010



Lageplan 5: Geisteswissenschaften 2 (GW2), Cafeteria Ebene 2 und 2a, Lage der Messpunkte (MP) und Access-Points (AP)

Hochfrequente elektromagnetische Strahlung Universität Bremen, Messung am 17. und 18.2.2010 Sachverständigengutachten EMF-Institut 22.3.2010

Diagramm 1: Leistungsflussdichte am Messpunkt MP1d: Gebäude MZH, Ebene 5, Raum 5210

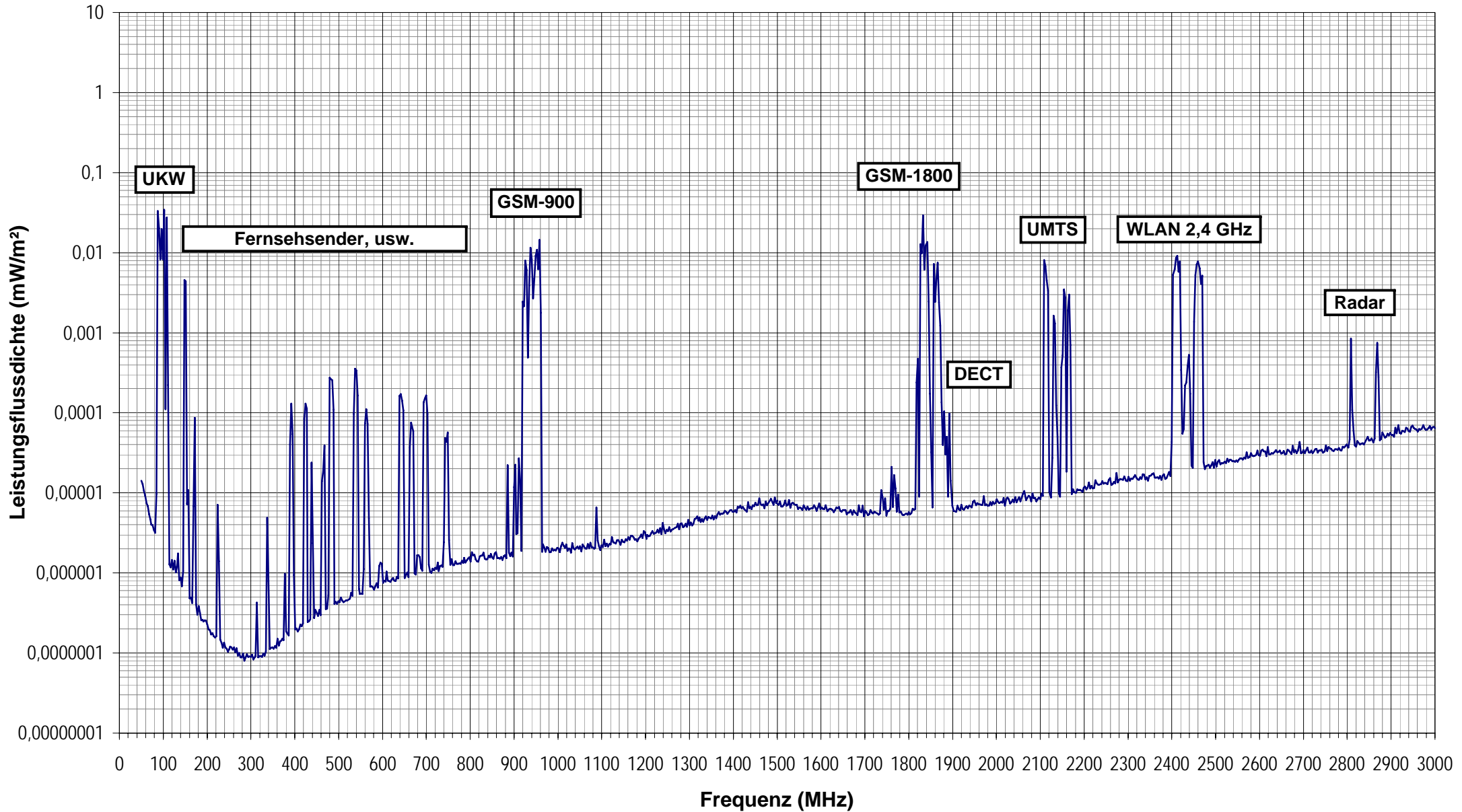


Diagramm 2: Leistungsflussdichte am Messpunkt MP4a: Gebäude MZH, Ebene 5, Raum 5370

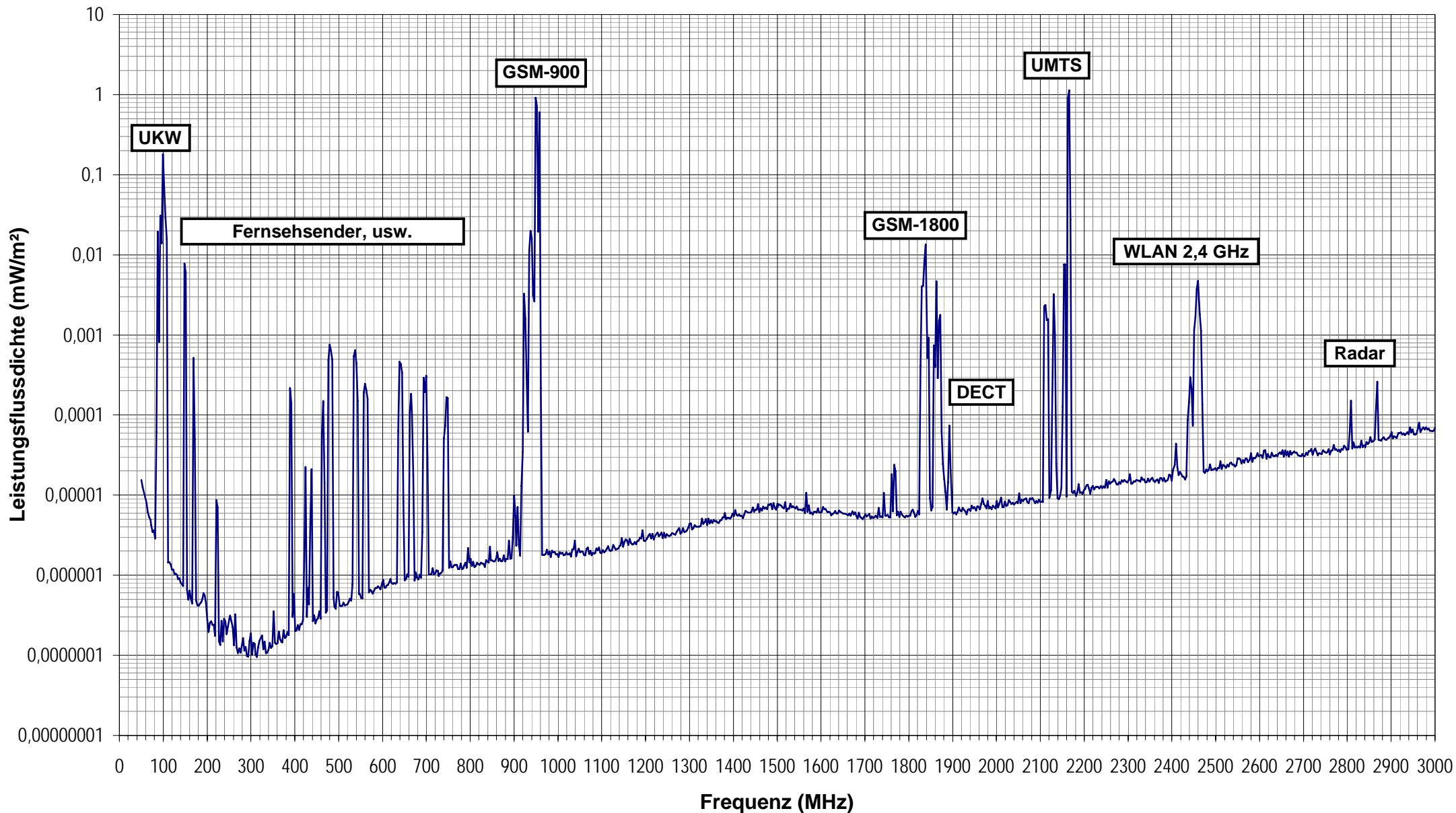


Diagramm 3: Leistungsflussdichte am Messpunkt MP5b: Gebäude SFG, Ebene 2, Raum 2020

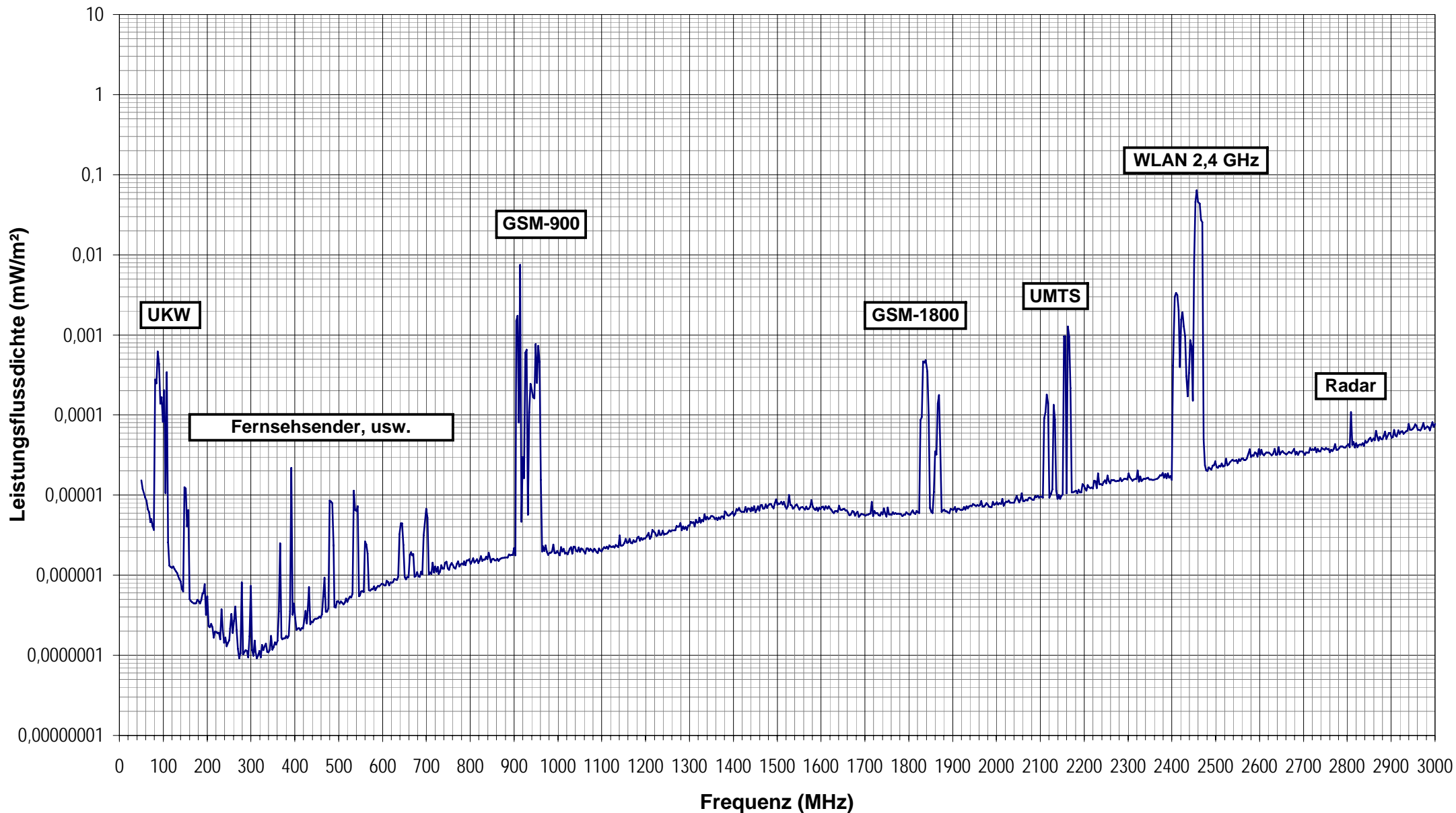


Diagramm 4: Leistungsflussdichte am Messpunkt MP8: Gebäude GW2, Cafeteria, Ebene 1

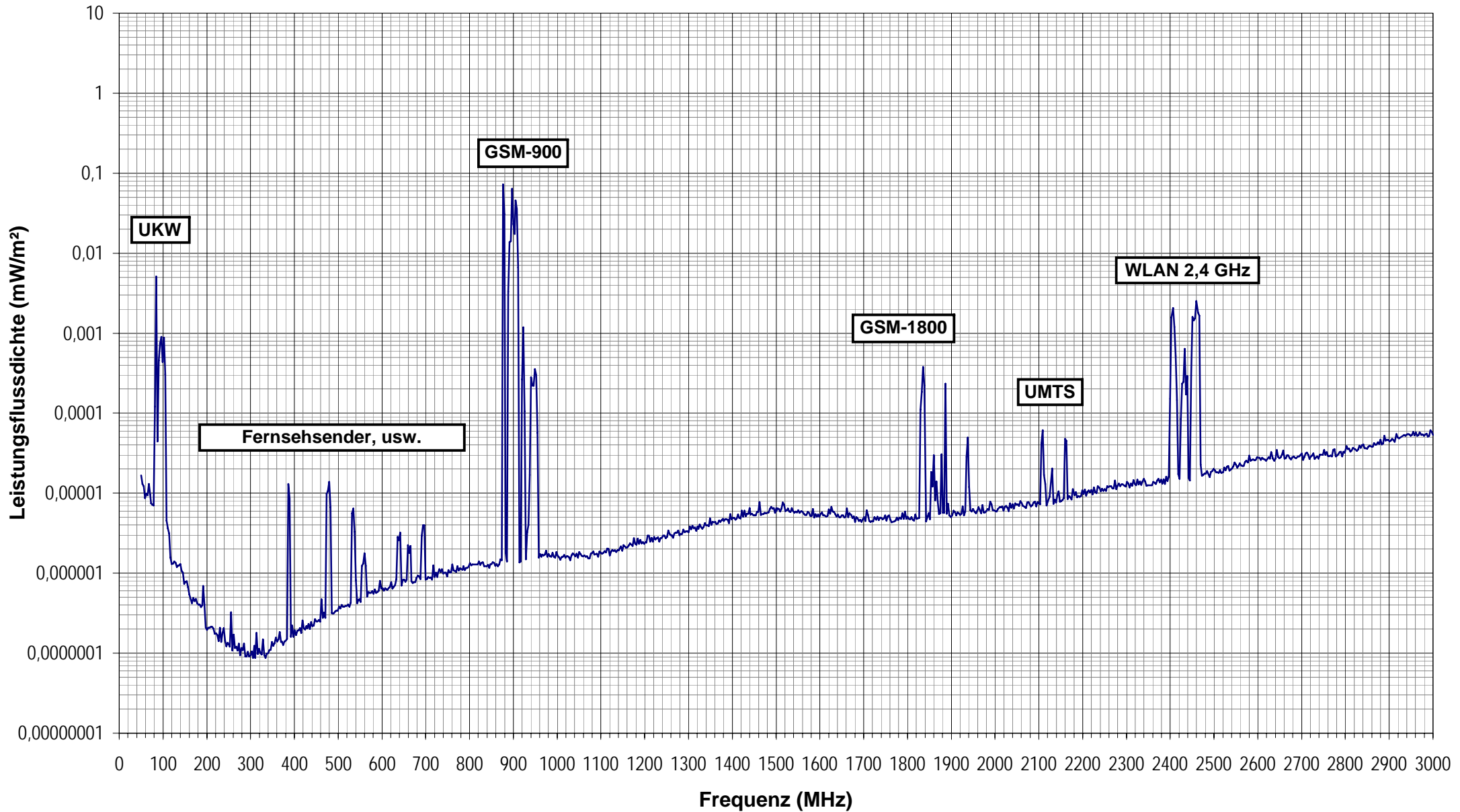


Diagramm 5: Leistungsflussdichte am Messpunkt MP10a: Gebäude GW2, Cafeteria, Ebene 2, Nähe Boulevard

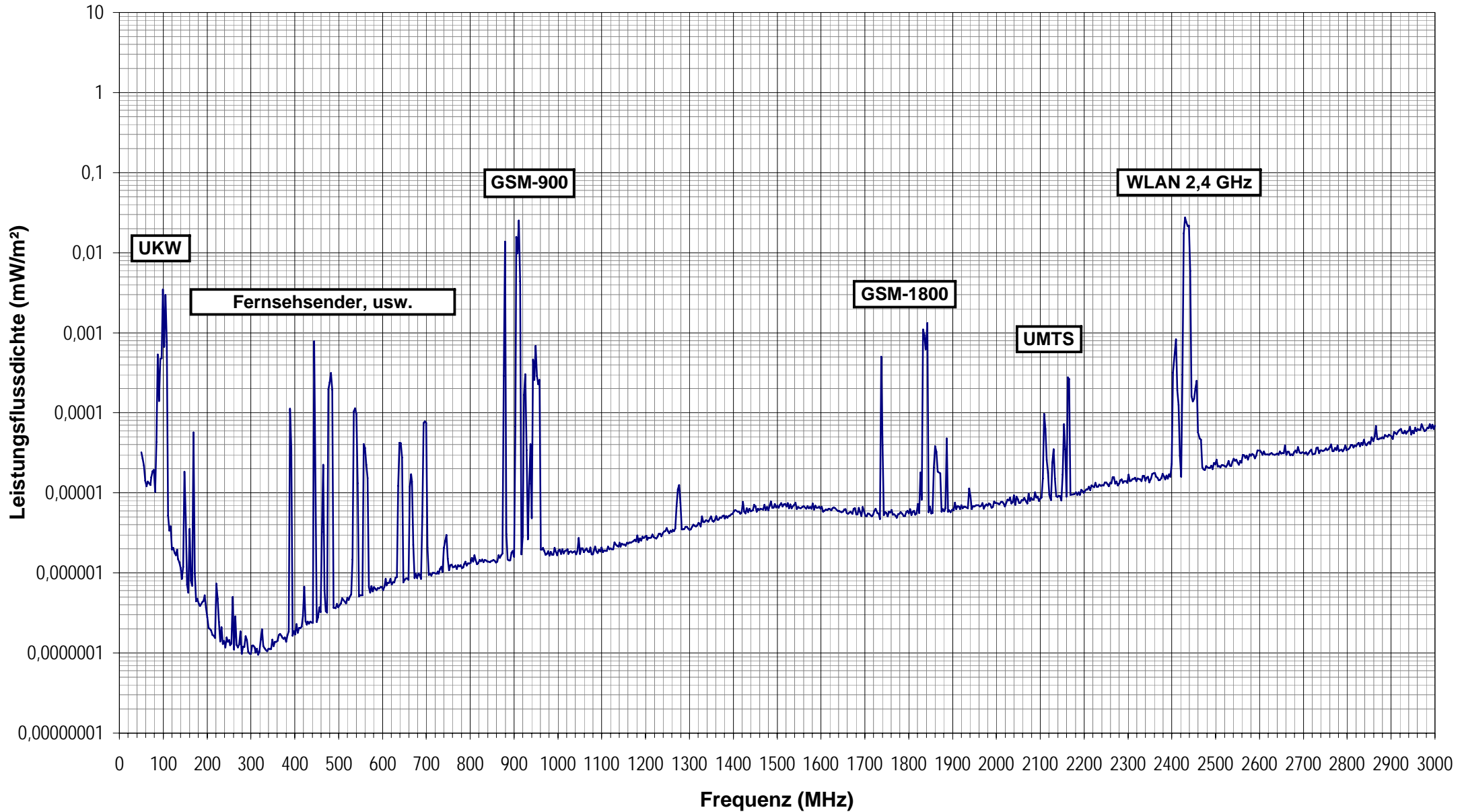


Diagramm 6: Leistungsflussdichte am Messpunkt MP11a: Gebäude GW2, Cafeteria, Ebene 2 (Empore), Sitzbereich

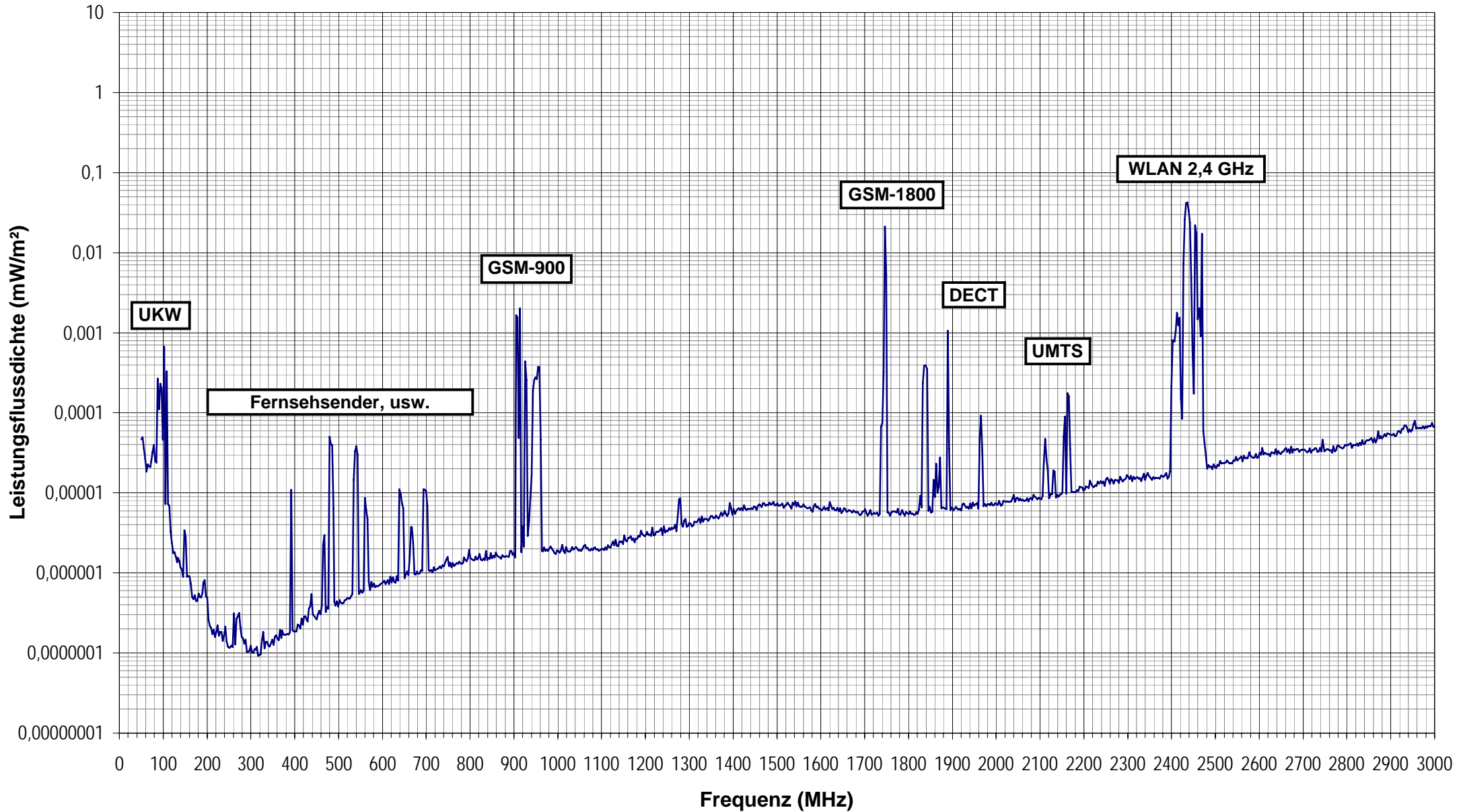


Tabelle M1: Leistungsflussdichten in den einzelnen Frequenzbereichen, einschl. 3 dB Sicherheitsaufschlag

Messpunkt	Messposition (AP = Access-Point)	Rundfunk		Mobilfunk			Telef.	WLAN 2,4 GHz			WLAN 5 GHz			Access-Point Modell Einsatzzeitpunkt Betriebsart
		UKW	TV, usw.	GSM900	GSM1800	UMTS	DECT	Cisco 1131 (ab 2004)	Cisco 1142 (ab 2009/2010)		Cisco 1131 (ab 2004)	Cisco 1142 (ab 2009/2010)		
		mW/m ²	mW/m ²	mW/m ²	mW/m ²	mW/m ²	mW/m ²	802.11b/g	802.11b/g	802.11n	802.11a	802.11a	802.11n	
Gebäude MZH, Ebene 5														
1a	Raum 5210, Einfluss von APs auf Ebene 5							0,084						
1b	Raum 5210, Einfluss von APs auf Ebene 4							0,001			< 0,002			
1c	Raum 5210, Einfluss von Nutzern in umliegenden Räumen							0,097						
1d	Raum 5210, Einfluss von AP Raum 5221, Raum gesamt (einschl. AP-Nähe)	0,876	0,078	0,62	0,94	0,443	0,001	0,945	0,732		0,536	0,264		
1e	Raum 5210, Einfluss von AP Raum 5221, Sitzplatzbereich							0,380	0,307		0,122	0,112		
1f	Raum 5210, Einfluss von AP Raum 5221, Dozentenbereich (Tafel)							0,135	0,122		0,092	0,119		
1g	Raum 5210, Einfluss von AP Raum 5221, Raum gesamt (einschl. AP-Nähe)							0,956		0,928	1,228		0,555	
1h	Raum 5210, Einfluss von AP Raum 5221, Sitzplatzbereich							0,134		0,155	0,560		0,342	
1i	Raum 5210, Einfluss von AP Raum 5221, Dozentenbereich (Tafel)							0,135		0,206	0,212		0,285	
Gebäude MZH, Ebene 4														
2a	Raum 5200 Arbeitsplatzbereich, Tür auf							0,186		0,208	0,086		0,074	
2b	Raum 5200 Raum gesamt, Tür auf							0,516		0,487	0,179		0,148	
Gebäude MZH, Ebene 5														
3a	Raum 5221, Beispiel f. Arbeitsplatz in AP-Nähe							2,374		6,413	1,711		1,196	
3b	Raum 5221, 1m Abstand zum AP							6,997		11,335	5,506		20,278	
Gebäude MZH, Ebene 3														
4a	Raum 5370, Raum gesamt (Einfluss von Access-Point Raum 5281)	1,354	0,132	16,36	0,28	12,34	0,001	0,115		0,129	0,220		0,169	
4b	Raum 5370, Arbeitsplatzbereich (Einfluss von Access-Point Raum 5281)							0,045		0,084	0,057		0,036	
Gebäude SFG, Ebene 2														
5a	Raum 2020, Sitzreihe direkt vor Access-Point							1,553		3,026	1,241		2,532	
5b	Raum 2020, R. gesamt, außer 1. Sitzplatzreihe (AP im gleichen Raum)	0,005	0,001	0,03	0,02	0,058	0,001	0,648		0,772	0,445		0,305	
6a	Raum 2030, Raum gesamt (AP in Raum 2020)							0,010		0,021	0,006		0,005	
Salzburger Vorsorgewert¹		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Schweizer Anlagengrenzwert		23,9	23,9	42,5	95,5	95,5	95,5	95,5	95,5	95,5	95,5	95,5	95,5	95,5
Grenzwert 26. BImSchV		2000	2000	4625	9100	10000	9400	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000

¹⁾ vgl. Gutachten

Tabelle M2: Leistungsflussdichten in den einzelnen Frequenzbereichen, einschl. 3 dB Sicherheitsaufschlag

Messpunkt	Messposition (AP = Access-Point)	Rundfunk		Mobilfunk			Telef.	WLAN 2,4 GHz			WLAN 5 GHz			Access-Point Modell Einsatzzeitpunkt Betriebsart
		UKW	TV,usw.	GSM900	GSM1800	UMTS	DECT	Cisco 1131 (ab 2004) 802.11b/g	Cisco 1142 (ab 2009/2010) 802.11b/g	802.11n	Cisco 1131 (ab 2004) 802.11a	Cisco 1142 (ab 2009/2010) 802.11a	802.11n	
		mW/m ²	mW/m ²	mW/m ²	mW/m ²	mW/m ²	mW/m ²	mW/m ²	mW/m ²	mW/m ²	mW/m ²	mW/m ²	mW/m ²	
	Gebäude GW2: Cafeteria													
7a	Ebene1: Nähe Access-Point Caf3, Bereich umliegende Tische									0,298			0,517	
7b	Direkt unterhalb AP, Kopfhöhe stehend									0,734				
7c	Direkt unterhalb AP, Kopfhöhe sitzend									0,356			0,996	
8	Ebene 1: Mittelbereich Nähe Essensausgabe	0,014	0,001	0,039	0,007	0,004	0,001			0,128			0,430	
9a	Ebene 1: Nähe Access-Point Caf5, Bereich umliegende Tische									0,332			0,457	
9b	Tisch direkt unterhalb AP, Kopfhöhe sitzend									1,261				
9c	Tisch direkt unterhalb AP, Kopfhöhe sitzend, mit Nutzernotebook									4,364				
10a	Ebene 2: Nähe Boulevard und direkte Nähe Access-Point Caf4	0,023	0,017	0,033	0,022	0,008	0,004			1,435				
10b	nächstliegender Tisch zu Caf4									0,137			0,651	
10c	umliegende Tische, ohne nächstliegenden Tisch									0,091			0,234	
11a	Ebene 2, Empore: Sitzbereich	0,007	0,003	0,019	0,014	0,008	0,006			0,147			0,217	
11b	Ebene 2, Empore: Sitzbereich, direkte Nähe zu Nutzernotebook									0,335				
12a	Ebene 2, Empore: nächstgelegene Sitzgruppe zu Access-Point Caf2									0,541			0,483	
12b	Ebene 2, Empore: nächstgelegene Sitzgruppe mit Nutzernotebook									1,008				
12c	Ebene 2, Empore: zweitnächste Sitzgruppe									0,144			0,246	
12d	Ebene 2, Empore: zweitnächste Sitzgruppe mit Nutzernotebook									1,390				
13a	Ebene 2: Umgebung Access-Point Caf1, Zentralbereich									0,180			0,186	
13b	Ebene2: großräumig Zentralbereich, einschl. Nutzernotebook									0,272				
14a	Ebene2: Tisch Umkreis Access-Point Caf1									0,125			0,311	
14b	Ebene2: Tisch Umkreis Access-Point Caf1 mit Nutzernotebook									0,157				
15	Ebene2: Tisch Nähe Access-Point Caf1									0,172			0,372	
Salzburger Vorsorgewert¹		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Schweizer Anlagengrenzwert		23,9	23,9	42,5	95,5	95,5	95,5	95,5	95,5	95,5	95,5	95,5	95,5	
Grenzwert 26. BImSchV		2000	2000	4625	9100	10000	9400	10000	10000	10000	10000	10000	10000	

¹⁾ vgl. Gutachten

Tabelle M3: Leistungsflussdichten in den einzelnen Frequenzbereichen, einschl. 3 dB Sicherheitsaufschlag

Messpunkt	Messposition	Rundfunk		Mobilfunk			Telef.	WLAN 2,4 GHz			WLAN 5 GHz		
		UKW mW/m ²	TV,usw. mW/m ²	GSM900 mW/m ²	GSM1800 mW/m ²	UMTS mW/m ²	DECT mW/m ²	802.11b/g mW/m ²	802.11b/g mW/m ²	802.11n mW/m ²	802.11a mW/m ²	802.11a mW/m ²	802.11n mW/m ²
	USB-Adapter D-Link DWA 160, auf Standfuß freistehend												
16a	15 cm, Betriebsart 802.11b								222,72				
16b	15 cm, Betriebsart 802.11n (auch alle folgenden)									32,38			64,45
16c	20 cm									17,60			56,27
16d	30 cm									12,24			18,77
16e	40 cm									7,38			21,87
16f	50 cm									2,61			13,99
16g	75 cm									3,45			9,06
16h	100 cm									1,40			11,19
16i	150 cm									1,01			2,57
16j	200 cm									0,40			1,58
16k	300 cm									0,18			0,74
16l	400 cm									0,14			0,22
16m	500 cm									0,09			0,24
	USB-Adapter D-Link DWA 160, eingesteckt in Notebook												
17a	20 cm zur Seite									9,32			84,07
17b	30 cm zur Seite									4,24			19,27
17c	40 cm zur Seite									3,52			12,61
17d	50 cm zur Seite									1,67			2,14
17e	75 cm zur Seite									0,55			0,77
17f	100 cm zur Seite									0,86			0,42
18a	Frontseite, 25 cm, mittig vor USB-Adapter									61,96			
18b	Frontseite, 25 cm, mittig vor Notebook (auch die folgenden)									26,49			28,26
18c	Frontseite, 45 cm									9,01			27,29
18d	Frontseite, 60 cm									5,10			11,78
18e	Frontseite, Schoßposition									18,78			20,42
	Salzburger Vorsorgewert¹	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Schweizer Anlagengrenzwert	23,9	23,9	42,5	95,5	95,5	95,5	95,5	95,5	95,5	95,5	95,5	95,5
	Grenzwert 26. BImSchV	2000	2000	4625	9100	10000	9400	10000	10000	10000	10000	10000	10000

¹⁾ vgl. Gutachten

