

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

**Juni 2017**

<b>Auftraggeber</b>	Universität Bremen Der Kanzler Bibliothekstraße 1, 28359 Bremen
<b>Untersuchungsobjekt</b>	Aktualisierung WLAN-System im 2,4-GHz und 5-GHz-Band: Austausch der Access-Points gegen leistungsfähigere Modelle • WLAN Access-Points in ausgewählten Gebäuden und Räumen auf dem Campus der Universität Bremen

### Inhaltsverzeichnis:

1 Auftrag und Zweck des Gutachtens.....	2
2 Grenz- und Vorsorgewerte .....	3
3 Mess- und Auswerteverfahren.....	6
4 Durchführung der Untersuchungen .....	12
5 Immissionsmessungen und Ergebnisse .....	15
6 Zusammenfassung und Bewertung der Untersuchungsergebnisse .....	31
7 Anhangsverzeichnis .....	35

## 1 Auftrag und Zweck des Gutachtens

Auf dem Campus der Universität Bremen ist ein flächendeckendes WLAN-Netzwerk realisiert. Im Zuge der gestiegenen Anforderungen sollen die vorhandenen Access-Points gegen neue, leistungsfähigere Modelle ausgetauscht werden.

Zur Überprüfung der durch die neuen Access-Point-Modelle verursachten Immissionen hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung sollen exemplarisch im Umkreis der an Test-Installationen (Gebäude SFG und GW2) in Betrieb genommenen neuen Access-Points Messungen zur Feststellung der Immissionen durchgeführt werden. Weiterhin soll ein Vergleich der Immissionen bei unterschiedlichen Konfigurationsparametern bzw. Betriebsarten durchgeführt werden.

Am 4. April 2017 wurde das EMF-Institut mit Bestellung Nr. 4700005268 mit der Untersuchung beauftragt. Das EMF-Institut<sup>1</sup> hat bereits in den Jahren 2001, 2004 und 2010 das WLAN-Netz auf dem Campus der Universität Bremen untersucht [1, 2, 3]

Im Gegensatz zu den vorigen Untersuchungen liegt das Schwergewicht dieses Gutachtens nicht auf der Analyse der Immissionen an typischen Daueraufenthaltsbereichen (insbesondere an Arbeitsplätzen der Universitätsmitarbeiter). Bedingt durch die vielen möglichen Konfigurationsparameter bzw. Betriebsarten und fünf verschiedene Access-Point-Modelle der neuen Generation, die möglicherweise eingesetzt werden sollen, würden Messungen an (einer Vielzahl von) typischen Arbeitsplätzen den Rahmen dieser Untersuchung sprengen. Zielsetzung ist daher primär der Vergleich der verschiedenen Access-Points der neuen Generation mit den bisher eingesetzten Access-Points, wobei auch die unterschiedlichen Betriebsarten verglichen werden. Weiterhin wird in einem Nutzungs-Szenario mit vielen Access-Points und Nutzern in einem großen Raum (Cafeteria) untersucht, ob 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.

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.

---

<sup>1</sup> In den Jahren 2001 und 2004 als EMF-Abteilung des nova-Instituts

## 2 Grenz- und Vorsorgewerte

Nachstehend sind die zur Bewertung der Immissionen herangezogenen gesetzlichen und berufsgenossenschaftlichen Grenzwerte in Deutschland sowie einige Grenz- und Vorsorgeempfehlungen im europäischen Ausland aufgeführt:

**Tabelle 1: Empfehlungen und Grenzwerte für hochfrequente elektromagnetische Strahlung in den verschiedenen Frequenzbereichen**

	Leistungsflussdichte <sup>a)</sup> in mW/m <sup>2</sup>						
	bis 400 MHz (UKW/TV)	400 bis 790 MHz (u.a. TV / DVBT)	790 MHz (LTE-800)	925 MHz (GSM-900)	1800 MHz (LTE-1800)	1820 MHz (GSM-1800)	ab 2000 MHz (UMTS, LTE-2600, WLAN, **)
Gesetzlicher Grenzwert (26. BImSchV) <sup>b)</sup> Beruflich strahlungsexponierte Personen	10000	10000 bis 19750	19750	23125	45000	45500	50000
Berufsgenossenschaftl. Grenzwert nach DGUV Vorschrift 15 Expositionsbereich 1 (temporäre Exposition) <sup>c)</sup>							
Gesetzlicher Grenzwert (26. BImSchV) Normalbevölkerung	2000	2000 bis 3950	3950	4625	9000	9100	10000
Berufsgenossenschaftl. Grenzwert nach DGUV Vorschrift 15 Expositionsbereich 2 (Dauerexposition) [4]							
Schweizer Anlagengrenzwert (OMEN <sup>d)</sup> )	23,9	23,9	42,5	42,5	95,5	95,5	95,5
Belgien / Luxemburg	23,9	23,9	23,9	23,9	23,9	23,9	23,9
BioInitiative Working Group Group <sup>e)</sup>	1	1	1	1	1	1	1
Salzburger Richtwert 1998 <sup>f)</sup> (Summe GSM <sup>g)</sup> außen)	(1)*	(1)*	(1)*	1	(1)*	1	1

\* Für die eingeklammerten Werte existiert keine Definition des Verordnungsgebers. Die hier angegebenen Werte wurden vom Sachverständigen sinngemäß ergänzt.

\*\* sowie alle anderen Funkssysteme oberhalb von 2000 MHz

### Erläuterung zu Tabelle 1: Grenz- und Vorsorgewerte

- a) Die Leistungsflussdichte ist die Messgröße, die die an einem bestimmten Ort (Immissionspunkt) vorliegende Intensität elektromagnetischer Strahlung beschreibt.
- b) Die gesetzlichen Grenzwerte in Deutschland für elektromagnetische Strahlung stützen sich weitgehend auf Empfehlungen der internationalen Strahlenschutzkommission (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP).
- c) Bei den berufsgenossenschaftlichen Grenzwerten gilt der Expositionsbereich 1 (u.a.) für alle Bereiche, in denen eine temporäre Exposition vorliegt, definiert als: „Expositionszeit von weniger als im Mittel 8 Stunden pro Tag bei 5 Tagen pro Woche und 50 Wochen im Jahr“.
- d) OMEN: Orte mit empfindlicher Nutzung: Daueraufenthaltsbereiche von Menschen (Wohn- und Bürogebäude, sensible Einrichtungen, wie Kindertagesstätten; Schulen; Krankenhäuser usw.)
- e) Bei der BioInitiative Working Group [5] handelt es sich um einen Zusammenschluss von rund 30 unabhängigen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus 10 Ländern, die Vorsorgewertempfehlungen für die Einwirkung elektromagnetischer Felder auf Menschen ausgesprochen haben ([www.bioinitiative.org](http://www.bioinitiative.org)).
- f) Dieser Wert wurde 1998 von der Landessanitätsdirektion Salzburg empfohlen und mit dem dort seinerzeit tätigen Netzbetreiber abgestimmt.
- g) GSM = Global System for Mobile Communication (Mobilfunkstandard für D- und E-Netze)

Der gesetzliche Grenzwert in Deutschland entsprechend der 26. BImSchV (26. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz) [6] stützt sich ausschließlich auf thermische Effekte, d.h. 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) unterhalb der medizinisch tolerierbaren Erwärmung bleibt.

Die gesetzlichen Grenzwerte (26. BImSchV) unterscheiden dabei zwischen beruflich strahlungsexponierten Personen und der Normalbevölkerung, für die der Grenzwert um einen Faktor 5 geringer gewählt wurde, um eine eventuell erhöhte Empfindlichkeit einzelner Personengruppen zu berücksichtigen.

Die berufsgenossenschaftlichen Grenzwerte (DGUV Vorschrift 15) haben für die hier interessierenden Frequenzbereiche die gleichen numerischen Werte, unterscheiden allerdings zwischen temporärer Exposition (Expositionsbereich 1) und Dauerexposition (Expositionsbereich 2). Die berufsgenossenschaftlichen Vorschriften DGUV Vorschrift 15 [4] werden näher erläutert in den Berufsgenossenschaftlichen Regeln DGUV Regel 103-013 [7].

In der Wissenschaft wird weiterhin untersucht, ob über die direkte Erwärmung hinausgehende Auswirkungen – sog. athermische Effekte – hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung existieren. Dies könnten z.B. direkte Auswirkungen der

hochfrequenten elektrischen Felder auf Körperzellen sein. Hierauf basierend haben verschiedene Gremien Vorsorgeempfehlungen ausgesprochen, von denen einige in Tabelle 1 aufgeführt sind. 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.

Die Schweiz stützt sich bei der Festlegung ihrer Grenzwerte auf ähnliche Überlegungen wie kritische Wissenschaftler hier zu Lande. Zum Beispiel wird in der Schweiz aus Vorsorgegesichtspunkten für „Orte mit empfindlicher Nutzung“ (OMEN), an denen sich Menschen dauerhaft aufhalten, der sogenannte Anlagengrenzwert festgelegt, der bei ca. bei einem Hundertstel der Grenzwerte in Deutschland liegt [8].

Auch in Deutschland werden neben den gesetzlichen Grenzwerten der 26. BImSchV auch von offizieller Seite teilweise weitere der genannten Grenzwerte herangezogen. So wird z.B. in Nordrhein-Westfalen vom Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz (MKULNV)<sup>2</sup> im Rahmen der Immissionsminimierung elektromagnetischer Strahlung der Vorsorgeaspekt diskutiert. Bei der Bewertung der Ergebnisse umfangreicher Immissionsmessungen von Mobilfunk-Basisstationen wurde der in der Schweiz gültige Anlagengrenzwert für Orte mit empfindlicher Nutzung (OMEN) als Bewertungsgröße herangezogen [9].

Das Bundesamt für Strahlenschutz setzt sich ebenfalls für Vorsorgemaßnahmen ein und empfiehlt „...unnötige Expositionen müssen vermieden und unvermeidbare Expositionen müssen so weit wie möglich minimiert werden...“<sup>3</sup>.

Im vorliegenden Gutachten werden die Immissionen in Relation gesetzt zu den gesetzlichen Grenzwerten, den Schweizer Anlagengrenzwerten sowie dem Vorsorgewert der BioInitiative Working Group (vgl. Erläuterungen e)).

---

<sup>2</sup> ehemals: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV)

<sup>3</sup> Wolfram König, ehem. Präsident des Bundesamtes für Strahlenschutz in seiner Eröffnungsansprache zum zweiten BfS-Fachgespräch „Forschungsprojekte zur Wirkung elektromagnetischer Felder des Mobilfunks“, Berlin, 25.9.2003.

### 3 Mess- und Auswerteverfahren

#### 3.1 Verwendete Messgeräte

Die Messungen wurden durchgeführt mit folgenden Messgeräten:

- Spektrumanalysator Advantest R 3131 A für den Frequenzbereich bis 3 GHz
- Spektrumanalysator Anritsu MS2725C für den Frequenzbereich ab 3 GHz sowie für mobile Messungen (Cafeteria)
- 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 3 GHz.
- Logarithmisch-periodische Messantenne Schwarzbeck ESLP 9145 für den Frequenzbereich ab 3 GHz.

#### 3.2 WLAN-System

In den Gebäuden auf dem Campus der Universität Bremen ist bisher ein WLAN-System installiert, das parallel im Frequenzbereich 2,4 GHz und im Frequenzbereich 5 GHz arbeitet. Das WLAN-System dient hauptsächlich zur mobilen Anbindung von mobilen Endgeräten (Notebooks, Tablets, SmartPhones usw.) an das Internet und das Datennetz der Universität und wird auch zukünftig die genannten Frequenzbereiche nutzen.

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 Datenübertragungslast eingesetzten Notebooks ermöglichen, sich mit einem dezidierten Access-Point zu verbinden und die gewünschte Betriebsart vorzugeben. Weiterhin wurden bei dieser manuellen Konfiguration auch – außer bei den später aufgeführten Einzeluntersuchungen zur Sendeleistung – die höchsten Sendeleistungen der Access-Points ausgewählt, so dass die gemessenen Immissionen der Worst-Case-Situation entsprechen.

Alle Messungen an den Access-Points 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 nutzten die Endgeräte der dort anwesenden Studierenden die dortigen Access-Points im Realbetrieb. Zusätzlich wurden weitere Notebooks eingesetzt, um auf den Access-Points eine hohe Datenübertragungslast zu erzeugen.

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 Immission durch den Access-Point ermittelt. Das heißt, es wird eine Worst-Case-Betrachtung durchgeführt<sup>4</sup>.

### 3.2.1 Integration der Spektren

Die einzelnen Kanäle von WLAN-Access-Points entsprechend allen hier untersuchten Normen (IEEE 802.11) belegen eine Bandbreite von 20 MHz oder mehr.

Da die belegte Bandbreite von mindestens 20 MHz wesentlich größer ist als die Auflösungsbandbreite des Spektrumanalysators (RBW = Resolution Bandwidth) von 1 bzw. 3 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.

### 3.3 Übersichtsmessung und externe Quellen

An drei Messpunkten wurde eine Übersichtsmessung 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.

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, auf die in Kap. 5.6, S. 28 weiter eingegangen wird, sind in den **Diagrammen 1 bis 3** 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 Frequenzberei-

---

<sup>4</sup> 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.

chen nicht bereits den Spektren der Übersichtsmessung zu entnehmen waren. Dabei handelt es sich um:

- Rundfunksender im UKW- und DAB-Bereich
- Fernsehsender sowie weitere Quellen im VHF- und UHF-Bereich
- Mobilfunksender in den GSM- LTE- und UMTS-Frequenzbereichen

### 3.3.1 Rundfunk- und Fernsehsender

Die Leistungsflussdichten der UKW-, DAB- und TV-Rundfunksender sowie sonstiger Quellen im UHF-Bereich wurden durch Integration der entsprechenden Frequenzbereiche aus separaten Spektren für den Frequenzbereich 60 bis 800 MHz ermittelt. Die Ergebnisse sind in **Tabelle M5** im Anhang enthalten.

### 3.3.2 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 für die Frequenzbereiche der einzelnen Mobilfunkdienste (vgl. Kap. 5.6) Spektren aufgenommen.

Jeweils unmittelbar benachbarte Frequenzbereiche wurden in die Messung mit eingeschlossen:

- GSM-900: Frequenzbereich von 918 bis 960 MHz (einschließlich GSM-Rail)
- LTE-1800 / GSM-1800: Frequenzbereich von 1800 bis 1900 MHz (einschließlich DECT-Telefone)

Abgesehen davon wurde der Frequenzbereich auf das Downlink-Band<sup>5</sup> des jeweiligen Mobilfunknetzes beschränkt, um dort die Intensitäten einzelner Kanäle erkennen und separat analysieren zu können. Wie es für Mobilfunkbasisstationen üblich ist, wurden in den GSM-Frequenzbereich viele Sendefrequenzen (Kanäle) festgestellt.

Die aus den Kanalintensitäten sowie der Kanalanzahl bestimmten integralen Messwerte sind (nach Hochrechnung auf Vollaustattung (vgl. die folgenden Kapitel 3.4.1 und 3.4.2) ebenfalls in Tabelle M5 im Anhang angegeben.

## 3.4 Messverfahren Mobilfunksender und Hochrechnung auf Vollaustattung

An den Messpunkten der Übersichtsmessung wurden für folgende Mobilfunknetze jeweils Einzelspektren mit der Max-Hold-Funktion des Spektrumanalysators aufgenommen: GSM-900, GSM-1800, LTE-800, LTE-1800, LTE-2600 und UMTS.

Dabei wurde die Messantenne manuell in dem zu untersuchenden Bereich bewegt (Schwenkmethode), um die höchsten Immissionen 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.

#### **3.4.1 Hochrechnung auf Vollaustung für die GSM-Basisstationen**

Die Hochrechnung auf Vollaustung wurde für die GSM-Basisstationen der einzelnen Betreiber basierend auf der Annahme durchgeführt, dass GSM-Basisstationen üblicherweise mit insgesamt 4 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 Vollaustung der einzelnen Basisstationen vorgenommen: Aus den Spektren wurde die Intensität des Basiskanals bzw. des intensitätsreichsten Kanals 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, wenn in allen Sektoren dieser Basisstation alle Kanäle mit voller Sendeleistung betrieben werden.

#### **3.4.2 Hochrechnung auf Vollaustung für die UMTS- und LTE-Basisstationen**

Für die UMTS- und LTE-Basisstationen erfolgte die Hochrechnung auf Vollaustung unter der Annahme, dass in aktuellen Datennetzen und zu nutzungsstarken Zeiten zumindest ein Carrier mit großer Auslastung arbeitet.

Für die Hochrechnung auf Vollaustung wurde daher für den Frequenzbereich eines jeden Netzbetreibers das Maximalsignal über alle Carrier dieses Netzbetreibers ermittelt – auch wenn dies während des Messzeitraums nur in einem schmalen Teilbereich der von einem Carrier belegten Bandbreite auftrat. Für die Vollaustungssituation wurde angenommen, dass alle Carrier dieses Betreibers mit der maximal festgestellten Amplitude arbeiten.

Die Hochrechnung auf Vollaustung entspricht somit der Immissionssituation, die bei maximaler Auslastung der Sendeanlagen (alle Carrier genutzt) und bei maximaler Sendeleistung zu erwarten ist.

---

<sup>5</sup> Downlink = Übertragungsrichtung von der Basisstation zum Mobilgerät (Handy)

Weiterhin wurden bei allen Ergebnissen mögliche Messunsicherheiten entsprechend Kapitel 3.5, S. 10 berücksichtigt, wie es bei Untersuchungen zur Grenzwertüberprüfung üblich ist. Dies entspricht – wie in Kap. 3.5 erläutert – für die in den Tabellen M1 bis M5 genannten Ergebnisse einer Verdopplung der tatsächlich gemessenen Leistungsflussdichten.

### 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 der Messkabel
- 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, evtl. 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 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.

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 Abstandsverhalten<sup>6</sup> ergibt.

---

<sup>6</sup>die Leistungsflussdichte sinkt mit dem Quadrat des Abstandes

Entsprechend den vorstehenden Erläuterungen wurde für die Berechnung der in den Tabellen M1 bis M5 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.

## 4 Durchführung der Untersuchungen

**Datum der Messungen: Montag, 10.04.2017, 08:00 bis 17:00 Uhr**  
**Dienstag, 11.04.2017, 08:30 bis 18:00 Uhr**

### 4.1 Vorbereitungen

Vor Untersuchungsbeginn am 10.04.2017 erfolgte eine Kick-off-Besprechung im Gebäude SFG, Raum 1380, an der folgende Personen teilnahmen:

(vom Zentrum für Netze der Universität Bremen):

- Markus Germeier
- Niels Pollem
- Nils Feske, Fritz Grimpen, Daniel Thaden, Jan-Frederik Rieckers (studentische Mitarbeiter)

(vom Personalrat der Universität Bremen):

- Jürgen Hubrich

(vom EMF-Institut, Köln):

- Monika Bathow
- Peter Nießen

Die durchzuführenden Untersuchungen und die Vorgehensweise wurden im Vorfeld mit Herrn Crueger (Referat 02, u.a. Strahlenschutz) abgestimmt, der am Termin leider nicht teilnehmen konnte.

Nach einer Vorstellungsrunde wurden der Messablauf, die Messpunktauswahl und die vorgesehenen Untersuchungen besprochen:

- Exemplarisch sollen an einem Testaufbau die 5 vorgesehenen Access-Point-Modelle der neuen Generation mit dem bisher eingesetzten Access-Point-Modell verglichen werden.
- An einem Installationspunkt soll eine Abstandsverteilung der Immissionen für einen der vorgesehenen Access-Points gemessen werden.
- Für einen der vorgesehenen Access-Points sollen die Immissionen in unmittelbar angrenzenden Nachbarräumen untersucht werden – bei einer Leichtbauwand und einer Massivwand.
- Bei einem der vorgesehenen neuen Access-Points sollen exemplarisch die Betriebsarten verglichen werden.
- Die Untersuchung anderer Quellen hochfrequenter Strahlung (Übersichtsmessungen) sollen an einigen Standorten der Messung aus dem Jahr 2010 wiederholt werden.
- In der Cafeteria sollen die Access-Points der neuen Generation im aktiven Betrieb zusammen mit aktiven Notebooks der Nutzer untersucht werden.

## 4.2 Messablauf WLAN-Systeme

Die Messungen erfolgten entsprechend dem in Kap. 3, ab S. 6 beschriebenen Verfahren. Die Messstandorte sind die in **Lagepläne 1 bis 4** im Anhang eingezeichnet.

Die Einzeluntersuchungen sind detailliert in den Kapiteln 5.1 bis 5.5 (ab S. 18) beschrieben. Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass es sich bei allen<sup>7</sup> Messungen an den WLAN-Komponenten um die Worst-Case-Situation handelt, da die Access-Points – wie in Kapitel 3.2 beschrieben – manuell auf maximale Sendeleistung konfiguriert wurden und – durch speziell zur Erzeugung von Datenübertragungslast eingesetzte Notebooks – mit hoher Auslastung betrieben wurden.

Die Ergebnisse der Messungen sind in den Tabellen **M1 bis M5** im Anhang dargestellt.

Bei den Messungen in der Cafeteria (vgl. Kap. 5.5, ab S. 25) erfolgte im Sinne einer möglichst realistischen Betrachtung der Summationswirkung mehrerer Access-Points und vieler Nutzer-Endgeräte (wie es dem Normalfall entspricht) auch durch die Notebooks usw. der dort anwesenden Studierenden ein normaler WLAN-Zugriff.

Am ersten Messtag erfolgten die in den Unterkapiteln 5.1, 5.2 und 5.4 beschriebenen Messungen, am zweiten Messtag die in Kap. 5.3, 5.5 und 5.6 beschriebenen Messungen.

## 4.3 Messablauf sonstige Quellen

Zur Erfassung der Immissionen hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung aus weiteren (über das WLAN-System hinausgehenden) Quellen wurden an drei Messpunkten (MP55 bis 57) Übersichtsmessungen im Frequenzbereich von 50 bis 3000 MHz entsprechend dem in Kapitel 3.3 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 3** im Anhang dargestellt.

Für die Frequenzen der Mobilfunksender der GSM-900-, GSM-1800-, LTE-800, LTE-1800- und UMTS-Netze wurden jeweils separate Detailmessungen durchgeführt, bei denen die einzelnen Kanäle bzw. Carrier der Mobilfunksender erfasst wurden, um eine Hochrechnung auf Vollauslastung der Mobilfunknetze zu ermöglichen (vgl. Kapitel 3.4, S. 8)<sup>8</sup>. Die Ergebnisse der Detailmessungen sonstiger Quellen sind in Tabelle M5 im Anhang aufgeführt und werden in Kap. 5.6, S. 28 besprochen.

---

<sup>7</sup> außer bei den Einzeluntersuchungen zum Einfluss der PowerLevel-Einstellung

<sup>8</sup> Die Einzelspektren sind im Gutachten nicht dargestellt, wurden aber separat ausgewertet, um die in den Tabellen angegebenen Immissionen durch die GSM-900-, GSM-1800-, LTE-800-, LTE-1800-, LTE-2600 und UMTS-Netzen zu ermitteln.

Es sei noch angemerkt, dass natürlich auch die Immissionen der WLAN-Access-Points im 2,4 GHz-Bereich in den Spektren der Übersichtsmessung enthalten sind (Diagramme 1 bis 3). Die Intensität der WLAN-Signale ist in diesen Spektren allerdings ohne besondere Bedeutung, da bei den Übersichtsmessungen ein größeres Raumvolumen abgesehen 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.

## 5 Immissionsmessungen und Ergebnisse

In diesem Kapitel wird der wesentliche Vergleich zwischen den Access-Point-Generationen dargestellt.

Seit etwa 2010 wird auf dem Campus der Universität Bremen zur WLAN-Versorgung der Access-Point Cisco 1142 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)
- IEEE 802.11 n (WLAN-Netze in beiden Frequenzbereichen).

Als Nachfolgemodelle sollen ab 2017 ggf. folgende Access-Point-Modelle eingesetzt werden:

- Cisco 2802I (interne Antennen)
- Cisco 2702I (interne Antennen)
- Cisco 1832I (interne Antennen)
- Cisco 1852I (interne Antennen)
- Cisco 2802E (mit externen Antennen Cisco AIR-ANT2535SDW-R)

Diese Access-Points verfügen über die gleichen Betriebsarten wie der bisher eingesetzte Access-Point Cisco 1142 sowie über weitere Optionen zur Konfigurierung der Sendeleistung, der Anzahl der eingesetzten Antennenpaare und der verwendeten Bandbreite – wobei hier nur die aus Sicht des Immissionsschutzes möglicherweise relevanten Optionen genannt sind.

Bei den Messungen in diesem Kapitel wird untersucht, welche Immissionen durch die im Jahr 2017 geplanten Access-Points der neuen Generation (s. Auflistung) zu erwarten sind.

Wie bereits in Kap. 1 erwähnt liegt im Gegensatz zu den vorigen Untersuchungen [1, 2, 3] (u.a. aus dem Jahr 2010) das Schwergewicht dieses Gutachtens nicht auf der Analyse der Immissionen an typischen Daueraufenthaltsbereichen (insbesondere an Arbeitsplätzen der Universitätsmitarbeiter). Bedingt durch die vielen möglichen Konfigurationsparameter bzw. Betriebsarten und fünf zu untersuchende Access-Point-Modelle der neuen Generation würden Messungen an einer größeren Anzahl typischer Arbeitsplätze den Messaufwand extrem erhöhen. Zielsetzung ist daher primär der Vergleich der verschiedenen Access-Point-Modelle der neuen Generation mit den bisher eingesetzten Access-Point-Modellen, wobei auch die unterschiedlichen Betriebsarten verglichen werden.

Weiterhin wird in einem Nutzungs-Szenario mit vielen Access-Points und Nutzern in einem großen Raum (Cafeteria) untersucht, ob durch die WLAN-Komponenten Grenz- oder Vorsorgewerte erreicht oder überschritten werden.

### Anmerkung:

Die Fragestellung, welche Summationswirkung von Access-Points zu erwarten ist,

die auf unterschiedlichen Etagen, aber trotzdem in relativ geringem Abstand zueinander betrieben werden, wurde bereits im Gutachten von 2010 ([3], Kap. 5.1, S. 14) untersucht und kam zu folgendem Ergebnis:

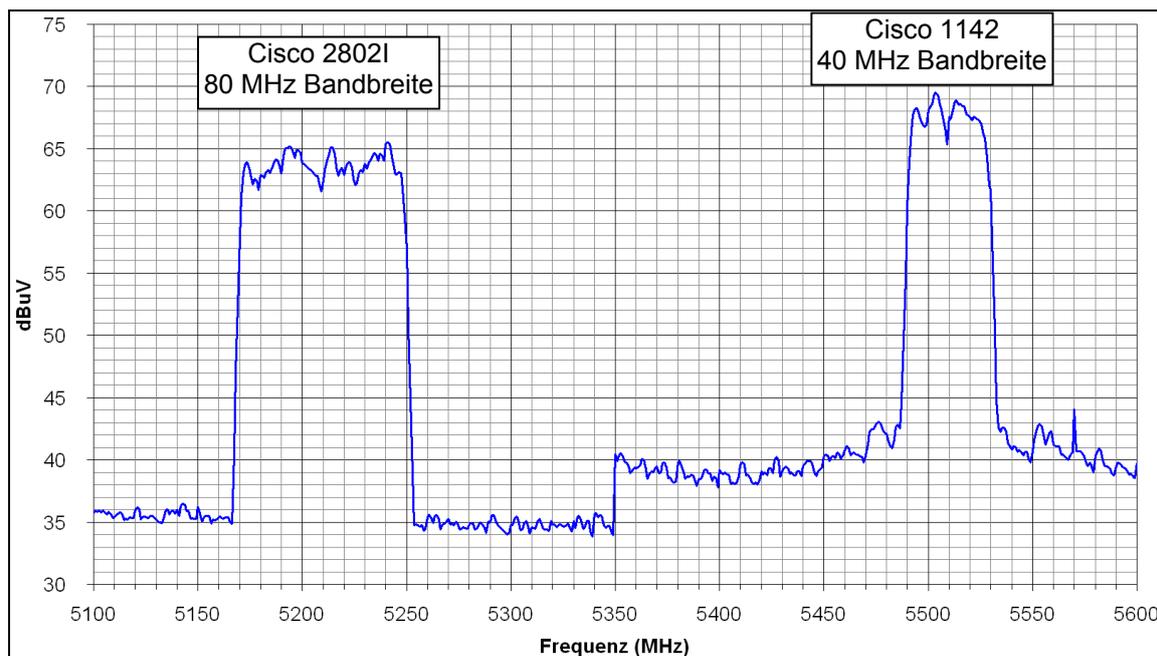
„Grundsätzlich ist festzustellen, dass in Gebäuden mit Betondecken die durch Access-Points in anderen Etagen verursachten Immissionen so gering sind, dass sie im Vergleich zu anderen Quellen hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung unbedeutend sind.“

Im vorliegenden Gutachten wurde dieser Punkt daher nicht weiter untersucht.

Zur Untersuchung des WLAN-Systems wurden im Einzelnen folgende Messungen durchgeführt, wie bereits in Kap. 4.1 angesprochen:

- Kap. 5.1 Vergleichsmessung Abstandsverteilung der Immissionen: exemplarischer Vergleich zwischen einem neuen (Cisco 2802I) und dem bisherigen Access-Point-Modell.
- Kap. 5.2 Vergleichsmessung Konfigurationsparameter: exemplarischer Vergleich zwischen einem neuen (Cisco 2802I) und dem bisherigen Access-Point bei fester Geometrie.
- Kap. 5.3 Vergleichsmessung der 5 vorgesehenen Access-Point-Modelle der neuen Generation (s. Auflistung S. 15) gegen das bisher eingesetzte Access-Point-Modell: Vergleich bei 2 festen Geometrien.
- Kap. 5.4: Einzelmessung der Immissionssituation in Nachbarräumen: Exemplarische Messungen an einem der vorgesehenen Access-Point-Modelle (Cisco 2802I) bei einer Leichtbauwand und einer Massivwand.
- Kap. 5.5 Messung der Summenimmissionen bei realistischem Betrieb von 5 Exemplaren des vorgesehenen Access-Point-Modells Cisco 2802I in der Cafeteria – zusammen mit Nutzer-Endgeräten (Notebooks, Smartphones, usw.).

Die drei aufgeführten Vergleichsmessungen wurden – um einen möglichst realistischen Vergleich zu ermöglichen – so durchgeführt, dass die zu vergleichenden Access-Points gleichzeitig, aber auf verschiedenen Kanälen betrieben werden. Dadurch können die Immissionen beider zu vergleichenden Access-Points in einer einzigen Messwertaufnahme im gleichen Spektrum erfasst werden (vgl. beispielhaft das folgende Spektrum).



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

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 allen Messungen wurden die zu untersuchenden Access-Points – wie bereits angesprochen – unter hoher Datenübertragungslast betrieben. Die zur Erzeugung der Datenübertragungslast eingesetzten Notebooks wurden jeweils weit entfernt vom Messpunkt platziert, um die Messung der durch die Access-Points verursachten Immissionen nicht zu beeinflussen.

Die angesprochenen Untersuchungsteile zum WLAN-System werden in den folgenden fünf Unterkapiteln detailliert dargestellt. Die Messergebnisse aller Einzeluntersuchungen sind in den Tabellen M1 bis M4 im Anhang aufgeführt. Die Relation zu internationalen Grenz- und Vorsorgewerten ist jeweils in der Fußzeile der Tabellen angegeben.

Alle Messpunkte und die Standorte der untersuchten Access-Points sind in den Lageplänen 1 bis 5 im Anhang eingezeichnet.

## 5.1 Vergleichsmessungen Abstandsverteilung

Die Messungen zur Abstandsverteilung wurden als Vergleichsmessung zwischen dem bisher eingesetzten Access-Point-Modell Cisco 1142 und (exemplarisch) dem neu vorgesehenen Access-Point-Modell Cisco 2802I durchgeführt.

Hierzu wurde in Raum 1380 im Gebäude SFG eine Testinstallation aufgebaut, bei der die beiden zu untersuchenden Access-Points an der Raumdecke in ca. 2,60 m Höhe über Boden montiert wurden.



Die Messung der Immissionen erfolgte – getrennt für die Frequenzbereiche 2,4 GHz und 5 GHz – in einer Höhe von bis zu 2 m über Boden und in einem horizontalen Abstand von den Access-Points von 0 bis 5 m. Die Messsituation ist in Lageplan 1 (im unteren Bereich: Raum 1380) wiedergegeben, wobei die verwendeten horizontalen Messabstände durch rote Linien angedeutet sind. Die Messantenne wurde im jeweiligen Abstand seitlich und vertikal geschwenkt sowie zur Erfassung unterschiedlicher Polarisationsrichtungen gedreht, um das Maximum der Immissionen zu erfassen.

Die Ergebnisse zur Abstandsverteilung der Immissionen sind in Tabelle M1 im Anhang im 1. Block (Messpunkte 02 bis 08) dargestellt.

Im Wesentlichen zeigt sich ein einheitliches Bild dahingehend, dass die vom neuen Access-Point-Modell (Cisco 2802I) verursachten Immissionen deutlich geringer sind als beim bisher eingesetzten Modell Cisco 1142. Diese Aussage gilt – abgesehen von der nachfolgend besprochenen Abweichung – sowohl für beide Frequenzbereiche (2,4 und 5 GHz) als auch für alle untersuchten Abstände (bis zu 5 m Abstand).

Abweichend hiervon zeigen sich bei den Messpunkten 04 und 05 (2 m seitlicher Abstand) im 5 GHz-Bereich beim neuen Access-Point (Cisco 2802I) um ca. 1 mW/m<sup>2</sup> höhere Immissionen, die in der Summe beider Frequenzbereiche zu näherungsweise

gleichen Immissionen (ca. 9,3 mW/m<sup>2</sup>) bei altem und neuem Access-Point führen. Im Rahmen der folgenden Untersuchungen (Variation PowerLevel und Variation Bandbreite) wurde die gleiche Messsituation der Messpunkte 04 und 05 für den Frequenzbereich 5 GHz noch mehrmals nachgemessen: Messpunkte 10, 11, 17 und 18. Bei diesen vier Messpunkten zeigen sich jeweils für den neuen Access-Point (Cisco 2802I) deutlich geringere Immissionen als für den bisher eingesetzten (Cisco 1142)<sup>9</sup>. Berücksichtigt man die Messpunkte 10, 11, 17 und 18 auch bei der Auswertung der Abstandsverteilung, so ergibt sich als klare Gesamtaussage, dass das geplante Access-Point-Modell Cisco 2802I geringere Immissionen verursacht als das bisher eingesetzte Modell Cisco 1142.

## 5.2 Vergleichsmessungen Konfiguration (feste Geometrie)

Im nächsten Untersuchungsabschnitt wurde der Einfluss folgender Konfigurationsparameter auf die Immissionen untersucht:

- PowerLevel (in Stufen konfigurierbare Sendeleistung):  
1 (maximale Sendeleistung) bis 6 bzw. 7 (minimale Sendeleistung)
- Bandbreite (40 bzw. 80 MHz gegen 20 MHz)
- Anzahl der eingesetzten Antennenpaare (3 bzw. 4 gegen 1)

Ebenso wie im vorstehenden Kap. 5.1 erfolgten auch die Messungen zum Einfluss der Konfigurationsparameter als Vergleichsmessung zwischen dem bisher eingesetzten Access-Point-Modell Cisco 1142 und (exemplarisch) dem neu vorgesehenen Access-Point-Modell Cisco 2802I. Es wurde der gleiche Messaufbau wie in Kap. 5.1 eingesetzt (Parallelbetrieb von Cisco 1142 und Cisco 2802I), wobei die Messungen dieses Kapitels allerdings ausschließlich bei einem horizontalen Abstand von 2 m durchgeführt wurden (s. Messlinie 2m in Lageplan 1), jeweils bei einer Höhe von bis zu 2 m über Boden. Die Durchführung der Messungen (Schwenkverfahren) erfolgte ebenso wie in Kap. 5.1 beschrieben.

Die Ergebnisse zu den Konfigurationsparametern sind in Tabelle M1 im Anhang im 2. Block (Messpunkte 10 bis 28) dargestellt, wobei unterhalb der Tabelle die benutzten Kürzel für (PL=PowerLevel, AntP=Antennenpaare, BW=Bandwidth) erläutert sind. Die einzelnen untersuchten Konfigurationen können Tabelle M1 entnommen werden. Zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit der Messungen wurden einige Einzelmessungen bei unveränderten Messbedingungen wiederholt (Kennzeichnung W). Zusammenfassend sind aus den Messungen folgende Ergebnisse zu entnehmen:

- Abgesehen von den folgenden zwei Einzelergebnissen zeigt sich bei allem untersuchten Konfigurationen, dass die vom neuen Access-Point-Modell (Cisco

<sup>9</sup> Als wahrscheinlichste Ursache für die abweichenden Messwerte an den Messpunkten 04 und 05 im Frequenzbereich 5 GHz ist eine unbeabsichtigte Ausweitung des Schwenkbereichs der Messantenne während der Messwertaufnahme zu vermuten.

2802I) verursachten Immissionen deutlich geringer sind als beim bisher eingesetzten Modell Cisco 1142. Abweichend zeigen sich an den Messpunkten 22 und 24 (ein Antennenpaar, PowerLevel 3 bzw. 5) gleiche bzw. geringfügig (aber unbedeutend) höhere Immissionen beim vorgesehenen Modell Cisco 2802I (0,46 mW/m<sup>2</sup> im Vergleich zu 0,44 mW/m<sup>2</sup> beim bisherigen Modell).

- Bei der Untersuchung der unterschiedlichen Einstellungen der Sendeleistung (PowerLevel: PL1: maximale Sendeleistung, PL6 bzw. PL7: minimale Sendeleistung) zeigt sich, dass (zumindest im 5-GHz-Bereich) erst ab PowerLevel 3 eine signifikante Reduktion der Immissionen eintritt. Dies könnte darauf hindeuten, dass bei diesem Access-Point-Modell durch die (korrekte) Firmware-Einstellung auf die europäische Grenzwertsituation (in Deutschland Regulierung durch die Bundesnetzagentur) eine „Deckelung“ der Sendeleistung stattfindet. Im Ergebnis bedeutet dies, dass auch bei Konfigurierung hoher Sendeleistung (worst case) die Immissionen begrenzt bleiben und nicht höher ausfallen als bei den bisher eingesetzten Access-Point-Modellen.
- Im Normalfall sind die Access-Points auf die Nutzung aller verfügbaren Antennenpaare konfiguriert, um die bestmögliche Funkabdeckung zu erreichen. Mit den Messpunkten 19 bis 24 wurde die Konfigurierung der Access-Points auf die Nutzung nur eines Antennenpaares bei unterschiedlichen Einstellungen zur Sendeleistung (PowerLevel) untersucht. Dabei zeigte sich, dass auch in dieser Situation (nur 1 Antennenpaar) die Immissionen entsprechend der PowerLevel-Einstellung erwartungsgemäß abnehmen. Weiterhin fällt im Vergleich zur Nutzung aller Antennenpaare eine erhebliche Verringerung der Immissionen auf. Im vorliegenden Gutachten wurde nicht untersucht, ob dies „rundum“ um den Access-Point gilt, oder nur für die bei der Messung gewählte Montageposition. Unabhängig davon kann bezüglich der Immissionssituation auf jeden Fall festgestellt werden, dass durch eine Konfiguration der Access-Points auf die Nutzung einer eingeschränkten Anzahl von Antennenpaaren keine Erhöhung der Immissionen zu erwarten ist.
- Die Untersuchungen zum Einfluss der konfigurierten Bandbreite auf die Immissionen haben gezeigt, dass die (grundsätzlich immissionserhöhende) Konfigurierung auf die Nutzung einer größeren Bandbreite (Messpunkte 10 bis 12b im Vergleich zu den Messpunkten 25 bis 28) nicht zu einer nennenswerten Erhöhung der Immissionen führt. Die Einzelanalyse der Spektren (hier nicht wiedergegeben) hat gezeigt, dass bei einer Erhöhung der Bandbreite die Amplitude der ausgesandten Signale automatisch reduziert wird (und umgekehrt), so dass es nicht zu einer Erhöhung der Immissionen kommt. Weiterhin bleiben auch bei einer kleinen konfigurierten Bandbreite die Immissionen durch das vorgesehene Access-Point-Modell Cisco 2802I deutlich unterhalb

der Immissionen durch das bisher eingesetzte Modell Cisco 1142.

Anmerkung: Spätere Untersuchungen (bei den Messungen in der Cafeteria, vgl. Kap. 5.5, ab S. 25) haben gezeigt, dass der Access-Point Cisco 2802I auch bei Konfiguration einer großen Bandbreite (hier 80 MHz), je nach Qualität der Funkverbindung zu den jeweiligen Endgeräten automatisch zu einer geringeren Bandbreite wechselt, um dadurch eine größere Sendeamplitude nutzen und dadurch die Übertragungsqualität verbessern zu können. Auf die Immissionen hat dies – wie gesagt – praktisch keinen Einfluss.

### **5.3 Vergleichsmessungen verschiedene Access-Points (feste Geometrie)**

Insgesamt stehen für den zukünftigen Einsatz fünf verschiedene Access-Point-Modelle der neuen Generation zur Diskussion (s. Auflistung S. 15).

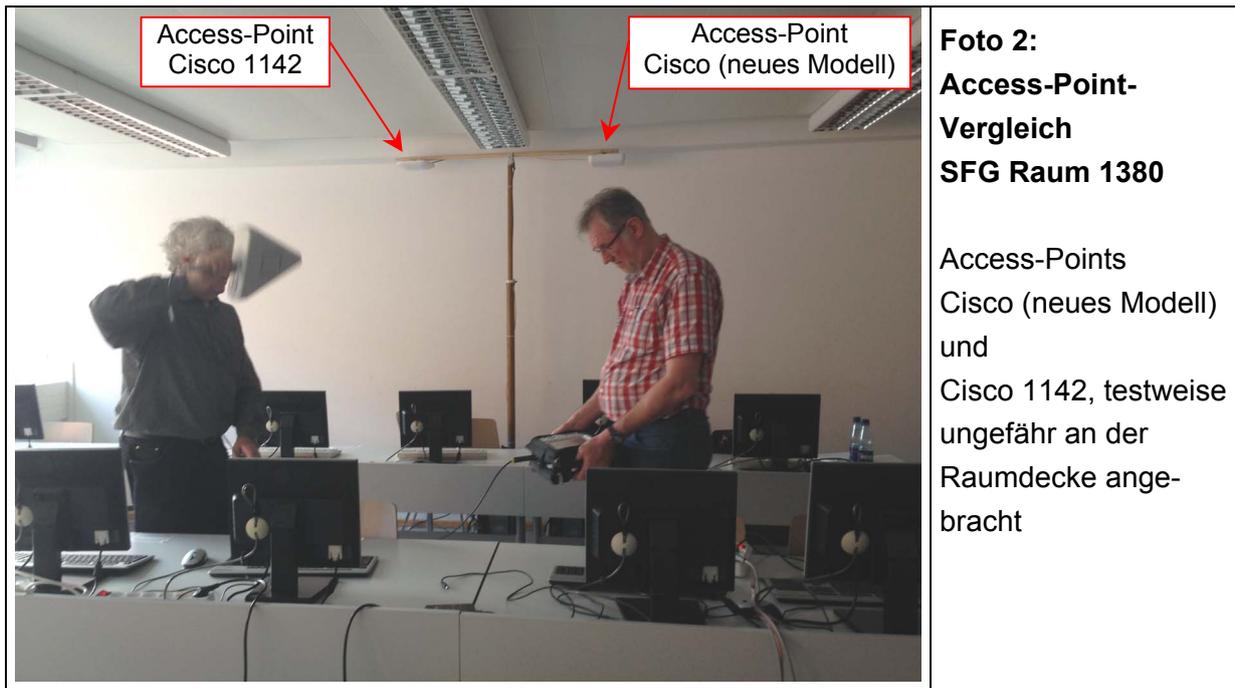
Die in den beiden vorstehenden Kapiteln beschriebenen Vergleichsmessungen (Abstandsverteilung und Konfiguration) wurden exemplarisch mit dem neuen Access-Point-Modell Cisco 2802I gegen das bisherige Modell Cisco 1142 durchgeführt.

Bei den Messungen dieses Unterkapitels erfolgt der Vergleich aller fünf zur Diskussion stehenden neuen Access-Point-Modelle jeweils gegen das bisherige Modell Cisco 1142, so dass sich insgesamt fünf Messblöcke ergeben.

Aus organisatorischen Gründen konnten diese (am zweiten Messtag erfolgten) Messungen nicht im gleichen Raum durchgeführt werden wie die vorigen Messungen, sondern die Testinstallation wurde in Raum 1200, ebenfalls im Gebäude SFG aufgebaut (s. Lageplan 1 im Anhang). Abweichend von der Beschriftung im Lageplan handelt es sich bei Raum 1200 nicht um eine Bibliothek sondern um einen Computerarbeitsraum mit PC-Arbeitsplätzen für Studierende, so dass (zumindest in dem auf dem Lageplan linken Teil des Raumes) während der Messungen Personen hinzukamen oder den Raum verließen.

Ähnlich wie in Raum 1380 wurde auch in Raum 1200 eine Testinstallation aufgebaut, bei der die beiden jeweils zu untersuchenden Access-Points ungefähr an der Raumdecke in ca. 2,60 m Höhe über Boden platziert wurden (vgl. das folgende Foto 2).

Da die Access-Point-Modelle der neuen Generation nach jedem Messblock ausgetauscht werden mussten, ergibt sich eine stabile Geometrie zwar innerhalb jedes Messblocks (Vergleichsmessungen mit einem Access-Point-Modell der neuen Generation gegen Cisco 1142), aber keine völlig stabile Geometrie zwischen den einzelnen Messblöcken.



Die Messung der Immissionen erfolgte – getrennt für die Frequenzbereiche 2,4 GHz und 5 GHz – in einer Höhe von bis zu 2 m über Boden und in einem horizontalen Abstand von den Access-Points von 2 m und 4 m. Die Messsituation ist in Lageplan 1 (im oberen Bereich: Raum 1200) wiedergegeben, wobei die beiden horizontalen Messabstände (2 m und 4 m) durch rote Linien angedeutet sind. Ebenso wie in Kap. 5.1 beschrieben, wurde die Messantenne im jeweiligen Anstand seitlich und vertikal geschwenkt sowie zur Erfassung unterschiedlicher Polarisationsrichtungen gedreht, um das Maximum der Immissionen zu erfassen.

Weiterhin wurde alle Vergleichsmessungen in zwei Konfigurationsvarianten durchgeführt:

- Bandbreite bei beiden Access-Point-Modellen konfiguriert auf 20 MHz: Messung im 2,4 GHz-Bereich und im 5 GHz-Bereich.
- Bandbreite im 5-GHz-bereich beim neuen Access-Point-Modell konfiguriert auf 80 MHz, beim Vergleichsmodell Cisco 1140 auf 40 MHz (nicht höher einstellbar): Messung nur im 5 GHz-Bereich, da im 2,4 GHz-Bereich keine höhere Bandbreite als 20 MHz verwendbar ist.

Die Ergebnisse der Vergleichsmessungen (jeweils ein Access-Point-Modell der neuen Generation gegen das bisher eingesetzte Modell Cisco 1142) sind in Tabelle M3 im Anhang dargestellt.

Bei den letzten drei Messblöcken wurden die Einzelmessungen zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit jeweils unter unveränderten Messbedingungen wiederholt – durch „W“ gekennzeichnet.

Zusammenfassend sind aus den Messungen folgende Ergebnisse zu entnehmen:

- In jedem Messblock wurde ein Access-Point der neuen Generation gegen das bisher eingesetzte Modell Cisco 1142 verglichen. Da das Vergleichsmodell über alle Messblöcke unverändert bleibt, würde man zunächst hierfür stabile Messergebnisse erwarten. Die Ergebnisse in Tabelle M3 zeigen allerdings deutliche Schwankungen, die deutlich über die Schwankungen hinausgehen, die bei den (zur Kontrolle der Reproduzierbarkeit durchgeführten) Wiederholungsmessungen (Kennzeichnung „W“) festgestellt wurden. Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass zwischen den einzelnen Messblöcken keine absolut stabilen Messbedingungen hergestellt werden konnten. Unter anderem ergaben sich – wie gesagt – durch den Wechsel des jeweils zu untersuchenden Access-Point-Modells gewisse Schwankungen der Montageposition, es gab eine wechselnde Anzahl von Personen im Raum und der Schwenkbereich der Messantenne konnte zwischen den einzelnen Messblöcken nicht genau reproduziert werden.  
Für die Immissionsanalyse bedeutet dies:
  - Die Ergebnisse zeigen die im Alltagsbetrieb zu erwartende Schwankungsbreite der Immissionen auf.
  - Für den hier angestrebten Vergleich zwischen den Access-Point-Modellen der neuen Generation und dem bisher eingesetzten Modell sollten entweder nur die Ergebnisse innerhalb eines Messblocks betrachtet werden, oder auf die in Tabelle 2 zusammengestellten Relativergebnisse zurückgegriffen werden.
- Bei Betrachtung der Summenergebnisse über beide Frequenzbereiche (2,4 GHz und 5 GHz) und ebenfalls bei Betrachtung der Relativergebnisse in Tabelle 2 (Spalte Mittelwert) zeigt sich insgesamt ein einheitliches Bild: Vier der fünf zur Diskussion stehenden Access-Point-Modelle der neuen Generation (Cisco 2802I, Cisco 1832I, Cisco 1852I und Cisco 2802E) zeigen im Mittel geringere Immissionen als das bisher eingesetzte Access-Point-Modell Cisco 1142.
- Bei dem fünften Modell (Cisco 2702I) zeigten sich im Mittel etwas höhere Immissionen als beim bisher eingesetzten Modell (ca. 15 % erhöht). Dies zeigt auch der Relativwertvergleich in Tabelle 2 mit dem Faktor 1,14 beim Mittelwert über die Frequenzbereiche und Bandbreiten.  
Obwohl die Immissionserhöhung relativ geringfügig ist (im Mittel 15 %) sollte hier ggf. durch eine Wiederholungsmessung Klarheit geschaffen werden.

**Tabelle 2: Immissionsvergleich der verschiedenen Access-Point-Modelle**

Angegeben ist jeweils der Faktor =  $\frac{\text{Immissionen (neues Access-Point-Modell)}}{\text{Immissionen (Cisco 1142)}}$

Messpunkte	Access-Point Modell	2, 4 GHz		5 GHz		5 GHz		Mittelwert	
		Bandbreite 20 MHz		Bandbreite 20 MHz		Bandbreite *			
		Messabstand		Messabstand		Messabstand			
		2 m	4 m	2 m	4 m	2 m	4 m		
		Faktor	Faktor	Faktor	Faktor	Faktor	Faktor	Faktor	
107 bis 110	<b>Cisco 2802I</b>		0,41	0,42	0,54	0,63	0,45	0,39	<b>0,47</b>
111 bis 114	<b>Cisco 2702I</b>		0,84	0,80	1,67	1,38	1,10	1,04	<b>1,14</b>
123 bis 130	<b>Cisco 1832I</b>		0,49	0,63	0,56	1,14	1,56	0,72	<b>0,85</b>
		W	0,49	0,71	0,59	1,23	1,03	1,62	<b>0,94</b>
131 bis 138	<b>Cisco 1852I</b>		0,50	0,54	0,74	0,47	0,46	0,44	<b>0,52</b>
		W	0,51	0,54	0,67	0,66	0,39	0,42	<b>0,53</b>
115 bis 122	<b>Cisco 2802E</b>		0,28	0,55	0,56	1,01	0,81	0,65	<b>0,64</b>
		W	0,33	0,36	0,75	0,45	0,51	0,49	<b>0,48</b>

Bandbreite\*: Access-Points der neuen Generation: Bandbreite 80 MHz  
Access-Point Cisco 1142: Bandbreite 40 MHz

W = Wiederholungsmessung (zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit)

#### 5.4 Immissionssituation in Nachbarräumen (Wanddämpfung)

Zur Vervollständigung der Untersuchungen an dem exemplarisch ausgewählten Access-Point-Modell der neuen Generation (Cisco 2802I) wurden weiterhin Einzelmessungen zur Analyse der Immissionssituation in Nachbarräumen vorgenommen.

Hierzu wurden in Raum 1380 im Gebäude SFG (auch für die Messungen in Kap. 5.1 und 5.2 benutzt) Testinstallationen aufgebaut, bei denen der zu untersuchende Access-Point (Cisco 2802I) an der Raumdecke in ca. 2,60 m Höhe über Boden und unmittelbar an der Wand zu den Nachbarräumen 1370 und 1390 montiert wurde. Die Messsituation ist in Lageplan 2 im Anhang dargestellt.

Die Messung der Immissionen erfolgte sodann – getrennt für die Frequenzbereiche 2,4 GHz und 5 GHz – in einer Höhe von bis zu 2 m über Boden in den Nachbarräumen:

- Raum 1390, vom Access-Point getrennt durch eine Massivwand (Ziegelstein)
- Raum 1370, vom Access-Point getrennt durch eine Leichtbauwand

Wie in Kap. 5.1 beschrieben erfolgte auch hier in den einzelnen Messsituationen ein Schwenken der Messantenne, um das Maximum der Immissionen zu ermitteln.

Die Ergebnisse sind in Tabelle M2 im Anhang dargestellt. Zusammengefasst ergibt sich hieraus:

- Erwartungsgemäß zeigen sich hinter einer Steinwand (Messpunkte 29 und 30) deutlich geringere Immissionen als hinter einer Leichtbauwand (Messpunkte 32 bis 35).
- Bei einer Steinwand liegen die Summenimmissionen über beide Frequenzbereiche bereits in 2 m Abstand von der Wand im Bereich von  $1 \text{ mW/m}^2$ .
- Hinter der Leichtbauwand liegen die Summenimmissionen in Kopfhöhe sitzend und in 1 m Abstand von der Wand bei ca.  $3 \text{ mW/m}^2$ .
- Bei den Immissionen in Nachbarräumen zeigt sich ein großer Unterschied zwischen den beiden für das WLAN-System genutzten Frequenzbereichen: Die Immissionen in Nachbarräumen werden hauptsächlich durch die Funkssysteme im Frequenzbereich 2,4 GHz verursacht (vgl. Tabelle M2), was auf die höhere Dämpfung der Wandmaterialien im Frequenzbereich 5 GHz zurückzuführen ist.

### **5.5 Untersuchung der Summenimmissionen bei Betrieb einer größeren Anzahl von Access-Points im gleichen Raum**

Untersucht werden soll der Betrieb mehrerer Access-Points auf relativ engem Raum in einer realistischen Betriebssituation. Für die Untersuchung ausgewählt wurden verschiedene Ebenen der Cafeteria im Gebäude 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 in einem größeren räumlich zusammenhängenden (d.h. nicht durch Wände getrennten) Bereich installiert, der sich über zwei Ebenen erstreckt (vgl. Lagepläne 3 und 4 im Anhang).

Die hier durchgeführte Messung lehnt sich eng an die im Jahr 2010 durchgeführte Untersuchung in den gleichen Räumlichkeiten [3] an und stellt praktische eine Wiederholungsmessung dar, wobei jetzt probeweise an allen fünf Access-Point-Standorten in der Cafeteria Access-Points der neuen Generation (Cisco 2802I) installiert wurden. Diese Access-Points arbeiteten während der Messung dort im Normalbetrieb und dienten der WLAN-Versorgung der dort anwesenden Studierenden. Zusätzlich wurde (ebenso wie bei den in den vorigen Unterkapitel geschilderten Messungen) mit zusätzlich dafür eingesetzten Notebooks an einzelnen Access-Points eine hohe Datenübertragungslast erzeugt, was vor allem eine zügige Aufzeichnung der Spektren bei Messungen mittels der Schwenkmethode ermöglicht.

Im Gegenzug bedeutet dies, dass an solchen Messpunkten, an denen die Immissionen durch die Endgeräte der anwesenden Studierenden berücksichtigt werden sollten, eine längere Messwertaufnahme (einige Minuten) durchgeführt werden musste. Die Messungen erfolgten sowohl an höher exponierten (d.h. in der Nähe von Access-Points gelegenen) als auch 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 betrachtet werden, ist bei diesem Untersuchungsteil im Sinne einer realistischen Abschätzung der Gesamtmissionen erwünscht.

Die Messungen in der Cafeteria wurden separat für das 2,4-GHz- und 5-GHz-Band durchgeführt, und es wurden keine Vergleichsmessungen zwischen verschiedenen Access-Point-Modellen vorgenommen.

Die Access-Points (Cisco 2802I) waren folgendermaßen konfiguriert, was der für den späteren Normalbetrieb vorgesehenen Konfiguration bzw. der Worst-Case-Einstellung entspricht:

- PowerLevel 1, d.h. maximale Sendeleistung
- Alle Antennenpaare (d.h. 4 Antennenpaare) in Betrieb
- Bandbreite 80 MHz

Bei der Messung zeigte sich, dass einzelne Access-Points – trotz Konfiguration auf 80 MHz Bandbreite – teilweise eigenständig auf eine geringere Bandbreite wechselten, um dadurch eine größere Amplitude des ausgesandten Signals und somit eine größere Reichweite zu ermöglichen (vgl. Ende von Kap. 5.2). Auf die Immissionen hat dies – wie bereits in Kap. 5.2 gesagt – praktisch keinen Einfluss.

Die Lage der Access-Points (bezeichnet als Caf1 bis Caf5) sowie der Messpunkte bzw. -bereiche sind in Lageplan 3 und 4 im Anhang eingezeichnet. Die Access-Points befinden sich an den gleichen Positionen wie bei der Messung aus dem Jahr 2010 [3], und auch die Messpunkte orientieren sich an der Messpunktauswahl in [3], wo sich auch eine Fotodokumentation der Messpunkte findet.

Die Cafeteria war zum Messzeitpunkt gut besetzt und es war eine rege Nutzung des WLAN-Systems durch die anwesenden Studierenden zu beobachten.

### 5.5.1 Ergebnisse

Die Messergebnisse sind im Einzelnen in Tabelle M4 im Anhang aufgeführt. Wie die Messergebnisse zeigen, ist grundsätzlich festzustellen, dass der gemeinsame Betrieb von fünf 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 5.1, ab S. 18 untersuchten einzelnen Access-Points.

In der Cafeteria sind von diesen Bereichen höherer Immissionen insbesondere die Tische im Bereich der Access-Points Caf3, Caf4 und Caf5 betroffen, die sich direkt unterhalb der dortigen Access-Points befinden (vgl. Lagepläne 3 und 4 im Anhang).

Dort treten in Kopfhöhe sitzend folgende Immissionen auf:

- Access-Point Caf3 (MP51): ca. 4 mW/m<sup>2</sup> Summenimmission
- Access-Point Caf4 (MP45): ca. 1,5 mW/m<sup>2</sup> (nur Frequenzbereich 5 GHz)
- Access-Point Caf5 (MP49): ca. 3,6 mW/m<sup>2</sup> Summenimmission

Bei diesen Messpunkten handelt es sich um die durch Access-Points am höchsten exponierten Aufenthaltsbereiche in der Cafeteria. Deutlich höhere Immissionen werden auch an diesen Punkten durch die dort betriebenen Nutzernotebooks hervorgerufen (vgl. MP51b und 51c, Kopfhöhe sitzend: 5 bis 16 mW/m<sup>2</sup> einschließlich Nutzernotebook).

In der näheren Umgebung treten Immissionen im Bereich um 3 mW/m<sup>2</sup> auf (z.B. MP50), die allerdings auch durch Endgeräte der Nutzer mitverursacht werden.

Auf der Empore in Ebene 2 befindet man sich in etwa auf gleicher Höhe mit den an der Wand montierten Access-Points und hat direkte Sicht auf diese. Bei der Messung wurden dort Gesamtimmisionen im Bereich von 1 bis 1,2 mW/m<sup>2</sup> festgestellt (vgl. Messpunkte 41 und 47). Diese relativ geringen Immissionen sind möglicherweise darauf zurückzuführen, dass (bei waagerechter Montage der Access-Points) die Antennen der Access-Points auf eine Abstrahlung zur Seite optimiert sind. Bei der hier gewählten vertikalen Montage der Access-Points würde dies eine reduzierte Abstrahlung in Richtung zur Empore bewirken.



**Foto 3: Access-Point Caf2 im Gebäude GW2, Cafeteria**

Die Zentralbereiche der Cafeteria, wozu auch die Arbeitsplätze der Mitarbeiter gehören, haben teilweise Sichtverbindung zu drei Access-Point-Standorten, sind aber von den einzelnen Access-Points relativ weit entfernt. Die Gesamtimmisionen liegen dort deutlich unterhalb von 1 mW/m<sup>2</sup> (vgl. Messpunkte 40, 42, 43 und 52)

## 5.6 Immissionen hochfrequenter Strahlung aus sonstigen Quellen

Zur Vervollständigung des Gesamtbildes und zur Einordnung der durch das WLAN-System verursachten Immissionen wurden an drei Standorten Messungen der durch sonstige Strahlungsquellen verursachten Immissionen vorgenommen:

- MP55: Cafeteria GW2, Ebene 2 (Nähe Boulevard)
- MP56: Mehrzweckhochhaus MZH, Ebene 5, Raum 5360
- MP57: Mehrzweckhochhaus MZH, Ebene 5, Raum 5200

Die Lage der Messpunkte ist in Lageplan 4 (MP55) bzw. in Lageplan 5 (MP56 und 57) eingezeichnet.

Die Spektren der Übersichtsmessungen an diesen Messpunkten sind in den **Diagrammen 1 bis 3** im Anhang dargestellt, in denen die einzelnen Signale mit Anmerkungen zur Quelle versehen sind. Wie die Diagramme zeigen tragen im Wesentlichen folgende externe Quellen zu den Immissionen bei:

- UKW-Rundfunksender (Frequenzbereich 80 bis 120 MHz)
- Mobilfunksender der GSM-900-Netze (Frequenzbereich 925 bis 960 MHz)
- Mobilfunksender der GSM-1800-Netze (Frequenzbereich ca. 1825 bis 1880 MHz)
- Mobilfunksender der LTE-1800-Netze (Frequenzbereich ca. 1805 bis 1825 MHz)
- Mobilfunksender der UMTS-Netze (Frequenzbereich ca. 2110 bis 2170 MHz)

Weiterhin ist in den Spektren zu erkennen, dass auch die Mobilgeräte (Uplink) in den einzelnen Mobilfunknetzen wesentlich zu den Gesamtmissionen beitragen, worauf ansatzweise noch in Kap. 5.6.1 eingegangen wird.

Die numerischen Ergebnisse der Messungen sind in Tabelle M5 im Anhang zusammengestellt. Dabei wurde unterschieden zwischen der Immissionssituation zum Messzeitpunkt (oberer Block in Tabelle M5) sowie der auf Volllastung der Mobilfunkbasisstationen hochgerechneten Situation (mittlerer Block in Tabelle M5). Da sich alle Messungen dieses Gutachtens zum WLAN-System auf die Situation bei Volllastung der Access-Points beziehen, wird nachfolgend auch die Situation bei Volllastung der Mobilfunkbasisstationen besprochen.

Aus den Messergebnissen in Tabelle M5 ist zu entnehmen:

- Die durch externe Quellen (insbesondere Mobilfunkbasisstationen der GSM-900-, LTE-1800- und UMTS-Netze) verursachten Immissionen fallen in den untersuchten Räumen der Universität Bremen je nach Lage in Bezug zu der Mobilfunkseideanlage auf dem Universitätsgelände sowie zu sonstigen Mobilfunkbasisstationen in der Umgebung sehr unterschiedlich aus.
- In der Cafeteria GW2 treten wegen ihrer relativ niedrigen Lage und der durch andere Gebäude eingeschränkten Sicht in die Umgebung nur sehr geringe Immissionen durch Rundfunksender und Mobilfunkbasisstationen auf (Summe  $0,24 \text{ mW/m}^2$ ). Es sei darauf hingewiesen, dass bei den hierzu durchgeführten

Messungen zum Mobilfunk nur die (permanenten) Immissionen durch Mobilfunkbasisstationen erfasst wurden, nicht aber die (temporären) Immissionen durch die Handys der Nutzer, wodurch ggf. höhere Immissionen zu erwarten sind. Siehe hierzu die nachfolgend in Kap. 5.6.1 beschriebenen Messungen an Mobilgeräten (MP58 bis 60).

- In der 5. Etage eines Hochhauses (hier Gebäude MZH) stellt sich die Situation wegen der freien Sicht in die Umgebung erwartungsgemäß erheblich anders dar: Bereits in Raum 5200 (ohne direkte Sicht zu einer nahegelegenen Mobilfunkbasisstation) summieren sich die Einzelimmissionen zu insgesamt ca.  $2,5 \text{ mW/m}^2$ . Die wesentlichen externen Quellen sind dabei die Mobilfunkbasisstationen der GSM-900 und GSM-1800-Netze (zusammen ca.  $1,2 \text{ mW/m}^2$ ) sowie die UKW-Rundfunksender (ca.  $0,35 \text{ mW/m}^2$ ).
- Nochmals wesentlich anders ist die Immissionssituation auf der ungefähr gegenüberliegenden Seite des Hochhauses an Messpunkt 56 (Raum 5360), von dem direkte Sicht zu einer nahegelegenen Mobilfunkbasisstation auf dem Universitätsgelände besteht: Die Gesamtimmissionen betragen hier ca.  $55 \text{ mW/m}^2$  und werden im Wesentlichen durch folgende Mobilfunknetze verursacht: GSM-900 ( $21,6 \text{ mW/m}^2$ ), LTE-1800 ( $14,6 \text{ mW/m}^2$ ) und UMTS ( $16 \text{ mW/m}^2$ ), wobei es sich sehr wahrscheinlich um die an der nahegelegenen Basisstation benutzten Mobilfunknetze handelt.

Das folgende **Foto 4** stammt aus der Untersuchung im Jahr 2010 und zeigt den Blick aus dem Nachbarraum des jetzt untersuchten Büroraumes 5360 auf die Mobilfunkanlage auf dem Universitätsgelände.



**Foto 4 (2010): Blick aus Raum 5370 (MZH) auf die Mobilfunkbasisstationen gegenüber**

### 5.6.1 Mobilgeräte

Zunächst sei angemerkt, dass es sich bei den nachfolgend beschriebenen Messungen nicht um eine systematische Untersuchung handelt, sondern um einige eher zufällig gewonnene Ergebnisse, die während der Wartezeiten zur Umkonfigurierung des WLAN-Systems entstanden sind. Die Messungen erfolgten in Raum 1200 im Gebäude SFG (vgl. Lageplan 1 und 2). Die Ergebnisse dieser Messungen können nur dazu dienen, einen ungefähren Eindruck über die Immissionen zu erhalten, die für unbeteiligte Personen durch die Nutzung von Mobiltelefonen im gleichen Raum verursacht werden. Es handelt sich dabei ausdrücklich nicht um die (wesentlich höheren) Immissionen, die beim Nutzer des Mobiltelefons zu erwarten sind.

Die Ergebnisse sind dem unteren Block in Tabelle M5 zu entnehmen. Erwartungsgemäß zeigen sich stark schwankende Ergebnisse von ca. 0,6 bis 4,5 mW/m<sup>2</sup> bei (zufälligen) Mobiltelefon-Nutzern in ca. 4 bis 8 m Entfernung (Messpunkte 59 und 60). Bei einem D-Netz-Mobiltelefon ergaben sich in 1,20 m Abstand Immissionen von ca. 30 mW/m<sup>2</sup> (Messpunkt 60).

## 6 Zusammenfassung und Bewertung der Untersuchungsergebnisse

Die vorliegende Untersuchung an Testinstallationen auf dem Campus der Universität Bremen dient vor allem dazu festzustellen, ob durch die neue Access-Point-Generation, die ab 2017 eingesetzt werden soll (s. Liste in Kap. 5, S. 15), höhere Immissionen verursacht werden als durch das seit 2010 im Einsatz befindliche Access-Point-Modell Cisco 1142.

In Kap. 5 wurden die durch das WLAN-System verursachten Immissionen an Testinstallationen in exemplarischen Räumen untersucht und mit Grenz- und Vorsorgewerten verglichen (vgl. Tabellen M1 bis M4 im Anhang).

Um die so ermittelten Immissionen in Relation setzen zu können zu anderen Quellen hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung wurden an drei Messpunkten zusätzlich die Immissionen aus anderen Quellen gemessen (vgl. Kap. 5.6 und Tabelle M5 im Anhang).

### 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 M5 im Anhang).

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 Vorsorgewert der BioInitiative Working Group von  $1 \text{ mW/m}^2$  – übereinstimmend mit dem Salzburger Vorsorgewert.

#### 6.1.2 Schweizer Anlagengrenzwert

Die Messergebnisse zeigen, dass der Schweizer Anlagengrenzwert von  $95 \text{ mW/m}^2$  an allen Messpunkten (auch in der unmittelbaren Umgebung der Access-Points) deutlich unterschritten wird (vgl. Tabellen M1 bis M4 im Anhang). Die maximalen Immissionen durch Access-Points wurden an Messpunkt 02 bei Aufenthalt im Be-

reich unmittelbar unterhalb eines Access-Points ermittelt (in Summe über beide WLAN-Frequenzbänder ca. 46 mW/m<sup>2</sup>). 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 19 mW/m<sup>2</sup> Summenimmissionen an MP131).

### 6.1.3 Vorsorgeempfehlung der BioInitiative Working Group von 1 mW/m<sup>2</sup>

Bei Betrachtung der Vorsorgeempfehlung der BioInitiative Working Group von 1 mW/m<sup>2</sup> 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 die Vorsorgeempfehlung der BioInitiative Working Group deutlich übersteigen.

In diesem Gutachten können Aussagen zur Immissionsbelastung durch das WLAN-System an Daueraufenthaltsbereichen nur für die Messungen in der Cafeteria getroffen werden. Bei ausschließlicher Betrachtung des WLAN-Systems liegen die Immissionen an typischen Daueraufenthaltsbereichen, die sich mindestens 5 m von einem Access-Point entfernt befinden, meist unterhalb der Vorsorgeempfehlung der BioInitiative Working Group. Bei geringeren Abständen und freier Sicht zum Access-Point ist davon auszugehen, dass die Vorsorgeempfehlung der BioInitiative Working Group überschritten wird.

Bei Benutzung eines Notebooks oder Smartphones mit aktiver WLAN-Verbindung ist ebenfalls davon auszugehen, dass die Vorsorgeempfehlung der BioInitiative Working Group im Allgemeinen überschritten wird, was sich aus den Messungen in der Cafeteria im Nahbereich von Nutzerendgeräten ergeben hat. Es sei darauf hingewiesen, dass diese Überschreitungen nur bei aktivem Sendebetrieb des jeweiligen Endgerätes auftreten.

Nach Einschätzung des EMF-Instituts ist die Einhaltung der Vorsorgeempfehlung der BioInitiative Working Group von 1 mW/m<sup>2</sup> vor allem für die nächtlichen Ruhe- und Erholungsphasen anzustreben.

## 6.2 Einzelergebnisse

Aus der Vielzahl der Einzeluntersuchungen lassen sich insgesamt folgende Ergebnisse ableiten:

- Die Vergleichsmessungen zur Abstandsverteilung der Immissionen haben ergeben, dass durch das exemplarisch untersuchte Access-Point-Modell der neuen Generation (Cisco 2802I) deutlich geringere Immissionen zu erwarten sind als durch das bisher eingesetzte Modell Cisco 1142 (vgl. Kap. 5.1 und Tabelle M1).

- Die Vergleichsmessungen zu den Konfigurationsparametern haben ebenfalls ergeben, dass durch das exemplarisch untersuchte Access-Point-Modell der neuen Generation (Cisco 2802I) deutlich geringere Immissionen zu erwarten sind als durch das bisher eingesetzte Modell Cisco 1142 (vgl. Kap. 5.2 und Tabelle M1). Bei Nutzung einer größeren Bandbreite (immissionserhöhend) wird vom Access-Point automatisch die Amplitude des ausgesandten Signals verringert, so dass sich insgesamt keine Erhöhung der Immissionen ergibt. Bei Einstellung einer hohen Sendeleistung (Power Level 1 und 2) werden die regulatorischen Bestimmungen (Bundesnetzagentur) beachtet und die Sendeleistung automatisch so weit reduziert, dass auch bei Nutzung großer Bandbreiten und aller verfügbaren Antennenpaare keine höheren Immissionen auftreten als beim bisher eingesetzten Access-Point-Modell (Cisco 1142).
- Die Vergleichsmessungen zwischen den verschiedenen Access-Point-Modellen der neuen Generation (s. Liste in Kap. 5, S. 15) und dem bisher eingesetzten Modell haben ergeben, dass bei vier der fünf untersuchten Modelle (Cisco 2802I, Cisco 1832I, Cisco 1852I und Cisco 2802E) im Mittel geringere Immissionen zu erwarten sind als beim bisher eingesetzten Access-Point-Modell (Cisco 1142), vgl. Kap. 5.3 und Tabelle M3. Bei dem ebenfalls untersuchten Modell Cisco 2702I zeigten sich im Mittel etwas höhere Immissionen als beim bisher eingesetzten Modell (ca. 15 % erhöht).  
Es sei darauf hingewiesen, dass in dem zur Verfügung stehenden Untersuchungsraum keine absolut stabilen Messbedingungen hergestellt werden konnten (weitere Personen im Raum, Montageposition der zu untersuchenden Access-Points). Im Ergebnis führt dies dazu, dass die vorstehenden Aussagen nur für die Mittelwerte über mehrere Messungen gültig sind, es aber meist auch einzelne Messungen mit einer mäßigen Erhöhung der Immissionen gegenüber dem bisherigen Access-Point-Modell gab. Die Vielzahl der Einzelmessungen erlaubt trotzdem die vorstehende Gesamtaussage.
- Die Untersuchung der Immissionssituation in Nachbarräumen zum Access-Point hat ergeben, dass hierfür die Immissionen im 2,4 GHz-Frequenzband die entscheidende Rolle spielen (vgl. Kap. 5.4 und Tabelle M2). Dies ist darauf zurückzuführen, dass im 5 GHz-Frequenzband eine wesentlich höhere Dämpfung der Wandmaterialien vorliegt.  
Wie auch in den Vorgutachten [2, 3] angesprochen, ist somit weiterhin zu empfehlen, möglichst keine Daueraufenthaltsbereiche / Arbeitsplätze unmittelbar hinter einer Wand zu einem Access-Point einzurichten, es sei denn, der Access-Point nutzt ausschließlich das 5-GHz-Frequenzband, da hierbei durch die höhere Dämpfung der Wandmaterialien nur geringe Immissionen im Nachbarräum zu erwarten sind.

### **6.3 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 2802I montiert und arbeiten dort probeweise im Normalbetrieb, das heißt zur WLAN-Versorgung der dort mit Notebooks arbeitenden Studierenden (vgl. Lagepläne 3 und 4 im Anhang).

Die Ergebnisse wurden in Kapitel 5.5 besprochen und sind im Detail in Tabelle M4 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 von der Bioinitiative Working Group [5] empfohlenen Vorsorgewertes von 1 mW/m<sup>2</sup>.

Die höchsten Immissionen treten jeweils in unmittelbarer Nähe eines einzelnen Access-Points auf und liegen dort in ähnlicher Höhe wie bei den in Kapitel 5.1, ab S. 18 untersuchten einzelnen Access-Points.

Die relevanten Bereiche mit erhöhten Immissionen wurden in Kapitel 5.5 besprochen. Als einzige Aufenthaltsbereiche sind davon die Tische unterhalb der Access-Points Caf3, Caf4 und Caf5 (MP44, 45, 48, 49 und 51) betroffen.

Im Vergleich zur Untersuchung aus dem Jahr 2010 sind bei der Messung in der Cafeteria – die mit Absicht im realen Betrieb bei Nutzung durch die anwesenden Studierenden erfolgte – merkliche Erhöhungen der Immissionen festzustellen, die zum großen Teil auf die Endgeräte der Nutzer (Notebooks, Smartphones usw.) zurückzuführen sind.

Köln, den 28. Juni 2017



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

## Anhangsverzeichnis

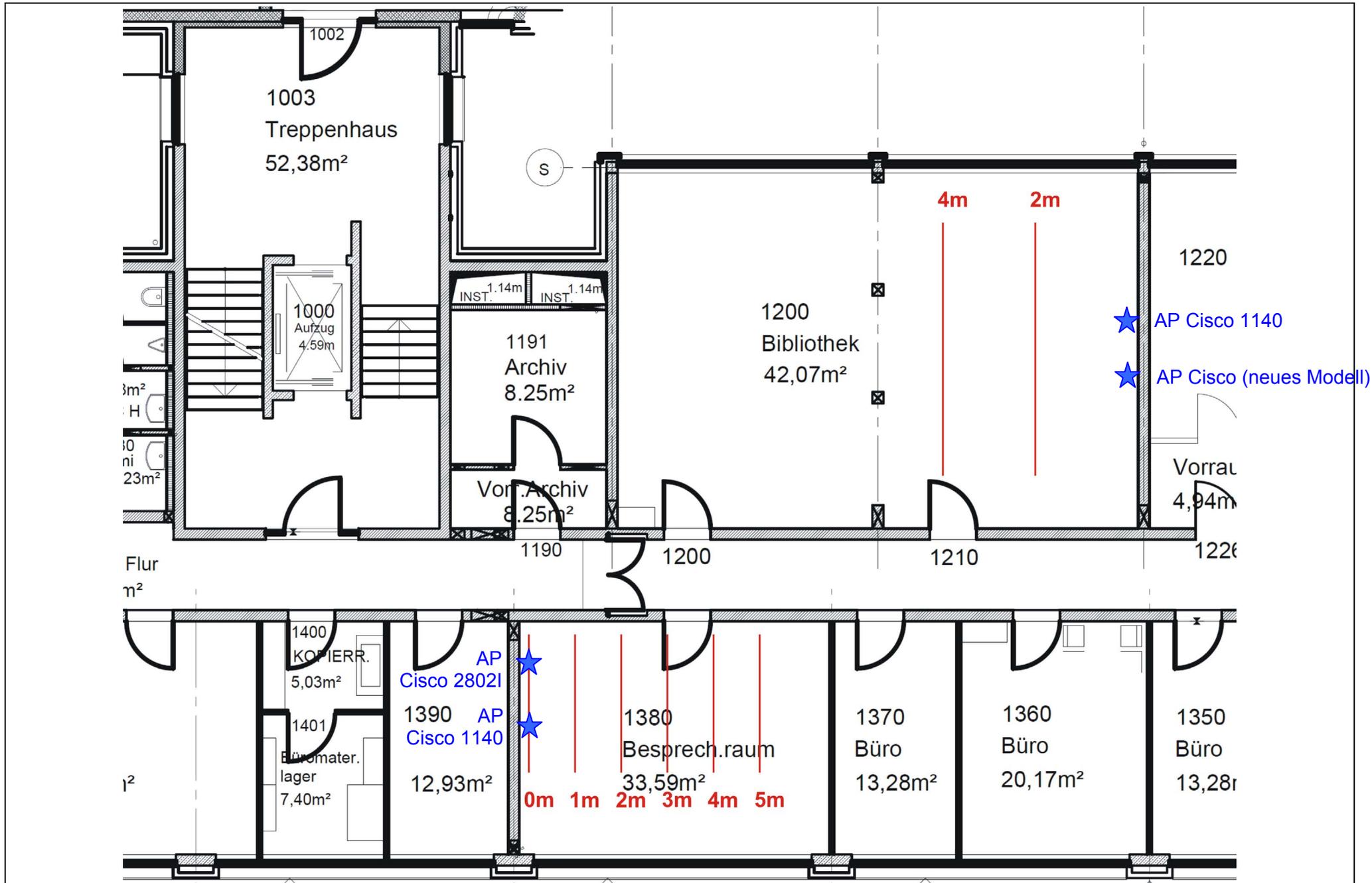
		Anzahl Seiten
Lageplan 1	Gebäude SFG, Bauteil Süd, Ebene 1 Lage der Access-Points und der Messlinien	1
Lageplan 2	Gebäude SFG, Bauteil Süd, Ebene 1 Lage der Access-Points und der Einzelmesspunkte	1
Lageplan 3	Gebäude GW2, Cafeteria, Ebene 1: Lage der Access-Points und der Messpunkte	1
Lageplan 4	Gebäude GW2, Cafeteria, Ebene 2 und 2a: Lage der Access-Points und der Messpunkte	1
Lageplan 5	Gebäude MZH, Ebene 5: Lage der Messpunkte	1
Diagramm 1	Spektrum der Übersichtsmessungen im Gebäude GW2, Cafeteria, Ebene 1	1
Diagramme 2 und 3	Spektren der Übersichtsmessungen im Gebäude MZH, Ebene 5	2
Tabelle M1	Vergleichsmessungen zur Abstandsverteilung und zu Konfigurationsoptionen, Gebäude SFG	1
Tabelle M2	Immissionsmessungen in Nachbarräumen, Gebäude SFG	1
Tabelle M3	Vergleichsmessungen unterschiedlicher Access-Point- Modelle, Gebäude SFG	1
Tabelle M4	Immissionsmessungen in einer realistischen Betriebs- situation in der Cafeteria im Gebäude GW2	1
Tabelle M5	Immissionsmessungen zu sonstigen Strahlungsquel- len, Gebäuden GW2 (Cafeteria) und MZH	1

Dieses Dokument unterliegt dem Urheberschutz. 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.

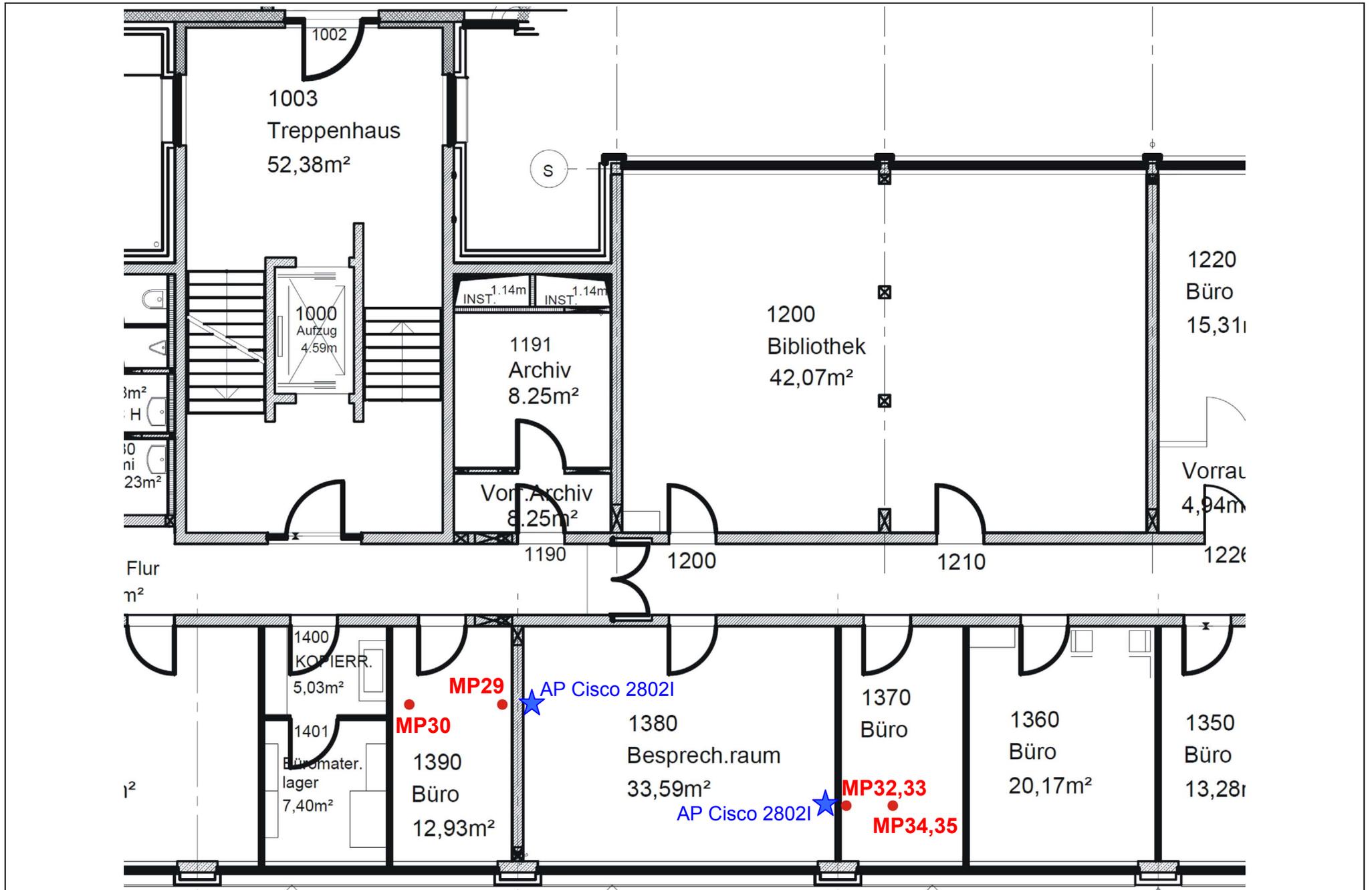
## Literatur:

---

- [1] Nießen, P: “Gutachten zur Feststellung der Belastung durch hochfrequente elektromagnetische Strahlung durch Funk-Netzwerke an der Universität Bremen”, nova-Institut GmbH, Hürth, 11/2001, erstellt im Auftrag der Universität Bremen
- [2] Nießen, P: “Gutachten zur Feststellung der Belastung durch hochfrequente elektromagnetische Strahlung durch Funk-Netzwerke an der Universität Bremen”, nova-Institut GmbH, Hürth, 10/2004, erstellt im Auftrag der Universität Bremen
- [3] Nießen, P: “Gutachten zur Feststellung der Belastung durch hochfrequente elektromagnetische Strahlung durch WLAN-Netzwerke im 2,4-GHz- und 5-GHz-Bereich“, EMF-Institut, Köln, 03/2010, erstellt im Auftrag der Universität Bremen
- [4] BG ETEM, DGUV Vorschrift 15, Unfallverhütungsvorschrift Elektromagnetische Felder (bisher BGV B11), Köln, 01.06.2001
- [5] BioInitiative Working Group: Zusammenschluss von rund 30 unabhängigen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus 10 Ländern, siehe <http://www.bioinitiative.org/>
- [6] 26. BImSchV: 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder), BGBl, I, S.1498, 09.10.1996, neugefasst 14. August 2013 (BGBl. I S.3266)
- [7] BG ETEM, DGUV Regel 103-013, Elektromagnetische Felder, Aktualisierte Fassung, Berlin 2006.
- [8] NISV, Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung, Schweizerischer Bundesrat, 23. Dezember 1999
- [9] Bornkessel, Ch, Neikes, M, Schramm, A: Abschlussbericht “Untersuchung der Immissionen durch Mobilfunk-Basisstationen”, Institut für Mobil- und Satellitenfunktechnik GmbH, Kamp-Lintfort, 08/02, [www.munlv.nrw.de](http://www.munlv.nrw.de), [www.munlv.nrw.de/sites/arbeitsbereiche/immission/mobil.htm](http://www.munlv.nrw.de/sites/arbeitsbereiche/immission/mobil.htm)

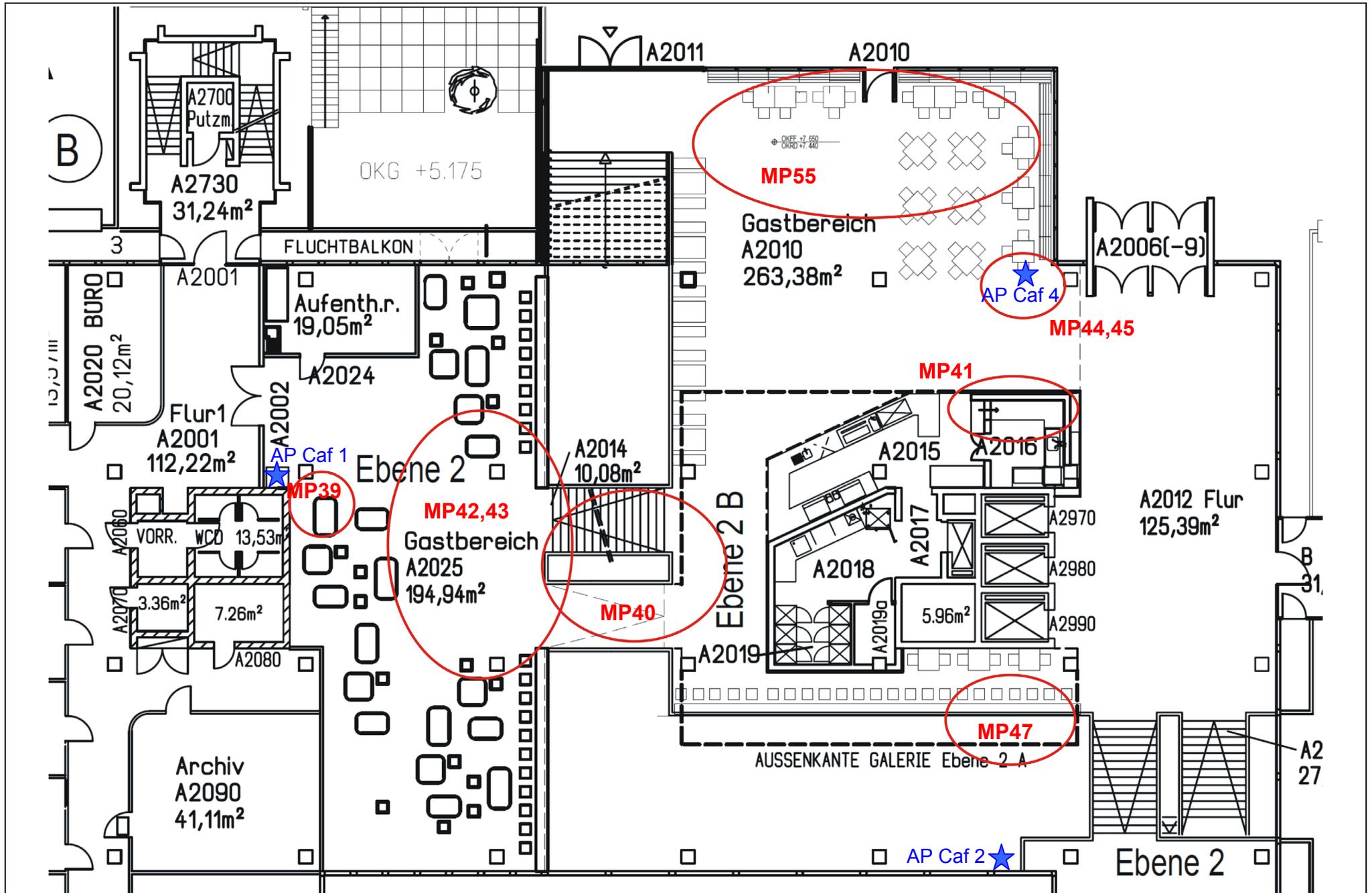


Lageplan 1: Seminar- und Forschungsverfügungsgebäude (SFG), Lage der Messlinien (rot) und Access-Points (AP)



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





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



Lageplan 5: Gebäude Mehrzweckhochhaus (MZH), Ebene 5, Lage der Messpunkte (MP)

Diagramm 1: Immissionen an MP55: Gebäude GW2, Cafeteria, Ebene2, Nähe Boulevard

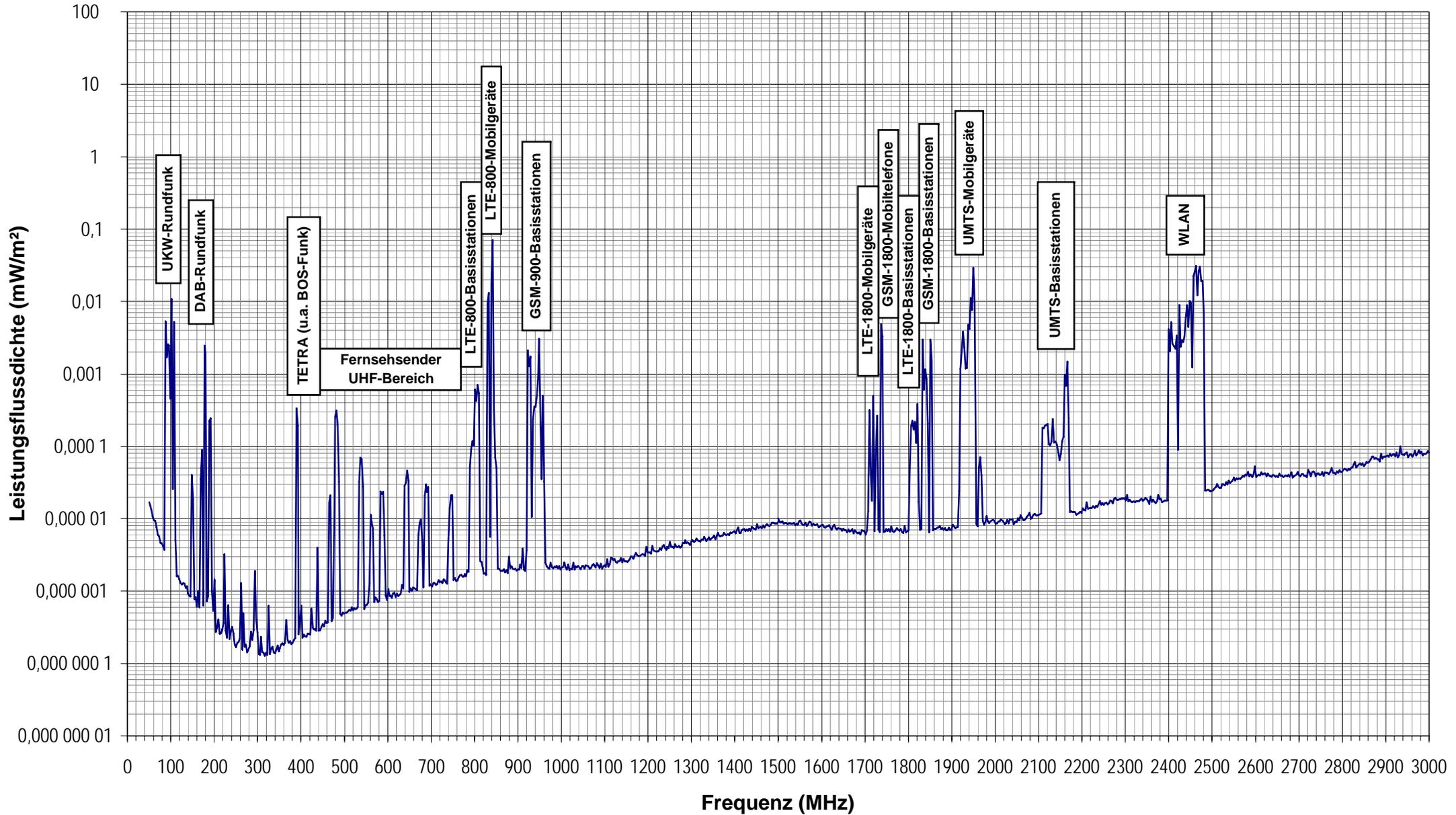


Diagramm 2: Immissionen an MP56: Gebäude MZH, Ebene 5, Raum 5360

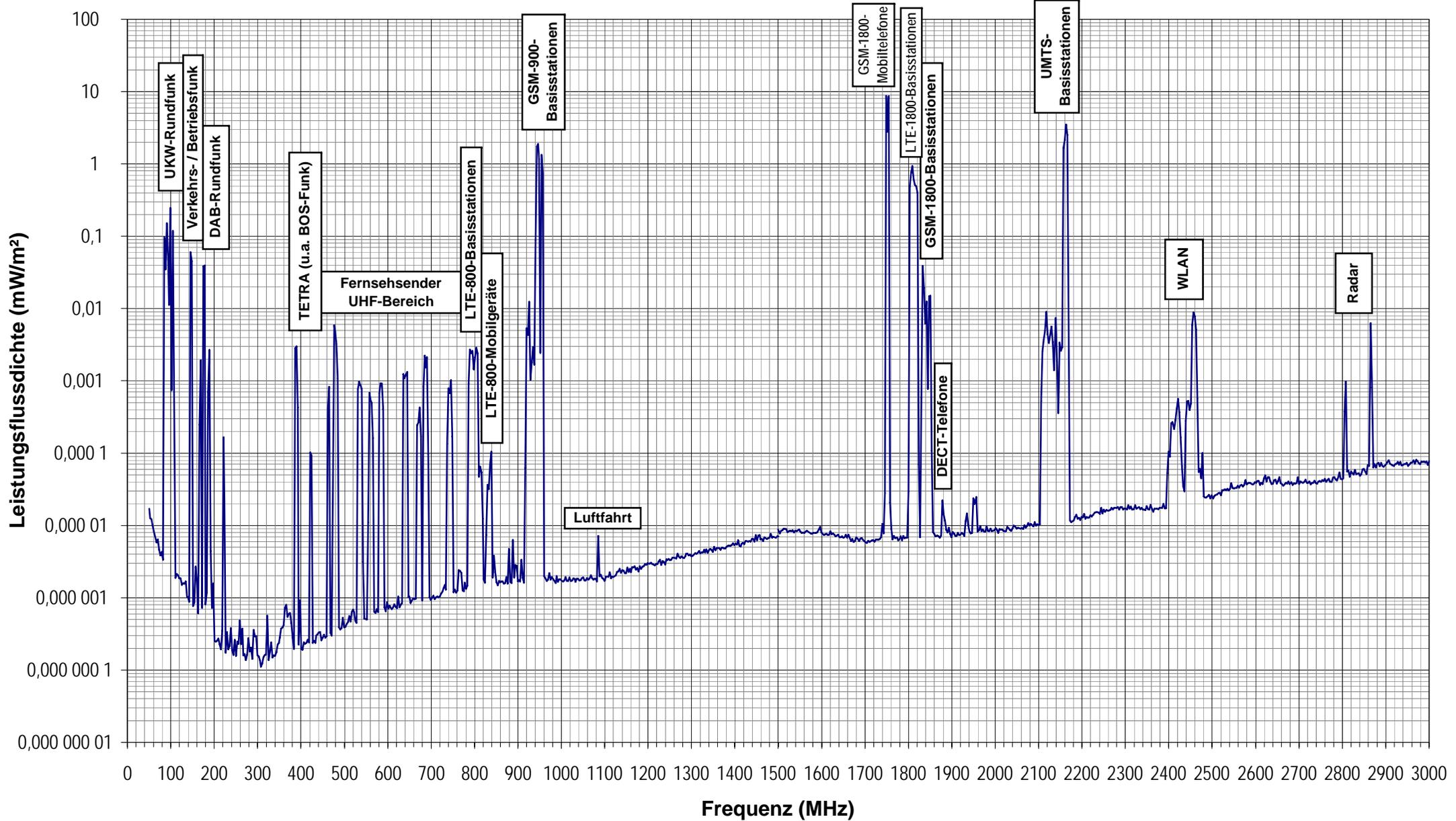


Diagramm 3: Immissionen an MP57: Gebäude MZH, Ebene 5, Raum 5200

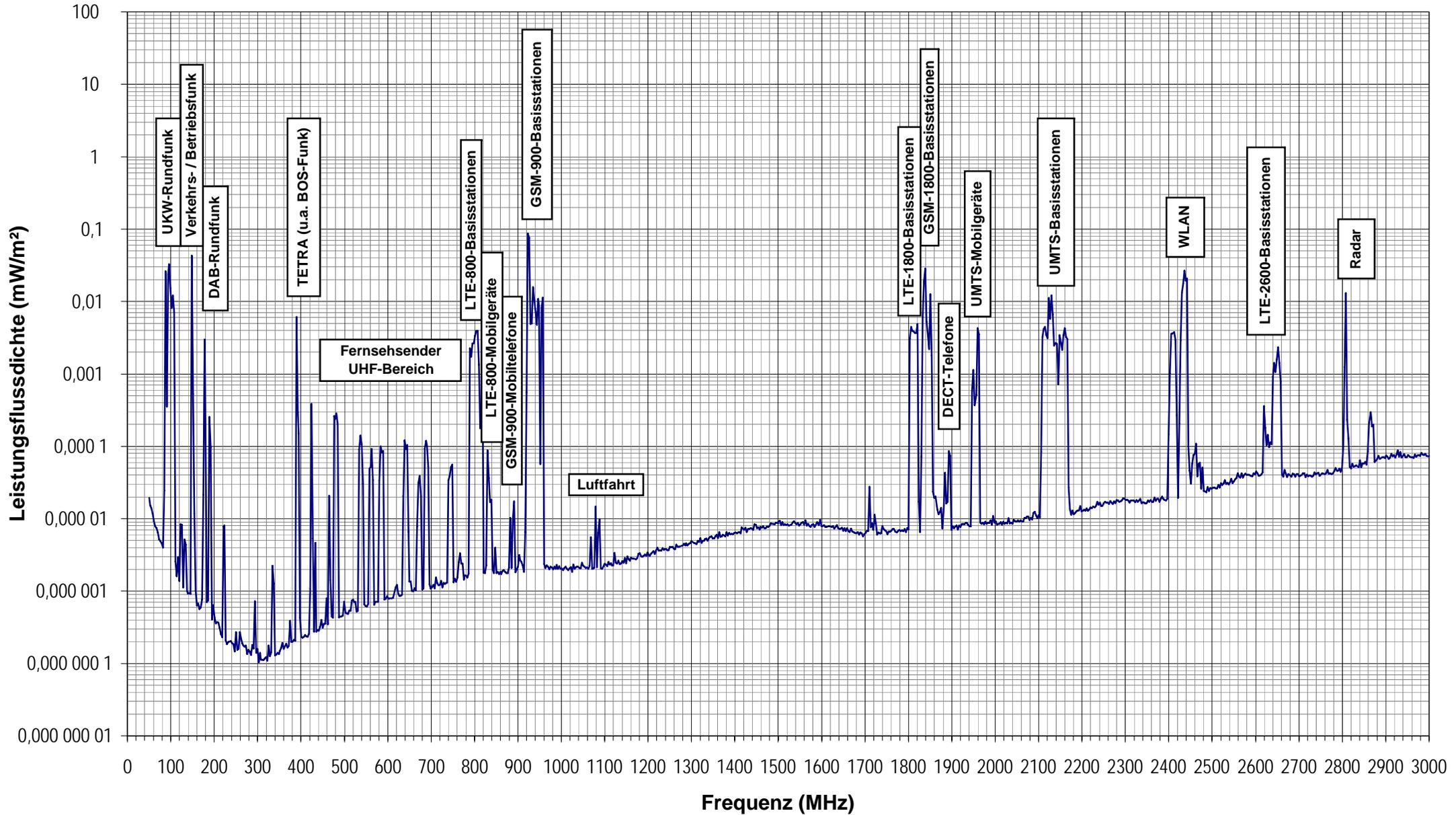


Tabelle M1: Vergleichsmessungen zur Abstandsverteilung und zu Konfigurationsoptionen  
 einschl. 3 dB Sicherheitsaufschlag

Messpunkt		2,4 GHz		5 GHz		2,4GHz + 5GHz	
		neues Modell: Cisco 2802I	zum Vergl.: Cisco 1142	neues Modell: Cisco 2802I	zum Vergl.: Cisco 1142	neues Modell: Cisco 2802I	zum Vergl.: Cisco 1142
		mW/m <sup>2</sup>	mW/m <sup>2</sup>	mW/m <sup>2</sup>	mW/m <sup>2</sup>	mW/m <sup>2</sup>	mW/m <sup>2</sup>
<b>Vergleichsmessungen Abstandsverteilung (variable Geometrie)</b>							
02	PL*:1, AntP*:max, BW*:max, bis 2m Höhe, direkt unterhalb, ausgedehnter Bereich	6,74	15,0	15,0	31,0	21,8	46,0
03	PL*:1, AntP*:max, BW*:max, bis 2m Höhe, direkt unterhalb, enger Bereich	7,07	13,2	5,40	16,0	12,5	29,2
01	PL*:1, AntP*:max, BW*:max, bis 2m Höhe, 1m seitlich	5,39	8,15	6,73	10,8	12,1	19,0
04	PL*:1, AntP*:max, BW*:max, bis 2m Höhe, 2m seitlich	(3,11)	(3,99)	6,32	5,33	9,43	9,32
05	PL*:1, AntP*:max, BW*:max, bis 2m Höhe, 2m seitlich, W*	3,11	3,99	6,26	5,35	9,37	9,34
06	PL*:1, AntP*:max, BW*:max, bis 2m Höhe, 3m seitlich	0,98	2,14	1,90	3,22	2,88	5,36
07	PL*:1, AntP*:max, BW*:max, bis 2m Höhe, 4m seitlich	0,56	1,46	1,02	1,98	1,58	3,44
08	PL*:1, AntP*:max, BW*:max, bis 2m Höhe, 5m seitlich	0,60	0,95	0,79	1,01	1,39	1,95
<b>Vergleichsmessungen Konfiguration (feste Geometrie)</b>							
10	PL*:1, AntP*:max, BW*:max, bis 2m Höhe, 2m seitlich	(3,11)	(3,99)	3,34	5,74	6,44	9,73
11	PL*:1, AntP*:max, BW*:max, bis 2m Höhe, 2m seitlich, W*	(3,11)	(3,99)	3,08	4,53	6,19	8,52
09	PL*:2, AntP*:max, BW*:max, bis 2m Höhe, 2m seitlich	1,79	5,16	2,61	6,11	4,40	11,3
12	PL*:3, AntP*:max, BW*:max, bis 2m Höhe, 2m seitlich	1,33	5,66	0,90	2,88	2,24	8,54
12b	PL*:3, AntP*:max, BW*:max, bis 2m Höhe, 2m seitlich, W*	0,98	5,87	(0,90)	(2,88)	1,89	8,75
13	PL*:4, AntP*:max, BW*:max, bis 2m Höhe, 2m seitlich	0,46	1,01	0,74	1,60	1,20	2,62
14	PL*:4, AntP*:max, BW*:max, bis 2m Höhe, 2m seitlich, W*	(0,46)	(1,01)	0,55	1,42	1,01	2,43
15	PL*:5, AntP*:max, BW*:max, bis 2m Höhe, 2m seitlich	0,257	0,61	0,32	0,56	0,58	1,17
16	PL*:6, AntP*:max, BW*:max, bis 2m Höhe, 2m seitlich	0,176		0,176	0,35	0,35	>0,49
16b	PL*:7, AntP*:max, BW*:max, bis 2m Höhe, 2m seitlich		0,145				
17	PL*:1, AntP*:max, BW*:max, bis 2m Höhe, 2m seitlich			3,32	5,14		
18	PL*:1, AntP*:max, BW*:max, bis 2m Höhe, 2m seitlich, W*			4,04	4,73		
19	PL*:1, AntP*:1, BW*:max, bis 2m Höhe, 2m seitlich			1,03	2,03		
22	PL*:3, AntP*:1, BW*:max, bis 2m Höhe, 2m seitlich			0,71	0,71		
23	PL*:3, AntP*:1, BW*:max, bis 2m Höhe, 2m seitlich, W*			0,91	1,10		
24	PL*:5, AntP*:1, BW*:max, bis 2m Höhe, 2m seitlich			0,46	0,44		
25	PL*:1, AntP*:max, BW*:20MHz, bis 2m Höhe, 2m seitlich			3,55	6,82		
26	PL*:1, AntP*:max, BW*:20MHz, bis 2m Höhe, 2m seitlich, W*			2,40	7,69		
27	PL*:3, AntP*:max, BW*:20MHz, bis 2m Höhe, 2m seitlich			1,49	2,00		
28	PL*:3, AntP*:max, BW*:20MHz, bis 2m Höhe, 2m seitlich, W*			1,05	1,59		
<b>Biolinitiative Working Group <sup>1)</sup></b>		1	1	1	1	1	1
<b>Schweizer Anlagengrenzwert</b>		95,5	95,5	95,5	95,5	95,5	95,5
<b>Grenzwert 26. BImSchV</b>		10000	10000	10000	10000	10000	10000

<sup>1)</sup> siehe Gutachtentext

\* Erläuterungen:

PL: PowerLevel: in Stufen konfigurierbare Sendeleistung (1: Maximum, 6 bzw. 7: Minimum)

AntP: max -> Antennenpaare: Cisco 2802I: 4 Antennenpaare, Cisco 1142: 3 Antennenpaare

AntP: 1 -> ein Antennenpaar: (beide Access Points)

BW:max -> Bandbreite: Cisco 2802I (2,4 GHz): 20 MHz, (5 GHz): 80 MHz, Cisco 1142 (2,4 GHz): 20 MHz, (5 GHz): 40 MHz

BW: 20MHz -> Bandbreite 20 MHz (beide Access Points, beide Frequenzbereiche)

W: Wiederholung bei unveränderten Messbedingungen

( ): (eingeklammerte Werte) von einem anderen Messpunkt übernommen



Tabelle M3: Vergleichsmessungen unterschiedlicher Access-Point-Modelle  
einschl. 3 dB Sicherheitsaufschlag

Messpunkt	Messposition	2,4 GHz		5 GHz		2,4 GHz + 5 GHz	
		Cisco-Modell s. links	zum Vergleich Cisco1142	Cisco-Modell s. links	zum Vergleich Cisco1142	Cisco-Modell s. links	zum Vergleich Cisco1142
		mW/m <sup>2</sup>	mW/m <sup>2</sup>	mW/m <sup>2</sup>	mW/m <sup>2</sup>	mW/m <sup>2</sup>	mW/m <sup>2</sup>
107	Cisco 2802I, BW*:20MHz, 2m Abstand	1,84	4,48	1,31	2,41	3,15	6,89
108	Cisco 2802I, BW*:20MHz, 4m Abstand	0,88	2,09	0,36	0,57	1,24	2,66
110	Cisco 2802I, BW*:max, 2m Abstand			1,62	3,59		
109	Cisco 2802I, BW*:max, 4m Abstand			0,44	1,15		
111	Cisco 2702I, BW*:20MHz, 2m Abstand	5,13	6,10	9,24	5,52	14,4	11,6
112	Cisco 2702I, BW*:20MHz, 4m Abstand	3,16	3,97	3,87	2,81	7,03	6,78
114	Cisco 2702I, BW*:max, 2m Abstand			13,6	12,3		
113	Cisco 2702I, BW*:max, 4m Abstand			4,67	4,47		
129	Cisco 1832I, BW*:20MHz, 2m Abstand	4,27	8,69	2,77	4,95	7,04	13,6
130	Cisco 1832I, BW*:20MHz, 2m Abstand, W*	3,37	6,87	2,79	4,72	6,15	11,6
127	Cisco 1832I, BW*:20MHz, 4m Abstand	1,86	2,96	1,30	1,14	3,16	4,10
128	Cisco 1832I, BW*:20MHz, 4m Abstand, W*	1,05	1,47	1,64	1,34	2,69	2,81
123	Cisco 1832I, BW*:max, 2m Abstand			3,97	2,54		
124	Cisco 1832I, BW*:max, 2m Abstand, W*			3,69	3,58		
125	Cisco 1832I, BW*:max, 4m Abstand			2,08	2,90		
126	Cisco 1832I, BW*:max, 4m Abstand, W*			2,27	1,40		
131	Cisco 1852I, BW*:20MHz, 2m Abstand	4,94	9,98	6,63	8,99	11,6	19,0
132	Cisco 1852I, BW*:20MHz, 2m Abstand, W*	3,53	6,87	7,04	10,5	10,6	17,4
133	Cisco 1852I, BW*:20MHz, 4m Abstand	2,19	4,07	2,17	4,59	4,37	8,66
134	Cisco 1852I, BW*:20MHz, 4m Abstand, W*	2,07	3,80	2,20	3,34	4,27	7,14
137	Cisco 1852I, BW*:max, 2m Abstand			6,62	14,4		
138	Cisco 1852I, BW*:max, 2m Abstand, W*			6,08	15,5		
135	Cisco 1852I, BW*:max, 4m Abstand			2,44	5,50		
136	Cisco 1852I, BW*:max, 4m Abstand, W*			2,15	5,13		
121	Cisco 2802E, BW*:20MHz, 2m Abstand	2,69	9,46	4,77	8,52	7,46	18,0
122	Cisco 2802E, BW*:20MHz, 2m Abstand, W*	2,53	7,65	4,87	6,52	7,41	14,2
119	Cisco 2802E, BW*:20MHz, 4m Abstand	1,45	2,65	2,56	2,53	4,01	5,18
120	Cisco 2802E, BW*:20MHz, 4m Abstand, W*	0,97	2,69	1,73	3,83	2,69	6,52
115	Cisco 2802E, BW*:max, 2m Abstand			7,23	8,93		
116	Cisco 2802E, BW*:max, 2m Abstand, W*			5,36	10,5		
117	Cisco 2802E, BW*:max, 4m Abstand			1,93	2,95		
118	Cisco 2802E, BW*:max, 4m Abstand, W*			1,65	3,36		
<b>BioInitiative Working Group <sup>1)</sup></b>		1	1	1	1	1	1
<b>Schweizer Anlagengrenzwert</b>		95,5	95,5	95,5	95,5	95,5	95,5
<b>Grenzwert 26. BImSchV</b>		10000	10000	10000	10000	10000	10000

<sup>1)</sup> siehe Gutachtentext

\* BW:max -> Bandbreite: Cisco [s.links] (2,4 GHz): 20 MHz, (5 GHz): 80 MHz, Cisco 1142 (2,4 GHz): 20 MHz, (5 GHz): 40 MHz

\* BW:20MHz -> Bandbreite 20 MHz (beide Access Points, beide Frequenzbereiche)

\* W: Wiederholung bei unveränderten Messbedingungen

Tabelle M4: Immissionsmessungen in einer realistischen Betriebssituation mit 5 Access-Points in der Cafeteria, Gebäude GW2  
einschl. 3 dB Sicherheitsaufschlag

Messpunkt	Messposition (AP = Access-Point)	AccessPoint Cisco 2802I (neues Modell)		
		2,4 GHz	5 GHz	Summe
		mW/m <sup>2</sup>	mW/m <sup>2</sup>	mW/m <sup>2</sup>
<b>Gebäude GW2: Cafeteria</b>				
<b>Ebene 1</b>				
51	Umgebung AP Caf 3, direkt unterhalb, Kopfhöhe sitzend (nur AP)	1,89	2,07	3,96
51b	Umgebung AP Caf 3, direkt unterhalb, Kopfhöhe sitzend (einschl. Notebooks)	4,96		
51c	Umgebung AP Caf 3, direkt unterhalb, Kopfhöhe sitzend (weitere Notebooks)	16,0		
48	Umgebung AP Caf 5, direkt unterhalb, 2 m Höhe (nur AP)		5,13	
49	Umgebung AP Caf 5, direkt unterhalb, Kopfhöhe sitzend (nur AP)	1,19	2,37	3,56
49b	Umgebung AP Caf 5, direkt unterhalb, Kopfhöhe sitzend (einschl. Notebooks)	3,98		
50	allgemein im Raum, Bereich Access-Point Caf 5	2,49	0,691	3,18
52	allgemein im Raum, Mittelbereich Essensausgabe	0,639	0,069	0,71
<b>Ebene 2</b>				
39	Nahbereich Access-Point Caf 1 (runder Tisch)	0,184	1,28	1,47
44	Nahbereich Access-Point Caf 4 (direkt unterhalb), bis 2 m Höhe		3,05	
45	Nahbereich Access-Point Caf 4 (direkt unterhalb), Kopfhöhe sitzend		1,46	
40	Zentralbereich Treppe, Blick auf Access-Points Caf 1, Caf 2 und Caf 4		0,624	
42	Zentralbereich, Blick auf Access-Points Caf 1, Caf 2 und Caf 4	0,118	0,207	0,33
43	Zentralbereich, Blick auf Access-Points Caf 1, Caf 2 und Caf 4, Wiederholung		0,188	
<b>Ebene 2 - Empore</b>				
47	direkter Blick zum Access-Point Caf 2	0,592	0,466	1,06
41	direkter Blick zum Access-Point Caf 4	0,434	0,733	1,17
<b>BiolInitiative Working Group <sup>1)</sup></b>		1	1	1
<b>Schweizer Anlagengrenzwert</b>		95,5	95,5	95,5
<b>Grenzwert 26. BImSchV</b>		10000	10000	10000

<sup>1)</sup> vgl. Gutachtentext

Konfiguration der AccessPoints:

Modell Cisco 2802I, PowerLevel 1 (d.h. max. Sendeleistung), Bandbreite 80MHz, 4 Antennenpaare

Tabelle M5: Immissionenmessungen zu sonstigen Strahlungsquellen (außer WLAN), Gebäude GW2 (Cafeteria) und MZH  
einschl. 3 dB Sicherheitsaufschlag

Messpunkt	Messposition	Infrastruktur				lizenzierter Mobilfunk						lizenzfrei		Mobilgeräte		Summe
		UKW mW/m <sup>2</sup>	DAB mW/m <sup>2</sup>	TV mW/m <sup>2</sup>	Sonstige mW/m <sup>2</sup>	LTE800 mW/m <sup>2</sup>	GSM900 mW/m <sup>2</sup>	LTE1800 mW/m <sup>2</sup>	GSM1800 mW/m <sup>2</sup>	UMTS mW/m <sup>2</sup>	LTE2600 mW/m <sup>2</sup>	DECT mW/m <sup>2</sup>	WLAN 2,4 mW/m <sup>2</sup>	um 900MHz mW/m <sup>2</sup>	um 1800 MHz mW/m <sup>2</sup>	
	<b>Sonstige Strahlungsquellen (zum Messzeitpunkt)</b>															
55	Cafeteria MP55 (am Boulevard)	0,079	0,007	0,006	0,001	0,004	0,020	0,003	0,039	0,008	< 0,001	0,001				0,17
56	MZH Raum 5360	1,13	0,082	0,076	0,088	0,037	8,75	6,13	0,278	8,41	< 0,001	0,001	0,001			25,0
57	MZH Raum 5200	0,343	0,009	0,008	0,013	0,056	0,372	0,046	0,249	0,063	0,042	0,001	0,154			1,36
	<b>Sonstige Strahlungsquellen (hochgerechnet auf Volllastung)</b>															
55	Cafeteria MP55 (am Boulevard)	0,079	0,007	0,006	0,001	0,009	0,039	0,009	0,073	0,015	< 0,001	0,001				0,24
56	MZH Raum 5360	1,13	0,082	0,076	0,088	0,097	21,6	14,6	0,491	16,0	< 0,001	0,001	0,002			54,1
57	MZH Raum 5200	0,343	0,009	0,008	0,013	0,122	0,689	0,153	0,527	0,155	0,078	0,001	0,408			2,51
	<b>Zufallsmessungen Mobilgeräte</b>															
58	D-Netz Mobiltelefon in 1,20 m Abstand													29,4		
59	Mobilgeräte in Raum 1200, Gebäude SFG														4,36	
60	Mobilgeräte in Raum 1200, anderer Zeitpunkt													0,139	0,445	0,58
	<b>Biolinitiative Working Group<sup>1)</sup></b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	<b>Schweizer Anlagengrenzwert</b>	23,9	23,9	23,9	23,9	42,5	42,5	95,5	95,5	95,5	95,5	95,5	95,5	42,5	95,5	
	<b>Grenzwert 26. BImSchV</b>	2000	2000	2000	2000	3950	4625	9000	9100	10000	10000	9400	10000	4160	8550	

<sup>1)</sup> vgl. Gutachtentext