

Dr. Peter Nießen
Siebengebirgsallee 60
50939 Köln
Tel. 0221 / 9 41 59 77
Fax 0221 / 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

Mai 2022

Auftraggeber	Universität Bremen Die Kanzlerin Bibliothekstraße 1, 28359 Bremen
Untersuchungsobjekt	Aktualisierung WLAN-System im 2,4-GHz und 5-GHz-Band: Austausch der bisher genutzten Access-Points gegen leistungsfähigere Modelle <ul style="list-style-type: none">• Vergleich von WLAN Access-Points in einer Testinstallation im Gebäude „Studierhaus“• Vergleich von WLAN Access-Points in einer realen Nutzungssituation im Gebäude „MARUM“ (beide Gebäude auf dem Campus der Universität Bremen)

Inhaltsverzeichnis:

1 Auftrag und Zweck des Gutachtens.....	2
2 Grenz- und Vorsorgewerte	3
3 Mess- und Auswerteverfahren.....	7
4 Immissionsmessungen und Ergebnisse	10
5 Zusammenfassung und Bewertung der Untersuchungsergebnisse	23

1 Auftrag und Zweck des Gutachtens

Auf dem Campus der Universität Bremen ist ein flächendeckendes WLAN-Netzwerk realisiert. Im Zuge der gestiegenen Anforderungen an die Datenübertragungsnetze 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 Vergleichsmessungen zwischen Access-Points der neuen Generation und einem bisher eingesetzten Vergleichsmodell durchgeführt werden. Weiterhin sollen die Immissionen in Daueraufenthaltsbereichen in der Nähe eines Access-Points der neuen Generation untersucht werden – hier in einem typischen Büroraum mit Arbeitsplätzen von Universitätsmitarbeitern.

Im September 2021 wurde das EMF-Institut mit der vorgenannten Untersuchung beauftragt. Das EMF-Institut¹ hat bereits in den Jahren 2001, 2004, 2010 und 2017 das WLAN-Netz auf dem Campus der Universität Bremen untersucht [1, 2, 3, 4]

Ähnlich wie bei einem Teil der vorhergehenden Untersuchung von 2017 [4] liegt das Schwergewicht dieses Gutachtens auf dem Immissionsvergleich von Access-Points der neuen Generation gegen das bisher am häufigsten eingesetzte Modell (aktuell Cisco AIR-AP1832I-E-K9; kurz: Cisco 1832i).

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 Vorsorgewertempfehlungen.

Das Mess- und Auswerteverfahren wird in Kapitel 3 dargestellt. In Kapitel 4 erfolgt die Darstellung der Messungen und die Diskussion der Messergebnisse.

Eine Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse erfolgt in Kapitel 5.

¹ 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 ^{a)} in mW/m ²						
	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, **)
EMFV [5], Umsetzung der EU-Richtlinie EU-RL 2013/35/EU (ersetzt ab 1.7.2016 die deutsche Regelung DGUV Vorschrift 15)	10000	10000 bis 19750	19750	23125	45000	45500	50000
Berufsgenossenschaftl. Grenzwert nach DGUV Vorschrift 15 Expositionsbereich 1 (temporäre Exposition) ^{c)}							
Gesetzlicher Grenzwert (26. BImSch V) ^{b)} Normalbevölkerung	2000	2000 bis 3950	3950	4625	9000	9100	10000
Berufsgenossenschaftl. Grenzwert nach DGUV Vorschrift 15 Expositionsbereich 2 (Dauerexposition) [6]							
Schweiz Anlagengrenzwert (OMEN ^{d)})	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 ^{e)}	1	1	1	1	1	1	1
Salzburger Richtwert 1998 ^{f)} (Summe GSM ^{g)} 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 Funksysteme 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 [7] 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).
- 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) [8] 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 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 [6] werden näher erläutert in den Berufsgenossenschaftlichen Regeln DGUV Regel 103-013 [9].

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. 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 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.

In der Schweiz wird 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 [10].

Auch in Deutschland werden neben den gesetzlichen Grenzwerten der 26. BImSchV auch von offizieller Seite teilweise weitere der genannten Grenzwerte herangezogen. Vom Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV)² wird im Rahmen der Immissionsminimierung elektromagnetischer Strahlung der Vorsorgeaspekt diskutiert. So wurde bei der Bewertung der Ergebnisse umfangreicher Immissionsmessungen von Mobilfunk-Basisstationen der in der Schweiz gültige Anlagengrenzwert für Orte mit empfindlicher Nutzung als Bewertungsgröße herangezogen [11].

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...“³.

Eine Auswertung wissenschaftlicher Literatur durch das ECOLOG-Institut Hannover [12] nimmt eine Einteilung der Forschungsergebnisse zu gesundheitlichen Auswirkungen und biologischen Effekten hochfrequenter elektromagnetischer Felder vor. Folgende Kategorien werden unterschieden:

- Hinweise: ähnliche Ergebnisse vergleichbarer Untersuchungen vorliegend
- Starke Hinweise: übereinstimmende Ergebnisse vergleichbarer Untersuchungen vorliegend
- Konsistente Hinweise: (starke) Hinweise aus unterschiedlichen Untersuchungsansätzen mit gleichem Endpunkt vorliegend
- Nachweise: Übereinstimmende Ergebnisse identischer Untersuchungen vorliegend

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

³ 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.

Konsistente Hinweise auf gesundheitsrelevante biologische Wirkungen finden sich dabei ab folgenden Immissionswerten:

- ab 10 mW/m²: Störungen des Zentralen Nervensystems
Zelluläre Stressreaktionen
- ab 100 mW/m² : Kanzerogenität,
Krebspromovierende Effekte
Gentoxizität bzw. Genschäden

Da – basierend auf dieser Auswertung [12] – konsistente Hinweise auf biologische Auswirkungen ab 10 mW/m² vorliegen, wurde vom ECOLOG-Institut ein **Vorsorgewert von 10 mW/m²** ausgesprochen.

Dieser Vorsorgewert wird im vorliegenden Gutachten zur Bewertung der Immissionen in allen „normalen“ Aufenthaltsbereichen der Universität Bremen zu Grunde gelegt (u.a. Büro- und Arbeitsräume, Seminarräume, Hörsäle und weitere öffentliche Bereiche).

Darüber hinaus gehend wird für besonders sensible Bereiche (Ruhe- und Schlafräume) die Einhaltung des Vorsorgewertes der BioInitiative Working Group von 1 mW/m² empfohlen.

Im vorliegenden Gutachten werden die bei den Messungen ermittelten Immissionen in Relation gesetzt zu den gesetzlichen Grenzwerten, den Schweizer Anlagengrenzwerten sowie dem Vorsorgewert des ECOLOG-Instituts und dem der BioInitiative Working Group.

3 Mess- und Auswerteverfahren

3.1 Verwendete Messgeräte

Die Messungen wurden durchgeführt mit folgenden Messgeräten:

- Spektrumanalysator Anritsu MS2725C
- Logarithmisch-periodische Messantenne Schwarzbeck ESLP 9145.

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. Die genannten Frequenzbereiche bleiben auch bei der zukünftigen Nutzung unverändert.

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 die höchsten Sendeleistungen der Access-Points ausgewählt, die bei der automatischen Steuerung durch den Controller-Rechner erlaubt sind, so dass die gemessenen Immissionen der Worst-Case-Situation entsprechen. Diese Maximal-Sendeleistungen sind in Kap. 4.2 aufgeführt.

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. Dies gilt sowohl für die Testinstallation im Gebäude Studierhaus als auch für die Messungen im Gebäude MARUM.

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 durchgeführt⁴.

3.2.1 Integration der Spektren

Die einzelnen Kanäle von WLAN-Access-Points, entsprechend den 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 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 des Spektrumanalysators
- Kalibrierung der Messantenne 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.

In Innenräumen hat die Reflexion der Strahlung an Gebäudewänden, -decken und -böden erheblichen Einfluss auf die Immission an einem bestimmten Ort. Die durch die WLAN-Access-Points verursachten Immissionen unterliegen daher in Innenräumen deutlich größeren Schwankungen als bei (hier nicht durchgeführten) 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 abgesucht (Schwenkmethode), wobei natürlich der gewählte Messabstand möglichst konstant gehalten wurde. Da während

⁴ 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.

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 Vergleichsmessungen an unterschiedlichen Access-Points wurden in einem zwar relativ großen, ansonsten aber „normalen“ Seminarraum der Universität Bremen 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 Abstandsverhalten⁵ ergibt.

Entsprechend den vorstehenden Erläuterungen wurde für die Berechnung der in den Tabellen M1 und M2 angegebenen Leistungsflussdichten zu den Originalmesswerten der beschriebene Sicherheitsaufschlag von 3 dB hinzuaddiert, wie es bei Untersuchungen zur Grenzwertüberprüfung üblich ist. Dies entspricht für die in den Tabellen M1 und M2 genannten Ergebnisse einer Verdopplung der tatsächlich gemessenen Leistungsflussdichten. Dadurch wird dann die Aussage möglich: „Die tatsächlichen Immissionen sind auf keinen Fall höher als in den Tabellen M1 und M2 angegeben“.

⁵die Leistungsflussdichte sinkt mit dem Quadrat des Abstandes

4 Immissionsmessungen und Ergebnisse

Datum der Messungen: Mittwoch, 29.09.2021, 08:30 bis 17:45 Uhr

4.1 Vorbereitung

Vor Untersuchungsbeginn am 29.09.2021 erfolgte eine Kick-off-Besprechung im Gebäude Studierhaus, an der folgende Personen teilnahmen:

(vom Zentrum für Netze der Universität Bremen):

- Niels Pollem
- Dennis Tants
- Falco Malotta

(vom Personalrat der Universität Bremen):

- Jürgen Hubrich

(von Fa. SPIE COMNET GmbH):

- Jörg Dzialas

(vom EMF-Institut, Köln):

- Peter Nießen

Wie bereits in Kap. 1 erwähnt liegt das Schwergewicht dieses Gutachtens auf den beiden folgenden Punkten:

1. Exemplarisch sollen an einem Testaufbau drei für die zukünftige Nutzung vorgesehene Access-Point-Modelle der neuen Generation mit dem bisher eingesetzten Access-Point-Modell Cisco 1832i verglichen werden (s. Kap. 4.3).
2. In Gebäuden mit Innenwänden in Leichtbauweise werden an der Universität Bremen WLAN-Access-Points normalerweise nicht innerhalb von Büro- oder Arbeitsräumen angebracht, sondern in Fluren, Seminar-/Besprechungsräumen usw. In einzelnen Gebäuden sind die Innenwände allerdings in Massivbauweise (Stein/Beton) ausgeführt, so dass – wegen der hohen Dämpfung der Massivwände – Access-Points auch innerhalb von Büroräumen angebracht werden müssen, um eine ausreichende Versorgung zu gewährleisten. Exemplarisch für ein solches Gebäude sollen im Gebäude MARUM an einem Arbeitsplatz in der Nähe eines im gleichen Büroraum installierten Access-Points die Immissionen untersucht werden (s. Kap. 4.5).

4.2 Messablauf WLAN-Systeme

Die Messungen erfolgten entsprechend dem in Kap. 3, ab S. 7 beschriebenen Verfahren.

Die Einzeluntersuchungen sind detailliert in den nachfolgenden Unterkapiteln 4.3 bis 4.5 beschrieben. Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass es sich bei allen Mes-

sungen an den WLAN-Systemen um die Worst-Case-Situation handelt, da die Access-Points – wie in Kapitel 3.2 beschrieben – manuell auf die maximale vorgesehene Sendeleistung konfiguriert wurden und – durch speziell zur Erzeugung von Datenübertragungslast eingesetzte Notebooks – mit hoher Auslastung betrieben wurden.

Die in Kap. 4.1 als erster Punkt aufgeführten Vergleichsmessungen (Kap. 4.3) 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).

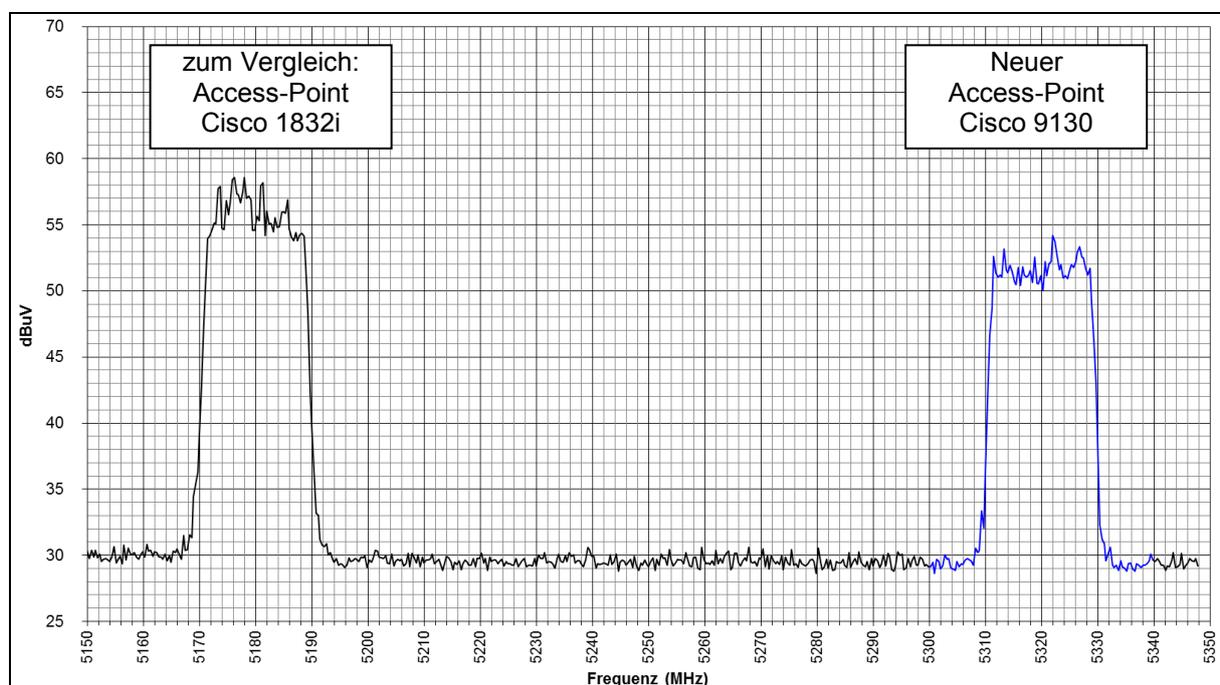


Abbildung 1: Beispielspektrum (gleichzeitige Messung verschiedener Access-Points)

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.

Die zur Erzeugung der bereits angesprochenen hohen Datenübertragungslast eingesetzten Notebooks wurden jeweils weit entfernt vom Messpunkt in einem Nachbar-

raum platziert, um die Messung der durch die Access-Points verursachten Immissionen nicht zu beeinflussen.

Die Messergebnisse aller Einzeluntersuchungen sind in den Tabellen **M1** und **M2** im Anhang aufgeführt. Die Relation zu internationalen Grenz- und Vorsorgewerten ist jeweils in der Fußzeile der Tabellen angegeben.

4.3 Vergleichsmessungen Access-Point-Generationen

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

Seit etwa 2017 wird auf dem Campus der Universität Bremen zur WLAN-Versorgung (u.a.) der Access-Point Cisco AIR-AP1832I-E-K9 eingesetzt, der – in seiner standardmäßig genutzten Konfiguration – hier als Vergleichsmodell herangezogen wird. Wie in Kap. 4.1 angesprochen besteht der wesentliche Teil der vorliegenden Untersuchung darin, die Immissionen durch diesen Access-Point mit den Nachfolgemodellen zu vergleichen, die ab 2022 ggf. eingesetzt werden sollen:

- Cisco C9115 AXI-E (kurz Cisco 9115)
- Cisco C9120 AXI-E (kurz Cisco 9120)
- Cisco C9130 AXI-E (kurz Cisco 9130)

Sowohl das bisherige Modell Cisco 1832i als auch die drei zu untersuchenden Nachfolgemodelle verfügen über interne Antennen, nutzen im Normalbetrieb diese internen Antennen und werden auch bei der vorliegenden Untersuchung hiermit betrieben.

Die neuen Access-Points verfügen über eine Vielzahl von Konfigurationsoptionen, die bei einer vergleichenden Messung (wie bei diesem Gutachten) nicht alle untersucht werden können. Die möglicherweise einzusetzenden Access-Points wurden daher bereits im Vorfeld dieser Messungen vom Zentrum für Netze der Universität Bremen bezüglich der für den Einsatz an der Universität Bremen relevanten Konfigurationsoptionen analysiert und diese betriebsrelevante Konfiguration wurde für die Messungen eingestellt.

Die für die Immissionsanalyse besonders relevante Einstellung zur Sendeleistung erfolgte – im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung – auf die Maximalwerte, die für die zukünftige Nutzung vorgesehen bzw. dem Controller-Rechner vorgegeben sind (vgl. Kap. 3.2). Je nach den räumlichen Gegebenheiten oder dem räumlichen Überlappungsbereich zu benachbarten Access-Points kann es daher durchaus vorkommen, dass die Access-Points mit geringeren Sendeleistungen als genannt betrieben werden, aber nicht mit höheren.

Die genutzten Maximalwerte der Sendeleistung sind:

	Frequenzbereich 2,4 GHz	Frequenzbereich 5 GHz
Für den bisher genutzten Access-Point:		
Cisco AIR-AP1832I-E-K9 (Vergleichsmodell)	5 dBm	11 dBm
Für die zu untersuchenden neuen Modelle:		
Cisco C9115 AXI-E	6 dBm	12 dBm
Cisco C9120 AXI-E	5 dBm	11 dBm
Cisco C9130 AXI-E	5 dBm	11 dBm

Das Modell Cisco 9115 wird dabei mit einer um 1 dBm höheren Sendeleistung betrieben, da dessen interne Antennen einen um 1 dB geringeren Antennengewinn besitzen. Somit ergibt sich (nominell) für alle Access-Points die gleiche Versorgungsfeldstärke und die gleichen Immissionen in der Umgebung. Mit der vorliegenden Messung wird untersucht, in wie weit sich dies in der Realität bestätigt.

Für die Messungen wurde hierzu in Raum ZB-D1020 im Gebäude Studierhaus eine Testinstallation aufgebaut, bei der die beiden zu vergleichenden Access-Points an einem von den Werkstätten der Universität Bremen angefertigten Holzgestell in ca. 2,40 m Höhe über Boden montiert wurden (s. **Foto 1** und **Foto 2**). Die Access-Points wurden dabei an den gleichen (metallischen) Montagewinkeln montiert, die auch bei der Normalinstallation genutzt werden (s. **Foto 3**)

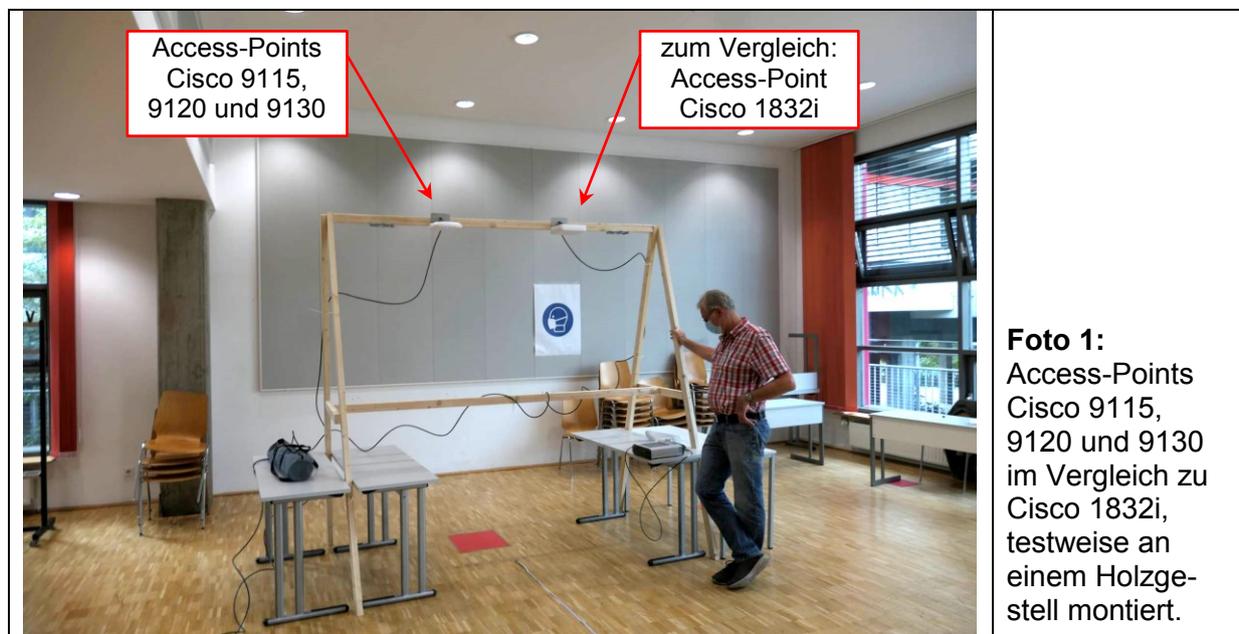




Foto 2:
Gesamtsituation
Messraum



Foto 3:
Detailansicht
Messaufbau: Die
Access-Points
sind an den glei-
chen Montage-
winkeln montiert,
die auch im
Normalaufbau
genutzt werden



Foto 4:
Typische Mess-
situation: Mes-
sung in ca.
2 m Höhe

Die Messung der Immissionen erfolgte – getrennt für die Frequenzbereiche 2,4 GHz und 5 GHz – in einem horizontalen Abstand von den Access-Points von 1 m bis 10 m,

normalerweise in einer Höhe von ca. 2 m über Boden (siehe z.B. **Foto 4**), teilweise auch zusätzlich in ca. 0,4 m Höhe über Boden (Details siehe Tabelle M1 im Anhang). Seitlich wurde jeweils ein Bereich von mindestens 3 m Breite untersucht, um beide Access-Points in vergleichbarer Geometrie zu erfassen. Bei dem Messabstand 10 m wurde bei einer zusätzlichen Messung der seitliche Untersuchungsbereich ungefähr auf die verfügbare Raumbreite ausgeweitet, um zum Vergleich die realen Randbedingungen des Messraumes, wie z.B. Reflexionen an Wänden usw., stärker zu erfassen (s. Messpunkte B10B und C10B in Tabelle M1).

Die Messantenne wurde zur Erfassung unterschiedlicher Polarisationsrichtungen an allen Messpunkten manuell (um die Antennenachse) gedreht, um das Maximum der Immissionen zu erfassen.

Die Ergebnisse dieser Messungen sind in Tabelle **M1** im Anhang dargestellt.

Im Wesentlichen zeigt sich bei allen 3 untersuchten Access-Points einheitlich das Ergebnis, dass die von den neuen Access-Point-Modellen (Cisco 9115, 9120 und 9130) verursachten Gesamt-Immissionen (Summe über beide Frequenzbereiche) deutlich geringer sind als bei dem bisher eingesetzten Modell Cisco 1832i. Diese Aussage gilt – abgesehen von Messpunkt B4 – sowohl für alle untersuchten Abstände (1 m bis 10 m) als auch für die beiden Messhöhen (ca. 0,4 m und 2 m über Boden). Die Abweichung an Messpunkt B4 ist wahrscheinlich auf Reflexionen an den Raumwänden o.ä. zurückzuführen, möglicherweise auch auf Ungenauigkeiten beim manuellen Führen der Messantenne.

Betrachtet man die beiden Frequenzbereiche einzeln, so fällt zunächst auf, dass der deutlich größere Teil der Immissionen durch den Frequenzbereich 5 GHz verursacht wird. Dies ist physikalisch unmittelbar verständlich, da bei der höheren Frequenz 5 GHz – wegen der kleineren Wellenlänge – eine (einfache) Empfangsantenne in einem typischen Endgerät nur eine geringere Energie aus dem Strahlungsfeld aufnehmen kann als bei der kleineren Frequenz (2,4 GHz). Zur Erreichung der gleichen Versorgungsqualität muss der Access-Point daher mit höherer Leistung senden.

Im 5 GHz-Bereich zeigt der Vergleich der Access-Points das gleiche Ergebnis wie bei den Gesamtmissionen: abgesehen von Messpunkt B4 erzeugen die Access-Points der neuen Generation geringere Immissionen als der bisher eingesetzte Access-Point Cisco 1832i.

Im 2,4 GHz-Bereich, in dem – wie gesagt – der deutlich geringere Teil der Gesamtmissionen entsteht, zeigt der Vergleich der Access-Points ein differenzierteres Bild: Beim Access-Point Cisco 9120 sind die Immissionen im 2,4 GHz-Bereich an allen Messpunkten geringer als beim Vergleichsmodell Cisco 1832i. Bei den beiden anderen Modellen der neuen Generation (Cisco 9115 und Cisco 9130) liegen die Immissionen an einigen Messpunkten etwas höher, an anderen Messpunkten etwas niedriger als bei bisher eingesetzten Modell Cisco 1832i. Ein solches Ergebnis (nach

oben und unten streuende Messwerte) erwartet man bei gleicher Abstrahlung der zu vergleichenden Access-Points.

Zusammenfassend ergibt sich folgendes Ergebnis des „Generationenvergleichs“:

- Im 2,4 GHz-Bereich zeigen sich bei beiden Access-Point-Generationen ähnliche Immissionen, wobei allerdings bei einem Modell der neuen Generation (Cisco 9120) die Immissionen durchweg niedriger liegen als bei der bisherigen Generation.
- Im 5 GHz-Bereich liegen die Immissionen durch die neue Generation deutlich niedriger als durch die bisherige Generation – abgesehen von dem zuvor besprochenen einzelnen Messpunkt B4.
- Bei den Summenimmissionen über beide Frequenzbereiche zeigt sich das gleiche Bild: Die Immissionen durch die neue Access-Point-Generation liegen deutlich niedriger als durch die bisherige Generation. Dies gilt auch trotz Messpunkt B4, da bei einer Messung stets Streuungen der Messergebnisse zu erwarten sind. Die Vielzahl der Messpunkte mit geringeren Immissionen der neuen Generation ergibt hier ein insgesamt sehr klares Bild zugunsten der neuen Generation Access-Points.

4.4 Untersuchung Richtungsabhängigkeit

Im nächsten Untersuchungsabschnitt wurde die Richtungsabhängigkeit der Immissionen exemplarisch an einem Access-Point der neuen Generation (Cisco 9120) analysiert. Hiermit soll untersucht werden, ob die Immissionen eher rundum um den Access-Point gleichmäßig verteilt sind, oder ob die Strahlung in bestimmte Richtungen bevorzugt abgegeben wird. Diese Messungen wurden auf den Frequenzbereich 5 GHz beschränkt, da dort der wesentliche Teil der Gesamtimmissionen auftritt, wie die in Kap. 4.3 beschriebenen Vergleichsmessungen gezeigt hatten.

An dem gleichen Messaufbau wie zuvor (s. Kap. 4.3) wurden dazu mehrere Messungen in unterschiedlichen Richtungen, aber konstant 1,80 m Abstand zum Access-Point durchgeführt. Der Abstand von 1,80 m zur Antennenspitze wurde gewählt, da dies der größte realisierbare Abstand in der Richtung „direkt nach unten“ war (vgl. **Foto 5**).

Folgende Messpositionen wurden untersucht, jeweils in 1,80 m Abstand zum Access-Point. Für die Richtungsangaben gilt dabei: (Richtung 1 = Messrichtung wie in Kap. 4.3), (Richtung 2 = Gegenrichtung dazu).

- Senkrecht unterhalb des Access-Points (Messpunkt R1, s. **Foto 5**)
- Messrichtung wie in Kap. 4.3, 1 m Höhe (Messpunkte R2 und R2W, **Foto 6**)
- Messrichtung wie in Kap. 4.3, 2 m Höhe (Messpunkt R3, **Foto 7**)

- Manueller Schwenk der Messantenne zwischen 1 m und 2 m Höhe, stets auf den Access-Point ausgerichtet und in konstantem Abstand von 1,80 m (Richtung 1, Messpunkte R4 und R4w, Schwenk im Messbereich zwischen **Foto 6** und **Foto 7**)
- Messrichtung: Richtung 2, 1 m Höhe (Messpunkt R5, **Foto 8**)
- Messrichtung: Richtung 2, 2 m Höhe (Messpunkt R6, **Foto 9**)
- Manueller Schwenk der Messantenne zwischen 1 m und 2 m Höhe, stets auf den Access-Point ausgerichtet und in konstantem Abstand von 1,80 m (Richtung 2, Messpunkt R7, Schwenk im Messbereich zwischen **Foto 8** und **Foto 9**)

Zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit der Messungen wurden einige Einzelmessungen bei unveränderten Messbedingungen wiederholt (Kennzeichnung *W, hier die Messpunkte R2w und R4w).

Die Ergebnisse dieser Messungen sind in Tabelle **M2** im Anhang (oberer Teil) dargestellt.

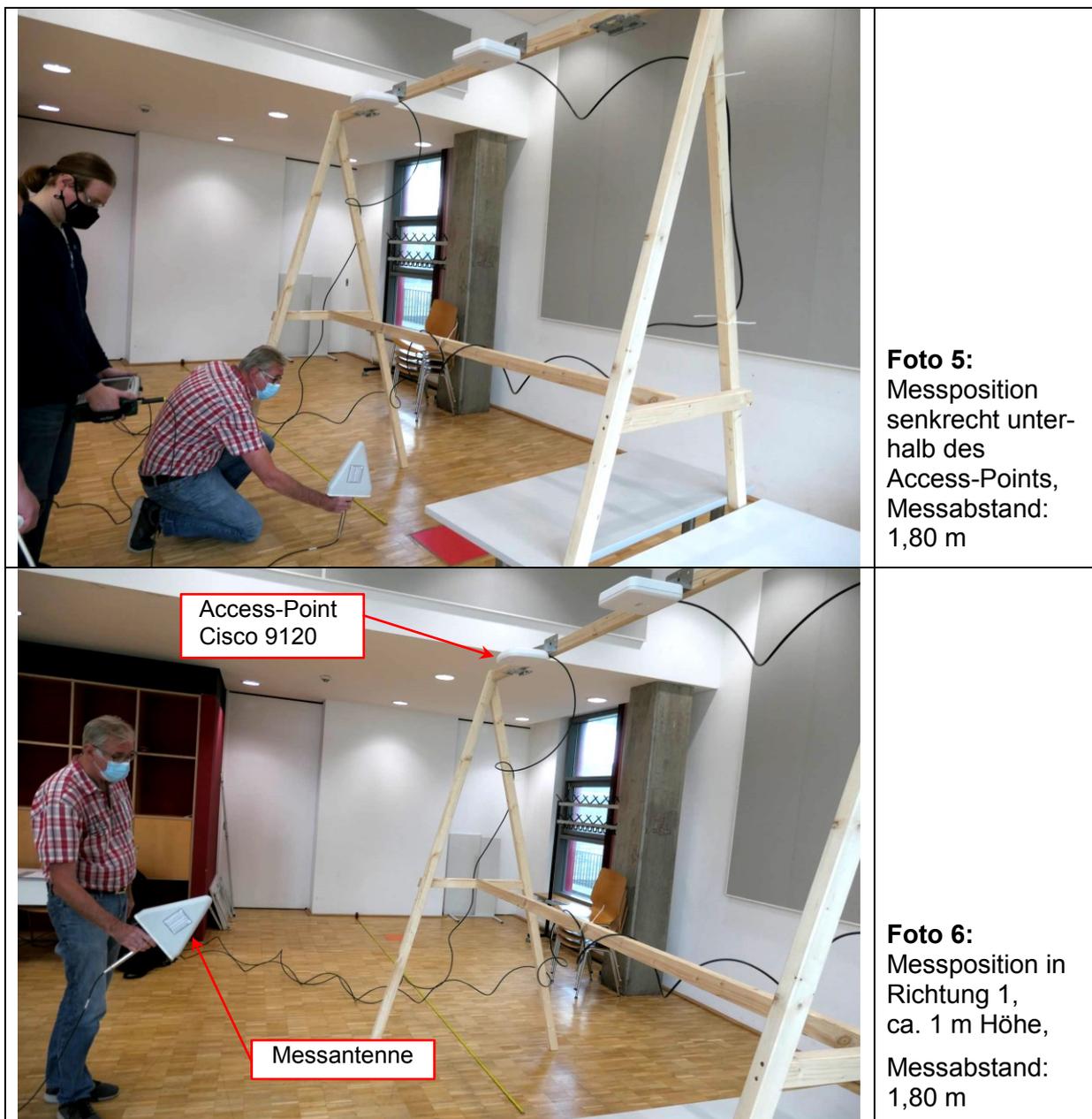




Foto 7:
Messposition in
Richtung 1,
ca. 2 m Höhe,
Messabstand:
1,80 m



Foto 8:
Messposition in
Richtung 2,
ca. 1 m Höhe,
Messabstand:
1,80 m



Foto 9:
Messposition in
Richtung 2,
ca. 2 m Höhe,
Messabstand:
1,80 m

Aus den Messungen sind folgende Ergebnisse zu entnehmen:

- Die Abstrahlung unmittelbar nach unten⁶ (Messpunkt R1) ist erheblich schwächer als in seitlicher Richtung.
- Die Abstrahlungen in 1 m Höhe (beide Richtungen) sind etwas geringer als in 2 m Höhe (vgl. Messpunkte R2/R2w gegen R3 und R5 gegen R6)
- Der Richtungsvergleich zeigt, dass in den beiden untersuchten Richtungen (Richtung 1 und Richtung 2) Abstrahlungen ähnlicher Intensität auftreten. Dabei zeigt in 1 m Höhe Richtung 1 etwas höhere Werte (Messpunkte R2/R2w und R5), hingegen liegen bei 2 m Höhe die Werte in Richtung 2 etwas höher (Messpunkte R3 und R6).
- Die beiden Höhenschwenks zeigen, dass in dem Bereich zwischen 1 m und 2 m Messhöhe keine wesentlich höheren Abstrahlungen auftreten als in 2 m Höhe.

Zusammenfassend ist daraus festzuhalten:

- Es gibt zwar Streuungen zwischen den Messwertem in den beiden untersuchten Richtungen, aber keine systematischen Abweichungen.
- Der Höhenvergleich und insbesondere die beiden Höhenschwenks zeigen, dass bei den Vergleichsmessungen (Kap. 4.3) mit der Messhöhe von 2 m eine geeignete Messhöhe gewählt wurde, bei der keine wesentlichen Immissionen in andere Richtungen unberücksichtigt geblieben sind.
- Die Immissionen unmittelbar unterhalb des Access-Points sind deutlich geringer als seitlich davon (bei gleichem Abstand).

Zum Richtungsvergleich und zur Reproduzierbarkeit sei angemerkt:

Es ist nicht zu erwarten, dass die Messergebnisse z.B. in entgegengesetzten Richtungen bei gleicher Messhöhe genau gleich wären, da bei Messungen der hier durchgeführten Art (handgeführte Messantenne, Messung in typischen Nutzungsumgebungen) stets eine gewisse Streuung der Messergebnisse zu erwarten ist. Zur Einschätzung der Auswirkungen der handgeführten Messantenne, wobei z.B. der Messabstand nicht immer präzise eingehalten werden kann, dienen auch die beiden Wiederholungsmessungen (Messpunkte R2w und R4w), die eine Abweichung in der Größenordnung 10 Prozent aufweisen.

4.5 Untersuchung Immissionssituation Arbeitsplatz

Wie bereits in Kap. 4.1 angesprochen sollen in einer Situation, in der möglicherweise ein Access-Point innerhalb eines Arbeitsraums angebracht werden muss, die Immissionen an Arbeitsplätzen in diesem Raum untersucht werden. Diese Situation tritt insbesondere in Gebäuden mit Innenwänden in Massivbauweise auf, da dort – wegen der hohen Dämpfung der Massivwände – ein Access-Point außerhalb des Raumes keine ausreichende Versorgung gewährleisten könnte.

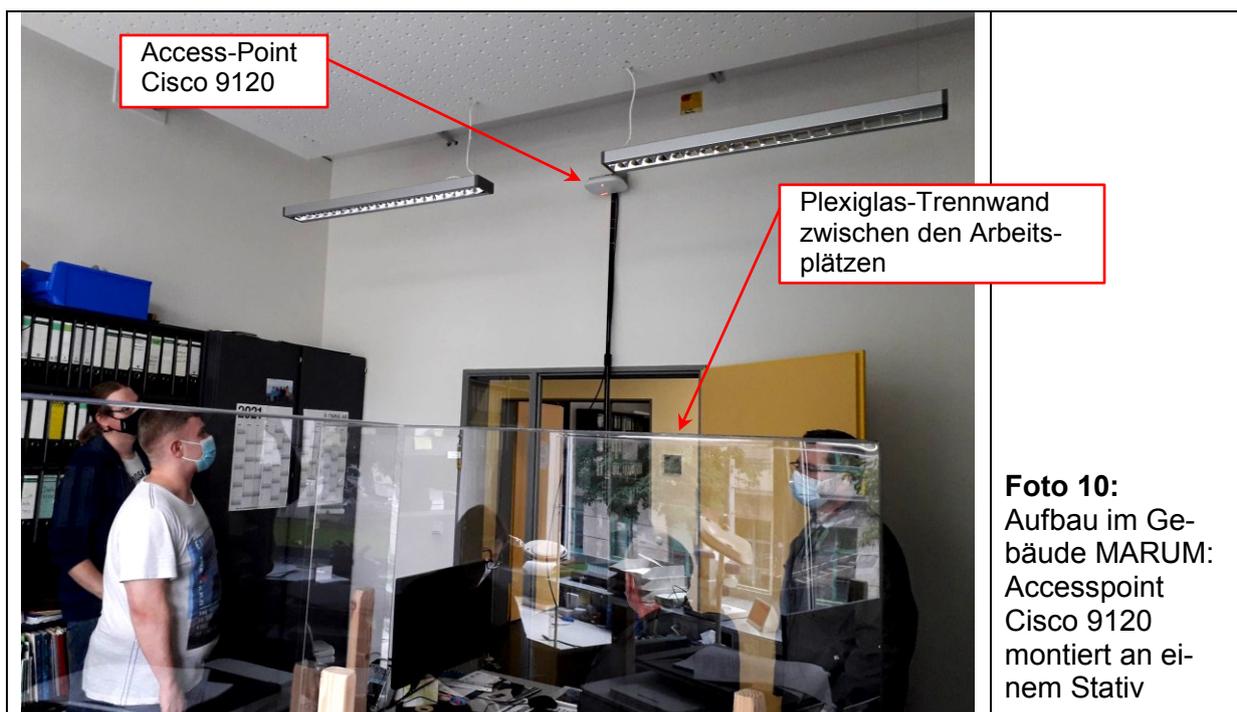
⁶ bei Montage wie auf den Fotos gezeigt, siehe Foto 1 und Foto 3

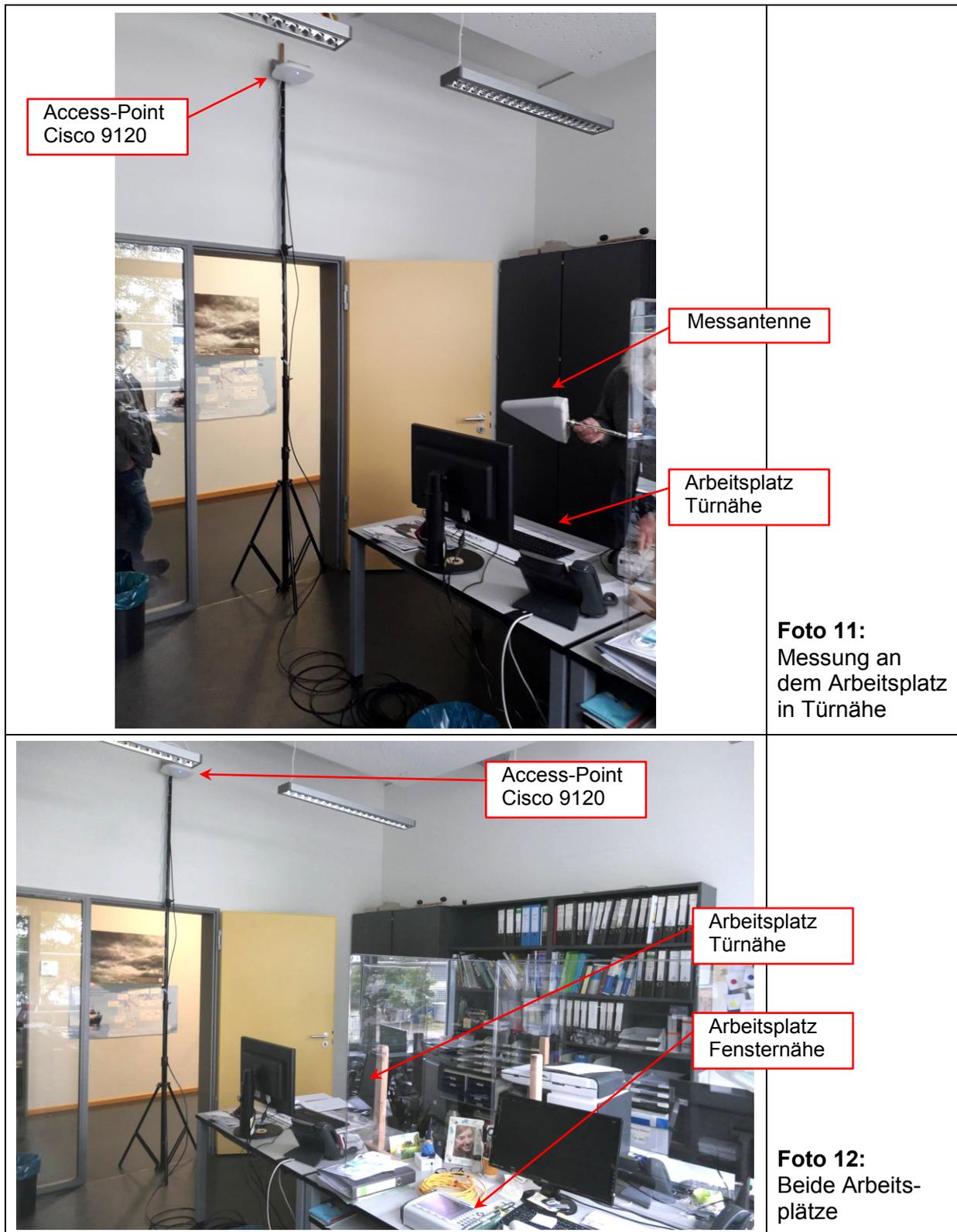
Exemplarisch für ein solches Gebäude wurde im Gebäude MARUM ein Access-Point der neuen Generation (Cisco 9120) testweise an einem Stativ montiert. Die Position des Access-Points wurde dabei so gewählt, wie sie im späteren Einsatz vorgenommen würde: in Türrnähe unterhalb der abgehängenen Decke. Die Montagehöhe (Unterkante des Access-Points) betrug 3,13 m über Boden. Die Montageposition ist auf den nachfolgenden Fotos (**Foto 10** bis **Foto 12**) dokumentiert.

Der Access-Point Cisco 9120 wurde dabei (ebenso wie bei den Messungen in den Kapiteln 4.3 und 4.4) so konfiguriert wie für den späteren Betrieb vorgesehen.

An den beiden Arbeitsplätzen in diesem Raum (s. **Foto 11** und **Foto 12**) wurden anschließend Messungen der zu erwartenden Immissionen durchgeführt. Die Messung der Immissionen erfolgte – getrennt für die Frequenzbereiche 2,4 GHz und 5 GHz – dabei sowohl in Kopfhöhe sitzend als auch in Kopfhöhe stehend im Bereich des jeweiligen Arbeitsplatzes. Ebenso wie in Kap. 4.3 beschrieben, wurde die Messantenne in einem größeren Bereich des jeweiligen Arbeitsplatzes seitlich und (in geringerem Ausmaß) vertikal geschwenkt sowie zur Erfassung unterschiedlicher Polarisationsrichtungen um die Antennenachse gedreht, um das Maximum der Immissionen zu erfassen. Bei den Messungen an dem (weiter vom Access-Point entfernten) Arbeitsplatz in Fensternähe (Messpunkt Mar3) wurde auf eine getrennte Erfassung der Immissionen in Kopfhöhe sitzend und stehend verzichtet und stattdessen der vertikale Schwenkbereich von 1 m Höhe bis 2 m Höhe ausgedehnt. Durch die (stets angewandte) Max-Hold-Betriebsart des Spektrumanalysators wird auf diese Weise das Maximum der Immissionen in diesem Bereich erfasst.

Zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit wurden alle Messungen jeweils in der gleichen Messsituation wiederholt.





In dieser Situation ergaben sich folgende Kopfabstände zum Access-Point:

	Kopfabstand zum Access-Point
Arbeitsplatz Türnähe, sitzend	2,20 m
Arbeitsplatz Türnähe, stehend	1,70 m
Arbeitsplatz Fensternähe, stehend	3,20 m

Die Ergebnisse dieser Messungen sind in Tabelle M2 im Anhang (unterer Teil) dargestellt. Die Wiederholungsmessungen (*W) zeigen dabei die im Alltagsbetrieb zu erwartende Schwankungsbreite der Immissionen auf.

Aus den Messergebnissen ist zu erkennen, dass im Bereich beider Arbeitsplätze sowohl in sitzender als auch in stehender Arbeitshaltung der in diesem Gutachten empfohlene Vorsorgewert des ECOLOG-Instituts von 10 mW/m² deutlich unterschritten wird.

An dieser Stelle sei noch einmal darauf hingewiesen, dass alle Messergebnisse zur Berücksichtigung von Messunsicherheiten mit einem Sicherheitsaufschlag von 3 Dezibel versehen wurden. Dies bedeutet, dass die in den Ergebnistabellen M1 und M2 angegebenen Werte doppelt so hoch sind wie die tatsächlichen Messergebnisse.

5 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 2022 eingesetzt werden soll (s. Liste in Kap. 4.3), höhere Immissionen verursacht werden als durch das seit 2017 im Einsatz befindliche Access-Point-Modell Cisco 1832i. Weiterhin werden die Immissionen an einem Arbeitsplatz in der Nähe eines Access-Points der neuen Generation analysiert.

In Kap. 4 wurden die durch das WLAN-System verursachten Immissionen an Testinstallationen in exemplarischen Räumen messtechnisch untersucht und die Ergebnisse in den Tabellen **M1** und **M2** im Anhang dargestellt.

5.1 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.

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 werden – wie in Kapitel 2, S. 3 angesprochen – die gemessenen Werte im vorliegenden Gutachten in Relation gesetzt zu

- den gesetzlichen Grenzwerten in Deutschland (26. BImSchV)
- den Anlagengrenzwerten der Schweiz
- dem Vorsorgewert des ECOLOG-Instituts von 10 mW/m² (für alle „normalen“ Aufenthaltsbereiche, z.B. Büro- und Arbeitsräume, Seminarräume, Hörsäle, weitere öffentliche Bereiche)
- dem Vorsorgewert des BioInitiative Working Group von 1 mW/m² (für Ruhe- und Schlafbereiche)

5.1.1 Gesetzlicher Grenzwert 26. BImSchV

Erwartungsgemäß wurden die deutschen gesetzlichen Grenzwerte der 26. BImSchV (10 000 mW/m² für alle hier relevanten Frequenzbereiche) an allen Messpunkten und Messpositionen weit unterschritten.

5.1.2 Schweizer Anlagengrenzwert

Die Messergebnisse zeigen, dass der Schweizer Anlagengrenzwert von 95 mW/m^2 an allen Messpunkten deutlich unterschritten wird (vgl. Tabellen M1 und M2 im Anhang). Die maximal festgestellten Immissionen durch den Access-Point der bisherigen Generation lagen bei $13,5 \text{ mW/m}^2$, durch einen Access-Point der neuen Generation bei 10 mW/m^2 (Messpunkt B1), jeweils in Summe über beide WLAN-Frequenzbänder.

5.1.3 Vorsorgewert des ECOLOG-Instituts von 10 mW/m^2

Der Vorsorgewert des ECOLOG-Instituts von 10 mW/m^2 , der auch in diesem Gutachten als Empfehlung für Arbeitsbereiche herangezogen wird, wird in allen praxisrelevanten Messpunkten deutlich unterschritten, insbesondere an den untersuchten Arbeitsplätzen im Gebäude MARUM. Dort liegen die maximalen Immissionen – in Summe über beide WLAN-Frequenzbänder – bei ca. 6 mW/m^2 , in sitzender Arbeitshaltung bei maximal 3 mW/m^2 .

Überschreitungen des ECOLOG-Vorsorgewertes finden sich ausschließlich bei den Vergleichsmessungen entsprechend Kap. 4.3 bei einem Abstand von 1 m zum Access-Point (Messpunkte A1 und B1 in Tabelle M1), wobei diese Situation für Daueraufenthaltsbereiche sicherlich nicht relevant ist.

5.1.4 Vorsorgeempfehlung der BioInitiative Working Group von 1 mW/m^2

Bei dem Vorsorgewert der BioInitiative Working Group von 1 mW/m^2 handelt es sich um einen Vorsorgewert, der für permanenten Daueraufenthalt über 24 Stunden pro Tag konzipiert wurde und daher – nach Einschätzung des EMF-Instituts – vor allem für die nächtlichen Ruhe- und Erholungsphasen anzustreben ist. Dieser Wert wird daher zur Bewertung sensibler Bereiche, wie Ruhe- und Schlafbereiche, empfohlen. Bei Betrachtung dieses Vorsorgewertes stellt sich die Situation unterschiedlich dar: Im Nahbereich der Access-Points wird dieser Wert fast immer überschritten, ab einem Abstand von 4 bis 5 Metern wird selbst dieser Vorsorgewert eingehalten, der (wie gesagt) nicht für die Bewertung von Arbeitsplätzen konzipiert ist.

5.2 Zusammenfassung der Einzelergebnisse

Zunächst sei auch hier noch einmal darauf hingewiesen, dass alle Messergebnisse zur Berücksichtigung von Messunsicherheiten einen Sicherheitsaufschlag enthalten, wodurch die in den Ergebnistabellen M1 und M2 angegebenen Werte doppelt so hoch sind wie die tatsächlichen Messergebnisse.

Zusammenfassend kann über die Ergebnisse der vorliegenden Messungen ausgesagt werden:

- Die Vergleichsmessungen (Kap. 4.3) haben gezeigt, dass durch die Access-Points der neuen Generation praktisch durchweg niedrigere Immissionen verursacht werden als durch das bisher eingesetzte Modell Cisco 1832i (Details s. Kap. 4.3).
- Die Access-Points der neuen Generation halten an fast allen untersuchten Messpunkten den Vorsorgewert des ECOLOG-Instituts von 10 mW/m^2 ein. Die einzige Ausnahme ist Messpunkt B1 mit $10,1 \text{ mW/m}^2$ (1 m Abstand vom Access-Point). Der zum Vergleich untersuchte Access-Point der bisherigen Generation erzeugt (ebenfalls in 1 m Abstand) Immissionen bis $13,5 \text{ mW/m}^2$ (Messpunkte A1 und B1).
- Die Messungen an einem exemplarischen Arbeitsplatz in unmittelbarer Nähe zu einem im gleichen Raum montierten Access-Point der neuen Generation (Cisco 9120) haben gezeigt, dass dort Immissionen von maximal 6 mW/m^2 in stehender Haltung und maximal 3 mW/m^2 in sitzender Arbeitshaltung zu erwarten sind.

Zum Vergleich sei noch darauf hingewiesen, dass sich die Immissionen durch das WLAN-System der Universität Bremen seit den letzten hierzu durchgeführten Untersuchungen aus den Jahren 2010 [3] und 2017 [4] nicht erhöht haben. Demgegenüber sind die durch öffentliche Mobilfunkbasisstation verursachten Immissionen in diesem Zeitraum erheblich angestiegen und liegen im städtischen Umfeld heute häufig deutlich oberhalb des Vorsorgewertes des ECOLOG-Instituts von 10 mW/m^2 .

Köln, den 5. Mai 2022



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

Dieses Dokument unterliegt dem Urberschutz. 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] 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, 06/2017, erstellt im Auftrag der Universität Bremen
- [5] Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch elektromagnetische Felder (Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern vom 15.11.2016 (BGBl. I S. 2531) - EMFV)
<http://www.gesetze-im-internet.de/emfv>
- [6] BG ETEM, DGUV Vorschrift 15, Unfallverhütungsvorschrift Elektromagnetische Felder (zuvor BGV B11), Köln, 01.06.2001
- [7] BioInitiative Working Group: Zusammenschluss von rund 30 unabhängigen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus 10 Ländern, siehe <http://www.bioinitiative.org/>
- [8] 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)
- [9] BG ETEM, DGUV Regel 103-013, Elektromagnetische Felder, Aktualisierte Fassung, Berlin 2006.
- [10] NISV, Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung, Schweizerischer Bundesrat, 23. Dezember 1999
- [11] 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,
www.munlv.nrw.de/sites/arbeitsbereiche/immission/mobil.htm
- [12] Neitzke, H P, Osterhoff, J, Voigt, H, Glahe, J, Kleinhüchelkotten, S: „EMF-Handbuch. Elektromagnetische Felder: Quellen, Risiken, Schutz“, ECOLOG-Institut für sozial-ökologische Forschung und Bildung gGmbH, Hannover, 2006,
https://www.ecolog-institut.de/wp-content/uploads/2017/12/EMF-Handbuch_Komplett.pdf

Tabelle M2: Messungen zur Richtungsabhängigkeit und Immissionsmessungen in einer realistischen Betriebssituation: Access-Point-Modell Cisco 9120
einschl. 3 dB Sicherheitsaufschlag

		2,4 GHz	5 GHz	2,4 GHz + 5 GHz
Messpunkt	Messposition	Modell	Modell	Modell
		Cisco 9120	Cisco 9120	Cisco 9120
		mW/m ²	mW/m ²	mW/m ²
Cisco 9120: Vergleich Abstrahlrichtungen				
R1	Cisco 9120, 1,80 m Messabstand, senkrecht unterhalb AccessPoint		0,905	
R2	Cisco 9120, 1,80 m Messabstand, Richtung 1*, ca. 1 m Höhe		3,72	
R2w	Cisco 9120, 1,80 m Messabstand, Richtung 1*, ca. 1 m Höhe *W		3,92	
R3	Cisco 9120, 1,80 m Messabstand, Richtung 1*, ca. 2 m Höhe		4,12	
R4	Cisco 9120, 1,80 m Messabstand, Richtung 1*, Höhenschwenk		4,30	
R4w	Cisco 9120, 1,80 m Messabstand, Richtung 1*, Höhenschwenk *W		4,79	
R5	Cisco 9120, 1,80 m Messabstand, Richtung 2*, ca. 1 m Höhe		3,52	
R6	Cisco 9120, 1,80 m Messabstand, Richtung 2*, ca. 2 m Höhe		5,72	
R7	Cisco 9120, 1,80 m Messabstand, Richtung 2*, Höhenschwenk		5,16	
Immissionsmessungen Gebäude MARUM				
Mar1	Arbeitsplatz Türnähe, Kopfhöhe sitzend	0,174	1,79	1,97
Mar1w	Arbeitsplatz Türnähe, Kopfhöhe sitzend *W	0,174	2,82	3,00
Mar2	Arbeitsplatz Türnähe, Kopfhöhe stehend	0,344	5,71	6,05
Mar2w	Arbeitsplatz Türnähe, Kopfhöhe stehend *W	0,344	4,51	4,86
Mar3	Arbeitsplatz Fensternähe (Maximum aus 1m bis 2m Höhe)	0,115	1,83	1,95
Mar3w	Arbeitsplatz Fensternähe (Maximum aus 1m bis 2m Höhe) *W	0,115	1,76	1,87
Biolnitiative Working Group ¹⁾		1	1	1
Vorsorgewert ECOLOG-Institut ¹⁾		10	10	10
Schweizer Anlagengrenzwert		95,5	95,5	95,5
Grenzwert 26. BImSchV		10000	10000	10000

¹⁾ siehe Gutachtentext

* Richtung 1: Gleiche Richtung wie bei den Messungen zu Tabelle M1
Richtung 2: Gegenrichtung zu Richtung 1

*W: Wiederholung bei unveränderten Messbedingungen

Höhenschwenk: siehe Gutachtentext