

Datenschutzkonforme Version des  
Abschlussberichtes zum Projekt  
2113000485

„EMF-Messung (Mobilfunk 5G) 2022“

erstellt für die

Senatsverwaltung für Wirtschaft,  
Energie und Betriebe Berlin

23.05.2022

## **Projektleitung beim Auftragnehmer**

Dr.-Ing. Christian Bornkessel  
Technische Universität Ilmenau  
Fachgebiet Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik  
Postfach 10 05 65  
98684 Ilmenau  
Tel: 03677/69-1592  
Fax: 03677/69-1586  
E-Mail: christian.bornkessel(at)tu-ilmenau.de

## **Autoren**

Dr. Christian Bornkessel, TU Ilmenau  
M. Sc. Lisa-Marie Schilling, TU Ilmenau  
M. Sc. Tobias Struck, TU Ilmenau

## **Auftraggeber**

Land Berlin,  
vertreten durch die Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe  
Referat III B –  
Digitalisierung, Mobilität, Gesundheitswirtschaft, Medien und Kreativwirtschaft  
Martin-Luther-Straße 105  
10825 Berlin

## **Projektnummer**

2113000485

## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>3</b>
<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>4</b>
<b>1 Aufgabenstellung und Beschreibung der Anlagen .....</b>	<b>5</b>
<b>2 Beschreibung der Messpunkte .....</b>	<b>5</b>
2.1 Anlage Berlin-Reinickendorf .....	5
2.2 Anlage Berlin-Mitte.....	7
<b>3 Messdurchführung.....</b>	<b>8</b>
3.1 Messgrößen für hochfrequente Felder .....	8
3.2 Verwendete Messgeräte und Messverfahren .....	8
3.3 Bestimmung der Maximalimmission .....	9
3.4 Bestimmung der 5G-Momentanimmission (massive-MIMO) .....	10
3.5 Messunsicherheit .....	10
<b>4 Ergebnisse.....</b>	<b>11</b>
4.1 Maximalimmission.....	11
4.1.1 <i>Anlage Berlin-Reinickendorf (5G-DSS)</i> .....	11
4.1.2 <i>Anlage Berlin-Mitte (5G-massive-MIMO)</i> .....	14
4.2 Immissionsveränderung durch 5G (Maximalimmission) .....	16
4.2.1 <i>Immissionsveränderung Anlage Berlin-Reinickendorf (5G-DSS)</i> .....	16
4.2.2 <i>Immissionsveränderung Anlage Berlin-Mitte (5G-massive-MIMO)</i> .....	17
4.3 Detailuntersuchungen zur Momentanimmission an der 5G-massive-MIMO-Anlage in Berlin-Mitte.....	18
<b>Anhang .....</b>	<b>20</b>
<b>A1 Fotos der Messorte .....</b>	<b>20</b>
<b>A2 Erläuterung zu den Grenzwerten .....</b>	<b>23</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>25</b>

## Zusammenfassung

Das Fachgebiet Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik der TU Ilmenau wurde von der Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe Berlin beauftragt, Messungen der elektromagnetischen Immission an zwei Mobilfunksendeanlagen in Berlin, die mit 5G-Technik ausgerüstet sind, durchzuführen. Um eine mögliche Veränderung der Immissionssituation untersuchen zu können, wurden die Messungen an Mobilfunkstandorten der Messungen in 2019/2020 [BS 20] durchgeführt. Dies war möglich, da die Standorte inzwischen mit 5G bzw. 5G DSS ausgerüstet wurden. Die Ergebnisse der Messungen waren zu dokumentieren und hinsichtlich der Einhaltung der in Deutschland gesetzlich geregelten Grenzwerte der 26. BImSchV zu bewerten.

Die Messungen wurden am 20. und 21.04.2022 an je sechs Messpunkten im Umfeld einer 5G-DSS-Anlage in Berlin-Reinickendorf und einer 5G-massive-MIMO-Anlage in Berlin-Mitte durchgeführt; die zu untersuchenden Anlagen sowie die Messpunkte wurden einvernehmlich zwischen der Senatsverwaltung Berlin und dem Auftragnehmer abgestimmt.

Die höchsten Mobilfunkimmissionen wurden an den Messpunkten DSS\_1 (5G-DSS-Anlage in Berlin-Reinickendorf, gegenüberliegendes Gebäude 4. OG, Terrasse) und DSS\_4 (selbe Anlage, Anlagengebäude, 4. OG unter der Anlage) mit 16,7 % des Feldstärke-Grenzwertes der 26. BImSchV festgestellt. Hierbei handelt es sich jeweils um die Maximalimmission bei Vollausbau und maximaler Sendeleistung der Anlage. Im Realbetrieb liegen die Immissionen unter den hier angegebenen Werten. Die Grenzwerte der 26. BImSchV werden an allen Messpunkten eingehalten bzw. unterschritten.

An der 5G-DSS-Anlage in Berlin-Reinickendorf konnte messtechnisch nachgewiesen werden, dass die Installation eines 5G-DSS-Systems anstelle eines bislang vorhandenen UMTS-Systems bei ansonsten unveränderten Anlagenparametern die Immissionssituation nicht verändert.

An der 5G-massive-MIMO-Anlage in Berlin-Mitte ersetzt das neue 5G-System nicht ein vorhandenes Mobilfunksystem, sondern wurde zusätzlich installiert. Hierbei konnte gezeigt werden, dass es in diesem Fall zu einer Erhöhung der Immission kommt. Allerdings sind insbesondere bei 5G-massive-MIMO-Anlagen die erzeugten Momentanimmissionen deutlich kleiner als die theoretischen Maximalimmissionen. Außerdem sind auch Immissionsveränderungen durch u.U. geänderte technische Parameter an den existierenden Mobilfunksystemen zu beachten.

# 1 Aufgabenstellung und Beschreibung der Anlagen

Das Fachgebiet Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik der TU Ilmenau wurde von der Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe Berlin beauftragt, Messungen der elektromagnetischen Immission an zwei Mobilfunksendeanlagen in Berlin, die mit 5G-Technik ausgerüstet sind, durchzuführen. Um eine mögliche Veränderung der Immissionssituation untersuchen zu können, wurden die Messungen an Mobilfunkstandorten der Messungen in 2019/2020 [BS 20] durchgeführt. Dies war möglich, da die Standorte inzwischen mit 5G bzw. 5G DSS ausgerüstet wurden.

Die Ergebnisse der Messungen waren zu dokumentieren und hinsichtlich der Einhaltung der in Deutschland gesetzlich geregelten Grenzwerte der 26. BImSchV zu bewerten.

Die Messungen wurden an zwei Makrozellanlagen durchgeführt, siehe Tabelle 1.1.

Anlage 1 in Berlin-Reinickendorf verfügt über ein 5G-System im Frequenzbereich um 2100 MHz, bei dem LTE und 5G gemeinsame Ressourcen nutzen (DSS, Dynamic Spectrum Sharing). Bei dieser Anlage wurde im Vergleich zu den Messungen 2019/2020 UMTS abgeschaltet und durch DSS ersetzt.

Anlage 2 in Berlin-Mitte besitzt ein 5G-System bei 3600 MHz mit massive-MIMO-Antennentechnik, bei dem die Abstrahlungsrichtungen der Antennen flexibel auf einzelne Nutzer ausgerichtet werden können. Bei dieser Anlage wurde das 5G-massive-MIMO-System *zusätzlich* auf ein vorhandenes Mobilfunk System installiert, so dass sich die insgesamt installierte Sendeleistung gegenüber dem Zustand der Messungen im Jahr 2020 erhöht hat.

Bei beiden Anlagen sind neben 5G auch andere Funkssysteme installiert; diese sind in Tabelle 1.1 aufgeführt.

Tabelle 1.1: Untersuchte Mobilfunksendeanlagen

Lfd. Nr.	Anonymisierte Ortsangabe	Mobilfunksystem
1	Berlin-Reinickendorf	GSM, LTE, DSS LTE/5G
2	Berlin-Mitte	LTE, 5G

## 2 Beschreibung der Messpunkte

### 2.1 Anlage Berlin-Reinickendorf

Die Messungen an der Anlage in Berlin-Reinickendorf wurden an drei Messpunkten im gegenüberliegenden Gebäude sowie an zwei Messpunkten im Anlagengebäude durchgeführt; weiterhin wurde ein Außenmesspunkt im Hof des Anlagengebäudes einbezogen. Die Messpunkte sind identisch zu denen zweier vorangegangener Messreihen des Auftragnehmers für die Senatsverwaltung Berlin aus den Jahren 2019 und 2020, um eine Veränderung der Immissionssituation durch 5G untersuchen zu können [BS 19, BS 20]. In vorliegende Messreihe wurden jedoch nicht alle Messpunkte aus [BS 19, BS 20] einbezogen.

Tabelle 2.1 gibt einen Überblick über die Lage der Messpunkte. Bilder der Messpunkte sind im Anhang A1 enthalten.

Tabelle 2.1: Beschreibung der Messpunkte der Anlage Berlin-Reinickendorf

Messpunkt	Beschreibung	Innen-/ Außen- messpunkt	Entfernung zur Anlage	Sichtver- bindung	Höhe
DSS_1	Berlin-Reinickendorf, Gegenüberliegendes Gebäude, 4. OG, Terrasse	außen	56 m	ja	4. OG
DSS_2	Berlin-Reinickendorf, Gegenüberliegendes Gebäude, 2. OG, Aufenthaltsraum, am geschlossenen Fenster	innen	58 m	ja	2. OG
DSS_3	Berlin-Reinickendorf, Gegenüberliegendes Gebäude, EG, Eingangsbereich, Eingangstür geschlossen	innen	59 m	nein	EG
DSS_4	Berlin Reinickendorf, Anlagengebäude, 4. OG, Treppenhaus B, unter Dachkuppel	innen	6 m	nein	4. OG
DSS_5	Berlin Reinickendorf, Anlagengebäude, EG, Treppenhaus B, Treppenabsatz	innen	21 m	nein	EG Trep- penabsatz
DSS_6	Berlin Reinickendorf, Hinterhof Anlagengebäude, Parkplatz	außen	36 m	ja	ebenerdig

Die Messungen wurden am 21.04.2022 zwischen 08.40 Uhr und 10.40 Uhr von Herrn Dr. Chr. Bornkessel und Herrn Tobias Struck durchgeführt.

## 2.2 Anlage Berlin-Mitte

Die Messungen an der Anlage in Berlin-Mitte wurden an drei Messpunkten im Anlagengebäude und zwei Messpunkten im gegenüberliegenden Gebäude durchgeführt; weiterhin wurde ein Außenmesspunkt vor dem Anlagengebäude einbezogen. Bis auf den Außenmesspunkt sind alle Messpunkte identisch zu denen einer vorangegangenen Messreihe des Auftragnehmers für die Senatsverwaltung Berlin aus dem Jahr 2020 [BS 20], wobei diesmal nicht alle Messpunkte der damaligen Messreihe in die Untersuchungen einbezogen wurden. Tabelle 2.2 gibt einen Überblick über die Lage der Messpunkte. Bilder der Messpunkte sind im Anhang A1 enthalten. Während den Messungen waren alle Fenster in den Gebäuden geschlossen.

Tabelle 2.2: Beschreibung der Messpunkte der Anlage Berlin-Mitte

Messpunkt	Beschreibung	Innen-/Außenmesspunkt	Entfernung zur Anlage	Sichtverbindung	Höhe
MMIMO_1	Berlin-Mitte, Anlagengebäude, 5. OG, Treppenhaus	innen	5 m	nein	5. OG
MMIMO_2	Berlin-Mitte, Anlagengebäude, 3. OG, Treppenhaus	innen	13 m	nein	3. OG
MMIMO_3	Berlin-Mitte, Anlagengebäude, EG, Treppenhaus, Tür zum Hof geöffnet	innen	25 m	nein	EG
MMIMO_4	Berlin-Mitte, Gegenüberliegendes Gebäude, 3. OG, Treppenhaus am geschlossenen Fenster	innen	53 m	ja	3. OG
MMIMO_5	Berlin-Mitte, Gegenüberliegendes Gebäude, EG, Treppenhaus am geschlossenen Fenster	innen	57 m	ja	EG
MMIMO_6	Außenmesspunkt vor dem Anlagengebäude	außen	100 m	ja	ebenerdig

Die Messungen wurden am 20.04.2022 zwischen 17.00 Uhr und 18.15 Uhr und am 21.04.2022 zwischen 11.00 Uhr und 12.15 Uhr von Herrn Dr. Chr. Bornkessel und Herrn T. Struck durchgeführt.

## 3 Messdurchführung

### 3.1 Messgrößen für hochfrequente Felder

Für die Beurteilung der Feldintensität in der Umgebung von Sendeanlagen im Hochfrequenzbereich werden üblicherweise die folgenden Größen verwendet:

- der Effektivwert der elektrischen Feldstärke E in Volt pro Meter (V/m)
- der Effektivwert der magnetischen Feldstärke H in Ampere pro Meter (A/m)
- die Leistungsflussdichte S in Watt pro Quadratmeter (W/m<sup>2</sup>)

Im Fernfeld eines Senders stehen die elektrische und magnetische Feldstärke sowie die Leistungsflussdichte in einem festen Verhältnis zueinander. Bei Messungen an Mobilfunksendeanlagen kann im Allgemeinen von Fernfeldbedingungen ausgegangen werden, da man sich in ausreichender Entfernung von den Sendeantennen befindet. Deswegen genügt zur Beurteilung der Immission die Angabe eine dieser drei Größen. In der Auswertung der durchgeführten Messungen wird primär die **elektrische Feldstärke** bzw. ihr Grenzwert-Ausschöpfungsgrad als Größe für die Immissionswerte verwendet.

### 3.2 Verwendete Messgeräte und Messverfahren

Für die Immissionsmessungen wurden folgende Messgeräte eingesetzt:

Tabelle 3.1: Verwendete Messgeräte

Gerät	Hersteller	Art	Ser. Nr.
SRM-3006	Narda	Tragbarer Spektrumanalysator 9 kHz - 6 GHz mit codeselektiver Messoption	L-0045, G-0011
3501/03	Narda	3-Achsen Antenne 400 MHz – 6 GHz	G-0217

Die verwendeten Messgeräte sind kalibriert und unterliegen einem regelmäßigen Kalibrierturnus.

Mit dem Spektrumanalysator und einer geeigneten Empfangsantenne wurden Frequenz und Empfangspegel der einzelnen am Messort untersuchten Funksignale festgestellt. Unter Berücksichtigung der Kalibrierdaten der verwendeten Antenne wird daraus die am Messort vorliegende Feldstärke bestimmt.

Bei den Messungen wurde die *Schwenkmethode* verwendet: Hierbei wird mit der Antenne das Messvolumen abgetastet (Messhöhe ca. 0,75 m - 1,75 m, Durchmesser mind. 1 m) und dabei die Ausrichtung der Antenne variiert. Der Spektrumanalysator wird dabei in der Betriebsart „Max-Hold“ betrieben. Gemessen wurde jeweils so lange, bis keine Änderungen der Messwertanzeige zu beobachten waren. Damit wird zuverlässig die jeweils stärkste im Messvolumen vorhandene Immission gesucht und aufgezeichnet. Beim Schwenken wurde ein Mindestabstand von 50 cm zu Boden, Decke, Wänden und metallischen Objekten eingehalten.

Für die Ermittlung der maximal möglichen Immissionen wurden GSM-Signale bei der Messung mit einer Auflösebandbreite von 200 kHz, LTE-Signale mit einer Bandbreite von 1 MHz und 5G-Signale mit einer Bandbreite von 3,2 MHz erfasst. An der 5G massive-MIMO-Anlage wurden auch Momentanmissionen gemessen; hier betrug die Messbandbreite 100 MHz. Entsprechend dem thermischen Wirkungsmodell der Grenzwerte wurden rauschähnliche Signalfluktuationen zeitlich gemittelt (RMS-Detektion).

Die Einzelmissionen der verschiedenen gemessenen Funksignale wurden gemäß der im Anhang A2 beschriebenen Summenformel zur Bildung einer Gesamtmission aufsummiert. Einzelmissionen, die aufgrund geringer Stärke nur einen vernachlässigbar kleinen Beitrag zur Gesamtmission liefern, wurden vernachlässigt.

### **3.3 Bestimmung der Maximalmission**

Die von GSM-, LTE- und 5G-Basisstationen erzeugten elektromagnetischen Felder sind zeitlich nicht konstant, sondern schwanken in Abhängigkeit von Verkehrsauslastung und Verbindungsqualität. Nachts sinkt die Immission durch geringes Verkehrsaufkommen in der Regel auf einen Minimalwert ab, der nur durch die permanent abgestrahlten Signalisierungssignale erzeugt wird. Nach 26. BImSchV [26. BImSchV] ist die bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung entstehende Immission zu bestimmen. Dies geschieht wie folgt:

#### GSM-Anlagen

Mehrkanalige GSM-Anlagen senden ab Kanal 2 meist mit einer Leistungsregelung, wohingegen Kanal 1 (Signalisierungskanal, BCCH) permanent mit maximaler Sendeleistung arbeitet. Um aus den mit dem Spektrumanalysator gemessenen Werten auf die maximale Anlagenauslastung zu schließen, wird je Sektor die durch den Signalisierungskanal erzeugte Immission gemessen und mit der maximalen Anzahl der Kanäle verknüpft. Die in diesem Bericht dokumentierte Maximalmission beinhaltet die Hochrechnung auf den bei der Bundesnetzagentur (BNetzA) beantragten bzw. genehmigten maximalen Betriebszustand der Anlage. Die Zahl der bei der BNetzA beantragten bzw. genehmigten Kanäle sowie deren Kanalnummern wurden von den Netzbetreibern zur Verfügung gestellt.

#### LTE-Anlagen

Bei LTE-Anlagen sind die RS (Reference Signal) Signale anlagen- und sektorspezifisch codiert und werden permanent mit vom aktuellen Verkehr unabhängiger, konstanter Sendeleistung gesendet. Mit einem codeselektiven Spektrumanalysator werden die Immissionen durch die RS aller Pfade jeder Sendeantenne (RS0 und RS1 bzw. RS0 bis RS3) gemessen. Mit den von den Anlagenbetreibern zur Verfügung gestellten Daten über die aktuell eingestellte Sendeleistung der RS Signale sowie die bei der BNetzA beantragte und genehmigte maximale Sendeleistung pro Sendeantenne wird daraus die maximal mögliche Immission beim maximalen Betriebszustand der Anlage abgeleitet.

### 5G DSS-Anlagen

Bei 5G DSS-Anlagen teilen sich LTE und 5G gemeinsam die Frequenzressourcen, d.h. diese können je nach Nutzeranforderung entweder als LTE-Signale, als 5G-Signale oder gleichzeitig als LTE- und 5G-Signale von der Basisstation abgesendet werden. Aus den durch den Netzbetreiber zur Verfügung gestellten Unterlagen geht hervor, dass die Maximalimmissionen von LTE und 5G gleich ist. Deswegen genügt es hier, die LTE-Immission zu messen und auf maximale Anlagenauslastung zu extrapolieren; die maximale 5G-Immission ist dann gleich groß. Dies wurde im Rahmen ausführlicher Untersuchungen bestätigt [SBH 22].

### 5G-massive-MIMO-Anlagen

Zur Ermittlung der Maximalimmission an der 5G-massive-MIMO-Anlage wurde ein 5G-fähiges Mobiltelefon (Samsung S20 ultra 5G) verwendet und auf diesem eine App gestartet, die zur Ermittlung der Datenübertragungsrate dient (Netflix Fast). Dadurch wurde mit dem Endgerät ein Antennenbeam von der Anlage zum Messpunkt „gezogen“, der seitens der Basisstation maximale Ressourcen abrufen. Mit dem SRM-3006 wurde die dabei verursachte Immission innerhalb einer Messbandbreite von 3,2 MHz gemessen und nachträglich auf die Gesamtsignalbandbreite von 88,2 MHz extrapoliert. Bei der Extrapolation wurde auch der Duty Cycle berücksichtigt.

## **3.4 Bestimmung der 5G-Momentanimmission (massive-MIMO)**

Neben der maximal möglichen Immission wurden bei der 5G-massive-MIMO-Anlage auch Momentanimmissionen wie folgt bestimmt:

- Während des Zeitpunkts der Messung am Messpunkt vorliegende Momentanimmission ohne Provokation von Datenverkehr durch ein 5G-Endgerät,
- Momentanimmission, wobei sich am Messpunkt ein 5G-Endgerät befindet und mit diesem eine typische Auslastung (ARD Live Stream) erzeugt wird, so dass ein Beam auf den Messpunkt „gezogen“ wird,
- Momentanimmission, wobei sich ein 5G-Endgerät mit typischer Auslastung nicht direkt am Messpunkt, sondern an anderer Stelle der gemessenen 5G-Zelle befindet, so dass ein Beam auf das Endgerät, aber nicht auf den Messpunkt „gezogen“ wird.

Für die Messung wurde die Betriebsart „Safety Evaluation“ am SRM-3006 verwendet und ein Mittelwert abgelesen, der sich über einen Schwenk von etwa 30 Sekunden im Messvolumen ergab.

## **3.5 Messunsicherheit**

Die Messunsicherheit für die Immissionsmessungen beträgt  $\pm 3$  dB bzw. +41 % -29 % bezüglich der elektrischen Feldstärke (erweiterte Messunsicherheit für  $k = 2$ , d.h. Vertrauensintervall 95 %). Hierbei sind sowohl die Unsicherheitsbeiträge für die Kalibrierung von Messantenne, Messkabel und Spektrumanalysator, als auch die Unsicherheit der Probennahme berücksichtigt. Die Messunsicherheit wurde nicht zu den Messergebnissen addiert.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Maximalimmission

#### 4.1.1 Anlage Berlin-Reinickendorf (5G-DSS)

In Tabelle 4.1 sind die an den Messpunkten ermittelten und gemäß Beschreibung in Abschnitt 3.3 ausgewerteten Summenimmissionswerte für die Anlage in Berlin-Reinickendorf dargestellt. Dabei wird die *Maximalimmission* für Vollausbau und Vollaustastung der Basisstation angegeben. Dieser tritt auf, wenn die Anlagen gemäß der BNetzA-Standortbescheinigung bezüglich der beantragten Sendeleistung voll ausgebaut sind und gerade den maximal möglichen Telefon- bzw. Datenverkehr mit größtmöglicher Sendeleistung abwickeln. Für eine Beurteilung der gemessenen Immissionen bezüglich der Grenzwerte der 26. BImSchV ist die Maximalimmission relevant. In der Regel sind die Momentanimmissionen deutlich niedriger, da die Mobilfunkanlagen nicht mit maximaler Auslastung arbeiten und die eingestellte Sendeleistung niedriger sein kann als bei der BNetzA beantragt.

In Tabelle 4.1 werden nicht die absoluten Feldstärkewerte angegeben, sondern die auf die Feldstärke-Grenzwerte der 26. BImSchV bezogenen relativen Werte in Prozent. Grund dafür ist, dass die Feldstärke-Grenzwerte frequenzabhängig sind.

Tabelle 4.1: Festgestellte Immissionswerte (Grenzwertausschöpfung der elektrischen Feldstärke gemäß 26. BImSchV) bei den Messungen an der Anlage in Berlin-Reinickendorf

Messpunkt	Beschreibung	Innen-/Außenmesspunkt	Entfernung zum Mobilfunksender	Sichtverbindung	Höhe	Maximalimmission Grenzwertausschöpfung der elektrischen Feldstärke gemäß 26. BImSchV
DSS_1	Berlin-Reinickendorf, Gegenüberliegendes Gebäude, 4. OG, Terrasse	außen	56 m	ja	4. OG	16,7 %
DSS_2	Berlin-Reinickendorf, Gegenüberliegendes Gebäude, 2. OG, Aufenthaltsraum, am geschlossenen Fenster	innen	58 m	ja	3. OG	1,3 %
DSS_3	Berlin-Reinickendorf, Gegenüberliegendes Gebäude, EG, Eingangsbereich, Eingangstür geschlossen	innen	59 m	nein	EG	1,6 %
DSS_4	Berlin Reinickendorf, Anlagengebäude, 4. OG, Treppenhaus B, unter Dachkuppel	innen	6 m	nein	4. OG	16,7 %
DSS_5	Berlin Reinickendorf, Anlagengebäude, EG, Treppenhaus B, Treppenabsatz	innen	21 m	nein	EG	1,0 %
DSS_6	Berlin Reinickendorf, Hinterhof Anlagengebäude, Parkplatz	außen	36 m	ja	ebenerdig	10,7 %

Die höchste Immission wurde an den Messpunkten DSS\_1 und DSS\_4 erreicht. DSS\_1 befindet sich in Hauptstrahlrichtung der Mobilfunkantenne im gegenüberliegenden Gebäude und DSS\_4 im obersten Stock des Anlagengebäudes unter einer Dachkuppel.

Die niedrigsten Immissionen wurden am Messpunkt DSS\_5 gemessen. Dieser befindet sich in einem Gebäude gegenüber der Anlage im Erdgeschoss.

Im Bild 4.1 sind die festgestellten Messwerte anhand einer szenischen Darstellung illustriert. In Bild 4.1b ist zu beachten, dass die y-Achse nicht auf 100 % Grenzwertausschöpfung skaliert ist, sondern auf 30 %. Folgende Erkenntnisse können abgeleitet werden:

Im Anlagengebäude nehmen die Immissionen in Richtung tieferer Stockwerke ab. Im obersten Geschoss direkt unterhalb der Dachkuppel werden 16,7 % des elektrischen Feldstärkegrenzwertes der 26. BImSchV erreicht (16,7 %E); im Erdgeschoss hingegen nur noch 1,0 %E. An einem Außenmesspunkt in etwa 30 m Bodenabstand von der Mobilfunkanlage wird mit 10,7 %E ein höherer Wert erreicht als im Erdgeschoss. Dies zeigt, dass der Abstand zur Mobilfunkanlage kein zuverlässiges Kriterium für die elektromagnetische Immission ist. Entscheidend sind vielmehr die Ausrichtung zur Anlage (d.h. innerhalb oder außerhalb der Hauptstrahlrichtung bzw. der Nebenstrahlungsrichtungen) sowie die Sichtverhältnisse (Sicht oder keine Sicht bzw. Hindernisse im Ausbreitungsweg).

Diese Kriterien lassen sich sehr gut bei der Verteilung der Immissionen im Nachbargebäude anwenden: Auf dem Balkon im 4. OG werden mit 16,7 %E ähnlich hohe Immissionen gemessen wie direkt unterhalb der Anlage, obwohl der Messpunkt etwa 60 m und damit wesentlich weiter als alle Messpunkte im Anlagengebäude von der Mobilfunkanlage entfernt ist. Grund hierfür ist, dass sich der Messpunkt auf dem Balkon offenbar in der vertikalen Hauptstrahlrichtung der gegenüberliegenden Mobilfunkanlage befindet. Zu tieferen Stockwerken nehmen die Immissionen ab, da diese Messpunkte zunehmend außerhalb der vertikalen Hauptstrahlrichtung liegen und außerdem aufgrund der Lage innerhalb des Gebäudes die Dämpfungswirkung der Fenster eine Rolle spielt.

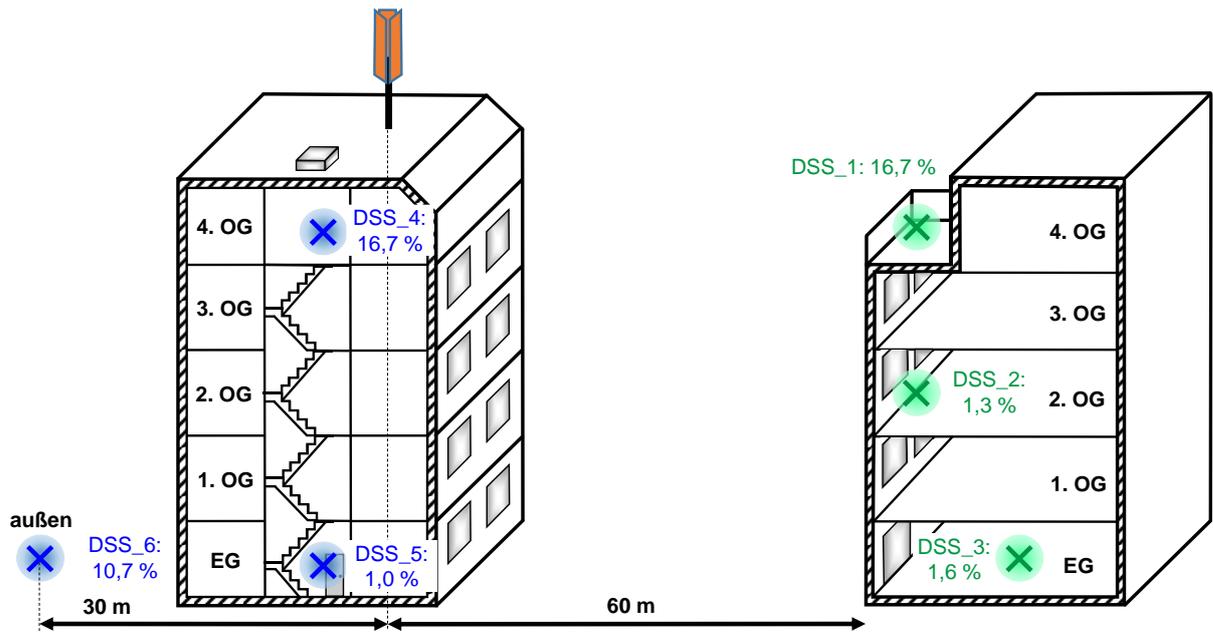


Bild 4.1a: Szenische Darstellung „5G-DSS-Anlage“

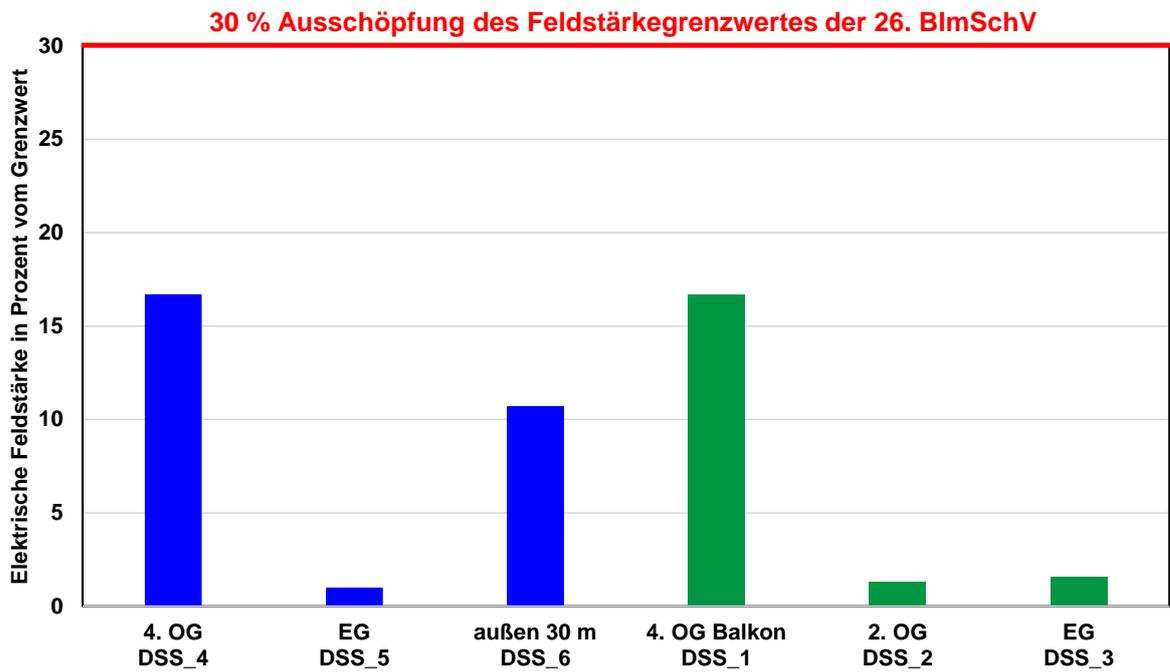


Bild 4.1b: Szenario „5G-DSS-Anlage“; gemessene Immissionen

#### 4.1.2 Anlage Berlin-Mitte (5G-massive-MIMO)

In Tabelle 4.2 sind die an den Messpunkten ermittelten und gemäß Beschreibung in Abschnitt 3.3 ausgewerteten Summenimmissionswerte für die Anlage in Berlin-Mitte dargestellt.

Tabelle 4.2: Festgestellte Immissionswerte (Grenzwertausschöpfung der elektrischen Feldstärke gemäß 26. BImSchV) bei den Messungen an der in Berlin-Mitte

Messpunkt	Beschreibung	Innen-/Außenmesspunkt	Entfernung zum Mobilfunksender	Sichtverbindung	Höhe	Maximalimmission Grenzwertausschöpfung der elektrischen Feldstärke gemäß 26. BImSchV
MMIMO_1	Berlin-Mitte, Anlagengebäude, 5. OG, Treppenhaus	innen	5 m	nein	5. OG	4,5 %
MMIMO_2	Berlin-Mitte, Anlagengebäude, 3. OG, Treppenhaus	innen	13 m	nein	3. OG	2,1 %
MMIMO_3	Berlin-Mitte, Anlagengebäude, EG, Treppenhaus, Tür zum Hof geöffnet	innen	25 m	nein	EG	0,8 %
MMIMO_4	Berlin-Mitte, Gegenüberliegendes Gebäude, 3. OG, Treppenhaus am geschlossenen Fenster	innen	53 m	ja	3. OG	4,9 %
MMIMO_5	Berlin-Mitte, Gegenüberliegendes Gebäude, EG, Treppenhaus am geschlossenen Fenster	innen	57 m	ja	EG	1,0 %
MMIMO_6	Außenmesspunkt vor dem Anlagengebäude	außen	100 m	ja	ebenerdig	11,8 %

Die maximale Immission wurde am Messpunkt MMIMO\_6 erreicht. Dieser ist ein Außenmesspunkt mit freier Sicht zur Anlage. Die niedrigsten Immissionen wurden am Messpunkt MMIMO\_3 gemessen. Dieser befindet sich im Erdgeschoss des Anlagengebäudes.

Im Bild 4.2 sind die festgestellten Messwerte anhand einer szenischen Darstellung illustriert. Dieses Szenario ist ähnlich zum Szenario „5G DSS-Anlage“, d.h. die Immissionen wurden sowohl im Anlagengebäude, als auch in einem gegenüberliegenden Gebäude bestimmt. Die gemessenen Immissionen sind von der Größe her generell vergleichbar mit denen des Szenarios „5G-DSS-Anlage“, obwohl hier ein zusätzliches 5G-System installiert wurde.

Wiederum ergibt sich im Anlagengebäude eine Abnahme der Immission hin zu tieferen Stockwerken. Die Immission im Nachbargebäude nimmt ebenfalls zu tieferen Geschossen hin ab und erreicht im Erdgeschoss ein ähnliches Niveau wie im Anlagengebäude. Die höchste Immission wurde an einem etwa 100 m entfernten Außenmesspunkt gemessen; hierhin konnte offenbar direkt ein Beam der 5G-Anlage ausgerichtet werden.

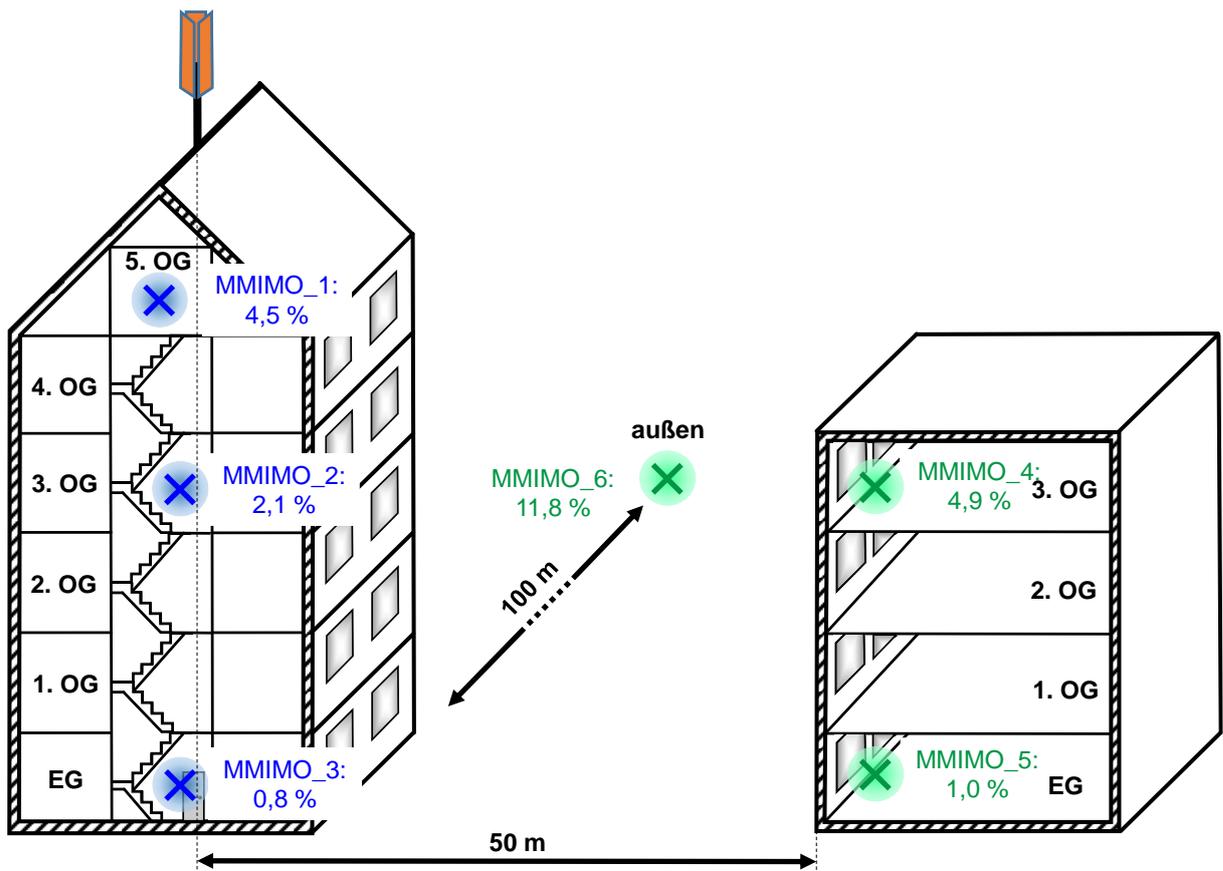


Bild 4.2a: Szenische Darstellung „5G-massive-MIMO-Anlage“

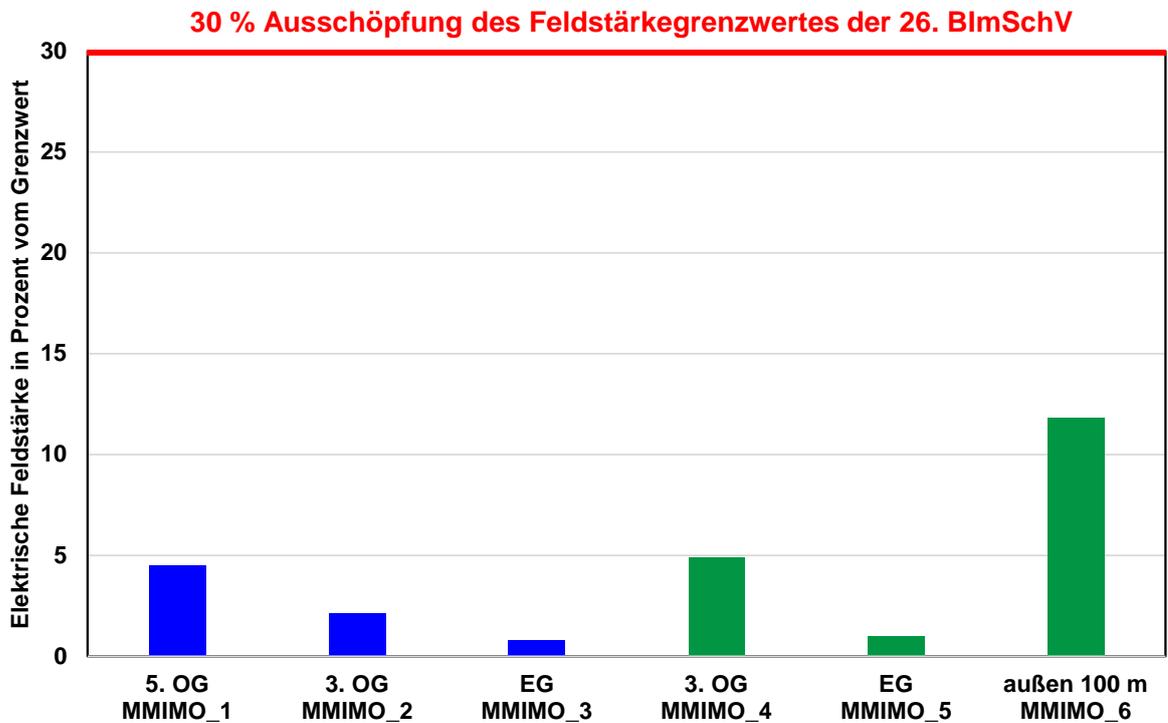


Bild 4.2b: Szenario „5G-massive-MIMO-Anlage“; gemessene Immissionen

## 4.2 Immissionsveränderung durch 5G (Maximalimmission)

In diesem Teilkapitel wird detailliert auf die Immissionen durch 5G eingegangen. Vor allem bei der DSS-Anlage in Berlin-Reinickendorf wurden im Vergleich zu den Messungen der Jahre 2019/2020 [BS 19, BS 20] mit Ausnahme der Umrüstung auf 5G nur geringfügige Änderungen der technischen Anlagenparameter vorgenommen, so dass ein Vergleich des jetzigen Zustands (GSM, LTE, DSS LTE/5G) mit dem damaligen Zustand (GSM, UMTS, LTE) möglich ist.

Bei der massive-MIMO-Anlage in Berlin-Mitte existiert nach Installation des 5G-Mobilfunksystems eine neue Standortbescheinigung. Außerdem wurden hier in wesentlich größeren Maße Änderungen der technischen Anlagenkonfiguration vorgenommen, so dass die festgestellten Immissionsänderungen nicht allein durch die Installation des 5G-Systems begründet werden können. Da es sich hierbei um eine 5G-massive-MIMO-Anlage handelt, werden in Teilkapitel 4.3 neben den 5G-Maximalimmissionen auch Momentanwerte der Immission dokumentiert.

### 4.2.1 Immissionsveränderung Anlage Berlin-Reinickendorf (5G-DSS)

Die Anlage in Berlin-Reinickendorf ist ein Beispiel für eine Anlage, bei der 5G nicht zusätzlich zu vorhandenen Mobilfunksystemen installiert wurde, sondern ein vorhandenes Mobilfunksystem ersetzt. In diesem Fall wurde UMTS abgeschaltet und durch DSS ersetzt, bei dem sich nutzungsspezifisch LTE und 5G dynamisch dieselbe Frequenzressourcen teilen. Bei vorliegender Anlage wurde im Vergleich zu den Untersuchungen in den Jahren 2019/2020 die bei der BNetzA beantragte Sendeleistung nicht verändert. Da außerdem auch die anderen technischen Anlagenparameter nahezu unverändert geblieben sind, lässt sich an identischen Messpunkten zu 2019/2020 die Fragestellung untersuchen, ob ein Wechsel des Mobilfunksystems bei ansonsten unveränderten Anlagenparametern zu einer Immissionsveränderung führt.

In Tabelle 4.3 sind die Ergebnisse der aktuellen Messungen den Ergebnissen der Messreihe aus 2019/2020 gegenübergestellt.

Tabelle 4.3: Veränderung der gemessenen Maximalwerte der Immission der aktuellen Messreihe im Vergleich zu 2019/2020 [BS 19, BS 20] (Grenzwertausschöpfung der elektrischen Feldstärke gemäß 26. BImSchV) an der Anlage in Berlin-Reinickendorf (5G-DSS)

Messpunkt	Grenzwertausschöpfung der elektrischen Feldstärke		Veränderung
	Messung 2019/2020	Messung aktuell	
DSS_1	17,5 %	16,7 %	-0,4 dB
DSS_2	1,3 %	1,3 %	0,0 dB
DSS_3	0,3 %	1,6 %	+14,5 dB
DSS_4	15,3 %	16,7 %	+0,8 dB
DSS_5	0,9 %	1,0 %	+0,9 dB
DSS_6	11,9 %	10,7 %	-0,9 dB

Eine relevante Immissionsänderung liegt dann vor, wenn sie größer als die spezifizierte Messunsicherheit von  $\pm 3$  dB ist. Wie aus Tabelle 4.3 ersichtlich ist, sind alle Immissionsveränderungen sogar kleiner als  $\pm 1$  dB. Lediglich am Messpunkt DSS\_3 liegt eine deutlich größere Veränderung vor. Eine Detailanalyse ergab, dass dies gleichermaßen alle Funkdienste betrifft, so dass ein Messfehler bei einem der Mobilfunksysteme unwahrscheinlich ist. Vermutet wird hier eher eine Veränderung der Umgebungsbedingungen.

#### Fazit:

Wird an einer Mobilfunkanlage 5G-DSS anstelle eines anderen Mobilfunksystems bei ansonsten unveränderten Anlagenparametern installiert, führt dies nicht zu einer Veränderung der Immissionssituation.

### 4.2.2 Immissionsveränderung Anlage Berlin-Mitte (5G-massive-MIMO)

Bei der Mobilfunkanlage in Berlin-Mitte handelt es sich im Gegensatz zu der Anlage in Berlin-Reinickendorf um ein 5G-massive-MIMO-System, das *zusätzlich* auf ein vorhandenes Mobilfunk System installiert wurde, so dass sich die insgesamt installierte Sendeleistung gegenüber dem Zustand der Messungen im Jahr 2020 erhöht hat. Da sich jedoch auch ausgewählte andere technische Anlagenparameter wie Zuleitungsverluste und Downtiltwinkel verändert haben, ist eine mögliche Immissionsänderung nicht allein auf die zusätzliche Installation des 5G Systems zurückzuführen.

In Tabelle 4.4 sind die Ergebnisse der aktuellen Messungen den Ergebnissen der Messreihe aus 2020 gegenübergestellt. Dies betrifft nur die Messpunkte MMIMO\_1 bis MMIMO\_5; MMIMO\_6 wurde in 2020 nicht erfasst.

Tabelle 4.4: Veränderung der gemessenen Maximalwerte der Immission der aktuellen Messreihe im Vergleich zu 2020 [BS 20] (Grenzwertausschöpfung der elektrischen Feldstärke gemäß 26. BImSchV) an der Anlage in Berlin-Mitte (5G-massive-MIMO)

Messpunkt	Grenzwertausschöpfung der elektrischen Feldstärke		Veränderung
	Messung 2019/2020	Messung aktuell	
MMIMO_1	2,0 %	4,5 %	+7,0 dB
MMIMO_2	1,0 %	2,1 %	+6,4 dB
MMIMO_3	0,4 %	0,8 %	+6,0 dB
MMIMO_4	1,4 %	4,9 %	+10,9 dB
MMIMO_5	0,4 %	1,0 %	+8,0 dB

Im Gegensatz zur Anlage in Berlin-Mitte führt die Installation des zusätzlichen 5G-massive-MIMO-Systems in Verbindung mit der Änderung weiterer Anlagenparameter zu einer Erhöhung der Immission an allen Messpunkten, die größer als die Messunsicherheit ist. Besonders deutlich fällt die Immissionserhöhung am Messpunkt MMIMO\_4 aus, der sich in einem der Anlage gegenüberliegenden Gebäude befindet, wohingegen die Änderungen vor allem bei den

Messpunkten unterhalb der Anlage geringer sind. Eine mögliche Begründung liegt in der typischen Abstrahlcharakteristik von 5G-massive-MIMO-Antennen: Dies sind Antennen, die ihre Strahlrichtung horizontal und vertikal schwenken und so gezielt auf einzelne Nutzer ausrichten können. Dabei ist vor allem der vertikale Schwenkbereich begrenzt; dies bewirkt, dass der Antennenbeam flexibel einige Grad nach oben und nach unten geschwenkt werden kann. Eine Lenkung des Strahls vertikal in das darunterliegende Gebäude ist hingegen nicht möglich.

#### 4.3 Detailuntersuchungen zur Momentanimmission an der 5G-massive-MIMO-Anlage in Berlin-Mitte

Die alleinige Betrachtung der Maximalimmission liefert insbesondere bei 5G ein unvollständiges Bild der Veränderung der Immissionssituation, da bei 5G der Unterschied zwischen theoretischer Maximalimmission und „typischer“ Immission bzw. der alleinig durch die Signalisierungssignale verursachten Immission deutlich größer ist als bei den Vorgängertechnologien LTE, UMTS und GSM. Auf diesen Umstand hat auch die Deutsche Strahlenschutzkommission in einer aktuellen Stellungnahme hingewiesen [SSK 21]. Deswegen macht es insbesondere bei 5G-massive-MIMO-Anlagen Sinn, neben der theoretischen Maximalimmission auch die Momentanimmission zu erfassen und der Maximalimmission gegenüberzustellen.

Deswegen wurden in vorliegender Messreihe an drei Messpunkten im Umfeld der 5G-massive-MIMO-Anlage in Berlin-Mitte neben der maximal möglichen Immission auch Momentanimmissionen wie folgt bestimmt:

- Während des Zeitpunkts der Messung am Messpunkt vorliegende Momentanimmission ohne Provokation von Datenverkehr durch ein 5G-Endgerät („ohne Verkehr“),
- Momentanimmission, wobei sich am Messpunkt ein 5G-Endgerät (EG) befindet und mit diesem eine typische Auslastung (ARD Live Stream) erzeugt wird, so dass ein Beam auf den Messpunkt „gezogen“ wird („ARD EG nah“),
- Momentanimmission, wobei sich ein 5G-Endgerät mit typischer Auslastung nicht direkt am Messpunkt, sondern an anderer Stelle der gemessenen 5G-Zelle befindet, so dass ein Beam auf das Endgerät, aber nicht auf den Messpunkt „gezogen“ wird („ARD EG fern“).

In Tabelle 4.5 sind die Ergebnisse dieser Messungen dargestellt.

Tabelle 4.5: Vergleich der Maximal- und Momentanimmissionen (Grenzwertausschöpfung der elektrischen Feldstärke gemäß 26. BImSchV) an der Anlage Berlin-Mitte (5G-massive-MIMO)

Messpunkt	Grenzwertausschöpfung bzgl. der elektrischen Feldstärke			
	Maximal möglich	Momentan ohne Verkehr	Momentan ARD EG nah	Momentan ARD EG fern
MMIMO_3	0,8 %	0,05 %	0,05 %	0,05 %
MMIMO_5	1,0 %	0,05 %	0,09 %	0,08 %
MMIMO_6	11,8 %	0,5 %	1,0 %	0,6 %

Aus Tabelle 4.5 wird ersichtlich, dass die Momentanimmissionen bei typischen Nutzungsszenarien (d.h. wenn z.B. durch Videostreaming ein Antennenbeam auf den Messpunkt „gezogen“ wird) nur etwa 1/10 (feldstärkebezogen, bzw. 1/100 leistungsflussdichtebezogen) der theoretischen Maximalimmission beträgt. Sie nimmt noch kleinere Werte an, wenn der Antennenbeam nicht zum Messpunkt zeigt bzw. wenn die 5G-Station gerade kein Verkehr abwickelt. In Tabelle 4.5 stellt der Wert von 0,05 % die Empfindlichkeitsgrenze des verwendeten Messgerätes dar.

Fazit:

Sofern – wie im Falle von 5G-massive-MIMO-Anlagen – das 5G-System nicht ein vorhandenes Mobilfunksystem ersetzt, sondern zusätzlich installiert wird, kommt es zu einer Erhöhung der Immission. Allerdings sind insbesondere bei 5G-massive-MIMO-Anlagen die erzeugten Momentanimmissionen deutlich kleiner als die theoretischen Maximalimmissionen. Außerdem sind auch Immissionsveränderungen durch u.U. geänderte technische Parameter an den existierenden Mobilfunksystemen zu beachten.

## Anhang

### A1 Fotos der Messorte

In den nachfolgenden Fotos ist der örtliche Messbereich mit einem grünen Kreis markiert. Bei Sichtverbindung zur Mobilfunkanlage ist diese mit einem blauen Kreis gekennzeichnet.



Bild A1: Messpunkt DSS\_1 mit Mobilfunkanlage



Bild A2: Messpunkt DSS\_2 mit Mobilfunkanlage



Bild A3: Messpunkt DSS\_3

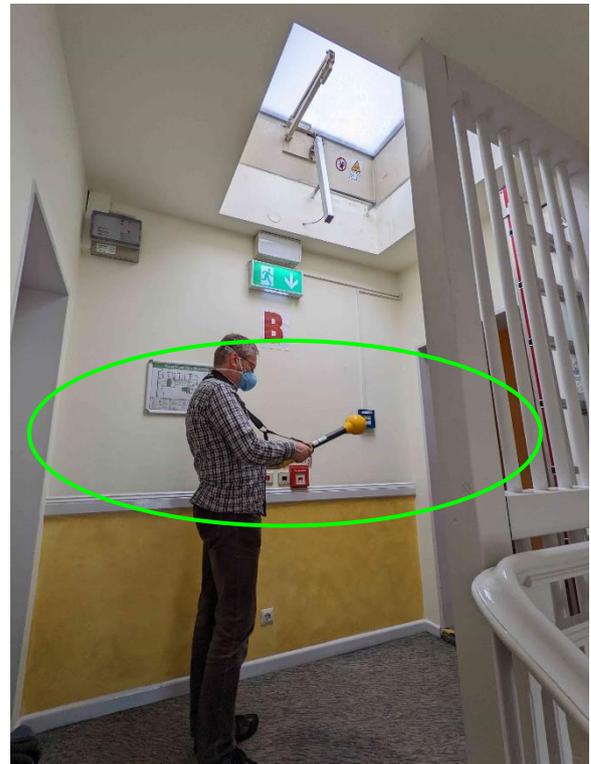


Bild A4: Messpunkt DSS\_4



Bild A5: Messpunkt DSS\_5



Bild A6: Messpunkt DSS\_6 mit Mobilfunkanlage

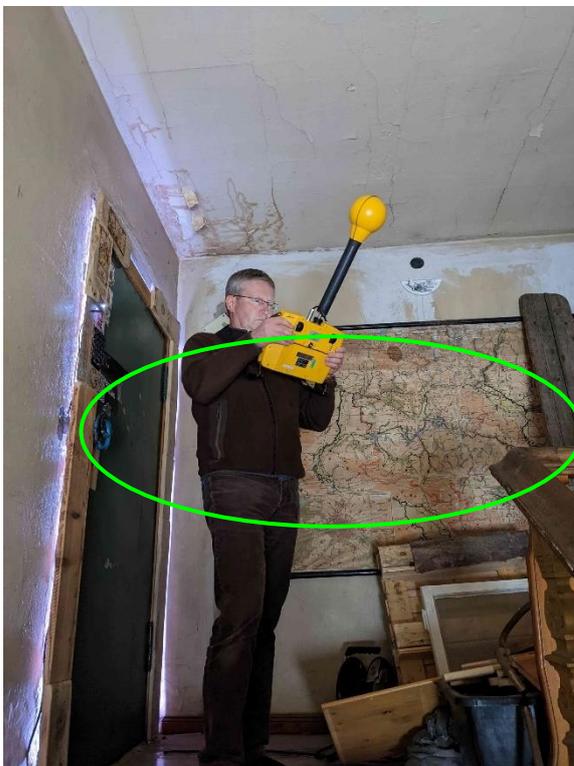


Bild A7: Messpunkt MMIMO\_1

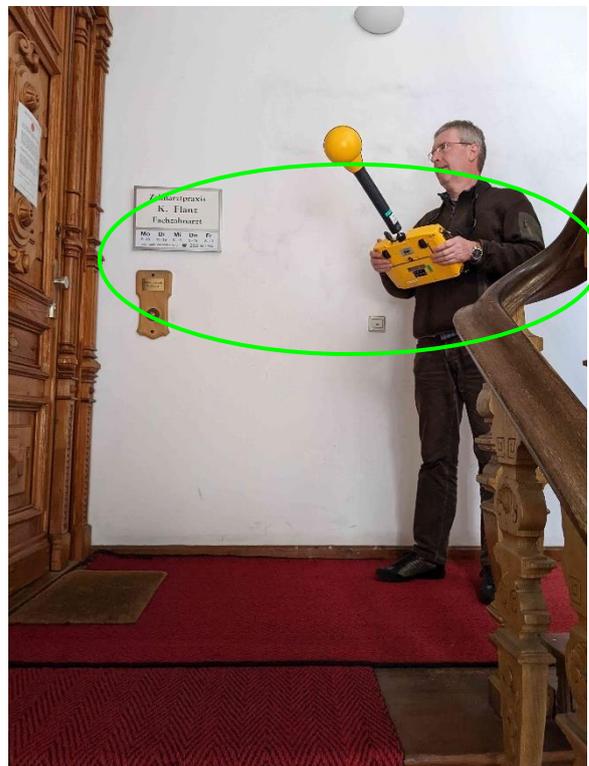


Bild A8: Messpunkt MMIMO\_2

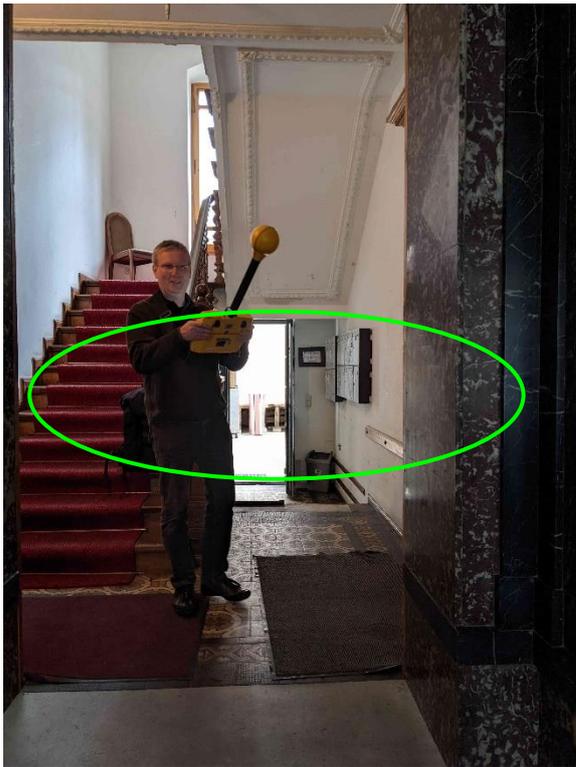


Bild A9: Messpunkt MMIMO\_3



Bild A10: Messpunkt MMIMO\_4 mit Mobilfunkanlage

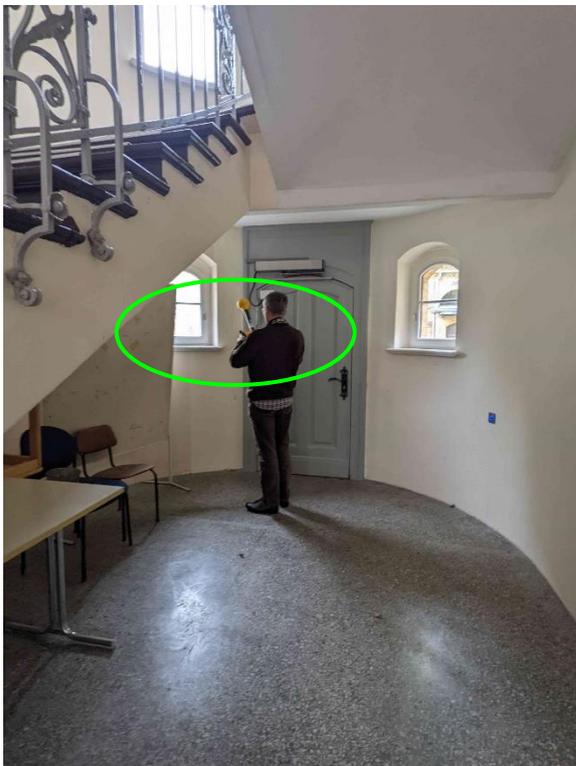


Bild A11: Messpunkt MMIMO\_5



Bild A12: Messpunkt MMIMO\_6 mit Mobilfunkanlage

## A2 Erläuterung zu den Grenzwerten

Für den Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor sowie zur Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder besteht in Deutschland seit dem 16. Dezember 1996 mit der „Sechszwanzigsten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV)“ und den darin festgelegten Grenzwerten eine gesetzliche Regelung in diesem Bereich. Diese Verordnung wurde im Jahr 2013 novelliert [26. BImSchV]. Sie gilt für die Errichtung und den Betrieb von Hochfrequenzanlagen, Niederfrequenzanlagen und Gleichstromanlagen.

Im Hochfrequenzbereich (HF-Bereich) gilt die 26. BImSchV für ortsfeste Sendeanlagen mit einer Sendeleistung von 10 W EIRP (äquivalente isotrope Strahlungsleistung) oder mehr, die elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 9 kHz bis 300 GHz erzeugen. Sie gilt ebenfalls für Anlagen mit einer Sendeleistung von weniger als 10 W EIRP, wenn diese an einem Standort errichtet werden, an dem unter Berücksichtigung der neuen Anlage die Grenze von 10 W EIRP überschritten wird.

Zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen sind die unter die Verordnung fallenden Hochfrequenzanlagen so zu errichten und zu betreiben, dass in ihrem Einwirkungsbereich an Orten, die zum dauerhaften oder vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung die nachfolgend bestimmten Grenzwerte für den jeweiligen Frequenzbereich unter Berücksichtigung von Immissionen durch andere ortsfeste Hochfrequenzanlagen sowie Niederfrequenzanlagen nicht überschritten werden. Bei gepulsten elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich oberhalb von 10 MHz, wie z.B. von Radaranlagen, darf zusätzlich der Spitzenwert für die elektrische und magnetische Feldstärke das 32fache der Werte nach Tabelle A1 nicht überschreiten.

Tabelle A1: Grenzwerte der elektrischen und magnetischen Feldstärke im Hochfrequenzbereich nach 26. BImSchV. Für  $f$  ist der Zahlenwert in MHz einzusetzen.

Frequenz $f$ in MHz	Effektivwert, quadratisch gemittelt über 6-Minuten-Intervalle	
	Elektrische Feldstärke $E_{\text{eff}}$ in V/m	Magnetische Feldstärke $H_{\text{eff}}$ in A/m
0,1 - 1	87	0,73 / $f$
1 - 10	$87 / \sqrt{f}$	0,73 / $f$
10 - 400	28	0,073
400 - 2000	$1,375 \cdot \sqrt{f}$	$0,0037 \cdot \sqrt{f}$
2000 - 300000	61	0,16

Elektrische und magnetische Feldstärken sind im Fernfeld einer Strahlungsquelle über den Wellenwiderstand des Freiraumes,  $Z_0 \approx 377 \Omega$ , ineinander überföhrbar und beinhalten dieselbe Information. Deswegen ist es hier ausreichend, lediglich die GröÙe des elektrischen Feldes zu messen.

Das Produkt von elektrischer und magnetischer Feldstärke im Fernfeld einer Strahlungsquelle ergibt die elektrische Leistungsflussdichte  $S$ . Da auch diese dieselbe Information wie die Feldstärken beinhaltet, wird sie oft alternativ zur elektrischen Feldstärke bei der Grenzwertprüfung herangezogen.

Wirken gleichzeitig Felder unterschiedlicher Frequenzen zusammen, dann sind die grenzwertbezogenen Ausschöpfungsgrade (GW\_ASG) geeignet zu summieren. In Anlehnung an Anhang 2b der 26. BImSchV werden diese für die Frequenzbereiche ab 100 kHz wie folgt gebildet:

$$GW\_ASG_{thermisch} = \sqrt{\sum_{i=100\text{ kHz}}^{300\text{ GHz}} \left(\frac{I_{E,i}}{G_{E,i}}\right)^2} \quad (\text{A.1})$$

$I_{E,i}$  Immissionsbeitrag des elektrischen Feldes bei der Frequenz  $i$ ; gemessen

$G_{E,i}$  Grenzwert der elektrischen Feldstärke bei der Frequenz  $i$  gemäß Tabelle A.1;

Der mit dem Faktor 100 multiplizierte grenzwertbezogene Ausschöpfungsgrad nach Gleichung A.1 ergibt die prozentuale Ausschöpfung des zulässigen *Feldstärke*-Grenzwertes. Dieser darf den Wert 100 nicht überschreiten. Entfällt in Gleichung A.1 die Quadratwurzel auf der rechten Seite, ergibt sich bei Multiplikation mit dem Faktor 100 die prozentuale Ausschöpfung des zulässigen *Leistungsflussdichte*-Grenzwertes.

Zur Frage, ob es neben thermischen Wirkungen, auf denen die Grenzwertsetzung im Mobilfunkfrequenzbereich beruht, noch andere Wirkungen bei niedrigeren Strahlungsintensitäten auf den menschlichen Organismus gibt, geben nationale und internationale Expertenkomitees regelmäßig Stellungnahmen ab. So hat das EU-Beratungsgremium SCENIHR (Wissenschaftlicher Ausschuss „Neu auftretende und neu identifizierte Gesundheitsrisiken“) im März 2015 bestätigt, dass auf Basis der aktuellen wissenschaftlichen Forschungsergebnisse keine gesundheitsschädigende Wirkung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern unterhalb der Grenzwerte ausgeht. Die Weltgesundheitsorganisation WHO betont in ihrem „Fact Sheet 193“ vom Oktober 2014, dass die grundlegende Wechselwirkung von Hochfrequenzfeldern mit dem menschlichen Körper auf der Wärmewirkung beruhe. Zu Einflüssen dieser Felder auf das EEG, kognitive Funktionen, Schlaf, Puls und Blutdruck lägen keine konsistenten Ergebnisse zu nachteiligen Effekten auf die Gesundheit vor, sofern die Grenzwerte eingehalten werden. Darüber hinaus habe die bisherige Forschung keine Hinweise auf eine kausale Beziehung zwischen Hochfrequenzfeldern und der (selbst berichteten) Elektrosensibilität erbracht. Hinsichtlich eines Hirntumorrisikos beim mobilen Telefonieren deuteten weder die Ergebnisse von Tierversuchen, noch die Resultate der INTERPHONE-Studie auf ein erhöhtes Risiko hin, von einer kleinen Untergruppe der Vieltelefonierer mit erhöhter Gliomhäufigkeit abgesehen. Aufgrund der unklaren Ergebnisse bei Vieltelefonierern hatte die Internationale Krebsforschungsorganisation IARC hochfrequente elektromagnetische Felder als möglicherweise krebserregend (Klasse 2B) eingestuft; dies bezieht sich jedoch primär auf die Handynutzung [Med 19].

In einer aktuellen Stellungnahme weist die Deutschen Strahlenschutzkommission darauf hin, dass „auf Basis des aktuellen Standes der Forschung bezüglich biologischer Wirkungen von Hochfrequenzimmissionen für die Frequenzbereiche im FR1, die derzeit für 2G, 3G und 4G und zukünftig vermehrt auch für den 5G-Mobilfunk verwendet werden, [...] gefolgert werden [kann], dass derzeit keine belastbaren Hinweise für gesundheitliche Risiken bei Expositionen von Personen unterhalb der in Deutschland gültigen Grenzwertvorgaben für Sendeanlagen und Endgeräte vorliegen. Daraus resultiert die Feststellung, dass auch aus aktueller Sicht der Forschung die in Deutschland derzeit geltenden Grenzwerte für Hochfrequenzimmissionen [...] in ihrer Schutzfunktion ausreichend sind“ [SSK 21].

## Literaturverzeichnis

- [26. BImSchV] **26. BImSchV**, *Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV)*, BGBl. Jg. 2013 Teil I Nr. 50, 21.08.2013.
- [BfS 19] **Bundesamt für Strahlenschutz**, *Wirkungen hochfrequenter Felder*, [http://www.bfs.de/DE/themen/emf/hff/wirkung/wirkung\\_node.html](http://www.bfs.de/DE/themen/emf/hff/wirkung/wirkung_node.html); zuletzt besucht am 13.03.2020.
- [BS 19] **Chr. Bornkessel und L.-M. Schilling**, *EMF-Messung & Auswertung (Mobilfunk)*, Abschlussbericht zum Projekt 2113000285 im Auftrag der Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe Berlin, Ilmenau (2019).
- [BS 20] **Chr. Bornkessel und L.-M. Schilling**, *EMF-Messung (Mobilfunk) 2020*, Datenschutzkonforme Version V1.0 des Abschlussberichtes zum Projekt 2113000385 im Auftrag der Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe Berlin, Ilmenau (2020).
- [ICNIRP 98] **ICNIRP Guidelines**, *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)*, Health Physics, vol. 74 no. 4, S. 494-522, (1998).
- [Med 19] **Informationszentrum Mobilfunk**, *Medizinisch relevante Aspekte des Mobilfunks – Eine Information für Ärzte*, Lichtblick Kommunikation (Hrsg.), September 2019.
- [SBH 22] **L.-M. Schilling, Chr. Bornkessel und M. Hein**, *Analysis of instantaneous and maximal RF exposure in 4G/5G networks with Dynamic Spectrum Sharing*, EuCAP 2022, Madrid (2022).
- [SSK 21] **Deutsche Strahlenschutzkommission**, *Elektromagnetische Felder des Mobilfunks im Zuge des aktuellen 5G-Netzausbaus – Technische Aspekte und biologische Wirkungen im unteren Frequenzbereich (FR1, bis ca. 7 GHz)*, Stellungnahme der SSK, 10.12.2021