



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
ILMENAU

Datenschutzkonforme Version V1.0 des
Abschlussberichtes zum Projekt
2113000385

„EMF-Messung (Mobilfunk) 2020“

erstellt für die

Senatsverwaltung für Wirtschaft,
Energie und Betriebe Berlin

18.03.2020

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

Auftraggeber

Land Berlin,
vertreten durch die Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe
Referat III B –
Innovation, Cluster, Industrie, Smart City, Digitalisierung, Kreativwirtschaft
Martin-Luther-Straße 105
10825 Berlin

Projektnummer

2113000385

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
1 Aufgabenstellung	4
2 Beschreibung der Messpunkte	4
2.1 Anlage Berlin-Reinickendorf	4
2.2 Anlage Berlin-Mitte	6
2.3 Anlage Berlin-Steglitz-Zehlendorf	7
3 Messdurchführung	8
3.1 Messgrößen für hochfrequente Felder	8
3.2 Verwendete Messgeräte und Messverfahren	8
3.3 Bestimmung von Minimalimmission und Maximalimmission	9
3.4 Messunsicherheit	10
4 Ergebnisse	10
4.1 Anlage Berlin-Reinickendorf (leistungsstark)	10
4.2 Anlage Berlin-Mitte (typisch)	12
4.3 Anlage Berlin-Steglitz-Zehlendorf (Linienmessung)	13
5 Szenische Darstellungen	15
5.1 Szenario „Leistungsstarke Mobilfunkanlage“	15
5.2 Szenario „Typische Mobilfunkanlage“	17
5.3 Szenario „Linienmessung“	19
5.4 Szenario „Kleinzelle“	20
6 Vergleich der Grenzwertausschöpfungen von Basisstationen und Mobiltelefonen	21
Anhang	23
A1 Fotos der Messorte	23
A2 Erläuterung zu den Grenzwerten	25
Literaturverzeichnis	28

1 Aufgabenstellung

Das Fachgebiet Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik der TU Ilmenau wurde von der Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe Berlin beauftragt, Messungen der elektromagnetischen Immission durch Mobilfunksendeanlagen in Berlin durchzuführen.

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 drei Makrozellanlagen durchgeführt, siehe Tabelle 1.1.

Tabelle 1.1: In der Umgebung der Messpunkte vorhandene Mobilfunksendeanlagen

Lfd. Nr.	Anonymisierte Ortsangabe	Mobilfunksystem	Montagehöhe niedrigste Antenne
1	Berlin-Reinickendorf	GSM, UMTS, LTE	21,6 m
2	Berlin-Mitte	LTE	26,7 m
3	Berlin-Steglitz-Zehlendorf	GSM, UMTS, LTE	27,9 m

2 Beschreibung der Messpunkte

2.1 Anlage Berlin-Reinickendorf

Die Messungen an der Anlage in Berlin-Reinickendorf wurden an fünf Messpunkten im gegenüberliegenden Gebäude sowie an fünf Messpunkten im Anlagengebäude durchgeführt. Die Messpunkte wurden in Absprache mit dem Auftraggeber ausgewählt. Alle Messpunkte befinden sich im Inneren von Gebäuden. Tabelle 2.1 gibt einen Überblick über die Lage der Messpunkte. Bilder der Messpunkte sind auszugsweise 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
R1	Berlin-Reinickendorf, Gegenüberliegendes Gebäude, 4. OG, Aufenthaltsraum, am geschlossenen Fenster	innen	57 m	ja	4. OG
R2	Berlin-Reinickendorf, Gegenüberliegendes Gebäude, 3. OG, Aufenthaltsraum, am geschlossenen Fenster	innen	57 m	ja	3. OG
R3	Berlin-Reinickendorf, Gegenüberliegendes Gebäude, 2. OG, Aufenthaltsraum, am geschlossenen Fenster	innen	58 m	ja	2. OG
R4	Berlin-Reinickendorf, Gegenüberliegendes Gebäude, 1. OG, Aufenthaltsraum, am geschlossenen Fenster	innen	58 m	ja	1. OG
R5	Berlin-Reinickendorf, Gegenüberliegendes Gebäude, EG, Eingangsbereich, Eingangstür geschlossen	innen	59 m	ja	EG
R11	Berlin-Reinickendorf, Anlagengebäude, 4. OG, Treppenhaus B, unter Dachkuppel	innen	6 m	nein	4. OG
R12	Berlin-Reinickendorf, Anlagengebäude, 3. OG, Treppenhaus B	innen	10 m	nein	3. OG
R13	Berlin-Reinickendorf, Anlagengebäude, 2. OG, Treppenhaus B	innen	14 m	nein	2. OG
R14	Berlin-Reinickendorf, Anlagengebäude, 1. OG, Treppenhaus B	innen	18 m	nein	1. OG
R15	Berlin-Reinickendorf, Anlagengebäude, EG, Treppenhaus B, Treppenabsatz	innen	21 m	nein	EG Treppen- absatz

Die Messungen wurden am 19.02.2020 zwischen 10.30 Uhr und 12.10 Uhr von Herrn Dr. Chr. Bornkessel und Frau L.-M. Schilling durchgeführt.

2.2 Anlage Berlin-Mitte

Die Messungen an der Anlage in Berlin-Mitte wurden an sechs Messpunkten im Anlagengebäude und vier Messpunkten im gegenüberliegenden Gebäude durchgeführt.

Die Messpunkte wurden in Absprache mit dem Auftraggeber ausgewählt. Alle Messpunkte befinden sich im Inneren von Gebäuden. Tabelle 2.2 gibt einen Überblick über die Lage der Messpunkte. Bilder der Messpunkte sind auszugsweise im Anhang A1 enthalten. Während der 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
M1	Berlin-Mitte, Anlagengebäude, 5. OG, Treppenhaus	innen	5 m	nein	5. OG
M2	Berlin-Mitte, Anlagengebäude, 4. OG, Treppenhaus	innen	9 m	nein	4. OG
M3	Berlin-Mitte, Anlagengebäude, 3. OG, Treppenhaus	innen	13 m	nein	3. OG
M4	Berlin-Mitte, Anlagengebäude, 2. OG, Treppenhaus	innen	17 m	nein	2. OG
M5	Berlin-Mitte, Anlagengebäude, 1. OG, Treppenhaus	innen	21 m	nein	1. OG
M6	Berlin-Mitte, Anlagengebäude, EG, Treppenhaus	innen	25 m	nein	EG
M11	Berlin-Mitte, Gegenüberliegendes Gebäude, 3. OG, Treppenhaus am geschlossenen Fenster	innen	53 m	ja	3. OG
M12	Berlin-Mitte, Gegenüberliegendes Gebäude, 2. OG, Treppenhaus am geschlossenen Fenster	innen	54 m	ja	2. OG
M13	Berlin-Mitte, Gegenüberliegendes Gebäude, 1. OG, Treppenhaus am geschlossenen Fenster	innen	55 m	ja	1. OG
M14	Berlin-Mitte, Gegenüberliegendes Gebäude, EG, Treppenhaus am geschlossenen Fenster	innen	57 m	ja	EG

Die Messungen wurden am 19.02.2020 zwischen 13.45 Uhr und 15.00 Uhr von Herrn Dr. Chr. Bornkessel und Frau L.-M. Schilling durchgeführt.

2.3 Anlage Berlin-Steglitz-Zehlendorf

Die Messungen an der Anlage Berlin-Steglitz-Zehlendorf wurden an 20 Messpunkten durchgeführt, die strahlförmig auf einer Linie in Richtung 225° NüO im Abstand von etwa 5 m bis 560 m von der Basisstation angeordnet sind. Alle Messpunkte sind ebenerdig angeordnet, liegen im Freien und haben Sicht auf die Anlage. Die Messpunkte wurden in Absprache mit dem Auftraggeber ausgewählt. Tabelle 2.3 gibt einen Überblick über die Lage der Messpunkte. Bilder der Messpunkte sind auszugsweise im Anhang A1 enthalten.

Tabelle 2.3: Beschreibung der Messpunkte der Anlage Berlin-Steglitz-Zehlendorf

Messpunkt	Beschreibung	Innen-/Außenmesspunkt	Entfernung zur Anlage	Sichtverbindung	Höhe
SZ1	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 225°-Linie, Abstand 5 m	außen	5 m	ja	ebenerdig
SZ2	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 225°-Linie, Abstand 14 m	außen	14 m	ja	ebenerdig
SZ3	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 225°-Linie, Abstand 22 m	außen	22 m	ja	ebenerdig
SZ4	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 225°-Linie, Abstand 27 m	außen	27 m	ja	ebenerdig
SZ5	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 225°-Linie, Abstand 36 m	außen	36 m	ja	ebenerdig
SZ6	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 225°-Linie, Abstand 58 m	außen	58 m	ja	ebenerdig
SZ7	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 225°-Linie, Abstand 93 m	außen	93 m	ja	ebenerdig
SZ8	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 225°-Linie, Abstand 113 m	außen	113 m	ja	ebenerdig
SZ9	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 225°-Linie, Abstand 136 m	außen	136 m	ja	ebenerdig
SZ10	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 225°-Linie, Abstand 160 m	außen	160 m	ja	ebenerdig
SZ11	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 225°-Linie, Abstand 180 m	außen	180 m	ja	ebenerdig
SZ12	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 225°-Linie, Abstand 204 m	außen	204 m	ja	ebenerdig
SZ13	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 225°-Linie, Abstand 228 m	außen	228 m	ja	ebenerdig
SZ14	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 225°-Linie, Abstand 266 m	außen	266 m	ja	ebenerdig
SZ15	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 225°-Linie, Abstand 308 m	außen	308 m	ja	ebenerdig
SZ16	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 225°-Linie, Abstand 373 m	außen	373 m	ja	ebenerdig
SZ17	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 225°-Linie, Abstand 412 m	außen	412 m	ja	ebenerdig
SZ18	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 225°-Linie, Abstand 458 m	außen	458 m	ja	ebenerdig
SZ19	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 225°-Linie, Abstand 509 m	außen	509 m	ja	ebenerdig
SZ20	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 225°-Linie, Abstand 560 m	außen	560 m	ja	ebenerdig

Die Messungen wurden am 02.03.2020 zwischen 10.50 Uhr und 13.00 Uhr von Herrn Dr. Chr. Bornkessel und Frau L.-M. Schilling 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/m²)

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 27 MHz - 3 GHz	K-1259

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.

GSM-Signale werden bei der Messung mit einer Auflösebandbreite von 200 kHz, UMTS-Signale mit einer Bandbreite von 5 MHz und LTE-Signale mit einer Bandbreite von 1 MHz erfasst. Als Detektor kommt jeweils der RMS-Detektor zum Einsatz.

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

3.3 Bestimmung von Minimalimmission und Maximalimmission

Die von GSM-, UMTS- und LTE-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 Maximalimmission 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.

UMTS-Anlagen

Bei UMTS-Anlagen existiert ein Signalisierungssignal (der „Common Pilot Channel“, kurz „CPICH“), das mit definierter, konstanter Leistung abgegeben wird. Die Feldstärke jedes vorhandenen CPICH wird mittels einer codeselektiven Messung bestimmt. Die Maximalimmission ergibt sich durch Multiplikation der gemessenen CPICH-Immission mit einem Faktor, der sich aus der aktuell eingestellten Leistung des CPICH und der maximal beantragten Sendeleistung des Frequenzkanals ergibt. Dieser Faktor (in der Regel 10 bezüglich der Leistung) wurde für vorliegende Messungen bei den Netzbetreibern abgefragt. Die somit ermittelte Immission wird dann auf die Zahl der maximal beantragten bzw. genehmigten Frequenzkanäle hochgerechnet.

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.

3.4 Messunsicherheit

Die Messunsicherheit für die Immissionsmessungen beträgt ± 3 dB (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 Anlage Berlin-Reinickendorf (leistungsstark)

In Tabelle 4.1 sind die an den Messpunkten R1 ... R5 und R11 ... R15 ermittelten und gemäß Beschreibung in Abschnitt 3.3 ausgewerteten Summenimmissionswerte für die Anlage in Berlin-Reinickendorf dargestellt.

Dabei wird die *Maximalimmission* für Vollausbau und Vollaustattung der Basisstation angegeben. Diese tritt auf, wenn die Anlagen gemäß der BNetzA-Standortbescheinigung 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
R1	Berlin-Reinickendorf, Gegenüberliegendes Gebäude, 4. OG, am Fenster	innen	57 m	ja	4. OG	4,1 %
R2	Berlin-Reinickendorf, Gegenüberliegendes Gebäude, 3. OG, am Fenster	innen	57 m	ja	3. OG	1,8 %
R3	Berlin-Reinickendorf, Gegenüberliegendes Gebäude, 2. OG, am Fenster	innen	58 m	ja	2. OG	1,3 %
R4	Berlin-Reinickendorf, Gegenüberliegendes Gebäude, 1. OG, am Fenster	innen	58 m	ja	1. OG	1,0 %
R5	Berlin-Reinickendorf, Gegenüberliegendes Gebäude, EG, Eingangsbereich	innen	59 m	ja	EG	0,3 %
R11	Berlin-Reinickendorf, Anlagengebäude, 4. OG, unter Dachkuppel	innen	6 m	nein	4. OG	15,3 %
R12	Berlin-Reinickendorf, Anlagengebäude, 3. OG, Treppenhaus B	innen	10 m	nein	3. OG	4,3 %
R13	Berlin-Reinickendorf, Anlagengebäude, 2. OG, Treppenhaus B	innen	14 m	nein	2. OG	1,9 %
R14	Berlin-Reinickendorf, Anlagengebäude, 1. OG, Treppenhaus B	innen	18 m	nein	1. OG	1,0 %
R15	Berlin-Reinickendorf, Anlagengebäude, EG, Treppenhaus B	innen	21 m	nein	EG	0,9 %

Die maximale Immission wurde am Messpunkt R11 erreicht. Dieser Messpunkt befindet sich im obersten Stock des Anlagengebäudes unter einer Dachkuppel.

Die niedrigsten Immissionen wurden am Messpunkt R5 gemessen. Dieser befindet sich in einem Gebäude gegenüber der Anlage im Erdgeschoss.

4.2 Anlage Berlin-Mitte (typisch)

In Tabelle 4.2 sind die an den Messpunkten M1 ... M6 und M11 ... M14 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 Anlage in Berlin-Mitte

Messpunkt	Beschreibung	Innen-/Außenmesspunkt	Entfernung zum Mobilfunksender	Sichtverbindung	Höhe	Maximalimmission Grenzwertausschöpfung der elektrischen Feldstärke gemäß 26. BImSchV
M1	Berlin-Mitte, Anlagengebäude, 5. OG, Treppenhaus	innen	5 m	nein	5. OG	2,0 %
M2	Berlin-Mitte, Anlagengebäude, 4. OG, Treppenhaus	innen	9 m	nein	4. OG	1,2 %
M3	Berlin-Mitte, Anlagengebäude, 3. OG, Treppenhaus	innen	13 m	nein	3. OG	1,0 %
M4	Berlin-Mitte, Anlagengebäude, 2. OG, Treppenhaus	innen	17 m	nein	2. OG	1,2 %
M5	Berlin-Mitte, Anlagengebäude, 1. OG, Treppenhaus	innen	21 m	nein	1. OG	0,5 %
M6	Berlin-Mitte, Anlagengebäude, EG, Treppenhaus	innen	25 m	nein	EG	0,4 %
M11	Berlin-Mitte, Gegenüberliegendes Gebäude, 3. OG, Treppenhaus am Fenster	innen	53 m	ja	3. OG	1,4 %
M12	Berlin-Mitte, Gegenüberliegendes Gebäude, 2. OG, Treppenhaus am Fenster	innen	54 m	ja	2. OG	1,3 %
M13	Berlin-Mitte, Gegenüberliegendes Gebäude, 1. OG, Treppenhaus am Fenster	innen	55 m	ja	1. OG	0,9 %
M14	Berlin-Mitte, Gegenüberliegendes Gebäude, EG, Treppenhaus am Fenster	innen	57 m	ja	EG	0,4 %

Die maximale Immission wurde am Messpunkt M1 erreicht. Dieser Messpunkt befindet sich im obersten Stock des Anlagengebäudes unter der Anlage.

Die niedrigsten Immissionen wurden an den Messpunkten M6 und M14 gemessen. Diese befinden sich jeweils im Erdgeschoss des Anlagengebäudes und des gegenüberliegenden Gebäudes.

4.3 Anlage Berlin-Steglitz-Zehlendorf (Linienmessung)

In Tabelle 4.3 sind die an den Messpunkten SZ1 ... SZ20 ermittelten und gemäß Beschreibung in Abschnitt 3.3 ausgewerteten Summenimmissionswerte für die Anlage in Berlin-Steglitz-Zehlendorf dargestellt.

Tabelle 4.3: Festgestellte Immissionswerte (Grenzwertausschöpfung der elektrischen Feldstärke gemäß 26. BImSchV) bei den Messungen an der Anlage Berlin-Steglitz-Zehlendorf

Messpunkt	Beschreibung	Innen-/Außenmesspunkt	Entfernung zum Mobilfunksender	Sichtverbindung	Höhe	Maximalimmission Grenzwertausschöpfung der elektrischen Feldstärke gemäß 26. BImSchV
SZ1	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 5 m Abstand	außen	5 m	ja	ebenerdig	3,8 %
SZ2	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 14 m Abstand	außen	14 m	ja	ebenerdig	4,9 %
SZ3	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 22 m Abstand	außen	22 m	ja	ebenerdig	6,4 %
SZ4	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 27 m Abstand	außen	27 m	ja	ebenerdig	7,6 %
SZ5	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 36 m Abstand	außen	36 m	ja	ebenerdig	5,0 %
SZ6	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 58 m Abstand	außen	58 m	ja	ebenerdig	3,0 %
SZ7	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 93 m Abstand	außen	93 m	ja	ebenerdig	3,1 %
SZ8	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 113 m Abstand	außen	113 m	ja	ebenerdig	2,9 %
SZ9	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 136 m Abstand	außen	136 m	ja	ebenerdig	2,8 %
SZ10	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 160 m Abstand	außen	160 m	ja	ebenerdig	4,4 %
SZ11	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 180 m Abstand	außen	180 m	ja	ebenerdig	4,7 %
SZ12	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 204 m Abstand	außen	204 m	ja	ebenerdig	6,0 %
SZ13	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 228 m Abstand	außen	228 m	ja	ebenerdig	4,3 %
SZ14	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 266 m Abstand	außen	266 m	ja	ebenerdig	3,7 %
SZ15	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 308 m Abstand	außen	308 m	ja	ebenerdig	4,8 %
SZ16	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 373 m Abstand	außen	373 m	ja	ebenerdig	3,4 %
SZ17	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 412 m Abstand	außen	412 m	ja	ebenerdig	4,1 %
SZ18	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 458 m Abstand	außen	458 m	ja	ebenerdig	3,5 %
SZ19	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 509 m Abstand	außen	509 m	ja	ebenerdig	2,6 %
SZ20	Berlin-Steglitz-Zehlendorf, 560 m Abstand	außen	560 m	ja	ebenerdig	2,5 %

Die maximale Immission wurde am Messpunkt SZ4 in 27 m Abstand von der Anlage erreicht. Direkt unterhalb der Anlage (bzw. in 5 m Abstand) sind die Immissionen deutlich niedriger. Bemerkenswert ist, dass die Immission nicht gleichmäßig mit steigendem Abstand abnimmt. Dieses Phänomen ist für Mobilfunkanlagen typisch und begründet sich dadurch, dass die Sendeantennen der Mobilfunkanlagen nicht in alle Richtungen gleichmäßig stark abstrahlen. Sie verfügen vielmehr über eine stark ausgeprägte Hauptstrahlrichtung und weniger starke Nebenstrahlungsrichtungen. Bewegt man sich von der Anlage weg, „durchwandert“ man zuerst die Nebenstrahlungsrichtungen, bevor man typischerweise im Abstand von 100 bis 400 m (je nach Höhe der Antenne, Frequenz und Downtilt) in den Bereich der Hauptstrahlrichtung kommt. Erst danach nehmen die Immissionen gleichmäßig mit der Entfernung ab, wobei Reflexionen und Dämpfung an Gebäuden oder Vegetation diese gleichmäßige Immissionsabnahme beeinflussen können. Diese typischen Verhältnisse sind dabei in Bild 4.1 illustriert.

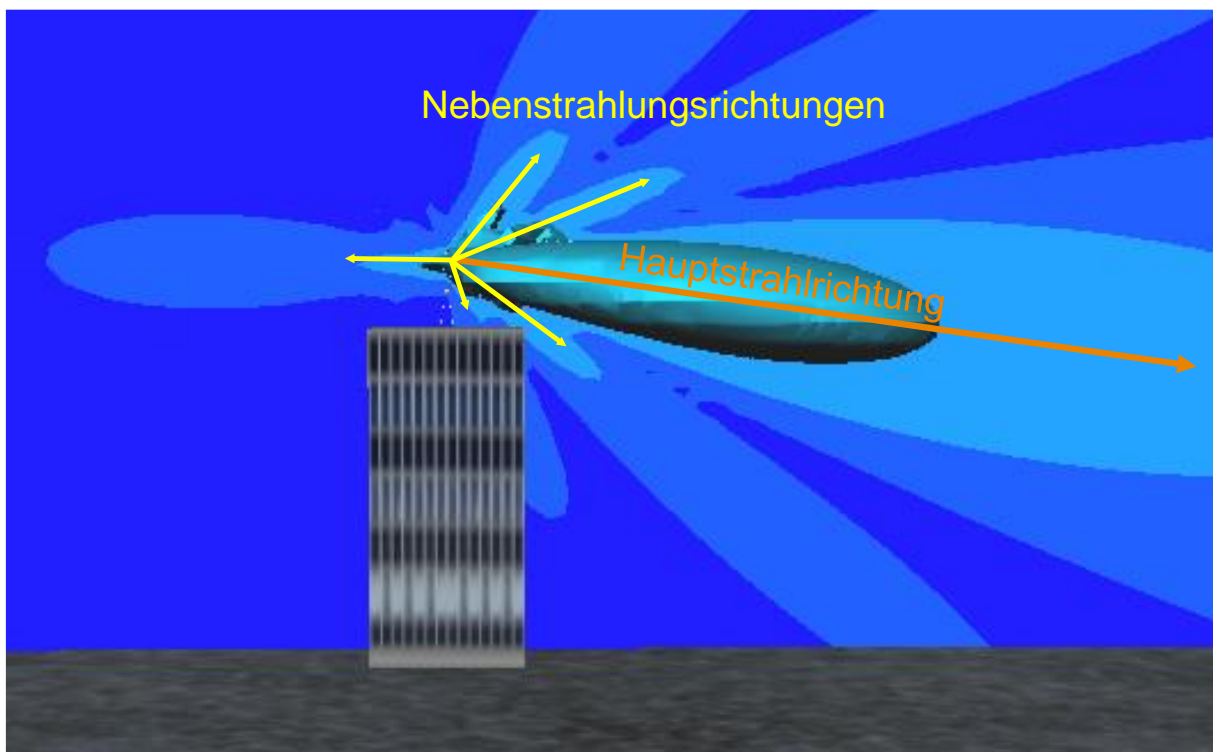


Bild 4.1: Schematische Darstellung der Abstrahlung einer einsektorigen Mobilfunk-Basisstation zur Veranschaulichung der Abstandsabhängigkeit

5 Szenische Darstellungen

In diesem Kapitel werden die gemessenen Werte mit Hilfe von „szenischen Darstellungen“ visualisiert. Damit soll einerseits die Übertragbarkeit der an den konkret gemessenen Anlagen festgestellten Immissionen für ähnliche Szenarien ermöglicht und andererseits eine weitgehende Anonymisierung der untersuchten Anlagen und Messpunkte gewährleistet werden.

5.1 Szenario „Leistungsstarke Mobilfunkanlage“

Für das Szenario „Leistungsstarke Mobilfunkanlage“ wird die Anlage in Berlin-Reinickendorf (siehe Kapitel 2.1) verwendet. Die bei der BNetzA pro Sektor beantragte Sendeleistung beträgt etwa 400 W. Bild 5.1 zeigt das Szenario und die dabei festgestellten Immissionen. Es ist zu beachten, dass die y-Achse nicht auf 100 % Grenzwertausschöpfung skaliert ist, sondern auf 30 %. Die drei Außenmesspunkte sowie der Messpunkt auf dem Balkon des gegenüberliegenden Gebäudes wurden der Vorgängeruntersuchung [Bor 19] entnommen.

Im Anlagengebäude nehmen die Immissionen in Richtung tieferer Stockwerke gleichmäßig ab. Im obersten Geschoss direkt unterhalb der Dachkuppel werden 15,3 % des elektrischen Feldstärkegrenzwertes der 26. BImSchV erreicht (15,3 %E); im Erdgeschoss hingegen nur noch 0,9 %E. An zwei Außenmesspunkten, die etwa 30 m bzw. 180 m Bodenabstand von der Mobilfunkanlage haben, werden mit 11,9 %E bzw. 6,3 %E höhere Werte 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 Nebenstrahlrichtungen) 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 17,5 %E die höchsten Immissionen in diesem Szenario gemessen, 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 gleichmäßig ab, da diese Messpunkte zunehmend außerhalb der vertikalen Hauptstrahlrichtung liegen. Auch der dämpfende Einfluss von Objekten zwischen Messpunkt und Mobilfunkanlage lässt sich hier gut belegen: Im 4. OG hinter einem geschlossenen Fenster werden mit 4,1 %E wesentlich geringere Werte erreicht als auf dem Balkon mit 17,5 %E, obwohl beide Messpunkte nur etwa 1 m auseinanderliegen. Der Unterschied in den Messwerten ist auf die Dämpfungswirkung des Fensters zurückzuführen.

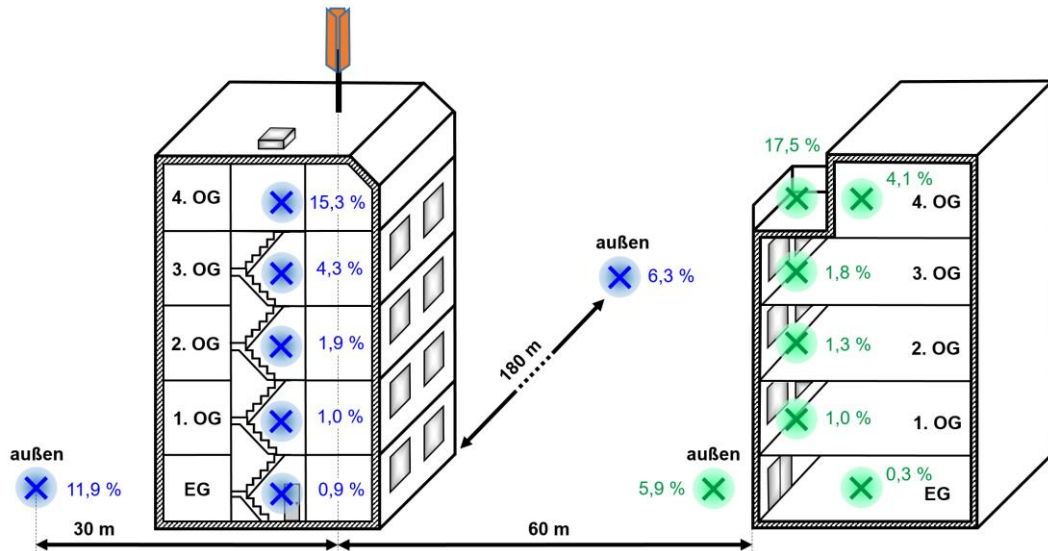


Bild 5.1a: Szenische Darstellung „Leistungsstarke Mobilfunkanlage“

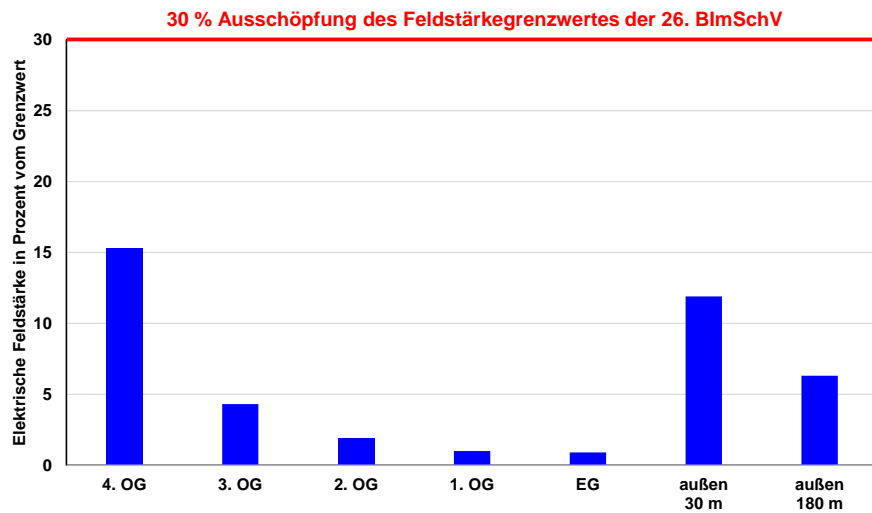


Bild 5.1b: Szenario „Leistungsstarke Mobilfunkanlage“; Immissionen im Anlagengebäude

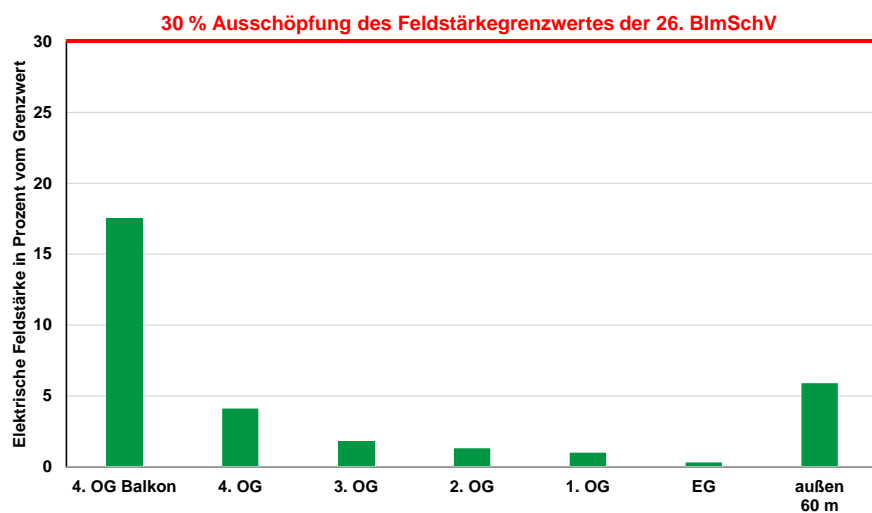


Bild 5.1c: Szenario „Leistungsstarke Mobilfunkanlage“; Immissionen im gegenüberliegenden Gebäude

5.2 Szenario „Typische Mobilfunkanlage“

Für das Szenario „Typische Mobilfunkanlage“ wird die Mobilfunkanlage in Berlin-Mitte (siehe Kapitel 2.2) herangezogen. Die bei der BNetzA pro Sektor beantragte Sendeleistung beträgt etwa 130 W und damit nur etwa ein Drittel der Leistung des Szenarios „Leistungsstarke Mobilfunkanlage“. Dieses Szenario ist ähnlich wie das Szenario „Leistungsstarke Mobilfunkanlage“ gelagert, d.h. die Immissionen werden sowohl im Anlagengebäude, als auch in einem gegenüberliegenden Gebäude bestimmt. Die gemessenen Immissionen sind geringer als im vorangegangenen Szenario und liegen bei maximal 2 %E. Deswegen sind die Ergebnisdigramme anders als im vorangegangenen Szenario auf maximal 10 %E skaliert.

Wiederum ergibt sich im Anlagengebäude eine Abnahme der Immission hin zu tieferen Stockwerken, die aber hinsichtlich einer geringfügigen Erhöhung im 2. OG im Vergleich zum 3. OG nicht so gleichmäßig ausfällt wie im ersten Szenario. Die könnte z.B. in einer Reflexion an einem Nachbargebäude begründet sein, die dazu führt, dass im 2. OG durch ein Treppenhausfenster ein Teil der reflektierten Immission in das Anlagengebäude gelangt.

Die Immission im Nachbargebäude nimmt ebenfalls zu tieferen Geschossen hin ab und erreicht ein ähnliches Niveau wie im Anlagengebäude. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass alle Messpunkte im Nachbargebäude bedingt durch die geringere Gebäudehöhe unterhalb der vertikalen Hauptstrahlrichtung der Mobilfunkanlage liegen. Außerdem waren alle Fenster im Nachbargebäude während der Messung geschlossen, was einen zusätzlichen Dämpfungseffekt begründen kann.

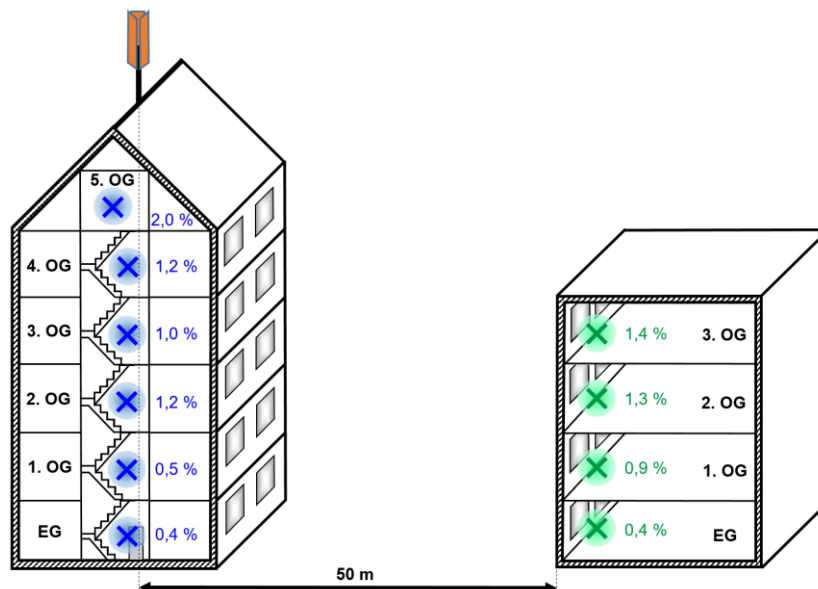


Bild 5.2a: Szenische Darstellung „Typische Mobilfunkanlage“

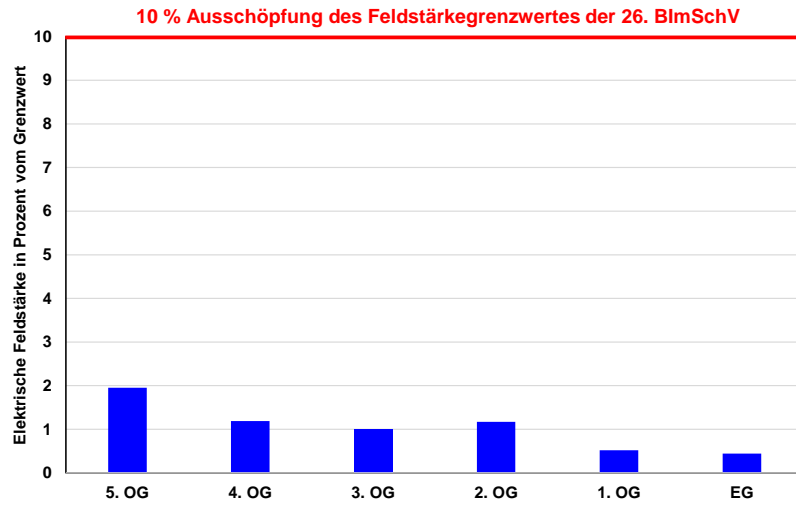


Bild 5.2b: Szenario „Typische Mobilfunkanlage“; Immissionen im Anlagengebäude

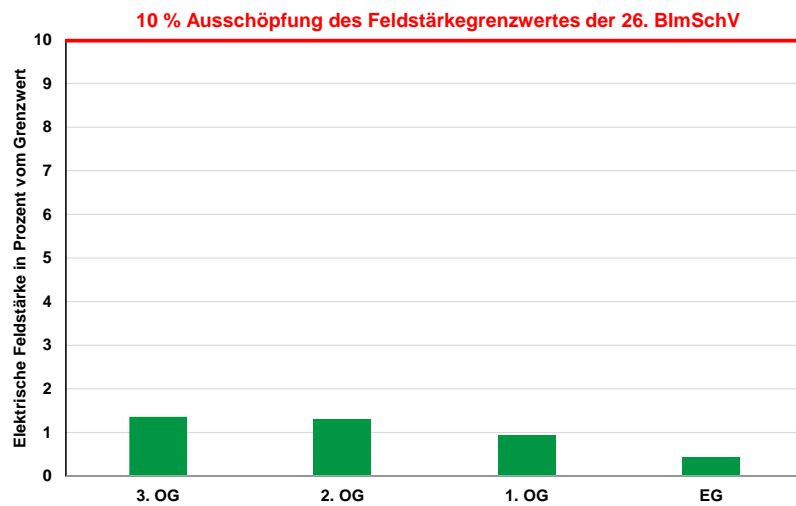


Bild 5.2c: Szenario „Typische Mobilfunkanlage“; Immissionen im gegenüberliegenden Gebäude

5.3 Szenario „Linienmessung“

Für das Szenario „Linienmessung“ wird die Mobilfunkanlage Berlin-Steglitz-Zehlendorf (siehe Kapitel 2.3) herangezogen. In diesem Szenario wurden 20 Messpunkte entlang einer an der Mobilfunkanlage beginnenden Linie im Außenbereich gemessen. Alle Messpunkte hatten Sichtverbindung zur Anlage.

Die Messwerte zeigen keine gleichmäßige Abnahme der Immission mit steigender Entfernung, sondern bis etwa 400 m eine Abfolge von lokalen Minima und Maxima. In diesem Entfernungsbereich wird die Immission durch die Nebenstrahlungsrichtungen der Mobilfunkanlage bestimmt. Ab etwa 400 m nehmen die Immissionen gleichmäßig mit der Entfernung ab; offenbar erreicht bei dieser Entfernung die Hauptstrahlrichtung den Erdboden.

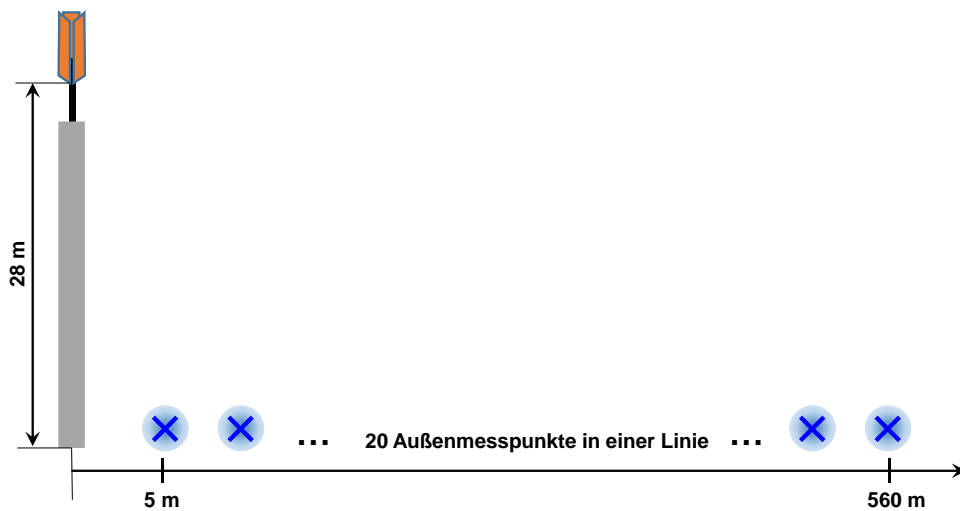


Bild 5.3a: Szenische Darstellung „Linienmessung“

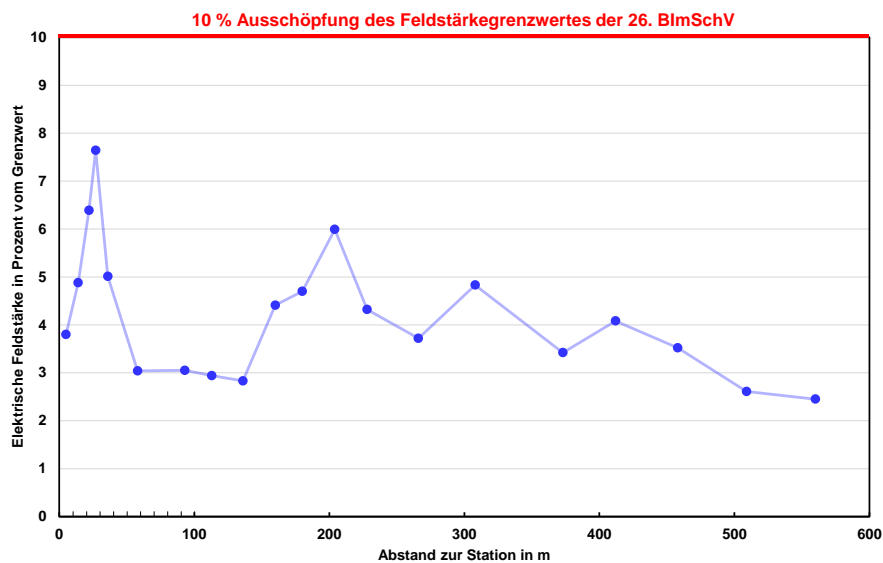


Bild 5.3b: Szenario „Linienmessung“; Abstandsverlauf der Immissionen

5.4 Szenario „Kleinzelle“

Die Untersuchungen zum Szenario „Kleinzelle“ wurden im Rahmen einer vorangegangenen Untersuchung für die Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe Berlin durchgeführt [Bor 19] und sollen hier als Szenario dargestellt werden.

Bild 5.4a zeigt die Messpunkte, die sich an der Trägerstruktur mit integrierter Kleinzelle (K1), etwa 15 m entfernt auf derselben Straßenseite (K2) und auf der gegenüberliegenden Straßenseite in etwa 30 m Entfernung (K3) befanden. Weiterhin wurden Messungen ca. 5 m neben der Trägerstruktur (K4) sowie im Oberdeck eines Linienbusses (K5), der sich direkt neben der Trägerstruktur (Abstand zur Kleinzelle ca. 80 cm) befand, durchgeführt.

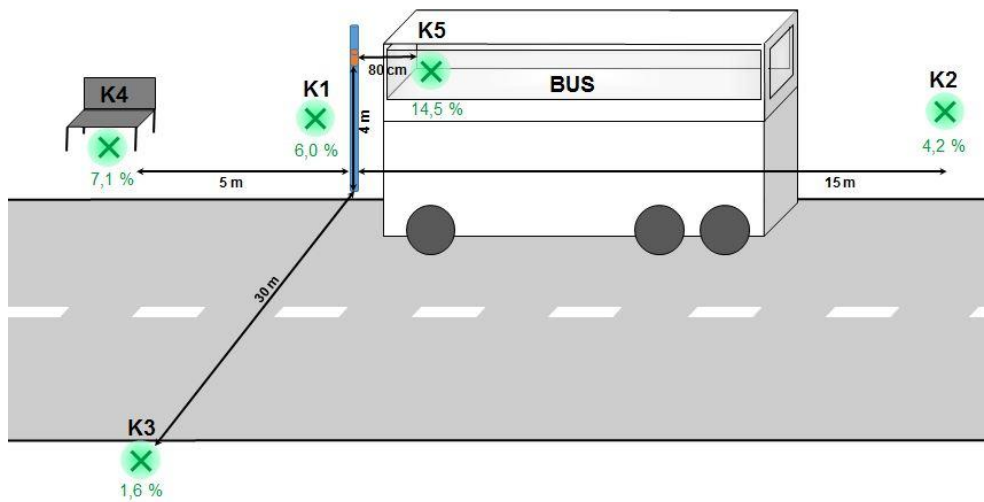


Bild 5.4a: Szenische Darstellung „Kleinzelle“

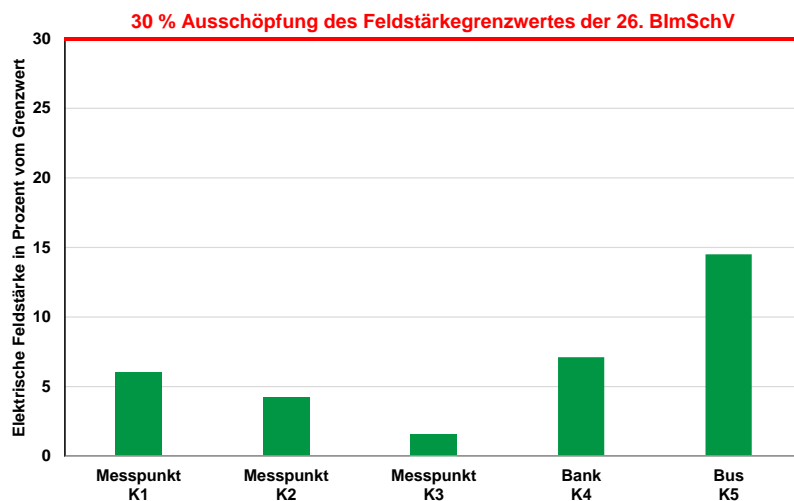


Bild 5.4b: Szenario „Kleinzelle“; gemessene Immissionen

Die Messergebnisse zeigen gleichmäßig abnehmende Immissionen bei den drei Messpunkten K1 ... K3 mit zunehmendem Abstand. Im etwa 5 m entfernten Messpunkt K4 wurden höhere Immissionen festgestellt als direkt an der Trägerstruktur mit der Kleinzelle; dies ist auf die Abstrahlcharakteristik der Kleinzelle zurückzuführen.

Die höchsten Immissionen ergaben sich im Oberdeck des Linienbusses an einem Sitzplatz, der 80 cm von der Kleinzelle entfernt war. Aber auch dort ist der Ausschöpfungsgrad der Grenzwerte der 26. BImSchV mit 14,5% immer noch niedrig.

6 Vergleich der Grenzwertausschöpfungen von Basisstationen und Mobiltelefonen

In diesem Kapitel werden die Immissionen durch Basisstationen denen von Mobiltelefonen gegenübergestellt. Da sowohl Basisstationen, als auch Mobiltelefone mit einer Leistungsregelung arbeiten, muss für den Vergleich eine gemeinsame Basis verwendet werden; hier wird jeweils die Immission *bei maximaler Sendeleistung* gewählt.

Als Maß für die Immission durch Basisstationen wird die im Rahmen des vorliegenden Projektes gemessene und in diesem Bericht dokumentierte elektrische Feldstärke bzw. deren Grenzwertausschöpfung (%E) an typischen Aufenthaltsbereichen verwendet.

Als Datenbasis für die Exposition durch Mobiltelefone wird eine seitens des Bundesamtes für Strahlenschutz geführte Liste von aktuellen Telefon-Modellen und Auslaufmodellen verwendet [BfS 20]. Darin angegeben sind so genannte SAR-Werte, die im Kopf- und Körperbetrieb unter Laborbedingungen an einem Messphantom gemessen wurden. Der SAR-Wert (Spezifische Absorptionsrate) beschreibt die pro Zeiteinheit (Rate) in 10 g zusammenhängendem Gewebe von Kopf oder Körper (spezifisch) absorbierte Energie (Absorption). Für die Nutzung des Mobiltelefons am Kopf beträgt der maximal zulässige Grenzwert nach ICNIRP 2,0 W/kg [ICNIRP 98]. Für den nachfolgenden Vergleich wurden aus der Liste [BfS 20] alle *aktuellen Geräte* und der maximale SAR-Wert *im Kopfbetrieb* ausgewählt. Damit gehen 742 SAR-Werte in den Vergleich ein.

Bei einem Vergleich der Exposition durch Basisstationen und Mobiltelefone ist zu beachten, dass die bei Mobiltelefonen verwendete Vergleichsgröße SAR eine *leistungsbasierte* Größe ist, wohingegen bei den Basisstationen gemäß 26. BImSchV die *elektrische Feldstärke* verwendet wird. Deswegen müssen die an Basisstationen ermittelten Feldstärkewerte auf leistungsbasierte Größen umgerechnet werden. Feldstärke und Leistung hängen quadratisch miteinander zusammen, so dass für die leistung(flussdichte)basierte Grenzwertausschöpfung %S gilt:

$$\%S = 100 \cdot (\%E/100)^2. \quad (6.1)$$

Tabelle 6.1: Vergleich der Minimal-, Maximal- und Medianwerte der leistungsbezogenen Grenzwertausschöpfung zwischen Mobiltelefonen und Basisstationen

	Mobiltelefone		Basisstationen	
	SAR in W/kg	SAR in % vom Grenzwert	Elektr. Feldstärke in % vom Grenzwert	Leistungsflussdichte in % vom Grenzwert
Minimum	0,01	0,5	0,3	0,001
Maximum	1,82	91	17,5	3,06
Median	0,60	30	3,25	0,11

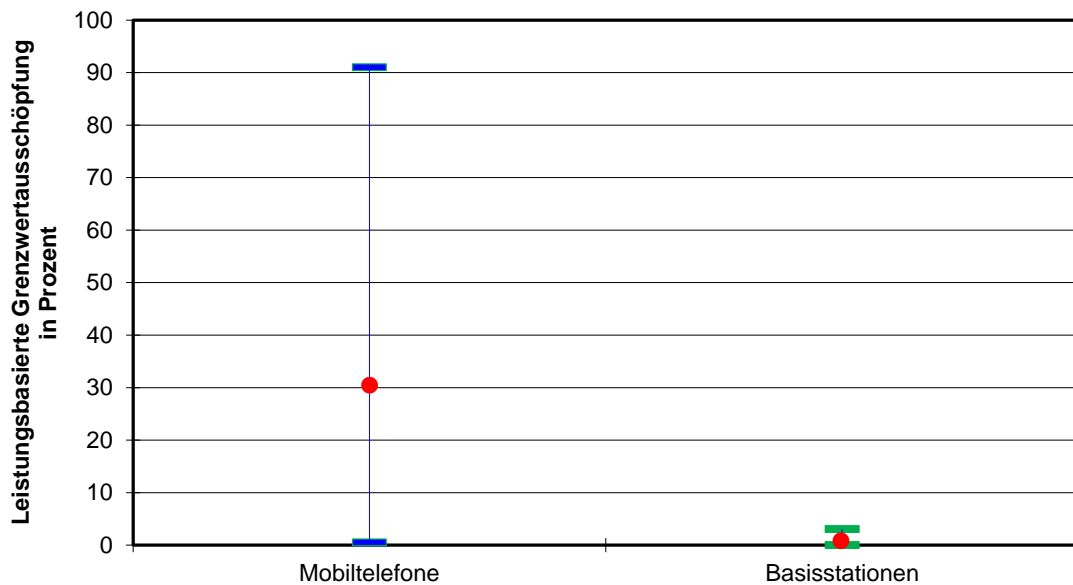


Bild 6.1: Vergleich der leistungsbezogenen Grenzwertausschöpfung zwischen Mobiltelefonen und Basisstationen anhand eines Spannweitendiagramms. Der rote Punkt kennzeichnet den Medianwert.

Tabelle 6.1 und Bild 6.1 zeigen die Ergebnisse des nach dieser Methodik durchgeführten Vergleichs anhand der Minimal-, Maximal- und Medianwerte. Mobiltelefone erreichen bis zu 91 % leistungsbezogener Grenzwertausschöpfung im Vergleich zu maximal 3,1 % durch Mobilfunkanlagen. Nimmt man den Zentralwert (Median) als Vergleichsmaßstab, dann ist die **persönliche Immission durch Mobiltelefone etwa 300fach größer als durch Basisstationen.**

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.

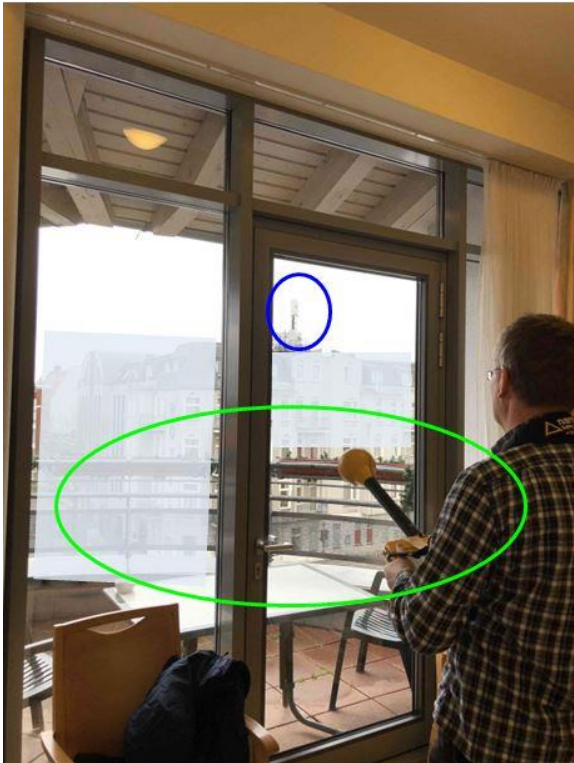


Bild A1: Messpunkt R1 mit Mobilfunkanlage



Bild A2: Messpunkt R2 mit Mobilfunkanlage



Bild A3: Messpunkt R3 mit Mobilfunkanlage



Bild A4: Messpunkt R4 mit Mobilfunkanlage



Bild A5: Messpunkt M11 mit Mobilfunkanlage



Bild A6: Messpunkt M12



Bild A7: Messpunkt SZ3 mit Mobilfunkanlage



Bild A8: Messpunkt SZ18 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_{eff} in V/m	Magnetische Feldstärke H_{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 überführbar und beinhalten dieselbe Information. Deswegen ist es hier ausreichend, lediglich die Größe 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 Grenzwertüberprüfung herangezogen.

Sofern neben Immissionen durch ortsfeste Sendeanlagen auch Immissionen durch Endgeräte vorliegen, wurden dafür die Grenzwerte nach EU-Ratsempfehlung 1999/519/EG [99/519/EG] angewendet. Diese sind im HF-Bereich identisch zu den Grenzwerten nach 26. BImSchV.

Wirken gleichzeitig Felder unterschiedlicher Frequenzen zusammen, dann sind die grenzwertbezogenen Ausschöpfungsgrade (GW_ASG) geeignet zu summieren. In Anlehnung an [99/519/EG] werden diese für die Frequenzbereiche ab 100 kHz wie folgt gebildet:

$$GW_ASG_{\text{thermisch}} = \sqrt{\sum_{i=100\text{ kHz}}^{1\text{ MHz}} \left(\frac{E_i}{c}\right)^2 + \sum_{i>1\text{ MHz}}^{300\text{ GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}}\right)^2} \quad (\text{A.1})$$

- E_i gemessene elektrische Feldstärke bei der Frequenz i ;
 $E_{L,i}$ Referenzwert für die elektrische Feldstärke nach Tabelle A.1;
 c beträgt $87/\sqrt{f}$ V/m.

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].

Nach Aussage des Bundesamtes für Strahlenschutz und der Deutschen Strahlenschutzkommission konnten die Ergebnisse des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms

(DMF) sowie weiterer aktueller nationaler und internationaler Studien gesundheitsrelevante Wirkungen unterhalb der Grenzwerte nicht bestätigen. Nicht-thermische biologische Wirkungen bei niedrigen Intensitäten hochfrequenter Felder wurden nicht nachgewiesen. Die Frage der Langzeitwirkungen über einen Zeithorizont von mehr als fünfzehn Jahren hinaus bleibt weiterhin offen. Sie ist Gegenstand weiterer Untersuchungen [BfS 19].

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.
- [99/519/EG] **1999/519/EG**, *Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz – 300 GHz)*, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 199/59, 30.07.1999.
- [BfS 19] **Bundesamt für Strahlenschutz**, *Wirkungen hochfrequenter Felder*, http://www.bfs.de/DE/themen/emf/hff/wirkung/wirkung_node.html; zuletzt besucht am 13.03.2020.
- [BfS 20] **Bundesamt für Strahlenschutz**, *SAR-Suche*, https://www.bfs.de/SiteGlobals/Forms/Suche/BfS/DE/SARsuche_Formular.html; zuletzt besucht am 13.03.2020.
- [Bor 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).
- [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.