

Berliner Handreichung – Mobilfunk unter Berücksichtigung des Immissionsschutzes

Version : 1.0
Datum : 06.05.2020
Status : freigegeben / extern

Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe,
Referat III B - Digitalisierung, Kreativwirtschaft, Cluster, Smart City

Martin-Luther-Straße 105,
10825 Berlin

Kontakt: mobilfunk@senweb.berlin.de

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zusammenfassung	3
1.1	Worum geht es?	3
1.2	An wen wendet sich das Dokument?	3
1.3	Was sind die Kernaussagen?	3
2	Hochfrequente Elektromagnetische Felder (EMF) im Mobilfunk	4
3	Was bedeutet die 2B-Einstufung von „Handystrahlung“ durch die IARC?	5
4	Grenzwerte – Wie werden sie festgelegt?	6
4.1	Allgemein.....	6
4.2	Grenzwerte für Mobilfunkstandorte (ortsfeste Sender).....	6
4.3	Grenzwerte für Mobiltelefone (ortsveränderliche Sender)	7
5	Grenzwerte – Wer legt sie fest und wer überwacht sie?	8
6	Stand der Forschung zu nicht-thermischen Wirkungen.....	11
7	Diskussion ausgewählter Studien zu nicht-thermischen Wirkungen	12
8	Besteht weiterer Forschungsbedarf?	14
9	EMF-Exposition durch Mobilfunkstandorte vs. Mobiltelefone.....	14
10	Berliner EMF-Messberichte zu Makrozellstandorten	18
11	Berliner Messbericht zum Feldstärkeverlauf Makrozellstandort.....	21
12	Berliner EMF-Messbericht zu Kleinzellenstandorten	22
13	Sind niedrigere Grenzwerte (für Mobilfunkstandorte) notwendig?	23
14	Sind abweichende Regelungen für spezielle Orte sinnvoll?	24
15	Stellt 5G ein Risiko dar?	25
	Abkürzungen	27
	Referenzen	27

1 Einleitung und Zusammenfassung

1.1 Worum geht es?

Die Diskussion zu möglichen Risiken des Mobilfunks wird seit Jahrzehnten geführt. Neben den bekannten thermischen Wirkungen werden auch mögliche nicht-thermische Wirkungen vermutet bzw. es werden Forschungsanstrengungen unternommen, um diese zu belegen. Nachdem die Diskussion um Mobilfunkrisiken bei der Einführung von LTE-Mobilfunk kein Thema war, hat die Einführung des 5G-Mobilfunk die Kritiker wieder aktiver werden lassen.

Dieses Dokument informiert zu Gesetzen und Verordnungen des Immissionsschutzes, zum Stand der Forschung und deren Bewertung. Anhand der Ergebnisse der Berliner EMF-Messungen wird die Grenzwertausschöpfung an relevanten Orten aufgezeigt und Betrachtungen zu Regeln für sensible Orte und Höhe von Grenzwerten angestellt. Weiterhin wird die Frage adressiert, ob der 5G-Mobilfunk ein Risiko darstellt.

1.2 An wen wendet sich das Dokument?

Das Dokument richtet sich vordergründig an Mitarbeiter der Berliner Verwaltung, welche z.B. an Entscheidungen beteiligt sind, welche den Mobilfunk betreffen (z.B. kommunale Beteiligung nach §7a der Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, 26. BImSchV) oder die sich mit Fragen von Bürgern und Medien befassen.

Das Dokument kann aber auch interessierten Berlinerinnen und Berlinern helfen die Diskussionen in den Medien einzuordnen und zu bewerten.

1.3 Was sind die Kernaussagen?

Die **Grenzwerte** für hochfrequente Elektromagnetische Felder, wie sie im Mobilfunk genutzt werden, werden nach **wissenschaftlichen Erkenntnissen festgelegt** (siehe Kapitel 4 und 5). Bei Einhaltung der Grenzwerte sind **keine gesundheitlichen Auswirkungen** zu erwarten.

In den letzten Jahrzehnten wurden in zahlreichen Studien mögliche Wirkungen, einschließlich möglicher nicht-thermischer Wirkungen, untersucht. **Für Mobilfunkstandorte** (Basisstationen) gibt es **keine Evidenz** für **nicht-thermische Wirkungen**, wenn die vorgegebenen Grenzwerte eingehalten werden (Kapitel 6). **Begrenzte Evidenz** für eine nicht-thermische Wirkung liegt für die **intensive Nutzung von Mobiltelefonen** vor (Kapitel 6 und Kapitel 9).

Von der Sechszwanzigsten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (26. BImSchV) **abweichende Regelungen** für spezielle Orte (mit sensibler Nutzung) sind **nicht notwendig** und **können sogar kontraproduktiv** sein (siehe Kapitel 14).

5G-Mobilfunkstandorte sind nach den gegenwärtigen Rahmenbedingungen **wie LTE-Mobilfunkstandorte** zu beurteilen. Dies bedeutet, dass bei Einhaltung der Grenzwerte **keine gesundheitlichen Auswirkungen** zu erwarten sind (siehe Kapitel 15).

Die Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe strebt die Fortsetzung der Berliner EMF-Messungen auch für 5G-Mobilfunkstandorte sowie die Aktualisierung dieses Dokuments an.

2 Hochfrequente Elektromagnetische Felder (EMF) im Mobilfunk

Im Mobilfunk werden hochfrequente **elektromagnetische Felder (EMF)** zur Übertragung von Sprache und Daten verwendet. Bei hohen Frequenzen sind das elektrische Feld und das magnetische Feld einer Quelle eng miteinander gekoppelt, so dass man vom elektromagnetischen Feld (EMF) spricht [1]. Die **Frequenz** ist eine physikalische Einheit, welche angibt, wie viele Schwingungen pro Sekunde aufeinander folgen (siehe Abbildung 2-1) und wird in **Hertz (Hz)** angegeben. Der Weg, der während eines vollständigen Schwingungsdurchlaufs zurückgelegt wird, ist die physikalische Einheit Wellenlänge. Wellenlänge und Frequenz stehen über die Konstante „Lichtgeschwindigkeit“ in einem festen Verhältnis.

Die Begriffe „Feld“ und „Strahlung“ können im Mobilfunk synonym verwendet werden. Dabei bezieht sich der Begriff „Strahlung“ auf den Energietransport und der Begriff „Feld“ beschreibt die räumliche Verteilung der Kraftwirkung auf elektrische Ladungen und Ströme [1].

Die Frequenz von **hochfrequenten EMF** endet bei 300 GHz, wobei für den Mobilfunk bisher Lizenzen bis 3,8 GHz vergeben wurden. Hochfrequente EMF, und das ist wichtig für die Bewertung, gehören zum Bereich der **nicht-ionisierenden** Strahlung.

Die Bezeichnung „**nicht-ionisierend**“ beschreibt den Umstand, dass die Strahlung **nicht genügend Energie** hat, um Elektronen aus Atomen oder Molekülen zu lösen. Damit hat hochfrequente EMF, also auch Mobilfunk(-strahlung), nicht genügend Energie, um das Erbgut zu schädigen oder unmittelbar an der Entstehung von Krebs beteiligt zu sein [1].

Der Frequenzbereich des Lichts beginnt bei einer Frequenz von 380 THz (d.h. 380.000 GHz) und ist das rote Licht. Die Frequenz des roten Lichts ist somit mehr als 1200fach höher als die obere Frequenz der hochfrequenten EMF, welche bei 300 GHz liegt.

Für den Mobilfunk in Deutschland können gegenwärtig Frequenzbänder im Frequenzbereich von 450 MHz bis 3,8 GHz genutzt werden. Dieser Bereich wird auch als **Sub-6GHz-Bereich (< 6 GHz)** bezeichnet. Der Frequenzbereich 24,25 GHz – 27,5 GHz kann demnächst für lokale Anwendungen sowie zur Überbrückung der s.g. letzten Meile genutzt werden. Dieser Frequenzbereich wird vereinfacht auch als **26 GHz-Bereich** bezeichnet und gehört zum **Millimeterwellen-Bereich**, z.B. ist die Wellenlänge 11,53 mm für die Frequenz von 26 GHz.

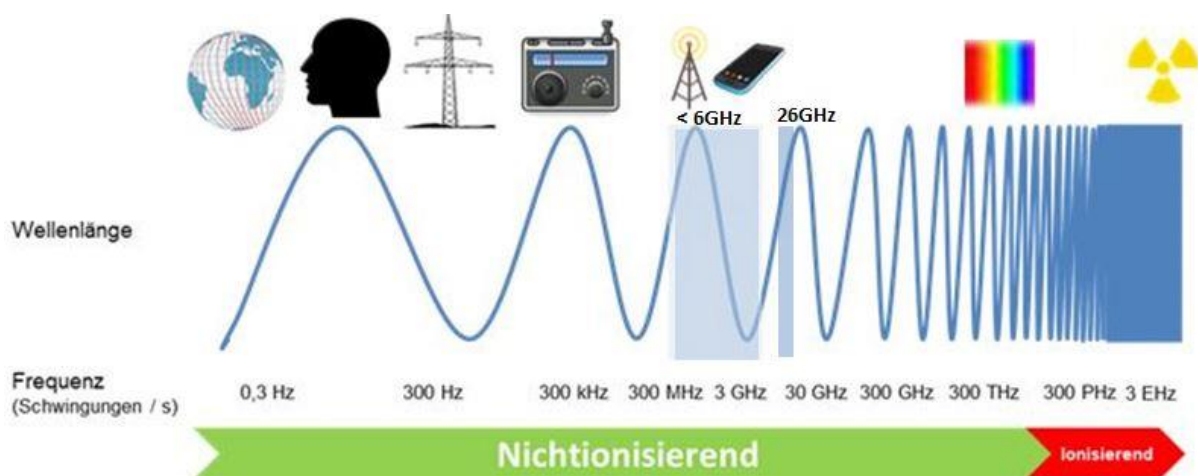


Abbildung 2-1: Einordnung Mobilfunkfrequenz in Frequenzspektrum (Quelle: BfS)

Der Bereich **ionisierender** Strahlung beginnt bei 750 THz, welches violetterem Licht bzw. Ultra-Violett (UV) entspricht [2]. Darüber ist im Frequenzbereich die Röntgenstrahlung (30 PHz bis 30 EHz) und die Gammastrahlung (> 30 EHz) eingeordnet.

Hochfrequente EMF, also auch Mobilfunk(-strahlung), **können** durch **Erwärmung des Gewebes gesundheitliche Schäden verursachen**. Das Verursachen von Schäden wird durch die **Festlegung** von **Grenzwerten** (siehe Kapitel 4) und der Sicherstellung ihrer Einhaltung (siehe Kapitel 5) wirksam verhindert.

In den letzten Jahrzehnten sind **zahlreiche Studien** durchgeführt worden, **um Nachweise oder Hinweise für mögliche Risiken** durch Mobilfunk(-strahlung) zu finden, welche z.B. auf unbekannte Wirkmechanismen hindeuten (siehe Kapitel 6). Generell ist es aber **unmöglich** eine **Nicht-Wirkung**, also eine Wirkung, die nicht existiert, **nachzuweisen**.

Wissenschaftliche Kommissionen haben diese Studien wiederholt zusammengefasst und bewertet (siehe Kapitel 6). Bei Einhaltung der Grenzwerte wird der **Mobilfunk als sicher eingestuft** [22]. Wegen noch offener Fragen zu Langzeitwirkungen (> 15 Jahre) werden Vorsorgemaßnahmen, speziell für die Nutzung von Mobiltelefonen, empfohlen [13].

3 Was bedeutet die 2B-Einstufung von „Handystrahlung“ durch die IARC?

Die Internationale Agentur für Krebsforschung (**IARC**) klassifiziert Risiken bzgl. ihrer karzinogenen (krebsauslösenden) Wirkung nach folgendem Schema [17]:

- Gruppe 1: karzinogen für Menschen
- Gruppe 2A: wahrscheinlich karzinogen
- Gruppe 2B:** möglicherweise karzinogen
- Gruppe 3: nicht eingestuft
- Gruppe 4: wahrscheinlich nicht karzinogen (bisher nur Caprolactam)

Die IARC hat hochfrequente elektromagnetische Felder **im Mai 2011 in die Gruppe 2B** („möglicherweise karzinogen“) eingestuft. Die Einstufung in die Gruppe 2B beruht auf Studien mit **Expositionsbedingungen**, wie sie beim „Gebrauch von **Mobil- oder Schnurlostelefonen entstehen**“ [18]. In der **Gruppe 2B** („möglicherweise karzinogen“) sind gegenwärtig über 300 Substanzen und Umwelteinflüsse aufgeführt, u.a. **sauer eingelegtes Gemüse** (Mixed Pickles), Kokosnussöl und Aloe Vera. [4].

Die Hinweise auf krebserregende Wirkung konnten in vom **Bundesamt für Strahlenschutz** (BfS) initiierten Studien **nicht bestätigt** werden. Das Bundesamt stellt fest, dass **bei Einhaltung** der Grenzwerte, **keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen** durch hochfrequente elektromagnetische Felder zu erwarten sind. Das BfS hat, speziell auch für die Nutzung von Mobiltelefonen, Vorsorgeempfehlungen herausgegeben [13]. Es wird u.a. die Verwendung strahlungsarmer Mobiltelefone (niedriger SAR-Wert) empfohlen.

In **Kapitel 6** wird der Stand der Forschung zu **nicht-thermischen Wirkungen** und deren Bewertung durch Expertengruppen beschrieben.

4 Grenzwerte – Wie werden sie festgelegt?

4.1 Allgemein

Hochfrequente elektromagnetische Felder werden vom Körper teilweise aufgenommen, d.h. absorbiert. Der **Anteil der absorbierten Energie** hängt von der Stärke und der Frequenz des Feldes ab. Die **nachgewiesene Wirkung** der hochfrequenten elektromagnetischen Felder **ist die Wärmewirkung**. Diese wird durch die Anregung von Molekülen und der damit verbundenen Reibung verursacht.

Elektromagnetische Felder (Mobilfunkstrahlung) haben, wie in Kapitel 2 dargelegt, nicht genügend Energie, um das Erbgut zu schädigen oder unmittelbar an der Entstehung von Krebs beteiligt zu sein. Eine **Betrachtung zu vermuteten nicht-thermischen Wirkungen**, wie oxidativer Zellstress, findet sich in Kapitel 6.

Maßgeblich für die biologische Wirkung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern sind die absorbierte Energie und deren thermische Wirkung. Die **absorbierte Energie** pro Zeiteinheit wird in Watt pro Kilogramm (W/Kg) angegeben und als Spezifische Absorptionsrate (**SAR**) bezeichnet.

4.2 Grenzwerte für Mobilfunkstandorte (ortsfeste Sender)

Eine **Erhöhung der Körperkerntemperatur um mehr als 1°C** über einen längeren Zeitraum, hat gesundheitliche Wirkungen. Bei hochfrequenten elektromagnetischen Feldern, welche auf den gesamten Körper eines Menschen einwirken, wird dies bei einem Ganzkörper-SAR-Wert von 4 W/Kg erreicht. Mit einem **Sicherheitsfaktor von 50** wird der **Grenzwert auf 0,08 W/kg festgelegt** [5]. Dieser ist für **Sendeanlagen** relevant, da deren Energie wegen der Entfernung zwischen Sendeanlage und Körper auf den **gesamten Körper** und nicht nur punktuell einwirkt.

Für die **lokale Exposition** z.B. durch ein Mobiltelefon am Kopf werden zusätzliche so genannte **Teilkörper-SAR-Grenzwerte** festgelegt, die eine lokale Erwärmung der exponierten Körperstelle begrenzen (siehe Kapitel 4.3).

Über Computermodellierung und experimentelle Daten wurde die **Stärke** des hochfrequenten **elektrischen Feldes** bestimmt, die zum Erreichen dieses **SAR-Grenzwerts erforderlich ist**. Im Fernfeld-Bereich¹ der Sendeanlage stehen das elektrische Feld und das magnetische Feld in einer festen Beziehung, so dass die Angabe eines **Grenzwerts**, entweder **für das elektrische Feld (Einheit: V/m)** oder für das magnetische Feld (Einheit: A/m), ausreichend ist. Üblicherweise werden bei Messungen die ermittelten Werte für das elektrische Feld (Einheit: V/m) angegeben.

Die **Grenzwerte für ortsfeste Sender** sind in der Sechszwanzigsten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (**26. BImSchV**) [9], speziell im Anhang 1 [10], **festgelegt**.

¹ Der **Begriff Fernfeld** ist ein technischer Begriff und beginnt entsprechend der Definition der Bundesnetzagentur [7], [8] beim **Vierfachen der Wellenlänge** (4λ). So beginnt das Fernfeld für eine Frequenz von 700MHz ($\lambda=42,83$ cm) ab 1,71m und für 3GHz ($\lambda=9,99$ cm) ab ca. 40cm.

Die Grenzwerte der elektrischen Feldstärke sind frequenzabhängig, da die spezifische Absorptionsrate (SAR) von der Frequenz abhängt².

4.3 Grenzwerte für Mobiltelefone (ortsveränderliche Sender)

Die **Grenzwerte für Mobiltelefone** werden **nicht in der 26. BImSchV** [9] festgelegt. Für diese gelten die Grenzwerte des **Funkanlagengesetzes (FuAG)**.

Für die **lokale Exposition** z.B. durch ein Mobiltelefon am Kopf wurden so genannte **Teilkörper-SAR-Grenzwerte** festgelegt, die eine lokale Erwärmung der exponierten Körperstelle begrenzen. Diese betragen für die Exposition von Kopf und Rumpf 2 W/kg und für Gliedmaßen 4 W/kg und folgen damit den **international empfohlenen SAR-Grenzwerten** [5], welche auch in der EU-Ratsempfehlung 1999/519/EC [12] übernommen wurden.

Die Hersteller von Mobiltelefonen bzw. mobilen Endgeräten müssen die SAR-Werte ihrer Produkte entsprechend europäischer Messnormen ermitteln und angeben [11].

Das Bundesamt für Strahlenschutz hat Empfehlungen für die Nutzung von Mobiltelefonen herausgegeben [13]. U.a. wird empfohlen möglichst **nicht bei schlechtem Empfang zu telefonieren**, da dann die **Sendeleistung des Mobiltelefons höher** ist. Der Empfang kann ggf. durch die Nutzung einer externen Antenne verbessert werden.

² Die Energieaufnahme ist besonders hoch, wenn die Körperhöhe die halbe Wellenlänge des hochfrequenten elektromagnetischen Feldes ($\lambda/2$) ist (Resonanzfrequenz). Dies ist bei Erwachsenen bei ca. 70 MHz und bei Kindern bei 100 MHz [3].

5 Grenzwerte – Wer legt sie fest und wer überwacht sie?

Die International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) ist eine Nicht-Regierungsorganisation, welche durch die World Health Organization (WHO) anerkannt ist. Sie organisiert und unterstützt die Arbeit von Expertengruppen und veröffentlicht die Ergebnisse als Richtlinien [5]. Die ICNIRP entstand auf Grund einer Initiative der International Radiation Protection Association (IRPA).

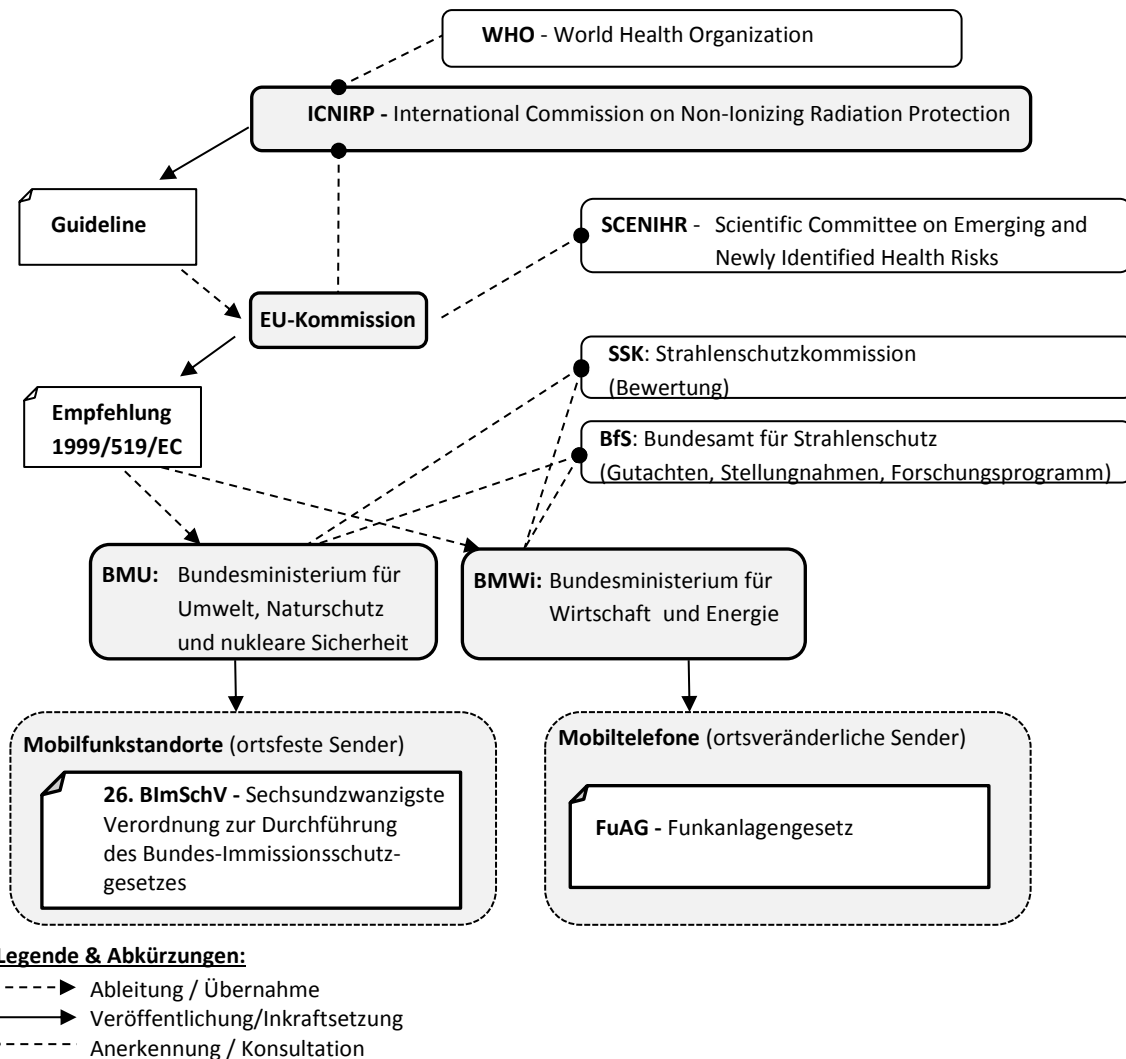


Abbildung 5-1: Festlegung von Grenzwerten – Dokumente & Akteure

Die Europäische Kommission (EU-Kommission) konsultiert die ICNIRP, um die EU-Empfehlung zur erarbeiten. Diese wird zusammen mit der Bewertung der deutschen Strahlenschutzkommission (SSK) für die Erarbeitung der Bundesimmissionsschutzverordnung (BImSchV) berücksichtigt.

Das Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (**BMJV**) gibt die „Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder“ (**BEMFV**) heraus [15]. Im Rahmen dieses **Nachweisverfahrens** wird die Einhaltung der in der **26.BImSchV** [9], [10] festgelegten **Grenzwerte** vor Inbetriebnahme des Standorts geprüft. Bei positiver Prüfung wird die **Standortbescheinigung** erteilt, welche die Nutzung des Mobilfunkstandorts erlaubt.

Die **freiwillige Selbstverpflichtung der Mobilfunknetzbetreiber** [16] gegenüber der Bundesregierung, vertreten durch das BMU, stellt klar, dass die Verfahren und Grenzwerte entsprechend BEMFV und 26. BImSchV auch für stationäre Mobilfunkanlagen mit Leistung im Bereich zwischen **2 Watt und 10 Watt** (EIRP) Anwendung finden.

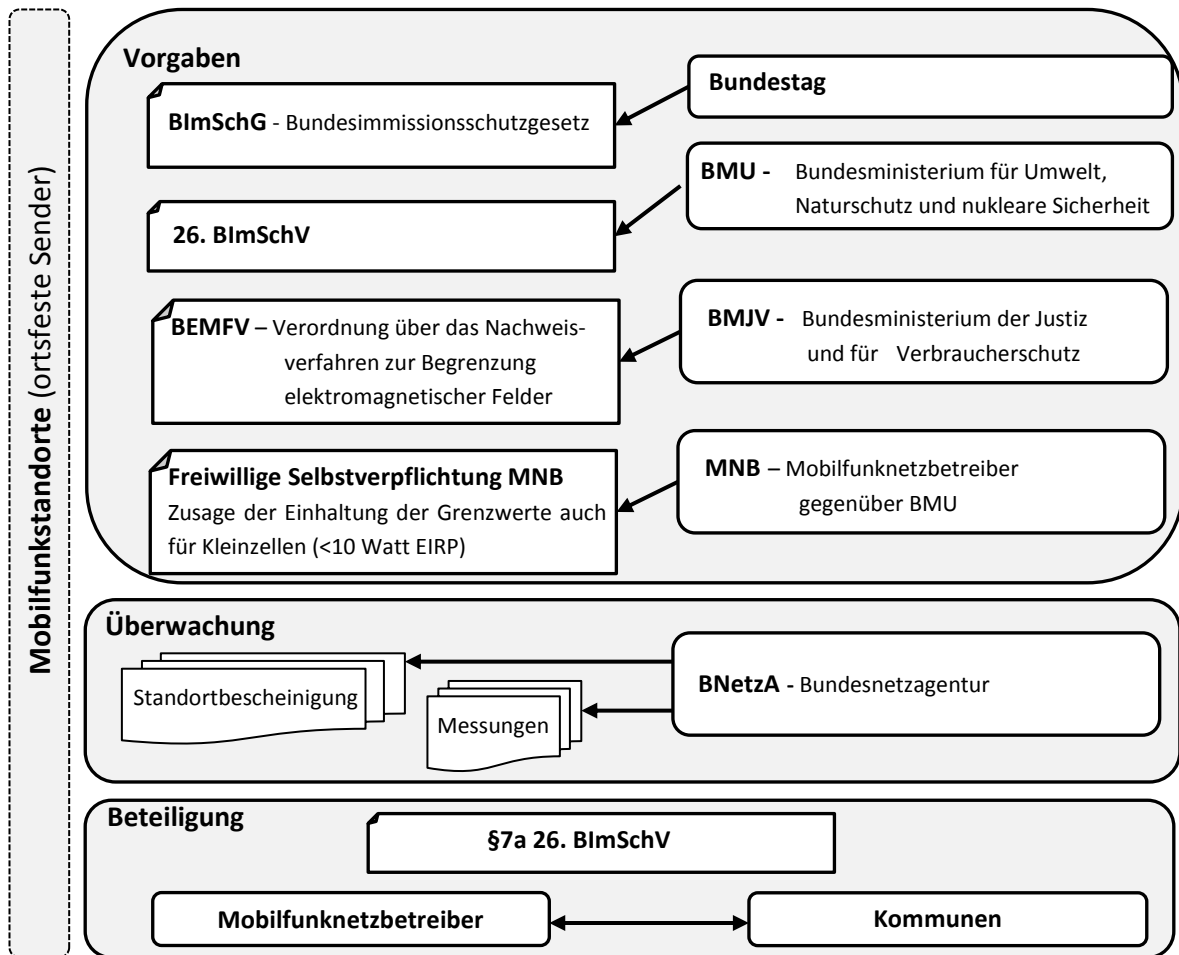


Abbildung 5-2: Überwachung der Einhaltung der Grenzwerte für Mobilfunkstandorte

Die zur Nutzung eines Mobilfunkstandorts notwendige **Standortbescheinigung** stellt die **Bundesnetzagentur (BNetzA)** aus. Dabei überprüft sie in Einzelfällen die Korrektheit der eingereichten Berechnungen durch eigene Messungen. Die Mobilfunkstandorte sind in der EMF-Datenbank der BNetzA öffentlich einsehbar [15].

Die BNetzA führt kontinuierlich eigene Messungen zur Überprüfung der Einhaltung der Grenzwerte durch und veröffentlicht diese in der EMF-Datenbank [15] als Ausschöpfungsgrad des Grenzwerts (in Prozent). Die in der EMF-Datenbank veröffentlichten Ausschöpfungsgrade beziehen sich allerdings nicht auf die Feldstärkegrenzwerte der 26. BImSchV sondern beschreiben eine leistungsbasierte Grenzwertausschöpfung.³ Dies ist technisch korrekt aber für den normalen Nutzer nicht selbsterklärend, da es wesentlich geringere Ausschöpfungsgrade suggeriert.

³ Für den Zusammenhang von feldstärkebasierten und leistungsbasierten Grenzwertausschöpfungsgrad siehe Kapitel 9

Auf Antrag führt die BNetzA auch zusätzliche Messungen durch.

Zusätzliche (nicht öffentliche) Daten für diese Standorte können die **Kommunen** über einen separaten Zugang zur EMF-Datenbank erhalten. Entsprechend dem **§7a der 26. BImSchV** [9] werden die Kommunen bei der Auswahl der Standorte **beteiligt**.

Die Hersteller von **Mobiltelefonen** ermitteln die **SAR-Werte** ihrer Produkte entsprechend der Europäischen Messnormen EN 62209-1 / EN 62209-2 eigenständig und müssen die Einhaltung der Grenzwerte gemäß dem Funkanlagengesetz (FuAG) sicherstellen [11]. Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) veröffentlicht **Empfehlungen zum Telefonieren mit dem Mobiltelefon** und Listen mit den SAR-Werten aktueller Modelle und Auslaufmodelle [13].

6 Stand der Forschung zu nicht-thermischen Wirkungen

Die Anzahl der (weltweiten) Studien zu elektromagnetischen Feldern ist über die letzten Jahrzehnte stark angewachsen und wächst weiter. Das **EMF-Portal der RWTH Aachen** (Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen) listet gegenwärtig 30.107 Studien und 6.467 Zusammenfassungen zu der Wirkung elektromagnetischer Felder [19]. Der Bereich **Mobilfunk ist mit 1.722 Studien** vertreten (Stand 16.12.2019). Die Studien in diesem Bereich werden u.a. von verschiedenen (internationalen) Fachgremien regelmäßig bewertet, wie dem „Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks“ (**SCENIHR**) [20] (siehe Abbildung 5-1).

Eine aktuelle Übersicht (siehe Tabelle 6-1) über die Bewertungen der verschiedenen Studien zu nicht-thermischen Wirkungen gibt der am 18.11.2019 veröffentlichte **Bericht der Arbeitsgruppe Mobilfunk und Strahlung** [21], welcher im Auftrag des Schweizer Bundesministeriums für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (**UVEK**) erstellt wurde.

Endpunkt	Hug et al., 2014	SCENIHR	SSM	ARPANSA	Anses-Kids	ICNIRP	TAB
Tumoren im Kopfbereich (Handy) ← Mobiltelefon	B	B	U	B	O	U	U
Krebs (Anlagen)	U	N	..	U	..	U	U
Verhalten bei Kindern und Jugendlichen	U	U	O	O	O	O	U
Befinden und Symptome (chronisch)	U	N	N	O	U	O	N
Befinden und Symptome (akut)	N	N	N	O	U	U	N
Fertilität	B	N	O	O	O	U	U
Hirnströme ← Mobiltelefon	A	A	B	B	..	A	A
Durchblutung und Stoffwechsel Gehirn	B	..	..	..	..	U	..
Ko-Karzinogenese im Tierversuch	B	O	..	..	..	U	U
Blut-Hirn-Schranke	U	U	O	..	..	?	N
DNS-Schädigung (direkt)	U	U	U	..	O	U	U
DNS-Schädigung (Ko-Exposition)	B	U	U	..	O	U	U
Zellproliferation	U	U	U	..	O	U	U
Apoptose	B	U	U	..	O	U	U
Oxidativer Stress	B	U	U	..	O	U	U
Gen- und Proteinexpression	B	U	U	..	O	U	U
Entwicklung, Schwangerschaft	..	U	U	..	O	O	U
Kognition	..	U	U	..	B	B	U

A	Ausreichend	← Mobiltelefon: Ergänzung durch Autor (siehe [19])
B	Begrenzt	
U	Unzureichend / schwach	
O	Offen	
N	Abwesenheit	
..	Keine Aussage	

Tabelle 6-1: Überblick zur Evidenzlage lt. Expertenberichten ab 2014 [21]

Die erste Zeile der Tabelle 6-1, welche mit „Tumoren im Kopfbereich“ beschriftet ist, bezieht sich auf die **Bewertung von Studien** zu möglichen Wirkungen von **Mobiltelefonen**, nicht von Mobilfunkanlagen. Die Bewertungen wurden **durch verschiedene Forschungsgremien** (Spalten 2-8) abgegeben. Wie bereits in Kapitel 4 dargelegt, liegen für kanzerogene Wirkungen durch Mobiltelefone schwache bis begrenzte Hinweise vor.

Die gesundheitliche Wirkung von **Mobilfunkanlagen** (zweite Zeile in Tabelle 6-1 oben) wird übereinstimmend als **nicht oder unzureichend evident** eingestuft.

Ausreichend bis begrenzt nachgewiesen sind **Wirkungen auf Hirnströme** bzw. Gehirnaktivität (EEG) bei einer Exposition **durch ein Mobiltelefon**. Die Werte bleiben aber im normalen physiologischen Bereich und es sind **keine negativen gesundheitlichen Auswirkungen** (kognitive Leistungsfähigkeit, Schlafqualität) **nachweisbar** [22].

Auf die im vorhergehenden Absatz genannte EMF-Wirkung sowie auf offene Fragen zur Langzeitwirkung (> 15 Jahre) gründen sich auch die **Vorsorgeempfehlung** des **BfS** bezüglich der Nutzung von **Mobiltelefonen** [13] (siehe auch Kapitel 2).

7 Diskussion ausgewählter Studien zu nicht-thermischen Wirkungen

Der **übergroße Anteil der Studien** der letzten Jahrzehnte hat **keinen Nachweis** eines Risikos **und** auch **keinen Hinweis** auf mögliche Risiken durch Mobilfunk(-strahlung) erbracht. Die Einzelstudien werden, wie in Kapitel 6 beschrieben, regelmäßig von nationalen und internationalen Expertengruppen zusammenfassend bewertet. Umso mehr finden **einzelne Studien** Beachtung, welche die Evidenz einer nicht-thermischen Wirkung aufzeigen. Nachfolgend werden die relevanten Punkte zu zwei dieser Studien aufgeführt. Beide Studien wurden von der ICNIRP (siehe Abbildung 5-1) bewertet [24].

NTP-Studie - US National Toxicology Program (NTP) 2018, [26], [27]

Die Studie zieht den Schluss, dass eine klare Evidenz für das Auftreten von Herztumoren bei Ratten und Mäusen besteht. Bei dem Herztumor handelt es sich um ein Schwannom, d.h. ein Tumor der von Schwann-Zellen ausgeht, welche die Nerven umhüllen. Diese Evidenz trat in der Studie bei einer Langzeitexposition des **gesamten Körpers** über einen Zeitraum von **2 Jahren** mit einer **Leistung von 6 W/kg** auf. Dies ist das 3-fache des für Mobiltelefone zulässigen Teilkörper-SAR-Wertes und das ca. **75-fache des Grenzwertes** für Ganzkörperexposition. Betroffen waren **ausschließlich männliche Tiere** obwohl auch weibliche Tiere exponiert wurden.

Auffällig ist, dass die **Sterblichkeit der exponierten Tiere** (am Ende des 2-jährigen Versuchszeitraums) **wesentlich geringer** war als die der Tiere der Kontrollgruppe, welche keiner Mobilfunkstrahlung ausgesetzt war.

Der **zuständige Wissenschaftler der NTP-Studie**, Ph.D. Michael Wyde (Mitarbeiter in der Systems Toxicology Group des NIEHS) **sieht** seinerseits die **Übertragbarkeit** der Studienergebnisse **auf die Mobiltelefonnutzung nicht gegeben** [28] „Given such complexity, the NTP findings should not be directly extrapolated to human cell phone use.“

Das **BfS** stellt fest [22], dass die Studie „**keine aussagekräftigen Belege**“ liefert, dass die „hochfrequenten elektromagnetischen Felder von **Handys das Krebsrisiko beim Menschen**

erhöhen“. Dies wird u.a. auch darauf zurückgeführt, dass Menschen nicht am ganzen Körper solch hoher Feldintensität ausgesetzt sind und schließt nicht aus, dass thermischer Stress der Tiere zu dem Ergebnis geführt hat.

Generell: Für **Aussagen zu Mobilfunkstandorten** (Basisstationen) ist die **Studie ungeeignet**.

Ramazzini-Studie – Ramazzini Institute Bologna, 2018, [25]

In der Ramazzini-Studie (Falconi, et al.) wurden Ratten ab dem 12. Tag der Trächtigkeit der Mutter dem Mobilfunk-EMF für 19 Stunden pro Tag für 7 Tage die Woche ausgesetzt. Die insgesamt 2448 Ratten wurden in 4 Gruppen eingeteilt, wobei eine die Kontrollgruppe bildete (0 V/m). Die anderen Gruppen wurden jeweils einer Mobilfunk-EMF von 5 V/m (0,001 W/kg), 25 V/m (0,03 W/kg) und 50 V/m (0,1 W/kg) exponiert. Die Exposition wurde während der gesamten Lebensdauer der Tiere (max. 152 Wochen) fortgesetzt. Es gab keine Unterschiede zwischen exponierten und nicht-exponierten Tieren beiderlei Geschlechts bzgl. Gewichtsentwicklung, Wasser- und Nahrungsaufnahme sowie Überlebensraten.

Ein **statistisch signifikantes Ergebnis** (Herztumor, d.h. Schwannom) ergab sich bei männlichen Tieren der Gruppe mit der **höchsten Exposition (50 V/m bzw. 0,1 W/kg)**. Die statistische Signifikanz ergab sich auch deswegen, weil in der Kontrollgruppe kein Schwannom-Fall auftrat. In historischen Kontrollen (also Kontrollgruppen anderen Studien) war die Rate 0,6 %.

Die **Signifikanz** zeigte sich **nur** bei der **höchsten Exposition (50 V/m bzw. 0,1 W/kg)**, wobei dies **nur** für die exponierten **männlichen Tiere** galt (betroffen 1,4 % in exponierter Gruppe und 0 % in Kontrollgruppe).

Eine Bestätigung des Ergebnisses der NTP-Studie durch die Ramazzini-Studie ist eher nicht gegeben, da im Fall der NTP-Studie eine statistisch relevante Signifikanz gerade **nur bei der höchsten Exposition von 6W/kg** gegeben war und **gerade nicht** bei geringeren Werten, **wie den 0,1W/kg in der Ramazzini-Studie**. Darüber hinaus sind die relevanten Ergebnisse geschlechtsspezifisch, welches eine Interpretation erschwert. Die Abweichung der Schwannom-Fälle in der Kontrollgruppe nach unten (im Vergleich zu historischen Kontrollen) und die Abweichung der Schwannom-Fälle nach oben in der exponierten Gruppe können auch zu einem Zufallsbefund geführt haben.

Das **ICNIRP sieht substanzielle Schwachstellen bei beiden Studien**, welche **nicht ermöglichen**, dass **Schlussfolgerungen bzgl. Mobilfunk und Krebsentstehung** gezogen werden können [24]. Ebenso weist der Studienbeteiligte Michael Wyde darauf hin, dass er eine Übertragbarkeit der Ergebnisse der NTP-Studie auf die Mobilfunknutzung als nicht gegeben sieht [28].

Fazit: Neben den **vielen Studien**, welche **auf keine Risiken** bei der Mobilfunknutzung hinweisen, zeigen die beiden oben aufgeführten Studien, dass die **Aussagen anderer (Tier-)Studien nicht eindeutig** sind und sich vor allem **nicht** auf den Menschen **übertragen lassen**. Weitere, durchdacht konzipierte Studien können aber helfen Unsicherheiten auszuräumen.

8 Besteht weiterer Forschungsbedarf?

Generell sieht das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) wissenschaftliche **Unsicherheiten** hinsichtlich möglicher **Langzeitwirkungen** (>15 Jahre) bei der **intensiven Nutzung** von **Mobilfunktelefonen** [29], da Krebserkrankungen sich über einen Zeitraum von 20-30 Jahren entwickeln können. Aus diesem Grund werden vom BfS auch Vorsorgemaßnahmen [13] für die Nutzung von Mobiltelefonen empfohlen. Die EMF-Exposition durch Mobilfunkstandorte und Mobilfunktelefone wird im Kapitel 9 anschaulich dargestellt und verglichen.

Eine vom **BfS** benannte **offene Frage** bezieht sich auf den prognostizierten verstärkten Einsatz von Sendeanlagen kleiner Leistung, s.g. **Kleinzellen** (engl. Small Cells). Mobilfunk-Kleinzellen kommen bereits heute in geringer Anzahl beim LTE-Mobilfunkausbau zum Einsatz. Für den 5G-Mobilfunkausbau wird mit einem verstärkten Einsatz gerechnet, um ausreichend Übertragungskapazität zu gewährleisten. Ein **aktueller Messbericht für LTE-Kleinzellen in Berlin** [34] zeigt allerdings eine **geringe EMF-Grenzwertausschöpfung** und zieht ein **positives Fazit**. Eine Darstellung der Ergebnisse erfolgt in Kapitel 12.

Im Zusammenhang mit der Nutzung eines neuen Frequenzbereichs, namentlich dem **Bereich von 26 GHz** (siehe Kapitel 2 und speziell Abbildung 2-1), vergibt das BfS **Forschungsvorhaben** zu Erfassung der Exposition und Erforschung möglicher Wirkung [29]. Die Wellenlänge dieser Frequenz ist vergleichsweise klein, so dass diese auch als Millimeterwellen bezeichnet werden. Das Thema **Millimeterwellen** wird im Kapitel 15 „Stellt 5G ein Risiko dar?“ behandelt.

9 EMF-Exposition durch Mobilfunkstandorte vs. Mobiltelefone

Die Quellen für die hochfrequenten elektromagnetischen Frequenzen im Mobilfunk kann man im Wesentlichen in die zwei folgenden Typen unterteilen (siehe Kapitel 4):

- **ortsfeste Sender** (stärkere Sender, große Distanz zu Personen, gleichmäßige Exposition des ganzen Körpers)
- **ortsveränderliche Sender** (schwache Sender, geringe Distanz, lokale Exposition eines Körperteils)

Zu den **ortsfesten Sendern** zählen **Mobilfunkbasisstationen** (Makro- und Kleinzellen). Die klassischen Mobilfunk-Dachstandorte haben in Innenstädten üblicherweise einen Abstand von 300 bis 500 Metern und werden technisch als **Makrozellen** bezeichnet. **Kleinzellen** ('Small Cells') zeichnen sich durch eine geringe Sendeleistung und Reichweite aus und dienen der Kapazitätserhöhung an Orten mit hoher Nutzerzahl. Die Antennen der Kleinzellen sind oft an geeigneten Trägerstrukturen, wie Lichtmasten angebracht [30].

Ortsveränderliche Sender sind **Mobiltelefone**, Funkmodems, etc., welche üblicherweise einer Person zugeordnet sind und von dieser meist mitgeführt werden bzw. sich in deren Nähe befinden. Die Sendeleistung eines Mobiltelefons ist wesentlich geringer als die einer Mobilfunk-Basisstation. Dafür befindet sich das Mobiltelefon, speziell während der für eine Betrachtung relevanten aktiven Nutzung, sehr nahe an der Person.

Um diese Risiken durch Mobiltelefone und Basisstationen auszuschließen, wurden **Grenzwerte** definiert (siehe Kapitel 5). Die **vermuteten potentiellen Risiken** im Kontext des Mobilfunks sind nach den vorliegenden Studien und Bewertungen (Kapitel 6, 7) mit der **Nutzung des Mobiltelefons** ver-

bunden. Um diese vermuteten potentiellen **Risiken** im Zusammenhang mit der Nutzung von Mobiltelefonen zu **minimieren** wurden vom BfS **Handlungsempfehlungen** [13] definiert.

Die **Reduktion der Sendeleistung des Mobiltelefons** demonstriert eine Messung der TU Ilmenau (Abbildung 9-1) im Auftrag der Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe [34]. Die Sendeleistung des Mobiltelefons ist unmittelbar neben der Kleinzelle um etwa den **Faktor 700** geringer als bei einer Verbindung zur Makrozelle. Die Feldstärke der Kleinzelle beträgt dabei 6 % des EMF-Grenzwerts (siehe Kapitel 12 und speziell Abbildung 12-1).

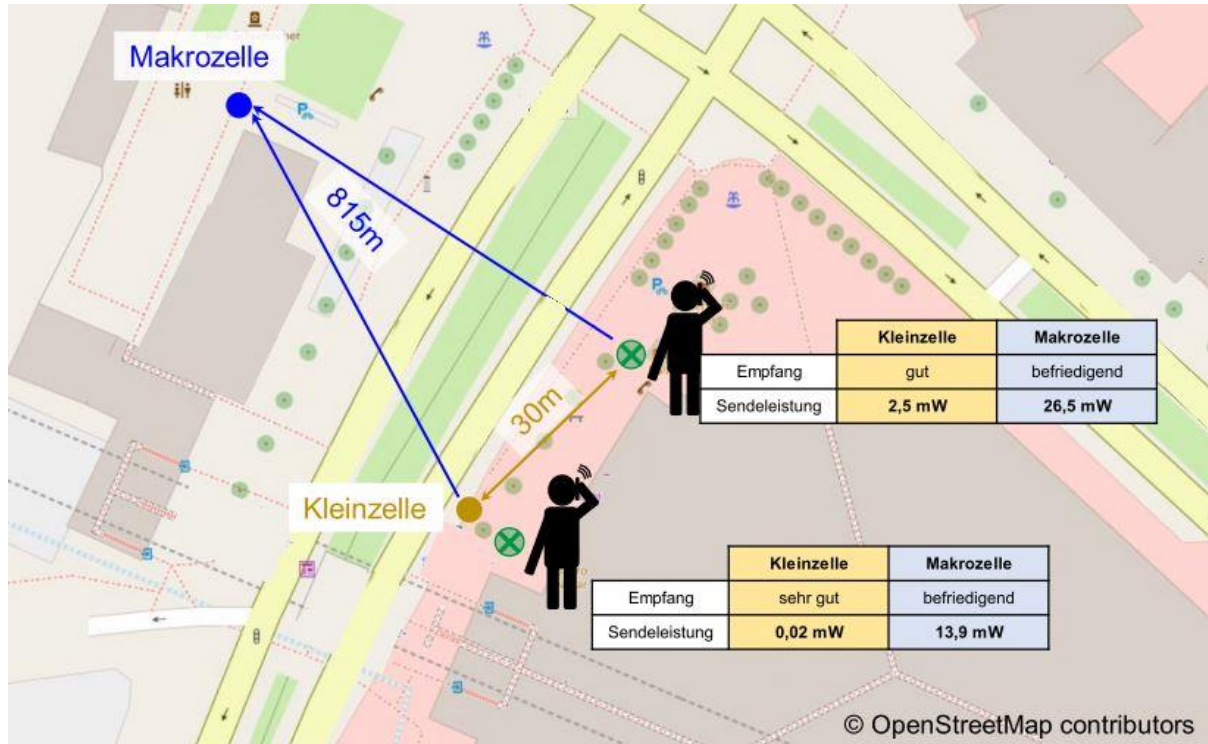


Abbildung 9-1: Mobiltelefon-Sendeleistung bzgl. Entfernung zur Basisstation [34]

Der Vergleich der Exposition von Personen durch Mobilfunkstandorte und Mobiltelefone kann auf Basis einer größeren Stichprobe erfolgen. In dem von der TU-Ilmenau durchgeführten Projekt „EMF-Messung & Auswertung (Mobilfunk) 2020“ [33] wurden die an 3 repräsentativen Mobilfunkstandorten in Berlin erfassten Messwerte mit den SAR-Werten von Mobiltelefonen [14] verglichen. Dabei erfolgt die Ermittlung und Darstellung der **leistungsbasierten** Grenzwertausschöpfung jeweils bei maximaler Auslastung von Mobilfunkanlage und Mobiltelefon (siehe Abbildung 9-2).

Hinweise: Die Exposition des Mobiltelefons wird immer leistungsbasiert angegeben, wohingegen die Exposition der Basisstation als Feldstärke angegeben wird, da die Grenzwerte in der 26. BImSchV als Feldstärkewerte angegeben sind. Eine Umrechnung (siehe A2 in [33]) macht beide Werte vergleichbar.

*Die Tabelle 9-1 stellt die für die Basisstationen gemessenen Feldstärkewerte prozentual zum Grenzwert sowie als Leistungsflussdichte prozentual zum Grenzwert dar. Dabei fällt z.B. auf, dass 17,5 % Feldstärkegrenzwert einer leistungsbasierten Grenzwertausschöpfung von 3,06 % entspricht. Dieser nominell geringe Wert sollte nicht darüber hinwegtäuschen, dass die **leistungsbasierte Grenzwertausschöpfung** zu höheren Feldintensitäten*

quadratisch, und somit wesentlich schneller als die feldstärkebasierte Grenzwertausschöpfung, ansteigt.

	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

Tabelle 9-1: Vergleich der Exposition durch Mobiltelefone und Basisstationen (Berlin, [33])

Der Vergleich der leistungsbasierten **Grenzwertausschöpfung** zeigt, dass ein **Mobiltelefon** die Grenzwerte **wesentlich stärker** (maximal 90 %, median 30 %) **als ein Mobilfunkstandort** (Basisstation) ausnutzt (maximal 3,06 %, median 0,1%).

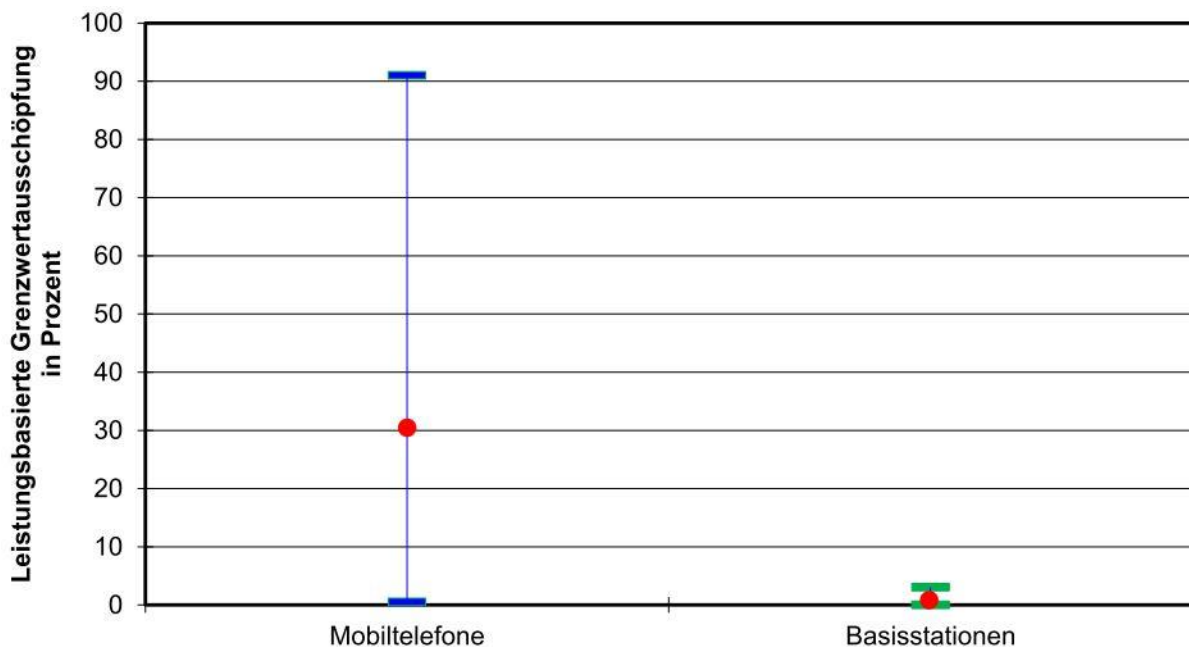


Abbildung 9-2: Spannweitendiagramm gemäß der Tabelle 9-1, der median ist rot markiert

Einen weiteren Ansatz zum Vergleich der Exposition durch Mobilfunkstandorte und Mobilfunktelefone wählte die vom **Schweizer Bundesministerium** für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (**UVEK**) eingesetzte **Arbeitsgruppe Mobilfunk und Strahlung** [21]. Diese verwendet das sogenannte kumulative Dosismaß (J/kg).

Die Abbildung 9-3 stellt das **kumulative durchschnittliche Dosismaß für 24-Stunden vergleichend** für die **Gehirndosis** und **Ganzkörperdosis** dar. Dabei wird der Beitrag der **körperfernen** Quellen (Mobilfunkstandorte bzw. Basisstationen, Fernsehsender, etc.) und **körpernahen** Quellen (Mobiltelefone, Laptops, etc.) separat aufgeführt.

Hinweis: Mobiltelefone senden im Wesentlichen nur während eines Telefonates und bei Datenverkehr und tun dies ansonsten nur sporadisch. Aus diesem Grund sind für die Quelle Mobiltelefon der Datenverkehr und die Sprachtelefonie separat aufgeführt.

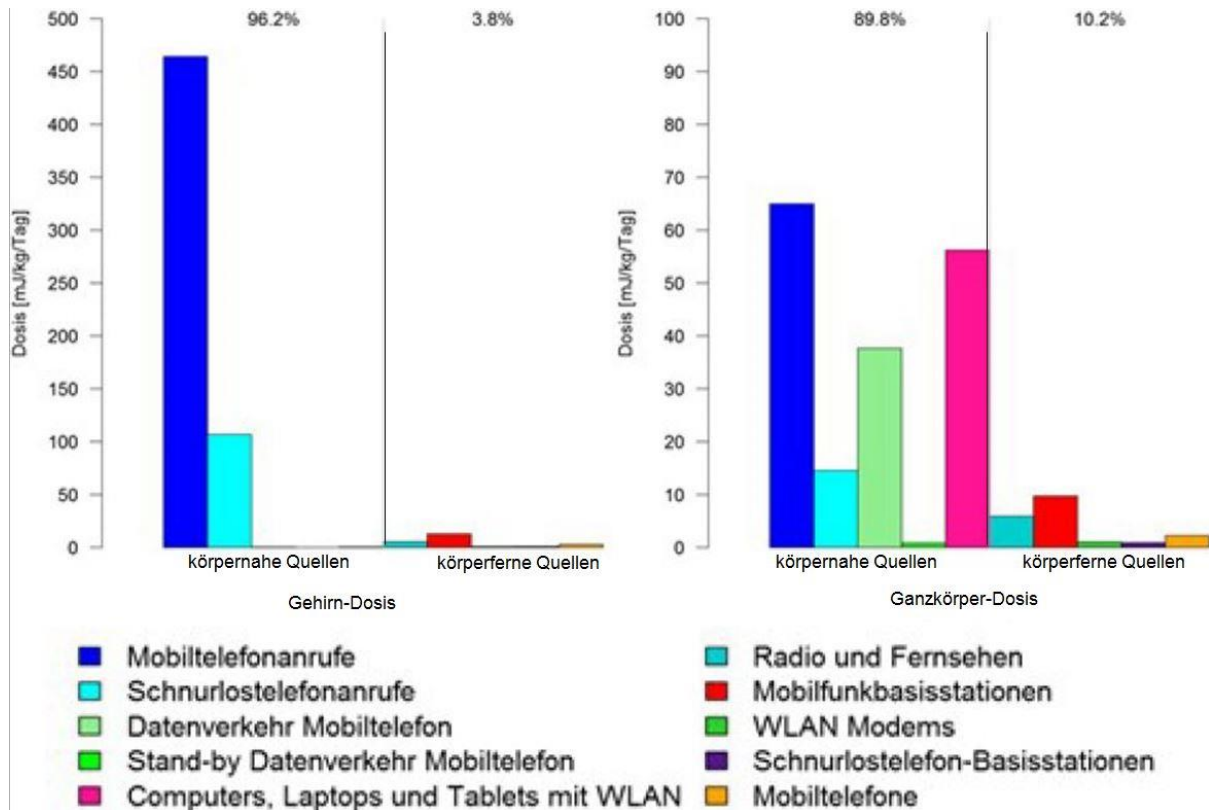


Abbildung 9-3: Durchschnittliche 24-Stunden-Dosis nicht-ionisierender Strahlung [21]

Die Abbildung 9-3 zeigt, dass Felder der **Mobilfunkbasisstationen** (ortsfeste Sender) bei der Ganzkörperdosis **eine untergeordnete Rolle** spielen und bei der **Gehirndosis zu vernachlässigen** sind. Hierbei sei daran erinnert, dass die Gehirndosis bzw. die Mobiltelefone der Grund für die 2B-Klassifizierung („möglicherweise karzinogen“) der IARC sind (siehe Kapitel 3).

10 Berliner EMF-Messberichte zu Makrozellstandorten

In den Jahren **2004 und 2008** erfolgten in **Berlin EMF-Messungen** von Makrozellstandorten mit dem Ziel den Ausschöpfungsgrad entsprechend der Grenzwerte der 26. BImSchV zu ermitteln [32]. In den Messungen wurde eine durchschnittliche **Grenzwertausschöpfung von 4,8 %** (Messung 2004) bzw. **3,3 %** (Messung 2008) ermittelt. Die maximal gemessene Grenzwertausschöpfung lag bei 15,6 %.

Die EMF-Messungen erfolgten für s.g. **Makrozellstandorte**. Dies **sind Mobilfunkstandorte** (ortsfeste Sender, siehe 4.2), welche erhöht positioniert sind und einen größeren Versorgungsbereich abdecken. In Städten befinden sich die Makrozellstandorte **überwiegend auf Hausdächern** und im ländlichen Bereich werden dafür meist separate Maste errichtet.

Hinweis: In diesem Dokument wird die Grenzwertausschöpfung für Mobilfunkstandorte (ortsfeste Sender) generell auf Basis der Feldstärke angegeben, da die rechtlich verbindlichen Grenzwerte in der 26. BImSchV ebenso als Feldstärkewerte angegeben sind. Eine Ausnahme stellt der Vergleich Mobilfunkstandort vs. Mobiltelefon in Kapitel 9 dar. Dort ist auch der Unterschied erläutert.

Im Zeitraum November 2019 bis **März 2020** erfolgten im Auftrag der Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe weitere EMF-Messungen von Makrozellstandorten [33]. Dabei wurden Messungen für folgende Konstellationen durchgeführt und die Grenzwertausschöpfung bestimmt:

- Messung der Grenzwertausschöpfung im Umfeld von **zwei typischen Makrozellstandorten** (Typ „leistungsstark“, siehe Abbildung 10-1, und Typ „typisch“, siehe Abbildung 10-3), u.a. die Etage unter Antenne, der Balkon des gegenüberliegenden Hauses, etc.)
- Messung der Grenzwertausschöpfung entlang der Sichtachse eines Makrozellstandorts von 5m bis 560m Abstand (**Messung Feldstärkeverlauf** bzw. Linienmessung), deren Ergebnisse in Kapitel 11 beschrieben sind.

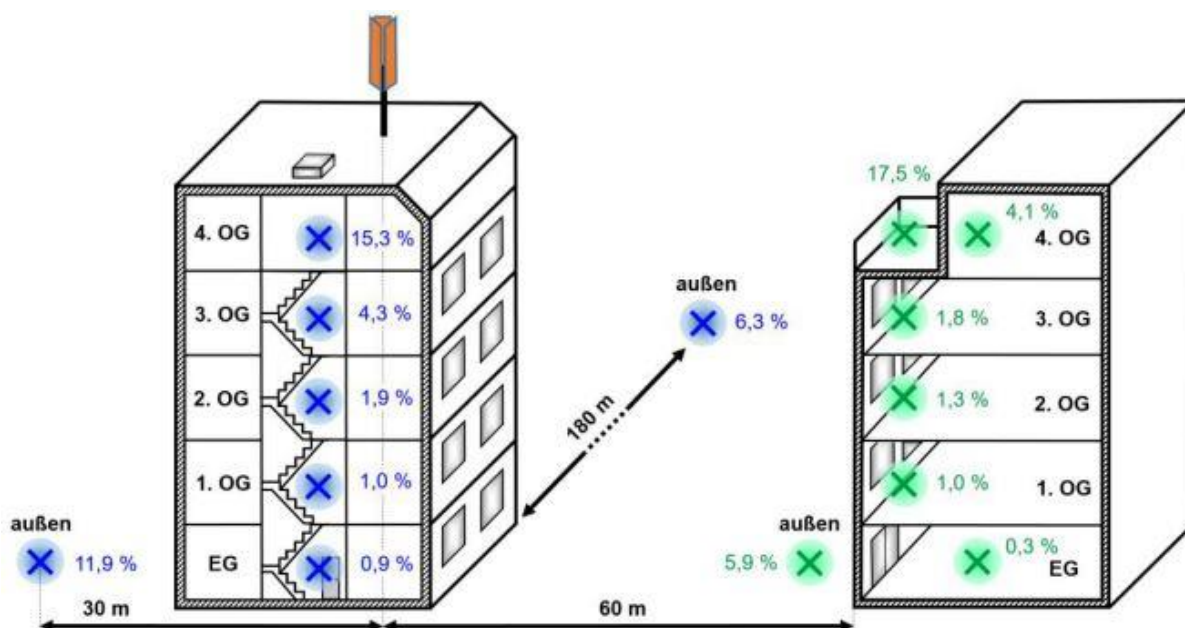


Abbildung 10-1: Feldstärkebasierte Grenzwertausschöpfung leistungsstarker Makrozellstandort [33]

Die feldstärkebasierte Bestimmung der Grenzwertausschöpfung des **leistungsstarken Makrozellstandortes** zeigt, dass auch in Positionen, welche **Höchstwerte** für die Feldstärke **erwarten lassen** (außen und/oder nahe der Antennen), die Grenzwertausschöpfung **maximal 17,5 % beträgt** und sonst weit darunter liegt. Die Werte nehmen im Gebäudeinneren noch wesentlich schneller als im Außenbereich (in Abhängigkeit zum Abstand der Antennen) ab.

Die Werte in den höchsten Stockwerken (Gebäude mit Makrozellstandort und gegenüberliegendes Gebäude, außen) in Abbildung 10-1 zeigen, dass dort die **höchsten Feldstärken** auftreten **aber auch**, dass diese **weit unter den Grenzwerten** liegen.

Die **Abstrahlcharakteristik** der Basisstation (siehe Abbildung 2-1) wird anhand der Messpunkte (grün) am gegenüber liegenden Gebäude gut aufgezeigt. Der Messwert auf Straßenniveau (außen) ist wesentlich geringer als der Messwert (außen) auf ähnlicher Höhe wie die Basisstation. Auch hier liegen die Messwerte, selbst für die leistungsstarke Basisstation, weit unter dem zulässigen Grenzwert.

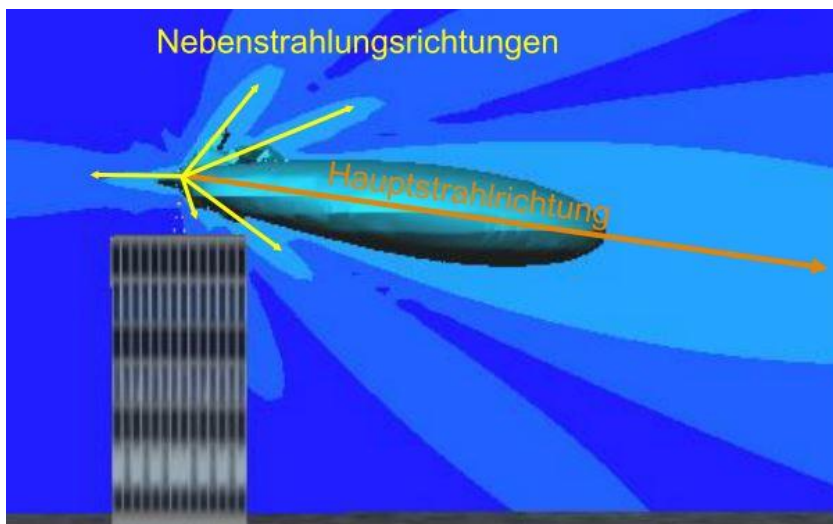


Abbildung 10-2: Schematische Darstellung Abstrahlcharakteristik (Anlage mit 1 Sektor) [33]

In Abbildung 10-1 ist auch die Abschirmwirkung der Gebäudehülle des gegenüberliegenden Gebäudes gut zu sehen. Diese verursacht den Rückgang von 17,5 % Grenzwertausschöpfung (außen) auf 4,1 % im 4.OG innen.

Die Verteilung der Exposition für einen **typischen Makrozellstandort** ist analog zu derjenigen eines leistungsstarken Makrozellstandorts, wobei die **Ausschöpfungsgrade aber noch wesentlich** (ca. Faktor 2 – 7,6) niedriger liegen (siehe Abbildung 10-3).

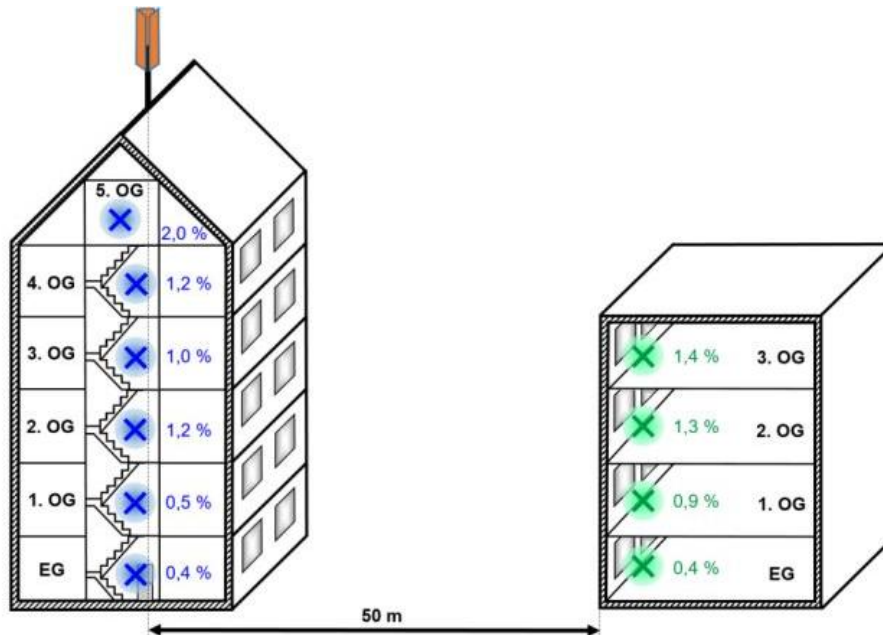


Abbildung 10-3: Feldstärkebasierte Grenzwertausschöpfung typischer Makrozellstandort [33]

Die EMF-Messungen 2019/2020 bestätigen die Messungen der Jahre 2004/2008. Interessant dabei ist, dass die EMF-Messwerte in Innenräumen mit Ausnahmen (in der Messung 2019/2020 [33] nur im Dachgeschoss unter dem leistungsstarken Makrozellstandort) unter den Schweizer Anlagegrenzwerten für Orte mit empfindlicher Nutzung (OmeN) liegen. Auf die Diskussion zur Höhe der Grenzwerte wird in Kapitel 13 eingegangen. Informationen zu Feldstärkeverlauf, Kleinzellen, 5G u.a. findet sich in den nachfolgenden Kapiteln.

Generell kann man feststellen, dass der **Grenzwert** der 26. BImSchV in allen Messpunkten nicht nur eingehalten sondern **weit unterschritten** wird. Dies stellt das Standortverfahren der Bundesnetzagentur (siehe Kapitel 5) sicher und dies zeigen die Berliner Messungen in 2004/2008 [32] und 2019/2020 [33].

11 Berliner Messbericht zum Feldstärkeverlauf Makrozellstandort

Bedenken gegenüber dem Mobilfunk werden oft in Bezug zur **räumlichen Nähe** zu einem **Mobilfunkstandort** geäußert. Die Mobilfunkstandorte können in der Standortdatenbank der Bundesnetzagentur [15] abgefragt werden. Sie sind aber auch wegen ihrer Größe und des typischen Erscheinungsbilds gut zu erkennen. Auf die Unterschiede zwischen Mobilfunkstandorten und Mobilfunktelefonen bzgl. der EMF-Exposition wird in Kapitel 9 eingegangen. Diese zeigen, dass Vorsorgemaßnahmen bei Mobiltelefonen mindestens genauso wichtig sind wie die für Basisstationen.

Generell hängt die Stärke eines elektromagnetischen Feldes von der Entfernung vom Sender ab, wobei unter Idealbedingungen die **Feldstärke quadratisch mit steigender Entfernung abnimmt**. Dies gilt für eine gleichmäßige Abstrahlung durch die Antenne in alle Richtungen. Somit wäre die maximale Feldstärke nahe der Antenne zu erwarten, welche dann mit größer werdender Entfernung schnell abnimmt. Eine **Mobilfunkantenne** hat allerdings eine **andere Abstrahlcharakteristik** (siehe Abbildung 10-2).

Ein Mobilfunkstandort hat üblicherweise 3 Antennen, welche jeweils einen Sektor von 120° abdecken. Die Abstrahlcharakteristik jeder einzelnen Antenne (siehe Abbildung 10-2) hat eine **Hauptstrahlrichtung**, wobei Orte, welche nicht vom Hauptstrahl abgedeckt werden, eine geringere Feldstärke aufweisen. Hinzu kommen, technisch bedingt, **Nebenstrahlungsrichtungen**. Die ortsabhängige Position in den Haupt- und Nebenstrahlungsrichtungen führt zu wiederholtem Anstieg und Abfall der Feldstärkewerte in Abhängigkeit der Entfernung. Um dies auf Basis eines praktischen Beispiels darstellen zu können wurde in Steglitz-Zehlendorf ein passender Mobilfunkstandort (freistehender Mast, freie Sichtachse) vermessen.

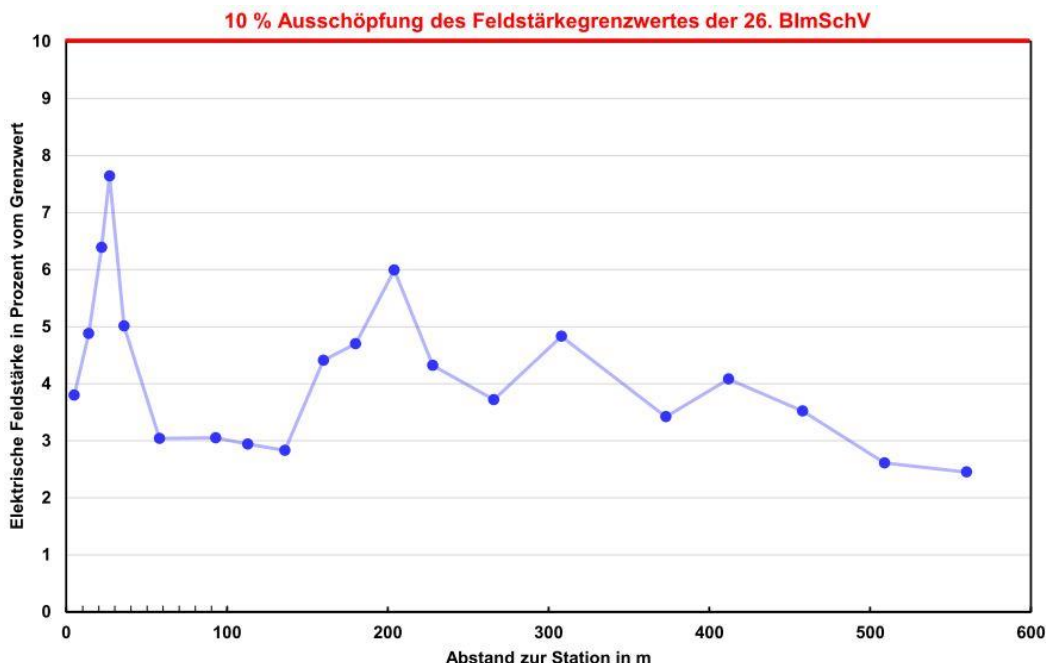


Abbildung 11-1: Verlauf feldstärkebasierte Grenzwertausschöpfung (freistehender Mast)

Die Abbildung 11-1 zeigt gut, dass wesentlich höhere Werte als direkt am Mobilfunkstandort selber in größerer Entfernung, z.B. 200m, auftreten können. In dem Sinn erlaubt die **Entfernung** zum Mo-

bilfunkstandort **keine verlässliche Aussage über die Höhe** des zu erwartenden Wertes der **Feldstärke**. Abgesehen davon liegen alle Messwerte **weit unter den Grenzwerten der 26. BImSchV**.

12 Berliner EMF-Messbericht zu Kleinzellenstandorten

Kleinzellen ('Small Cells') zeichnen sich durch eine geringe Sendeleistung und Reichweite aus und dienen der Kapazitätserhöhung an Orten mit hoher Nutzerzahl, wie Veranstaltungsorten oder belebten Plätzen. Die Antennen der Kleinzellen sind oft an geeigneten Trägerstrukturen, wie Lichtmasten angebracht [30]. Kleinzellen werden bereits heute in LTE-Mobilfunknetzen eingesetzt.

Für den **5G-Mobilfunkausbau** aber auch für den **LTE-Mobilfunkausbau** wird ein **verstärkter Einsatz von Kleinzellen erwartet**, um den **schnell steigenden Bedarf** an Übertragungskapazität zu gewährleisten. Die Bundesnetzagentur ermittelt jährlich das mobile Datenvolumen und hat einen Anstieg von 1,38 Mrd. GB in 2017 auf 2,77 Mrd. GB in 2019 festgestellt. Dies entspricht ca. einer Verdoppelung des Datenverkehrs in 2 Jahren basierend auf einem Anstieg von 44 % in 2018 und weiteren 39 % in 2019. Der Ericsson Mobility Report prognostiziert ein weiteres Wachstum in ähnlicher Größenordnung in den nächsten Jahren [31].

Der **Berliner EMF-Messbericht** [34] stellt die Ergebnisse der Ende 2019 durchgeführten Messungen an einer LTE-Kleinzelle in Berlin-Reinickendorf dar. Die Kleinzelle sendet mit 10 W EIRP (äquivalente isotrope Strahlungsleistung), welches die höchste genehmigungsfreie Leistung darstellt.

Für Kleinzellen gelten **Grenzwerte**, die **wertemäßig mit denjenigen der 26. BImSchV übereinstimmen**. Dies bekräftigt die freiwillige Selbstverpflichtung der Mobilfunknetzbetreiber [16] gegenüber der Bundesregierung, vertreten durch das BMU. Es wird klargestellt, dass die Verfahren und Grenzwerte entsprechend BEMFV und 26. BImSchV ebenso auf ortsfeste Mobilfunkanlagen mit einer Leistung im Bereich zwischen **2 Watt und 10 Watt** (EIRP) Anwendung finden.

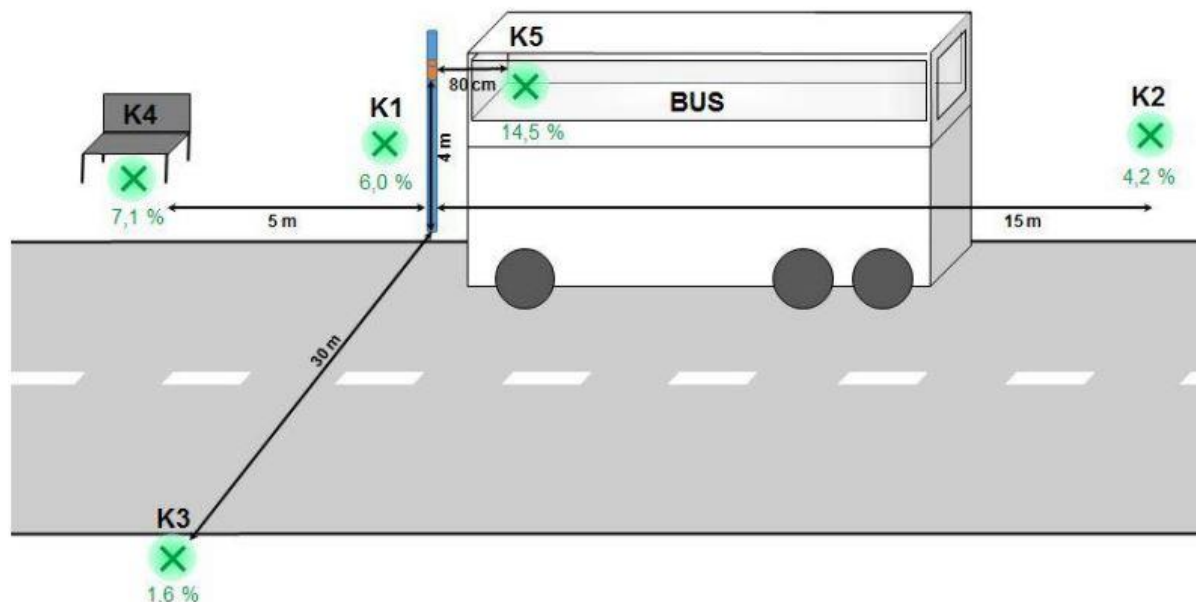


Abbildung 12-1: Feldstärkebasierte Grenzwertausschöpfung LTE-Kleinzellenstandort [34]

Die feldstärkebasierten Grenzwertausschöpfungen sind in Abbildung 12-1 dargestellt. Es zeigt sich, dass selbst unmittelbar neben dem Kleinzellenstandort in ca. **1,5m über dem Boden** nur eine **geringe**

Grenzwertausschöpfung (maximal 7,1 %) zu verzeichnen ist. Selbst im Oberdeck eines Doppelstockbusses ist in **80cm Entfernung** von der Antenne der Grenzwert **nur zu 14,5 % ausgeschöpft**.

Der vom **BfS geäußerte Forschungsbedarf** bzgl. des Einsatzes von Kleinzellen (siehe Kapitel 8) **kann** mit den Ergebnissen des Berliner EMF-Messung [34] für die betrachteten Trägerstruktur (mit ausreichend hoch angebrachter Antenne) **relativiert werden**. Es zeigt sich eine **geringe Grenzwertausschöpfung in unmittelbarer Nähe und Kleinzellen haben eine geringe Reichweite**. Vielmehr kann angenommen werden, dass der vermehrte Einsatz von Kleinzellen zu einer gleichmäßigeren Abdeckung mit geringer Feldstärke führt.

Die **Schlussfolgerung** bzgl. Kleinzellen ist, dass deren **Nutzung unproblematisch** erscheint und sogar **Vorteile** hinsichtlich der **Reduzierung** der von allen Sendern (einschließlich der Mobiltelefone) herührenden **Gesamtimmissionen** ermöglichen könnte.

13 Sind niedrigere Grenzwerte (für Mobilfunkstandorte) notwendig?

Grenzwerte für hochfrequente elektromagnetische Felder, d.h. auch für den Mobilfunk (siehe Kapitel 2), werden nach werden nach **wissenschaftlichen Kriterien** (siehe Kapitel 4) festgelegt. Es werden ständig neue Studien, speziell auch zu nicht-thermischen Wirkungen (siehe Kapitel 6 und 7), durchgeführt und bewertet. Dies schließt auch epidemiologische Studien ein. Eine **Notwendigkeit zur Anpassung** der angewendeten wissenschaftlichen Kriterien **besteht nicht**.

Es wird gelegentlich auf die **niedrigeren Grenzwerte** anderer Länder, namentlich der **Schweiz** verwiesen. Die in der Schweiz **nur für Orte mit empfindlicher Nutzung** (OmeN) festgelegten Grenzwerte entsprechen etwa 10 % der von der ICNIRP (siehe Kapitel 5) empfohlenen Grenzwerte. Diese Festlegung basiert aber nicht auf wissenschaftlichen Erkenntnissen sondern folgt dem **Gedanken der Vorsorge**. Die Schweizer **Festlegung** auf 10 % der international empfohlenen Grenzwerte ist **mehr oder weniger willkürlich** und kann als **Kompromiss** zwischen einer Minimierung der EMF-Exposition einerseits und deren (technischer und wirtschaftlicher) Notwendigkeit zur Bereitstellung einer digitalen Infrastruktur andererseits verstanden werden. Dieser **Kompromiss stößt aber gegenwärtig an seine Grenzen** [21], da der angestrebte 5G-Mobilfunkausbau (wegen der mit der 5G-Technik verbundenen Erhöhung der Sicherheitsabstände) wesentlich teurer und langwieriger wäre (bis zu 20-30 Jahre) und den Mobilfunkkritikern die Grenzwerte trotzdem nicht ausreichend (niedrig) sind.

Bei der Diskussion um niedrigere EMF-Grenzwerte geht es fast ausschließlich um die Grenzwerte der Mobilfunkstandorte (ortsfeste Sender). Dabei wird ignoriert, dass die als **möglicherweise krebserregend eingestuften Risiken** (siehe Hinweis zur Einstufung der IARC in Kapitel 3) mit der **Nutzung von Mobilfunktelefonen** (ortsveränderlicher Sender) **verbunden** sind. Darüber hinaus zeigen die Berliner EMF-Messungen (siehe Kapitel 10) eine geringe Grenzwertausschöpfung. Zum Thema des 5G-Mobilfunks wird separat in Kapitel 15 eingegangen.

Bei dem **Mobilfunk** geht es um die Bereitstellung einer **leistungsfähigen digitalen Infrastruktur** für jeden **Einzelnen** für die private Nutzung und für Handel, Handwerk, **Rettungs- und Einsatzkräfte** sowie die in Berlin oft klein- und mittelständigen **Unternehmen**. **Niedrigere** EMF-Grenzwerte führen zu **höheren Kosten** und deutlich **längeren Realisierungszeiträumen**, welches die Berechnungen der Schweizer AG Mobilfunk und Strahlung [21] deutlich zeigen. Die Nutzer müssen die höheren Kosten über höhere Tarife finanzieren, welches geringe Einkommen proportional stärker belastet. Eine weitere Konsequenz kann sein, dass Gebiete keine Mobilfunkversorgung erhalten.

14 Sind abweichende Regelungen für spezielle Orte sinnvoll?

Wie im Kapitel 13 erwähnt gelten in der Schweiz für Orte mit empfindlicher Nutzung (OmeN) andere EMF-Grenzwerte als an allen übrigen Orten der Schweiz. Zu diesen Orten zählen Wohnungen, Schulräume und Spielplätze aber z.B. nicht Balkone oder Sporthallen bzw. Sportanlagen. In Deutschland gibt es eine solche Unterscheidung durch die Verordnungen/Gesetzes des Bunds nicht.

Abgesehen davon, dass die **abgesenkten Grenzwerte keinen wissenschaftlichen Erkenntnissen geschuldet** sind können diese **ggf. kontraproduktiv** sein. Dies gilt speziell für den Fall, dass Vorgaben zu einem **Mindestabstand** zwischen einem Ort empfindlicher Nutzung, z.B. Schule, und einem Mobilfunkstandort führen.

Eine Regelung zum Mindestabstand zu einem Mobilfunkstandort ignoriert, dass die **Mobiltelefone**, welche als mögliches Risiko benannt sind (siehe Kapitel 1 und 6) in diesem Fall mit **umso höherer Leistung senden müssen**. In einem in Berlin gemessenen Beispiel hat das Mobiltelefon mit 700-facher Sendeleistung bei der Nutzung eines entfernten Standortes im Vergleich zu einem nahegelegenen Standort arbeiten müssen (siehe Abbildung 9-1).

Die Betrachtung der **EMF-Exposition** durch Mobilfunkstandorte im **Vergleich** zu Mobiltelefonen erfolgt in Kapitel 9. Dabei zeigt sich, dass die **Grenzwertausschöpfung durch Mobiltelefone drastisch höher** ist als die der Mobilfunkstandorte (siehe Abbildung 9-2) und die **24-Stunden-Dosis durch Mobiltelefone** ebenfalls **wesentlich** (Ganzkörper-Dosis) bzw. **drastisch** (Gehirn-Dosis) **höher** ist (siehe Abbildung 9-3).

Darüber hinaus zeigt sich, dass eine **einfache Abstandsregel** (siehe Kapitel 11 und 10) **keine belastbare Aussage** über die **Höhe der EMF-Exposition** durch den Mobilfunkstandort gibt.

Zusammenfassend kann man feststellen, dass **abweichende Regelungen** für spezielle Orte bzgl. Mobilfunkstandorte aus folgenden Gründen **nicht notwendig bzw. sinnvoll** sind:

1. **Mobiltelefone** (ortsveränderliche Sender) sind der Grund der **IARC-Einstufung** als „möglichweise karzinogen“ (zusammen mit sauer eingelegten Gemüse, siehe Kapitel 3) und erzeugen im Vergleich zu Mobilfunkstandorten eine **drastisch höhere Grenzwertausschöpfung** (siehe Kapitel 6)
2. Eine **Mindestabstandsregelung** besagt nichts über die tatsächliche EMF-Exposition durch den Mobilfunkstandort (siehe Kapitel 11) und **führt ggf. zu höheren Sendeleistung von Mobiltelefonen** (siehe Punkt 1. Und Kapitel 9), welches kontraproduktiv ist
3. Der **Grenzwertausschöpfungsgrad** von Mobilfunkstandorten in Berlin ist **generell niedrig** (siehe Kapitel 10)
4. Niedrigere EMF-Grenzwerte für Mobilfunkstandorte sind **aus wissenschaftlicher Sicht nicht angezeigt** (siehe Kapitel 13) sondern **erhöhen die Kosten** und **verlängern den Realisierungszeitraum** für die digitale Infrastruktur deutlich

Die Aussagen oben gelten für Mobilfunkstandorte generell. Im **Kapitel 15** wird noch speziell auf das Thema **5G-Mobilfunk** eingegangen.

15 Stellt 5G ein Risiko dar?

Nachdem es in der Vergangenheit zum 2G und 3G-Mobilfunkausbau starke Diskussionen und Bedenken gab war das für den LTE-Mobilfunkausbau, der sich in den letzten Jahren vollzog, nicht der Fall. Vielmehr gab es und gibt es die Diskussion über unzureichende Mobilfunkversorgung und „Mobilfunklöcher“. Die **mediale Präsenz des Themas 5G-Mobilfunk** hat die bereits **bekannt**en Kritiker aber auch neue Kritiker **motiviert** das möglicherweise mit dem Mobilfunk verbundene Risiko zu thematisieren. Nachfolgend sollen die für die EMF-Exposition relevanten Aspekte des 5G-Mobilfunks differenziert dargestellt werden.

5G-Mobilfunk in Deutschland nur in Sub-6GHz-Bereich (bundesweite Mobilfunknetzbetreiber)

Die Bundesnetzagentur hat 2019 die für die Nutzung für den **5G-Mobilfunk** europaweit vorgesehenen Frequenzbänder im **Sub-6GHz-Bereich** (siehe Kapitel 2) nach einer Frequenzauktion in Deutschland zugeteilt. Die zugeteilten Frequenzbänder liegen in einem Bereich, welcher **bereits** heute durch **Mobilfunk aber auch durch WLAN genutzt** wird.

Einsatzmöglichkeit 26-GHz-Bereich (Millimeterwellen-Bereich)

Für 5G können prinzipiell auch andere als die Sub-6GHz-Frequenzen genutzt werden. Der **26 GHz-Bereich** (siehe Kapitel 2) ist dafür vorgesehen und wird z.B. in den USA auch bereits genutzt. Dieser Frequenzbereich gehört zum **Millimeterwellen-Bereich**, da die Wellenlängen im Bereich von Millimetern liegen. So z.B. hat eine Frequenz von 26 GHz eine Wellenlänge von 11,53 mm.

Der **26 GHz-Bereich** ist aber für die Nutzung durch die **bundesweiten Mobilfunknetzbetreiber** in Deutschland **nicht freigegeben**. Eine mögliche lokale Nutzung für Campus-Netzwerke ist von der Bundesnetzagentur für 2020 in Aussicht gestellt worden.

Das **BfS** hat für den **26 GHz-Bereich** (Millimeterwellen-Bereich) **Forschungsbedarf angemeldet** (siehe Kapitel 8 sowie [29]). Die Eindringtiefe der EMF in den menschlichen Körper ist sehr gering (<1 mm), so dass **keine Wirkung auf innere Organe** vermutet wird. Vielmehr sollen Auswirkungen auf Haut oder Augen adressiert werden. Dazu muss festgestellt werden, dass der 26 GHz-Frequenzbereich in der Vergangenheit für die Überbrückung von kurzen Strecken mit anderen Funkverfahren in Verwendung war.

Darüber hinaus muss idealerweise Sichtverbindung zwischen Sender und Empfänger bestehen, da Objekte in der Sichtachse, wie sogar Blätter, ein Problem darstellen. Eine Versorgung in Gebäuden durch Antennen auf Außenstandorten ist ohne Außenantenne nicht möglich. Wegen der hohen Frequenz ist auch die Reichweite gering und der Sendestrahl ist sehr schmal.

5G-Technologie im Vergleich zu LTE und WLAN

Ebenso wie in LTE Advanced Pro oder WLAN 802.11ac (Wi-Fi 5) bzw. 802.11ax (Wi-Fi 6) werden auch in 5G Mehrelement-Antennensysteme, s.g. **MIMO** (Multiple Input Multiple Output)-Antennen, verwendet. Mit diesen werden **mehrere Signale parallel übertragen** (höhere spektrale Effizienz), um die Datenrate zu erhöhen. Die MIMO-Technologie wird in **5G, analog zu Wi-Fi 5 und Wi-Fi 6**, auch zur Ausrichtung des Sendestrahls zum Mobiltelefon genutzt (**Beamforming**). Der **Unterschied von 5G zu LTE** ist, dass statt **2 oder 4** Antennenelementen nun **32 bzw. 64 Antennenelemente** eingesetzt werden. Dies erlaubt eine wesentlich **stärkere Fokussierung** des Sendestrahls, wobei Orte, welche nicht fokussiert werden eine entsprechend schwächere Feldstärke verzeichnen. Durch das Beam-

forming können **mehrere Mobiltelefone** vom selben Mobilfunkstandort mit **einem separaten Sendestrahl** (Beam) die **volle Kapazität** des Mobilfunkstandorts nutzen (spacial multiplexing).

Stellen 5G-Mobilfunkstandorte ein Risiko dar?

- Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) stellt fest, dass viele Erkenntnisse aus früheren Mobilfunkgenerationen übertragbar sind [29]. Wie oben dargestellt wird der gleiche Frequenzbereich wie für Mobilfunk und WLAN (Sub-6GHz-Bereich) und gleiche Technologien (Beamforming) verwendet.
- Auch für 5G-Mobilfunkstandorte gelten die Grenzwerte der 26. BImSchV sowie die in diesem Dokument vorgestellten Überlegungen (siehe Kapitel 9 oder Kapitel 14). Dabei ist zu berücksichtigen, dass potentielle Risiken mit Mobiltelefonen verbunden sind und nicht mit Mobilfunkstandorten.
- Das BfS benennt Forschungsbedarf für den 26 GHz-Frequenzbereich (Millimeterwellen-Bereich), welcher durch bundesweite Mobilfunknetzbetreiber (im Gegensatz zu den USA) nicht eingesetzt werden kann.
- Forschungsbedarf wird auch bei Kleinzellen benannt, wobei diese bereits bei LTE-Mobilfunk eingesetzt werden. Die Berliner EMF-Messungen (siehe Kapitel 12) für LTE-Kleinzellen zeigen keine Probleme. Es besteht im Gegenteil die Vermutung, dass Kleinzellen zu einer Reduzierung der von allen Sendern (einschließlich der Mobiltelefone) herrührenden Gesamtimmissionen führen können.

5G-Mobilfunkstandorte sind nach den gegenwärtigen Rahmenbedingungen **wie LTE-Mobilfunkstandorte** zu beurteilen. Dies bedeutet, dass bei Einhaltung der Grenzwerte **keine gesundheitlichen Auswirkungen zu erwarten** sind.

Gegenwärtig werden die Vorgaben für die EMF-Messung von 5G-Mobilfunkstandorten abgestimmt, um eine Vergleichbarkeit und korrekte Interpretation der EMF-Messungen zu gewährleisten. Die Annahme ist, dass dies im Verlauf dieses Jahres erfolgt sein wird. Es wird angestrebt, die Berliner EMF-Messungen dann weiter zu führen und 5G-Mobilfunkstationen einzubeziehen.

Abkürzungen

5G	Fünfte Mobilfunkgeneration
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BNetzA	Bundesnetzagentur
dBm	Dezibel Milliwatt
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications (Schnurlostelefone)
EMF	Elektromagnetische Felder
FuAG	Funkanlagenengesetz
Hz	Hertz (physikalische Einheit zur Angabe der Frequenz, siehe Kapitel 2)
IARC	International Agency for Research on Cancer
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
LTE	Long Term Evolution (4. Mobilfunkgeneration)
NISV	Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung / Schweiz
OmeN	Orte mit empfindlicher Nutzung (Begriff der NISV)
SAR	Spezifische Absorptionsrate
SCENIHR	Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks
SSK	Strahlenschutzkommission
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (Schweiz)
W	Watt (physikalische Einheit zur Angabe von Leistung)
WHO	World Health Organisation

Referenzen

- [1] Was sind elektromagnetische Felder, Bundesamt für Strahlenschutz, Internetseite, <http://www.bfs.de/DE/themen/emf/einfuehrung/einfuehrung.html>
- [2] Elektromagnetisches Spektrum, Wikipedia, https://de.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetisches_Spektrum
- [3] Biologische Wirkung hochfrequenter Felder durch Energieabsorption und Erwärmung, Bundesamt für Strahlenschutz, Internetseite, <https://www.bfs.de/DE/themen/emf/hff/wirkung/hff-nachgewiesen/hff-nachgewiesen.html>
- [4] High Frequency, International Commission on non-ionizing radiation protection, Internetseite, <https://www.icnirp.org/en/frequencies/high-frequency/index.html>
- [5] Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields, ICNCRP Guidelines, <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf>
- [6] Umweltschutz - Elektromagnetische Felder, Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz, Internetseite, https://www.berlin.de/senuvk/umwelt/emf_licht/de/emf_start.shtml
- [7] Definition Nahfeld der Bundesnetzagentur, Internetseite, https://emf3.bundesnetzagentur.de/n_glossar.html

- [8] Definition Fernfeld der Bundesnetzagentur, Internetseite, https://emf3.bundesnetzagentur.de/f_glossar.html
- [9] 26. BImSchV - Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, Internetseite, https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_26/
- [10] Anhang 1 der 26. BImSchV, Internetseite, https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_26/anhang_1.html
- [11] Spezifische Absorptionsrate (SAR) von Handys, Bundesamt für Strahlenschutz, Internetseite, <https://www.bfs.de/DE/themen/emf/kompetenzzentrum/mobilfunk/schutz/sar-handy.html>
- [12] 1999/519/EG: Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz - 300 GHz), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A31999H0519>
- [13] Empfehlungen des BfS zum Telefonieren mit dem Handy, Bundesamt für Strahlenschutz, Internetseite, <https://www.bfs.de/DE/themen/emf/kompetenzzentrum/mobilfunk/schutz/empfehlungen-handy.html>
- [14] SAR-Suche, BfS, Internetseite, https://www.bfs.de/SiteGlobals/Forms/Suche/BfS/DE/SARsuche_Formular.html
- [15] Standortverfahren, Bundesnetzagentur, Internetseite, <https://emf3.bundesnetzagentur.de/stob.html>
- [16] Fortschreibung der Selbstverpflichtung gegenüber der Bundesregierung aus dem Jahr 2001 mit dem Schwerpunkt „Kleinzellen“, BMU, 03.04.2020, Internetseite, https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Strahlenschutz/selbstverpflichtung_kleinzellen_bf.pdf
- [17] IARC List of Classification, Internetseite, <https://monographs.iarc.fr/list-of-classifications/>
- [18] Einstufung hochfrequenter elektromagnetischer Felder durch die IARC, BfS, Internetseite, http://www.bfs.de/DE/themen/emf/hff/wirkung/iarc/iarc_node.html
- [19] EMF-Portal der RWTH-Aachen, Internetseite, <https://www.emf-portal.org/de>
- [20] Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR), EU-Kommission, Internetseite, https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/opinions_en
- [21] Bericht der AG Mobilfunk und Strahlung im Auftrag des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK), Schweiz, 18.11.2019, <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/elektrosmog/dossiers/bericht-arbeitsgruppe-mobilfunk-und-strahlung.html>
- [22] Wissenschaftlich diskutierte biologische und gesundheitliche Wirkung hochfrequenter Felder, BfS, Internetseite, <https://www.bfs.de/DE/themen/emf/hff/wirkung/hff-diskutiert/hff-diskutiert.html>
- [23] Wie riskant ist Handystrahlung? Ein Faktencheck, Stiftung Warentest, 27.08.2019, <https://www.test.de/Mobilfunk-Wie-riskant-ist-Handystrahlung-Ein-Faktencheck-5509718-0/>
- [24] ICNIRP Note: Critical Evaluation of Two Radiofrequency Electromagnetic Field Animal Carcinogenicity Studies Published in 2018, <https://www.emf-portal.org/de/article/35966>
- [25] Report of final results regarding brain and heart tumors in Sprague-Dawley rats exposed from prenatal life until natural death to mobile phone radiofrequency field representative of a 1.8 GHz GSM base station environmental emission, Falconi, et al., Ramazzini Institute Bologna, 2018, <https://www.emf-portal.org/de/article/34742>
- [26] Toxicology and Carcinogenesis Studies in Hsd:Sprague Dawley SD Rats Exposed to Whole-Body Radio Frequency Radiation at a Frequency (900 MHz) and Modulations (GSM and CDMA) Used by Cell Phones, M.E. Wyde, et. al., US National Institute of Health, 2018, <https://www.emf-portal.org/de/article/37902>
- [27] NTP Technical Report on Toxicology and Carcinogenesis Studies In B6C3F1/N Mice Exposed to Whole-Body Radio Frequency Radiation at a Frequency (1,900 MHz) and Modulations (GSM and CDMA) Used by Cell Phones, M.E. Wyde, et. al., US National Institute of Health, 2018, <https://www.emf-portal.org/de/article/37901>
- [28] NTP scientist weighs in on 5G technology, National Institute of Environmental Health Science, Januar 2020, Internetseite, <https://factor.niehs.nih.gov/2020/1/community-impact/5g-technology/index.htm>
- [29] 5G, BfS, Internetseite, <https://www.bfs.de/DE/themen/emf/kompetenzzentrum/mobilfunk/basiswissen/5g.html>

- [30] Mitnutzungspotentiale kommunaler Trägerinfrastrukturen für den Ausbau der nächsten Mobilfunkgeneration 5G, BMVI, 01.07.2019, <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/mitnutzungspotentiale-kommunale-traegerinfrastrukturen-ausbau-5g.html>
- [31] Ericsson Mobility Report November 2019, <https://www.ericsson.com/en/mobility-report/reports/november-2019>
- [32] EMF-Messprojekt Berlin 2004/2008, Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz, Internetseite, https://www.berlin.de/senuvk/umwelt/emf_licht/de/emf_mess.shtml
- [33] Datenschutzkonforme Version V1.0 des Abschlussberichtes zum Projekt „EMF-Messung & Auswertung (Mobilfunk) 2020“, Technische Universität Ilmenau, 18.03.2020
https://data.senwtf.verwalt-berlin.de/ssf/s/readFile/share/481/-3642614059079496954/publicLink/Bericht_EMF-Messung-Berlin_2020.pdf
- [34] Datenschutzkonformer Abschlussberichtes Version 1.0 zum Projekt „Immissionsuntersuchung an einer Mobilfunk-Kleinzelle“, Technische Universität Ilmenau, 25.03.2020,
https://data.senwtf.verwalt-berlin.de/ssf/s/readFile/share/480/7409231833444313920/publicLink/Bericht_EMF-Messung-Berlin-Kleinzellen_2020.pdf