

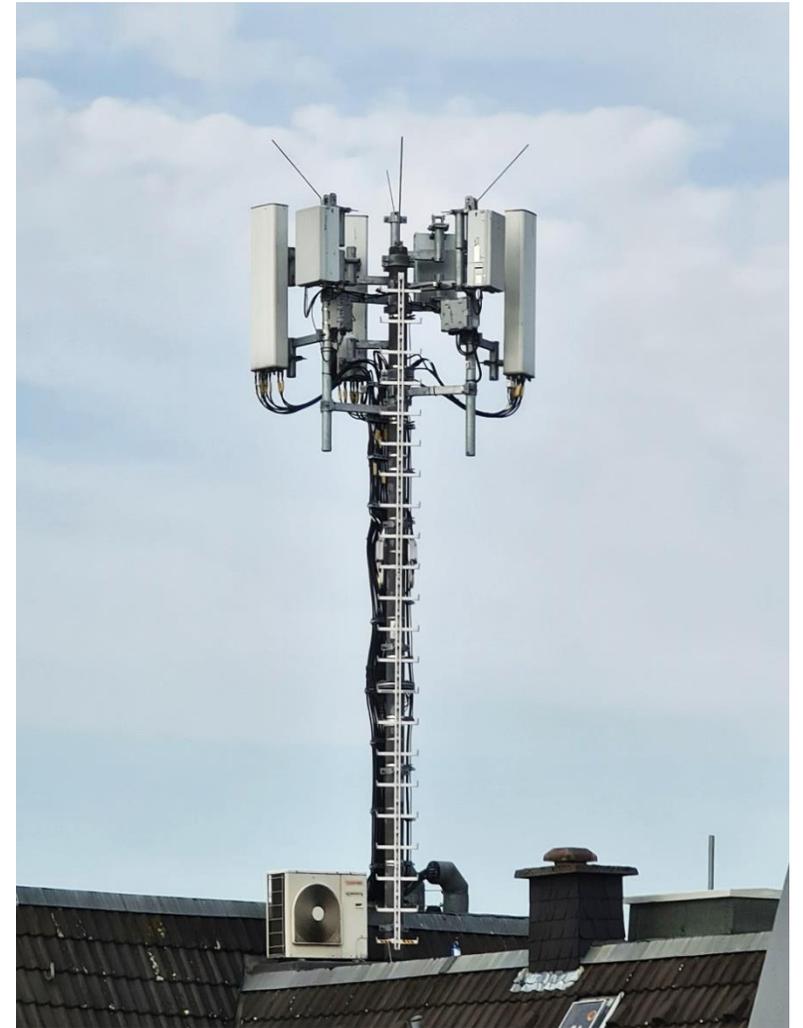
EMV-Workshop: Wie sicher ist 5G im Krankenhausumfeld? Elektromagnetische Verträglichkeit am 5G-Medizincampus des UKDs

23.02.2022

Anna-Malin Schiffarth, M.Sc.

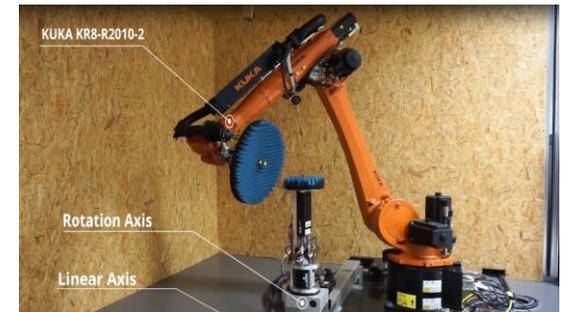
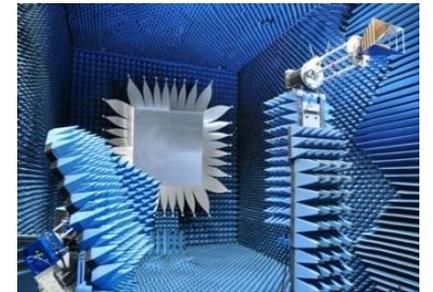
Folgende Fragen werden behandelt:

- Wie unterscheidet sich 5G von bisherigen Mobilfunkstandards bezogen auf die elektromagnetische Verträglichkeit mit Menschen und Medizingeräten?
- Was bedeutet eine vollständige 5G-Inhouse-Versorgung in einem Krankenhaus für den Patientenschutz?
- Warum und wie sollte die Störfestigkeit von Medizingeräten gegenüber 5G überprüft werden?
- Wie sind die Grenzwerte zum Schutz von Mensch und Gerät im Mobilfunk-Bereich und insbesondere bei 5G?



Kurzvorstellung

- Forschungsfelder
 - Immissionen des Mobilfunks (EMVU)
 - Antennen- und Radarmesstechnik
 - Antennendesign und HF-Schaltungen
- Erfahrungen im Bereich EMVU:
 - Fokus: Mobilfunknetze (2G–5G)
 - Kooperation mit Dr. Christian Bornkessel (TU Ilmenau) und Prof. Wuschek (TH Deggendorf)
 - Seit 2020 zwei Projekte im Auftrag des Bundesamts für Strahlenschutz:
 - Messkampagne zur Charakterisierung typischer 5G-Expositionshöhen
 - Hochfrequenz-Messnetzwerk zur Abschätzung der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder des Mobilfunks auf Basis von Smartphone-Apps
 - Seit 2021 Projekt zur Störfestigkeit von Medizingeräten ggü. 5G zusammen mit dem UKD und Vodafone



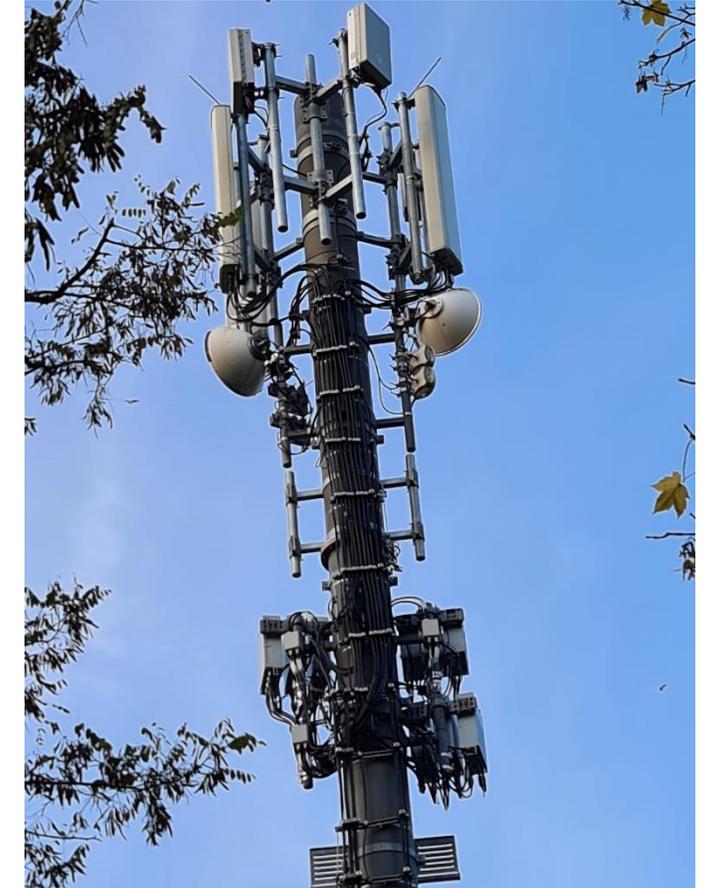
5G NR Anwendungsfälle nach 3GPP

- Enhanced Mobile Broadband (eMBB)
 - Sehr hohe Datenraten auch an den Zellgrenzen
 - Hohe übertragene Datenmengen in der gesamten Zelle
- Massive Machine Type Communication (mMTC)
 - Hohe Dichte an Geräten
 - Große Reichweite
 - Niedrige Datenrate
 - Niedriger Stromverbrauch
- Ultra Reliable and Low Latency Communication (uRLLC)
 - Sehr geringe Latenzzeit
 - Hohe Zuverlässigkeit
 - Niedrige bis mittlere Datenraten



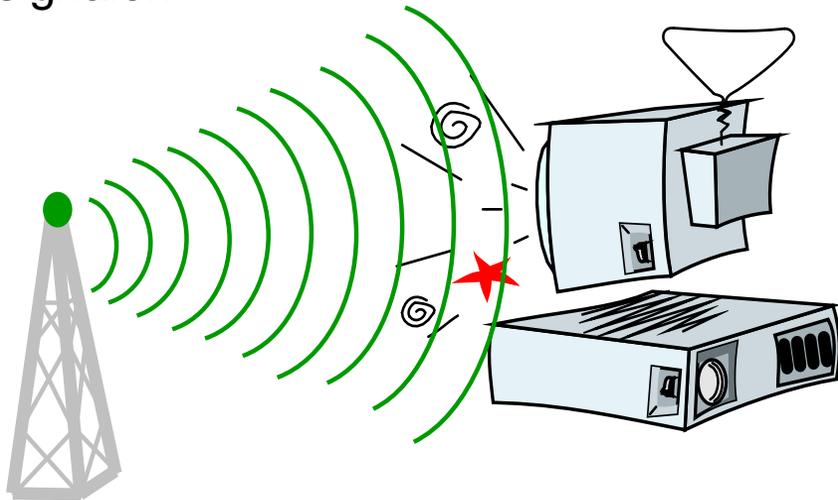
Expositionstechnische Unterschiede von 5G im Vergleich zu 2G – 4G

- Genutzter Frequenzbereich:
 - GSM (2G), UMTS (3G), LTE (4G): 700 MHz – 2,7 GHz
 - 5G: Erweiterung bis zu 3,8 GHz (zukünftig 24 – 52 GHz)
- Kanalbandbreite:
 - GSM, UMTS und LTE: max. 20 MHz
 - 5G: bis zu 100 MHz
- Ausbaustrategien:
 - Passive Antennen
 - Massive-MIMO-Technologie (Möglichkeit zur Strahlformung und -schwenkung)
 - Small Cells



Was versteht man unter EMV?

- Überprüfung der hinreichenden Störfestigkeit: Fähigkeit einer elektrischen Einrichtung in ihrer elektromagnetischen Umgebung störungsfrei zu funktionieren.
- Überprüfung der Störaussendungen: Begrenzung der Aussendung von elektromagnetischen Störsignalen



Was versteht man unter EMVU?

- Biologische Untersuchungen der Beeinflussung von Menschen und Umwelt durch elektromagnetische Felder
- Bildung von Immissionsgrenzwerten zum Schutz der Bevölkerung
- Korrekte Erfassung von Immissionen



EMV

Elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten

Hintergrund und Motivation

- Im Projekt ‚Giga for Health‘ ist eine Inhouse-Versorgung des UKDs mit 5G Radio Dots von Ericsson geplant.
- Neue potentielle Störquelle von elektromagnetischer Strahlung für Medizingeräte
 - Bislang keine Erfahrungen/Untersuchungen zur Störfestigkeit von Medizingeräten gegenüber 5G Inhouse-Anlagen in Krankenhäusern
 - Sicherstellung, dass durch die eingesetzten 5G Radio Dots keine Funktionsstörungen der Medizingeräte auftreten

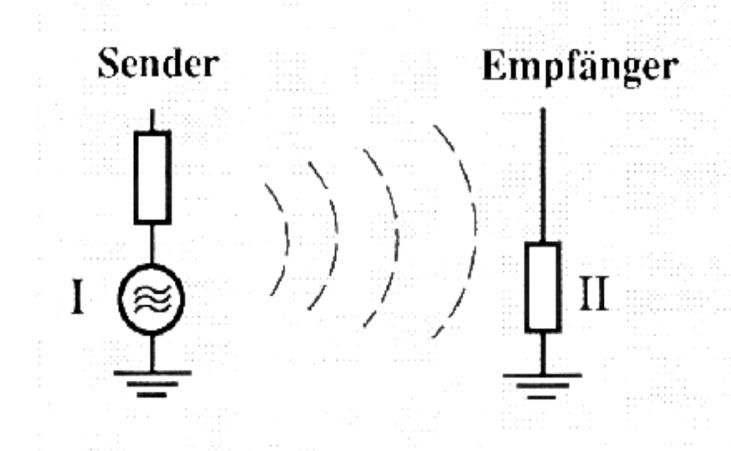


Bild: Digilife/stock.adobe.com



Mechanismus der Strahlungskopplung

- Strahlungskopplung liegt dann vor, wenn sich ein elektrisches Gerät im elektromagnetischen Feld einer Störquelle befindet.
- Beim Auftreffen der elektromagnetischen Welle auf eine elektrisch leitfähige Anordnung (Empfänger) entstehen hochfrequente Spannungen, die sich im Empfängerstromkreis als Störspannungen auswirken (z.B. auf Kabel oder Gehäuseschlitze).
- Mögliche Folgen aus Strahlungskopplung:
 - Keine Störung
→ Gerät ist für diese Frequenz und Leistung hinreichend störfest
 - Gerät ist kurzzeitig gestört
→ Bei Entfernung der Störquelle geht Gerät zurück in Normalbetrieb
 - Dauerhafte Beschädigung, aber Basissicherheit und Funktionalität ist noch gegeben
→ Reparatur notwendig, aber Patientensicherheit ist weiterhin gewährleistet
 - Dauerhafte Beschädigung, Basissicherheit und Funktionalität ist nicht mehr gegeben
→ Reparatur notwendig, Patientensicherheit ist nicht mehr gewährleistet



Quelle: Schwab



Festlegung der notwendigen Störfestigkeit und Begrenzung der Störaussendungen

- Regulierungsgrundlage der elektromagnetischen Verträglichkeit von Anlagen und Geräten durch EMV-Richtlinie der Europäischen Union (2014/30/EU)
 - Sicherstellung durch Hersteller eines elektronischen Geräts mittels Konformitätsbewertungsverfahrens, dass dieses bei Inverkehrbringen auf den europäischen Markt den einschlägigen Normen entspricht
 - Eigenverantwortliche Anbringung des CE-Zeichens
 - Ohne CE-Zeichen darf ein technisches Produkt in der Europäischen Gemeinschaft nicht in Verkehr gebracht werden. Dies bedeutet in diesem Fall:
 - Begrenzung der von ihm verursachten elektromagnetischen Störungen
 - Hinreichende Unempfindlichkeit gegen elektromagnetische Störungen
- Umsetzung der EU-Richtlinie in deutsches Recht durch Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln (EMVG)
- Die Richtlinien und das Konformitätsbewertungsverfahren wird im Falle von Medizingeräten momentan durch die DIN EN/IEC 60601-1-2:2022-01 festgelegt.



Störfestigkeit von Medizingeräten

- Zum Schutz gegenüber elektrischen Feldern von ortsfesten Funksystemen sind abhängig von der Umgebung folgende Störfestigkeiten (Spitzenwerte) definiert:

Schutzkonzept	f in MHz	E in V/m
Professionelle Einrichtung des Gesundheitswesens (nicht lebenserhaltende Geräte*)	80-2700	3
Bereich der häuslichen Gesundheitsfürsorge (lebenserhaltende Geräte*)	80-2700	10

- Abhängig vom Funkdienst sind in direkter Nähe von drahtlosen Kommunikationsgeräten Störfestigkeitspegel (9-28 V/m) in den Prüfplänen festgelegt.
- Keine Störfestigkeit für 3,5 GHz und kein Prüfpegel für 5G definiert
- Ältere Geräte entsprechen älteren Vorgaben
- Geringere Prüfpegel oder andere Frequenzbereiche

*Ältere Ausgabe der DIN EN 60601-1-2



Störrisiko durch mobile Endgeräte im Vergleich zu Basisstationen

- Makrobasisstationen senden zwar eine deutlich höhere Leistung als mobile Endgeräte aus, aber befinden sich in erheblich größeren Abständen zu Medizingeräten.
 - Small Cells oder Inhouse-Versorgungen besitzen zwar eine wesentlich geringere Leistung als Makrobasisstationen, sind aber wie Endgeräte deutlich näher an möglicherweise beeinflussbaren Geräten.
- Wahrscheinlichkeit einer Störbeeinflussung ist durch mobiles Endgerät am größten durch geringsten Abstand zu Medizingeräten
- Studien deuten darauf hin, dass die Gesamtexposition in Innenräumen durch den Einsatz einer Inhouse-Mobilfunkversorgung deutlich reduziert werden kann – vor allem durch die signifikante Verringerung der Sendeleistung der Endgeräte.





Vergleich Störrisiko durch ältere und neuere Mobilfunkgenerationen

- GSM-Systeme besitzen einige Eigenschaften, die im Vergleich zu den neueren Systemen (UMTS, LTE, 5G) zu einem größeren Störpotenzial führen:
 - Aussendung von gepulsten Signalen (217 Hz) bei einem GSM-Endgerätes mit einer Leistung von bis zu 2 Watt
 - Störungen von Geräten treten meist bei “schmalbandigen” Störsignalen auf: Bei GSM-Endgeräten Konzentration der abgestrahlten Leistung auf schmalen Frequenzbereich (GSM: 0,2 MHz, UMTS: 5 MHz, LTE: 20 MHz, 5G: 100 MHz).
 - Bei Endgeräten automatische Reduzierung der Sendeleistung, bis sie für eine gute Verbindungsqualität gerade ausreicht.
 - GSM: beginnend mit der maximal möglichen Sendeleistung bei Aufbau einer Funkverbindung
→ immer wiederkehrende maximale Pulse
 - UMTS, LTE, 5G: beginnend mit minimaler Sendeleistung bei Aufbau einer Funkverbindung
→ nur Aussendung der maximal möglichen Leistung im Falle von schlechten Verbindungsqualitäten
- Studien zeigen ebenfalls, dass die meisten Störungen bei GSM-Endgeräten unter 1 m Abstand zum Medizingerät auftreten.

2G GSM 1992 64 Kbit/s	3G UMTS 2004 0,4-42 Mit/s	4G LTE 2010 50-1600 MBit/s	5G NR 2019 1-20 GBit/s
--	--	---	---

Durchführung der Störfestigkeitsuntersuchungen

- Auswahl der ‚wichtigen‘ Medizingeräte durch die Abteilung Medizintechnik des UKDs
- Generierung eines ‚Worst Case‘-Szenarios:
 - Möglichst geringer aber realistischer Abstand zwischen Medizingerät und Radio Dot
 - Vollaustattung durch Feature „Air Interface Load Generator“
- Testung von möglichen Funktionsbeeinflussungen durch Fachpersonal u.a. mithilfe von Patientensimulatoren
- Bestimmung der ‚Abstandsstörschwelle‘ abhängig vom Einfallswinkel
- Messung der tatsächlich am Medizingerät auftretenden Felder mittels Feldstärkemessgerät





Ergebnisse der durchgeführten Provokationstestungen

- Bislang Untersuchung von 31 als gefährdet eingestuften Medizingeräten
 - Diese repräsentieren 90% der im 5G-Ausbaubereich eingesetzten Medizingeräte
 - Es konnten keine relevanten Funktionsbeeinflussungen sowie Störungen der untersuchten Medizingeräte gegenüber 5G festgestellt werden.
 - Dabei wurde bei allen Medizingeräten eine Mindestfeldstärke von 11,5 V/m außen auf dem Gehäuse gemessen.
- Auf Basis der bisherigen Untersuchungen ist im Realbetrieb der 5G Inhouse-Versorgung mit keiner Funktionsbeeinflussung der untersuchten Geräte zu rechnen.



EMVU

Elektromagnetische Verträglichkeit von Mensch und Umwelt



Abstrahlung und Empfang von elektromagnetischen Feldern

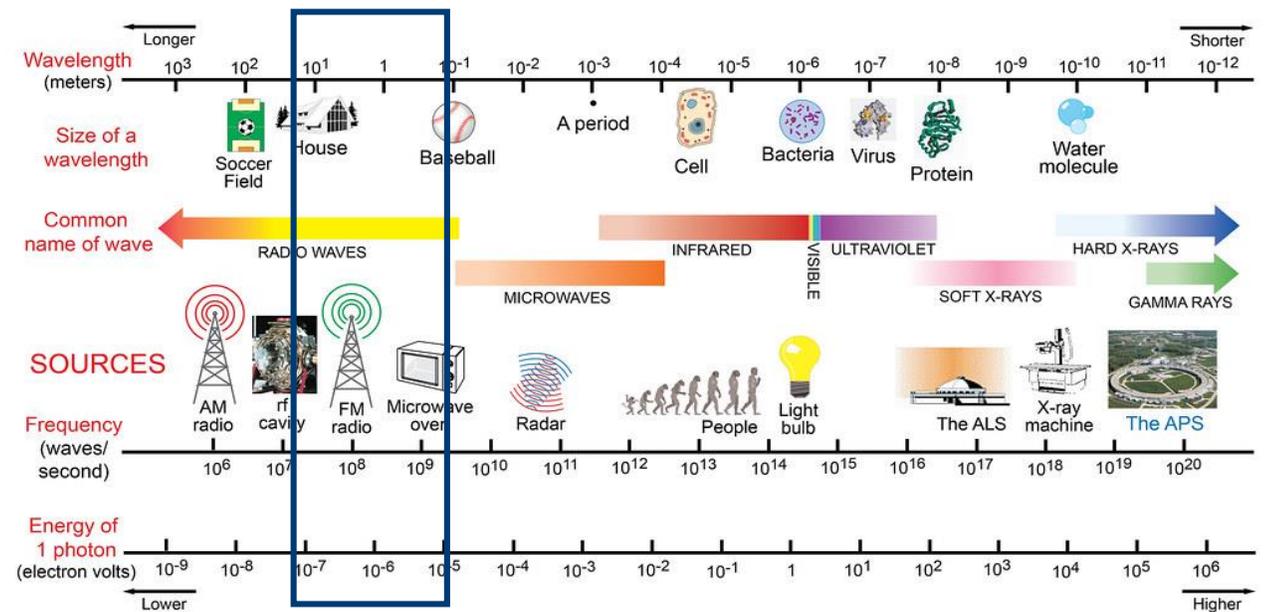
- Durch 5G-Ausbau am UKD Einbringung von neuer Expositionsquelle für Menschen:
 - Unterschied zwischen Emission (Abstrahlung) und Immission (Exposition)
 - In der Regel ist nicht die abgestrahlte Leistung von Bedeutung, sondern die Feldstärke am Ort der Exposition
- Hier: Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF), insbesondere in Mobilfunknetzen
- Die direkte Nähe zu persönlichen Expositionsquellen (z.B. Mobiltelefone) bewirkt oft eine höhere Exposition als durch Basisstationsantennen.
- Dennoch befassen sich Diskussionen und auch wissenschaftliche Veröffentlichungen meist mit der Exposition durch Basisstationsantennen (Downlink)





Wechselwirkungen zwischen elektromagnetischen Feldern und dem menschlichen Körper

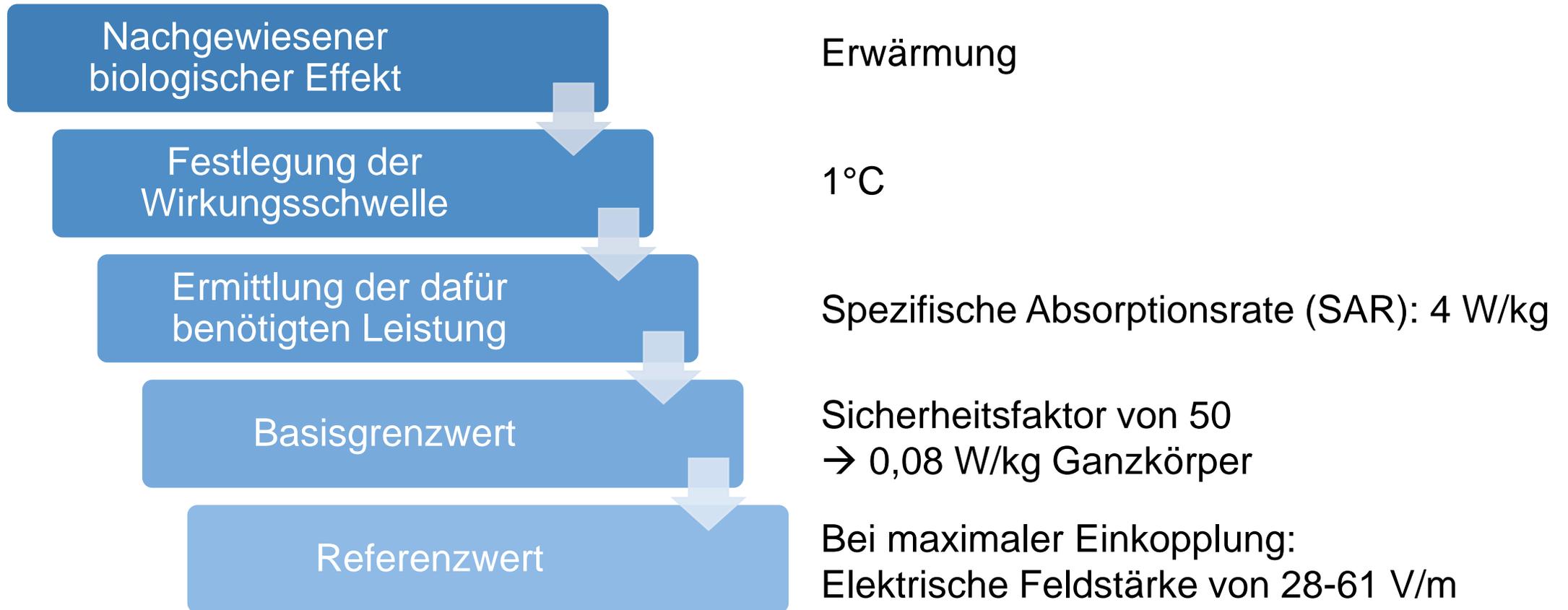
- Je nach Frequenz gibt es verschiedene dominierende Wirkungen von elektromagnetischen Feldern:
 - Statische Felder: Kraftwirkung
 - Niedrige Frequenzen (<10 MHz): Stimulationswirkung
 - Hohe (Mobilfunk-)Frequenzen (>100 kHz): Thermische Wirkung
 - Jenseits der sichtbaren EMF (UV-Licht, Röntgenstrahlen, Gammastrahlen): Ionisierung
- Keine scharfen Grenzen, die Wirkungen überschneiden sich im Spektrum
- Im Frequenzbereich des Mobilfunks (auch bei 5G) ist die thermische Wirkung die einzige wissenschaftlich nachgewiesene und anerkannte Wirkung.



Quelle: staticflickr.com



Verfahren der Grenzwertbildung im Hochfrequenzbereich





In Deutschland geltende Grenzwerte

- In Deutschland gilt die Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV). Die darin festgelegten Grenzwerte stützen sich auf Leitlinien der „Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung“ (ICNIRP 1998).
- Für 5G ist bei den hier verwendeten ortsfesten Anlagen eine elektrische Feldstärke von je nach Frequenz max. 61 V/m in für Personen zugänglichen Bereichen nicht zu überschreiten.
- Die Grenzwerte werden bei der Funknetzplanung in Form von Sicherheitsabständen bereits berücksichtigt.

Frequenz f [MHz]	Elektrische Feldstärke E [V/m] *)	Magnetische Feldstärke H [A/m] *)
0,1 - 1	87	0,73 / f
1 - 10	87 / f ^{1/2}	0,73 / f
10 - 400	28	0,073
400 - 2000	1,375 f ^{1/2}	0,0037 f ^{1/2}
2000 - 300000	61	0,16

*) Effektivwerte, gemittelt über 6-Minuten-Intervalle

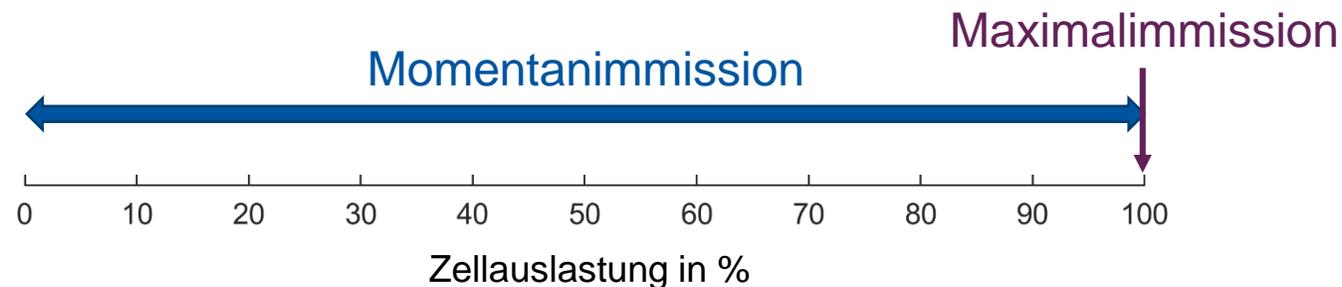
*<https://www.bfs.de/DE/themen/emf/hff/schutz/grenzwerte/grenzwerte.html>

→ Bei Einhaltung der Grenzwerte besteht keine Gefahr für den Menschen.



Betrachtung von unterschiedlichen Auslastungszuständen

- Wichtig: Unterscheidung zwischen
 - Momentanimmission (zeitlicher „Schnappschuss“ der Immission, hängt stark von der aktuellen Zellauslastung ab)
 - Maximalimmission (theoretisch höchstmögliche Immission bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung)
- Entsprechend der Immissionsschutzverordnung (26. BImSchV) muss eine Einhaltung der Grenzwerte für den „worst case“ nachgewiesen werden:
 - höchste betriebliche Anlagenauslastung
 - lokales Feldstärkemaximum (Berücksichtigung von Interferenzen)
 - Beantragung von Standorten und Überwachung durch Bundesnetzagentur (BNetzA)





EMV

- Durch Indoor-Versorgung mit 5G Radio Dots wird eine neue potenzielle Störquelle von elektromagnetischer Strahlung für Medizingeräte ins Krankenhausumfeld eingebracht:
 - Die rechtlichen Rahmenbedingungen geben keine Störfestigkeit bei 3,5 GHz und keine Prüfpegel für 5G vor.
 - Ältere Mobilfunkgenerationen (GSM) sind deutlich störintensiver als neuere Mobilfunktechnologien.
 - Durch Inhouse-Anlagen kann die abgestrahlte Leistung der nächsten Störquelle (mobile Endgeräte) deutlich reduziert werden.
 - Untersuchungen zur Störfestigkeit von Medizingeräten ggü. 5G unter “Worst-Case“-Bedingungen ergaben keine Beeinflussung der Geräte
- Auf Basis der bisherigen Untersuchungen ist im Realbetrieb der 5G Inhouse-Versorgung mit keiner Funktionsbeeinflussung der untersuchten Geräte zu rechnen.

EMVU

- Im Mobilfunk ist die thermische Wirkung die einzige wissenschaftlich nachgewiesene und anerkannte Wirkung
 - Ableitung von Grenzwerten unter „Worst-Case“-Bedingungen → Einhaltung der Grenzwerte werden bereits bei Planung berücksichtigt
 - Tatsächlich vorhandene Immission ist meist deutlich niedriger als die maximal mögliche Immission
- Bei Aufbau der Indoor-Anlage bewirkt die Einhaltung der Grenzwerte, dass keine Gefahr für Menschen besteht und die Leistung von persönlichen Expositionsquellen deutlich reduziert werden kann.

**Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit**