



Monitoring der 5G-Mobilfunkfelder im Umfeld von Mensch und Medizingerät

02.06.2022

Anna-Malin Schiffarth, M.Sc.



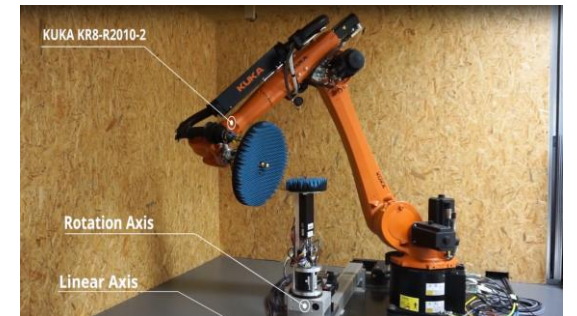
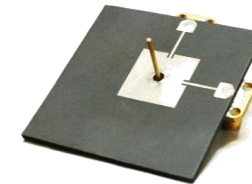
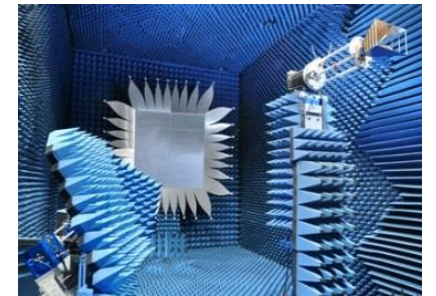
Folgende Fragen werden behandelt:

- Wie unterscheidet sich 5G von bisherigen Mobilfunkstandards bezogen auf die elektromagnetische Verträglichkeit mit Menschen und Medizingeräten?
- Welche Vorgaben bestehen in Deutschland für Mensch und (Medizin-)Gerät im Umfeld von (5G-)Mobilfunksendeanlagen?
- Wie hoch können die elektromagnetischen Felder durch die geplanten Inhouse-Anlagen im UKD im Umfeld von Medizingeräten werden?
- Wie hoch sind die elektromagnetischen Felder durch 5G in der Umgebung von Outdoor 5G-Basisstationen im Gegensatz zu bisherigen Mobilfunkstandards?
- Wie groß sind die Unterschiede zwischen einer maximalen und einer geringen Auslastung einer 5G-Basisstation im Gegensatz zu 2G- und 4G-Basisstationen?



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 und maximaler 5G-Expositionshöhen
 - Hochfrequenz-Messnetzwerk zur Abschätzung der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder des Mobilfunks auf Basis von Smartphone-Apps
 - Seit 2021 Messkampagne zu Feldmessungen im Umfeld von Mobilfunksendeanlagen des LANUV NRW
 - Seit 2021 Projekt zur Störfestigkeit von Medizingeräten ggü. 5G zusammen mit dem UKD und Vodafone



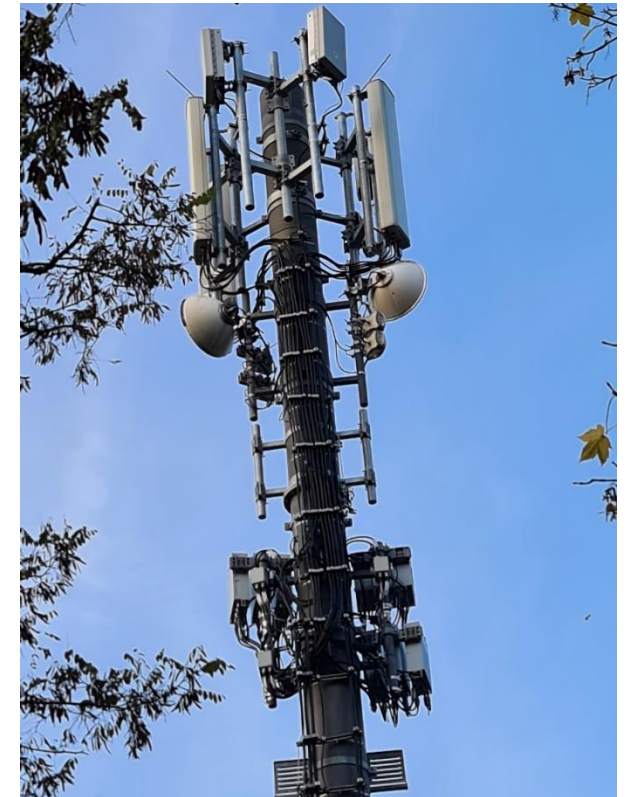
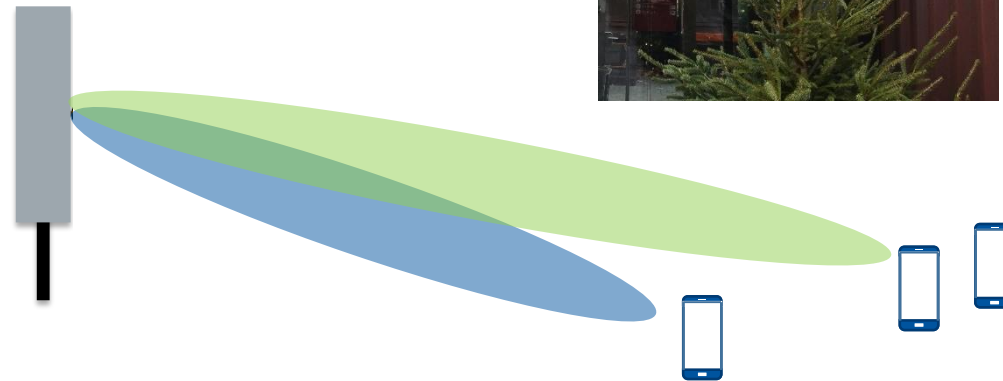
5G NR Anwendungsfälle

- 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



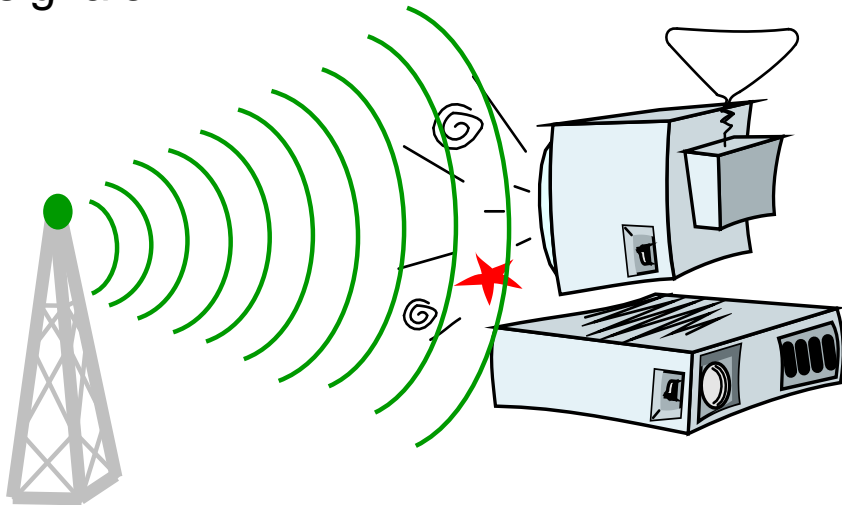
Immissionstechnische Unterschiede von 5G im Vergleich zu 2G – 4G

- 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 (zukünftig 400 MHz)
- Ausbaustrategien:
 - Passive Antennen (z.B. Dynamic Shared Spectrum (DSS))
 - Massive-MIMO-Technologie (Möglichkeit zur Strahlformung und -schwenkung)
 - Small Cells



Für ein Gerät geltende Vorgaben?

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



Für den Mensch geltende Vorgaben?

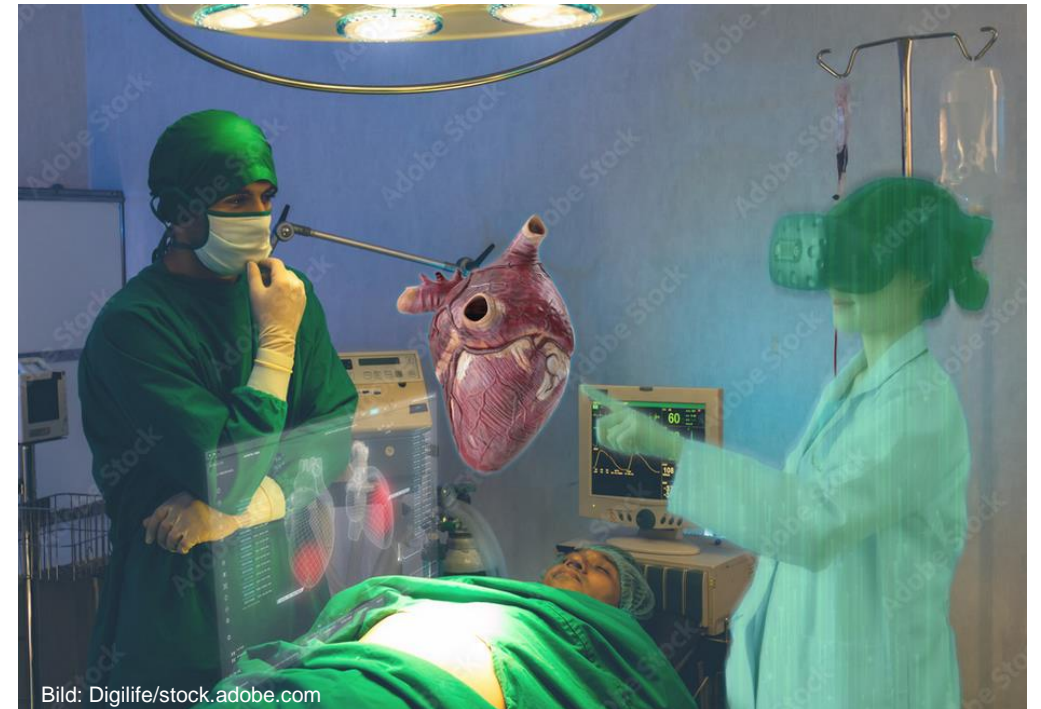
- Biologische Untersuchungen der Beeinflussung von Menschen und Umwelt durch elektromagnetische Felder
- Ableitung von Immissionsgrenzwerten zum Schutz der Bevölkerung
- Korrekte Erfassung von Immissionen



Untersuchungen im Projekt ‚Giga for Health‘

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
- Provokationstestungen anhand von wichtigen Medizingeräten
- Bestimmung der elektromagnetischen Felder im Umfeld der 5G-Inhouse-Anlagen





Störfestigkeit von Medizingeräten

- Regulierungsgrundlage der elektromagnetischen Verträglichkeit von Anlagen und Geräten durch EMV-Richtlinie der Europäischen Union (2014/30/EU)
 - Im Falle von Medizingeräten sind die Richtlinien und das Konformitätsbewertungsverfahren momentan durch die DIN EN/IEC 60601-1-2:2022-01 festgelegt.
 - Zum Schutz gegenüber elektrischen Feldern (80 – 2700 MHz) von ortsfesten Funksystemen sind abhängig von der Umgebung Störfestigkeiten definiert:
 - Professionelle Einrichtung des Gesundheitswesens (nicht lebenserhaltende Geräte): 3 V/m
 - Bereich der häuslichen Gesundheitsfürsorge (lebenserhaltende Geräte): 10 V/m
 - 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



Durchführung der Störfestigkeitsuntersuchungen

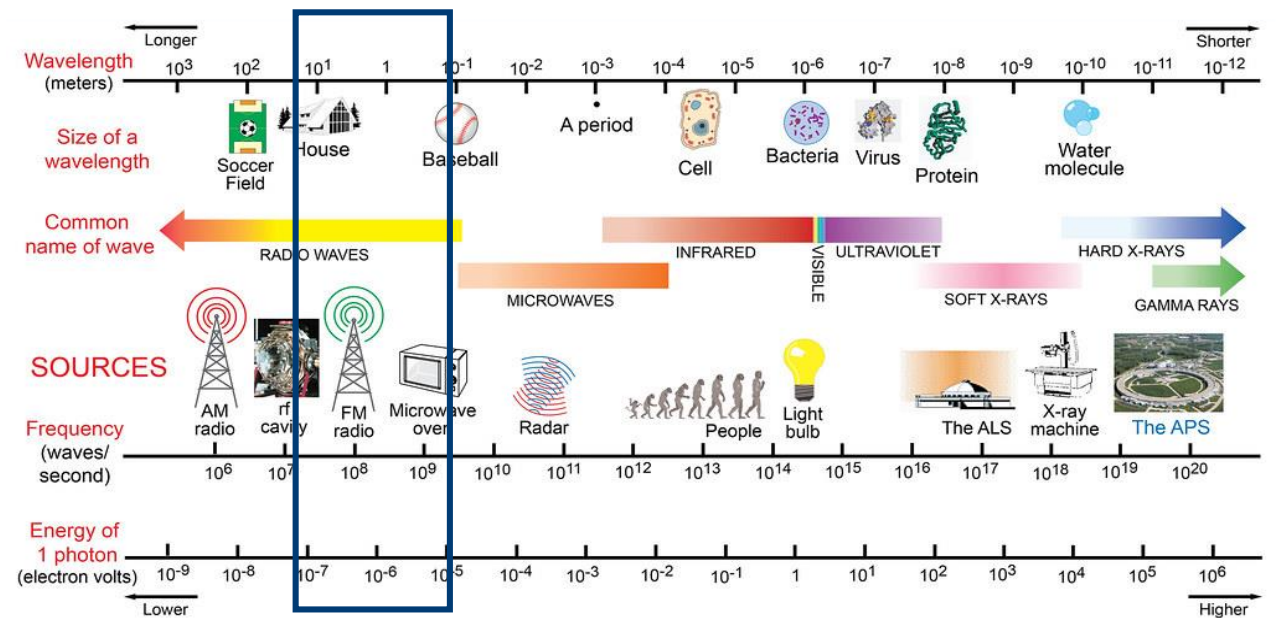
- Auswahl der ‚wichtigen‘ Medizingeräte durch die Abteilung Medizintechnik des UKDs
 - Generierung eines ‚Worst Case‘-Szenarios:
 - Möglichst geringer aber realistischer Abstand zwischen Medizingerät und Radio Dot
 - Vollauslastung durch Feature „Air Interface Load Generator“
 - Testung von möglichen Funktionsbeeinflussungen durch Fachpersonal u.a. mithilfe von Patientensimulatoren
- Bestimmung der ‚Abstandsstörschwelle‘ abhängig vom Einfallswinkel
- Es konnten keine relevanten Funktionsbeeinflussungen sowie Störungen der untersuchten 31 Medizingeräte gegenüber 5G festgestellt werden.
- Auf Basis der bisherigen Untersuchungen ist im Realbetrieb der 5G Inhouse-Versorgung mit keiner Funktionsbeeinflussung der untersuchten Geräte zu rechnen.





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.

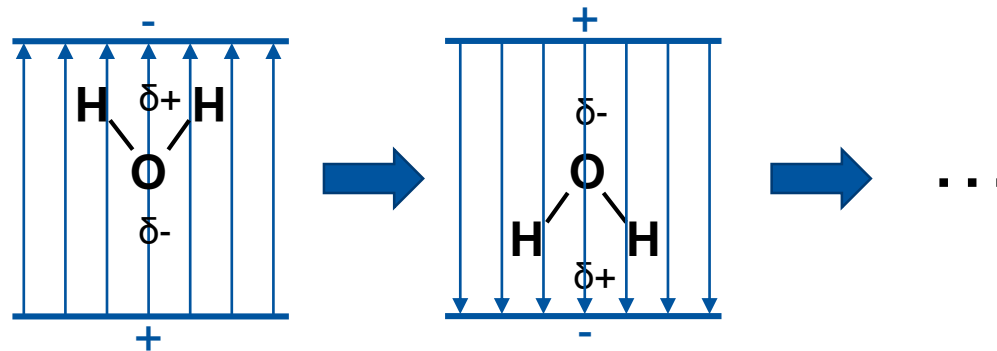


Quelle: staticflickr.com



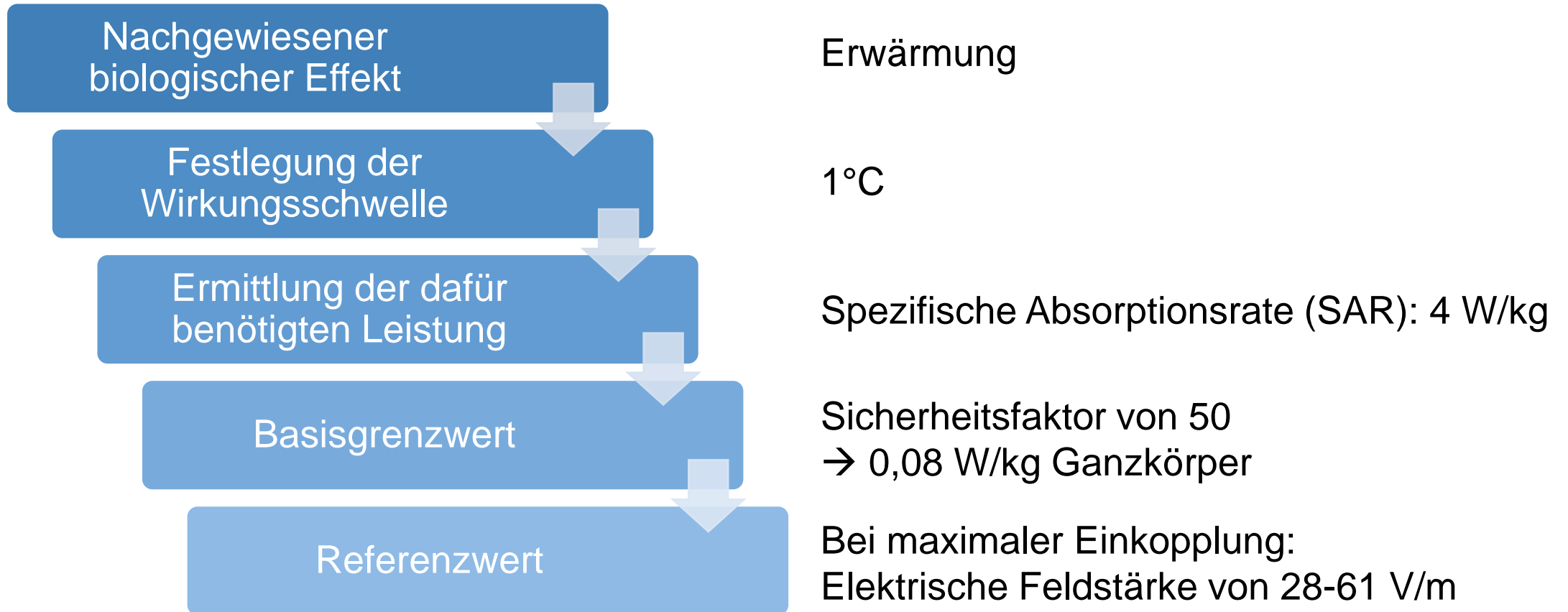
Wechselwirkung zwischen HF-EMF und menschlichem Gewebe

- Die Exposition gegenüber EMF ($f > 100$ kHz) führt zu einer Absorption der Felder und folglich zu einem Temperaturanstieg.
 - Die Absorption wird durch Wassermoleküle (H_2O) verursacht, die mehr als 70% des menschlichen Körpers ausmachen.
 - Das Dipolmoment von H_2O führt zu einer ständigen Neuausrichtung durch das sich schnell ändernde Feld.
 - Die Neuausrichtung erzeugt Reibung und damit eine Erwärmung der Wassermoleküle.
- Es ist anerkannt, dass ein Temperaturanstieg von 1-2°C zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen kann.





Verfahren der Grenzwertbildung im Mobilfunk-Frequenzbereich





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).
- Im Mobilfunkbereich (700 MHz – 3,6 GHz) sind elektrische Feldstärken von je nach Frequenz 38,1 – 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

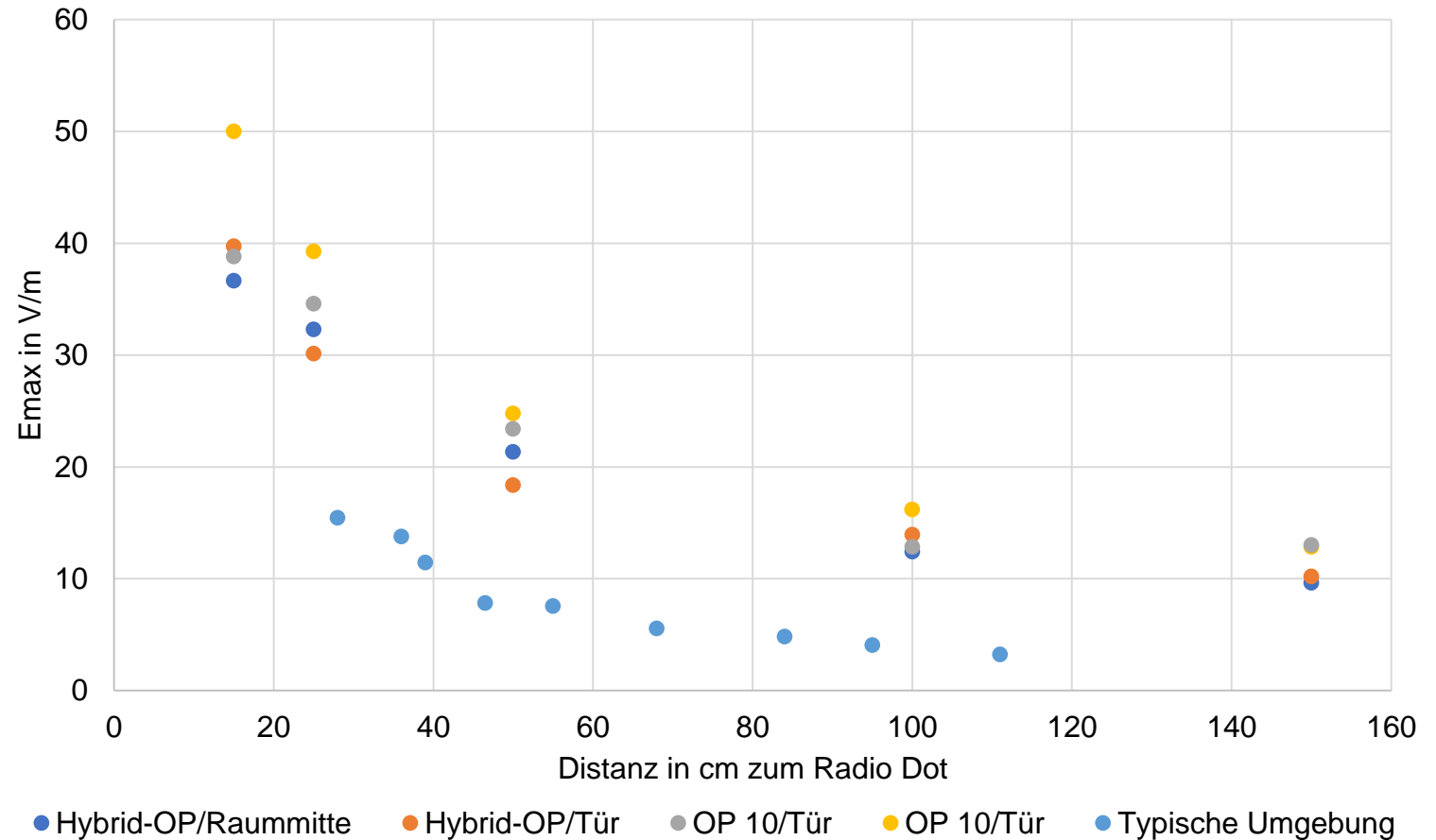
*) Effektivwerte, gemittelt über 6-Minuten-Intervalle

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



Felder im Umfeld eines 5G Radio Dots (Typische Umgebung und OP)

- Messungen in verschiedenen Abständen in
 - typischer Umgebung (Kellerraum)
 - zwei OPs (zwei verschiedene Standorte)
 - Aufnahme der maximalen Feldstärke in einer Ebene
 - Vollauslastung durch Feature „Air Interface Load Generator“
 - Immission in OPs oberhalb der Werte in einer typischen Umgebung
 - Messwerte in verschiedener OPs ähnlich hoch (innerhalb ± 3 dB Messunsicherheit)
- Selbst in direkter Nähe zum Radio Dot unter Worst-Case Bedingungen Felder unterhalb Grenzwerte für den Menschen



Elektromagnetische Felder in NRW | Feldmessungen im Umfeld von 5G-Mobilfunksendeanlagen

Messprogramm im Auftrag des LANUV NRW



5G-Messkampagne

- Messprogramm im Auftrag des Landesamts für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW):
 - Durchführung durch das Institut für Hochfrequenztechnik der RWTH, das Fachgebiet Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik der TU Ilmenau und die EM-Institut GmbH
 - Fortsetzung der früheren Messprogramme zu GSM, UMTS und LTE
 - Berücksichtigung von
 - Dynamic Shared Spectrum (DSS)-Basisstationen (Aussendung von 5G parallel mit LTE im gleichen Frequenzband)
 - Massive-MIMO-Basisstationen (Funkfrequenzen bei 3,6 GHz (Mobile Broadband (MB) 36))
 - Messung der Immissionen elektromagnetischer Felder durch 5G und durch weitere am Standort installierte Mobilfunkanlagen (LTE/GSM) an insgesamt 40 Messpunkten in der Umgebung von zehn ausgewählten 5G-Standorten in NRW

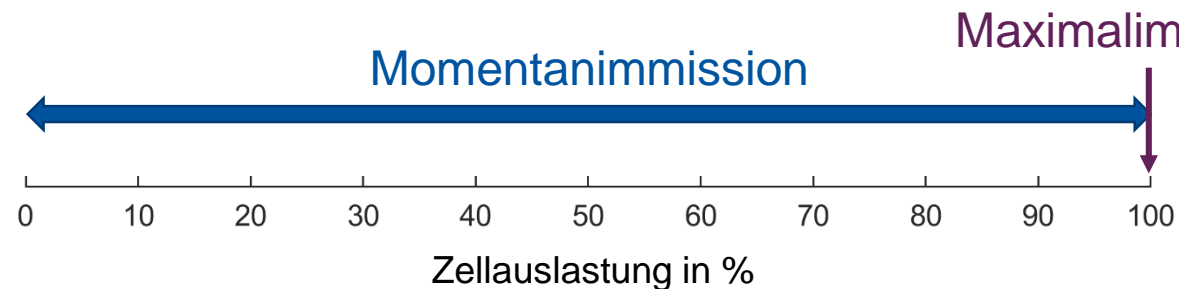


* Bericht verfügbar unter: https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/licht/pdf/LANUV_5G_Zwischenbericht_V3.pdf



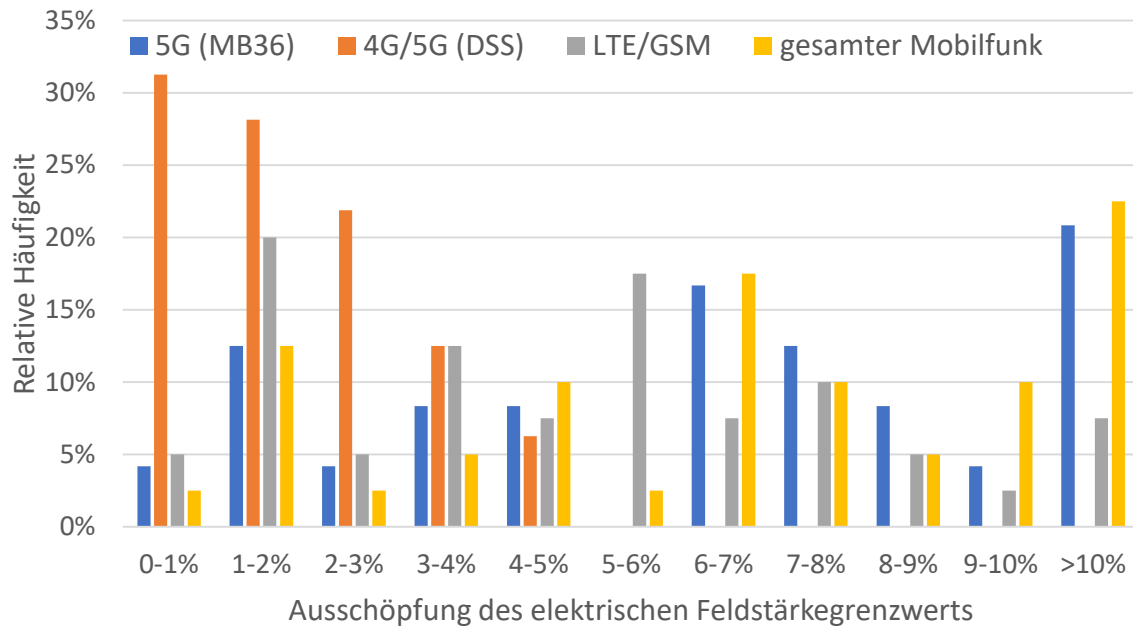
Betrachtung von unterschiedlichen Auslastungszuständen

- Entsprechend der Immissionsschutzverordnung (26. BImSchV) muss eine Einhaltung der Grenzwerte für den „worst case“ nachgewiesen werden:
 - höchste betriebliche Anlagenauslastung
 - lokales Feldstärkemaximum (Berücksichtigung von Interferenzen)
- Vergleich zwischen
 - Momentanmission, bei durch andere Nutzer verursachter Auslastung (zeitlicher „Schnappschuss“ der Immission)
 - „Typischer Immission“, bei Auslastung der Basisstation durch ein Endgerät mit TV-Livestream
 - Maximalmission, bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung (theoretisch höchstmögliche Immission)





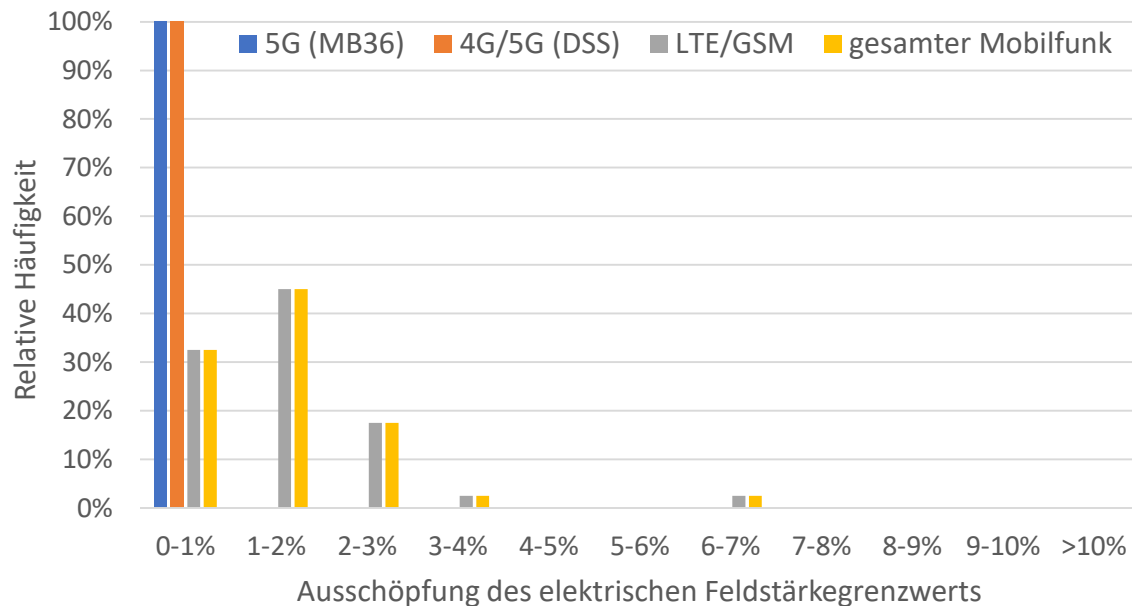
Vergleich der Immissionen von 5G (MB36), 4G/5G (DSS) und LTE/GSM: Maximalimmission



Kenngröße	5G (MB36)	4G/5G (DSS)	LTE/GSM	Mobilfunk gesamt
Maximalwert über alle Messpunkte (MP) [% vom Feldstärkegrenzwert]	47,0	4,9	22,8	52,2
Minimalwert über alle MP [% vom Feldstärkegrenzwert]	0,5	0,1	0,4	0,6
Spannweite über alle MP [dB]	40,2	30,8	35,3	38,8
Durchschnittswert über alle MP [% vom Feldstärkegrenzwert]	13,5	2,2	6,9	12,7
Median über alle MP [% vom Feldstärkegrenzwert]	6,9	1,5	4,9	6,8



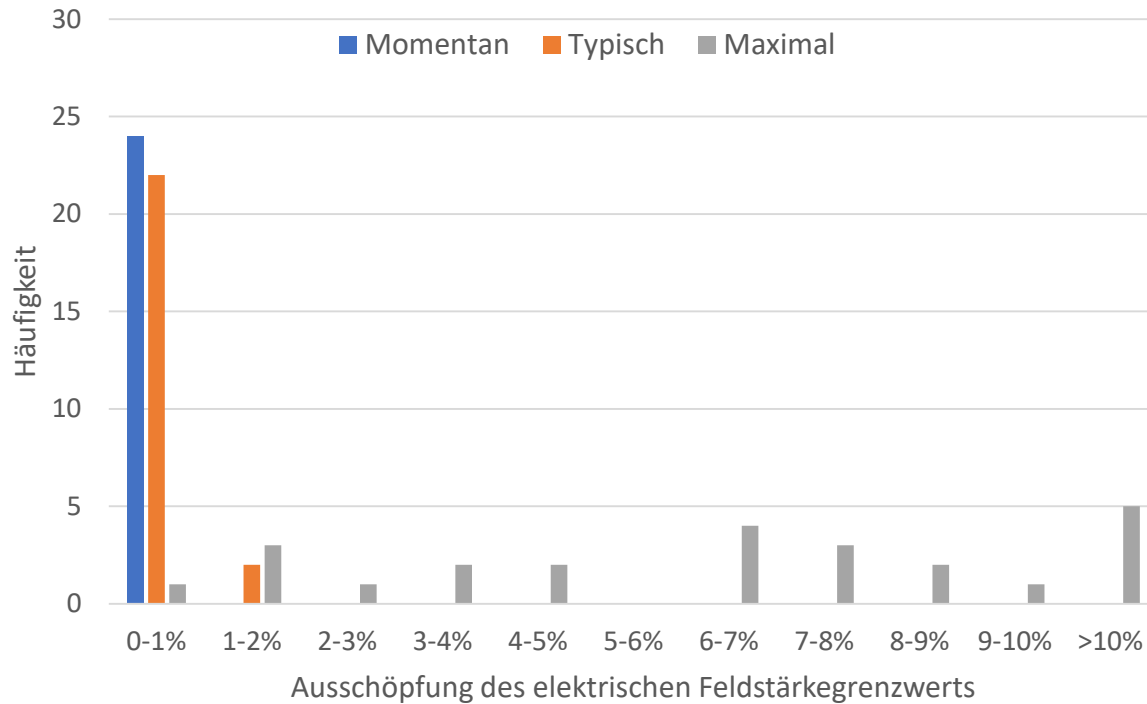
Vergleich der Immissionen von 5G (MB36), 4G/5G (DSS) und LTE/GSM: Momentanimmission



Kenngröße	5G (MB36)	4G/5G (DSS)	LTE/GSM	Mobilfunk gesamt
Maximalwert über alle Messpunkte (MP) [% vom Feldstärkegrenzwert]	0,5	1,0	6,3	6,3
Minimalwert über alle MP [% vom Feldstärkegrenzwert]	0,04	0,02	0,2	0,2
Spannweite über alle MP [dB]	21,8	33,5	32,4	32,0
Durchschnittswert über alle MP [% vom Feldstärkegrenzwert]	0,2	0,3	2,0	2,1
Median über alle MP [% vom Feldstärkegrenzwert]	0,2	0,2	1,3	1,4



Vergleich von typischer, momentaner und maximaler Immission bei 5G (MB36)



Kenngröße	Immissionswerte		
	Momentan	Typisch	Maximal
Maximalwert über alle Messpunkte (MP) [% vom Feldstärkegrenzwert]	0,5	1,9	47,0
Minimalwert über alle MP [% vom Feldstärkegrenzwert]	0,04	0,05	0,5
Spannweite über alle MP [dB]	21,8	31,5	40,2
Durchschnittswert über alle MP [% vom Feldstärkegrenzwert]	0,2	0,53	13,5
Median über alle MP [% vom Feldstärkegrenzwert]	0,2	0,27	6,9



Fazit

- Die höchsten Maximalimmissionen bei 5G (MB36) treten in größeren Entfernungen zur Sendeanlage auf. Dies ist durch das vertikale Schwenken der im 3,6-GHz-Band eingesetzten Beamforming-Antenne bedingt.
- Die durchgeführten Messungen fanden an 5G-Basisstationen (MB36) im Non-Standalone-Betrieb statt.
→ Auch nach Umstellung auf Standalone-Betrieb ist keine Änderung der Maximalimmission zu erwarten.
- Die festgestellten Maximalimmissionen durch 5G (MB36) fallen an den 40 Messpunkten höher aus, als die Maximalimmissionen durch LTE/GSM. Diese liegen jedoch in einer ähnlichen Größenordnung.
→ Die Maximalimmissionen von 4G/5G (DSS) fallen signifikant niedriger aus.
- Beim Vergleich der Momentanimmissionen bei typischen Nutzungsarten zeigen sich bei 5G im 3,6-GHz-Band deutlich niedrigere Werte als bei LTE/GSM. Beim Vergleich der typischen bzw. Momentanimmission und der Maximalimmission lässt sich auch feststellen, dass die Spannweite deutlich höher als bei LTE/GSM ist.
- Erweiterung der Messkampagne in 2022 zu elektromagnetischen Feldern im Umfeld von Small Cells und Endgeräten

**Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit**