



**BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL**

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) bei der
Nutzung von 5G im Gesundheitswesen.

Arbeiten im Projekt GIGA FOR HEALTH.

Autoren



Hannah M. Seichter

Kontakt

Hannah M. Seichter

Institut SIKoM+ | Bergische Universität Wuppertal

Lise-Meitner-Str. 31 / FZ.01.21

42119 Wuppertal

Telefon: 0202 - 439 10 35

E-Mail: seichter@uni-wuppertal.de

Gefördert durch

Ministerium für Wirtschaft,
Industrie, Klimaschutz und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen



Inhaltsverzeichnis

Executive Summary	3
I. Ausgangssituation: Digitalisierung des Gesundheitswesens als Herausforderung	4
II. 5G im Gesundheitswesen	5
III. Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV): Ein wesentlicher Faktor im Kontext der Implementierung von 5G.....	8
III.1 EMV und 5G im Gesundheitswesen	9
III.1.1 EMV: rechtlicher Kontext	10
III.1.2 5G und EMV im Krankenhaus: das Projekt GIGA FOR HEALTH	10
III.1.2.1 EMV im Projekt GIGA FOR HEALTH.....	11
III.1.2.2 EMV-Arbeiten innerhalb eines Krankenhauses: Worauf zu achten ist.....	14
III.1.2.3 Ergebnisse der Arbeiten im Bereich EMV im Projekt GIGA FOR HEALTH	16
Quellen	18

Executive Summary

Die Digitalisierung birgt für das Gesundheitswesen erhebliche Chancen, stellt aber gerade im deutschen Raum die innerhalb der Digitalen Transformation des Gesundheitswesens Beteiligten vor erhebliche Herausforderungen. Gleichzeitig sehen in der fünften Mobilfunkgeneration regio- und national, aber auch im internationalen Kontext, verschiedenste Akteure erhebliches Potenzial für die Digitalisierung des Gesundheitswesens.

Soll es wiederum zur Implementierung von 5G innerhalb des medizinischen Kontextes kommen, ist insbesondere ein Faktor von entscheidender Bedeutung: die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV). EMV beschreibt sowohl die Unbedenklichkeit möglicher Auswirkungen von durch elektronische Geräte verursachten elektromagnetischen Feldern auf Menschen und Umwelt als auch auf andere elektronische Geräte. Grund für die Bedeutung der EMV bei der Implementierung von 5G ist folgender: Während die Unbedenklichkeit möglicher Auswirkungen von elektromagnetischen Feldern gegenüber Menschen und Umwelt durch die Einhaltungspflicht entsprechender Grenzwerte gegenüber 5G gesetzlich festgelegt ist, trifft dies auf Unbedenklichkeit einer Auswirkung auf elektronische Geräte nicht zu. Ziel dieses Beitrags ist es, am Beispiel der Arbeiten im Projekt GIGA FOR HEALTH zu veranschaulichen, welche Rolle der Faktor EMV spielt, wenn 5G innerhalb des Gesundheitswesens implementiert werden soll.

I. Ausgangssituation: Digitalisierung des Gesundheitswesens als Herausforderung

Der Einsatz der Digitalisierung im Gesundheitswesens Nicht zuletzt durch die Corona-Pandemie wurde in den vergangenen Jahren verstärkt deutlich, welche Potenziale die Digitalisierung im Kontext einer Gesundheitserhaltung bereit hält (vgl. Stachwitz et al. 2023, 105; Engelhard 2022, 108). Doch nicht nur dort, sondern auch wenn es um den medizinischen Kontext¹ geht, ist für Akteure im Gesundheitswesen² der dortige Einsatz digitaler Technologien mit vielen Chancen verbunden. Broich et al. etwa benennen in diesem Kontext u.a. eine bessere und effizientere Gesundheitsversorgung sowie neue und bessere Behandlungsmethoden und -wege (vgl. Broich et al. 2021).

Gleichzeitig stellt die Digitalisierung des Gesundheitswesens Deutschland vor erhebliche Herausforderungen. Im Vergleich zu anderen europäischen Ländern³ besteht in diesem Bereich ein erhöhter Handlungsbedarf. Grund dafür ist primär, dass in der Bundesrepublik Deutschland erst verspätet Grundlagen für eine entsprechende Digitalisierung geschaffen wurden und das Land dadurch in entsprechenden Rankings aus dem Jahr 2022 lediglich im untersten Drittel rangiert (Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) 2022, 96; Seemann 2022, 42). So arbeiteten laut dem Wissenschaftlichen Institut der AOK im Jahre 2019 trotz der offensichtlichen Potenziale der Digitalisierung⁴ für das Gesundheitswesen mit rund 40 Prozent weniger als die Hälfte aller 167 deutschen Krankenhäuser, die sich einer Messung von deren Digitalisierungsgrad im Rahmen des EMRAM (Electronic Medical Record Adoption Model) unterzogen, digital⁵ (vgl. Klauber et al.; AOK-Bundesverband 18.03.2019).

¹ d.h. des Bereiches, der alle Aktivitäten umfasst, die sich mit den Krankheiten des Menschen und deren Behandlung beschäftigen (vgl. Bock 1993; Duden.de o.J. b).

² d.h. der Einrichtungen, welche die Förderung, den Erhalt sowie die Wiederherstellung der Gesundheit der Bevölkerung dienen (vgl. AOK-Bundesverband 2021; Duden.de o.J. a).

³ So haben etwa insbesondere Estland und viele skandinavische Länder bereits vor Jahren erfolgreich Strukturen für die Digitalisierung des Gesundheitswesens gelegt und konnten somit entsprechende gesetzliche Grundlagen sowie nutzbare Infrastrukturen erfolgreich etablieren (vgl. Seemann 2022, 42).

⁴ Zu nennen sind hier in erster Linie die im Zuge der Digitalisierung verbesserte Verfügbarkeit, Erhebung und Auswertung von gesundheitsbezogenen Daten (vgl. Veit et al. 2019, 20), die Leistungen wie Telemedizin (d.h. die Bereitstellung von medizinischen Leistungen an einem anderen Ort als diese empfangen werden sowie unter Nutzung von Informations- und Telekommunikationstechnologien (vgl. Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 14.10.2019)) sowie digitale Rezepte oder Patient*innenakten möglich machen und damit gesundheitsbezogene Leistungen beschleunigen können (vgl. BMG 2020, 7).

⁵Als Maßstab für die Feststellung des Grades der Digitalisierung von deutschen Krankenhäusern nutzen die Autor*innen des Wissenschaftlichen Instituts der AOK das EMRAM (Electronic Medical Record Adoption Model), das bemisst, ob und wenn ja, wie ausgereift Krankenhäuser Patient*innendaten wie Vitalwerte digital übermitteln (vgl. Klauber et al. 2019, XIII).

Ebenso wird mit der fünften Mobilfunkgeneration ein noch junger⁶ Konnektivitätsstandard verstärkt im Kontext eines Einsatzes digitaler Anwendungen im Gesundheitswesen genannt. Damit 5G innerhalb des Gesundheitswesens gewinnbringend genutzt werden kann, ist es wiederum notwendig sicherzustellen, dass die Einführung der 5G-Technologie nicht zulasten der Funktionsfähigkeit der innerhalb des Gesundheitswesens bereits implementierten Technik geht. Dies bedeutet konkret, dass die von 5G verursachten elektromagnetischen Felder unbedenklich für die Funktionsfähigkeit der Medizintechnik sein müssen. Ein Faktor, der in diesem Zusammenhang eine bedeutsame Rolle spielt und auch im Forschungsprojekt GIGA FOR HEALTH berücksichtigt wird, ist die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV).⁷ Ziel dieses Beitrags ist es, ausgehend von den Arbeiten in GIGA FOR HEALTH⁸, die Bedeutung der EMV innerhalb einer Nutzung von 5G im Gesundheitswesen sichtbar zu machen.

II. 5G im Gesundheitswesen

Vor dem Hintergrund, dass in Bezug auf die Digitalisierung des Gesundheitswesens in Deutschland deutliches Entwicklungspotenzial besteht (s.o.), ist es nicht überraschend, dass in der Bundesrepublik in den letzten Jahren zahlreiche Projekte im Bereich Digitalisierung und Gesundheitswesen umgesetzt wurden. So listet der Innovationsausschuss beim gemeinsamen Bundesausschuss Mitte 2023 insgesamt 210 Projekte, die in diese Kategorie fallen – davon 57 beendete, 34 in der Abschlussphase sowie 119 laufende Projekte (vgl. Innovationsausschuss beim Gemeinsamen Bundesausschuss o.D.). An anderer Stelle unterstützt die Bundesregierung mit ihrer Innovationsinitiative „Daten für Gesundheit“ und der Roadmap für eine bessere Patientenversorgung Forschungsaktivitäten im Bereich Digitalisierung und Gesundheit strategisch.⁹

⁶ In Deutschland ist 5G seit Juli 2019 verfügbar (vgl. Verbraucherzentrale.de 2022). Als erster Mobilfunknetzbetreiber stellte die Vodafone GmbH im Sommer 2019 5G öffentlich bereit (vgl. Baumann 2019).
⁷ Nähere Informationen zum Projekt GIGA FOR HEALTH sowie elektromagnetischer Verträglichkeit finden sich im weiteren Verlauf dieser Arbeit.

⁸ für nähere Informationen zum Projekt GIGA FOR HEALTH, s. III.1.2.1 5G und EMV im Krankenhaus: das Projekt GIGA FOR HEALTH.

⁹ für nähere Informationen zur Roadmap, s. <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/service/publikationen/details/daten-helfen-heilen-innovationsinitiative-daten-fuer-gesundheit-roadmap-fuer-eine-bessere-patientenversorgung-durch-gesundheitsforschung-und-digitalisierung.html>.

Dabei ist 5G eine Technologie, die in Deutschland, aber auch im internationalen Kontext an verschiedenen Stellen wiederholt genannt wird, wenn es um die Digitalisierung des Gesundheitswesens geht – sowohl von Akteuren aus dem Bereich Wirtschaft wie Unternehmensberatungen, Konnektivitätstechnikherstellern und -anbietern als auch von Seiten der Politik¹⁰. Als eine Erklärung für diesen Sachverhalt lassen sich zwei eng miteinander verknüpfte Faktoren interpretieren: Die technologischen Potenziale des Konnektivitätsstandards (s.u.) sowie der wirtschaftlichen Umsatz, den sich Akteure im Bereich Wirtschaft wie Ericsson innerhalb des Anwendungsbereiches Gesundheitswesen versprechen und der zudem in mehreren Whitepaper zu einem Einsatz der fünften Mobilfunkgeneration im Gesundheitswesen¹¹ deutlich wird.

So hält 5G mit seinen potenziellen Vorteilen gegenüber älteren Mobilfunkgenerationen, d.h.

- einer geringeren Latenz von bis zu einer Millisekunde
- einer größeren Bandbreite (Peak-Downlink-Rate mit 20 Gbit/s)
- einer höheren Störfestigkeit

(vgl. Deutschland spricht über 5G/Bundesministerium für Digitales und Verkehr 04.10.2020; pwc 2021, 7) die infrastrukturelle Grundlage bereit, die theoretischen Potenziale der Digitalisierung unter Verwendung derzeitiger technischer Standards bestmöglich nutzbar zu

¹⁰ Im Bereich Wirtschaft sind die Strategie- und Unternehmensberatungen pwc und Ernst & Young (EY) sowie die Konnektivitätsanbieter Vodafone und der Mobilfunknetzausrüster Ericsson nur einige von vielen, die innerhalb von Publikationen wie Reports und Whitepapers einen Einsatz von 5G innerhalb des Gesundheitsbereichs als wirtschaftlich potenzialreich und zukunftssträftig einschätzen. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang die Publikationen *5G im Gesundheitswesen – Der Standard, der Standards setzt?* (pwc-Whitepaper); das *Health Care Magazin*, Ausgabe Winter 2020 (EY); *5G: Digitalisierung des Gesundheitswesens* (Vodafone-Whitepaper) sowie der *Ericsson Mobility Report* aus dem Jahr 2021 (Ericsson). Zwar wird in Ericssons Mobility Report im Vergleich zum Vorjahr das Gesundheitswesen nicht mehr als eigenes Themenfeld betrachtet, , allerdings finden das Gesundheitswesen als Anwendungsbereich von 5G (vgl. Ericsson November 2022; Ericsson Juni 2022) sowie innerhalb des Gesundheitswesens zu verordnende Anwendungsfelder verstärkt Erwähnung. Dies weist auf die anhaltende Bedeutung des Gesundheitswesens für die fünfte Mobilfunkgeneration hin. Konkret werden die Einsatzfelder „healthcare services“, „telemedicine“, „health monitoring“ sowie „remote healthcare“ genannt (vgl. Ericsson Juni 2022).

Aus politischer Perspektive erwähnt national bereits im Jahr 2017 das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur das Gesundheitswesen neben Intelligenter Mobilität, Industrie 4.0, Smart Farming, Intelligente Versorgungsnetze sowie Medien der Zukunft als einen von insgesamt fünf zentralen Einsatzbereichen für 5G (vgl. BMVI 2017, 10f.); regional fördert das Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIKE) im Rahmen seiner 5G.NRW-Förderwettbewerbe mit GIGA FOR HEALTH, 5G EURIALE, 5SURVIVE mehrere Forschungsprojekte, die sich mit dem Einsatz von 5G im Gesundheitswesen beschäftigen (vgl. WIRTSCHAFT.NRW.de . Juni 2021; land.nrw.de 14.06.2022).

¹¹ s. hierzu die vorangegangene Fußnote: Ericsson benennt innerhalb mehrerer seiner Mobility Reports *health* als wichtiges Themenfeld für mobile Anwendungen.

machen.¹² Auch durch die verstärkte Bereitstellung von Fördermitteln für dieses Querschnittsthema, d.h. 5G im Gesundheitswesen, sind in den vergangenen Jahren zahlreiche Projekte entstanden, die sich an der Schnittstelle von Digitalisierung und Gesundheit bewegen und die die Potenziale von 5G für diese Schnittstelle nutzen wollen – sowohl regio-, natio- als auch international¹³. Ergänzend wird die Digitalisierung des Gesundheitswesens unter Nutzung von 5G auch von anderen Akteuren im internationalen Kontext¹⁴ thematisiert. Neben der oben genannten Schnittstelle ist diesen Projekten gemein, dass eine ihrer zentralen Zielsetzungen in der Nutzung von 5G zur Verbesserung der Patient*innenversorgung besteht – mit Hilfe von 5G erhofft man sich, schneller auf Gefahrensituationen wie z. B. medizinische Notfälle reagieren zu können. Dabei bieten die Vorteile, die 5G gegenüber älteren Mobilfunkstandards verspricht, für Akteure im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien, wie bspw. Huawei oder Ericsson, die Grundlage für zahlreiche neue Anwendungsszenarien (vgl. Huawei 2021). Der Medizinsektor ist dabei ein Bereich, in dem 5G-fähige Use Cases insbesondere für die oben benannten Akteure ein besonders großes Potenzial haben.

Grund dafür sind auch die zahlreichen Fortschritte, die ein potenzieller Einsatz von 5G, bedingt durch diese Vorteile gegenüber anderen Mobilfunkstandards, befördern kann. Die Möglichkeit,

¹² Neben den oben benannten Vorteilen von 5G bringt die fünfte Mobilfunkgeneration allerdings auch Nachteile gegenüber älteren Mobilfunkgenerationen mit sich, darunter

- eine steigende Komplexität der Netze, die eine Behebung von auftretenden Fehlern herausfordernder macht
- eine geringere Reichweite der Frequenzen, die 5G nutzt und die die ein dichteres Sendestationen-Netz für eine zufriedenstellende Nutzung des Mobilfunkstandards nötig macht.

(vgl. Chip.de 2020; JavaTPoint o.D.)

¹³ Regional sind mit Blick auf entsprechende Projekte an der Schnittstelle 5G und Gesundheit/Medizin die aus den zwei Runden des 5G.NRW-Förderwettbewerbs hervorgegangenen Projekte 5G EURIALE (s. <https://www. adesso-mobile.de/euriale/>), GIGA FOR HEALTH (s. <https://www.uniklinik-duesseldorf.de/forschung-lehre/5g-medizincampus>) und SURVIVE (s. <https://www.telenotarzt.de/Survive-2/>) zu nennen (s.o.). Weitere Beispiele aus NRW bestehen in 5G im Rettungsdienst (s. https://www.kreis-coesfeld.de/aktuelles/nachrichten/veroeffentlichungen-einzelansicht.html?tx_news_pi1%5Bnews%5D=6381&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=3d164216772f3aee069948cbafe14159) Innovative Secure Medical Campus (s. <https://www.ki.nrw/flagships/innovative-secure-medical-campus/>). National wird 5G im Bereich Gesundheit/Medizin u.a. innerhalb der Vorhaben Health5GNet (s. <https://health5g.net/>), THIEM:COTTBUS5G (s. <https://www.ctk.de/research/forschungsprojekte/thiemcottbus5g.html>) sowie 5G-ehealthsax (s. <https://www.helios-gesundheit.de/kliniken/leipzig-park-klinikum/unser-haus/5g-ehealthsax/>) in Niedersachsen, Brandenburg und Sachsen eingesetzt.

¹⁴ International sind im Kontext einer Nutzung von 5G im medizinischen Kontext u.a. die Projekte Health5G (s. auch <https://health5g.eu/> sowie <https://www.forschung-it-sicherheit-kommunikationssysteme.de/projekte/health5g>), an dem Konsortialpartner*innen aus sieben verschiedenen Ländern arbeiten; das Siriraj World Class 5G Smart Hospital (Thailand; s. auch <https://www.huawei.com/en/news/2021/12/smart-hospital-thailand-5g-siriraj>) sowie die Nutzung von 5G innerhalb eines Pilotprojektes am Samsung Medical Center (Korea, s. auch <https://www.prnewswire.com/news-releases/kt-and-samsung-medical-center-to-build-5g-smart-hospital-300989452.html>) zu nennen.

hohe Datenraten und Datenkapazitäten mit geringer Latenz zu übermitteln sowie eine größere Sicherheit und geringere Anfälligkeit für Störungen, welche 5G verspricht (vgl. Ericsson 2021, 13), kann gerade in der Medizin schnellere Entscheidungen, Diagnosen und Versorgungen befähigen und damit Leben retten.

Entsprechend zukunftssträchtig ist auch die Rolle des Anwendungsbereiches Medizin im 5G-Kontext (vgl. *ibid*, 22). Nach den Prognosen von Ericsson eröffnet sich hier ein vielversprechendes Geschäftsfeld für Netzbetreiber*innen mit Umsatzchancen von bis zu 76 Milliarden US-Dollar im Jahr 2026 (vgl. Ericsson o.J.) und den Use Cases Patientenapplikationen, Krankenhausapplikationen, medizinisches Datenmanagement sowie anderen Anwendungen, die einen schnellen Zugang zu medizinischer Versorgung ermöglichen.

III. Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV): Ein wesentlicher Faktor im Kontext der Implementierung von 5G

Ein Faktor, der insbesondere im Kontext der Implementierung von 5G im Gesundheitswesen eine wesentliche Rolle spielt, ist der der elektromagnetischen Verträglichkeit.

Mit elektromagnetischer Verträglichkeit wird die zufriedenstellende Funktionsfähigkeit elektronischer Geräte bezeichnet, ohne dass sie durch die elektromagnetischen Felder anderer elektronischer Geräte gestört werden und ohne dass sie selbst andere Geräte durch ebendiese stören (vgl. Informationszentrum Mobilfunk o.J.). Gemäß der EMV-Richtlinie des EU-Rates müssen ausgehende elektromagnetische Felder beschränkt sowie elektronische Geräte (insbesondere medizinische Geräte) hinreichend störfest gegenüber elektromagnetischen Feldern sein. In Deutschland werden spezifische Konformitätsbewertungsverfahren, also Richtlinien an die genaue Störfestigkeit der Geräte, in DIN-Normen festgehalten. Nach der DIN-Norm 60601-1-2 ist eine Störfestigkeit gegenüber einer Mindestfeldstärke von drei Volt pro Meter (V/m) im Frequenzbereich des Mobilfunks im Krankenhausumfeld festgelegt (vgl. *ibid*).

Der Mobilfunkstandard der fünften Generation kann potenziell für eine größere elektromagnetische Belastung von elektronischen Geräten sorgen. Grund dafür sind die damit verbundenen höheren Frequenzen sowie die potenzielle Vernetzung von immer mehr Geräten mit 5G im Rahmen eines Internet of Things (IoT; vgl. Vollmann & Rinortner 2019). Bisherige Berechnungs- und Messansätze, die zur Ermittlung der hochfrequenten Immissionen der

vorherigen Mobilfunkstandards (d.h. 2G, 3G sowie 4G) entwickelt wurden, können daher nicht ohne weiteres auf die fünfte Mobilfunkgeneration übertragen werden. (vgl. Bornkessel et al. 2020, 449-455). Um 5G EMV-konform einsetzen zu können, müssen neue Berechnungs- und Messansätze für die fünfte Mobilfunkgeneration entwickelt werden.

III.1 EMV und 5G im Gesundheitswesen

Besonders relevant ist der Faktor der EMV innerhalb des medizinischen Kontextes. Überall dort, wo Medizintechnik bzw. medizinische Geräte genutzt werden, kann deren Fehlfunktion, die durch eine nicht gewährleistete EMV verursacht wird, zu erheblichen Schäden führen. Anders als in weiteren Einsatzbereichen von 5G, wie beispielsweise der Industrie oder Logistik, haben zwei durch eine nicht sichergestellte elektromagnetische Verträglichkeit mögliche Szenarien direkte Auswirkungen auf den Menschen: Eine Funktionsstörung der im medizinischen Bereich eingesetzten elektrischen Geräte und ein Ausfall der 5G-Verbindung zum Anwendungszeitpunkt der fünften Mobilfunkgeneration innerhalb medizinischer Anwendungsfälle¹⁵. Daher müssen bei einem Einsatz von 5G im Krankenhaus sowohl die Funktionsfähigkeit des eingesetzten 5G-Netzes und damit der für die Nutzung von 5G benötigten technischen Geräte¹⁶ als auch die Funktionsfähigkeit der innerhalb des jeweiligen Krankenhauses bzw. dem Einsatzort innerhalb des Gesundheitswesens verwendeten medizinischen Geräte sichergestellt werden.

In Bezug auf die Funktionsfähigkeit des 5G-Netzes ist dessen Störfestigkeit bereits im Zuge der Gesetzeslage kalkulierbar: Im Rahmen der für eine Marktzulassung notwendigen EMV-Zertifizierungspflicht sind die höchstmöglichen elektromagnetischen Felder, welche von den Medizingeräten selbst ausgesandt werden können, klar definiert (vgl. DIN EN 60601-1-2:2022-01).¹⁷

Erheblicher Forschungsbedarf besteht allerdings, wenn es um die elektromagnetische Verträglichkeit von Medizingeräten gegenüber 5G im 3,6 GHz Band geht (vgl. Schiffarth et al. 2022, 501). Bis zum Zeitpunkt der Arbeiten im Projekt GIGA FOR HEALTH, welche die

¹⁵ Dies ist insbesondere der Fall, wenn die im Krankenhaus eingesetzte Medizintechnik bei lebenserhaltenden Maßnahmen der Patient*innen genutzt wird oder es in Bezug auf den Einsatz von 5G zu einer Nutzung der fünften Mobilfunkgeneration innerhalb zeitkritischer Szenarien wie der Vernetzung zweier Ärzt*innenteams bei Operationen kommt.

¹⁶ So etwa während eines Einsatzes von 5G im Rahmen einer Inhouse-Versorgung genutzte 5G-Radio-Dots (vgl. RF Wireless World 2012) oder 5G-Antennen.

¹⁷ Für weitere Ausführungen zur in Bezug auf EMV geltenden rechtlichen Lage, s. nachfolgenden Abschnitt.

elektromagnetische Verträglichkeit von Medizingeräten und 5G innerhalb dieses Frequenzbereichs untersuchen¹⁸, haben noch keine Studien bzw. wissenschaftlichen Untersuchungen dazu stattgefunden, wie medizinische Geräte auf 5G reagieren.

III.1.1 EMV: rechtlicher Kontext

Um die gesundheitliche Unbedenklichkeit elektromagnetischer Felder für den Menschen zu gewährleisten, ist die maximal zulässige elektromagnetische Feldstärke in allen öffentlich zugänglichen Bereichen in der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchV) reguliert (vgl. BfS 31.01. 2022). Diese Regulierung berücksichtigt auch Grenzwerte für die fünfte Mobilfunkgeneration.

Für elektrische Geräte und die von ihnen verursachten elektromagnetischen Felder gilt: Medizinische Geräte müssen nach der Deutschen Industrienorm (DIN) EMV-geprüft bzw. zertifiziert sein, bevor sie auf dem Markt zugelassen werden können (vgl. TÜV Nord.de o.J.); DIN EN 60601-1-2:2022-01). Diese Regulierung berücksichtigt ebenfalls eine Prüfungspflicht für drahtlose Kommunikationsgeräte, denen gegenüber die Einhaltung der entsprechenden Normen im EMV-Kontext nachzuweisen ist. Eine erneute Prüfpflicht der EMV nachdem die Geräte in den Markt eingeführt worden sind, besteht hingegen nicht (vgl. BG ETEM.de 02.05.2023). Aus diesem Grund ergibt sich also auch bei Medizingeräten die Herausforderung, dass unklar ist, wie diese auf elektromagnetische Frequenzen von Konnektivitätsstandards reagieren, welche nicht in der zum Zeitpunkt der Zulassung der Geräte gültigen DIN-Norm berücksichtigt sind (vgl. Schiffarth et al., 2022, 501). Da auch in der aktuell gültigen DIN-Norm DIN EN 60601-1-2:2022-01 keine Normung in Bezug auf die fünfte Mobilfunkgeneration enthalten ist, ist für Medizinprodukte, die nach der Einführung von 5G eine Zulassung nach DIN-Norm erhalten haben, unklar, wie sie auf 5G reagieren (vgl. *ibid*).

III.1.2 5G und EMV im Krankenhaus: das Projekt GIGA FOR HEALTH

Neben den oben benannten Projekten (s. Fußnote 6 sowie 7) wird sich auch im Rahmen des Projektes GIGA FOR HEALTH mit der Nutzbarmachung von 5G innerhalb des Gesundheitswesens auseinandergesetzt. Ergänzend berücksichtigt GIGA FOR HEALTH einen sehr wesentlichen Faktor der Nutzbarmachung, nämlich die elektromagnetische

¹⁸ Auf ebendiese Arbeiten wird an späterer Stelle innerhalb dieses Beitrags eingegangen.

Verträglichkeit. GIGA FOR HEALTH ging mit einer Fördersumme von fast 10 Millionen Euro als und einem Konsortium aus insgesamt acht Partnern als größtes von insgesamt 13 Projekten aus der ersten Runde des 5G.NRW-Förderwettbewerbs hervor, in dessen Rahmen das Land Nordrhein-Westfalen Forschungsaktivitäten im Kontext der fünften Mobilfunkgeneration finanziell unterstützt¹⁹. Im Projekt hat sich das Konsortium zum Ziel gesetzt, 5G innerhalb der Patient*innenversorgung, Forschung und Lehre zu erproben und in diesem Zusammenhang verschiedene Hardware-Komponenten mit der Konnektivitätstechnologie zu bespielen, darunter Augmented Reality-Datenbrillen sowie die Wearables „Vital Patches“, die Gesundheitsdaten von Patient*innen in Echtzeit aufzeichnen. Wie bei den oben benannten Projekten besteht die primäre Zielsetzung des Einsatzes von 5G auch in GIGA FOR HEALTH darin, schneller auf Gefahrensituationen reagieren und lebensrettende Maßnahmen einleiten zu können.²⁰ Die Basis für die Erprobung von 5G in den benannten Szenarien bzw. Use Cases und der entsprechenden 5G-fähigen Hardware bildet ein eigenes hybrides 5G-Campusnetz²¹, welches von der Vodafone Group auf dem Campus des Universitätsklinikums Düsseldorf (UKD) im Rahmen des Projektes aufgezogen wurde.

II.1.2.1 EMV im Projekt GIGA FOR HEALTH²²

Neben der Erprobung von 5G innerhalb der oben benannten Anwendungsszenarien besteht eine wesentliche Fragestellung von GIGA FOR HEALTH darin, wie ein Einsatz der fünften Mobilfunkgeneration in einem hybriden 5G-Campusnetz unter Beachtung der EMV in einem Krankenhausumfeld umgesetzt werden kann. Berücksichtigt werden sowohl die elektromagnetische Verträglichkeit von 5G in Bezug auf die Umwelt und den Menschen (d.h. die elektromagnetische Umweltverträglichkeit (EMVU)) als auch auf medizinische Geräte.

¹⁹ S. hierzu auch: <https://www.wirtschaft.nrw/5g>.

²⁰ Für detailliertere Informationen dazu, wie 5G innerhalb der verschiedenen Anwendungsszenarien im Bereich der Patient*innenversorgung, Forschung und Lehre eingesetzt werden soll, s. die Website des Projektes: <https://www.uniklinik-duesseldorf.de/forschung-lehre/5g-medizincampus>.

²¹ Innerhalb eines hybriden Campusnetzes wird 5G sowohl unter Nutzung des exklusiven 5G-Campusnetzes als auch unter Verwendung des öffentlichen, frei verfügbaren 5G-Netzes bereitgestellt. Damit handelt es sich bei einem hybriden Campusnetz um eine Mischform von öffentlichem und privaten Netz. (vgl. BMWi 2020, 21). Im Projekt GIGA FOR HEALTH wird ein 5G-Campusnetz am Uniklinikum Düsseldorf (UKD) an einem Großgebäude des UKDs sowie der Gebäude, die für eine Testung der einzelnen 5G-Use Cases auf 5G angewiesen sind, bei laufendem Betrieb realisiert. Dazu wird eine Outdoor- und Inhouse-Versorgung eingerichtet und durch eine Mobile Edge Computing-Lösung ergänzt (vgl. Universitätsklinikum Düsseldorf, o.J.).

²² Für weitere Erläuterungen zu den Arbeiten im Bereich EMV im Projekt GIGA FOR HEALTH s. auch die projekteigene Website: <https://www.uniklinik-duesseldorf.de/forschung-lehre/5g-medizincampus/5g-infrastruktur-technik/5g-medizincampusnetz>.

Da die Verträglichkeit von elektromagnetischen Feldern gegenüber Mensch und Umwelt bereits im Rahmen entsprechender Grenzwerte bereits rechtlich reguliert ist (s.o.), wird auch bei der Funknetzplanung im Projekt GIGA FOR HEALTH darauf geachtet, dass diese Grenzwerte nicht überschritten werden. In Bezug auf die elektromagnetische Verträglichkeit im Kontext von Geräten zu Geräten (EMV) müssen, angesichts der im Zusammenhang mit der fünften Mobilfunkgeneration bestehenden Forschungs- und Gesetzeslücke (s.o.), allerdings neue Messansätze entwickelt werden, wenn ein Einsatz von 5G in einem Krankenhaus im Rahmen einer Indoor-Versorgung nicht zu Lasten der Funktionsfähigkeit der dortigen Medizintechnik gehen soll.

Gleichzeitig sind die Arbeiten im Bereich EMV Wegbereiter für eine möglichst optimale Nutzung von 5G innerhalb des Universitätsklinikums Düsseldorf sowie darüber hinaus²³. Um die Latenzen so gering halten zu können, wie es die technischen Anforderungen der einzelnen Use Cases im Projekt vorsehen²⁴, ist es essentiell, den Abstand zwischen den einzelnen 5G-Sendestationen und dem Einsatzort von 5G, also innerhalb des Krankenhauses und für die 5G-fähigen Devices (s.o.), so gering wie unter Berücksichtigung der EMV möglich²⁵ zu halten. Im Rahmen dieser Zielsetzung werden folgende Punkte berücksichtigt:

- die Störfestigkeit der Medizingeräte gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern
- die Ausrichtung (Richtdiagramme) der 5G-Sendeantennen
- mögliche Dämpfungen der hochfrequenten elektromagnetischen Felder durch Wände.²⁶

Dazu wird zunächst im Rahmen von Provokationstests, d.h. der gezielten Exposition von Medizinprodukten mit den durch 5G verursachten hochfrequenten elektromagnetischen Feldern, die tatsächliche Störfestigkeit von Medizinprodukten mit der zuvor theoretisch ermittelten Störfestigkeit in anderen durch die DIN-Norm abgedeckten Frequenzbändern

²³ Innerhalb zweier telemedizinischer Anwendungsfälle soll 5G sowohl innerhalb auch außerhalb des UKDs genutzt werden. Dort soll 5G zwei Ärzt*innenteams miteinander verbinden, von dem sich eines auf dem Gelände des UKDs und ein anderes in einem anderen Krankenhaus bzw. in einem Rettungswagen befindet.

²⁴ Die technischen Anforderungen im Sinne von Latenzen liegen bei den einzelnen Use Cases im Projekt bei 5 bis maximal 100 ms.

²⁵ Ein Maximalabstand, den die einzelnen 5G-Sendedevice zu den 5G-fähigen Geräten höchstens haben durften, ohne die Umsetzung der Use Cases zu gefährden, wurde im Projekt nicht festgelegt.

²⁶ Da Medizingeräte im Zuge von deren Zulassung auf dem Markt im Rahmen der jeweiligen DIN-Normierungen auch in Bezug auf die durch sie selbst ausgesandten elektromagnetischen Felder getestet sind, ist ihre höchstmögliche Störaussendung bereits definiert bzw. kalkuliert. Daher fanden im Projekt keine EMV-Messungen an den 5G sendenden Devices statt.

verglichen. Dieser Schritt ist besonders wichtig, um eine Funktionsfähigkeit der Medizintechnik zu gewährleisten und gleichzeitig den Abstand zwischen 5G-Sendeanlagen und Medizintechnik so gering wie möglich zu halten. Ist eine spezifische Störfestigkeit der Medizingeräte gegenüber den 5G-Sendeanlagen ermittelt, kann daraus abgeleitet werden, mit welchem Mindestabstand die 5G bereitstellenden Radio Dots zu den Medizingeräten angebracht werden dürfen.

Die innerhalb der Provokationstests ermittelten tatsächlichen Störfestigkeiten der Medizintechnik gegenüber 5G-Sendedevice bilden wiederum die Basis für das Aufstellen von Planungskriterien für 5G-Netze an Orten, an denen auch Medizintechnik verwendet wird, und besitzen damit ein hohes Transferpotenzial innerhalb des Gesundheitswesens. Die im Projekt erzielten Ergebnisse sind insbesondere im Kontext der Erstellung von Planungskriterien für 5G Inhouse-Installationen relevant, da die verwendeten 5G-Sendestationen potenziell näher an der Medizintechnik liegen.

In Ergänzung dazu sind die im Rahmen des GIGA FOR HEALTH-Projektes durchgeführten Arbeiten zu EMV nicht nur für die technische Dimension, sondern auch für eine weitere Dimension des Implementierungsprozesses relevant, nämlich jene der Technikakzeptanz. Dies betrifft bei 5G in Verbindung zu EMV potenzielle Bedenken gegenüber den von der fünften Mobilfunkgeneration genutzten elektromagnetischen Felder bzw. der Skepsis gegenüber einer Strahlungsbelastung durch 5G bei 5G-Inhouse-Anlagen. Daher sind die im Projekt gewonnenen Ergebnisse ergänzend für Personen von Interesse, die Bedenken gegenüber einer möglichen Strahlungsbelastung durch 5G haben, sei es aufgrund befürchteter Geräteausfälle oder einer Gefährdung der menschlichen Gesundheit durch die von 5G verursachten elektromagnetischen Felder.

Im Projekt wurden Tests an insgesamt 31 medizinischen Geräten durchgeführt, deren mögliche Empfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Feldern vom Universitätsklinikum Düsseldorf als besonders kritisch²⁷ bewertet wurde und die im 5G-Ausbaubereich besonders häufig verwendet werden. Damit wurden mit den EMV-Tests im Projekt insgesamt 90 Prozent der wichtigen innerhalb des Ausbaubereichs von 5G genutzten Geräte abgedeckt (vgl. Schiffarth et al. 2022, 502). Die restlichen 10 Prozent der kritischen Geräte konnten aus Zeitgründen nicht untersucht werden, da es sich um Einzelgeräte handelt, deren Untersuchung weitere Jahre andauert und damit die Projektlaufzeit deutlich überschritten hätte. Eine wesentliche

²⁷ D.h. für die ein Ausfall für eine/einen Patient*in besonders schädigend wäre.

Herausforderung, 100 Prozent der im Ausbaubereichen genutzten kritischen Medizintechnik zu gewährleisten, ergibt sich durch die Gesetzeslücke innerhalb der aktuell geltenden DIN-Normierung, welche 5G nicht berücksichtigt: In einem Krankenhaus und damit vsl. auch für das 5G-Ausbaubereich wird kontinuierlich neue Medizintechnik angeschafft, die angesichts der aktuellen Gesetzeslücke nicht auf eine Störfestigkeit gegenüber 5G getestet ist. Langfristig ist allerdings davon auszugehen, dass die aktuell geltende DIN-Normierung um 5G erweitert wird.

II.1.2.2 EMV-Arbeiten innerhalb eines Krankenhauses: Worauf zu achten ist

Soll ein 5G-Netz wie im Projekt GIGA FOR HEALTH unter Berücksichtigung der elektromagnetischen Verträglichkeit geplant werden, gilt es verschiedene Faktoren zu beachten.

Zunächst ist im Zuge des Aufstellens von EMV-Messwerten für 5G-Inhouse und -Outdoor-Anlagen zu berücksichtigen, dass keine identischen Werte für beide Modelle verwendet werden können. Grund dafür ist, dass bei In- und Outdooranlagen die Strahlungscharakteristika, bspw. durch die Ausrichtung der für den Aufbau der Anlagen verwendeten Antennen, voneinander abweichen. Dabei sind besonders bei der Planung der Inhouse-Anlage vorherige EMV-Arbeiten relevant. Grund dafür ist, dass die innerhalb der Inhouse-Anlage 5G bereitstellende Geräte näher an der Medizintechnik positioniert sind als dies im Falle der Outdoor-Anlage der Fall ist. Weitere relevante Faktoren im Zusammenhang mit den EMV-Messungen ergeben sich im Kontext der für die Ermittlung der EMV nötigen Provokationstests: Im Zuge der Durchführung von Provokationstests ist es notwendig, die durch 5G potenziell höchstmöglich auftretenden elektromagnetischen Felder zu simulieren, bevor das anvisierte 5G-Netz überhaupt implementiert wird. Im Projekt GIGA FOR HEALTH wurden dazu die im fertigen 5G-Netz auftretenden Felder durch eine einzelne individuell konfigurierbare Zelle simuliert. Die Herausforderung bei der Durchführung der Tests im Krankenhaus besteht darin, dass die Prüfung der Störfestigkeit bei laufendem Betrieb stattfindet. Daher muss während des Tests sichergestellt werden, dass die Funktionsfähigkeit der übrigen im Krankenhaus verwendeten Medizintechnik nicht beeinträchtigt wird. Dies kann nur gewährleistet werden, wenn die Provokationstests in einem isolierten Raum stattfinden. Für einen 5G-Netztest muss gleichzeitig gewährleistet werden, dass die im Test verwendeten 5G-Signale sendenden

Devices²⁸ ein GPS-Signal empfangen können und mit weiteren 5G-Netzen synchron laufen, also das 5G-Signal zeitgleich mit den anderen 5G-Basisstationen aussenden. Da diese Synchronisierung unter Nutzung eines GPS-Signals erfolgt, müssen bei den Provokationstests bzw. bei der Simulation eines Worst-Case-Szenarios²⁹ also zwei Dinge sichergestellt werden: (1) Die Abschirmung des Raums sowie (2) der Empfang des GPS-Signals, welches nötig ist, um die durch ein 5G-Campusnetz möglichen auftretenden elektromagnetischen Felder zu simulieren. Üblicherweise werden EMV-Testungen in einem EMV-Prüf- und Testlabor durchgeführt. Diese Option war im Projekt allerdings nicht realisierbar, da die zu prüfenden Geräte nur für eine geringe Zeit³⁰ aus dem laufenden Betrieb entfernt werden konnten. Der Transport in ein entsprechendes Labor war somit ebenfalls ausgeschlossen. Zusätzlich war für die im Rahmen des Projektes durchgeführten Tests notwendig, dass die Geräte während der EMV-Testung korrekt verwendet werden, wozu das UKD-Medizinpersonal die Testungen unterstützen musste. Bei der Testung innerhalb eines Prüflabors hätten also nicht nur die Medizingeräte, sondern auch das Personal, welches die Geräte während der Tests hätte bedienen müssen, notwendig gewesen. Dies hätte einen erheblichen Mehraufwand bedeutet. Im Zuge der Gewährleistung der beiden Kriterien kann ein erhöhter zeitlicher, technischer und wirtschaftlicher Aufwand auftreten. So musste im Projekt GIGA FOR HEALTH das 5G-sendende Device umgebaut werden, damit es auch im isolierten OP-Saal, in welchem die Testungen stattfanden, ein GPS-Signal empfangen konnte. Dies bedeutete sowohl einen zusätzlichen Service seitens des Geräteherstellers als auch eine zeitliche Verzögerung der Arbeiten. Ergänzend gilt es im Kontext der Organisation der Messungen zu beachten, dass jede Pilotinstallation sowie EMV-Testung bzw. -Messung, die nicht im Zuge von Zertifizierungsverfahren und damit im Zuge der von Seiten der durch die Hersteller*innen der Technikgeräte veranlassten Testungen stattfinden, vor deren Durchführung bei der Bundesnetzagentur (BNetzA) angemeldet werden müssen (vgl. Bundesnetzagentur, o.J.).

²⁸ Im Projekt GIGA FOR HEALTH betraf dies das sogenannte Reck. Das 5G-Sendedevice wurde zur Simulation der später im Projekt zu implementierende und 5G innerhalb der Inhouse-Lösung bereitstellende Red Box von Vodafone genutzt.

²⁹ In GIGA FOR HEALTH erfolgte die Prüfung der elektromagnetischen Verträglichkeit von Medizintechnik gegenüber 5G im Rahmen der Generierung eines Worst-Case Szenarios, innerhalb dessen die von dem am UKD geplanten 5G-Netz ausgehenden höchstmöglichen elektromagnetischen Felder simuliert werden. Um ein solches Szenario zu generieren, wurden im Projekt von der Vodafone bereitgestellte 5G Radio Dots der Firma Ericsson genutzt. Diese wurden unter voller Sendeleistung sendend in einem Abstand von bis unter 40 cm zu den innerhalb der Prüfung der EMV berücksichtigten Medizintechnik angebracht, um deren Störfestigkeit gegenüber 5G zu testen.

³⁰ von z.T. nur ein bis zwei Stunden.

In Bezug auf den Faktor der Technikakzeptanz ist nach den Erfahrungen aus dem Projekt GIGA FOR HEALTH eine frühe Einbindung des Personalrats sowie der Arbeitssicherheit in die Arbeiten im Bereich EMV relevant, um mögliche Bedenken gegenüber Strahlungsbelastungen durch 5G frühzeitig abzubauen. Eine solche Einbindung wurde im Projekt bereits zu Beginn verfolgt, indem durch mehrere Workshops aktiv Aufklärungsarbeit geleistet wurde³¹.

II.1.2.3 Ergebnisse der Arbeiten im Bereich EMV im Projekt GIGA FOR HEALTH

Die Arbeiten im Bereich EMV im Projekt GIGA FOR HEALTH und die damit verbundenen Tests an 31 medizinischen Geräten, welche perspektivisch sehr häufig innerhalb des 5G-Ausbaubereichs verwendet werden, zeigten gegenüber den durchgeführten Provokationstests keine maßgeblichen Funktionsstörungen (vgl. Schiffarth et al. 2022, 502). Die einzige Störung, die während der Simulation der stärksten möglichen Exposition durch 5G-Nutzung auftrat, war der Ausfall des Bildschirms eines Endoskopie-Geräts. Dieser Ausfall trat auf, wenn der Abstand zu dem entsprechenden 5G-Radio Dot, der während der Provokationstests mit voller Leistung gesendet wurde, weniger als 40 Zentimeter betrug. Da es allerdings bei der Nutzung von 5G innerhalb von Indoor-Anlagen, wie sie auch im Projekt GIGA FOR HEALTH zum Einsatz kommen sollen, üblicherweise nicht zu einem solch geringem Abstand zwischen den 5G-sendenden Devices sowie der Medizintechnik kommt, ist selbst die genannte Interferenz als unbedenklich zu bewerten (vgl. Schiffarth et al. 2022, 2 f.).

Ausgehend von den Ergebnissen, die aus den Arbeiten im Bereich EMV und 5G aus dem Projekt GIGA FOR HEALTH hervorgegangen sind, ist ein Einsatz von 5G sowohl im Bereich EMVU als auch in Bezug auf eine medizinische Gerätefunktionalität, die ebenfalls wesentliche Auswirkungen auf den Menschen hat, als unbedenklich zu bewerten.

Ausführlichere Informationen zu den im Rahmen von GIGA FOR HEALTH durchgeführten Arbeiten im Bereich der elektromagnetischen Verträglichkeit und den daraus resultierenden Ergebnissen finden sich im Rahmen der BioEM 2022 von Schiffarth et al. veröffentlichte Paper "Interference compatibility tests on critical medical devices against 5G mobile radio for indoor coverage."³² Ergänzend werden die Ergebnisse der im Projekt GIGA FOR HEALTH

³¹ Diese Aufklärungsarbeit erfolge sowohl intern gegenüber dem Krankenhauspersonal am Uniklinikum Düsseldorf als auch gegenüber einer breiteren Öffentlichkeit im Rahmen Transferworkshops des Projektes.

³² S. auch: https://www.ihf.rwth-aachen.de/forschung?tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Bnews%5D=268&cHash=ada9ed469ed19f581a116aba9b7a9b58.

durchgeführten Arbeiten im Bereich EMV nach deren Abschluss über die Website des Projektes veröffentlicht³³.

³³ d.h. unter: <https://www.uniklinik-duesseldorf.de/forschung-lehre/5g-medizincampus>.

Quellen

AOK-Bundesverband. „Gesundheitswesen.“ verfügbar unter: https://aok-bv.de/lexikon/g/index_00369.html#:~:text=Das%20Gesundheitswesen%20umfasst%20alle%20Einrichtungen,und%20wiederherstellen%20sowie%20Krankheiten%20vorbeugen., o.J. (letzter Zugriff am 03.04.2023).

AOK-Bundesverband. „Krankenhäuser in Deutschland: Digitalisierung und Zentralisierung gehören zusammen.“ verfügbar unter: https://aok-bv.de/lexikon/g/index_00369.html#:~:text=Das%20Gesundheitswesen%20umfasst%20alle%20Einrichtungen,und%20wiederherstellen%20sowie%20Krankheiten%20vorbeugen., 18.03.2019 (letzter Zugriff am 03.04.2023).

Baumann, Janette. „5G auf größeren Flächen: Vodafone startet zweite 5G-Ausbaustufe.“ verfügbar unter: <https://www.vodafone.de/featured/inside-vodafone/5g-auf-groesseren-flaechen-vodafone-startet-zweite-5g-ausbaustufe/#/>, 15. November 2019 (letzter Zugriff am 17.05.2023).

Broich, Karl; Löbke, Wiebke; Lauer, Wolfgang. *Beitrag des BfArM zur Potenzialentfaltung der Digitalisierung im Gesundheitswesen.* verfügbar unter: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8441959/>, 2021 (zuletzt abgerufen am 28.06.2023).

BG ETEM.de. „EMV. Besteht eine Prüfpflicht in der EMV?“ verfügbar unter: <https://www.bgetem.de/arbeitsicherheit-gesundheitsschutz/pruefen-zertifizieren/pruef-und-zertifizierungsstelle-elektrotechnik/dienstleistungen-1/emv#:~:text=Besteht%20eine%20Pr%C3%BCfpflicht%20in%20der,vollst%C3%A4ndige%20Anwendung%20gelisteter%20Normen%20einzuhalten,> 01.04.2021 (letzter Zugriff am 02.05.2023)

Bock, Klaus. *Wissenschaftliche und alternative Medizin*, S. 7–20. verfügbar unter: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-642-78170-4_2.pdf, 1993 (letzter Zugriff am 24.04.2023).

Bornkessel, Christian; Hein, Matthias A.; Kopacz, Thomas; Schießl, Sascha; Heberling, Dirk. „Konzepte für zuverlässige Immissionsmessungen an 5G massive MIMO-Basisstationen.“ *emv: Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit*, Köln, 2020. 449-455.

Bundesministerium für Gesundheit (BMG). *Digitale Gesundheit 2025*. verfügbar unter: https://www.bundesgesundheitsministerium.de/fileadmin/Dateien/5_Publikationen/Gesundheit/Broschueren/BMG_Digitale_Gesundheit_2025_Broschuere_barr.pdf, 2020 (letzter Zugriff am 03.05.2023).

Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz. „Telemedizin.“ verfügbar unter: <https://www.sozialministerium.at/Themen/Gesundheit/eHealth/Telemedizin.html>, 14.10.2019 (letzter Zugriff am 03.05.2023).

Bundesnetzagentur. „EMF-Monitoring.“ verfügbar unter: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Vportal/TK/Funktechnik/EMF/artikelUnten.html>, o.J. (letzter Zugriff am 03.05.2023).

Bundesamt für Strahlenschutz. *Grenzwerte für hochfrequente Felder*. 31. Januar 2022, www.bfs.de/DE/themen/emf/hff/schutz/grenzwerte/grenzwerte.html. Zugriff am 7. Juli 2022.

Chip.de. „5G-Mobilfunk: Vorteile und Nachteile für unsere Gesellschaft.“ verfügbar unter: https://praxistipps.chip.de/5g-mobilfunk-vorteile-und-nachteile-fuer-unsere-gesellschaft_119023, 30.03.2020 (letzter Zugriff am 23.06.2020)

Deutschland spricht über 5G/Bundesministerium für Digitales und Verkehr 2020. So erleichtert 5G unseren Alltag. verfügbar unter: <https://www.deutschland-spricht-ueber-5g.de/informieren/innovative-zukunft/so-erleichtert-5g-unseren-alltag/>, 04.10.2020 (letzter Zugriff am 15.06.2022).

DIN EN 60601-1-2:2022-01. „Medizinische elektrische Geräte-Teil 1-2: Allgemeine Festlegungen für die Sicherheit einschließlich der wesentlichen Leistungsmerkmale – Ergänzungsnorm: Elektromagnetische Störgrößen – Anforderungen und Prüfungen.“ IEC 60601-1-2:2014 + A1:2020, 2016.

Duden.de. „Gesundheitswesen, das.“ verfügbar unter: <https://www.duden.de/rechtschreibung/Gesundheitswesen>, o.J. a (letzter Zugriff am 05.04.2023).

Duden.de. „Medizin, die.“ verfügbar unter: <https://www.duden.de/rechtschreibung/Medizin>, o.J. b (letzter Zugriff am 05.04.2023).

- Engelhard, Felix. „Der lange Abschied vom Telefax. Zum Stand der Digitalisierung im deutschen Gesundheitswesen.“ *Jahrbuch für Vergleichende Staats- und Rechtswissenschaften*–2022. Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, 2022.
- Ericsson.com. „How will 5g affect Healthcare?“ Verfügbar unter: <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/5g-healthcare>, o.J. (letzter Zugriff am 17.01.2022).
- Ericsson. Ericsson Mobility Report November 2022. verfügbar unter: <https://www.ericsson.com/4ae28d/assets/local/reports-papers/mobility-report/documents/2022/ericsson-mobility-report-november-2022.pdf>, November 2022 (letzter Zugriff am 04.05.2023).
- Ericsson. Ericsson Mobility Report June 2022. verfügbar unter: <https://www.ericsson.com/49d3a0/assets/local/reports-papers/mobility-report/documents/2022/ericsson-mobility-report-june-2022.pdf>, Juni 2022 (letzter Zugriff am 05.05.2023).
- Ericsson. Ericsson Mobility Report November 2021. verfügbar unter: <https://amta.org.au/wp-content/uploads/2021/12/Ericsson-Mobility-Report-November-2021-ericsson-mobility-report-november-2021.pdf>, 2021 (letzter Zugriff am 05.04.2023).
- Huawei. „5G Top Use Cases.“ Verfügbar unter: <https://www.huawei.com/my/technology-insights/industry-insights/outlook/mobile-broadband/xlabs/use-cases/5g-top-10-use-case>, 2021 (letzter Zugriff am 26.10.2021).
- Informationszentrum Mobilfunk.de. „Was bedeutet ‚Elektromagnetische Verträglichkeit‘ (EMV)?“ Verfügbar unter: <https://informationszentrum-mobilfunk.de/artikel/was-bedeutet-elektromagnetische-vertraeglichkeit-emv>, o.J. (letzter Zugriff am 15.10.2021).
- Innovationsausschuss beim Gemeinsamen Bundesausschuss. „Förderprojekte – Neue Versorgungsformen.“ Verfügbar unter: <https://innovationsfonds.g-ba.de/projekte/neue-versorgungsformen/>, o.J. (letzter Zugriff am 21.06.2023).
- JavaTPoint.com. „Advantages and Disadvantages of 5G.“ verfügbar unter: <https://www.javatpoint.com/advantages-and-disadvantages-of-5g>, o.D. (letzter Zugriff am 23.06.2023).
- Klauber et al. (Hrsg). *Krankenhaus Report 2019. Das digitale Krankenhaus*. verfügbar unter: [978-3-662-58225-1.pdf \(springer.com\)](https://www.springer.com/978-3-662-58225-1.pdf), 2019 (letzter Zugriff am 15.06.2022).

Land NRW.de. „Wettbewerb 5G.NRW: Landesregierung fördert 13 herausragende 5G-Projekte mit bis zu 26 Millionen Euro.“ verfügbar unter: <https://www.land.nrw/pressemitteilung/wettbewerb-5gnrw-landesregierung-foerdert-13-herausragende-5g-projekte-mit-bis-zu>, 14.06.2022 (zuletzt geprüft am 14.06.2022).

PriceqwaterhouseCoopers GmbH (pwc). *5G im Gesundheitswesen: Der Standard, der Standards setzt?* verfügbar unter: <https://store.pwc.de/de/publications/5g-im-gesundheitswesen-der-standard-der-standards-setzt>, März 2021 (letzter Zugriff am 03.04.2023).

RF Wireless World. „What is 5G Radio Dot | Application, features of Radio Dot in 5G.“ verfügbar unter: <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/What-is-5G-Radio-Dot.html>, 2012 (letzter Zugriff am 05.04.2023)

Schiffarth, Anna-Malin; Heberling, Dirk. "Interference compatibility tests on critical medical devices against 5G mobile radio for indoor coverage." The 1st Annual Meeting of BioEM (BioEM 2022), Nagoya (Japan), 2022. pp. 501-503.

Seemann, Catarina Angelika. „Telemedizin – wo steht Deutschland?“ Plattform Life Sciences. *Smarte Medizin. Wie die digitale Transformation die Medizin der Zukunft prägt* (4. Jg.), März 2022. 42-43. verfügbar unter: <https://www.goingpublic.de/wp-content/uploads/epaper/epaper-Life-Sciences-1-2022/epaper/ausgabe.pdf> (letzter Zugriff am 22.03.2022).

Stachwitz, P.; Debatin, J.F. „Digitalisierung im Gesundheitswesen: heute und in Zukunft.“ *Bundesgesundheitsblatt* 2023-66, 2023, S. 105–113. verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/s00103-022-03642-8> (letzter Zugriff am 02.05.2023).

TÜV Nord.de. Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV). verfügbar unter: <https://www.tuev-nord.de/de/unternehmen/zertifizierung/produktzertifizierung/elektromagnetische-vertraeglichkeit-emv/#:~:text=Wenn%20Funkmodule%20verwendet%20werden%2C%20ist,mit%20dem%20Ger%C3%A4t%20bestimmungsgem%C3%A4%C3%9F%20funktionieren,> o.J. (letzter Zugriff am 03.05.2023).

Universitätsklinikum Düsseldorf. „Das 5G-Medizincampusnetz am UKD.“ verfügbar unter: <https://www.uniklinik-duesseldorf.de/forschung-lehre/5g-medizincampus/5g-infrastruktur-technik/5g-medizincampusnetz>, o.J. (letzter Zugriff am 04.05.2023).

Veit, Kim; Wessels, Michael; Deiters, Wolfgang. „Gesundheitsdaten und Digitalisierung – Neue Anforderungen an den Umgang mit Daten im Gesundheitswesen.“ Pfannstiel, Mario et al. (Hrsg). *Digitale Transformation von Dienstleistungen im Gesundheitswesen VI, 2019*. verfügbar unter: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-25461-2_2 (letzter Zugriff am 03.05.2023). S. 19-47.

Verbraucherzentrale.de. „Was ist 5G? Vorteile und Risiken der 5. Generation Mobilfunk.“ verfügbar unter: [https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/digitale-welt/mobilfunk-und-festnetz/was-ist-5g-vorteile-und-risiken-der-5-generation-mobilfunk-52004#:~:text=Regionen%20\(z.B.%20Telemedizin\)-,Wann%20ist%205G%20in%20Deutschland%3F,Generation%205G%20in%20Deutschland%20angeboten](https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/digitale-welt/mobilfunk-und-festnetz/was-ist-5g-vorteile-und-risiken-der-5-generation-mobilfunk-52004#:~:text=Regionen%20(z.B.%20Telemedizin)-,Wann%20ist%205G%20in%20Deutschland%3F,Generation%205G%20in%20Deutschland%20angeboten), 11. November 2022 (letzter Zugriff am 03.05.2023).

Vodafone. 5G-Whitepaper: Digitalisierung des Gesundheitswesens. verfügbar unter: <https://www.vodafone.de/business/loesungen/whitepaper-ehealth/>, 19.05.2022 (letzter Zugriff am 24.05.2022).

Vollmann, Franz; Rinortner, Kristin. „EMV in Zeiten von 5G: Neue Schirmverfahren braucht das Land.“ Elektronikpraxis.de. Verfügbar unter: <https://www.elektronikpraxis.vogel.de/emv-in-zeiten-von-5g-neue-schirmverfahren-braucht-das-land-a-870464/>, 07.10.2019 (letzter Zugriff am 15.10.2021).

WIRTSCHAFT.NRW.de. „Wettbewerb 5G.NRW: Land fördert 24 weitere innovative Projekte mit bis zu 36,8 Millionen Euro.“ verfügbar unter: <https://www.wirtschaft.nrw/pressemittteilung/wettbewerb-5gnrw-land-foerdert-24-weitere-innovative-projekte-mit-bis-zu-368>, 30. Juni 2021 (letzter Zugriff am 08.04.2022).