Wie die ICNIRP-Grenzwerte entstanden

Was sie berücksichtigen — und was nicht

RAUM 1 — Bürger & Familien

Einstieg ohne Vorkenntnisse · Verständliche Sprache · Orientierung

Was steht eigentlich hinter dem Satz „unterhalb der Grenzwerte“?

Stellen Sie sich einen ganz normalen Abend vor: Das WLAN läuft, jemand streamt einen Film, ein anderer scrollt am Smartphone, vielleicht steht ein Babyphone im Kinderzimmer. Auf der Verpackung vieler Geräte finden Sie beruhigende Sätze: „Entspricht internationalen Sicherheitsnormen“ oder „unterhalb der zulässigen Grenzwerte“.

Viele Menschen verbinden damit: „Dann kann nichts passieren.“ Aber woher kommen diese Grenzwerte, wer legt sie fest — und was wird dabei eigentlich gemessen?

Wie wird aus Wärme ein Grenzwert?

Ein Gedankenspiel: Wenn Sie sich in die Sonne legen, wird Ihnen warm. Bleiben Sie zu lange, bekommen Sie einen Sonnenbrand — das merken Sie noch am selben Tag. Für solche Situationen lassen sich Schwellenwerte relativ einfach bestimmen.

Bei Funkwellen funktionierte die frühe Forschung ähnlich. In den 1950er- bis 1980er-Jahren untersuchten vor allem militärische und arbeitsmedizinische Programme, ab welcher Hochfrequenzbelastung sich Körper und Gewebe messbar erhitzen. Als kritisch galt eine Erwärmung des Körpers um etwa 1 °C. Der dazugehörige Energieeintrag — die spezifische Absorptionsrate (SAR) — wurde zum Ausgangspunkt für die Grenzen, mit einem Sicherheitsabstand nach unten.

Das heißt: Die Grenzwerte, die heute auf Ihrem Handy-Datenblatt stehen, sind im Kern Wärmeschutzgrenzwerte. Sie sollen verhindern, dass sich Ihr Körper oder einzelne Körperteile bei kurzer Exposition zu stark erwärmen.

Dabei wird die Leistung eines Funksignals über die Zeit gemittelt. Ein Bild zeigt, was dabei verloren geht: Eine Glühbirne und ein Stroboskop können im Mittel genau dieselbe Leistung haben. Die Glühbirne leuchtet gleichmäßig, das Stroboskop gibt dieselbe Energie in kurzen, sehr starken Blitzen ab. Nur das Blitzlicht kann bei empfindlichen Menschen einen Krampfanfall auslösen. Moderne Funktechnik sendet ebenfalls in Pulsen, und genau dieser Rhythmus kommt im Mittelwert nicht mehr vor.

Welche Fragen stellen sich Familien heute?

Unser Alltag hat sich seit den ersten Grenzwerten grundlegend verändert. Statt punktueller Belastung an Radar-Arbeitsplätzen leben viele Menschen heute mit einer nahezu dauerhaften Grundexposition durch Mobilfunk, WLAN, Bluetooth und weitere Funkanwendungen — von der Wiege bis ins hohe Alter.

Daraus ergibt sich eine zentrale Frage: Wenn die Grenzwerte vor Überhitzung schützen — was sagen sie über lebenslange, schwache Dauerbelastung aus?

Vorsorge im Alltag

- Schlafzimmer strahlungsarm halten: Router und Handy außerhalb des Schlafzimmers lassen; nachts das Handy ausschalten oder in den Flugmodus setzen, WLAN und Bluetooth deaktivieren.
- Beim Telefonieren Abstand schaffen: Lautsprecher (kostenlos) oder Luftschlauch-Headset (ab etwa 10 Euro, Stand Oktober 2026) nutzen, kein Kupferkabel am Ohr, und das Handy weit vom Körper entfernt halten.
- Dauernutzung von Funk konsequent vermeiden: Geräte nach Möglichkeit per Kabel betreiben (LAN statt WLAN), Funk nur bei Bedarf einschalten und sonst ausschalten.

Ein Wärmeschutz-Grenzwert beantwortet die Frage nach Wärme. Die Frage nach lebenslanger schwacher Belastung bleibt offen.

→ Ärzte und Therapeuten finden im nächsten Abschnitt eine vertiefte Einordnung der Grenzwertgrundlagen, klinische Folgerungen und eine Formulierung für das Patientengespräch.

RAUM 2 — Ärzte & Therapeuten

Klinische Einordnung · Grenzwertgrundlagen · Patientengespräch

Warum die Grenzwertfrage klinisch relevant ist

Das thermische Grenzwertmodell wurde für akute, kurzfristige Expositionen gesunder Erwachsener entwickelt. Patienten mit chronischen Beschwerden, Kinder und empfindliche Gruppen leben in einer anderen Expositionsrealität — die im Grenzwertdesign strukturell nicht abgebildet ist.

Welche biophysikalische Grundannahme liegt den ICNIRP-Grenzwerten zugrunde?

Die heutigen ICNIRP-Grenzwerte beruhen auf einem thermischen Modell aus frühen militärischen und arbeitsmedizinischen Studien. Ausgangspunkt war die Beobachtung, dass bei Ganzkörperexpositionen um etwa 4 W/kg SAR in Tierversuchen reversible Verhaltensänderungen und messbare Temperaturerhöhungen auftraten. Daraus wurde ein Schwellenwert abgeleitet und mit Reduktionsfaktoren abgesichert — Faktor 10 für beruflich Exponierte, Faktor 50 für die Allgemeinbevölkerung [1, 2].

Das Modell unterscheidet [3]:

- **Ganzkörper-SAR** — Vermeidung eines Anstiegs der Körperkerntemperatur um mehr als etwa 1 °C

- **Lokale SAR** — gewebespezifische Temperaturgrenzen mit zulässigen Temperaturanstiegen von 2–5 °C je nach Gewebe

Welche Expositionsarten bilden die Grenzwerte primär ab?

Historisch beruhen die Grenzwerte auf klar umrissenen Szenarien: Quellen mit definierter Leistungsabgabe, kurze Mittelungszeiten (6 bzw. 30 Minuten) und erwachsene, gesunde Beschäftigte [3]. Nicht im Fokus des ursprünglichen Designs standen:

- Chronische Niedrigdosisexposition — Dauerbelastung rund um die Uhr durch Infrastruktur und WLAN
- Modulierte und gepulste Signale moderner Mobilfunkstandards (UMTS, LTE, 5G)
- Empfindliche Gruppen — Kinder, Schwangere, chronisch Kranke, elektrohypersensible Patienten

Welche Patientengruppen verdienen besondere Aufmerksamkeit?

- **Kinder und Jugendliche** — höhere Absorption im Kopf, dünnere Schädelknochen, längere Lebenszeit-Exposition; zu Aufmerksamkeits- und Verhaltensbefunden siehe Artikel 1
- **Schwangere und Ungeborene** — mögliche Effekte auf Entwicklungsprozesse und hormonelle Regulation
- **Patienten mit chronischen Multisystemerkrankungen (CMI), Autoimmunerkrankungen oder mitochondrialen Störungen** — geringere Reserve gegenüber oxidativem Stress (Artikel 2)
- **Elektrohypersensible (EHS)** — die EUROPAEM-Leitlinie ordnet EHS den chronischen Multisystemerkrankungen mit Umweltbezug zu und empfiehlt Expositionskarenz als diagnostisches Instrument [4]

Wie lässt sich das im Patientengespräch erklären?

Formulierungsvorschläge für die Praxis

„Die Grenzwerte schützen vor Überhitzung — wie ein Thermostat. Was dauerhaft schwache Funkbelastung bewirkt, bilden sie nicht ab. Wo sehen Sie selbst Möglichkeiten, Ihre Belastung zu verringern?“

Welche Rolle kann Expositionskarenz in Diagnostik und Therapie spielen?

Die EUROPAEM-Leitlinie empfiehlt, Expositionsreduktion als diagnostisches Instrument zu nutzen: Beschwerden unter kontrollierter Reduktion beobachten, Veränderungen dokumentieren, gegebenenfalls die Exposition in definiertem Rahmen wieder erhöhen [4]. Für die Praxis bedeutet das:

- Das individuelle Expositionsprofil erfassen (Wohnumfeld, Arbeitsplatz, Endgeräte)
- Strukturierte Karenz, deren erste Schritte die Patientin oder der Patient mitbestimmt: Nachtabschaltung des WLAN, Handy im Flugmodus, funkarme Umgebungen
- Verlaufsbeobachtung der Beschwerden — ergänzt um Schlaf, Stress, Lärm und weitere Belastungen

Ärztliches Fazit

Die Grenzwerte schützen vor Erwärmung. Für dauerhafte, schwache Belastung bilden sie nichts ab. Deshalb ist es ärztlich sinnvoll, vermeidbare Exposition zu reduzieren.

→ Die historische Entwicklung der Grenzwerte, institutionelle Strukturen und die vollständige Evidenzbasis finden Sie im folgenden Abschnitt.

RAUM 3 — Wissenschaft & Fachkreise

Historische Entwicklung · Institutionelle Strukturen · Evidenzbasis · Kritikpunkte

Methodischer Hinweis: Wissenschaft und Regulierung bewerten die ICNIRP-Grenzwerte unterschiedlich. Dieser Abschnitt dokumentiert Entstehung, institutionelle Strukturen und die zentralen Kritikpunkte — ohne Motivzuschreibungen, mit vollständiger Darstellung der dokumentierten Fakten.

Wie entstand das thermische Grenzwertmodell historisch?

Die Wurzeln der heutigen Mobilfunkgrenzwerte reichen bis in die Radarforschung des Zweiten Weltkriegs zurück. In den 1950er-Jahren wuchs in den USA der Bedarf von Militär und Industrie an einheitlichen Schutzstandards für Radar- und Funkpersonal. 1953 schlug der Biophysiker Herman P. Schwan einen Wert von 100 mW/cm² vor, der mit einem Sicherheitsfaktor von 10 auf 10 mW/cm² gesenkt wurde — ausschließlich an der Wärmewirkung orientiert (ausführlich Artikel 6). Der Vorschlag, damals ohne Langzeitstudien, wurde rasch als amerikanische Norm übernommen und gelangte über NATO-Strukturen nach Westeuropa.

Wichtige Etappen der Grenzwertentwicklung

- **1953** — Schwan-Vorschlag: 100 mW/cm², mit Sicherheitsfaktor 10 gesenkt auf 10 mW/cm² als thermischer Referenzwert (Artikel 6)
- **1982** — ANSI: 4 W/kg als Schwelle für reversible Effekte; Ableitung von 0,4 W/kg Ganzkörper-SAR für berufliche Exposition [1]
- **1986** — NCRP Report Nr. 86: Expositionskriterien auf derselben thermischen Grundlage [2]
- **1992** — IEEE C95.1-1992; später von der US-Fernmeldebehörde FCC rechtsverbindlich übernommen [5]
- **1993/94** — Die US-Umweltbehörde EPA veranstaltet eine Fachkonferenz zu offenen Forschungsfragen; der Abschlussbericht erscheint 1994 [6]
- **1998** — ICNIRP überführt die Standards in ein zweistufiges System (Beruf / Allgemeinbevölkerung) [3]
- **1999** — Der Rat der EU empfiehlt die ICNIRP-Richtlinien; Deutschland übernimmt sie in die 26. BImSchV

- **2020** — ICNIRP aktualisiert die Richtlinien; die thermische Grundstruktur bleibt unverändert [7]

Ein aufschlussreicher historischer Kontrast

Während der Westen thermische Modelle entwickelte, führten osteuropäische Staaten — insbesondere die UdSSR — früh klinische Langzeitstudien durch, die neurologische und nicht-thermische Beschwerden bei chronischer Exposition erfassten. Osteuropäische Grenzwerte lagen deshalb teils um den Faktor 1000 unter den westlichen Standards. Diese Forschungstradition wurde im westlichen Grenzwertdiskurs kaum systematisch aufgegriffen [8].

Was ist ICNIRP — und wie ist das Gremium strukturiert?

ICNIRP ist kein staatliches Gremium, keine UN-Organisation und keine demokratisch legitimierte Behörde, sondern ein privater, gemeinnütziger Verein mit Sitz in Oberschleißheim bei München und höchstens 14 Kommissionsmitgliedern, die sich selbst ergänzen. Entstehung, Rechtsform und Struktur behandelt Artikel 6 ausführlich, Interessenkonflikte Artikel 26. Dokumentierte strukturelle Merkmale:

- **Sitz:** auf dem Gelände des deutschen Bundesamts für Strahlenschutz (BfS) in Oberschleißheim
- **Personelle Überschneidungen:** ICNIRP-Vorsitzende bekleideten zugleich leitende Positionen im BfS und in der deutschen Strahlenschutzkommission (SSK) — darunter Prof. Jürgen Bernhardt und Rüdiger Matthes
- **Kooperation mit der WHO:** ICNIRP ist offizieller Kooperationspartner der WHO im Bereich nichtionisierender Strahlung; die Richtlinien wurden dadurch zum faktischen internationalen Referenzstandard
- **Verbindungen zu IEEE/ICES:** personelle und strukturelle Überschneidungen mit dem IEEE International Committee on Electromagnetic Safety sind dokumentiert

Diese Strukturmerkmale sind überprüfbare Tatsachen

Sie sind in ICNIRP-Dokumenten, BfS-Berichten und wissenschaftlichen Analysen öffentlich zugänglich [9, 10]. Ob und wie diese Strukturen die Grenzwertableitung beeinflusst haben, ist Gegenstand einer wissenschaftlichen Debatte, die dieser Artikel dokumentiert.

Welche technischen Annahmen liegen der SAR-Bewertung zugrunde?

Die SAR wird an Körpermodellen bestimmt — Kunststoff-Phantomen mit gewebeähnlicher Flüssigkeit oder numerischen Simulationen. Die Grenzwerte mitteln die aufgenommene Energie über 6 Minuten (lokal) bzw. 30 Minuten (Ganzkörper) [3, 7]. Nicht als eigene Größen gehen in diese Bewertung ein:

- Pulsstruktur und Modulationsart moderner Mobilfunkstandards (GSM, UMTS, LTE, 5G, WLAN) — sie verschwinden im zeitlichen Mittelwert
- Die biologische Reaktion lebender Gewebe mit eigener Regulation
- Kumulative Effekte kontinuierlicher Langzeitexposition

Welche Evidenz zu nicht-thermischen Effekten liegt vor — und wie wird sie bewertet?

ICNIRP stellt in den Richtlinien von 2020 fest, dass nach ihrer Bewertung kein konsistenter Nachweis gesundheitsschädlicher Effekte unterhalb der thermischen Schwellen vorliegt; nicht-thermische Effekte gelten als biologisch möglich, aber nicht als gesundheitlich relevant [7]. Demgegenüber dokumentiert die unabhängige Literatur biologische Effekte unterhalb thermischer Schwellen:

- Oxidative und nitrosative Stressmarker — ausführlich in Artikel 2 [11] ⊙
- DNA-Strangbrüche und Chromosomenveränderungen — seit 1995 von unabhängigen Gruppen berichtet, ausführlich in Artikel 1 [12, 13, 14] ⊙
- Veränderungen an Ionenkanälen (VGCC) — Mechanismus und biophysikalische Gegenposition in Artikel 10 [15] ⊙
- Veränderungen von Schlaf-EEG und Herzfrequenzvariabilität — von Gruppen in mehreren Ländern berichtet, ausführlich in Artikel 1 [16, 17, 18, 19] ⊙
- Melatoninreduktion unter chronischer Exposition [20] ○
- Erhöhte Tumorrisiken bei Langzeitnutzung — Grundlage der IARC-Einstufung 2011, ausführlich in Artikel 5 [21] ○

Das WHO-beauftragte systematische Review zur Genotoxizität in Zellkulturen fand in rund 80 % der ausgewerteten Experimente keinen signifikanten Effekt und bewertete die Vertrauenswürdigkeit der positiven Befunde als niedrig bis sehr niedrig [22]. Es kommt damit zu einer anderen Bewertung als die oben genannten Gruppen; zur Einordnung der WHO-Reviews siehe Artikel 1 und 26.

IARC-Klassifikation

Die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) hat hochfrequente elektromagnetische Felder 2011 als „möglicherweise krebserregend für den Menschen“ (Gruppe 2B) eingestuft — u. a. auf Basis epidemiologischer Daten zu Hirntumoren bei intensiver Handynutzung [21]. Diese Einstufung steht in einem strukturellen Spannungsverhältnis zu den ICNIRP-Grenzwerten. 2024 empfahl die IARC-Beratergruppe eine Neubewertung mit hoher Priorität [23]. Ausführlich in Artikel 5.

Wer äußerte die früheste fundierte methodische Kritik am thermischen Modell?

Im November 1999 luden die neuseeländischen Ministerien für Gesundheit und Umwelt den Umweltphysiker Neil Cherry (1946–2003), außerordentlicher Professor an der Lincoln University, ein, den Vorschlag zur Übernahme der ICNIRP-Richtlinien zu begutachten. Seine Abhandlung „Criticism of the Health Assessment in the ICNIRP Guidelines for Radiofrequency and Microwave Radiation“ erschien im Januar 2000 und in überarbeiteter Fassung 2002 [24].

Cherry prägte für ICNIRPs Vorgehen den Begriff *„Constructive Dismissal“*: Ein vorgefasstes Konzept — die ausschließliche Anerkennung thermischer Effekte — werde genutzt, um widersprechende Evidenz zu verwerfen. Zwei seiner Argumente sind für die heutige Debatte zentral:

- Da reale Alltagsexpositionen die thermischen Schwellen nie erreichen, ist jede epidemiologische Alltagsstudie eine Studie unter nicht-thermischen Bedingungen. Wer nicht-thermische Evidenz grundsätzlich abwertet, wertet damit die gesamte epidemiologische Evidenz ab.

- Cherry verglich die verlangte Beweislast mit der Einstufung von Benzol als Karzinogen, die auf wenigen epidemiologischen Studien beruhte. Er kritisierte, dass die Bradford-Hill-Gesichtspunkte als starre Kriterien statt — wie von Bradford Hill selbst beschrieben — als Blickwinkel behandelt würden, wodurch ein für EMF-Studien kaum erreichbarer Evidenzstandard entstehe.

Der Umweltepidemiologe John Goldsmith äußerte eine verwandte Kritik: ICNIRP mache kaum Gebrauch von epidemiologischen Daten und bezeichne sie als inkonsistent und schwer verständlich [25]. Cherrys Arbeit ist historisch die erste systematische Formulierung einer Kritiklinie, die Hardell, Nordhagen & Flydal und andere in jüngerer Zeit fortführen.

Welche zentralen Kritikpunkte richten sich gegen das bestehende Grenzwertmodell?

In der unabhängigen Literatur — darunter Hardell, Nilsson, Koppel & Carlberg (2021) [9], Nordhagen & Flydal (2023) [10], die International Commission on the Biological Effects of EMF (ICBE-EMF) [26] und der Europäische Wirtschafts- und Sozialausschuss (EWSA) [27] — lassen sich vier wiederkehrende Kritiklinien erkennen:

1. Ausschließliche Ausrichtung auf thermische Effekte. Nicht-thermische Effekte und Langzeitstudien fließen in die Grenzwertableitung kaum ein. Kein Schadensnachweis unterhalb thermischer Schwellen wird regulatorisch oft mit einem Sicherheitsnachweis gleichgesetzt — trotz unvollständiger Langzeitdaten.

2. Begrenzte Berücksichtigung chronischer Niedrigdosisexposition. Die Ursprungsstudien waren auf akute, kurze Expositionen ausgelegt. Die heutige Dauerexposition breiter Bevölkerungsgruppen — einschließlich Säuglingen, Kindern und Schwangeren — ist eine grundlegend andere Expositionsart, für die keine spezifischen Langzeitstudien als Grundlage dienen.

3. Unzureichende Differenzierung empfindlicher Gruppen. Kinder, EHS-Betroffene und chronisch Kranke werden im thermischen Modell nur über allgemeine Sicherheitsfaktoren berücksichtigt, nicht durch spezifische Analysen ihrer anatomischen und physiologischen Besonderheiten.

4. Nichtberücksichtigung der Signalcharakteristik. Moderne Funktechnik sendet gepulst und moduliert (z. B. die 10-Hz-Beacon-Struktur von WLAN oder die komplexen Signalformen von LTE und 5G). In die Grenzwertermittlung gehen diese Signalparameter nicht differenziert ein; die Leistung gepulster Signale wird über das Puls-Pausen-Verhältnis gemittelt. Der Medizinphysiker Lebrecht von Klitzing hat die Folge an einem Vergleich gezeigt: Eine Glühlampe mit 20 Watt Dauerleistung und ein Stroboskop mit 1 ms langen Blitzen von 20.000 Watt im Sekundentakt haben dieselbe mittlere Leistung von 20 Watt; nur das Stroboskop kann bei entsprechender Veranlagung epileptische Anfälle auslösen. Die mittlere Energie ist gleich, die biologische Wirkung nicht. Er verweist auf die unterschiedlichen Pulsfrequenzen der Systeme, GSM 217 Hz, DECT 100 Hz und WLAN 10 Hz [28]. Warum biologische Systeme auf bestimmte Pulsfrequenzen besonders reagieren, behandelt Artikel 11.

Welche naheliegenden Untersuchungen wurden bislang nicht durchgeführt?

Nicht durchgeführte naheliegende Studientypen

- Vorher-Nachher-Studien bei Änderungen der Netzinfrastruktur in realen Bevölkerungsgruppen
- Zeitlich begrenzte Expositionsreduktionen mit kontrolliertem Design
- Systematische Auswertungen natürlicher Experimente, bei denen sich die Belastung einer Region verändert hat

Über Jahrzehnte wurden gerade die Untersuchungen nicht durchgeführt, die die entscheidenden Fragen unter realen Bedingungen beantworten könnten. Das ist eine überprüfbare Tatsachenbeschreibung — keine Motivzuschreibung.

Welche alternativen Leitlinien existieren?

Die EUROPAEM-Leitlinie 2016 formuliert ein ausdrücklich vorsorgeorientiertes Konzept [4]:

- Niedrigere Richtwerte für chronische Exposition — insbesondere für Schlafräume und empfindliche Gruppen
- Einordnung von EHS als chronische Multisystemerkrankung mit Umweltbezug
- Expositionskarenz und Lebensstiländerung als zentrale präventive und therapeutische Werkzeuge

Diese Leitlinie verwirft thermische Schutzkonzepte nicht — sie ergänzt sie um nicht-thermische und Langzeitperspektiven. Das ist der medizinisch verantwortbare Rahmen, in dem diese Plattform arbeitet.

Versicherungsausschlüsse als Einordnungsfaktor

Im Lloyd's-Markt schließt CFC Underwriting seit 2015 mit der allgemeinen Ausschlussklausel 32 Schäden durch elektromagnetische Felder und Funkwellen aus; nach Auskunft des Versicherers wird die Klausel marktweit standardmäßig angewendet und zielt auf Erkrankungen durch langfristige Exposition, etwa durch Mobiltelefone [29]. Lloyd's selbst hatte 2010 in einem Risikobericht Parallelen zur Asbest-Haftung geprüft [30]. Der Rückversicherer Swiss Re ordnete gesundheitliche Haftungsrisiken durch elektromagnetische Felder 2013 in seine höchste Auswirkungskategorie ein [31] und führt 5G seit 2019 als aufkommendes Risiko [32]. Das ist kein medizinisches Urteil, aber ein wirtschaftlicher Indikator für anerkannte Unsicherheit. Ausführlich in Artikel 19.

Wie ordnen Regelwerke und Institutionen die Grenzwerte ein?

Die Tabelle ordnet Regelwerke, Analysen und Stellungnahmen ein. Das sind keine biologischen Befunde im Sinne des Wissensstandsmarker-Systems — deshalb ohne Marker; ihr Charakter ist in der letzten Spalte benannt.

Quelle	Kernaussage	Charakter
ANSI 1982 / NCRP 1986	4 W/kg als Schwelle für reversible Effekte; Ableitung von 0,4 W/kg Ganzkörper-SAR	Grenzwertstandard auf thermischer Tierstudienbasis

Quelle	Kernaussage	Charakter
ICNIRP 1998, 2020	Grenzwerte beruhen auf thermischen Schwellen; keine Anerkennung gesundheitsschädlicher Effekte darunter	Institutionelle Leitlinie
Hardell, Nilsson, Koppel & Carlberg 2021	Kritik am Ausschluss von Langzeitstudien und nicht-thermischer Evidenz aus der Grenzwertableitung	Kritische Literaturanalyse
Nordhagen & Flydal 2023	Enges, sich selbst zitierendes Autorennetzwerk (17 Kernautoren) hinter der Literaturbasis von ICNIRP 2020	Bibliometrische Netzwerkanalyse (peer-reviewed)
EUROPAEM EMF Guideline 2016	Vorsorgeorientiertes Konzept; EHS als CMI; Expositionskarenz als Instrument	Ärztliche Leitlinie
IARC Monographie 102 (2011/2013)	RF-EMF als Gruppe 2B möglicherweise krebserregend; Neubewertung 2024 mit hoher Priorität empfohlen	Institutionelle Klassifikation auf epidemiologischer Basis
FCC 47 CFR §1.1310	Rechtlich verbindliche Übernahme der ANSI/IEEE-Standards in der US-Regulierung	Amtliche Regulierung, keine Evidenzbewertung
SCHEER 2023	Kein Anlass für eine Grenzwertrevision; Forschungsbedarf anerkannt	Institutionelle Stellungnahme (EU-Kommission)

SCHEER-Stellungnahme [33].

Wissensstandsmarker

- ○ **Hinweise vorhanden** — Erste Beobachtungen liegen vor. Noch keine unabhängige Bestätigung.
- ◉ **Unabhängig bestätigt** — Mehrere Forschungsgruppen kommen zu vergleichbaren Ergebnissen.
- ● **Biophysikalisch belegt** — Wirkmechanismus reproduzierbar nachgewiesen und beschrieben.

#	Quelle
1	ANSI C95.1-1982: American National Standard Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 300 kHz to 100 GHz. New York: IEEE, 1982.
2	NCRP: Biological Effects and Exposure Criteria for Radiofrequency Electromagnetic Fields. NCRP Report No. 86. Bethesda, 1986.
3	ICNIRP: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Phys. 1998;74(4):494–522.
4	Belyaev I, Dean A, Eger H, Hubmann G, Jandrisovits R, Kern M, Kundi M, Moshammer H, Lercher P, Müller K, Oberfeld G, Ohnsorge P, Pelzmann P, Scheingraber C, Thill R: EUROPAEM EMF Guideline 2016 for the prevention, diagnosis and treatment of EMF-related health problems and illnesses. Rev Environ Health. 2016;31(3):363–397. DOI: 10.1515/reveh-2016-0011.

#	Quelle
5	FCC: 47 CFR §1.1310 — Radiofrequency radiation exposure limits. Code of Federal Regulations.
6	EPA: Summary and Results of the April 1993 Radiofrequency Radiation Conference. Washington DC: EPA, 1994.
7	ICNIRP: Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). Health Phys. 2020;118(5):483–524.
8	Repacholi MH, Grigoriev YG, Buschmann J, Pioli C: Scientific basis for the Soviet and Russian radiofrequency standards for the general public. Bioelectromagnetics. 2012;33(8):623–633. DOI: 10.1002/bem.21742. PMID 22753071.
9	Hardell L, Nilsson M, Koppel T, Carlberg M: Aspects on the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) 2020 Guidelines on Radiofrequency Radiation. J Cancer Sci Clin Ther. 2021;5:250–285.
10	Nordhagen EK, Flydal E: Self-referencing authorships behind the ICNIRP 2020 radiation protection guidelines. Rev Environ Health. 2023;38(3):531–546. DOI: 10.1515/reveh-2022-0037.
11	Schuermann D, Mevissen M: Manmade Electromagnetic Fields and Oxidative Stress — Biological Effects and Consequences for Health. Int J Mol Sci. 2021;22(7):3772. DOI: 10.3390/ijms22073772.
12	Lai H, Singh NP: Single- and double-strand DNA breaks in rat brain cells after acute exposure to radiofrequency electromagnetic radiation. Int J Radiat Biol. 1996;69(4):513–521. DOI: 10.1080/095530096145814. PMID 8627134.
13	Diem E, Schwarz C, Adlkofer F, Jahn O, Rüdiger H: Non-thermal DNA breakage by mobile-phone radiation (1800 MHz) in human fibroblasts and in transformed GFSH-R17 rat granulosa cells in vitro. Mutat Res. 2005;583(2):178–183. — REFLEX-Teilprojekt der Wiener Arbeitsgruppe.
14	Panagopoulos DJ, Chavdoula ED, Nezis IP, Margaritis LH: Cell death induced by GSM 900-MHz and DCS 1800-MHz mobile telephony radiation. Mutat Res. 2007;626(1–2):69–78.
15	Panagopoulos DJ, Karabarbounis A, Yakymenko I, Chrousos GP: Human-made electromagnetic fields: Ion forced-oscillation and voltage-gated ion channel dysfunction, oxidative stress and DNA damage (Review). Int J Oncol. 2021;59(5):92. DOI: 10.3892/ijo.2021.5272.
16	Borbély AA, Huber R, Graf T, Fuchs B, Gallmann E, Achermann P: Pulsed high-frequency electromagnetic field affects human sleep and sleep electroencephalogram. Neurosci Lett. 1999;275(3):207–210. DOI: 10.1016/S0304-3940(99)00770-3.
17	Loughran SP, Wood AW, Barton JM, Croft RJ, Thompson B, Stough C: The effect of electromagnetic fields emitted by mobile phones on human sleep. NeuroReport. 2005;16(17):1973–1976.
18	Misek J, Veterník M, Tonhajzerova I, Jakusova V, Janousek L, Jakus J, Belyaev I: Heart rate variability affected by radiofrequency electromagnetic field in adolescent students. Bioelectromagnetics. 2018;39(4):277–288. DOI: 10.1002/bem.22115.
19	Andrzejak R, Poreba R, Poreba M, Derkacz A, Skalik R, Gac P, Beck B, Steinmetz-Beck A, Pilecki W: The influence of the call with a mobile phone on heart rate variability parameters in healthy volunteers. Ind Health. 2008;46(4):409–417. DOI: 10.2486/indhealth.46.409. PMID 18716391.
20	Jammoul M, Lawand N: Melatonin: A Potential Shield against Electromagnetic Waves. Curr Neuropharmacol. 2022;20(3):648–660. DOI: 10.2174/1570159X19666210609163946. PMID 34635042.

#	Quelle
21	IARC Working Group: Non-Ionizing Radiation, Part 2: Radiofrequency Electromagnetic Fields. IARC Monographs Vol. 102. Lyon: IARC, 2013 (Klassifikation 2011 beschlossen).
22	Romeo S, Sannino A, Scarfì MR, Lagorio S, Zeni O: Genotoxicity of radiofrequency electromagnetic fields on mammalian cells in vitro: A systematic review with narrative synthesis. Environ Int. 2024;193:109104. DOI: 10.1016/j.envint.2024.109104. — WHO-beauftragtes Review.
23	IARC Monographs Priorities Group: Advisory Group recommendations on priorities for the IARC Monographs during 2025–2029. Lancet Oncol. 2024. DOI: 10.1016/S1470-2045(24)00208-0.
24	Cherry N: Criticism of the Health Assessment in the ICNIRP Guidelines for Radiofrequency and Microwave Radiation (100 kHz – 300 GHz). Lincoln University, Neuseeland, 31.01.2000; überarbeitete Fassung 21.09.2002. Online: downloads.regulations.gov/EERE-2022-BT-STD-0022-0110/attachment_23.pdf sowie neilcherry.nz.
25	Goldsmith JR (1997), zitiert nach Cherry N: Criticism of the Health Assessment in the ICNIRP Guidelines (2000/2002), Abschnitt 1.7. — Epidemiologische Übersichten: Goldsmith JR: Epidemiologic evidence relevant to radar (microwave) effects. Environ Health Perspect. 1997;105 Suppl 6:1579–1587.
26	International Commission on the Biological Effects of Electromagnetic Fields (ICBE-EMF): Scientific evidence invalidates health assumptions underlying the FCC and ICNIRP exposure limit determinations for radiofrequency radiation: implications for 5G. Environ Health. 2022;21:92. DOI: 10.1186/s12940-022-00900-9.
27	Europäischer Wirtschafts- und Sozialausschuss (EWSA): Die gesellschaftlichen und ökologischen Auswirkungen des 5G-Ökosystems (Initiativstellungnahme). Amtsblatt der EU, C 105, 4.3.2022, S. 34–39.
28	von Klitzing L: Einfluss elektromagnetischer Felder auf kardiovaskuläre Erkrankungen. umwelt·medizin·gesellschaft. 2014;27(1):17–21.
29	CFC Underwriting Ltd (Lloyd's): General Insurance Exclusions, Exclusion 32 — Electromagnetic fields. Policy Wording, Februar 2015; schriftliche Auskunft CFC Underwriting vom 18.02.2015 zur marktweiten Anwendung.
30	Lloyd's Emerging Risks Team: Electromagnetic fields from mobile phones: recent developments. Lloyd's Emerging Risk Report. London, November 2010.
31	Swiss Re: SONAR — Emerging risk insights. Zürich, 2013 (Abschnitt „Unforeseen consequences of electromagnetic fields“).
32	Swiss Re Institute: SONAR — New emerging risk insights. Zürich, Mai 2019 (Kapitel zu 5G).
33	SCHEER (Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks): Final Opinion on the need of a revision of the annexes in Council Recommendation 1999/519/EC and Directive 2013/35/EU, in view of the latest scientific evidence available with regard to radiofrequency (100 kHz – 300 GHz). Europäische Kommission, 18. April 2023.