# Nicht-thermische Effekte

*Was sie sind — und warum sie in den geltenden Grenzwerten nicht abgebildet sind*

## RAUM 1 — Bürger & Familien

*Einstieg ohne Vorkenntnisse · Verständliche Sprache · Orientierung*

### Was passiert im Körper, wenn Funkfelder einwirken — und warum reicht fehlende Erwärmung als Antwort möglicherweise nicht aus?

Stellen Sie sich einen ganz normalen Abend vor: Das Handy liegt neben dem Bett, der WLAN-Router blinkt leise im Flur, vielleicht ein Smartmeter an der Wand. Nichts davon ist zu sehen oder zu riechen — der Körper meldet kein eindeutiges Signal. Und doch fragen sich viele Menschen: Kann diese dauerhafte Funkumgebung meinen Schlaf, meine Konzentration oder mein allgemeines Wohlbefinden beeinflussen — auch wenn ich nichts spüre?

Die offiziellen Grenzwerte orientieren sich seit Jahrzehnten vor allem an einem einzigen Kriterium: Sie sollen verhindern, dass sich Gewebe messbar erwärmt. Solange sich der Körper nicht aufheizt, gilt die Situation aus Sicht der Regulierung als abgedeckt. Viele Menschen schließen daraus: Wenn die Grenzwerte eingehalten werden, ist es sicher.

### Was sind nicht-thermische Effekte — und warum gibt es sie überhaupt?

Als nicht-thermische Effekte bezeichnen Wissenschaftler biologische Reaktionen, die bei Feldstärken auftreten, bei denen keine messbare Erwärmung stattfindet. In Laborstudien wurden dabei Veränderungen von oxidativem Zellstress, Kalziumhaushalt, Genaktivität oder Nervenfunktionen beschrieben — teilweise bei Belastungen, wie sie auch in der Nähe von Mobilfunkgeräten oder WLAN-Routern vorkommen können. Andere Studien finden keine Effekte oder sind mit abweichendem Design zu anderen Ergebnissen gekommen.

Das führt zu einer zentralen Frage: Reichen Grenzwerte, die ausschließlich vor Wärme schützen, aus — oder braucht es ein vorsichtigeres Verständnis von Sicherheit, das die feineren Wirkungen ebenfalls berücksichtigt?

### Was bedeutet das für meinen Alltag?

Vielleicht haben Sie selbst erlebt, dass Sie in einer funkarmen Umgebung — auf dem Land, im Urlaub oder mit abgeschaltetem Router — besser schlafen oder sich klarer fühlen. Solche Eigenbeobachtungen sind ernst zu nehmen. Eine Technologie, deren zelluläre Langzeitfolgen noch nicht vollständig verstanden sind, mit Abstand und Bedacht zu nutzen, ist eine vernünftige Haltung.

**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.

**Begründete offene Fragen sind Grund genug für Vorsicht.**

*→ Ärzte und Therapeuten finden im nächsten Abschnitt eine klinische Einordnung, Mechanismen und Formulierungsvorschläge für das Patientengespräch.*

## RAUM 2 — Ärzte & Therapeuten

*Klinische Einordnung · Mechanismen · Patientengespräch*

**Warum nicht-thermische Effekte heute medizinisch nicht mehr ignoriert werden können**

Konsistente Befunde zu oxidativem Stress und Calciumkanalaktivierung, eine biophysikalisch plausible Wirkkette und eine wachsende Zahl klinisch auffälliger Patientinnen und Patienten machen eine rein thermische Betrachtung der Exposition medizinisch unzureichend.

### Wie lassen sich nicht-thermische Effekte klinisch und biophysikalisch einordnen?

Aus ärztlicher Sicht ist es hilfreich, den Begriff funktional zu definieren: Nicht-thermische Effekte sind biologische Veränderungen unter HF-EMF-Exposition, die bei spezifischer Absorptionsrate (SAR) deutlich unterhalb der Schwellen auftreten, bei denen messbare Gewebeerwärmung einsetzt.

**Mechanismen im Überblick**

Vier experimentell untersuchte Wirkpfade, die sich gegenseitig verstärken können: Oxidativer Stress (ROS) · Calciumkanal-Aktivierung (VGCC) · Radikalpaar-Mechanismus · Genexpressions- und DNA-Effekte. Warum die Unterscheidung zwischen thermischen und nicht-thermischen Effekten für die Grenzwertsetzung entscheidend ist, zeigt Artikel 4.

In spezifischen Domänen sind diese Effekte durch mehrere unabhängige Arbeitsgruppen dokumentiert:

- Oxidativer Stress und ROS-Bildung — in der großen Mehrzahl der ausgewerteten Studien berichtet [1]
- Aktivierung spannungsgesteuerter Calciumkanäle (VGCC) — von mehreren Gruppen berichtet [2]; ausführlich in Artikel 10
- DNA-Schadensmarker — seit 1995 von unabhängigen Gruppen in mehreren Ländern berichtet, vor und nach dem EU-Projekt REFLEX [3, 4, 5, 6]
- Veränderungen des Schlaf-EEG — erhöhte Aktivität im Spindelbereich (ca. 11–15 Hz) und verkürzte Einschlaflatenz, berichtet von Gruppen in der Schweiz [7, 8], Deutschland [9], Australien [10] und Großbritannien [11]
- Neurovegetative Reaktionen — veränderte Herzfrequenzvariabilität, berichtet von Gruppen in der Slowakei [12], Polen [13] und der Türkei [14]

Die EUROPAEM-Leitlinie [15] leitet aus dieser Befundlage ab, EMF-sensible Patientinnen und Patienten ernst zu nehmen und Expositionsreduktion als diagnostische und therapeutische Option zu prüfen.

## Welche Patientengruppen stehen im Vordergrund?

- **Menschen mit Elektrohypersensibilität (EHS):** zeitlich an Exposition gebundene Beschwerden wie Kopfschmerzen, Herzrasen, Schlafstörungen und kognitive Ermüdbarkeit. Ausführlich in den Artikeln 12, 22 und 29.
- **Chronische Schlafstörungen** in funkintensiver Umgebung — biologisch passend zu den oben genannten Schlaf-EEG-Befunden.
- **Neurovegetative Stresssymptome** wie innere Unruhe, Blutdruck- und Pulsschwankungen — biologisch passend zu den oben genannten HRV-Befunden.
- **Kinder und Jugendliche:** Zusammenhänge zwischen HF-Exposition und Aufmerksamkeits- bzw. Verhaltensauffälligkeiten, berichtet aus mehreren unabhängigen Kohorten in Europa und Asien [16, 17, 18, 19] — auch bei vorgeburtlicher Exposition, bei der die Bildschirmnutzung des Kindes als Erklärung ausscheidet.

Die klinische Kunst besteht darin, HF-EMF als eigenständigen Belastungsfaktor ernst zu nehmen und ihn zugleich im Gesamtbild aus Stress, Schlafhygiene, psychosozialer Belastung und weiteren Umwelteinflüssen zu sehen.

## Was zeigt die klinische Beobachtung aus der Praxis?

Eine der aufschlussreichsten epidemiologischen Untersuchungen stammt aus dem Alltag niedergelassener Ärzte. Fünf Hausärzte aus Naila in Oberfranken — Horst Eger, Klaus Uwe Hagen, Birgitt Lucas, Peter Vogel und Helmut Voit — werteten retrospektiv ihre Patientenunterlagen der Jahre 1994 bis 2004 aus [20]. Die Frage: Unterscheidet sich die Krebsinzidenz zwischen Patienten, die innerhalb von 400 Metern um eine seit 1993 betriebene Mobilfunksendeanlage wohnten, und solchen im weiteren Umkreis?

Im Nahbereich traten Krebsneuerkrankungen etwa doppelt so häufig auf wie im Fernbereich; die Betroffenen erkrankten im Durchschnitt 8,5 Jahre früher. In den ersten fünf Jahren nach Inbetriebnahme zeigte sich noch keine signifikante Erhöhung — erst danach wurde der Unterschied statistisch sichtbar. Ein vergleichbar erhöhtes

Krebsrisiko in der Nähe von Sendeanlagen berichteten unabhängig davon Wolf & Wolf (Netanya, Israel) [21] und Dode et al. (Belo Horizonte, Brasilien) [22].

**Klinische Relevanz der Naila-Studie**

Die beobachtenden Ärzte kannten ihre Patienten persönlich — ihre Krankheitsverläufe, Lebensumstände und Nachbarschaft. Die Studie ist eine retrospektive Pilotstudie ohne randomisiertes Design, aber präzise in dem, was sie erfasst: reale Erkrankungen realer Patienten in einem definierten Zeitraum und Raum. Epidemiologisch beraten von Prof. Frentzel-Beyme, Bremen.

## Wie lassen sich die Befunde im Patientengespräch vermitteln?

**Formulierungsvorschläge für die Praxis**

*„Ihre Beschwerden sind ein wichtiges Signal Ihres Körpers. Wir schauen sie uns gemeinsam an."*

*„Funkstrahlung kann in unseren Zellen Stress auslösen. Manche Menschen spüren das deutlich, zum Beispiel als Unruhe oder schlechten Schlaf."*

*„Wo sehen Sie selbst Möglichkeiten, Funk in Ihrem Alltag zu verringern?"*

## Wie kann Expositionskarenz diagnostisch und therapeutisch eingesetzt werden?

**Diagnostischer Ansatz**

- Über 2–4 Wochen: WLAN nachts abschalten, Handy im Flugmodus, Router nicht im Schlafzimmer
- Symptomtagebuch: Schlaf, Kopfschmerzen, innere Unruhe, kognitive Leistung
- Nach Möglichkeit: Vergleich mit einer Phase höherer Exposition

Diese Karenzphase ist als therapeutischer Baustein sinnvoll, ihre diagnostische Aussagekraft ist jedoch begrenzt: Im Alltag lässt sich kein echtes Nullfeld herstellen — Nachbar-WLAN, Mobilfunkzellen und andere Quellen bleiben wirksam. Eine ausbleibende Besserung kann deshalb ebenso gut eine unzureichende Reduktion widerspiegeln.

**Therapeutischer Ansatz**

- Expositionsreduktion als Baustein im multimodalen Programm
- Gemeinsam mit: Schlafhygiene, Stressregulation, Bewegung, ggf. Psychotherapie
- Die Patientin oder der Patient bestimmt die ersten Schritte mit: „Was möchten Sie als Erstes ausprobieren?"

**Ärztliches Fazit**

Eine vorsorgliche, undramatische Reduktion vermeidbarer Funkbelastung ist bei betroffenen Patientinnen und Patienten medizinisch begründbar — als ein Baustein unter mehreren.

*→ Die vollständige Evidenzbasis, Mechanismen und regulatorischen Einordnungen finden Sie im folgenden Abschnitt.*

## RAUM 3 — Wissenschaft & Fachkreise

*Evidenzbasis · Mechanismen · Regulatorische Einordnung · Methodenkritik*

*Methodischer Hinweis: Die Forschung zu nicht-thermischen Effekten ist heterogen in Qualität und Ergebnis. Einige Befunde sind durch mehrere unabhängige Gruppen mit vergleichbaren Ergebnissen bestätigt, bei anderen liegen bislang Einzelbefunde vor. Gegenbefunde werden an den jeweiligen Stellen offen benannt.*

### Wie definieren Forschung und Leitlinien nicht-thermische Effekte?

Nicht-thermische Effekte sind biologische Veränderungen unter HF-EMF-Exposition unterhalb der thermischen Schwellen — also ohne relevante Temperaturerhöhung im Gewebe. Die EUROPAEM-Leitlinie [15] fasst zusammen, dass biophysikalisch plausible Mechanismen und vielfältige experimentelle Hinweise vorliegen. Regulatorische Bewertungen wie SCHEER [23] oder die WHO-beauftragten Reviews [24] stufen die Evidenz überwiegend als niedrig ein und betonen zugleich den Forschungsbedarf. Dahinter stehen unterschiedliche Beweismaßstäbe: Präventionsorientierte Medizin handelt auf Basis plausibler Mechanismen und konsistenter Signale, regulatorische Bewertungen fordern robuste Dosis-Wirkungs-Beziehungen als Voraussetzung für Grenzwertänderungen.

### Welche biologischen Mechanismen stehen im Fokus der Forschung?

**Oxidativer Stress und reaktive Sauerstoffspezies (ROS)**

Eine ausgezählte Literaturübersicht fand in 124 von 131 Studien signifikante oxidative Effekte — erhöhte ROS, Lipidperoxidation, veränderte Antioxidantien-Aktivität [1]; die Schweizer Expertengruppe BERENIS kam 2021 ebenfalls zu dem Schluss, dass die Mehrzahl der Tier- und Zellstudien Hinweise auf vermehrten oxidativen Stress zeigt [25]. ⊙ Das WHO-beauftragte systematische Review von Meyer et al. [26] bewertet die Gesamtevidenz wegen Bias-Risiko und uneinheitlicher Effektrichtung als von niedriger Vertrauenswürdigkeit — das betrifft die Zusammenfassbarkeit für ein regulatorisches Urteil, nicht die einzelnen positiven Befunde. Ausführlich in Artikel 2.

**Spannungsgesteuerte Calciumkanäle (VGCC)**

Veränderte $Ca^{2+}$-Einstrommuster unter HF-EMF-Exposition und die daran anschließenden Signalwege gelten als Bindeglied zu oxidativem Stress und DNA-Schäden [2]. ⊙ Mechanismus, Studienlage und biophysikalische Gegenposition behandelt Artikel 10.

**Radikalpaar-Mechanismus**

Sehr schwache HF-Felder können im Zusammenspiel mit statischen Magnetfeldern den Übergang zwischen Singulett- und Triplett-Zuständen von Radikalpaaren beeinflussen. Das kann die Lebensdauer freier Radikale verlängern und ihre biologische Wirksamkeit verstärken — unabhängig von Erwärmung [27]. Dass schwache

HF-Felder über diesen Mechanismus biologisch wirksam werden, zeigen unabhängig davon Experimente zum Magnetkompass von Zugvögeln: Schwache Hochfrequenzfelder im Megahertzbereich stören die Orientierung (Frankfurt) [28], ebenso breitbandiges elektromagnetisches Rauschen in städtischer Umgebung (Oldenburg) [29].

**DNA-Schäden und genomische Instabilität — ein Befund mit 30 Jahren Geschichte**

- **Vor REFLEX:** Lai und Singh (Seattle) wiesen 1995 und 1996 DNA-Einzel- und Doppelstrangbrüche in Hirnzellen von Ratten nach niedrig dosierter 2450-MHz-Exposition nach [3, 30]. Lalić et al. (Kroatien) [4] und Othman et al. (Ägypten) [31] fanden 2001 Chromosomenveränderungen bei beruflich HF-exponierten Beschäftigten.
- **REFLEX (EU-Projekt, 2000–2004):** Im Projekt arbeiteten 12 Forschergruppen aus 7 Ländern, koordiniert von Prof. Franz Adlkofer (VERUM-Stiftung, München). Die Wiener Arbeitsgruppe um Rüdiger wies DNA-Einzel- und Doppelstrangbrüche in menschlichen Fibroblasten nach 1800-MHz-Exposition unterhalb der Grenzwerte nach [5]; weitere Teilprojekte berichteten Veränderungen von Genexpression und Proteinaktivität. Die gegen die Studie erhobenen Fälschungsvorwürfe hat das Hanseatische Oberlandesgericht Bremen zurückgewiesen; Lerchl wurde verurteilt, sie zu unterlassen [32].
- **Nach REFLEX:** Panagopoulos et al. (Griechenland) berichteten 2007 DNA-Fragmentierung nach GSM-Exposition [6], Uslu et al. (Türkei) 2019 Chromosomenveränderungen in humanen Fetalzellen [33]. Das österreichische ATHEM-Programm (AUVA) unter Leitung von Wilhelm Mosgöller zeigte DNA-Schäden in empfindlichen Zelllinien unter UMTS-Exposition [34]; das dort beschriebene Non-Responder-Phänomen — strahlungsempfindliche neben unempfindlichen Zellen — ist bislang ein Einzelbefund dieser Arbeitsgruppe. Gulati et al. fanden 2024 erhöhte Marker für oxidative Schäden und Chromosomenaberrationen bei langjährigen Anwohnern von Basisstationen [35] (Einordnung in Artikel 2); Mosgöller ist Mitautor, die Studie ist daher als Befund aus dem Umfeld der Wiener Gruppe einzuordnen.
- **Gegenbefunde:** Malyapa et al. konnten den Befund von Lai und Singh 1998 unter vergleichbaren Bedingungen nicht bestätigen [36]; Speit et al. fanden 2007 unter REFLEX-Bedingungen keinen Effekt [37]. Beide gelten für die jeweils untersuchten Zelltypen und Versuchsanordnungen und begrenzen die positiven Befunde anderer Gruppen nicht.

**Schlaf-EEG und autonomes Nervensystem**

Die Zürcher Gruppe um Borbély, Huber und Achermann fand wiederholt erhöhte EEG-Aktivität im Spindelbereich nach gepulster Exposition und zeigte, dass die Pulsmodulation dafür entscheidend ist [7, 8]; Loughran et al. (Australien) [10] und Hung et al. (Großbritannien, verzögertes Einschlafen) [11] kamen zu vergleichbaren Ergebnissen. Die Mainzer Gruppe berichtete 1996 veränderten Schlaf unter Exposition [9], konnte dies in ihrer Folgestudie aber nicht bestätigen [38]. Für die Herzfrequenzvariabilität berichten Misek et al. [12], Andrzejak et al. [13] und Yılmaz & Yıldız [14] Veränderungen unter Mobilfunkexposition. Braune et al. fanden 1998 einen Blutdruckanstieg [39], in der randomisierten Folgestudie 2002 jedoch keinen Effekt [40]; Parazzini et al. fanden nur schwache Veränderungen einzelner HRV-Parameter [41]. Diese Nullbefunde betreffen akute Einzelexpositionen von Minuten bis wenigen Stunden bei gesunden jungen Probanden — über chronische Alltagsexposition oder empfindliche Personen sagen sie nichts aus.

**Kinder und Jugendliche**

In fünf Geburtskohorten aus Dänemark, Korea, den Niederlanden, Norwegen und Spanien mit rund 84 000 Mutter-Kind-Paaren ging mütterliche Handynutzung in der Schwangerschaft mit mehr Hyperaktivitäts- und Aufmerksamkeitsproblemen der Kinder einher [16]; die dänische Kohorte hatte dies zuvor bereits gezeigt [42]. Bei vorgeburtlicher Exposition scheidet die Bildschirmnutzung des Kindes als Erklärung aus. Thomas et al. fanden bei bayerischen Kindern und Jugendlichen mit personengetragenen Messgeräten mehr Verhaltensauffälligkeiten bei höherer gemessener HF-Exposition [17], Byun et al. in Korea einen Zusammenhang zwischen Handynutzung und ADHS-Symptomen [18]. Foerster et al. zeigten bei Schweizer Jugendlichen, dass die Abnahme des figuralen Gedächtnisses an der modellierten Strahlungsdosis im Gehirn hängt, während Mediennutzung ohne relevante Strahlungsdosis keine vergleichbaren Zusammenhänge zeigte [19]. ⊙

**IARC-Klassifikation**

Die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) hat hochfrequente elektromagnetische Felder 2011 als „möglicherweise krebserregend für den Menschen“ (Gruppe 2B) eingestuft [43]. 2024 empfahl die IARC-Beratergruppe eine Neubewertung mit hoher Priorität, begründet mit neuer Evidenz aus Human- und Tierstudien [44]. Ausführlich in Artikel 5.

## Warum ist die Reproduzierbarkeit der Befunde so anspruchsvoll?

Nicht-thermische Effekte hängen nicht linear von der Feldstärke ab. Ihre Ausprägung ist abhängig von:

- der genauen Frequenz und Modulation des Signals
- der Expositionsdauer und dem zeitlichen Muster (gepulst oder kontinuierlich)
- dem gleichzeitig einwirkenden statischen Magnetfeld (z. B. Erdmagnetfeld)
- dem individuellen antioxidativen Status der untersuchten Zellen oder Organismen
- der Polarisation des Feldes

Werden bei Wiederholungsstudien Nuancen im Versuchsaufbau verändert, können Effekte ausbleiben. Ein einfaches Aufrechnen positiver und negativer Studien ohne Kontrolle dieser Parameter greift methodisch zu kurz — das ist eine Eigenschaft des biologischen Systems, keine Schwäche des Befunds.

## Was zeigen Humanexperimente zu akuten Symptomen?

**Bosch-Capblanch et al. (2024):** Das WHO-beauftragte systematische Review von 41 doppelblind-kontrollierten Provokationsstudien fand unter Verblindung keinen konsistenten Zusammenhang zwischen kurzzeitiger Exposition (Minuten bis Stunden, unterhalb der Grenzwerte) und selbstberichteten Akutsymptomen, auch bei Personen mit Elektrosensibilität [45]. ◯ Dieser Nullbefund gilt für akute Kurzzeitprovokation und selbstberichtete Symptome — über chronische Exposition und objektive Parameter sagt er nichts aus. Die meisten einbezogenen Studien hatten zudem keine mehrtägige Stabilisierungsphase vor der Provokation und sind damit methodisch in Richtung falsch-negativer Ergebnisse vorbelastet (ausführlich in Artikel 29). Mitautor Martin Röösli war von 2016 bis 2024 Mitglied der ICNIRP-Kommission [46]; zur ICNIRP-Beteiligung an den WHO-Reviews siehe Artikel 26.

**Fachliche Gegendarstellung (Bevington, 2024):** Ein publizierter Kommentar des Vorsitzenden von Electrosensitivity UK kritisiert Studienauswahl und Gewichtung experimenteller Biomarkerbefunde und hält die Schlussfolgerung für eine Unterschätzung akuter nicht-thermischer Effekte [47]. Die Autoren haben darauf offiziell geantwortet. Als fachliche Auseinandersetzung, keine eigenständige Studie, trägt sie keinen Wissensstandsmarker.

## Wie ordnen die relevanten Institutionen die Evidenz ein?

| Institution | Position |
|---|---|
| EUROPAEM (2016) | Konsistente Hinweise auf nicht-thermische Effekte; empfiehlt Vorsorgewerte weit unterhalb thermischer Grenzwerte |
| IARC (2011) | RF-EMF möglicherweise krebserregend (Gruppe 2B); Neubewertung mit hoher Priorität empfohlen (2024) |
| SCHEER (2023) | Keine ausreichende Evidenz für eine Grenzwertrevision; betont Forschungsbedarf |
| WHO-Reviews (2019–2025) | Evidenz überwiegend niedrig oder sehr niedrig; fordert qualitativ hochwertigere Replikationsstudien |

Institutionelle Positionen sind Kommentare zu Befunden, kein eigener Wissensstand — deshalb ohne Marker. Die Institutionen kommen zu unterschiedlichen Bewertungen (EUROPAEM „konsistent“, SCHEER/WHO „unzureichend“); auch das ist Teil des Befunds.

**Zur Einordnung von ICNIRP**

ICNIRP ist ein privater, sich selbst ergänzender Verein — keine staatliche Behörde, keine UN-Organisation. Die von ICNIRP empfohlenen Grenzwerte beruhen auf thermischen Effekten (im unteren Frequenzbereich zusätzlich auf Nervenstimulation) und bilden nicht-thermische Wirkungen strukturell nicht ab. Ausführlich in Artikel 3 und 6.

## Welche ärztliche Einordnung ist vor diesem Hintergrund verantwortbar?

- Biophysikalisch plausible Mechanismen (oxidativer Stress, Ionenkanäle, DNA-Effekte) sind beschrieben und von mehreren unabhängigen Gruppen experimentell gestützt.
- Die experimentelle Evidenz zeigt häufig Effekte, ist aber methodisch heterogen.
- Human- und epidemiologische Daten zu chronischer Alltagsexposition sind lückenhaft.
- Ein Sicherheitsnachweis für lebenslange chronische Exposition fehlt.

**Kein Schadensnachweis ≠ Sicherheitsnachweis. Gerade angesichts einer allgegenwärtigen, früh beginnenden und über Jahrzehnte anhaltenden Exposition ist eine vorsorgliche Reduktion vermeidbarer Funkbelastungen rational begründbar — ohne Alarm, ohne Verharmlosung.**

**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 [48]. Lloyd's selbst hatte 2010 in einem Risikobericht Parallelen zur Asbest-Haftung geprüft [49]. Der Rückversicherer Swiss Re ordnete gesundheitliche Haftungsrisiken durch elektromagnetische Felder 2013 in seine höchste Auswirkungskategorie ein [50] und führt 5G seit 2019 als aufkommendes Risiko [51]. Das ist kein medizinisches Urteil, aber ein wirtschaftlicher Indikator für anerkannte Unsicherheit. Ausführlich in Artikel 19.

**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 | Yakymenko I, Tsybulin O: Oxidative Stress induced by Wireless Communication Electromagnetic Fields (Kapitel 3). In: Panagopoulos DJ (Hrsg.), Electromagnetic Fields of Wireless Communications: Biological and Health Effects. CRC Press/Routledge, 2023. — Ausgezählte Literaturübersicht (keine Metaanalyse): 124 von 131 Studien mit signifikanten oxidativen Effekten. |
| 2 | 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. https://doi.org/10.3892/ijo.2021.5272 |
| 3 | Lai H, Singh NP: Acute low-intensity microwave exposure increases DNA single-strand breaks in rat brain cells. Bioelectromagnetics. 1995;16(3):207–210. https://doi.org/10.1002/bem.2250160309 PMID 7677797. |
| 4 | Lalić H, Lekić A, Radošević-Stašić B: Comparison of chromosome aberrations in peripheral blood lymphocytes from people occupationally exposed to ionizing and radiofrequency radiation. Acta Med Okayama. 2001;55(2):117–127. https://doi.org/10.18926/AMO/32005 PMID 11332198. |
| 5 | 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. |
| 6 | 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. |
| 7 | 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. https://doi.org/10.1016/S0304-3940(99)00770-3 |
| 8 | Huber R, Treyer V, Borbély AA, Schuderer J, Gottselig JM, Landolt HP, Werth E, Berthold T, Kuster N, Buck A, Achermann P: Electromagnetic fields, such as those from mobile phones, alter regional cerebral blood flow and sleep and waking EEG. J Sleep Res. 2002;11(4):289–295. https://doi.org/10.1046/j.1365-2869.2002.00314.x PMID 12464096. |

| # | Quelle |
|---|---|
| 9 | Mann K, Röschke J: Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on human sleep. Neuropsychobiology. 1996;33(1):41–47. https://doi.org/10.1159/000119247 |
| 10 | 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. |
| 11 | Hung CS, Anderson C, Horne JA, McEvoy P: Mobile phone 'talk-mode' signal delays EEG-determined sleep onset. Neurosci Lett. 2007;421(1):82–86. |
| 12 | 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. |
| 13 | 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. https://doi.org/10.2486/indhealth.46.409 PMID 18716391. |
| 14 | Yılmaz D, Yıldız M: Analysis of the mobile phone effect on the heart rate variability by using the largest Lyapunov exponent. J Med Syst. 2010;34(6). https://doi.org/10.1007/s10916-009-9328-z |
| 15 | 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. https://doi.org/10.1515/reveh-2016-0011 |
| 16 | Birks L, Guxens M, Papadopoulou E, Alexander J, Ballester F, Estarlich M, Gallastegi M, Ha M, Haugen M, Huss A, Kheifets L, Lim H, Olsen J, Santa-Marina L, Sudan M, Vermeulen R, Vrijkotte T, Cardis E, Vrijheid M: Maternal cell phone use during pregnancy and child behavioral problems in five birth cohorts. Environ Int. 2017;104:122–131. https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.03.024 |
| 17 | Thomas S, Heinrich S, von Kries R, Radon K: Exposure to radio-frequency electromagnetic fields and behavioural problems in Bavarian children and adolescents. Eur J Epidemiol. 2010;25(2):135–141. |
| 18 | Byun YH, Ha M, Kwon HJ, Hong YC, Leem JH, Sakong J, Kim SY, Lee CG, Kang D, Choi HD, Kim N: Mobile phone use, blood lead levels, and attention deficit hyperactivity symptoms in children: a longitudinal study. PLoS One. 2013;8(3):e59742. |
| 19 | Foerster M, Thielens A, Joseph W, Eeftens M, Röösli M: A prospective cohort study of adolescents' memory performance and individual brain dose of microwave radiation from wireless communication. Environ Health Perspect. 2018;126(7):077007. https://doi.org/10.1289/EHP2427 PMID 30044230. |
| 20 | Eger H, Hagen KU, Lucas B, Vogel P, Voit H: Einfluss der räumlichen Nähe von Mobilfunksendeanlagen auf die Krebsinzidenz. umwelt·medizin·gesellschaft. 2004;17(4):326–332. |
| 21 | Wolf R, Wolf D: Increased incidence of cancer near a cell-phone transmitter station. Int J Cancer Prev. 2004;1(2):123–128. |
| 22 | Dode AC, Leão MMD, Tejo FAF, Gomes ACC, Dode DC, Dode MC, Moreira CW, Condessa VA, Albinatti C, Caiaffa WT: Mortality by neoplasia and cellular telephone base stations in the Belo Horizonte municipality, Minas Gerais state, Brazil. Sci Total Environ. 2011;409(19):3649–3665. |
| 23 | 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. |

| # | Quelle |
|---|---|
| 24 | BERENIS (Beratende Expertengruppe Nicht-Ionisierende Strahlung): Newsletter-Sonderausgabe — Bewertung der WHO-beauftragten systematischen Reviews zu gesundheitlichen Wirkungen von HF-EMF. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Dezember 2025. |
| 25 | BERENIS (Beratende Expertengruppe Nicht-Ionisierende Strahlung): Newsletter-Sonderausgabe — Gibt es Hinweise auf vermehrten oxidativen Stress durch elektromagnetische Felder? Bundesamt für Umwelt (BAFU), Januar 2021. |
| 26 | Meyer F, Bitsch A, Forman HJ, Fragoulis A, Ghezzi P, Henschenmacher B, Kellner R, Kuhne J, Ludwig T, Sachno D, Schmid G, Tsaioun K, Verbeek J, Wright R: The effects of radiofrequency electromagnetic field exposure on biomarkers of oxidative stress in vivo and in vitro: A systematic review of experimental studies. Environ Int. 2024;194:108940. https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108940 PMID 39566441. |
| 27 | Warnke U: Ein initialer Mechanismus zu Schädigungseffekten durch Magnetfelder bei gleichzeitig einwirkender Hochfrequenz des Mobil- und Kommunikationsfunks. umwelt·medizin·gesellschaft. 2009;22(3):219–232. |
| 28 | Ritz T, Thalau P, Phillips JB, Wiltschko R, Wiltschko W: Resonance effects indicate a radical-pair mechanism for avian magnetic compass. Nature. 2004;429:177–180. |
| 29 | Engels S, Schneider NL, Lefeldt N, Hein CM, Zapka M, Michalik A, Elbers D, Kittel A, Hore PJ, Mouritsen H: Anthropogenic electromagnetic noise disrupts magnetic compass orientation in a migratory bird. Nature. 2014;509:353–356. |
| 30 | 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. https://doi.org/10.1080/095530096145814 PMID 8627134. |
| 31 | Othman OE, Aly MS, El Nahas SM: Aneuploidy in workers occupationally exposed to electromagnetic field detected by FISH. Cytologia. 2001;66:117–125. |
| 32 | Hanseatisches Oberlandesgericht Bremen, Urteil vom 11.12.2020 (Az. 5 U 47/19): Lerchl wird verurteilt, Fälschungsbehauptungen gegenüber der REFLEX-Studie zu unterlassen. |
| 33 | Uslu N, Demirhan O, Emre M, Seydaoğlu G: The chromosomal effects of GSM-like electromagnetic radiation exposure on human fetal cells. Biomed Res Clin Pract. 2019;4. https://doi.org/10.15761/BRCP.1000192 |
| 34 | Mosgöller W et al.: ATHEM-2: Untersuchung athermischer Wirkungen elektromagnetischer Felder im Mobilfunkbereich. AUVA Report Nr. 70. Wien: AUVA, 2016. |
| 35 | Gulati S, Mosgöller W, Moldan D, Kosik P, Durdik M, Jakl L, Skorvaga M, Markova E, Kochanova D, Vigasova K, Belyaev I: Evaluation of oxidative stress and genetic instability among residents near mobile phone base stations in Germany. Ecotoxicol Environ Saf. 2024;279:116486. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116486 PMID 38820877. |
| 36 | Malyapa RS, Ahern EW, Bi C, Straube WL, LaRegina M, Pickard WF, Roti Roti JL: DNA damage in rat brain cells after in vivo exposure to 2450 MHz electromagnetic radiation and various methods of euthanasia. Radiat Res. 1998;149(6):637–645. — Gegenbefund zu Lai & Singh. |
| 37 | Speit G, Schütz P, Hoffmann H: Genotoxic effects of exposure to radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMF) in cultured mammalian cells are not independently reproducible. Mutat Res. 2007;626(1–2):42–47. — Gegenbefund zu REFLEX. |
| 38 | Wagner P, Röschke J, Mann K, Hiller W, Frank C: Human sleep under the influence of pulsed radiofrequency electromagnetic fields: a polysomnographic study using standardized conditions. Bioelectromagnetics. 1998;19(3):199–202. — Folgestudie der Mainzer Gruppe ohne Bestätigung des Befunds von 1996. |

| # | Quelle |
|---|---|
| 39 | Braune S, Wrocklage C, Raczek J, Gailus T, Lücking CH: Resting blood pressure increase during exposure to a radio-frequency electromagnetic field. Lancet. 1998;351(9119):1857–1858. |
| 40 | Braune S, Riedel A, Schulte-Mönting J, Raczek J: Influence of a radiofrequency electromagnetic field on cardiovascular and hormonal parameters of the autonomic nervous system in healthy individuals. Radiat Res. 2002;158(3):352–356. — Gegenbefund: randomisierte Folgestudie ohne Effekt. |
| 41 | Parazzini M, Ravazzani P, Tognola G, Thuróczy G, Molnár FB, Sacchettini A, Ardesi G, Mainardi LT: Electromagnetic fields produced by GSM cellular phones and heart rate variability. Bioelectromagnetics. 2007;28(2):122–129. — Überwiegend kein Effekt, schwache Veränderungen einzelner Parameter. |
| 42 | Divan HA, Kheifets L, Obel C, Olsen J: Prenatal and postnatal exposure to cell phone use and behavioral problems in children. Epidemiology. 2008;19(4):523–529. |
| 43 | IARC Working Group: Non-Ionizing Radiation, Part 2: Radiofrequency Electromagnetic Fields. IARC Monographs Vol. 102. Lyon: IARC, 2013 (Klassifikation 2011 beschlossen). |
| 44 | IARC Monographs Priorities Group: Advisory Group recommendations on priorities for the IARC Monographs during 2025–2029. Lancet Oncol. 2024. https://doi.org/10.1016/S1470-2045(24)00208-0 |
| 45 | Bosch-Capblanch X, Esu E, Oringanje CM, Dongus S, Jalilian H, Eyers J, Auer C, Meremikwu M, Röösli M: The effects of radiofrequency electromagnetic fields exposure on human self-reported symptoms: A systematic review of human experimental studies. Environ Int. 2024;187:108612. https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108612 PMID 38640611. Corrigendum: Environ Int. 2024;190:108892. |
| 46 | ICNIRP: Martin Röösli — Mitglied der ICNIRP-Kommission 2016–2024, seither Scientific Expert Group. icnirp.org (abgerufen 09/2026). |
| 47 | Bevington M: Available evidence shows adverse symptoms from acute non-thermal RF-EMF exposure. Comment on Bosch-Capblanch et al. Environ Int. 2024;191:108888. https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108888 PMID 39179436. |
| 48 | 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. |
| 49 | Lloyd's Emerging Risks Team: Electromagnetic fields from mobile phones: recent developments. Lloyd's Emerging Risk Report. London, November 2010. |
| 50 | Swiss Re: SONAR — Emerging risk insights. Zürich, 2013 (Abschnitt „Unforeseen consequences of electromagnetic fields“). |
| 51 | Swiss Re Institute: SONAR — New emerging risk insights. Zürich, Mai 2019 (Kapitel zu 5G). |