

**Oktober 2025**

## **Hintergrundpapier zur Frage gesundheitlicher Risiken durch hochfrequente EMF (100 kHz ≤ f ≤ 300 GHz)**

Ausgelöst durch Diskussionen im Rahmen der IRPA 16, die bestehenden Grenzwerte bei nichtionisierender Strahlung (NIR), insbesondere bei EMF und dem 5G-Mobilfunk, schützten nicht vor schwerwiegenden gesundheitlichen Auswirkungen, möchte sich der AKNIR für weitergehende Diskussionen vorbereiten und die wesentlichen Fakten zu hochfrequenten EMF (100 kHz – 300 GHz) und möglichen gesundheitlichen Auswirkungen zusammentragen. Vor allem geht es um die Abgrenzung zu gesundheitlichen Risiken von ionisierender Strahlung (IR).

Hierbei wird anhand der Betrachtung der physikalischen Grundlagen hochfrequenter elektromagnetischer Felder erläutert, ob sie überhaupt irgendwelche Reaktionen im Organismus oder in Zellen auslösen können. Dieses wird im Folgenden vertieft.

In biologischen Systemen (lebende Zellen und lebende Organismen) sind diese als offene Systeme im Sinne der Thermodynamik zu betrachten (zelluläre oder molekulare Bioenergetik, Thermodynamik lebender Organismen), d. h. sie tauschen mit ihrer Umgebung Materie (Stoffe) und Energie aus (stofflicher, informatorischer und energetischer Austausch). Insofern stehen sie mit der Umgebung, also auch mit elektromagnetischen Feldern und deren Energie, in einem energetischen Austausch. Mithin kann davon ausgegangen werden, dass sie den Gesetzmäßigkeiten der Thermodynamik irreversibler Prozesse (stationärer Nichtgleichgewichtszustand) unterliegen. Dies steht im Einklang mit der Feststellung, dass in Zellen und im Organismus ständig für ein offenes System kennzeichnende irreversible (nicht umkehrbare) chemische und andere Vorgänge ablaufen.

### **Energiebetrachtung: Kann EMF chemische Bindungen aufbrechen?**

Um diese Frage zu beantworten, werden zunächst die aus der Literatur bekannten Basisinformationen zu verschiedenen chemischen Verbindungen aufgeführt, hier in der Einheit Elektronenvolt (eV). Anschließend werden diesen Werten die Energieinhalte von EMF, aber auch ionisierender Strahlung als Photonenenergie gegenübergestellt. Nur wenn der Energieinhalt höher ist als die Bindungsenergie der chemischen Verbindungen, ist überhaupt die Voraussetzung gegeben, möglicherweise solche Bindungen aufzubrechen und somit schädigende Wirkungen hervorzurufen. Dies ist bei ionisierender Strahlung der Fall, aber nicht bei EMF.

Die nachfolgende Tabelle 1 zeigt die Bindungsenergie verschiedener molekularer Verbindungen [1]. Ausgehend von der dreifachen N≡N-Bindung mit der höchsten Energie von 9,5 eV pro Bindung fällt der Energieinhalt über eine Einfachbindung C-C (3,6 eV) und die Wasserstoffbrückenbindung (0,1 eV) bis hin zur mittleren molekularen thermischen Energie von 0,04 eV.

**Tabelle 1:** Chemische Bindungsenergien und mittlere molekulare thermische Energie

Bindungstyp	Energie in eV/Bindung
N≡N (Dreifachbindung)	9,5
O=O (Doppelbindung)	5,1
H-H (Einfachbindung)	4,5
C-C (Einfachbindung)	3,6
Wasserstoffbrückenbindung	0,1 bis 0,4
Mittlere molekulare thermische Energie ( $\frac{3}{2} kT$ ) bei 300 Kelvin	0,04

Tabelle 2 zeigt im Vergleich den Energieinhalt der Strahlung und Felder verschiedener Frequenzen im elektromagnetischen Spektrum. So liegt zwischen der Photonenenergie von Röntgenstrahlung und der von Feldern einer Hochspannungsleitung ein Faktor von  $10^{15}$ .

**Tabelle 2:** Photonenenergie im elektromagnetischen Spektrum (ionisierende und nichtionisierende Strahlung/EMF)

Art der Strahlung/ EMF	Typische Wellenlänge $\lambda$	Photonenenergie E
Röntgenstrahlung	1,2 nm	1000 eV
Licht	0,5 $\mu\text{m}$	2,5 eV
Millimeter-Radar	1,2 mm	$10^{-3}$ eV
Hochfrequente EMF (100 kHz bis 300 GHz)	1 mm bis 3 km	$10^{-10}$ eV bis $10^{-3}$ eV
Mobilfunk und WLAN (700 MHz bis 5,5 GHz)	5,4 cm bis 40 cm	$3 \cdot 10^{-6}$ eV bis $2 \cdot 10^{-5}$ eV
UKW-Rundfunk und DVB-T (87,5 MHz bis 694 MHz)	40 cm bis 3,4 m	$4 \cdot 10^{-7}$ eV bis $3 \cdot 10^{-6}$ eV
Hochspannungsleitung (50 Hz)	6000 km	$2 \cdot 10^{-13}$ eV

Zusammenhänge: Photonenenergie  $E = h \cdot f = h \cdot c / \lambda$   
 mit  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s (Lichtgeschwindigkeit)  
 $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$  J·s =  $4,14 \cdot 10^{-15}$  eV·s (Planck-Konstante)  
 $f$  Frequenz  
 $\lambda$  Wellenlänge

Für hochfrequente EMF nimmt der Energieinhalt mit steigender Frequenz zu. Für eine konservative Abschätzung des Energieinhaltes setzt man daher ein elektromagnetisches Feld mit einer Frequenz von 300 GHz an (obere Frequenzgrenze). Es ergibt sich für EMF eine maximale Photonenenergie von  $300 \cdot 10^9 / \text{s} \cdot 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s} = 1,242 \cdot 10^{-3} \text{ eV}$ . Selbst bei diesen hohen Frequenzen ist die Photonenenergie im Vergleich zu den o.a. Bindungsenergien (Tabelle 1) sehr klein. Darüber hinaus liegt sie eine Größenordnung unterhalb der mittleren molekularen thermischen Energie.

Die Werte in Tabelle 2 zeigen, dass ionisierende Strahlung grundsätzlich mit viel höheren Energiewerten verbunden ist als hochfrequente Felder z. B. des Mobilfunks. Insbesondere zeigt sich, dass die Maximalenergie von etwa  $10^{-3}$  eV der Hochfrequenz-Photonen maximal zu Vibrations- und Rotationsanregungen von Molekülen im biologischen System führt (was makroskopisch eine

Erwärmung bewirkt<sup>1</sup>), aber keinesfalls ausreicht, eine Ionisation von Atomen oder Molekülen mit den damit verbundenen Schädigungsmechanismen zu bewirken.

## **Ionisierende und Nicht-ionisierende Strahlung: Unterschiedliche Wirkungen**

In der Publikation „NIR und IR – Gemeinsamkeiten und Trennendes“ [2] werden u.a. die unterschiedlichen Wirkungen von NIR und IR beschrieben. Im Fazit heißt es: „Hinsichtlich der Strahlenschutzsysteme ist seit Jahren eine zunehmend verstärkte Bemühung zu einer Annäherung bzw. weitergehenden und vereinheitlichten Herangehensweise bei der Anwendung der Grundsätze im Strahlenschutz wahrzunehmen. Kontraproduktiv zu solchen Bemühungen auf internationaler Ebene müssen aber Bewegungen betrachtet werden, die nichtionisierender Strahlung ein tausendfach größeres Krebspotenzial zuweisen als ionisierender Strahlung und welche die bei der ionisierenden Strahlung verwendete SI-Einheit Gray (1 Gy = 1 J/kg) ohne Berücksichtigung unterschiedlicher Wirkungsprinzipien auch bei nichtionisierender Strahlung anwenden, um dann mit fachlich haltlosen Zahlenbeispielen eine Grenzwerttherabsetzung durchsetzen zu wollen. Es reicht dabei nicht, den Blick z.B. nur aus der Radiochemie auf die Strahlung zu werfen, sondern hier muss eine klare Darstellung aus Sicht biologisch/biochemischer Vorgänge unter Berücksichtigung der Thermodynamik im lebendigen Organismus zumindest bei Hochfrequenz- und speziell beim Mobilfunk erfolgen und es ist gegenteiligen Aussagen entgegenzutreten.“ Des Weiteren wird in [2] ausgeführt, dass die biologischen Auswirkungen der HF-Exposition deterministisch sind und nicht stochastisch. Das bedeutet, dass das Ausmaß der Wirkung von der Exposition abhängt und nicht von der Wahrscheinlichkeit der Wirkung, wie dies bei stochastischen Wirkungen ionisierender Strahlung (IR) der Fall ist. Respektive sind die im Strahlenschutz für ionisierende Strahlung geltenden 3 Grundsätze

- Rechtfertigung (justification),
- Optimierung (optimization) und
- Dosis-Begrenzung (dose limitation)

nicht in derselben Weise anwendbar. Bei nichtionisierender Strahlung (NIR) gibt es Schwellenwerte zur Vermeidung von deterministischen Schäden. Weiterführende Informationen zu den Wirkungen von EMF finden sich z. B. im Leitfaden zu EMF [3].

## **Qualitätsstandards für gute wissenschaftliche Praxis und Studiendurchführung**

Hinsichtlich der Wirkung und insbesondere der gesundheitlichen Auswirkungen elektromagnetischer Felder wurden in den letzten Jahren bis Jahrzehnten eine große Zahl von Studien durchgeführt. Es

---

<sup>1</sup> Dabei ist zu beachten, dass man nur dann von einer Temperatur der bei der Wechselwirkung hochfrequenter EMF mit biologischer Materie resultierenden Wärme sprechen kann, wenn die Betrachtung für eine große Zahl von Teilchen und von diesen bewirkte Prozesse durchgeführt wird, also nicht aufgrund allein eines Elementaraktes. Nach den von Boltzmann aufgestellten Regeln der klassischen Physik lässt sich dabei aus einer Wahrscheinlichkeitsverteilung der möglichen Zustände im betrachteten Volumen diesem wiederum eine Temperatur zuordnen.

sollten allerdings nur Studien in die Bewertung einfließen, die Qualitätsstandards erfüllen, die an eine gute wissenschaftliche Praxis und Studiendurchführung gestellt werden. Hierzu gehören u. a.:

- Die einzelne Arbeit muss methodisch sauber und ergebnisoffen durchgeführt werden.
- Einzelbefunde müssen durch Wiederholungsstudien in unabhängigen Labors bestätigt werden.
- Für einen Nachweis muss darüber hinaus ein Wirkungsmechanismus angegeben werden, der in Übereinstimmung mit dem bekannten Wissen steht.

Auf dieser Basis werden Grenzwerte zum Schutz vor gesundheitlichen Auswirkungen nur durch kritische Bewertung der gesamten wissenschaftlichen Literatur abgeleitet. Bei dieser kritischen Bewertung muss für jede Studie die Qualität geprüft werden, ferner welcher Effekt gefunden wurde, ob dieser nicht auch andere Ursachen haben kann, ob die Übertragbarkeit auf den Menschen gegeben ist und wenn ja, ob es sich um einen gesundheitlich relevanten Effekt handelt und bei welcher Wirkungsschwelle dieser auftritt. Erst dann ist zu prüfen, ob eine Änderung der Grenzwerte erforderlich ist.

Einen Leitfaden für gute wissenschaftliche Untersuchungen hat beispielsweise das Bundesamt für Strahlenschutz 2014 herausgegeben [4]. Dieser Leitfaden zur praxisorientierten Beurteilung von wissenschaftlichen Berichten soll dem Nutzer eine schnelle und objektive Einschätzung von Texten ermöglichen, in denen Studienergebnisse über die Gesundheitsgefährdung durch elektromagnetische Felder im Bereich Mobilfunk berichtet werden.

## **Fazit**

Die Energie ionisierender Strahlung ist um ein Vielfaches höher als die hochfrequenter elektromagnetischer Felder, was zu völlig unterschiedlichen Wirkungen in biologischen Systemen führt. Daher ist es unzulässig, durch die physikalische Äquivalenz von Gray und Joule/Kilogramm ( $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$ ) auf gleichartige Wirkungen zu schließen und daraus eine viel höhere Gefährdung durch nichtionisierende Strahlung abzuleiten.

Insofern ist auf Grund dieser grundsätzlichen Betrachtung die Behauptung, EMF (Mobilfunk) sei um ein Vielfaches gefährlicher als ionisierende Strahlung, nicht haltbar. Die Betrachtung des Energieinhalts, ausgehend von 1 Photon, hat allerdings Grenzen. So kann diese Betrachtung nicht für das gesamte elektromagnetische Spektrum generalisiert werden, biologische Systeme sind nicht lineare Systeme. Allerdings ist es Stand der Wissenschaft, dass die Linearisierung für den Bereich elektromagnetischer Felder  $100 \text{ kHz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$  und eine thermodynamische Betrachtung zulässig sind.

Ferner ist darauf hinzuweisen, dass die für die jeweilige Argumentation herangezogenen Studien den erforderlichen Qualitätsstandards entsprechen müssen und nur die kritische Betrachtung aller verfügbaren, qualitätsgesicherten Studien Einfluss auf Grenzwertfestsetzungen haben können.

---

## Literatur

[1] Valberg , P. A.; Kavet, R.; Rafferty, C. N.: „Can Low-Level 50/60 Hz Electric and Magnetic Fields Cause Biological Effects?“, Radiation Research 148, 2-21 (1997)

[2] Reidenbach, H.-D.: “NIR und IR – Gemeinsamkeiten und Trennendes”, StrahlenschutzPraxis, 30. Jg. 2024, Heft 4/2024, S. 55-66

(<https://www.strahlenschutzpraxis.com/beitrag/nir-und-ir-gemeinsamkeiten-und-trennendes/>)

[3] Bodemann, R.; Finke, J.; von Freeden, J.; Gritsch, Th.; Heinrich, H.; Hoffmann, M.; Jeschke, P.; Joosten, S.; Krischek, R.; Reidenbach, H.-D.; Schiessl, K.; Schreiber, M.; Schühle, E.; Storch, D.; Stunder, D.: Leitfaden "Elektromagnetische Felder", (Redaktion: Reidenbach, H.-D.) Fachverband für Strahlenschutz, FS-2019-180-AKNIR, Köln 2019

([https://www.google.de/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.fs-ev.org/fileadmin/user\\_upload/90\\_Archiv/FS-Pub-Archiv-final/FS-2019-180-AKNIR\\_Leitfaden\\_Elektromagnetische\\_Felder.pdf&ved=2ahUKEwjz-PTC3-2KAXUvBNsEHci0Gc4QFnoECBwQAQ&usg=AOvVaw2av5--W9mhkRFURhrp5wll](https://www.google.de/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.fs-ev.org/fileadmin/user_upload/90_Archiv/FS-Pub-Archiv-final/FS-2019-180-AKNIR_Leitfaden_Elektromagnetische_Felder.pdf&ved=2ahUKEwjz-PTC3-2KAXUvBNsEHci0Gc4QFnoECBwQAQ&usg=AOvVaw2av5--W9mhkRFURhrp5wll))

[4] Leitfaden BFS für die Qualität wissenschaftlicher Studien

([https://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BFS/DE/broschueren/emf/leitfaeden/leitfaeden-emf-wiss-artikel.pdf;jsessionid=F5AE337756762E9C94D828A3F7E3A8BC.internet611?\\_blob=publicationFile&v=7](https://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BFS/DE/broschueren/emf/leitfaeden/leitfaeden-emf-wiss-artikel.pdf;jsessionid=F5AE337756762E9C94D828A3F7E3A8BC.internet611?_blob=publicationFile&v=7))