



Bundesamt
für Strahlenschutz

Spotlight on EMF Research

**Spotlight on “Effects of
radiofrequency electromagnetic field
exposure on cancer in laboratory
animal studies : A systematic review”
by Mevissen et al. in Environment
International (2025)**

Kategorie [Hochfrequente Felder, Übersichtsarbeit]

Spotlight - Jul/2025 no.3 (Deu)

Kompetenzzentrum Elektromagnetische Felder (KEMF)

1 Einordnung des Artikels in den Kontext durch das BfS

Es gibt seit Langem die Hypothese, dass hochfrequente elektromagnetische Felder (HF-EMF) krebserregend sind, also das Potenzial haben, Krebs auszulösen. Die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) stufte HF-EMF im Jahr 2011 als möglicherweise krebserregend für den Menschen ein. Seitdem haben weitere Studien das krebserzeugende Potenzial beim Menschen und bei Tieren untersucht. Im Jahr 2019 startete die Weltgesundheitsorganisation (WHO) ein internationales Projekt, um die Hinweise auf einen möglichen Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber HF-EMF und gesundheitsschädlichen Wirkungen systematisch zu überprüfen (siehe auch Spotlight - Apr/2024 no.2 [2]). Zwei von der WHO in Auftrag gegebene systematische Übersichtsarbeiten zu möglichen Zusammenhängen zwischen HF-EMF-Exposition und Krebserkrankungen in Beobachtungsstudien wurden kürzlich veröffentlicht [3, 4]. Die vorliegende systematische Übersichtsarbeit von Mevissen et al. [1], ebenfalls Teil des WHO-Projekts, konzentriert sich auf die Überprüfung von Hinweisen auf Krebs in Tierstudien.

2 Resultate und Schlussfolgerungen aus der Perspektive von Mevissen et al.

Ziel der systematischen Übersichtsarbeit von Mevissen et al. war es, auf Basis von experimentellen Tierstudien zu bewerten, ob hochfrequente elektromagnetische Felder (HF-EMF) das Risiko an Krebs zu erkranken erhöhen, sowie mögliche Dosis-Wirkungs-Beziehungen und/oder zeitabhängige Zusammenhänge zwischen der Exposition und der Erkrankung zu identifizieren. Für die Analyse wurden Studien berücksichtigt, in denen Mäuse oder Ratten HF-EMF im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz ausgesetzt waren.

Folgende Studienarten wurden einbezogen: Langzeitstudien zur Krebserzeugung, Studien, die untersuchen, ob HF-EMF zusammen mit nachgewiesenermaßen krebserregenden Stoffen die Krebsentwicklung fördern (Initiations- und (Ko-)Promotionsstudien), Studien mit besonders tumoranfälligen Versuchstieren und Studien, in denen Tieren Krebszellen vor der Exposition implantiert wurden.

Alle Studien wurden auf ein mögliches Verzerrungsrisiko (RoB, „Risk of Bias“) und auf Faktoren geprüft, die die Sensitivität der Studie einschränken, also die Fähigkeit, einen tatsächlichen Effekt zu erkennen, wenn er existiert. Die RoB-Bewertung wurde nach Angaben des National Toxicology Program (NTP) Office of Health Assessment and Translation (OHAT) Handbuchs durchgeführt [5]. Die Bewertung der Studiensensitivität basierte auf Methoden aus dem NTP-Bericht über Karzinogene [6].

Von insgesamt 4.350 Publikationen wurden 52 Studien als geeignet bewertet und in die systematische Übersichtsarbeit einbezogen. Sieben Studien wurden als mit wahrscheinlich hohem Verzerrungsrisiko und 45 Studien als mit sicher oder wahrscheinlich niedrigem Verzerrungsrisiko bewertet. Im Hinblick auf die Sensitivität wiesen sechs Studien erhebliche oder kritische Einschränkungen auf.

Für die Analyse wurden die Studien nach dem betroffenen Organsystem gruppiert. Wenn für ein bestimmtes Organsystem mindestens eine Studie einen statistisch signifikanten schädlichen Effekt in den exponierten Gruppen im Vergleich zur Kontrollgruppe oder einen statistisch signifikanten Trend über verschiedene Expositionsstärken zeigte, werteten die Autor*innen dies als Hinweis auf einen Effekt der Exposition, unabhängig davon, ob andere Studien keinen Effekt zeigten. Die Evidenzlage für Organsysteme, bei denen keine Studie eine Zunahme von Tumoren berichtet hat, wurde kurz beschrieben.

Zur Bewertung der Evidenz folgten die Autor*innen dem Ansatz der GRADE-Arbeitsgruppe („Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation“) sowie der vom NTP entwickelten systematischen Methodik zur Bewertung krebserzeugender und nicht-krebserzeugender Umweltfaktoren [5, 6, 7]. Dabei kamen auch ergänzende Bewertungsmethoden zum Einsatz, wenn die Anwendung der GRADE-Methodik nicht eindeutig möglich war. Basierend auf den Vorgaben im OHAT Handbuch stuften Mevissen et al. die Evidenz zunächst als hoch ein, diese initiale Bewertung konnte jedoch heruntergestuft werden, wenn Faktoren identifiziert wurden, die das Vertrauen in die Evidenz minderten.

Für die meisten Krebsarten – insbesondere im Magen-Darm-Trakt, Harntrakt, endokrinen System, Bewegungsapparat, Fortpflanzungs- und Hörsystem sowie in Niere und Brustdrüse – wurden keine oder nur wenige Hinweise auf expositionsbedingte Effekte gefunden.

Für die Organsysteme Leber, Lunge, das lymphatische System (mit Fokus auf Lymphome), Nebennieren, Herz und Gehirn berichtete mindestens eine Studie einen schädlichen Effekt der HF-EMF-Exposition. Daher wurden die verfügbaren Daten zu diesen Organen in der Übersichtsarbeit ausführlich bewertet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Eine Metaanalyse wurde nicht durchgeführt, da die Studien sich in Bezug auf Design, Tierart, Zuchtlinie, Geschlecht, Expositionsbedingungen und Krebsarten stark unterschieden.

Mevissen et al. schlussfolgern, dass ihre Ergebnisse Hinweise darauf liefern, dass eine Exposition gegenüber HF-EMF die Krebsentstehung bei Versuchstieren erhöhen kann. Die Evidenz ist am höchsten für bestimmte Herztumore (Schwannome des Herzens) und Hirntumore (Gliome). Laut den Autor*innen besteht zwar eine hohe Gewissheit dafür, dass eine in Tierstudien vorliegende Evidenz für eine karzinogene Wirkung auch eine Vorhersage einer karzinogenen Wirkung für den Menschen erlaubt. Dennoch betonen sie, dass die Übertragung der Ergebnisse von Tierstudien auf den Menschen im Fall von HF-EMF besonders komplex ist. Sie weisen zudem darauf hin, dass maligne Herzschnannome und Gliome, die bei Nagern gefunden wurden, denselben Tumorarten entsprechen, die von der Internationalen Agentur für Krebsforschung (IARC) im Jahr 2013 mit begrenzter Evidenz auch beim Menschen identifiziert wurden.

3 Kommentare des BfS

Mevissen et al. legen eine umfassende systematische Übersichtsarbeit zu den Auswirkungen einer Exposition gegenüber HF-EMF auf die Krebsinzidenz in experimentellen Tierstudien vor. Für den Strahlenschutz ist dieses Thema von hoher Relevanz. In ihre Arbeit beziehen die Autor*innen alle uns bekannten relevanten Studien ein und stellen die Beweggründe für ihre Schlussfolgerungen in den meisten Fällen transparent dar. Die angewandte Vorgehensweise von Mevissen et al. wirft allerdings einige Fragen auf.

Konsistenz zwischen den Studien: Ein wichtiges Kriterium bei der Bewertung der Stärke der Evidenz ist die Konsistenz über mehrere Studien hinweg. Dies steht im Gegensatz zu dem Ansatz von Mevissen et al.: Sie urteilen, dass die HF-EMF-Exposition eine schädliche Wirkung auf ein Organsystem oder eine Tumorart hat, solange mindestens eine Studie oder ein Experiment statistisch signifikante Erhöhungen oder Trends bei den Tumorraten berichtet. Dieses Urteil bleibt unabhängig von Null-Ergebnissen in anderen Studien mit hoher Sensitivität und Qualität bestehen. Die Schwäche eines solchen Ansatzes zeigt sich am Endpunkt Leber, wo HF-EMF mit mäßiger Evidenz als karzinogen eingestuft wurde, wobei das Hepatoblastom das aussagekräftigste Ergebnis für diese Schlussfolgerung ist. Allerdings wurde nur in einem von fünf chronischen Bioassays und in keiner der 11 Studien der anderen Studientypen, die alle von ausreichender Qualität und Sensitivität waren, eine statistisch signifikante Zunahme von Hepatoblastomen festgestellt. Für die meisten anderen Endpunkte, für die mindestens eine Studie oder ein Experiment eine statistisch signifikante schädliche Auswirkung zeigte, berichtete die Mehrheit der einbezogenen Studien nicht über Effekte. Somit wurden nicht alle verfügbaren Informationen bei der Integration der Evidenz von den Autoren berücksichtigt, obwohl eine systematische Übersichtsarbeit alle relevanten Hinweise einbeziehen sollte.

Multiples Testen: Der von Mevissen et al. gewählte Ansatz vernachlässigt nicht nur Informationen aus anderen Studien, sondern führt auch dazu, dass ein in den Medizin- und Biowissenschaften häufig auftretendes Problem der multiplen statistischen Vergleiche direkt in die Schlussfolgerungen der Übersichtsarbeit einfließt, da die Wahrscheinlichkeit, dass mindestens eine Studie oder ein Experiment zufällig einen statistisch signifikanten Effekt zeigt, mit der Anzahl der eingeschlossenen Studien/Experimente und Endpunkte steigt. Der gewählte Ansatz erhöht somit die Chance, dass die Schlussfolgerung der Übersichtsarbeit durch falsch positive Befunde beeinflusst wird.

Bewertung des Verzerrungsrisikos: Als Ergebnis werden die Schlussfolgerungen für alle Krebstypen bzw. Organsysteme hauptsächlich von den Befunden dreier weniger Studien mit Effekten bestimmt: den beiden NTP-Studien an Mäusen und Ratten sowie der Studie von Falcioni et al. [8, 9, 10]. Diese Studien wurden von den Autor*innen mit einem definitiv oder wahrscheinlich niedrigem Verzerrungsrisiko in den meisten für

diese Bewertung relevanten Bereichen bewertet. Auch die Studiensensitivität wurde gut bewertet. Diese Bewertung ist jedoch angreifbar, da sowohl die NTP-Studien als auch die Falcioni-Studie Einschränkungen im Studiendesign aufweisen [11, 12, 13, 14]. Dabei fällt auf, dass Mevissen et al. bei der Bewertung des Verzerrungsrisikos offenbar die Strenge der RoB-Kriterien inkonsistent auf verschiedene Studien angewandt haben, ohne eine klare Begründung für unterschiedliche Gewichtungen zu liefern. So wurde z.B. das Fehlen einer Angabe zur Verblindung während der Expositionsphase in 23 Studien als wahrscheinlich hohes Verzerrungsrisiko bewertet, jedoch nicht etwa in den NTP- oder Falcioni-Studien, wo diese Information ebenfalls nicht berichtet wurde.

Daten historischer Kontrollen: Der Einsatz von Daten aus historischen Kontrollen anstatt von Originaldaten bei statistischen Reanalysen bestimmter Tumorresultate wirft ebenfalls Fragen auf. Im publizierten Protokoll geben die Autor*innen an [15], dass historische Kontrollen als Vergleichsgruppen herangezogen werden, wenn die Tumore selten sind ($\leq 1-3\%$) oder die mitgeführten Kontrollen unnormale Krebsinzidenzen aufweisen. Allerdings ist weder in der veröffentlichten systematischen Übersichtsarbeit noch im entsprechenden Protokoll spezifiziert, warum und wie genau historische Kontrolldaten herangezogen und die ursprünglich veröffentlichten Kontrollgruppendaten ersetzen sollen, noch welcher statistische Ansatz angewandt werden soll. Mevissen et al. verwenden historische Kontrollen nur explizit einmal, und zwar als Referenzgruppe für die Reanalyse der Daten von Anderson et al. [16]. Dabei berechneten sie einen statistisch signifikanten positiven Trend für Oligodendrogliome, einen Gehirntumor. Es bleibt jedoch unklar, welche historischen Kontrollen verwendet wurden und wie viele Tiere und Fälle diese historischen Kontrollen repräsentierten. Das ist problematisch, da Mevissen et al. ihre Schlussfolgerung einer hohen Evidenz für ein erhöhtes Risiko von Gliomen unter anderem auf ihre Reanalyse der Anderson et al.-Studie stützen. Allerdings wurde eine statistische Reanalyse des Lymphomrisikos von Mevissen et al. nicht durchgeführt, obwohl die im Protokoll angegebenen Kriterien für die Verwendung historischer Kontrollen als Vergleichsgruppe für die Lymphomdaten allem Anschein nach erfüllt sind. Eine Erklärung hierfür wird nicht geliefert. Mevissen et al. erwähnen lediglich, dass die Inzidenz von malignen Lymphomen bei den scheinexponierten Tieren (2 %) der NTP-Mausstudie [10] signifikant niedriger lag als bei den entsprechenden historischen Kontrollen (Mittelwert 16 %, Spanne 10–36 %). Hier hätten die historischen Kontrolldaten informativ sein können, da die Lymphominzidenzen in allen HF-EMF exponierten Gruppen der NTP-Studie innerhalb des Bereichs der historischen Kontrollen lagen. Diese Überlegungen führten bei der von der NTP vorgenommenen Bewertung zu einem verringerten Vertrauen dahingehend, dass die erhöhten Lymphominzidenzen tatsächlich auf die HF-EMF Exposition zurückzuführen sind, weshalb die Evidenz als unklar („equivocal“) eingestuft wurde [10]. Im Gegensatz dazu kommen Mevissen et al. in ihrer Bewertung zu einer mäßigen Evidenz. Dabei stufen sie die Evidenz wegen ungeklärter Widersprüche um eine Stufe herab, da statistisch signifikante Zunahmen der Inzidenzen nur bei niedrigeren Expositionsleveln in der NTP-Studie gesehen wurden.

Unter Berücksichtigung aller eingeschlossenen Studien, unabhängig davon, ob sie schädliche Effekte zeigen oder nicht, und unter Einbeziehung der genannten zusätzlichen Bedenken sind die Schlussfolgerungen von Mevissen et al. hinsichtlich des Vertrauens in die Evidenz nicht vollständig schlüssig. Aus Sicht des BfS liefert die Studienlage keine ausreichende Grundlage, um eine hohe Evidenz für ein erhöhtes Risiko von Herzscheidewandtumoren und Gliomen, oder eine mäßige Evidenz für ein erhöhtes Risiko der anderen analysierten Krebsarten bei Tieren durch Exposition gegenüber HF-EMF zu rechtfertigen. Es gibt jedoch vereinzelt Hinweise auf potenziell schädliche Effekte in Ratten, die sehr hohen Ganzkörperexpositionen ausgesetzt sind. Diese Hinweise basieren hauptsächlich auf den Ergebnissen der NTP-Studie. Diese Ergebnisse müssen noch durch eine derzeit in Japan und Korea durchgeführte Replikationsstudie bestätigt oder widerlegt werden [17].

Endpunkt und Studiendesign	Anzahl Studien	Statistisch signifikante Zunahme(n) / Abnahme(n) (↑ / ↓) oder Trend(s) (↗ / ↘) und Quelle (Studie)	Faktoren, die das Vertrauen in die Evidenz erhöhen / verringern (↑ / ↓)	Vertrauen in die Evidenz
Herz				
Langzeit-Karzinogenitäts-Studie	3	↗ 1 Studie (NTP Ratte [8] [†]), ↑ 2 Studien (NTP Ratte [8], Falcioni et al. [9])	(↑ seltener Tumor)	Hoch (für Herz-Schwannome in männlichen Ratten)
I-P-Studie	1			
Tumoranfällige Tiere	keine			
Gehirn				
Langzeit-Karzinogenitäts-Studie	5	↗ 2 Studien (NTP Ratte [8], Anderson et al. [16])	(↑ Dosis-Wirkungs-Beziehung)	Hoch (für Gliome)
I-P-Studie	10			
Tumoranfällige Tiere	5			
Lymphome				
Langzeit-Karzinogenitäts-Studie	6	↑ 1 Studie (NTP Maus [10])	(↓ ungeklärte Widersprüche)	Mäßig
I-P-Studie	4	↑ 1 Studie (Lerchl et al. [18])		
Tumoranfällige Tiere	7	↑ 1 Studie (Repacholi et al. [19])		
Nebenniere				
Langzeit-Karzinogenitäts-Studie	5	↑ 1 Studie (NTP Ratte [8])	(↓ ungeklärte Widersprüche)	Mäßig (für Phäochromocytome)
I-P-Studie	2	↓ 1 Studie (Heikkinen et al. [20])		
Tumoranfällige Tiere	5			
Leber				
Langzeit-Karzinogenitäts-Studie	5	↑ 1 Studie (NTP Maus [10]), ↓ 1 Studie (NTP Maus [10]), ↘ 2 Studien (NTP Ratte [8], Tillmann et al. [21])	(↓ ungeklärte Widersprüche)	Mäßig (für Hepatoblastome)
I-P-Studie	6	↑ 1 Studie (Lerchl et al. [18]) [‡]		
Tumoranfällige Tiere	5	↗ 1 Studie (Oberto et al. [22]) [§]		
Lunge				
Langzeit-Karzinogenitäts-Studie	2	↗ 1 Studie (NTP Maus [10])	(↓ ungeklärte Widersprüche)	Mäßig (für bronchoalveoläre Adenome oder Karzinome)
I-P-Studie	4	↑ 2 Studien (Lerchl et al. [18], Tillmann et al. [23])		
Tumoranfällige Tiere	5			

Anmerkungen der Spotlight-Autor*innen:

[†] Mevissen et al. erwähnen nur den statistisch signifikanten Trend bei CDMA-Modulation, NTP fand aber zusätzlich auch bei GSM-Modulation einen statistisch signifikanten Trend bei männlichen Ratten.

[‡] Die in Tillmann et al. [23] beobachtete statistisch signifikante Zunahme hepatozellulärer Adenome in der HF-EMF+Ethylnitrosoharnstoff-exponierten Gruppe verglichen zu der nur gegenüber Ethylnitrosoharnstoff exponierten Gruppe wird von Mevissen et al. nicht erwähnt.

[§] Der statistisch signifikante Trend wird nicht in der Publikation von Oberto et al. erwähnt und es wird nicht von Mevissen et al. angegeben, ob und wie sie diesen Trend in ihrem systematischen Review berechnet haben.

Tabelle 1: Zusammenfassung der Studienergebnisse. I-P-Studie = Initiations-(Ko-)Promotionsstudie.

Referenzen

- [1] Mevissen, M, Ducray, A, Ward, JM, Kopp-Schneider, A, McNamee, JP, Wood, AW, Rivero, TM, Straif, K. Effects of radiofrequency electromagnetic field exposure on cancer in laboratory animal studies : A systematic review. *Environment International*. 2025; 199:109482.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2025.109482>.
- [2] Kompetenzzentrum Elektromagnetische Felder, Bundesamt für Strahlenschutz. Spotlight on “WHO assessment of health effects of exposure to radiofrequency electromagnetic fields: systematic reviews”, eine Sonderreihe in Environment International. *Spotlight on EMF Research*; Spotlight - Apr/2024 no.2. URL: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0221-2024042443254>.
- [3] Karipidis, K, Baaken, D, Loney, T, Blettner, M, Brzozek, C, Elwood, M, Narh, C, Orsini, N, Rössli, M, Paulo, MS, Lagorio, S. The effect of exposure to radiofrequency fields on cancer risk in the general and working population: A systematic review of human observational studies – Part I: Most researched outcomes. *Environment International*. 2024; 191:108983.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108983>.
- [4] Karipidis, K, Baaken, D, Loney, T, Blettner, M, Mate, R, Brzozek, C, Elwood, M, Narh, C, Orsini, N, Rössli, M, Paulo, MS, Lagorio, S. The effect of exposure to radiofrequency fields on cancer risk in the general and working population: A systematic review of human observational studies - Part II: Less researched outcomes. *Environment International*. 2025; 196:109274.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2025.109274>.
- [5] National Toxicology Program (NTP). *Handbook for conducting a literature-based health assessment using OHAT approach for systematic review and evidence integration* 2019.
URL: https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/ohat/pubs/handbookmarch2019%5C_508.pdf.
- [6] National Toxicology Program (NTP). *Handbook for preparing report on carcinogens monographs. Part E: Cancer studies in experimental animals*. National Toxicology Program, 2015.
URL: http://web.archive.org/web/20250407232722/https://ntp.niehs.nih.gov/sites/default/files/ntp/roc/handbook/roc_handbook_508.pdf.
- [7] Morgan, RL, Thayer, KA, Bero, L, et al. GRADE: Assessing the quality of evidence in environmental and occupational health. *Environment International*. 2016; 92-93:611–616.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.01.004>.
- [8] National Toxicology Program (NTP). *Toxicology and carcinogenesis studies in Hsd:Sprague Dawley SD rats exposed to whole-body radio frequency radiation at a frequency (900 MHz) and modulations (GSM and CDMA) used by cell phones*. Research Triangle Park, NC: National Toxicology Program, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.22427/NTP-TR-595>.
- [9] Falcioni, L, Bua, L, Tibaldi, E, Lauriola, M, De Angelis, L, Gnudi, F, Mandrioli, D, Manservigi, M, Manservigi, F, Manzoli, I, Menghetti, I, Montella, R, Panzacchi, S, Sgargi, D, Strollo, V, Vornoli, A, Belpoggi, F. Report of final results regarding brain and heart tumors in Sprague-Dawley rats exposed from prenatal life until natural death to mobile phone radiofrequency field representative of a 1.8 GHz GSM base station environmental emission. *Environmental Research*. 2018; 165:496–503.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.01.037>.
- [10] National Toxicology Program (NTP). *Toxicology and carcinogenesis studies in B6C3F1/N mice exposed to whole-body radio frequency radiation at a frequency (1,900 MHz) and modulations (GSM and CDMA) used by cell phones*. Research Triangle Park, NC: National Toxicology Program, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.22427/NTP-TR-596>.
- [11] Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). *Langzeitstudie an Mäusen und Ratten zu Ganzkörperexposition mit Mobilfunkfeldern (NTP-Studie) : Fachliche Stellungnahme des BfS zu den Ergebnissen der NTP-Studie*.
URL: <https://www.bfs.de/DE/bfs/wissenschaft-forschung/emf/stellungnahmen/ntp-studie/dossier-ntp-studie.html?notFirst=true%5C&docId=748228>.

- [12] Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). *Langzeitstudie an Ratten zu Ganzkörperexposition mit Mobilfunkfeldern (Ramazzini-Studie)*.
URL: <https://www.bfs.de/DE/bfs/wissenschaft-forschung/emf/stellungnahmen/langzeitstudie-ratten-ramazzini.html>.
- [13] U.S. Food and Drug Administration (FDA). *Review of published literature between 2008 and 2018 of relevance to radiofrequency radiation and cancer*. 2020.
URL: <https://www.fda.gov/media/135043/download>.
- [14] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). *ICNIRP note on recent animal carcinogenesis studies 2018*.
URL: <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPnote2018.pdf>.
- [15] Mevissen, M, Ward, JM, Kopp-Schneider, A, McNamee, JP, Wood, AW, Rivero, TM, Thayer, K, Straif, K. Effects of radiofrequency electromagnetic fields (RF EMF) on cancer in laboratory animal studies : A protocol for a systematic review. *Environment International*. 2022; 161:107106.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107106>.
- [16] Anderson, LE, Sheen, DM, Wilson, BW, Grumbein, SL, Creim, JA, Sasser, LB. Two-year chronic bioassay study of rats exposed to a 1.6 GHz radiofrequency signal. *Radiation Research*. 2004; 162(2):201–210.
DOI: <https://doi.org/10.1667/rr3208>.
- [17] Ahn, YH, Imaida, K, Kim, YB, Han, KH, Pack, JK, Kim, N, Jeon, SB, Lee, AK, Choi, HD, Wang, J, Kawabe, M, Kim, HS. An international collaborative animal study of the carcinogenicity of mobile phone radiofrequency radiation: Considerations for preparation of a global project. *Bioelectromagnetics*. 2022; 43(4):218–224.
DOI: <https://doi.org/10.1002/bem.22407>.
- [18] Lerchl, A, Klose, M, Grote, K, Wilhelm, AF, Spathmann, O, Fiedler, T, Streckert, J, Hansen, V, Clemens, M. Tumor promotion by exposure to radiofrequency electromagnetic fields below exposure limits for humans. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 2015; 459(4):585–590.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2015.02.151>.
- [19] Repacholi, MH, Basten, A, Gebiski, V, Noonan, D, Finnie, J, Harris, AW. Lymphomas in E mu-Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. *Radiation Research*. 1997; 147(5):631–640.
URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9146709>.
- [20] Heikkinen, P, Kosma, VM, Hongisto, T, Huuskonen, H, Hyysalo, P, Komulainen, H, Kumlin, T, Lahtinen, T, Lang, S, Puranen, L, Juutilainen, J. Effects of mobile phone radiation on X-ray-induced tumorigenesis in mice. *Radiation Research*. 2001; 156(6):775–785.
DOI: [https://doi.org/10.1667/0033-7587\(2001\)156\[0775:eompro\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1667/0033-7587(2001)156[0775:eompro]2.0.co;2).
- [21] Tillmann, T, Ernst, H, Ebert, S, Kuster, N, Behnke, W, Rittinghausen, S, Dasenbrock, C. Carcinogenicity study of GSM and DCS wireless communication signals in B6C3F1 mice. *Bioelectromagnetics*. 2007; 28(3):173–187.
DOI: <https://doi.org/10.1002/bem.20283>.
- [22] Oberto, G, Rolfo, K, Yu, P, Carbonatto, M, Peano, S, Kuster, N, Ebert, S, Tofani, S. Carcinogenicity study of 217 Hz pulsed 900 MHz electromagnetic fields in Pim1 transgenic mice. *Radiation Research*. 2007; 168(3):316–326.
DOI: <https://doi.org/10.1667/rr0425.1>.
- [23] Tillmann, T, Ernst, H, Streckert, J, Zhou, Y, Taugner, F, Hansen, V, Dasenbrock, C. Indication of cocarcinogenic potential of chronic UMTS-modulated radiofrequency exposure in an ethylnitrosourea mouse model. *International Journal of Radiation Biology*. 2010; 86(7):529–541.
DOI: <https://doi.org/10.3109/09553001003734501>.

Impressum

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

www.bfs.de

Tel.: +49 30 18333-0

Fax: +49 30 18333-1885

E-Mail: spotlight@bfs.de

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokumentes immer auf folgende URN:

urn:nbn:de:0221-2025070953051

Spotlight - Jul/2025 no.3 (Deu)