



Bundesamt
für Strahlenschutz

Spotlight on EMF Research

Spotlight on “The international collaborative animal study of the carcinogenicity and genotoxicity of mobile phone radiofrequency radiation” by Imaida et al. (Japanese study) and Kim et al. (Korean study) in Toxicological Sciences (2026)

Kategorie [Hochfrequente Felder, Experimentelle Tierstudie]

Spotlight - Jun/2026 no.1 (Deu)

Kompetenzzentrum Elektromagnetische Felder (KEMF)

1 Kontext

Seit langem besteht die Vermutung, dass hochfrequente elektromagnetische Felder (HF-EMF) krebserregend (karzinogen) wirken könnten. Nachdem die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) HF-EMF 2011 als möglicherweise krebserregend für den Menschen eingestuft hatte, haben neue Studien ihr krebserregendes Potenzial beim Menschen und bei Tieren untersucht. 2018 kam das U.S. National Toxicology Program (NTP) zu dem Schluss, dass es klare Belege für eine krebserregende Wirkung der HF-EMF-Exposition bei Tieren gibt, insbesondere für Schwannome des Herzens bei männlichen Ratten, die hohen Expositionsniveaus ausgesetzt waren [3]. Diese Ergebnisse veranlassten weitere Untersuchungen. Um die Reproduzierbarkeit der NTP-Befunde zu bewerten, wurde eine internationale Kollaborationsstudie in zwei Ländern initiiert, die zu den japanischen [1] und koreanischen [2] Tierstudien führte.

2 Resultate und Schlussfolgerungen aus der Perspektive von Imaida et al. und Kim et al.

Das internationale Kooperationsprojekt war als Langzeit-Tierstudie an männlichen Ratten konzipiert. Sie startete 2019 und wurde parallel in Korea und Japan durchgeführt. Die Studienprotokolle wurden harmonisiert, um Konsistenz und Vergleichbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen. Da in der NTP-Studie vor allem in männlichen Ratten vermehrt Tumore im Herzen, im Gehirn und in den Nebennieren gefunden wurden, nutzten die beiden Studien nur männliche Ratten des gleichen Stammes und desselben Lieferanten, wie die NTP-Studie.

Die Protokolle umfassten eine 28-tägige Vorstudie, eine zweijährige Karzinogenitätsstudie und eine Genotoxizitätsstudie mit identischem Expositionsschema. Im Detail wurden die Tiere gegenüber 900 MHz-CDMA-modulierten HF-EMF exponiert bzw. scheinexponiert. Die über den gesamten Körper gemittelte durchschnittliche spezifische Absorptionsrate (wbSAR) betrug 4 W/kg. Ebenfalls wurde eine Gruppe von 70 Tieren als Käfigkontrolle mitgeführt, die keiner Behandlung unterzogen wurde. Die HF-EMF-Exposition erfolgte 18 Stunden und 20 Minuten pro Tag, in zwei Perioden mit 10-minütigen Ein/Aus-Zyklen. Die Exposition begann in utero ab dem 5. Trächtigkeitstag und setzte sich nach der Geburt der Jungtiere für jeweils 28 Tage (Vorstudie), 104 Wochen (2-Jahresstudie) bzw. 14 Wochen (Genotoxizitätsstudie) fort. Ausschließlich männliche Nachkommen wurden nach Geburt in die Studien eingeschlossen und untersucht.

In den 28-tägigen Vorstudien wurde die Machbarkeit und Sicherheit der 4 W/kg wbSAR-Exposition überprüft. Bei den Muttertieren wurde keine Änderung der Reproduktionsleistung in der HF-EMF-exponierten Gruppe beobachtet. Es gab geringfügige, statistisch signifikante Veränderungen bei einigen hämatologischen und klinisch-chemischen Parametern sowie bei den Organengewichten. Diesen fehlten jedoch entsprechende krankhafte Veränderungen in den Organen, sodass sie als toxikologisch unbedeutend eingestuft wurden. HF-EMF-exponierte Muttertiere und Jungtiere zeigten gegenüber den scheinexponierten Ratten zu verschiedenen Zeitpunkten vor und nach der Geburt reduzierte Körpergewichte und eine geringere Nahrungsaufnahme. Zudem wiesen die Jungtiere Unterschiede in der Körpertemperatur auf.

In den 2-Jahres-Karzinogenitätsstudien wurden jeweils 70 männliche Nachkommen pro Gruppe ausgewählt und über zwei Jahre exponiert bzw. scheinexponiert. Folgende Ergebnisse wurden berichtet:

- Reproduktionsleistung: Es wurde kein Unterschied in der Reproduktionsleistung der Muttertiere zwischen HF-EMF- und scheinexponierten Tieren beobachtet. Während der Laktationsphase (Zeitraum, in dem die Jungtiere gesäugt werden) waren die Körpergewichte von Muttertieren und Jungtieren in der HF-EMF-exponierten Gruppe geringer als in der scheinexponierten Gruppe. Während der Trächtigkeit und Laktationsphase war die Nahrungsaufnahme der Muttertiere bei HF-EMF-exponierten Tieren niedriger als bei scheinexponierten Tieren. Bei den Nachkommen nahmen die HF-EMF-exponierten Ratten über den größten Teil der zweijährigen Expositionsdauer durchweg weniger Nahrung auf; je nach Zeitpunkt lag die Verringerung der Nahrungsaufnahme bei etwa 8 % bis über 30 %. Zusätzlich wiesen HF-EMF-exponierte Ratten ab den ersten Wochen der zweijährigen Exposition geringere Körpergewichte als scheinexponierte Ratten auf. Am Ende der Studie waren die Körpergewichte jedoch vergleichbar.

		Koreanische Studie		Japanische Studie	
		Anzahl Tiere mit Läsion (Inzidenz)			
Organ	Läsion	HF-EMF-exponiert	Schein-exponiert	HF-EMF-exponiert	Schein-exponiert
Herz	Schwannom des Herzens	2/70 (2,9 %)	0/70 (0 %)	1/68 (1 %)	1/70 (1 %)
Gehirn	Gliom (nicht näher bezeichnet)	1/70 (1,4 %)	1/70 (1,4 %)	1/68 (1 %)	0/70 (0 %)
	Bösartiges Meningeom	0/70 (0 %)	1/70 (1,4 %)	Nicht berichtet	Nicht berichtet
	Gutartiger Granularzelltumor	Nicht berichtet	Nicht berichtet	0/68 (0 %)	3/70 (4 %)
	Bösartiger Granularzelltumor	2/70 (2,9 %)	1/70 (1,4 %)	Nicht berichtet	Nicht berichtet
Nebenniere	Nebennierenrindenzarzinom (Karzinom, Cortex)	0/70 (0 %)	1/70 (1,4 %)	1/68 (1 %)	0/70 (0 %)
	Gutartiges Phäochromozytom	14/70 (20 %)	15/70 (21,4 %)	9/68 (13 %)	7/70 (10 %)
	Komplexes gutartiges Phäochromozytom	0/70 (0 %)	1/70 (1,4 %)	Nicht berichtet	Nicht berichtet
	Bösartiges Phäochromozytom	3/70 (4,3 %)	1/70 (1,4 %)	0/68 (0 %)	1/70 (1 %)
	Komplexes bösartiges Phäochromozytom	Nicht berichtet	Nicht berichtet	1/68 (1 %)	0/70 (0 %)
	Adenom (Cortex)	Nicht berichtet	Nicht berichtet	1/68 (1 %)	3/70 (4 %)
Niere	Chronisch progressive Nephropathie	49/70 (70 %)	65/70 (93 %)	54/68 (79 %)	67/70 (96 %)

Tabelle 1: Überblick über die wichtigsten neoplastischen Läsionen und chronisch progressive Nephropathie in exponierten und scheinexponierten Ratten der koreanischen und japanischen 2-Jahres-Karzinogenitätsstudien.

- **Überlebensrate:** In der japanischen Studie zeigten HF-EMF-exponierte Nachkommen in Woche 105 eine statistisch signifikant höhere Überlebensrate (64,7 %) als die scheinexponierten Ratten (42,9 %). In der koreanischen Studie gab es keine statistisch signifikanten Unterschiede in der Überlebensrate (Woche 104: HF-EMF-exponiert 58,6 %, scheinexponiert 54,3 %), jedoch nahm das Überleben in der scheinexponierten Gruppe nach Woche 60 stärker ab.
- **Neoplastische Läsionen:** Bezüglich des Auftretens von neoplastischen Läsionen (gutartige, bösartige oder Gesamt-Tumoren) in den Organen Gehirn, Herz und Nebenniere fand keine der beiden Studien statistisch signifikante Unterschiede zwischen exponierten und scheinexponierten Tieren (siehe Tabelle 1). Diese Organe standen im Fokus der Autoren, da sie in der NTP-Studie [3] als mögliche Zielorgane krebserregender Effekte durch HF-EMF-Expositionen identifiziert worden waren.
- **Nicht-neoplastische Läsionen:** In der koreanischen Studie wurden mehrere statistisch signifikante Abnahmen nicht-neoplastischer Läsionen (Veränderungen, die keine Tumoren sind) in den Nebennieren der HF-EMF-exponierten Ratten gefunden. Nach Ansicht der Autoren deuten diese Befunde darauf hin, dass HF-EMF-Exposition möglicherweise mit einer Reduktion bestimmter hyperplastischer und vakuolisierender Veränderungen in den Nebennieren verbunden sein könnte, wobei die biologische Bedeutung unklar bleibt. In der japanischen Studie zeigten mehrere nicht-neoplastische Läsionen statistisch signifikante Unterschiede (Zu- und Abnahmen) zwischen den Gruppen, doch wurden die meisten als zufällig eingestuft, da sie vorwiegend bei langlebigen Tieren auftraten und kein konsistentes, expositionsbedingtes Muster aufwiesen.

- Chronisch progressive Nephropathie: In beiden Studien wurde eine statistisch signifikante geringere Inzidenz dieser Form von Nierenerkrankung bei HF-EMF-exponierten im Vergleich zu scheinexponierten Ratten beobachtet (siehe Tabelle 1). Wie von den Autoren erörtert, könnte dieser Befund mit der geringeren Nahrungsaufnahme, dem niedrigeren Körpergewicht und in der japanischen Studie auch mit dem längeren Überleben in Zusammenhang stehen.

Die Genotoxizitätsstudien wurden parallel zu den 2-Jahres-Karzinogenitätsstudien durchgeführt. Nach Ende der Exposition wurden der alkalische Comet-Assay und der Mikronukleus-Test durchgeführt, um DNA- bzw. Chromosomenschäden in verschiedenen Geweben der Ratten zu beurteilen. In der koreanischen Studie wurde zudem ein *pig-a*-Genmutationsassay durchgeführt. Es wurden keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen HF-EMF-exponierten und scheinexponierten Gruppen beobachtet.

Die Autoren beider Studien kamen zu dem Schluss, dass die Ergebnisse ihrer Langzeittierstudien keinen Hinweis auf krebserregende oder genotoxische Effekte einer langfristigen Exposition gegenüber CDMA-modulierten 900 MHz-HF-EMF bei 4 W/kg wbSAR in männlichen Ratten liefern. Funde von malignen Schwannomen im Herzen waren statistisch nicht signifikant und wurden daher als sehr wahrscheinlich zufällig angesehen und nicht als Unterstützung für einen ursächlichen Zusammenhang mit der HF-EMF-Exposition gewertet.

3 Kommentare des BfS

Robust konzipierte, großangelegte Tierstudien sind unerlässlich, um die Befunde der NTP-Studie zu validieren und um festzustellen, ob HF-EMF-Exposition krebserregend oder genotoxisch wirkt. In diesem Kontext bietet die japanisch-koreanische Kooperationsstudie einen wertvollen und vielversprechenden Ansatz.

Die Autorenteam beider Studien weisen darauf hin, dass die Kollaborationsstudie keine exakte Replikation der NTP-Studie bezüglich der auffälligen Befunde bei männlichen Ratten nach HF-EMF-Exposition ist, da mehrere Schlüsselaspekte nicht identisch sind. So gab es z. B. nur eine Expositionsstufe mit 4 W/kg im Vergleich zu drei Expositionsstufen bei NTP (1,5, 3 und 6 W/kg). Mehrere Verfahren – darunter eine 28-tägige Vorstudie, ein intermittierendes Expositionsprotokoll und die Expositionsdauer – waren mit denen der NTP-Studie vergleichbar.

Weder die japanische noch die koreanische Studie zeigten eine statistisch signifikante Zunahme der Inzidenz von Tumoren in Herz, Gehirn oder Nebenniere nach HF-EMF-Exposition. Nach Ansicht der Autoren stehen diese Ergebnisse im Widerspruch zu den Befunden der NTP-Studie. Sie vermuten, dass die wenigen Einzelbefunde von Herz-Schwannomen und Hirntumoren in ihren Studien zufällig sind und nicht mit der HF-EMF-Exposition zusammenhängen.

Aus Sicht des BfS lässt sich dies nicht so eindeutig ableiten und es bleiben Unsicherheiten. Zwar gab es keine statistisch signifikanten Effekte, dennoch wurden in den HF-EMF-exponierten Gruppen einzelne Tumorfälle beobachtet, darunter drei Schwannome im Herzen und zwei Gliome im Gehirn gegenüber jeweils einem Fall in den scheinexponierten Gruppen, wenn man beide Studien zusammenfasst (siehe Tabelle 1). Diese Ergebnisse stehen nicht notwendigerweise im Widerspruch zur NTP-Studie, denn die Effektschätzer beider unabhängiger Studien zeigen in dieselbe Richtung, wenn auch mit sehr breiten, aber den Punktschätzer der jeweils anderen Studie überlappenden 95 %-Konfidenzintervallen¹. Zudem sind beim Vergleich der Ergebnisse der Kollaborationsstudie mit denen der NTP-Studie einige Aspekte zu berücksichtigen:

1. Die in der NTP-Studie berichteten statistisch signifikanten Effekte in Herz und Gehirn beruhen auf den auffälligen Befunden in der 6 W/kg-exponierten Gruppe. Dieses Expositions-niveau ist deutlich höher als die in der Kollaborationsstudie verwendeten 4 W/kg. Bei den niedrigeren Expositionsstärken von 3 und 1,5 W/kg zeigten sich in der NTP-Studie in paarweisen Vergleichen mit den scheinexponierten Kontrollen hingegen keine statistisch signifikanten Effekte auf die Anzahl an Tumoren.

¹Interne Berechnung des BfS. Dabei wurden die Tier- und Fallzahlen aus der japanischen und koreanischen Studie addiert, sowie zum Vergleich die Tier- und Fallzahlen aus den beiden Versuchsgruppen (GSM- und CDMA-Modulation) der NTP-Studie, jeweils getrennt für die der Kooperationsstudie am nächsten gelegenen Expositionsstärken von 3 und 6 W/kg.

2. In der NTP-Studie wurde ein statistisch signifikanter positiver Trend über 0, 1,5, 3 und 6 W/kg für Herz-Schwannome und maligne Gliome beobachtet. Da in der Kollaborationsstudie nur ein Expositionslevel untersucht wurde, konnte das Vorliegen eines solchen Trends nicht untersucht werden.
3. Die japanische und koreanische Studie verwendeten jeweils eine geringere Tierzahl pro Gruppe als die NTP-Studie (70 vs. 90), was ihre statistische Power reduziert. Dies wird von den Autoren ebenfalls als Einschränkung genannt. Die Fähigkeit, einen Unterschied in der Anzahl seltener Tumore, wie Herz-Schwannome und Hirntumore [4], zwischen den exponierten und scheinexponierten Gruppen nachzuweisen, war somit in den beiden Studien eingeschränkt.

Es ist daher ungewiss, ob eine tatsächliche Zunahme – falls vorhanden – statistisch signifikant nachgewiesen hätte werden können, wenn ein höheres SAR-Niveau und/oder eine größere Tierzahl pro Gruppe verwendet worden wäre. Es wäre interessant zu prüfen, ob eine gemeinsame Auswertung der Daten der japanischen und koreanischen Studie statistisch signifikante Effekte aufzeigen würde.

Eine weitere Diskrepanz zwischen der Kollaborationsstudie und der NTP-Studie betrifft die Ergebnisse des Comet-Assays bei männlichen Ratten. Sowohl die japanische als auch die koreanische Studie berichteten, dass HF-EMF-Exposition keine genotoxischen Effekte zur Folge hatte. Dies steht im Gegensatz zu den Befunden der NTP-Studie, in der vermehrte DNA-Schäden in peripheren Blutleukozyten und eine statistisch signifikante Zunahme von DNA-Schäden im Frontalcortex, Hippocampus und in Blutleukozyten mit Zunahme der HF-EMF-Exposition festgestellt wurde. Der Mikronukleus-Test war in allen drei Studien negativ.

Was zwischen den vorliegenden Studien und der NTP-Studie weitgehend übereinstimmt, sind Befunde, die auf einen möglichen metabolischen Einfluss chronischer HF-EMF-Exposition hinweisen. In beiden Fällen zeigten HF-EMF-exponierte Ratten niedrigere Körpergewichte, teils längere Überlebensraten und weniger schwere (NTP-Studie) bzw. weniger häufige (Japan/Korea-Studien) chronisch progressive Nephropathie, eine Nierenerkrankung (siehe Tabelle 1). Tatsächlich schrieb die NTP-Studie das längere Überleben der HF-EMF-exponierten Tiere weitgehend der weniger schweren Nephropathie zu.

Außerdem wurde in der japanischen und der koreanischen Studie die Nahrungsaufnahme der Tiere erfasst. Dabei wurde festgestellt, dass HF-EMF-exponierte Ratten durchweg weniger Nahrung aufnahmen, in einem Bereich, der dafür bekannt ist, die Lebensspanne von Nagetieren zu verlängern [5, 6]. Diese verringerte Nahrungsaufnahme könnte weitgehend die geringeren Körpergewichte, die längere Lebensdauer und die verbesserte Nierengesundheit erklären, die in den besprochenen Langzeitstudien mit HF-EMF-Exposition beobachtet wurden. Ähnliches wurde in Studien zur Kalorienrestriktion festgestellt [5]. Nagetiere, die unter Bedingungen unterhalb der thermoneutralen Zone gehalten werden, wie in den betrachteten Studien, verbrauchen einen beträchtlichen Anteil ihres Stoffwechsels zur Aufrechterhaltung der Körpertemperatur. Thermische Energie, die durch HF-EMF-Exposition in den Körpern der Tiere eingetragen wird, könnte diesen metabolischen Bedarf reduzieren und somit die Kalorienmenge verringern, die zur Erzeugung körpereigener Wärme aus der Nahrung benötigt wird [7]. Dies würde eine plausible Erklärung für die verringerte Nahrungsaufnahme bieten.

Zusammenfassend weisen weder die japanische noch die koreanische Studie auf eine krebserregende oder genotoxische Wirkung von HF-EMF bei 4 W/kg wbSAR bei männlichen Ratten hin. Aufgrund der vermutlich begrenzten statistischen Aussagekraft der Einzelstudien können allerdings mögliche Effekte der Exposition auf die Inzidenz von speziellen Tumoren des Herzens und des Gehirns, wie sie in der NTP-Studie beobachtet wurden, auch nicht völlig ausgeschlossen werden. Die vorliegenden Studien liefern zusätzliche Erkenntnisse über den metabolischen Einfluss chronischer, hoher HF-EMF-Expositionen bei männlichen Ratten. Grundsätzlich ist anzumerken, dass Tierversuche mit solch hohen Expositionen der grundsätzlichen Prüfung eines möglichen kanzerogenen bzw. genotoxischen Potenzials dienen und nicht der direkten Abschätzung von Gesundheitsrisiken für die Allgemeinbevölkerung. Zudem sind die verwendeten Ganzkörperexpositionslevel deutlich höher als der zum Schutz der Allgemeinbevölkerung von der EU empfohlene Grenzwert und die Ergebnisse sind aufgrund biologischer Unterschiede zwischen Mensch und Nagetier nur eingeschränkt auf den Menschen übertragbar (siehe auch NTP-Stellungnahme [8]).

Referenzen

- [1] Imaida, K, Kawabe, M, Wang, J, Yokohira, M, Imai, N, Han, KH, Kim, YB, Jeon, SB, Kim, HS, Ahn, YH. The International Collaborative Animal Study of mobile phone radiofrequency radiation carcinogenicity and genotoxicity: the Japanese study. *Toxicological Sciences*. 2026; 209(3):kfag002.
DOI: <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfag002>.
- [2] Kim, HS, Han, KH, Kim, YB, Jeon, SB, Lee, AK, Moon, JI, Choi, HD, Imaida, K, Yokohira, M, Kawabe, M, Imai, N, Wang, J, Ahn, YH. The International Collaborative Animal Study of the carcinogenicity and genotoxicity of mobile phone radiofrequency radiation: the Korean study. *Toxicological Sciences*. 2026; 209(3):kfag001.
DOI: <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfag001>.
- [3] 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>.
- [4] Kumar, A, Bockenstedt, M, Laast, V, Sharma, A. Historical control background incidence of spontaneous neoplastic lesions of Sprague-Dawley rats in 104-week toxicity studies. *Toxicologic Pathology*. 2023; 51(6):329–356.
DOI: <https://doi.org/10.1177/01926233231224466>.
- [5] Richardson, A, Austad, SN, Ikeno, Y, Unnikrishnan, A, McCarter, RJ. Significant life extension by ten percent dietary restriction. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2016; 1363(1):11–17.
DOI: <https://doi.org/10.1111/nyas.12982>.
- [6] Di Francesco, A, Deighan, AG, Litichevskiy, L, et al. Dietary restriction impacts health and lifespan of genetically diverse mice. *Nature*. 2024; 634(8034):684–692.
DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-024-08026-3>.
- [7] Kuhne, J, Schmidt, JA, Geschwentner, D, Pophof, B, Ziegelberger, G. Thermoregulatory stress as potential mediating factor in the NTP cell phone tumor study. *Bioelectromagnetics*. 2020; 41(6):471–479.
DOI: <https://doi.org/10.1002/bem.22284>.
- [8] 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?nn=747924>.

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:0221-2026061660652

Spotlight - Jun/2026 no.1 (Deu)