

Arbeitspapier 03

Thema: Nicht-thermische Wirkungen nicht-ionisierender Strahlung

Datum: Dezember 2023

Seit Jahrzehnten gibt es eine unterschiedliche Auslegung von Forschungsergebnissen zur nicht-ionisierenden Strahlung des mobilen Funks. Regierungen und Wissenschaftler, die nur die thermischen Wirkungen der Mobilfunkstrahlung anerkennen, halten sie für risikolos. Sie klammern hunderte Studien, die nicht-thermische Wirkungen nachweisen, aus der Risikobewertung aus. Auf diesem thermischen Dogma beruhen die Richtlinien der Internationalen Kommission zum Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung (ICNIRP) und die Strahlenschutzpolitik in den westlichen Ländern. Im ehemaligen Ostblock beruhte die Gesetzgebung und Festlegung von Schutzmaßnahmen auch auf nicht-thermischen Wirkungen. Das erklärt, warum deren Grenzwerte um ein bis zu 500-Faches niedriger als im Westen sind.¹ Die Nichtanerkennung nicht-thermischer Wirkungen hat eine politische Funktion: Sie soll den ungehinderten Ausbau der Mobilfunktechnologie ermöglichen. In diesem Arbeitspapier dokumentieren wir peer-reviewed publizierte Studien, die nicht-thermische Wirkungen nachweisen.

Die militärische Grundlage heutiger Schutzvorschriften: das thermische Dogma

Die frühen Anwendungen drahtloser Technologien konzentrierten sich auf militärische Luftfahrt- und Funkanwendungen, wie z. B. Radar und Mikrowellenkommunikation im Funk. Die Entwicklung der Radartechnologie, die im Zweiten Weltkrieg eingesetzt wurde, führte zu Berichten über biologische Effekte bei Militärangehörigen, woraufhin Studien angeordnet wurden, um die Auswirkungen von Mikrowellenstrahlung auf den Menschen zu analysieren. Der beauftragte Biophysiker Dr. Herman Schwan forschte für den militärisch-industriellen Komplex der USA und konzentrierte sich auf die Auswirkungen von elektromagnetischen Feldern (einschließlich HF) auf biologische Systeme. Als Richtwert für den Schutz schlug er einen Grenzwert von $10 \text{ mW/cm}^2 = 100 \text{ W/m}^2$ vor. Er rechtfertigte den Einsatz im Militär (Foster, 2002, S. 17).² Dieser Wert wurde zur Grundlage für Expositionsstandards in den Vereinigten Staaten und westlichen Ländern. Schwans Dogma, dass nur Wärme schädigt, wurde auch zur Grundlage der heutigen ICNIRP-Richtlinien für den Schutz der Öffentlichkeit. Wissenschaftler, die die Berücksichtigung nicht-thermischer Wirkungen einforderten, kamen seit den 50er Jahren in Normierungsgremien nicht mehr zum Zug.

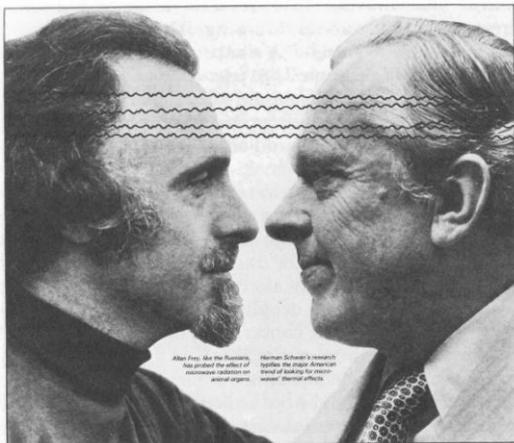
Die Auseinandersetzung um die Anerkennung nicht-thermischer Wirkungen prägte weiter die Diskussion seit den 50er-Jahren des letzten Jahrhunderts. Darüber liegen fundierte Analysen vor. Die Historie einer von Industrieinteressen dominierten Auseinandersetzung stellen u.a. Tom Butler (University College York) in seinem Report von 2020, Paul Brodeur in „Mikrowellen, die verheimlichte Gefahr“ (1980), Nicholas H. Steneck in seinem Standardwerk „The Microwave Debate“ (1984), und Martin Blank in „Overpowered“ (2014) dar.³

¹ Hecht K, Balzer HU (1997): Biologische Wirkungen Elektromagnetischer Felder im Frequenzbereich 0 - 3 GHz auf den Menschen, Studie russischer Literatur von 1960 - 1996 im Auftrag des Bundesministerium für Telekommunikation, Auftrag-Nr. 4131/6304, 402, 14.11.1996.

² Foster, K. R. (2002). Herman P. Schwan: A scientist and pioneer in biomedical engineering. Annual review of biomedical engineering, 4 (1), 1-27

³ Butler, Tom (2020): A Report on the Non-Thermal Effects of Radio Frequency Radiation and the Adequacy of Health and Safety Guidelines to Protect Public Health, Online Paper

Michèle Rivasi, Klaus Buchner (2020): Die Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung: Interessenkonflikte, „Corporate Capture“ und der Vorstoß zum Ausbau des 5G-Netzes, www.diagnose-funk.org/1701. Siehe



Debating the Microwave Danger

Some scientists believe the threat is small; others, including the Russians, believe it may be grave. Do they know something we don't?

Figure 7
Illustration from the *Philadelphia Inquirer*, September 18, 1977. Reprinted with permission.

Diese Montage zeigt die Konfrontation in den USA zwischen Dr. Herman Schwan (rechts) als Vertreter des thermischen Dogmas und dem Wissenschaftler Alain Frey, der wie die „Russen“ die Anerkennung nicht-thermischer Wirkungen einforderte (aus „The Microwave Debate“).

Thermische und nicht-thermische Wirkungen bei Absorption von NF-/HF-EMF

Thermische Wirkungen treten in der Regel bei jeder Absorption von Strahlung (NF-/HF-EMF) auf. Sie bestehen in einer Temperaturerhöhung des bestrahlten Materials/Gewebes, wenn sie nicht durch wärmeableitende Prozesse reduziert oder sogar rückgängig gemacht wird. Kurz gesagt: Das Material wird warm, ggf. nur sehr wenig. Je höher die Intensität und je länger die Einwirkungsdauer der Strahlung, desto stärker die Temperaturerhöhung. Der Grad der Temperaturerhöhung ist bei gegebener Intensität und Einwirkungsdauer der Strahlung abhängig von der Dichte, der Leitfähigkeit und der Wärmekapazität des bestrahlten Gewebes. Nur vor diesem Erwärmungseffekt schützen die ICNIRP-Grenzwerte.

Athermische Wirkungen von absorbiertem Strahlung (NF-/HF-EMF) sind biologische Wirkungen, die nicht durch die ggf. auftretende zusätzliche Erwärmung des Gewebes (ein Nebeneffekt) hervorgerufen sein können. Das

heißt, dass die Intensität der Strahlung unterhalb der thermischen Schwelle liegen muss, über der bereits durch die Erwärmung solche Wirkungen verursacht werden könnten. Zwei Beispiele:

1. UV-Strahlung, radioaktive Strahlung, Röntgenstrahlung u.Ä. können nicht-thermische Wirkungen hervorrufen: Sie bestehen in Ionisierungen von Molekülen/Atomen, da die Energie jedes ihrer Photonen (= kleinste Einheit des EMF) bereits dazu ausreicht. Die auftretende Erwärmung ist dabei minimal.
2. Auch Mobilfunkstrahlung (HF-EMF) kann nicht-thermische Wirkungen hervorrufen, auch wenn die Energie jedes ihrer Photonen nicht ausreicht, Moleküle/Atome zu ionisieren.⁴ Sie zeigen sich (laut vieler Studien) in der Anregung von nicht erforderlichen biologischen Prozessen, zum Beispiel in der irregulären Öffnung von Ionenkanälen in der Zellmembran.

Mobilfunkstrahlung ist kohärent, polarisiert und gepulst

Dass Mobilfunkfelder nicht-thermische Wirkungen hervorrufen können, beruht auf ihrer „strukturierten Form“: die Wellen von Mobilfunkfeldern sind kohärent (d.h. die einzelnen Wellen des Feldes schwingen bis auf eine feste Phasenbeziehung synchron zueinander), polarisiert und gepulst.

Das bedeutet, dass allen elektrisch geladenen Teilchen (Elektronen, Atomkernen, Ionen) im Gewebe (insbesondere auf der Zellmembran und in der Zelle) ein kohärentes Mitschwingen aufgezwungen wird. Dadurch kommt es zu kohärenten Polarisierungseffekten verschiedener Art (schwingende Abstandsveränderungen zwischen positiv und negativ geladenen Teilchen in Molekülen, Atomen oder

dazu die Dokumentation: Das Lobbysystem ICNIRP und Bundesamt für Strahlenschutz - 5 Analysen, www.diagnose-funk.org/1702

⁴ Klaus Scheler (2016): Polarisation: Ein wesentlicher Faktor für das Verständnis biologischer Effekte von gepulsten elektromagnetischen Wellen niedriger Intensität, *umwelt-medizin-gesellschaft*, Beilage 3/2016

Klaus Scheler (2019): Verbreitete Behauptungen und Scheinargumente: „Mobilfunkstrahlung hat zu wenig Energie, um Zellen zu schädigen. Oxidativer Stress ist unplausibel.“ Online www.diagnose-funk.org/1441

von Raumladungen) sowie zur ständig wechselnden Ausrichtung der Orientierung von Dipolmolekülen, insbesondere werden die Dipolmoleküle des Wassers zum Rotieren angeregt.

Dadurch können neben der Erwärmung elektrische Wechsellspannungen entstehen, die sich zusätzlich zu den biologisch erforderlichen Spannungen zwischen Innerem und Äußerem der Zelle überlagern und mit der Frequenz des eingestrahlten Feldes variieren.⁵ Wenn gewisse Schwellenwerte überschritten werden, kann es durch diese Störspannungen zu biologischen Fehlfunktionen (z.B. Öffnung von Ionenkanälen in der Zellmembran) kommen. So führt die Strahlung z.B. auch in den Mitochondrien zu einer Überproduktion von freien Radikalen und zu oxidativem Zellstress, einer Ursache entzündlicher Erkrankungen. Dies ist ein inzwischen in dutzenden Studien nachgewiesener Wirkmechanismus.

Kurz gesagt: Strukturierte/kohärente Felder haben gegenüber unstrukturierten Feldern mehr Möglichkeiten, Wirkungen hervorzurufen. Dahinter steckt ein Prinzip, das uns allen aus dem Alltag bekannt ist, wie es etwa in dem Satz „Nur gemeinsam sind wir stark“ zum Ausdruck kommt. Damit ist gemeint: Erst wenn Aktivitäten entsprechend einem gemeinsamen Ziel strukturiert/koordiniert werden, können sie Wirkungen erzielen, die sonst nicht zu haben sind.

Jeder kennt das Klatschen der Zuhörer nach einem Konzert. Wird das Klatschen strukturiert, d.h. alle klatschen im Takt (kohärentes Klatschen), hat dies mehr Wirkung für eine mögliche Zugabe. Ein strukturierter Luftstrom wie bei einem Rauchring kann eine Kerze zum Erlöschen bringen, was ein unstrukturierter entsprechender Windhauch nicht könnte. Ein magnetisiertes Stück Eisen hat nur deshalb die Möglichkeit, als Magnet zu wirken, weil seine Elementarmagnete alle ausgerichtet sind, also strukturiert/geordnet wurden. Solange sie ungerichtet (ohne Struktur) sind, gibt es keine makroskopisch wirkende Magnetkraft.

Studien, die nicht-thermische Wirkungen nachweisen

Die Frage, ob es nicht-thermische Wirkungen gibt, ist durch die Studienlage entschieden. Wir dokumentieren in diesem Arbeitspapier eine Auswahl von 70 Studien. Sie zeigen, wie Zellkaskaden verändert werden und zu pathologischen Effekten führen. Die Anerkennung dieser Wirkungen müsste, wie in den Ländern des ehemaligen Ostblocks, zu schärferen Sicherheitsbestimmungen und neuen Grenzwerten führen. Deshalb vollführen die Behörden zur Abwehr besserer Schutzvorschriften einen Eiertanz und sind auf Grund der Studienlage auf dem Rückzug. Zunächst behaupteten sie, solche nicht-thermischen Effekte seien prinzipiell nicht möglich, die Wirkung der Strahlung würde im thermischen Rauschen untergehen. Auf Grund vieler Studien mussten sie dann zugeben, dass es diese nicht-thermischen Wirkungen gibt. Nun werden diese heruntergespielt: Sie hätten aber keine gesundheitsschädlichen Auswirkungen. Deshalb müssten sie in die Risikobewertung nicht einbezogen werden. Mit welchen Strategien und Dimensionen so Studienergebnisse ignoriert werden, dokumentiert Starkey (2016) in ihrer Untersuchung.⁶

Das Bundesamt für Strahlenschutz hält am thermischen Dogma fest

Das deutsche Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) bezieht sich auf die ICNIRP-Richtlinien und behauptet, dass unterhalb der Grenzwerte keine biologische Schädigungen mit Gesundheitsrisiken auftreten können. Die Abwertung der Studien, die nicht-thermische Wirkungen nachweisen, erfolgt heute mit der Taktik des Anzweifeln, wie sie David Michaels, einst stellvertretender Direktor der US-Arbeits-

⁵ J. H. Bernhardt (1995). Mobilfunk und Elektromog. Biologische Wirkung von elektromagnetischer Strahlung. Phys. Bl, 51 (1995) Nr. 10, 947-950

⁶ Starkey SJ (2016): Inaccurate official assessment of radiofrequency safety by the Advisory Group on Non-ionising Radiation. Veröffentlicht in: Rev Environ Health 2016; 31 (4): 493-503, erschienen auf Deutsch als diagnose:funk Brennpunkt: Studie weist nach, wie Grenzwerte scheinwissenschaftlich legitimiert werden, 2017, www.diagnose-funk.org/1163

schutzbehörde, als Handwerkszeug der Risikoverleuger beschreibt.⁷ Ein typische Beispiel dafür ist die Verlautbarung des BfS zur aktuellen Mobilfunk-Analyse des EU-Gremiums SCHEER: „Die Evidenz bei nicht-thermischen Wirkmechanismen aus Zellkulturstudien wird als **unklar** eingestuft ... Für mögliche nicht-thermische Wirkmechanismen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf zellulärer Ebene sieht SCHEER keine konsistenten Hinweise und bewertet die Evidenz insgesamt als **unklar**. Dem stimmt das BfS zu.“⁸ „**Unklar**“ - ein Lehrbeispiel für die Taktik der Anzweifeln und Relativierens. Bei über 600 Studien, dokumentiert auf unserer Datenbank EMFData.org, die meist nicht-thermische Wirkungen nachweisen, ist das Zweifel-Argument „Unklarheit“ eine dreiste, politisch motivierte Verharmlosung.

Die Kritik am thermischen Dogma und den davon abgeleiteten Grenzwerten durch die International Commission on Biological Effects of EMF (ICBE-EMF)



Dieser Leugnung nicht-thermischer Wirkungen wurde schon immer heftig widersprochen. Lutz / Adlkofer kritisierten bereits 2007 die grundsätzlich falsche Annahme, nicht-ionisierende Strahlung sei unschädlich, weil sie nicht die Energie habe, kovalente Verbindungen in den Zellen aufzubrechen. Letztlich werde bei dieser Theorie der Mensch als Festkörper betrachtet:

„Aber diese Betrachtung gilt für unbelebte Materie. Sie kann angewandt werden, wenn ein Stück Holz, ein Stück Plastik oder dergleichen bestrahlt wird. In lebenden Organismen finden biologische Prozesse wie Zellteilung, Zelldifferenzierung usw. statt, die die Moleküle, speziell die DNA und die RNA sehr verletzlich machen. Chemische Verbindungen werden aufgebrochen und neu gebildet. DNA-Ketten werden geöffnet, vervielfältigt und neue Zellen werden gebildet. Eine viel tiefere Energieschwelle kann für eine Störung der zellulären Prozesse genügen. Es wird überhaupt sehr schwer sein, eine untere Energieschwelle zu definieren, um eine Störung in Lebensprozessen, für die die molekulare Instabilität eine Vorbedingung ist, auszuschließen.“⁹

Diese Betrachtung, die sich auf die Biologie stützt, wird inzwischen durch viele Studien, von denen wir in folgenden eine Auswahl dokumentieren, untermauert. Auf Grund der Monopolposition der ICNIRP bei der Interpretation der Studienlage, ihrer Festlegung der Grenzwerte, Verflechtung mit der Industrie und Behörden gründete sich 2022 die International Commission on Biological Effects of EMF (ICBE-EMF), die in ihrem Artikel anhand von 14 Punkten nachweist, dass die ICNIRP-Grenzwerte unwissenschaftlich, ohne Schutzfunktion und deshalb neue Grenzwerte erforderlich sind.¹⁰ Diese Position wird gestützt durch die Stellungnahme des Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschusses (EWSA) im Amtsblatt der EU vom März 2023.¹¹ Der EWSA fordert die Anerkennung der Gesamtstudienlage, die Ersetzung der ICNIRP durch ein unabhängiges Gremium und neue Richtlinien mit der Maßgabe:

„Besonderes Augenmerk sollte den nicht-thermischen Effekten gelten (1.11).“¹²

⁷ Michaels D, Monforton C (2005): Erzeugung von Ungewissheit: Umstrittene Wissenschaft und der Schutz von öffentlicher Gesundheit und Umwelt, American Journal of Public Health | Supplement 1, 2005, Vol 95, No. S1, Download deutsche Übersetzung: <https://www.diagnose-funk.org/1882>

⁸ <https://www.bfs.de/DE/themen/emf/kompetenzzentrum/berichte/berichte-mobilfunk/scheer.html>

⁹ Josef Lutz / Franz Adlkofer (2007): Einwände gegen die derzeitigen Grenzwerte für Mikrowellenstrahlung <https://www.emfdata.org/de/dokumentationen/detail?id=38>

¹⁰ ICBE-EMF (2022): „Wissenschaftliche Erkenntnisse entkräften gesundheitliche Annahmen, die den Grenzwertbestimmungen für Hochfrequenzstrahlung der FCC (Federal Communication Commission, USA) und der ICNIRP zugrunde liegen: Folgen für 5G“, www.diagnose-funk.org/1937

¹¹ Download der Stellungnahme: www.diagnose-funk.org/1828

¹² EWSA-Dokumente auf: www.diagnose-funk.org/1828

Studien, die nicht-thermische Wirkungen nachweisen



Wir dokumentieren eine Auswahl an Studien (Stand: Sept. 2023), die nicht-thermische Effekte nachweisen. Auf unserer Datenbank www.EMFData.org sind sie dokumentiert. Geben Sie die angegebene ID hinter dem Link ein, dann erscheint die Studie. Beispiel:

<https://www.emfdata.org/de/studien/detail&id=531>.

Hinweise

- Die Studien sind in den verschiedenen Endpunkten aufsteigend nach ihrem Erscheinungsjahr geordnet.
- 11 Studien sind mehrfach aufgeführt, da sie verschiedene Endpunkte gleichzeitig abdecken.
- Die *Zitate* stammen aus der Studienbesprechung unserer ElektromogReport-Redaktion oder aus dem Original-Abstract der Autoren.
- Die einzelnen Endpunkte wurden vom EMF-Portal vergeben.

Reviews

ID 575: Belyaev I et al. (2005): Nonthermal Biological Effects of Microwaves: Current Knowledge, Further Perspective, and Urgent Needs. *Review: Neben den bekannten Abhängigkeiten von Frequenz und Modulation deuten die verfügbaren Daten auf Abhängigkeiten der nicht-thermischen Mikrowellen-Wirkungen von der Intervall- und Kohärenzzeit der Exposition, der Polarisation, dem Genotyp, dem Geschlecht, physiologischen und individuellen Faktoren, dem statischen Magnetfeld, dem elektromagnetischen Streufeld und der Zelldichte während der Exposition hin und deuten weiterhin darauf hin, dass die Dauer der Exposition für die nichtthermischen Mikrowellen-Wirkungen wichtiger sein könnte als die Energiedichte.*

ID 366: Starkey SJ (2016): Inaccurate official assessment of radiofrequency safety by the Advisory Group on Non-ionising Radiation. [Fehlerhafte offizielle Bewertung der Sicherheit von Funkstrahlung durch die Beratergruppe für nicht-ionisierende Strahlung], *Rev Environ Health* 2016; 31(4): 493–503

ID 162: Yakymenko I et al. (2016): Oxidative mechanisms of biological activity of low-intensity radiofrequency radiation. *Review: Mikrowellen sind ein starker oxidativer Stressor für lebende Zellen. Alle Studien wurden mit Feldstärken unterhalb der thermischen Schwelle (Grenzwerte) durchgeführt.*

ID 531: Belpomme et al. (2018): Thermal and non-thermal health effects of low intensity non-ionizing radiation: An international perspective. [Thermische und nicht-thermische Effekte auf die Gesundheit durch nicht-ionisierende Strahlung geringer Intensität: Eine internationale Perspektive.] *Review: Zusammenfassung der Nachweise für Krebs als Folge von EMF-Exposition und Identifikation anderer Krankheiten oder pathologischer Krankheiten / Zustände wie Alzheimer oder Hypofertilität, die nachweislich mit übermäßiger Exposition gegenüber schwachen EMF verbunden sind. Die Autoren konzentrieren sich außerdem auf die Elektrohypersensibilität (EHS) bei Kindern und Erwachsenen sowie kognitive und Verhaltensprobleme bei Kindern, die aus der zunehmenden Exposition resultieren. Diskussion über nicht-thermische Mechanismen mit besonderem Bezug auf die EMF-bedingte Produktion freier Radikale sowie epigenetische und genetische Mechanismen.*

ID 796: Zhao X, Dong G, Wang C (2021): The non-thermal biological effects and mechanisms of microwave exposure Review. [Die nicht-thermischen biologischen Wirkungen und Mechanismen der Mikrowellen-Exposition], *Int J Radiat Res* 2021; 19 (3): 483-494

Hinrikus H, Koppel T, Lass J, Roosipuu P, Bachmann M (2023): Limiting exposure to radiofrequency radiation: the principles and possible criteria for health protection. *International Journal of Radiation Biology*. 2023 Aug 3;99(8):1167–77 DOI: [10.1080/09553002.2023.2159567](https://doi.org/10.1080/09553002.2023.2159567)

DNA-Schädigung, Genotoxizität, Gen-/Protein-Expression (allgemein)

ID 55: Lopez-Martin E et al. (2002): The action of pulse-modulated GSM radiation increases regional changes in brain activity and c-Fos expression in cortical and subcortical areas in a rat model of picrotoxin-induced seizure proneness. *Änderungen im Verhalten (Anfälle), EEG und in der neuronalen c-Fos-Expression. Keine der Strahlenbehandlungen führte zu einer Erwärmung des Gewebes, so dass thermische Effekte ausgeschlossen werden können.*

ID 59: Diem E et al. (2005): Non-thermal DNA breakage by mobile-phone radiation (1800 MHz) in human fibroblasts and in transformed GFSH-R17 rat granulosa cells in vitro. *Induzierte DNA-Schäden können nicht auf thermischen Effekten beruhen. DNA strand breaks were determined by means of the alkaline and neutral comet assay. [...] Therefore we conclude that the induced DNA damage cannot be based on thermal effects.*

ID 248: Lee S et al. (2005): 2.45 GHz radiofrequency fields alter gene expression in cultured human cells. *Wir beobachteten keinen signifikanten Anstieg in der Expression von Hitzeschock-Genen. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die HF-Felder bei 2,45 GHz die Genexpression in kultivierten menschlichen Zellen durch nicht-thermische Mechanismen verändern können.*

ID 124: Ferreira AR et al. (2006): Ultra high frequency-electromagnetic field irradiation during pregnancy leads to an increase in erythrocytes micronuclei incidence in rat offspring. *Ein zytogenetischer In-vivo-Test für Säugetiere, der Mikronukleus-Assay (MN), wurde verwendet, um das Auftreten von Chromosomenschäden in Erythrozyten von Ratten-Nachkommen zu untersuchen, die während ihrer Embryogenese einem nicht-thermischen UHF-EMF eines Mobiltelefons ausgesetzt waren. Ergebnis: Genotoxische Reaktionen im hämatopoetischen Gewebe während der Embryogenese.*

ID 28: Belyaev I et al. (2009): Microwaves from UMTS/GSM mobile phones induce long-lasting inhibition of 53BP1/gamma-H2AX DNA repair foci in human lymphocytes. *Beeinflussung der Chromatin-Konformation, hemmende Wirkung auf die Bildung von 53BP1/gamma-H2AX-DNA-Reparatur-Foci in*

menschlichen Lymphozyten von hypersensiblen und gesunden Personen, abhängig von der Trägerfrequenz und dem Signal-Typ (**nicht-thermischer** Bereich).

ID 97: Gerner C et al. (2010): Increased protein synthesis by cells exposed to a 1,800-MHz radio-frequency mobile phone electromagnetic field, detected by proteome profiling. *Zelluläre Reaktion als **athermischer Effekt**: Signifikanter Anstieg in Proteinexpression in Jurkat-Zellen und menschlichen Fibroblasten, in geringerem Ausmaß in aktivierten menschlichen Leukozyten.*

ID 100: Campisi A et al. (2010): Reactive oxygen species levels and DNA fragmentation on astrocytes in primary culture after acute exposure to low intensity microwave electromagnetic field. *Produktion reaktiver Sauerstoffspezies und DNA-Fragmentierung in Astrozyten-Primärkulturen; die ROS-Produktion (oxidativer Stress) und DNA-Brüche waren nach 20 Minuten Einwirkung von gepulster Strahlung signifikant erhöht. Dies ist eine **nicht-thermische** Wirkung.*

ID 334: Chavdoula ED et al. (2010): Comparison of biological effects between continuous and intermittent exposure to GSM-900-MHz mobile phone radiation: Detection of apoptotic cell-death features. *Nach unseren früheren Experimenten führte eine 6-minütige kontinuierliche Exposition pro Tag für 5 Tage bei GSM-900 MHz und DCS-1800 MHz (Digital Cellular System) Mobiltelefon-Befeldung zu einer starken Abnahme der Reproduktions-Kapazität des Insekts, definiert durch die Anzahl der F(1)-Puppen. Es wurde festgestellt, dass dieser Rückgang **nicht thermisch** ist und mit einem erhöhten Prozentsatz an induzierter fragmentierter DNA in den Zellen der Eikammern während der frühen und mittleren Oogenese korreliert. In den vorliegenden Experimenten zeigen wir, dass die intermittierende Exposition auch die Fortpflanzungsfähigkeit verringert und das Aktin-Zytoskelett-Netzwerk der Eikammern verändert, ein weiterer bekannter Aspekt des Zelltods, der in früheren Experimenten nicht untersucht wurde, und dass die Wirkung auch auf die DNA-Fragmentierung zurückzuführen ist.*

ID 242: Jorge-Mora T et al. (2011): The Effects of Single and Repeated Exposure to 2.45 GHz Radiofrequency Fields on c-Fos Protein Expression in the Paraventricular Nucleus of Rat Hypothalamus. *Der Nucleus paraventricularis könnte empfindlich gegenüber einer 2,45 GHz-Mikrowellen-Exposition bei **nicht-thermischen** SAR-Werten sein.*

ID 380: Misa-Agustino MJ et al. (2015): EMF radiation at 2450 MHz triggers changes in the morphology and expression of heat shock proteins and glucocorticoid receptors in rat thymus. *Signifikanz: Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass nicht-ionisierende **subthermische Strahlung** Veränderungen in der endothelialen Permeabilität und der Vaskularisierung des Thymus verursacht und ein gewebsmodulierender Wirkstoff für Hsp90 und GR ist.*

ID 183: Gustavino B et al. (2016): Exposure to 915 MHz radiation induces micronuclei in *Vicia faba* root tips. *Genotoxische Wirkungen bei Keimlingen der dicken Bohne (*Vicia faba*). **Es können kaum thermische Wirkungen vorliegen**, denn die Pflanzen wurden gleichbleibend bei 20–22°C gehalten.*

ID 23: Molla-Djafari H*, Schiessl K, Allgemeine Unfallversicherungsanstalt AUVA, Schmid G, Kundi M, Knasmüller S, Mosgöller W (2016): ATHEM-2. Athermal effects of electromagnetic field exposure associated with mobile communication. *In diesem Projekt wurden alle Expositionen mit Intensitäten durchgeführt, die eine bedenkliche Erwärmung ausschließen. Darum bezeichnet man die gefundenen Effekte als athermische oder „nicht thermische“ Effekte. Bereits lange vor Beginn des ATHEM-2 Projektes gab es konkrete Hinweise auf athermische Wirkungen auf die DNA. Bei intermittierender Exposition (z.B. im Zyklus 5 min „an“, 10 min „aus“, also wenn das Feld effektiv nur ein Drittel der Expositionsdauer „an“ ist) wurde im Vergleich zu kontinuierlicher Exposition über die gleiche Dauer die DNA-Bruchrate erhöht vorgefunden. Dies ist ein klarer Beleg dafür, dass die HF-EMF expositionsbedingten DNA-Beeinträchtigungen nicht allein mit der Menge an elektromagnetisch indizierter Wärme-Energie korrelieren, also Wärme-unabhängig (= **athermisch**) entstehen. Bereits lange vor Projektbeginn war*

in der internationalen Literatur beschrieben, dass Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern, auch bei Intensitätsniveaus im athermischen Bereich, mit DNA-Läsionen korrelieren kann.

ID 551: Panagopoulos DJ et al. (2019): Chromosome damage in human cells induced by UMTS mobile telephony radiation. *DNA-Schäden, die nicht durch zelluläre Mechanismen repariert werden konnten und auf genschädigende/bioaktive Wirkung von Mobilfunkstrahlung hinweisen. Die Wissenschaftler konnten nachweisen, dass **thermische Effekte keine Rolle spielen.***

ID 553: Grasso R et al. (2020): Dynamic changes in cytoskeleton proteins of olfactory ensheathing cells induced by radiofrequency electromagnetic fields. *Es sollten nicht-thermische Wirkungen auf die Zellen der Riechschleimhaut untersucht werden, die durch hochfrequente elektromagnetische Felder, die die Hüllkurve der elektromagnetischen Welle verändern, hervorgerufen werden. Ergebnis: Bei der längsten Bestrahlungsdauer von 20 Minuten wurde eine Temperaturerhöhung der Proben von weniger als 0,35°C festgestellt, damit **schließen die Wissenschaftler thermische Effekte aus.***

ID 588: Gulati S et al. (2020): Effects of different mobile phone UMTS signals on DNA, apoptosis and oxidative stress in human lymphocytes. *Untersuchung **nicht-thermischer Auswirkungen** von drei verschiedenen UMTS Frequenzbändern auf menschliche Lymphozyten. Sie fanden eine relativ geringe, aber statistisch signifikante Induktion von DNA-Schäden bei 1977 MHz.*

ID 608: Othman H et al. (2021): Exposure to 2.45 GHz radiation triggers changes in HSP-70, Glucocorticoid Receptors and GFAP biomarkers in rat brain. *Dysregulation von HSP-70 und GCR, verursacht durch wiederholte Belastung mit 2,45 GHz. **Ausschluss thermischer Wirkungen.***

ID 614: Said-Salman et al. (2021): Effects of Wi-Fi Radiofrequency Radiation on Carbapenem-Resistant Klebsiella pneumoniae. *Es sollte die Wirkung nicht-ionisierender und **nicht-thermisch wirkender** Strahlung auf die Virulenz der Mikroorganismen untersucht werden, besonders in Bezug auf das Auftreten multiresistenter Bakterien. Ergebnis: Nicht-lineare Reaktion der Bakterienzellen von Klebsiella pneumoniae auf die Antibiotika Gentamycin und Colistin. Die 24-Stunden-Bestrahlung der Zellen mit 2,45 GHz eines WLAN-Routers führte zu einer morphologischen Änderung in den Zellmembranen der Bakterienzelle. Nach 5 Stunden Wachstum befinden sich die Bakterienzellen inmitten der exponentiellen Wachstumsphase mit entsprechender Genexpression.*

ID 758: Capucci U et al. (2022): WiFi Related Radiofrequency Electromagnetic Fields Promote Transposable Element Dysregulation and Genomic Instability in Drosophila melanogaster. *Diese Ergebnisse deuten stark darauf hin, dass EMF eine TE-Aktivierung (TE = Transposable Elements, Teile der DNA) durch einen molekularen Mechanismus induzieren können, der unabhängig von der Hsp70-Induktion ist. Dies erlaubt es, **mögliche thermische Wirkungen** von HF-EMF auf die Dysregulierung von Transposons **auszuschließen.***

Tumorrisiko und Tumorpromotion

ID 517: Yakymenko I et al. (2010): Risks of carcinogenesis from electromagnetic radiation of mobile telephony devices. *Review: **Signifikante Stoffwechselveränderungen in lebenden Zellen bei einer Exposition gegenüber schwachen (nicht-thermischen) elektromagnetischen Feldern.***

ID 436: Lerchl A et al. (2015): Tumor promotion by exposure to radiofrequency electromagnetic fields below exposure limits for humans. *Obwohl Tierversuche in der Regel nicht ohne weiteres auf die Situation beim Menschen übertragbar sind, sind die Ergebnisse ein sehr deutlicher Hinweis darauf, dass tumorfördernde Effekte einer lebenslangen HF-EMF-Exposition prinzipiell in Intensitäten auftreten können, die angeblich **zu niedrig sind, um thermische Effekte zu verursachen.***

Oxidativer Stress

ID 115: Yu Y et al. (2008): Effects of exposure to 1.8 GHz radiofrequency field on the expression of Hsps and phosphorylation of MAPKs in human lens epithelial cells. *Mögliche induzierte Stress-Reaktion in menschlichen Linsen-Epithel-Zellen (LEC) durch nicht-thermische Hochfrequenz-Exposition. The appearance of p-ERK1/2 and p-JNK1/2, together with Hsp up-regulation, suggests that non-thermal RF exposure can induce the stress response in human LECs.*

ID 100: Campisi A et al. (2010): Reactive oxygen species levels and DNA fragmentation on astrocytes in primary culture after acute exposure to low intensity microwave electromagnetic field. *Produktion reaktiver Sauerstoffspezies und DNA-Fragmentierung in Astrozyten-Primärkulturen; die ROS-Produktion (oxidativer Stress) und DNA-Brüche war nach 20 Minuten Einwirkung von gepulster Strahlung signifikant erhöht. Dies ist eine nicht-thermische Wirkung.*

ID 729: Pilla AA et al. (2012): Electromagnetic fields instantaneously modulate nitric oxide signaling in challenged biological systems. *Diese Studie sollte zeigen, dass ein nicht-thermisches pulsmoduliertes HF-Signal, das so konfiguriert ist, dass es die Calmodulin (CaM)-Aktivierung über eine Beschleunigung der Ca²⁺-Bindungskinetik moduliert, einen sofortigen, fast dreifachen Anstieg von Stickstoffmonoxid (NO) in dopaminergen MN9D-Kulturen bewirkt (p < 0,001). Ergebnis: Laut Autoren der erste Bericht über eine Echtzeit-Wirkung von nicht-thermischen elektromagnetischen Feldern (EMF) auf die NO-Freisetzung aus angegriffenen Zellen. Dieser Effekt könnte nützlich für das Therapieren akuter postoperativer oder chronischer Schmerzen sein, z.B. bei Osteoarthritis.*

ID 214: Jelodar G et al. (2013): The prophylactic effect of vitamin C on induced oxidative stress in rat testis following exposure to 900 MHz radio frequency wave generated by a BTS antenna model. *Die Ergebnisse zeigen, dass die 900-MHz-Strahlung von Basisstationen oxidativen Stress in den Rattenhoden hervorgerufen hat.*

ID 152: Sefidbakht Y et al. (2014): Effects of 940 MHz EMF on bioluminescence and oxidative response of stable luciferase producing HEK cells. *Oxidativer Stress in transgenen menschlichen embryonalen Nieren-Zellen, gefolgt von einer anti-oxidativen Reaktion. Der SAR-Wert betrug deutlich unter 2 W/kg, durchschnittlich etwa 0,09 W/kg (Temperaturanstieg 0,07 ± 0,03, 0,02 – 0,1°C, nicht-thermische Wirkung).*

ID 205: Akbari A et al. (2014): Vitamin C protects rat cerebellum and encephalon from oxidative stress following exposure to radiofrequency wave generated by a BTS antenna model. *Die Ergebnisse legen nahe, dass die Strahlung oxidativen Stress in den Geweben von Enzephalon und Kleinhirn hervorruft (nicht-thermischer Effekt).*

ID 707: Liu K et al. (2014): The Protective Effect of Autophagy on Mouse Spermatocyte Derived Cells Exposure to 1800MHz Radiofrequency Electromagnetic Radiation. *Es sollten biologische Wirkungen von HF auf das männliche Reproduktionssystem untersucht werden. Und es sollte geklärt werden, ob eine HF-Exposition die Autophagie in Spermatozyten von Mäusen induzieren könnte. Obwohl 4 W/kg als höhere Strahlendosis einzuschätzen ist, können thermische Wirkungen ausgeschlossen werden. Ergebnis: Die Autophagie könnte eine wichtige Rolle bei der Verhinderung des apoptotischen Zelltods unter HF-Expositionsstress spielen. Der Autophagie-Fluss könnte durch eine 1800 MHz-GSM-Exposition (4 W/kg) verstärkt werden, was durch die Erzeugung von ROS vermittelt wird. Es wurde eine signifikante Erhöhung von DNA-Schäden nach der Befeldung mit 4 W/kg gefunden, nicht jedoch bei niedrigeren Dosen.*

ID 179: Gürler HS et al. (2014): Increased DNA oxidation (8-OHdG) and protein oxidation (AOPP) by Low level electromagnetic field (2.45 GHz) in rat brain and protective effect of garlic. *Das Ziel dieser Studie war zu erkunden, ob Knoblauch eine schützende Wirkung hat, wenn die nicht-thermisch ein-*

wirkenden Mikrowellen bei 0,02 W/kg SAR bzw. 3,68 V/m eines WLAN-Systems Schäden an DNA, Lipiden und Proteinen im Hirngewebe und Blutplasma von Ratten erzeugen. Der Grenzwert für SAR liegt bei 0,08 W/kg für die Öffentlichkeit. Ergebnis: Oxidativer Stress im Blut und Gehirn; Knoblauch könnte diese Wirkung abschwächen.

ID 414: Othman H et al. (2017): Postnatal development and behavior effects of in-utero exposure of rats to radiofrequency waves emitted from conventional WiFi devices. *In diesen Experimenten wurde an Ratten untersucht, wie sich **nicht-thermische**, täglich einwirkende 2,45 GHz-Strahlung eines normalen WLAN-Gerätes auf Föten im Mutterleib später auf die Entwicklung der Nachkommen nach der Geburt auswirkt. Ergebnis: Verschiedene nachteilige Auswirkungen auf die Nachkommen durch Bestrahlung der Mütter mit 2,45 GHz-WLAN-Frequenzen.*

ID 710: Marjanovic Cermak AM et al. (2017): In vitro **non-thermal** oxidative stress response after 1800 MHz radiofrequency radiation. *Vorübergehendes Oxidations-Reduktions-Ungleichgewicht in Fibroblasten-Zellen nach der Anpassung an die angewandten experimentellen Bedingungen.*

ID 711: Marjanovic Cermak AM et al. (2017): Oxidative stress response in SH-SY5Y cells exposed to short-term 1800 MHz radiofrequency radiation. *Störung des Redox-Gleichgewichts in Neuroblastomzellen und Verursachung von Schäden an Lipiden und Proteinen durch kurzfristige **nicht-thermische** Hochfrequenzbefeldung.*

ID 703: Li R et al. (2018): The Protective Effect of Autophagy on DNA Damage in Mouse Spermatoocyte-Derived Cells Exposed to 1800 MHz Radiofrequency Electromagnetic Fields. *Ziel der vorliegenden Studie war es, den Mechanismus und die Rolle der durch RF-EMF induzierten Autophagie in Spermatozoen von Mäusen zu bestimmen. Der **SAR-Wert von 4 W/kg** ist zwar eher hoch gewählt, befindet sich jedoch unterhalb der Schwelle für thermische Wirkungen. Ergebnis: Es wurde eine signifikante Erhöhung von DNA-Schäden nach der Befeldung mit 4 W/kg gefunden, nicht jedoch bei niedrigeren Dosen. Autophagie, die durch RF-EMFs über den AMPK/mTOR-Signalweg ausgelöst wurde, kann DNA-Schäden in Spermatozoen verhindern.*

ID 595: Choi J et al. (2020): Continuous Exposure to 1.7 GHz LTE Electromagnetic Fields Increases Intracellular Reactive Oxygen Species to Decrease Human Cell Proliferation and Induce Senescence. *Es sollten die **nicht-thermischen Wirkungen** von 1,7 GHz LTE-Strahlung auf das Wachstum verschiedener menschlicher Zellen in vitro untersucht werden. **Thermische Auswirkungen wurden durch ein ausgeklügeltes Kühlsystem ausgeschlossen.** Ergebnis: Verminderung der Zellteilung in allen untersuchten Zelltypen bei kontinuierlicher Belastung mit 1,7 GHz LTE-Hochfrequenz über 72h bei einem SAR1 = 1 W/kg und einem SAR2 = 2 W/kg.*

ID 560: Singh KV et al. (2020): Effect of mobile phone radiation on oxidative stress, inflammatory response, and contextual fear memory in Wistar rat Environmental Science and Pollution Research. *Oxidativer Stress im Gehirn: Obwohl die ausgesendete Strahlung von Mobiltelefonen weit unterhalb der Intensität ist, die thermische Auswirkungen hat, hat die wissenschaftliche Literatur in der jüngsten Zeit demonstriert, dass eine langfristige Belastung mit dieser Strahlung Schädigungen auf **nicht-thermischen Wege** verursachen kann. Reaktive Sauerstoffspezies (ROS) und deren Auswirkungen sind momentan die überzeugendsten Mechanismen, um nicht-thermische Wirkungen von HF-EMF, insbesondere im Falle des Gehirns, zu erklären.*

ID 596: Delen K et al. (2021): Effects of 2600 MHz Radiofrequency Radiation in Brain Tissue of Male Wistar Rats and Neuroprotective Effects of Melatonin. *Es sollten **nicht-thermische Wirkungen** untersucht werden: die degenerative Wirkung von 2600 MHz-Strahlung (Histologie, oxidative Schädigung und Apoptose) und die Wirkung von Melatonin auf Hirnrinde, Hippocampus und Astrozyten des Hirn-*

gewebes von männlichen Ratten. Ergebnis: Statistisch signifikante Abnahme von GSH, GSH-Px und SOD Konzentrationen im Hirngewebe, signifikanter Anstieg von MPO, MDA und NOx-Konzentrationen.

ID 686: Zosangzuali et al. (2021): Effects of radiofrequency electromagnetic radiation emitted from a mobile phone base station on the redox homeostasis in different organs of Swiss albino mice. *Untersuchung möglicher Wirkungen einer Exposition unterhalb der thermischen Werte bei einer Mobilfunk-Basisstation auf einige oxidative Stress-Parameter im Gehirn, im Herzen, in der Niere und in der Leber von Schweizer Albino-Mäusen. Ergebnis: Oxidativer Stress, ausgelöst durch die Exposition gegenüber HF von Mobilfunk-Basisstationen, kann schädliche Auswirkungen auf das Gehirn von Mäusen haben.*

Schuermann D, Mevissen M (2021): Manmade Electromagnetic Fields and Oxidative Stress—Biological Effects and Consequences for Health. *Int. J. Mol. Sci.* 2021, 22(7), 3772; <https://doi.org/10.3390/ijms22073772>

ID 651: Pooam M et al. (2022): Exposure to 1,8 GHz radiofrequency field modulates ROS in human HEK293 cells as a function of signal amplitude. *Signifikanter Anstieg der ROS im Zellkern und im Zytoplasma der HEK392-Zellen, nach 15 Minuten ausgelöst durch die nicht-thermischen 1,8 GHz-Felder.*

Wirkung auf Zellen, Zellfunktion und Zellebensfähigkeit

ID 167: Esmekaya MA et al. (2011): Mutagenic and morphologic impacts of 1.8 GHz radiofrequency radiation on human peripheral blood lymphocytes (hPBLs) and possible protective role of pre-treatment with Ginkgo biloba (Egb 761). *Erhöhte Mutations-Rate bei peripheren Blut-Lymphozyten, verringerte Zellebensfähigkeit und veränderte Zellmorphologie; Egb 761 könnte diese Wirkungen reduzieren. Die Sendeantenne befand sich vertikal über den Lymphozyten, es gab keine Temperaturunterschiede zwischen den bestrahlten und den scheinbestrahlten Proben, somit sind keine thermischen Wirkungen vorhanden.*

ID 304: Vojisavljevic V et al. (2011): Low intensity microwave radiation as modulator of the L-lactate dehydrogenase activity. *Die L-Lactat-Dehydrogenase-Enzymaktivität kann durch spezifische Frequenzen einer schwachen Mikrowellen-Befeldung moduliert werden. Dieses Ergebnis kann zur Unterstützung der Hypothese dienen, dass schwache Mikrowellen nicht-thermische Wirkungen bei Biomolekülen induzieren.*

ID 729: Pilla AA et al. (2012): Siehe Seite 9

ID 710: Marjanovic Cermak AM et al. (2017): Siehe Seite 10

ID 711: Marjanovic Cermak AM et al. (2017): Siehe Seite 10

ID 703: Li R et al. (2018): Siehe Seite 10

ID 550: Imani M et al. (2019): Morphological Changes Induced By Extremely Low-Frequency Electric Fields. *Morphologische Veränderungen, die möglicherweise auf Mechanismen in den Calcium-Kanälen beruhen. Die Wirkungen waren nicht-thermischer Natur.*

ID 733: Said-Salman IH et al. (2019): Evaluation of Wi-Fi Radiation Effects on Antibiotic Susceptibility, Metabolic Activity and Biofilm Formation by Escherichia Coli 0157H7, Staphylococcus Aureus and Staphylococcus Epidermis. *Bestimmung von Antibiotikaresistenz, Motilität, Stoffwechselaktivität und Biofilmbildung, um nicht-thermische Auswirkungen auf verschiedene pathogene Bakterienstämme (Escherichia coli 0157H7, Staphylococcus aureus und Staphylococcus epidermis) zu untersuchen. Ergebnis: Die Ergebnisse legen nahe, dass die Wi-Fi-Exposition auf Bakterien in stressiger Weise wirkt,*

indem sie die Antibiotikaresistenz und Motilität von *Escherichia coli* 0157H7 erhöht und die Biofilmbildung von *Escherichia coli* 0157H7, *Staphylococcus aureus* und *Staphylococcus epidermis* fördert.

ID 725: Yamazaki S et al. (2020): Propagation of (THz) Irradiation Energy through Aqueous Layers: (Demolition) of Actin Filaments in Living Cells. *Es sollte die Wirkung von Terahertz-Strahlung (THz) auf tiefe Gewebe des menschlichen Körpers untersucht werden. Obwohl die Temperatur der Medien durch den THz-Laser leicht erhöht wurde, gehen die Autoren aufgrund der Marginalität nicht von einer thermischen Wirkung aus. Ergebnis: Demonstration des Potenzials von THz-Wellen als invasive Methode zur Veränderung der Proteinstruktur in lebenden Zellen.*

ID 686: Zosangzuali et al. (2021): Siehe Seite 11

ID 652: Echchgadda I et al. (2022): Changes in the excitability of primary hippocampal neurons following exposure to 3.0 GHz radiofrequency electromagnetic fields. *Signifikante Veränderung der Aktivität der Nervenzellen, d.h. die Erregbarkeit der embryonalen Hippocampuszelle, 15 Minuten nach Ende der 60-minütigen Bestrahlung (auf nicht-thermische Weise).*

Mikrowelleneffekt (nicht-thermischer Mechanismus)

ID 221: Hinrikus H et al. (2015): Microwave effect on diffusion: a possible mechanism for non-thermal effect. *Ein möglicher Mechanismus für nicht-thermischen Effekt: Mikrowellen versetzen dipolare Wassermoleküle in Rotation und verursachen hochfrequente Änderungen der Wasserstoffbindungen zwischen den Wassermolekülen, wobei sie deren Viskosität verändern und die Diffusion erhöhen.*

Wirkung auf Blut und Biochemie

ID 128: Busljeta I et al. (2004): Erythropoietic changes in rats after 2.45 GHz nonthermal irradiation. *Störung bei der Reifung und Proliferation roter Blutkörperchen und Bildung von Mikronuclei in erythropoetischen Zellen nach nicht-thermischer Befeldung.*

ID 53: Cespedes O et al. (2009): Effects of radio frequency magnetic fields on iron release from cage proteins. *Die Raten der Eisen-Chelatbildung mit Ferrozin sind um einen Faktor von bis zu drei in den Proteinen vermindert (nicht-thermische Wirkung).*

Wirkung auf Drüsen und Hormone

ID 769: Mai TC et al. (2021): Low-Level Radiofrequency Exposure Induces Vasoconstriction in Rats. *Die Autoren untersuchten die Auswirkungen von 900 MHz-HF bei einem niedrigen Pegel (SAR von 0,35 W/kg) auf die Schwanzhauttemperatur (Ttail) bei Ratten. Ergebnis: Hinweise, dass Hochfrequenz unterhalb des thermischen Schwellenwerts Auswirkungen auf das thermoregulatorische System von Säugetieren haben kann.*

Wirkung auf Hoden/Spermien, Fertilität

ID 31: Desai NR et al. (2009): Pathophysiology of cell phone radiation: oxidative stress and carcinogenesis with focus on male reproductive system. *Review: Die Zellfunktion könnte durch die nicht-thermische Strahlung kommerziell erhältlicher Mobiltelefone gestört werden.*

ID 420: Shahin S et al. (2014): 2.45-GHz microwave irradiation adversely affects reproductive function in male mouse, *Mus musculus* by inducing oxidative and nitrosative stress. *Zwölf Wochen alte Mäuse wurden bei nicht-thermischer schwacher 2,45 GHz-MW-Strahlung (CW für 2 h/Tag für 30 Tage, Leistungsdichte = 0,029812 mW/cm² = 0,29812 W/m² und SAR = 0,018 W/kg) exponiert. Ergebnis: Signifi-*

kante Abnahme der Spermienzahl und der Spermienlebensfähigkeit zusammen mit der Abnahme des Durchmessers und der Degeneration der Hodenkanälchen.

ID 546: Yu G et al. (2019): Long-term exposure to 4G smartphone radiofrequency electromagnetic radiation diminished male reproductive potential by directly disrupting Spock3–MMP2–BTB axis in the testes of adult rats. *Negative Beeinflussung der Gesundheit der Hoden sowie die Spermienqualität. Die ausgesendete Mobilfunkstrahlung des 4G-Smartphones erhöhte nicht die Körpertemperatur der Versuchstiere. Damit werden thermische Wirkungen ausgeschlossen.*

ID 647: Kim S et al. (2021): Effects of mobile phone usage on sperm quality – No time-dependent relationship on usage: A systematic review and updated meta-analysis. *System. Review / Metaanalyse: Nachweis, dass die Mobilfunkwirkung auf nicht-thermischen Effekten beruht. Wäre die thermische Wirkung größer als die nicht-thermische, würden Personen, die ihre Mobiltelefone in der Hosentasche aufbewahren, eine signifikante Abnahme der Spermienparameter aufweisen, da für eine thermische Wirkung ein unmittelbarer Kontakt zur Erwärmung des Gewebes notwendig ist. (Hintergrund: Subgruppenanalyse des Aufbewahrungsorts zeigt keine signifikanten Unterschiede)*

Wirkung auf Embryo/Fötus, Embryogenese

ID 124: Ferreira AR et al. (2006): Siehe Seite 6

ID 746: Tsybulin O et al. (2012): GSM 900 MHz Microwave Radiation Affects Embryo Development of Japanese Quails. *Hinweis auf athermische Wirkungen auf die Embryogenese. Vermutung, dass die fördernde Wirkung niedriger Strahlungsdosen auf die Embryonalentwicklung durch einen Hormese-Effekt erklärt werden kann, der durch reaktive Sauerstoffspezies (ROS) ausgelöst wird.*

ID 414: Othman H et al. (2017): Postnatal development and behavior effects of in-utero exposure of rats to radiofrequency waves emitted from conventional WiFi devices. *In diesen Experimenten wurde an Ratten untersucht, wie sich nicht-thermische, täglich einwirkende 2,45 GHz-Strahlung eines normalen WLAN-Gerätes auf Föten im Mutterleib, später auf die Entwicklung der Nachkommen nach der Geburt auswirkt. Ergebnis: Verschiedene nachteilige Auswirkungen auf die Nachkommen durch Bestrahlung der Mütter mit 2,45 GHz-WLAN-Frequenzen.*

Wirkung auf Augen

ID 115: Yu Y et al. (2008): Siehe Seite 9

Wirkung auf Gehirn, Gehirnstoffwechsel, Hirnaktivität

ID 792: Salford LG, Nittby H, Brun A, Grafstrom G, Eberhardt JL, Malmgren L, Persson BRR (2007): Non-thermal effects of EMF upon the mammalian brain: the Lund experience. [Nicht-thermische Wirkungen durch EMF auf das Säugetier-Gehirn: Die Lund-Erfahrung]. Veröffentlicht in: *Environmentalist* 2007; 27 (4): 493-500

ID 422: Sinha RK et al. (2008): Neural Network-Based Evaluation of Chronic Non-Thermal Effects of Modulated 2450 MHz Microwave Radiation on Electroencephalogram. *Geringe Auswirkungen auf Schlaf-EEG, Freilandverhalten und Schilddrüsenhormone (T3, T4 und TSH) in einem Tiermodell.*

ID 242: Jorge-Mora T et al. (2011): The Effects of Single and Repeated Exposure to 2.45 GHz Radiofrequency Fields on c-Fos Protein Expression in the Paraventricular Nucleus of Rat Hypothalamus. *Der Nucleus paraventricularis könnte empfindlich gegenüber einer 2,45 GHz-Mikrowellen-Exposition bei nicht-thermischen SAR-Werten sein.*

ID 698: Kesari KK et al. (2013): Effect of 3G Cell Phone Exposure with Computer Controlled 2-D Stepper Motor on Non-thermal Activation of the hsp27/p38MAPK Stress Pathway in Rat Brain. *Es sollte die Wirkung einer 3G-Handy-Exposition mit einem computergesteuerten 2-D-Schrittmotor auf die **nicht-thermische** Aktivierung des HSP27/p38MAPK Stress-Signalwegs im Gehirn von Ratten untersucht werden. Ergebnis: Beeinträchtigung der Gehirnfunktion und verschiedene neurologische Störungen.*

ID 205: Akbari A et al. (2014): Siehe Seite 9

ID 160: Bragin DE et al. (2015): Increases in microvascular perfusion and tissue oxygenation via pulsed electromagnetic fields in the healthy rat brain. *Erhöhung der mikrovaskulären Hirndurchblutung über einen Stickstoffmonoxid-abhängigen Signalweg. Befeldung: SAR = 40 mW/kg (**deutlich unterhalb der thermischen Schwelle**).*

ID 199: Sirav B et al. (2016): Effects of GSM modulated radio-frequency electromagnetic radiation on permeability of blood-brain barrier in male & female rats. *Erhöhung der Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke, wobei geschlechtsspezifische Unterschiede vorhanden sein könnten. Die SAR wird mit 0,02 W/kg angegeben, **weit unterhalb der thermischen Schwelle**.*

ID 560: Singh KV et al. (2020): Siehe Seite 10

Wirkung auf Gedächtnis, Lernen und Verhalten

ID 119: Regel SJ et al. (2007): Pulsed radio frequency radiation affects cognitive performance and the waking electroencephalogram. *Verminderte Reaktionsgeschwindigkeit und erhöhte Genauigkeit in einer Arbeitsgedächtnis-Aufgabe; Erhöhung der spektralen Leistungsdichte des EEG im Bereich von 10.5-11 Hz (Alphawellen-Aktivität): **nicht-thermische Wirkung**.*

ID 264: Sinha RK et al. (2008): Chronic non-thermal exposure of modulated 2450 MHz microwave radiation alters thyroid hormones and behavior of male rats. *Änderung von Schilddrüsenhormonen und Verhalten durch chronische **nicht-thermische Exposition**.*

ID 157: Deshmukh PS et al. (2015): Cognitive Impairment and Neurogenotoxic Effects in Rats Exposed to Low-Intensity Microwave Radiation. *Wirkungen auf das Gehirn: signifikant erhöhte DNA-Schäden und Hsp70-Proteinexpression. Die Studie zeigt, dass Mikrowellenstrahlung von 900, 1800 und 2450 MHz geringer Intensität (**nicht-thermische Wirkung**) schädliche Auswirkungen auf Rattenhirne hat, sichtbar an verminderten Hirnleistungen beim Lernen, Gedächtnis und der räumlichen Orientierung.*

ID 552: Narayanan SN et al (2019): Radiofrequency electromagnetic radiation-induced behavioral changes and their possible basis. *Immer mehr Publikationen deuten auf mögliche **nicht-thermische biologische Auswirkungen** hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung (RF-EMR) auf Gehirn und Verhalten hin.*

ID 558: Broom KA et al. (2019): Early-Life Exposure to Pulsed LTE Radiofrequency Fields Causes Persistent Changes in Activity and Behavior in C57BL/6 J Mice. *Anhaltende Veränderungen in Aktivität und Verhalten; da das Verhalten einige Wochen nach der Bestrahlung gemessen wurde, sind einfache Erklärungen wie Wahrnehmungsstörungen oder **thermische Wirkungen unhaltbar** ebenso wie unbekannte Stressfaktoren in der Umgebung.*

ID 652: Echchgadda I et al. (2022): Changes in the excitability of primary hippocampal neurons following exposure to 3.0 GHz radiofrequency electromagnetic fields. *Signifikante Veränderung der Aktivität der Nervenzellen, d. h. die Erregbarkeit der embryonalen Hippocampuszelle, 15 Minuten nach Ende der 60-minütigen Bestrahlung (auf **nicht-thermische** Weise).*

ID 692: Hinrikus H et al. (2022): Possible health effects on the human brain by various generations of mobile telecommunication: a review based estimation of 5G impact. *Review: Die Mehrheit der Studien (68 von 73) wurde bei Expositionsniveaus durchgeführt, die unterhalb des offiziellen ICNIRP-Grenzwerts von 2 W/kg liegen (nicht-thermisch).*

Wirkung auf Pflanzen und Tiere

ID 233: Baranski S et al. (1972): Histological and histochemical effect of microwave irradiation on the central nervous system of rabbits and guinea pigs. *Die vorliegende Arbeit wurde mit dem Ziel durchgeführt zu überprüfen, ob eine längere, wiederholte Exposition mit Mikrowellen bei solchen Leistungsdichten, die keinen Temperaturanstieg verursachen (d.h. bei **athermischen Dosen**), histologische oder histochemische Veränderungen im ZNS der befeldeten Tiere verursachen kann. Ergebnis: Auftreten morphologischer Läsionen, proliferative Reaktion der Glia-Zellen und Abnahme Acetylcholinesterase-Aktivität und die Bernsteinsäure-Dehydrogenase-Aktivität.*

ID 161: Tafforeau M et al. (2002): SIMS Study of the Calcium deprivation step related to epidermal meristem production induced in flax by cold shock or radiation from a GSM telephone. *Calcium-Entzug (analoge Reaktion: Kombination von Berührung, Wind oder Trockenheit). 900 MHz-Strahlung ist keine natürliche Umwelteinwirkung, an die Pflanzen angepasst sind, aber die Pflanze kann darauf reagieren, ohne eine thermische Einwirkung wahrzunehmen (1 mW/cm², Temperatur-Erhöhung < 0,2°C nach 2 h = **nicht-thermische Wirkung**).*

ID 746: Tsybulin O et al. (2012): Siehe Seite 13

ID 489: Gremiaux A et al. (2016): Low-amplitude, highfrequency electromagnetic field exposure causes delayed and reduced growth in Rosa hybrida. *Verzögertes und vermindertes Wachstum bei Rosa hybrida. Die Messungen der pflanzlichen Energie-Aufnahme durch HF-EMF in dieser Expositions-Bedingung (SAR von $7,2 \cdot 10^{-4}$ W/kg) deuteten darauf hin, dass diese biologische Reaktion **wahrscheinlich nicht auf eine thermische Wirkung zurückzuführen ist.***

ID 504: Halgamuge MN et al. (2017): Review: Weak radiofrequency radiation exposure from mobile phone radiation on plants. *Die Arbeit sollte der Hypothese nachgehen, ob schwache **nicht-thermische elektromagnetische Felder Auswirkungen auf lebende Pflanzen haben.** Ergebnis: Verschiedene physiologische oder morphologische Änderungen bei den 169 Experimenten der 45 einbezogenen Veröffentlichungen bei Kurzzeitbestrahlung (bis 13 Wochen).*

ID 686: Zosangzuali et al. (2021): Siehe Seite 11

ID 769: Mai TC et al. (2021): Siehe Seite 12