# DNA-Schäden und Reparatur

*Was Zell- und Tierstudien zeigen und was das für den Menschen bedeutet*

## RAUM 1 — Bürger & Familien

*Erbgut · Zellreparatur · Tierversuche · Alltagsvorsorge*

### Kann Handystrahlung unser Erbgut beeinflussen?

Schadet mein Handy meinen Zellen? Muss ich mir wegen meiner Kinder oder wegen eines Kinderwunsches Gedanken machen? Solche Fragen verdienen eine ehrliche Antwort.

Die kurze Antwort: Forschungsgruppen in vielen Ländern haben nach Mobilfunkstrahlung Schäden am Erbgut gemessen, in Zellen von Menschen und von Tieren. Dazu kommen Befunde, dass Eiweiße, die das Erbgut reparieren, anders arbeiten als sonst.

### Wie schützt eine Zelle ihr Erbgut?

Das Erbgut, die DNA, ist wie eine Bauanleitung für den ganzen Körper. Sie steckt in jeder einzelnen Zelle und wird ständig gebraucht. Schon der ganz normale Stoffwechsel macht kleine Schäden daran. Deshalb hat jede Zelle ihr eigenes Reparaturteam, das rund um die Uhr arbeitet, ähnlich wie Handwerker, die nachts die Straßen ausbessern.

Entscheidend ist, dass Reparatur und Schaden im Gleichgewicht bleiben. Wird eine Stelle richtig repariert, ist alles wieder heil. Bleibt ein Schaden liegen oder wird falsch repariert, steckt ein Fehler in der Bauanleitung der Zelle. Nicht jede Zelle mit so einem Fehler stirbt ab. Manche leben weiter und geben den Fehler bei jeder Teilung an neue Zellen weiter. Solche Fehler können die Arbeit der Zellen stören und gehören zu den Ausgangspunkten ernster Erkrankungen. Deshalb ist das Erbgut so schützenswert.

### Was haben Forscher gefunden?

Im Labor wurden bei bestrahlten Ratten und Mäusen mehr Schäden am Erbgut von Gehirnzellen gemessen. Auch bei menschlichen Bindegewebs-, Linsen-, Plazenta- und Nervenzellen sowie bei menschlichen Spermien, die im Labor bestrahlt wurden, fanden Forschungsgruppen Schäden am Erbgut. In menschlichen Blutzellen bildeten sich nach der Bestrahlung weniger von den Stoffen, die für die Reparatur gebraucht werden, und das hielt bis zu drei Tage an.

Das sind Messergebnisse mit gesundheitlicher Bedeutung. Für Familien heißt das ganz praktisch: Strahlung am Körper verringern, wo es sich vermeiden lässt. Das ist einfacher, als es klingt.

### Was lässt sich im Alltag tun?

**Was Sie tun können**

- **Dauerbetrieb konsequent vermeiden:** Geräte nach Möglichkeit per Kabel betreiben (LAN statt WLAN), Sender nur bei Bedarf einschalten und sonst ausschalten.
- **Beim Telefonieren Abstand halten:** den Lautsprecher nutzen und das Gerät mit Abstand ablegen. Ein normales Kabel-Headset genügt nicht, weil das Kupferkabel Strahlung bis ans Ohr führen kann; ein Luftschlauch-Headset gibt es ab etwa 10 Euro (Stand Oktober 2026).
- **Körpernah vermeiden:** Ein sendendes Handy nicht dauerhaft unmittelbar am Körper tragen.
- **Nachts abschalten:** Nicht benötigte Sender in der Nacht ausschalten.

- **Kinder und Jugendliche schützen:** den Einstieg ins eigene Handy so spät wie möglich wählen, jedes Jahr zählt. Für Absprachen und Erreichbarkeit genügt anfangs ein Tastenhandy oder das Festnetz. Die gemeinsame Nutzung von per LAN-Kabel verbundenen Geräten sowie feste funkarme Zeiten, etwa bei Schlaf und Mahlzeiten, schaffen eine strahlungsarme und regenerationsfördernde Umgebung (mehr dazu in Artikel 16).

Ein ausgeschaltetes Gerät sendet nicht, und jeder Zentimeter Abstand hilft. Weitere Alltagsschritte: siehe Artikel 24.

### Was verändert sich bei Ihnen?

Wer seine Gewohnheiten ändert, kann ein paar Wochen lang aufschreiben: Wie schlafe ich? Wie geht es mir tagsüber? Was hat sich sonst noch verändert? Ein einfaches Tagebuch hilft mehr als ständiges Nachprüfen, und Ihre Notizen sind für das Gespräch mit Ihrer Ärztin oder Ihrem Arzt Gold wert. Neue oder anhaltende Beschwerden gehören ärztlich abgeklärt.

## RAUM 2 — Ärzte & Therapeuten

*Patientengespräch · Krebsangst · Kinderwunsch · Verlauf*

### Warum können DNA-Schäden und Reparatur heute medizinisch nicht mehr ignoriert werden?

Experimentelle DNA-Befunde liegen aus mehreren Arbeitsgruppen, Modellen und Geweben vor: Nagetiergehirn [1, 2], menschliche Lymphozyten [3], menschliche Spermien [4, 5], menschliche Fibroblasten [6, 7], menschliche Linsen- und Plazentazellen [8–10], Nervenzellen der Ratte [11], Keimzellen der Maus [12] und Eikammern der Taufliege [13]. Sie begründen eine sachliche Beratung über vermeidbare körpernahe Strahlung. Dafür ist keine individuelle Krebsprognose nötig.

### Was gehört in das Patientengespräch?

Die Befunde stammen überwiegend aus Zellkulturen und Tierversuchen mit definierten Signalen. DNA-Strangbrüche, Reparaturmarker, Beschwerden und klinische Erkrankungen sind getrennte Endpunkte und werden getrennt dokumentiert.

Bei Kinderwunsch, ausgeprägter Krebsangst und Fragen zur Strahlung für Kinder lohnt sich eine besonders ruhige Gesprächsführung. Die Spermienarbeit untersuchte isolierte Zellen im Labor [4, 5].

### Formulierungsvorschläge für die Praxis

- **Bei Krebsangst:** *„Die Forschung hat unter bestimmten Bedingungen Veränderungen am Erbgut gemessen. Sie können selbst viel verringern. Was können Sie sich vorstellen?“*
- **Bei Kinderwunsch:** *„Im Labor zeigen Spermien unter Strahlung mehr DNA-Schäden. Was könnten Sie sich vorstellen, körpernah zu verändern, zum Beispiel das Handy nicht am Körper zu tragen?“*
- **Beim Beschwerdebild:** *„Was Ihr Körper Ihnen mit diesem Beschwerdebild zeigt, ist wertvoll. Es ist ein Signal, das wir uns gemeinsam anschauen.“*

### Wie gelingt die Expositionsreduktion als Beratungsschritt?

Vereinbaren Sie ein bis zwei überschaubare Schritte, etwa nachts nicht benötigte Sender ausschalten und das Handy nicht am Körper tragen, und einen Kontrolltermin nach einigen Wochen. Schlaf, Befinden und Beschwerden im Verlauf zu dokumentieren ergänzt die Anamnese. Das lässt sich in wenigen Minuten besprechen.

Bei unklarer Quelle ist eine fachkundige Messung sinnvoll. Abschirmung kommt erst nach Messung, Quellenklärung und anschließender Kontrollmessung in Betracht. Anhaltende oder neue Beschwerden erfordern die übliche differenzialdiagnostische Abklärung.

### Welche Vorsorgeempfehlung gehört in den Therapieplan?

Schlafplatz und körpernahe Nutzung erfassen, entbehrliche Sender abschalten oder ersetzen. Den Dauerbetrieb ganz zu beenden ist die konsequenteste Lösung. Die Maßnahme ergänzt die Behandlung und ersetzt sie nicht.

**Ärztliches Fazit: Beschwerden ernst nehmen, die Patientin oder den Patienten fragen, was sie oder er selbst verändern kann, und den Verlauf dokumentieren.**

# RAUM 3 — Wissenschaft & Evidenz

*Strangbrüche · Reparaturmarker · Dosimetrie · Übertragbarkeit*

## Welche gemessenen Veränderungen tragen die Arbeitshypothese?

Lai und Singh (University of Washington, 1995) bestrahlten männliche Ratten zwei Stunden lang am ganzen Körper mit gepulsten 2450 MHz (2-µs-Pulse, 500 Pulse pro Sekunde) bei einer Ganzkörper-SAR von 0,6 beziehungsweise 1,2 W/kg. Vier Stunden später fanden sie in Gehirnzellen vermehrte DNA-Einzelstrangbrüche (alkalische Mikrogelelektrophorese); bei kontinuierlicher Bestrahlung mit 1,2 W/kg waren sie sofort und nach vier Stunden erhöht [1].

Smith-Roe und Mitarbeitende (US-amerikanisches National Toxicology Program, 2020) setzten Mäuse 14 Wochen lang mit 1900 MHz (GSM- oder CDMA-Modulation, SAR 2,5 bis 10 W/kg, täglich rund neun Stunden effektiver Ganzkörperbestrahlung) und Ratten 19 Wochen lang mit 900 MHz (SAR 1,5 bis 6 W/kg) aus. Männliche Mäuse zeigten im Frontalkortex erhöhte DNA-Schäden im alkalischen Comet-Assay, bei beiden Modulationen; bei weiblichen Mäusen waren die Blutleukozyten unter CDMA erhöht [2].

Beim Rattenhippocampus unter CDMA erfüllte das Ergebnis bei Auswertung von 100 Zellen je Tier die festgelegten Positivkriterien. Die Gruppen umfassten gewöhnlich fünf Tiere; die Expositionshöhen waren in thermischen Voruntersuchungen so gewählt, dass keine messbare Erwärmung auftrat [2].

Belyaev und Mitarbeitende (schwedisch-slowakische Arbeitsgruppe, 2009) setzten Lymphozyten von fünf beschwerdefreien und fünf elektrosensiblen Personen eine Stunde lang GSM-Strahlung bei 915 MHz (mittlere SAR 0,037 W/kg) und UMTS-Strahlung bei 1947,4 MHz (0,040 W/kg) aus. Die Zahl der 53BP1/γ-H2AX-Reparaturfoci, die in der Immunfluoreszenzmikroskopie die Antwort der Zelle auf DNA-Doppelstrangbrüche anzeigen, sank, und die Veränderung hielt bis zu 72 Stunden nach der Bestrahlung an [3]. In beiden Personengruppen zeigten sich gleichgerichtete Effekte.

De Iuliis und Mitarbeitende (University of Newcastle, 2009) bestrahlten isolierte menschliche Spermien 16 Stunden lang mit unmodulierten 1800 MHz bei 21 °C im SAR-Bereich 0,4 bis 27,5 W/kg. Ab 2,8 W/kg waren oxidative DNA-Veränderungen (8-OH-dG-Immunmarkierung) und DNA-Fragmentierung (TUNEL-Durchflusszytometrie) signifikant erhöht [4, 5]. Die Korrektur von 2013 berichtigte falsch übertragene Werte in Abbildung 1D und die Zahl der biologischen Wiederholungen: Die Abbildungen beruhen auf drei, nicht auf vier Wiederholungen [5]. Die Zahl der Spender und die Zahl unabhängiger Wiederholungen je Experiment sind zwei verschiedene Angaben.

Diem und Mitarbeitende (Medizinische Universität Wien, im EU-Projekt REFLEX, 2005) setzten menschliche Fibroblasten und Granulosazellen der Ratte 4, 16 und 24 Stunden lang 1800 MHz mit verschiedenen Mobilfunkmodulationen aus (SAR 1,2 oder 2 W/kg; kontinuierlich oder 5 Minuten an, 10 Minuten aus). Im alkalischen und im neutralen Comet-Assay fanden sie DNA-Einzel- und Doppelstrangbrüche; die intermittierende Exposition wirkte stärker als die kontinuierliche [6]. Schwarz und Mitarbei-

tende (2008, ebenfalls REFLEX) fanden in Fibroblasten dreier Spender unter UMTS (1950 MHz) dosis- und zeitabhängig mehr Strangbrüche (Comet-Assay) und mehr Mikrokerne; bei 0,05 W/kg war der Anstieg nach 24 Stunden signifikant [7].○

Spätere Arbeiten anderer Gruppen fanden ebenfalls DNA-Veränderungen. Lixia und Mitarbeitende (chinesische Arbeitsgruppe, 2006) bestrahlten menschliche Linsenepithelzellen 2 Stunden lang mit 1,8 GHz (GSM, 217 Hz); bei 3 W/kg waren die DNA-Schäden im Comet-Assay unmittelbar und 30 Minuten nach der Bestrahlung signifikant erhöht [8].○ Yao und Mitarbeitende (2008, dieselbe Gruppe) fanden bei 3 und 4 W/kg signifikante DNA-Schäden, überwiegend Einzelstrangbrüche, zusammen mit vermehrten reaktiven Sauerstoffverbindungen [9].○ Franzellitti und Mitarbeitende (Universität Bologna, 2010) setzten menschliche Trophoblastenzellen aus der Plazenta 4, 16 und 24 Stunden lang 1,8 GHz aus (5 Minuten an, 10 Minuten aus); unter GSM-217-Hz- und GSM-Talk-Signalen stiegen die Comet-Parameter signifikant an [10].○

Xu und Mitarbeitende (chinesische Arbeitsgruppe, 2010) setzten primäre Neuronen der Rattenhirnrinde 24 Stunden lang gepulsten 1800 MHz aus (217 Hz, SAR 2 W/kg). Der oxidative DNA-Schaden 8-OHdG in den Mitochondrien stieg signifikant, die Kopienzahl der mitochondrialen DNA sank [11].○ Liu und Mitarbeitende (2013, dieselbe Gruppe) fanden in einer Spermatozyten-Zelllinie der Maus nach 24 Stunden GSM-Talk bei 4 W/kg vermehrte oxidative DNA-Basenschäden (FPG-modifizierter Comet-Assay, 8-oxoG), begleitet von vermehrten reaktiven Sauerstoffverbindungen [12].○ Panagopoulos und Mitarbeitende (griechische Arbeitsgruppe, 2007) setzten Taufliegen in vivo über sechs Tage wenige Minuten täglich der Strahlung eines Mobiltelefons aus (GSM 900 MHz und DCS 1800 MHz); in den Eikammern der frühen und mittleren Oogenese zeigten sich DNA-Fragmentierung (TUNEL) und Zelltod [13].○

Unabhängige Arbeitsgruppen in den USA, Schweden, Österreich, Australien, Italien, China und Griechenland fanden damit an Nagergehirn, menschlichen Fibroblasten, Lymphozyten, Linsen-, Plazenta- und Nervenzellen, Spermien, Keimzellen und Fliegeneikammern DNA-Veränderungen, jeweils mit eigenen Endpunkten: Strangbrüche, Reparaturfoci, Mikrokerne, oxidative Basenveränderungen, Schäden an mitochondrialer DNA und DNA-Fragmentierung [1–13].⊙

## Wie ist das Messverfahren einzuordnen?

Der alkalische Comet-Assay erfasst die Wanderung von DNA infolge von Strangbrüchen und alkalilabilen Stellen. Probenaufbereitung, Temperaturkontrolle, Verblindung, Positivkontrollen, unabhängige biologische Wiederholungen und vorab definierte Auswertungen bestimmen die Aussagekraft. Die Reparaturfoci in der Lymphozytenarbeit beschreiben die zelluläre Schadensantwort.

## Was zeigen Übersichten über die Studienlage?

Weller und Mitarbeitende (Griffith University und Oceania Radiofrequency Scientific Advisory Association, 2025) kartierten mehr als 500 Studien: 53 Prozent In-vitro-, 37 Prozent Tier- und 10 Prozent epidemiologische Untersuchungen. In-vivo- und epidemiologische Studien zeigten anteilig mehr signifikante Effekte als In-vitro-Studien, und 58 Prozent der Studien mit beobachteten DNA-Schäden verwendeten Expositionen unterhalb der ICNIRP-Grenzwerte [14].○ Die Autoren nennen Expositionsdauer und realitätsnahe Signale als wichtigste Einflussfaktoren. Höherwertige Studien zeigten weniger signifikante Effekte; die Finanzierungsquelle beeinflusste die Ergebnisse stärker als die Studienqualität. Sie folgern, dass Hochfrequenzstrahlung genotoxisch sein kann und ein Krebsrisiko bergen könnte [14]. Zur Krebsbewertung siehe Artikel 5.

## Welcher biophysikalische Zusammenhang ist beschrieben?

Als biophysikalischer Weg werden oxidative Prozesse untersucht: In der Spermienarbeit korrelierten mitochondriale Radikalsignale mit oxidativen DNA-Veränderungen und Fragmentierung [4], und die Übersicht von Weller und Mitarbeitenden nennt vermehrte Bildung freier Radikale als plausiblen Mechanismus [14]. Beide Arbeiten liefern einen biologischen Hinweis auf diesen Weg; eine Aussage zum ersten biophysikalischen Angriffspunkt der Strahlung treffen sie nicht. Siehe Artikel 2.

## Welche Forschungsaufgaben ergeben sich?

Offen sind Ausmaß, Reparaturverlauf und klinische Folgen langjähriger Alltagsbelastung. Studien mit Alltagssignalen, definierter Dosimetrie und Verlauf über Monate bis Jahre würden diese Fragen beantworten. Zugehörigkeit und Finanzierung gehören zur Bewertung: Die NTP-Arbeit stammt aus einem US-Staatsprogramm; Franzellitti et al. nennen die Fondazione Flaminia und das italienische Forschungsministerium, Xu et al. die Nationale Naturwissenschaftliche Stiftung Chinas, Weller et al. Griffith University

und ORSAA. Die Finanzierung der übrigen Arbeiten wurde nicht für jede Quelle geprüft. Ergänzender Verweis: Artikel 7 (Studienmethodik).

**Marker-Legende:** ○ Hinweise vorhanden · ⦿ unabhängig bestätigt · ● biophysikalisch belegt.

## Welche Quellen liegen zugrunde?

| # | Quelle |
|---|---|
| 1 | Lai H., Singh N.P. (1995). Acute low-intensity microwave exposure increases DNA single-strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics*, 16(3): 207–210. DOI: 10.1002/bem.2250160309. |
| 2 | Smith-Roe S.L., Wyde M.E., Stout M.D., Winters J.W., Hobbs C.A., Shepard K.G., Green A.S., Kissling G.E., Shockley K.R., Tice R.R., Bucher J.R., Witt K.L. (2020). Evaluation of the genotoxicity of cell phone radiofrequency radiation in male and female rats and mice following subchronic exposure. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 61(2): 276–290. DOI: 10.1002/em.22343. US-amerikanisches National Toxicology Program. |
| 3 | Belyaev I.Y., Markovà E., Hillert L., Malmgren L.O.G., Persson B.R.R. (2009). Microwaves from UMTS/GSM mobile phones induce long-lasting inhibition of 53BP1/γ-H2AX DNA repair foci in human lymphocytes. *Bioelectromagnetics*, 30(2): 129–141. DOI: 10.1002/bem.20445. |
| 4 | De Iuliis G.N., Newey R.J., King B.V., Aitken R.J. (2009). Mobile phone radiation induces reactive oxygen species production and DNA damage in human spermatozoa in vitro. *PLOS ONE*, 4(7): e6446. DOI: 10.1371/journal.pone.0006446. |
| 5 | De Iuliis G.N., Newey R.J., King B.V., Aitken R.J. (2013). Correction: Mobile phone radiation induces reactive oxygen species production and DNA damage in human spermatozoa in vitro. *PLOS ONE*, 8(3), Korrekturmitteilung ohne Seitenzählung. DOI: 10.1371/annotation/9a8a0172-3850-4059-b852-72c330769c1b. |
| 6 | Diem E., Schwarz C., Adlkofer F., Jahn O., Rüdiger H. (2005). Non-thermal DNA breakage by mobile-phone radiation (1800 MHz) in human fibroblasts and in transformed GFSH-R17 rat granulosa cells in vitro. *Mutation Research*, 583(2): 178–183. DOI: 10.1016/j.mrgentox.2005.03.006. Medizinische Universität Wien; EU-Projekt REFLEX. |
| 7 | Schwarz C., Kratochvil E., Pilger A., Kuster N., Adlkofer F., Rüdiger H.W. (2008). Radiofrequency electromagnetic fields (UMTS, 1,950 MHz) induce genotoxic effects in vitro in human fibroblasts but not in lymphocytes. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 81(6): 755–767. DOI: 10.1007/s00420-008-0305-5. Medizinische Universität Wien; EU-Projekt REFLEX. |
| 8 | Lixia S., Yao K., Kaijun W., Deqiang L., Huajun H., Xiangwei G., Baohong W., Wei Z., Jianling L., Wei W. (2006). Effects of 1.8 GHz radiofrequency field on DNA damage and expression of heat shock protein 70 in human lens epithelial cells. *Mutation Research*, 602(1–2): 135–142. DOI: 10.1016/j.mrfmmm.2006.08.010. |
| 9 | Yao K., Wu W., Wang K., Ni S., Ye P., Yu Y., Ye J., Sun L. (2008). Electromagnetic noise inhibits radiofrequency radiation-induced DNA damage and reactive oxygen species increase in human lens epithelial cells. *Molecular Vision*, 14: 964–969. PMC: PMC2391079. |
| 10 | Franzellitti S., Valbonesi P., Ciancaglini N., Biondi C., Contin A., Bersani F., Fabbri E. (2010). Transient DNA damage induced by high-frequency electromagnetic fields (GSM 1.8 GHz) in the human trophoblast HTR-8/SVneo cell line evaluated with the alkaline comet assay. *Mutation Research*, 683(1–2): 35–42. DOI: 10.1016/j.mrfmmm.2009.10.004. Universität Bologna. |

| # | Quelle |
|---|---|
| 11 | Xu S., Zhou Z., Zhang L., Yu Z., Zhang W., Wang Y., Wang X., Li M., Chen Y., Chen C., He M., Zhang G., Zhong M. (2010). Exposure to 1800 MHz radiofrequency radiation induces oxidative damage to mitochondrial DNA in primary cultured neurons. *Brain Research*, 1311: 189–196. DOI: 10.1016/j.brainres.2009.10.062. |
| 12 | Liu C., Duan W., Xu S., Chen C., He M., Zhang L., Yu Z., Zhou Z. (2013). Exposure to 1800 MHz radiofrequency electromagnetic radiation induces oxidative DNA base damage in a mouse spermatocyte-derived cell line. *Toxicology Letters*, 218(1): 2–9. |
| 13 | Panagopoulos D.J., Chavdoula E.D., Nezis I.P., Margaritis L.H. (2007). Cell death induced by GSM 900-MHz and DCS 1800-MHz mobile telephony radiation. *Mutation Research*, 626(1–2): 69–78. DOI: 10.1016/j.mrgentox.2006.08.008. |
| 14 | Weller S.G., McCredden J.E., Leach V., Chu C., Lam A.K.-Y. (2025). A scoping review and evidence map of radiofrequency field exposure and genotoxicity: assessing in vivo, in vitro, and epidemiological data. *Frontiers in Public Health*, 13: 1613353. DOI: 10.3389/fpubh.2025.1613353. Griffith University; Oceania Radiofrequency Scientific Advisory Association. |