Blut-Hirn-Schranke und elektromagnetische Felder

Welche Hinweise gibt es — und was bedeuten sie für die Praxis?

RAUM 1 — Bürger & Familien

Gehirnschutz · Funkenergie · Forschung · Alltag

Was ist die Blut-Hirn-Schranke, und warum braucht das Gehirn sie?

Vielleicht klingt „Blut-Hirn-Schranke" zunächst wie der Name einer Krankheit oder wie eine feste Mauer im Kopf. Beides trifft nicht zu. Sie ist ein natürliches Schutzsystem in den feinen Blutgefäßen, die das Gehirn versorgen: Es lässt lebensnotwendige Stoffe wie Sauerstoff und Glucose gezielt passieren und hält größere Eiweißstoffe, Krankheitserreger und andere unerwünschte Substanzen zurück – eine Art sorgfältige Grenzkontrolle.

Unser Gehirn braucht dafür eine möglichst stabile Umgebung. Die Blut-Hirn-Schranke ist deshalb kein starrer Wall, sondern ein lebendiges Filtersystem, das auf die jeweilige körperliche Situation reagiert – auch auf Infektionen, Schlafmangel, Alkohol, Bluthochdruck oder bestimmte Medikamente. Eine veränderte Durchlässigkeit ist daher nie ein spezifischer Hinweis auf eine einzelne Ursache.

Gelangen Funkfelder beim Telefonieren überhaupt ins Gehirn?

Ja. Wenn ein Smartphone beim Telefonieren direkt am Ohr gehalten wird, sendet es hochfrequente elektromagnetische Felder in den Kopf, die durch Haut, Schädel und Hirngewebe eindringen – nahe am Gerät stärker, mit der Tiefe schwächer werdend. Wie viel davon aufgenommen wird, hängt vor allem vom Abstand zwischen Gerät und Kopf ab: Mehr Abstand verringert die lokale Energieaufnahme deutlich. Die entscheidende Frage ist deshalb nicht, ob Funkenergie das Gehirn erreicht, sondern wie viel, wie lange – und mit welcher biologischen Folge.

Was haben Forschende bisher beobachtet?

In mehreren Tierstudien wurden nach Mobilfunkexposition Veränderungen beobachtet, die zu einer erhöhten Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke passen – etwa der Nachweis von Albumin, einem großen Bluteiweiß, im Hirngewebe von Ratten. Andere Tierstudien fanden unter abweichenden Bedingungen keine solche Veränderung. Das bedeutet nicht, dass die positiven Befunde damit verschwinden – die Studien unterscheiden sich bislang zu stark in Exposition, Tiermodell und Messmethode, um von einem einheitlichen Ergebnis zu sprechen. Direkte Untersuchungen am Menschen sind selten und bisher nicht eindeutig; sie beantworten insbesondere nicht, was jahrelange, alltägliche Nutzung bewirken könnte.

Muss ich mir deshalb Sorgen machen?

Ignorieren ist hier keine angemessene Reaktion. Tierstudien zeigen unter bestimmten Bedingungen reale, messbare Veränderungen der Blut-Hirn-Schranke – das ist ein Befund, der ernst genommen werden muss, nicht einer, der sich wegerklären lässt.

Eine Diagnose einer mobilfunkbedingten Blut-Hirn-Schranken-Erkrankung beim Menschen lässt sich aus diesen Daten nicht ableiten. Das ist aber kein Grund zur Beruhigung: Kein Schadensnachweis ist kein Sicherheitsnachweis. Mobilfunkstrahlung ist nicht gesundheitsförderlich, sondern eine biologische Belastung – gerade dort, wo ihre langfristigen Folgen noch erforscht werden, ist Zurückhaltung geboten, nicht Sorglosigkeit.

Die praktische Frage lautet deshalb: Was kann ich im Alltag ohne großen Aufwand verändern, wenn ich unnötige körpernahe Funkexposition reduzieren möchte?

Vorsorge im Alltag

- Beim Telefonieren Abstand schaffen: Lautsprecher (kostenlos) oder Luftschlauch-Headset (ab etwa 10 Euro, Stand Oktober 2026) nutzen, kein Kupferkabel am Ohr, und das Handy weit vom Körper entfernt halten.
- Das Smartphone nicht dauerhaft direkt am Körper tragen und nicht unter das Kopfkissen legen
- Bei schwachem Empfang lange Telefonate möglichst vermeiden, weil das Gerät dann mit höherer Leistung senden kann
- Während des Schlafs Flugmodus nutzen oder das eingeschaltete Gerät außerhalb des Schlafbereichs ablegen
- Dauernutzung von Funk konsequent vermeiden: Geräte nach Möglichkeit per Kabel betreiben (LAN statt WLAN), Funk nur bei Bedarf einschalten und sonst ausschalten
- Für Kinder gilt: den Einstieg ins eigene Handy so spät wie möglich wählen, jedes Jahr zählt (Artikel 16)

Was verändert sich bei Ihnen?

Wer Kopfdruck, Schlafstörungen, innere Unruhe, Konzentrationsprobleme oder ungewöhnliche Erschöpfung zeitlich mit Funkexpositionen verbindet, sollte nicht vorschnell eine einzige Ursache festlegen. Die eigene Beobachtung ist ein ernstzunehmender Hinweis. Sie verdient eine strukturierte Prüfung, auch wenn es dafür bislang keinen Routine-Messwert gibt.

Hilfreich kann ein einfaches, zeitlich begrenztes Symptomtagebuch sein:

- Wann treten Beschwerden auf?
- Wie lange dauern sie an?
- Wo befanden sich Smartphone, WLAN-Router oder andere Funkgeräte?
- Verändert sich etwas bei mehr Abstand, ausgeschalteten Funkverbindungen oder einer ruhigeren Schlafumgebung?

- Welche weiteren Faktoren waren zugleich vorhanden – etwa Schlafmangel, Infekt, Stress, Alkohol, Medikamente oder Bildschirmzeit?

Eine solche Eigenbeobachtung ersetzt keine medizinische Diagnostik. Sie kann aber helfen, Muster zu erkennen und im ärztlichen Gespräch konkrete, überprüfbare Fragen zu stellen.

→ Ärztinnen und Ärzte finden im nächsten Abschnitt die klinischen Ebenen der Blut-Hirn-Schranke, Anamnesehinweise und Formulierungen für das Patientengespräch.

RAUM 2 — Ärzte & Therapeuten

Barrierefunktion · Anamnese · Differenzialdiagnostik · Vorsorge

Warum kann die Blut-Hirn-Schranke heute medizinisch nicht mehr ignoriert werden?

Die Blut-Hirn-Schranke ist ein zentrales Regulationssystem der zerebralen Homöostase. Tierexperimentelle Studien berichten unter bestimmten RF-EMF-Expositionsbedingungen Albuminextravasation, Veränderungen von Schrankenmarkern und begleitende neurobiologische Endpunkte. Diese Befunde begründen keine Diagnose einer „EMF-bedingten Blut-Hirn-Schrankenstörung" beim Menschen. Sie rechtfertigen jedoch, bei unklaren neurovegetativen, kognitiven oder schlafbezogenen Beschwerden die Expositionsanamnese nicht reflexhaft auszublenden.

Welche Ebenen der Blut-Hirn-Schranke sind klinisch relevant?

Welche Mechanismen helfen bei der klinischen Einordnung?

Die Blut-Hirn-Schranke beruht auf Endothelzellen, tight junctions, Perizyten, Astrozytenendfüßen und einer kontrollierten Transzytose. Für RF-EMF werden in experimentellen Arbeiten vor allem Veränderungen der Gefäßpermeabilität, Albuminextravasation, oxidativer und nitrosativer Stress sowie Änderungen von Signalwegen und Schrankenproteinen diskutiert. Ein experimenteller Barriereendpunkt ist nicht gleichbedeutend mit einer nachgewiesenen Erkrankung beim Menschen.

Die strukturelle Dichtigkeit der Blut-Hirn-Schranke hängt besonders von tight-junction-Proteinen wie Claudin-5, Occludin und ZO-1 ab. Veränderungen von Expression, Verteilung oder Phosphorylierung können die parazelluläre Durchlässigkeit beeinflussen. Einzelne experimentelle RF-Studien berichten Veränderungen solcher Barriere- oder Signalwegmarker; eine robust reproduzierte, modellübergreifende Kausalkette für alltagsnahe chronische Mobilfunkexposition ist daraus bisher nicht ableitbar.

Albuminextravasation ist als morphologischer und immunhistochemischer Endpunkt grundsätzlich relevant: Albumin ist ein hochmolekulares Plasmaprotein; sein Nachweis im Hirnparenchym kann auf eine erhöhte Permeabilität der Blut-Hirn-Schranke hinweisen. Nach GSM-ähnlicher Exposition wurde dieser Befund in Rattenmodellen mehrfach berichtet, vor allem innerhalb des Lund-/Salford-Forschungskontexts [1, 5].

Unabhängige Arbeitsgruppen in China und in der Türkei berichteten ähnliche Befunde im Rattenmodell [2, 16]; andere Gruppen fanden keine Albuminleckage [6, 7].

Tang und Kollegen beobachteten nach 28 Tagen täglicher 900-MHz-Exposition über drei Stunden Albumin- und HO-1-Extravasation im Hippocampus und Cortex, zelluläre Veränderungen sowie eine schlechtere Leistung im Morris-Wasserlabyrinth. Die lokale Kopf-SAR wurde mit bis zu 2 W/kg angegeben; die Autoren verbanden die Befunde mit der mkp-1/ERK-Signalkaskade [2]. Die Befunde sind klar berichtet. Für die Einordnung als spezifisch nicht-thermischer Effekt bleiben Qualität und Transparenz der Dosimetrie sowie der Temperaturkontrolle jedoch entscheidend.

Oxidativer und nitrosativer Stress werden als mögliche Vermittlungswege diskutiert, weil sie Endothel, Mitochondrien, tight junctions und die neurovaskuläre Regulation beeinflussen können. Die spezifische Evidenz, dass dieser Weg bei alltäglicher chronischer RF-Exposition eine klinisch relevante Blut-Hirn-Schrankenstörung verursacht, bleibt bisher begrenzt.

Für ausführlichere Informationen zu spannungsgesteuerten Calciumkanälen, Calcium-Signalwegen und dem Ion-Forced-Oscillation-Modell siehe Artikel 10. Die Blut-Hirn-Schranke ist hier als Zielstruktur einzuordnen; der vorliegende Beitrag ersetzt keine allgemeine Darstellung möglicher Membran- und Signalmechanismen.

Bei welchen Patientengruppen ist eine strukturierte Anamnese sinnvoll?

Verändern sich Beschwerden räumlich und zeitlich nachvollziehbar und bessern sie sich unter Expositionsreduktion, ist das ein klinisch relevanter Hinweis. Dass es dafür keinen etablierten Routine-Messwert gibt, macht die Beobachtung nicht bedeutungslos. Eine erhöhte Empfindlichkeit gegenüber Umwelt- und Belastungsfaktoren ist nicht mit einer nachweisbaren Blut-Hirn-Schrankenstörung gleichzusetzen; individuelle Unterschiede in Vulnerabilität, Begleiterkrankungen und Belastungskonstellationen sind jedoch plausible ärztliche Fragestellungen. Die EUROPAEM-Leitlinie 2016 empfiehlt dafür eine ausführliche räumliche und zeitliche Expositionsanamnese [11] (siehe Artikel 23).

Eine strukturierte Expositionsanamnese kann besonders sinnvoll sein bei:

- Patientinnen und Patienten mit neuen oder fluktuierenden Kopfschmerzen, Schwindel, Schlafstörungen, Konzentrationsproblemen oder neurovegetativer Übererregbarkeit
- Menschen mit Beschwerden, die nachvollziehbar räumlich oder zeitlich an digitale Arbeitsplätze, intensive Smartphone-Nutzung, WLAN-Umgebungen oder Mobilfunktelefonate gekoppelt erscheinen
- Personen mit neurologischen Vorerkrankungen, postinfektiösen Beschwerden, Schädel-Hirn-Trauma, ausgeprägten Schlafstörungen oder Multisystembeschwerden
- Kindern und Jugendlichen mit hoher körpernaher Gerätenutzung; ihr Nervensystem befindet sich noch in Entwicklung, während direkte Langzeitdaten zu spezifischen Blut-Hirn-Schranken-Endpunkten fehlen
- Menschen mit EHS-ähnlichen Beschwerden, bei denen die Symptomrealität ernst genommen und zugleich eine breite Differenzialdiagnostik sichergestellt werden sollte (ausführlich zu Diagnostik und Praxis siehe Artikel 12 und Artikel 22)

Zu Kopfschmerzen und Schwindel gibt es Hinweise aus der Bevölkerungsforschung: In der dänischen Kohorte von Schüz et al. (Mobilfunkabonnenten, Nachbeobachtung bis 2003) waren Krankenhauskontakte wegen Migräne (SHR 1,2; 95-%-Konfidenzintervall 1,1–1,3) und wegen Schwindel (SHR 1,1; 1,1–1,2) bei Abonnenten häufiger als in der Vergleichsbevölkerung (SHR = standardisierte Hospitalisierungsrate). Die Autoren bewerten dies als schwache Assoziation, die weitere Beachtung verdiene [14].

Die Aussage „Kein objektiver Marker gefunden" bedeutet nicht automatisch „keine relevante Belastung oder kein reales Leiden". Umgekehrt ist ein zeitlicher Zusammenhang allein ein Hinweis, dessen Gewicht mit der Spezifität der Beobachtung steigt. Beides sollte im ärztlichen Gespräch gleichzeitig Platz haben.

Wie kann Expositionsreduktion diagnostisch und therapeutisch genutzt werden?

Eine zeitlich begrenzte, alltagstaugliche Expositionsreduktion kann als individuelle Beobachtungsintervention eingesetzt werden. Sie ist keine Provokationsstudie und keine Diagnosesicherung. Sie kann jedoch helfen, den Zusammenhang zwischen Nahfeldexposition, Schlaf, vegetativer Aktivierung und Beschwerden nachvollziehbarer zu prüfen.

Praktisch kann eine strukturierte Beobachtungsphase von zwei bis vier Wochen sinnvoll sein:

- Definierte Reduktion körpernaher RF-Exposition, insbesondere beim Telefonieren und Schlafen
- Möglichst stabile Begleitbedingungen: Schlafzeiten, Koffein, Alkohol, Belastung, Medikamente und Infekte dokumentieren
- Symptomtagebuch mit Tageszeit, Intensität, Aktivität, Expositionssituation und Erholungsphasen
- Parallel leitliniengerechte Abklärung relevanter Differenzialdiagnosen, etwa Schlafapnoe, Migräne, Hypertonie, depressive oder Angststörungen, Arzneimittelnebenwirkungen, endokrine Ursachen, Infekte und neurologische Erkrankungen

Eine Besserung unter konsequenter Expositionsreduktion und eine erneute Zunahme bei veränderter Expositionssituation sind zusätzliche Hinweise auf einen individuellen Zusammenhang. Besonders aussagekräftig sind wiederholte, nachvollziehbare Beobachtungen bei möglichst stabilen Begleitbedingungen. Verändern sich gleichzeitig Schlafgewohnheiten, Bildschirmzeit oder Erreichbarkeitsdruck, gehört das in die Einordnung. Die Aussagekraft ergibt sich aus dem Gesamtbild, nicht aus einer einzelnen Symptomveränderung. Ob dabei Veränderungen der Blut-Hirn-Schranke eine Rolle spielen, bleibt ohne entsprechende Untersuchungen offen.

Formulierungsvorschläge für die Praxis

Zu Beginn:

„Ihre Beschwerden sind real, und Ihre Beobachtung ist wichtig. Wir klären zuerst medizinische Ursachen ab."

Wenn nach der Forschung gefragt wird:

„Im Tierversuch hat man unter Mobilfunkstrahlung Veränderungen an der Blut-Hirn-Schranke gefunden, also an der Schutzschicht des Gehirns. Beim Menschen gibt es dazu bisher nur wenige Untersuchungen."

Beim Vorschlag zur Reduktion:

„Was können Sie sich vorstellen, für ein paar Wochen zu verringern – nachts, beim Telefonieren? Notieren Sie, was sich verändert, und bringen Sie es mit."

Welche Vorsorge ist medizinisch angemessen?

Ärztliches Fazit

Für die klinische Routine besteht kein Anlass, bei unspezifischen Beschwerden ohne weitere Befunde eine Blut-Hirn-Schrankenstörung durch Mobilfunk zu diagnostizieren. Gleichzeitig ist eine pauschale Sicherheitsbehauptung für sämtliche langfristigen, körpernahen oder gepulsten Expositionen bei allen Menschen wissenschaftlich nicht begründbar.

Das Ausbleiben eines Schadensnachweises in den bisher untersuchten Modellen, Endpunkten und Zeiträumen ist kein positiver Nachweis dafür, dass sämtliche langfristigen, körpernahen oder gepulsten Expositionen bei allen Menschen biologisch folgenlos und symptomatisch ohne Bedeutung sind. Kurz gesagt: Kein Schadensnachweis ist kein Sicherheitsnachweis.

- Körpernahe Hochfrequenzexposition bei Telefonie und Gerätenutzung pragmatisch reduzieren: Bei körpernahen Geräten ist Abstand eine der wirksamsten und zugleich einfachsten Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Exposition
- Schlaf als Regenerationsfenster schützen: Smartphone nicht am Bett, Flugmodus oder Abschalten nicht benötigter Funkverbindungen
- Bei plausibler zeitlicher Kopplung eine dokumentierte Expositionsreduktion als ergänzende, risikoarme Beobachtungsintervention anbieten
- EHS-ähnliche Beschwerden ernst nehmen, ohne andere somatische, psychische und soziale Einflussfaktoren zu übersehen
- Eine symptomorientierte, individualisierte Versorgung vor eine monokausale Zuschreibung stellen

Die klinische Relevanz positiver Tierbefunde für den Menschen ist offen. Die EUROPAEM EMF Guideline 2016 empfiehlt bei EMF-assoziierten Beschwerden ausdrücklich eine Reduktion vermeidbarer Exposition als niedrigschwellige, risikoarme Maßnahme [11]. Diese Einordnung deckt sich mit der hier vorgeschlagenen pragmatischen Vorsorge und benötigt keine Kausalklärung.

→ Die folgenden Studien und ihre methodischen Grenzen im Detail finden Sie im nächsten Abschnitt für Wissenschaft und Fachkreise.

RAUM 3 — Wissenschaft & Fachkreise

Tiermodelle · Dosimetrie · Replikation · Humanlücke

Welche Schlüsselbefunde liegen zu RF-EMF vor?

Nittby et al.: In einem Rattenmodell berichteten Nittby und Kollegen nach einer zweistündigen GSM-900-ähnlichen Exposition eine erhöhte Albuminextravasation sieben Tage später. Die Autoren fanden den Befund besonders bei 12 mW/kg und beschrieben einen Zusammenhang zwischen SAR und fokaler

Albuminextravasation [1]. Unabhängig davon berichteten Sirav und Seyhan in der Türkei bei männlichen Ratten nach 20 Minuten Dauerstrich-Exposition mit 0,9 und 1,8 GHz (Hirn-SAR 4,26 beziehungsweise 1,46 mW/kg) eine erhöhte Albuminextravasation; bei Weibchen zeigte sich das nicht [16]. Mit den Befunden von Tang et al. [2] liegen damit Rattenbefunde aus drei Ländern vor. ⊙

Tang et al.: Nach 28 Tagen 900-MHz-Exposition, drei Stunden täglich, wurden bei Ratten Albumin- und HO-1-Extravasation in Hippocampus und Cortex, ultrastrukturelle Veränderungen sowie eine schlechtere räumliche Gedächtnisleistung beobachtet. Die lokale Kopf-SAR betrug nach Angaben der Autoren bis zu 2 W/kg; diskutiert wurde eine Beteiligung der mkp-1/ERK-Signalkaskade [2]. ○ Die Studie liefert einen klaren positiven experimentellen Befund unter ihren definierten Bedingungen. Für die Zuordnung zu einem spezifisch nicht-thermischen Mechanismus ist jedoch – wie bei allen RF-Experimenten – die Qualität und Transparenz von Dosimetrie und Temperaturkontrolle entscheidend. Die Ergebnisse begründen eine Replikationsfrage; sie erlauben keine unmittelbare Übertragung auf die alltägliche menschliche Mobilfunkexposition.

Salford et al.: Das Lund-Team berichtete nach zweistündiger GSM-ähnlicher Exposition histologische neuronale Veränderungen in Cortex, Hippocampus und Basalganglien von Ratten. Die Arbeit steht im Zusammenhang mit früheren Befunden derselben Forschungsgruppe zur Albuminleckage über die Blut-Hirn-Schranke [5]. ○

Studien ohne Albuminleckage: Mehrere Untersuchungen fanden keine erhöhte Permeabilität oder keine Albuminextravasation. Masuda und Kollegen konnten in einem Rattenmodell nach 915-MHz-Exposition bis zu 2,0 W/kg Ganzkörper-SAR weder Albuminleckage noch die beschriebenen neuronalen Veränderungen bestätigen [6]. McQuade und Kollegen berichteten ebenfalls keine nachweisbare Albuminleckage nach RF-Exposition [7]. Diese Studien widerlegen die positiven Befunde nicht. Jede beschreibt ihr Ergebnis unter ihren eigenen Bedingungen (Expositionssystem, Zeitmuster, Tiermodell, Messmethode).

Söderqvist et al. (Humanstudie): In einer Provokationsstudie wurden 41 Freiwillige 30 Minuten lang einem GSM-ähnlichen 890-MHz-Signal ausgesetzt; die mittlere SAR im Schläfenbereich betrug 1,0 W/kg über 1 g zusammenhängendes Gewebe. Für S100B zeigte sich kein statistisch signifikanter Serumanstieg. Beim Transthyretin war die letzte Probe 60 Minuten nach Ende der Exposition gegenüber der unmittelbar nach der Exposition genommenen Probe statistisch signifikant erhöht ($p = 0{,}02$). Die Autoren bezeichneten die klinische Bedeutung dieses Befunds als unbekannt und empfahlen weitere randomisierte Studien mit zusätzlichen, hirnspezifischeren Markern [4]. ○ Die Studie zeigt keinen eindeutigen Nachweis einer akuten Blut-Hirn-Schrankenöffnung beim Menschen. Ihre begrenzte Stichprobe, indirekten Serumendpunkte und die kurze Nachbeobachtung lassen aber keine Aussage über langfristige oder andersartige Expositionssituationen zu.

Scoping Review (2026): Die Scoping Review von Taspinar Simsek und Kollegen untersuchte experimentelle und klinische Studien zu der Frage, ob RF-EMF die Permeabilität der Blut-Hirn-Schranke beeinflussen. Sie identifizierte 17 Studien mit berichteten Veränderungen der Permeabilität oder molekularer Barriereendpunkte sowie 18 Studien ohne berichteten Effekt. Die Autoren beschreiben erhebliche Unterschiede bei Expositionscharakteristik, Dosimetrie, Temperaturkontrolle, biologischen Modellen und Messmethoden. Studien ohne Effekt wiesen im Mittel häufiger eine strengere Dosimetrie auf; zugleich blieb die Temperaturdokumentation in einem großen Teil der Literatur begrenzt [8]. ○ Die Review bestätigt weder einen allgemeinen Nachweis einer RF-EMF-bedingten Blut-Hirn-Schrankenstörung noch die Behauptung, positive Befunde seien wissenschaftlich erledigt. Sie beschreibt eine weiterhin heterogene Literatur mit Lücken bei unabhängiger Replikation, standardisierter Dosimetrie, Temperaturkontrolle und klinisch relevanten Humanendpunkten.

Warum sind die Ergebnisse uneinheitlich?

Die zentrale Schwierigkeit liegt nicht nur in der Zahl der Studien, sondern in ihrer Vergleichbarkeit. Zwei Untersuchungen können beide „900 MHz" prüfen und dennoch sehr unterschiedliche biologische Situationen abbilden.

Wichtige Unterschiede betreffen:

- **Expositionsart:** Frequenz, Pulsung beziehungsweise Modulation, Feldstärke, Leistungsdichte, SAR, Ganzkörper- oder Kopfexposition sowie Nah- oder Fernfeld
- **Zeitmuster:** Einmalige Exposition, tägliche oder chronische Exposition, Dauer, Erholungszeit sowie Untersuchung unmittelbar oder Tage nach der Exposition
- **Biologisches Modell:** Zellkultur, junge oder adulte Tiere, Tierstamm, Geschlecht, Gesundheitszustand und Stressbelastung
- **Messmethode:** Albumin- oder Evans-Blue-Nachweis, tracerbasierte Permeabilitätsmessung, Immunhistochemie, Elektronenmikroskopie sowie Serum- oder Liquormarker
- **Dosimetrie und Temperaturkontrolle:** lokal gemessene SAR, homogene Feldverteilung, Scheinexposition, Verblindung und ausreichende Dokumentation der Gewebe- oder Körpertemperatur
- **Statistik und Auswertung:** vorab definierte Endpunkte, Auswertung auf Tier- statt Bild- oder Gefäßebene, Korrektur für multiple Tests und vollständige Ergebnisberichterstattung

Die systematische Übersichtsarbeit von Perrin und Kollegen bewertete 16 Arbeiten aus dem Zeitraum 2005 bis 2009 und hob die große methodische Uneinheitlichkeit hervor. Sie sah für die untersuchten Studien keinen überzeugenden Nachweis einer schädlichen RF-Wirkung auf die Blut-Hirn-Schranke bis 6 W/kg [3]. Diese Einordnung ist wichtig, deckt aber nur einen begrenzten Zeitraum, bestimmte Modelle und unterschiedlich belastbare Studien ab.

Für allgemeine Fragen der Studienmethodik, Replikation und der Ursachen voneinander abweichender Forschungsergebnisse siehe Artikel 7.

Welche Rolle spielen Erwartungseffekte, Finanzierung und Behörden?

Erwartungseffekte können Beschwerden beeinflussen: Erwartung, Sorge, Aufmerksamkeit und belastende Erfahrungen können Wahrnehmung, Stressregulation und Symptomintensität verändern. Wie in Artikel 12 und Artikel 22 dargelegt, präsentieren sich EHS-Betroffene jedoch typischerweise zunächst mit unspezifischen Beschwerden; die EMF-Hypothese entsteht meist erst nach Ausschluss anderer Ursachen — eine zeitliche Abfolge, die einem reinen Erwartungseffekt widerspricht. Dies erklärt zudem nicht, warum in verblindeten Tierexperimenten histologische Albuminextravasation oder Veränderungen von tight-junction-Markern beobachtet wurden. Solche objektiven Endpunkte müssen unabhängig von subjektiver Erwartung oder Sorge methodisch untersucht und gegebenenfalls repliziert werden.

Dies bedeutet umgekehrt nicht, dass jeder positive biologische Befund automatisch klinische Symptome erklärt. Biologische Endpunkte, subjektive Beschwerden und diagnostizierbare Erkrankungen sind unterschiedliche Ebenen; ihr Zusammenhang muss jeweils gesondert untersucht werden. Die Trennung der Ebenen darf nicht zu ihrer gegenseitigen Entwertung führen: Experimentelle Befunde liefern biologische Anhaltspunkte für mögliche Wirkpfade, klinische Beobachtungen liefern Hinweise auf Beschwerden, zeitliche Zusammenhänge und individuelle Reaktionen. Beide Ebenen sind eigenständig relevant; ihre systematische Zusammenführung ist eine Aufgabe der Forschung.

Replikationsprobleme sind hier besonders bedeutsam. Sie sind keine Widerlegung eines positiven Befundes, senken aber die Sicherheit, mit der dessen Robustheit und Allgemeingültigkeit behauptet werden kann. Ein einzelner positiver Befund ist ein Hinweis auf einen Effekt unter den untersuchten Bedingungen. Er begründet eine präzise Replikationsfrage: Unter welchen Expositions-, Organismus- und Messbedingungen tritt er auf – und unter welchen nicht?

Die Finanzierung von Studien sollte transparent dokumentiert werden. Sie ist ein methodischer Faktor, weil sie unter anderem Fragestellung, Studiendesign, Auswahl von Endpunkten, Publikationspraxis und Interpretation beeinflussen kann. Sie ist für sich allein kein Beweis für Manipulation. Zur allgemeinen Einordnung von Finanzierungseinflüssen siehe Artikel 28.

Behörden und regulatorische Gremien bewerten die Evidenz derzeit zurückhaltend. Das finale SCHEER-Gutachten wurde am 18. April 2023 verabschiedet. Es erklärte, keine Evidenz mittlerer oder starker Stärke für gesundheitsschädliche Wirkungen durch akute oder chronische RF-EMF-Exposition bestehender Technologien unterhalb der Grenzwerte der EU-Ratsempfehlung und der Richtlinie 2013/35/EU identifiziert zu haben [9]. Die Hochfrequenz-Grenzwerte dieser europäischen Regelwerke gehen im Wesentlichen auf die ICNIRP-Leitlinien von 1998 zurück [17]; ICNIRP veröffentlichte 2020 aktualisierte Leitlinien [12]. Die Basisgrenzwerte beider Fassungen beruhen im Mobilfunkbereich auf der Vermeidung thermischer Effekte. Die hier diskutierten Blut-Hirn-Schranken-Befunde unterhalb thermisch relevanter Schwellenwerte sind in dieser Grenzwertlogik nicht als eigenständiger Schutzendpunkt berücksichtigt.

Diese regulatorische Bewertung beschreibt die Evidenzgewichtung des Ausschusses und die von ihm zugrunde gelegten Endpunkte — nicht jede einzelne langfristige, körpernahe oder hinsichtlich Frequenz, Signalcharakteristik und Expositionsmuster unterschiedliche Expositionssituation.

Die IARC-Monographie fasste frühere Literatur so zusammen, dass einzelne Labore konsistente Befunde zur Blut-Hirn-Schranke berichteten, während die Mehrheit der – teils als Replikationen angelegten – Studien keinen Effekt feststellte; die Evidenz wurde als schwach bewertet [10]. Diese Bewertung beschreibt die damalige Evidenzdichte, nicht die Unmöglichkeit eines Effekts.

Exkurs: Spricht die gesellschaftliche Entwicklung der Demenzhäufigkeit für einen Zusammenhang?

In der öffentlichen Diskussion wird gelegentlich vermutet, dass die zunehmende gesellschaftliche Belastung durch gepulste Mikrowellenstrahlung zur steigenden Zahl neurodegenerativer Erkrankungen beiträgt. Die verfügbaren Bevölkerungsdaten stützen diese Vermutung nicht: In mehreren großen europäischen und US-amerikanischen Kohorten (u. a. Wolters et al. 2020, 49.202 Personen über 65 Jahre) nahm die altersbezogene Demenzinzidenz zwischen 1988 und 2015 im Mittel um 13 % pro Jahrzehnt ab, während sich der Mobilfunk in diesem Zeitraum stark verbreitete [13]. Dieser zeitliche Trend ist allerdings keine Untersuchung individueller Exposition.

Individuelle Studien zur Handynutzung messen etwas anderes: Die dänische Registerkohorte von Schüz et al. (420.095 private Abonnenten, erste Abonnements 1982 bis 1995, Nachbeobachtung bis 2003) fand für Alzheimer, vaskuläre und andere Demenzformen niedrigere Raten als in der Vergleichsbevölkerung (SHR jeweils 0,7) [14]. Auch in der UK Biobank (213.181 Teilnehmende) hatten Mobiltelefonnutzer in der Auswertung von Zhao et al. ein niedrigeres Demenzrisiko als Nichtnutzer [15]. Dieselbe dänische Kohorte zeigte höhere Raten bei Migräne und Schwindel (siehe Raum 2).

Das lässt sich nicht als Schutzwirkung der Strahlung lesen. Erfasst wurden Abonnements beziehungsweise Telefonierverhalten, keine individuelle Hochfrequenzdosis. Die dänischen Autoren nennen selbst eine Fehlklassifikation der Exposition, überwiegend kurze Abonnementdauern (nur wenige Fälle bei mehr als zehn Jahren), ein Kohortenalter, das größtenteils unter dem typischen Demenzalter lag, sowie einen „gesunder Nutzer"-Effekt und Umkehrkausalität: Menschen mit beginnendem kognitivem Abbau schaffen ein Mobiltelefon seltener an oder nutzen es seltener.

Ein ursächlicher Einfluss alltäglicher Mobilfunkexposition auf das Demenzrisiko ist durch diese Daten weder belegt noch ausgeschlossen. Sie untersuchen keine Blut-Hirn-Schranken-Endpunkte und können die tierexperimentellen Befunde dieses Artikels weder bestätigen noch widerlegen.

Was lässt sich wissenschaftlich verantwortbar sagen?

Die Blut-Hirn-Schranke ist ein biologisch relevantes Zielorgan für experimentelle Untersuchungen zu elektromagnetischen Feldern. Bei ausreichend starker thermischer Belastung kann sich ihre Durchlässigkeit verändern; deshalb sind Temperaturmessung und Temperaturkontrolle in RF-Experimenten unverzichtbar.

Für hochfrequente Mobilfunkfelder liegen positive Tierbefunde zu Albuminextravasation, Schrankenpermeabilität und molekularen Endpunkten vor, teils bei niedrigen berichteten SAR-Werten (Nittby: 12 mW/kg; Sirav und Seyhan: Hirn-SAR 1,46 bis 4,26 mW/kg). Bei Tang et al. (bis 2 W/kg) bleibt die Temperaturkontrolle die offene Frage. Diese Befunde stammen aus Rattenmodellen verschiedener Gruppen und erlauben keine quantitative Risikobewertung für den Menschen.

Für eine klinisch relevante, chronisch durch alltägliche Mobilfunkexposition verursachte Blut-Hirn-Schrankenstörung beim Menschen gibt es bislang keinen belastbaren Nachweis. Das Ausbleiben eines solchen Nachweises in den bisher untersuchten Modellen, Endpunkten und Zeiträumen ist jedoch kein positiver Beleg dafür, dass sämtliche langfristigen, körpernahen oder gepulsten Expositionen bei allen Menschen biologisch folgenlos und symptomatisch ohne Bedeutung sind.

Hinzu kommt: Experimentelle Kurzzeituntersuchungen und standardisierte Expositionsmodelle bilden eine jahrelange Alltagsbelastung nur begrenzt ab. Individuelle Vulnerabilität und kumulative Belastungskonstellationen sind bislang kaum untersucht.

Die daraus folgende Vorsorge ist zurückhaltend, aber klar: Wo Funkexposition ohne wesentlichen Nachteil reduziert werden kann, ist Abstand zum sendenden Gerät eine rationale Maßnahme. Sie benötigt keine endgültige Antwort auf jede offene Forschungsfrage.

Wissensstandsmarker

- ○ **Hinweise vorhanden** — Erste Beobachtungen liegen vor. Noch keine unabhängige Bestätigung.
- ◉ **Unabhängig bestätigt** — Mehrere Forschungsgruppen kommen zu vergleichbaren Ergebnissen.
- ● **Biophysikalisch belegt** — Wirkmechanismus reproduzierbar nachgewiesen und beschrieben.

#	Quelle
1	Nittby H, Brun A, Eberhardt J, Malmgren L, Persson BRR, Salford LG: Increased blood-brain barrier permeability in mammalian brain 7 days after exposure to the radiation from a GSM-900 mobile phone. Pathophysiology. 2009;16(2–3):103–112. https://doi.org/10.1016/j.pathophys.2009.01.001
2	Tang J, Zhang Y, Yang L, Chen Q, Tan L, Zuo S, Feng H, Chen Z, Zhu G: Exposure to 900 MHz electromagnetic fields activates the mkp-1/ERK pathway and causes blood-brain barrier damage and cognitive impairment in rats. Brain Res. 2015;1601:92–101. https://doi.org/10.1016/j.brainres.2015.01.019
3	Perrin A, Cretallaz C, Collin A, Amourette C, Yardin C: Effects of radiofrequency field on the blood-brain barrier: A systematic review from 2005 to 2009. C R Phys. 2010;11(9–10):602–612. https://doi.org/10.1016/j.crhy.2010.09.001
4	Söderqvist F, Carlberg M, Hardell L: Exposure to an 890-MHz mobile phone-like signal and serum levels of S100B and transthyretin in volunteers. Toxicol Lett. 2009;189(1):63–66. https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2009.04.027
5	Salford LG, Brun AE, Eberhardt JL, Malmgren L, Persson BRR: Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones. Environ Health Perspect. 2003;111(7):881–883. https://doi.org/10.1289/ehp.6039
6	Masuda H, Ushiyama A, Takahashi M, Wang J, Fujiwara O, Hikage T, Nojima T, Fujita K, Kudo M, Ohkubo C: Effects of 915 MHz electromagnetic-field radiation in TEM cell on the blood-brain barrier and neurons in the rat brain. Radiat Res. 2009;172(1):66–73. https://doi.org/10.1667/RR1542.1
7	McQuade JM, Merritt JH, Miller SA, Schieffer KM, Skaggs R, Weller M, et al: Radiofrequency-radiation exposure does not induce detectable leakage of albumin across the blood-brain barrier. Radiat Res. 2009;171(5):615–621. https://doi.org/10.1667/RR1507.1
8	Taspinar-Simsek et al: Experimental and clinical evidence on radiofrequency electromagnetic field effects on the blood-brain barrier: a scoping review. Phys Med Biol. 2026;71(10). https://doi.org/10.1088/1361-6560/ae6e17
9	Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks (SCHEER): Final Opinion on the need of a revision of the annexes in Council Recommendation 1999/519/EC and Directive 2013/35/EU, in view of the latest scientific evidence available with regard to radiofrequency (100 kHz–300 GHz). European Commission; adopted 18 April 2023. https://doi.org/10.2875/798744
10	International Agency for Research on Cancer: Non-Ionizing Radiation, Part 2: Radiofrequency Electromagnetic Fields. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 102. Lyon: International Agency for Research on Cancer; 2013.
11	Belyaev I, Dean A, Eger H, Hubmann G, Jandrisovits R, Kern M, et al: EUROPAEM EMF Guideline 2016 for the prevention, diagnosis and treatment of EMF-related health problems and illnesses. Rev Environ Health. 2016;31(3):363–397. https://doi.org/10.1515/reveh-2016-0011 Die Redaktionsleitung dieser Plattform ist Mitautor der Leitlinie.
12	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). Health Phys. 2020;118(5):483–524. https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001210
13	Wolters FJ, Chibnik LB, Waziry R, et al: Twenty-seven-year time trends in dementia incidence in Europe and the United States: the Alzheimer Cohorts Consortium. Neurology. 2020;95(5):e519–e531. https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000010022
14	Schüz J, Waldemar G, Olsen JH, Johansen C: Risks for central nervous system diseases among mobile phone subscribers: a Danish retrospective cohort study. PLoS One. 2009;4(2):e4389. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004389
15	Zhao H, Wen Q, Zhuo L, Wang S, Zhan S: Association between mobile phone use and incidence of dementia: a prospective cohort study using the UK Biobank. Gerontology. 2023;69(10):1232–1244. https://doi.org/10.1159/000531847
16	Sirav B, Seyhan N: Effects of radiofrequency radiation exposure on blood-brain barrier permeability in male and female rats. Electromagn Biol Med. 2011;30(4):253–260. https://doi.org/10.3109/15368378.2011.600167

#	Quelle
17	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Phys. 1998;74(4):494–522.