

Die Gefahrenbeurteilung der Exposition von Kindern gegenüber elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern. Umwelt und Gesundheit – wie sind die Perspektiven?

Michael Kundi, Hans-Peter Hutter

Im Jahre 1979 publizierten Wertheimer und Leeper ihre Untersuchung zum Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern und kindlichen Krebserkrankungen. Seither reißt die Diskussion zur Frage, ob Kinder gegenüber langfristigen Expositionen mit niedrigen Intensitäten von elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern vulnerabel sind, nicht ab. Obwohl wir sowohl bei niederfrequenten wie bei hochfrequenten Feldern nur einige Bausteine zu einem vollendeten Gebäude eines Wirkmechanismus für langfristige Folgen dieser Expositionen zur Verfügung haben, zeigt die epidemiologische Evidenz, dass etwa hinsichtlich kindlicher Leukämie, aber auch anderen Endpunkten, ein Risiko besteht, das durch derzeitige Grenzwerte nicht verhütet werden kann. Bei hochfrequenten Feldern des Mobilfunks könnte bereits im Kindesalter ein erhöhtes Risiko für Hirntumore bestehen, aber auch die Exposition der Mutter während der Schwangerschaft scheint Auswirkungen auf die Entwicklung des Kindes zu haben. Da ein in Entwicklung befindlicher Organismus meist anfälliger für Störungen ist, die innere Exposition höher sein kann und die auf die Lebenszeit bezogene Dauer der Exposition zu bedenken ist, wäre es ratsam, bei Kindern größere Vorsicht walten zu lassen, was die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern betrifft. Wie die Fakten zeigen, ist das jedoch nicht der Fall und Kinder und Jugendliche zeigen ein sehr hohes Ausmaß der Nutzung von Funktechniken. Es sollten dringend Anstrengungen unternommen werden, die Exposition von Kindern zu reduzieren.

Schlüsselwörter: Kinder, Elektromagnetische Felder, Magnetfelder, Gesundheitsrisiken

Keywords: Children, Electromagnetic fields, magnetic fields, health risks

Einleitung

Heute jährt sich die Publikation von Nancy Wertheimer und Ed Leeper über den Zusammenhang zwischen Stromversorgung und kindlichen Krebserkrankungen zum 40. Mal. Dieser Artikel, der in dem renommierten Wissenschaftsjournal *American Journal of Epidemiology* erschienen war, löste einerseits wütende Angriffe der Elektrizitätswirtschaft auf die Autoren aus, eröffnete aber auch ein neues Forschungsgebiet. Wenngleich die Segnungen des elektrischen Stroms unbestritten sind, gab es seit dem Wirtschaftskrieg zwischen Edison und Westinghouse um die Frage, ob die Stromversorgung mit Gleich- oder Wechselstrom erfolgen sollte, immer wieder Bedenken über die Gefahren, die in dieser Technologie schlummern.

Die Wechselwirkung zwischen elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern und dem Organismus wurden schon seit dem Ende des 19. Jahrhunderts studiert. Man hatte erkannt, dass statische elektrische Felder nicht in den Organismus eindringen können, weil dieser ein Leiter ist und Leiter im Inneren feldfrei sind. Das ist eine Konsequenz der Verschiebung von Ladungen an der Oberfläche, die das äußere Feld kompensieren. Wenn nun das elektrische Feld niederfrequent oszilliert, dann rufen die dadurch ebenfalls oszillierenden Ladungverschiebungen gemäß den Maxwell'schen Gleichungen ein Magnetfeld hervor. Dieses Magnetfeld dringt ungehindert in den Organismus ein, ist jedoch im Vergleich zu äußeren Magnetfeldern, die durch Wechselstrom entstehen, sehr schwach.

Magnetfelder durchdringen den Organismus praktisch ungehindert und üben Kraftwirkungen auf bewegte Ladungen aus. Oszilliert das Magnetfeld niederfrequent, so werden Wirbelströme

induziert, die zu Effekten auf und in Zellen und Zellstrukturen im Organismus führen können. Obwohl der Organismus durch Muskel- und Nervenaktivität selbst Ströme erzeugt, unterscheiden sich diese grundlegend von externen, durch technische Einrichtungen hervorgerufene Felder darin, dass letztere polarisiert sind (PANAGOPOULOS et al. 2015). Je höher die Frequenz des Wechselfeldes, umso eher kann es sich von der Feldquelle ablösen. Wenn die Wellenlänge so klein wird, dass das Feld sich von der Quelle, worin die Ladungen oszillieren, ablöst, dann koppeln sich das magnetische und elektrische Feld über den Wellenwiderstand des Raumes aneinander, und man kann von einem elektromagnetischen Feld sprechen.

Akute Wirkungen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder waren seit langem bekannt und es herrschte die Meinung vor, dass ein Schutz vor diesen unmittelbaren Wirkungen ausreiche. Die Ergebnisse der Untersuchung von Wertheimer und Leeper warfen jedoch die Frage auf, ob es nicht auch langfristige Folgen der Exposition gibt, die bei sehr viel niedrigeren Feldstärken auftreten könnten. Diese Auseinandersetzung hält bis heute an.

Wenn es aber langfristige Effekte gibt, dann kommt es zu ganz anderen Fragestellungen. Und in einem solchen Fall müssen Kinder gesondert betrachtet werden. Das hat mehrere Gründe: Erstens haben Kinder, wenn sie exponiert sind, eine größere Chance, im Laufe des Lebens die Schwelle für eine toxische Wirkung zu überschreiten. Zweitens ist oft ein in Entwicklung befindlicher Organismus besonders vulnerabel, und drittens ist es denkbar, dass bei gleichen äußeren Bedingungen die interne Exposition im kindlichen Organismus von der des Erwachsenen abweicht.

Niederfrequente Magnetfelder

Immer wenn Strom fließt, entsteht ein Magnetfeld. Daher ist in der Nähe von Leitungen mit einem Magnetfeld zu rechnen. Dauernd relativ hohe Magnetfelder sind in Haushalten insbesondere in der Nähe von Hochspannungsleitungen und Trafostationen vorzufinden. Wir sprechen von einem niederfrequenten Magnetfeld (ELF-MF = Extremely Low Frequency Magnetic Field). Auch bestimmte Arten der Verkabelung mit hohen Leiterabständen können mit höheren Feldstärken einhergehen. Wertheimer und Leeper haben in ihrer bahnbrechenden Arbeit einerseits die Verkabelung berücksichtigt, andererseits auch Messungen durchgeführt.

In den Jahren danach gab es eine Vielzahl weiterer Untersuchungen insbesondere des Zusammenhangs zwischen kindlicher Leukämie und Magnetfeldexposition. Dabei wurden zunehmend Untersuchungen durchgeführt, die in dem Wohnumfeld der Kinder Messungen der magnetischen Flussdichte vorgenommen haben. Es schien zunächst so zu sein, dass Untersuchungen, die den Kabelcode als Prädiktor der Magnetfeldexposition verwendeten, stärkere Zusammenhänge fanden, als Untersuchungen, die das Magnetfeld gemessen hatten. Man sprach vom Kabelcode Paradoxon. Objektiv betrachtet, wäre das keineswegs paradox, denn man muss bedenken, dass die Erfassung der Exposition ja retrospektiv erfolgte, nachdem die Kinder bereits an Leukämie erkrankt waren. Diese nachträgliche Situation, die eigentlich erfasst wird, kann nicht die Ursache der Erkrankung sein und man muss, um diese Messungen überhaupt verwenden zu können, voraussetzen, dass sie jene ätiologisch relevante Phase abbildet, die vor und eventuell kurz nach der Geburt des Kindes bestanden hat. Da sich der Kabelcode weit weniger ändert als die Messwerte der magnetischen Flussdichte, könnte der Kabelcode daher der bessere Prädiktor sein. Später stellte sich jedoch heraus, dass beide Verfahren gleichermaßen geeignet sind, das erhöhte Risiko zu detektieren. Die kindliche Leukämie ist die häufigste Krebserkrankung im Kindesalter. Im Unterschied zur Leukämie im Erwachsenenalter, bei der die häufigste Form die akute myeloische Leukämie (AML) ist, tritt sie im Kindesalter und insbesondere im Alter unter 6 Jahren als akute lymphatische Leukämie (ALL) auf. Bei dieser Form der Leukämie geht man davon aus, dass bereits in der Pränatalperiode die erste genetische Läsion stattgefunden hat. Der betroffene Zellklon braucht dann nur mehr ein weiteres genetisches Ereignis, um das klinische Bild einer Leukämie hervorzurufen (GREAVES 2003). Die Exposition gegenüber Magnetfeldern der

Stromversorgung kann bereits bei dem ersten genetischen Ereignis, oft mit dem Auftreten eines Fusionsgens verbunden, vor der Geburt in Zusammenhang stehen. Im Prinzip kann die primäre Läsion bereits durch Exposition der Großmutter, während sie mit der Mutter des betroffenen Kindes schwanger war, stattgefunden haben (siehe Abb. 1). Es spricht aber einiges dafür, dass die Magnetfeldexposition eher die Wahrscheinlichkeit der zweiten Läsion erhöht.

Die zahlreichen epidemiologischen Untersuchungen, die im Anschluss an die Publikation von Wertheimer und Leeper veröffentlicht wurden, konnten die Frage des Zusammenhangs lange nicht befriedigend klären, weil die Ergebnisse scheinbar widersprüchlich waren. Im Jahr 2000 erschienen dann zwei gepoolte Analysen, eine vom Karolinska Institut in Schweden (AHLBOM et al. 2000) und eine aus Kalifornien von der UCLA (GREENLAND et al. 2000), die die Daten fast aller der bislang durchgeführten Studien zusammenfassten und bei Überschreitung von 0,4 bzw. 0,3 μT eine statistisch signifikante Risikoerhöhung auf ca. das Doppelte im Vergleich zu Kindern, die unter 0,1 μT exponiert waren, feststellten. Greenland et al. (2000) konnten auch das sogenannte Kabelcode-Paradox für nicht existent erklären, weil sowohl die Studien, die auf tatsächlichen Messungen fußten, wie jene, die den Kabelcode verwendeten, ein erhöhtes Risiko zeigten (siehe Abb. 2). Auf Basis dieser Ergebnisse wurde von der Internationalen Krebsagentur (IARC) der WHO das Magnetfeld der Stromversorgung als möglicherweise krebserregend eingestuft (IARC 2002).

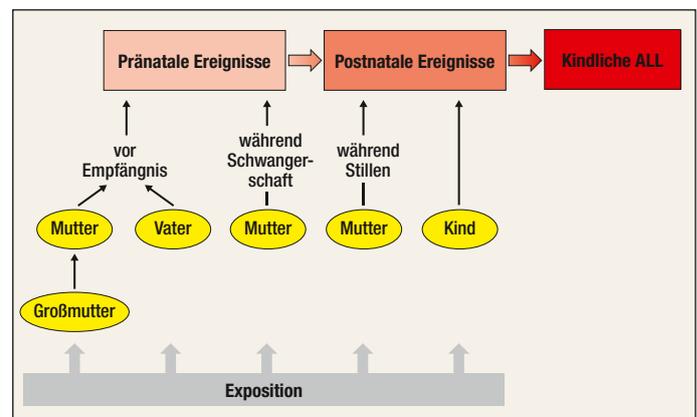


Abb. 1: Schema der möglichen Beeinflussung des Risikos einer kindlichen akuten lymphatischen Leukämie (ALL) durch Exposition. Prinzipiell ist eine Auswirkung sogar der Exposition der Großmutter, während sie mit der Mutter des Kindes schwanger war, als Einflussfaktor denkbar (nach GREAVES 2003).

Es ist klar, dass diese Einstufung zu erheblichen Diskussionen Anlass gab, wie man hinsichtlich der Prävention vorgehen sollte. Die Einschätzung der IARC stand in Widerspruch zu der einer anderen WHO Einrichtung, dem International EMF Project, das von Anbeginn an langfristige Auswirkungen von Magnetfeldern bestritten hatte. In den Environmental Health Criteria 238 der WHO (WHO 2007) 'Extremely Low Frequency Fields' wird dazu wie folgt Stellung genommen: „Furthermore, given both the weakness of the evidence for a link between exposure to ELF magnetic fields and childhood leukaemia, and the limited impact on public health if there is a link, the benefits of exposure reduction on health are unclear. Thus the costs of precautionary measures should be very low“ (p.13). Dass nur Präventionsmaßnahmen, die geringe Kosten verursachen, gerechtfertigt wären, ist ein politisches Statement, das über die Kompetenz einer Gesundheitsorganisation hinausgeht, und verdeutlicht, wie sehr Wissenschaft und Politik in dieser Frage ineinander verwoben sind, wobei natürlich die wirtschaftlichen Interessen im Hintergrund eine Rolle spielen.

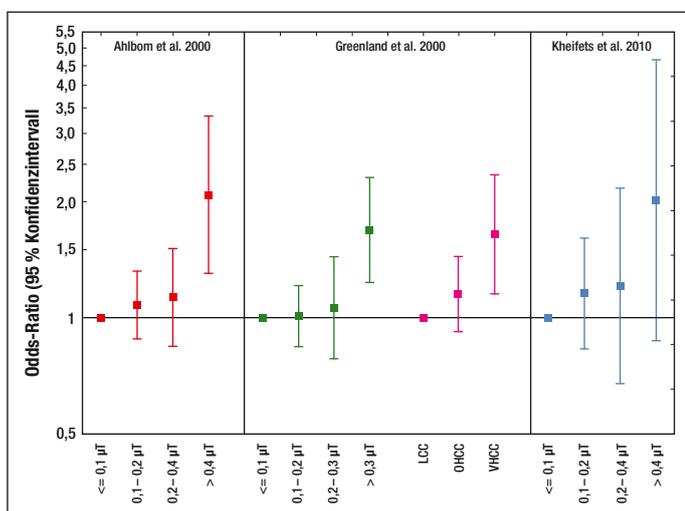


Abb. 2: Ergebnisse der gepoolten Analyse der Daten von Studien zum Zusammenhang zwischen Magnetfeldexposition und kindlicher Leukämie von Ahlbom et al. (2000) und Greenland et al. (2000) und von Kheifets et al. (2010), die eine gepoolte Analyse der Studien vorgelegt hat, die nach den Analysen von 2000 erschienen sind.

Wenn man nach der wissenschaftlichen Basis für diese angeführte Empfehlung fragt, dann stellt man fest, dass diese sehr brüchig ist. Sie beruht im Wesentlichen auf drei Einschätzungen. Erstens, dass die Frage des Wirkmechanismus ungeklärt sei, zweitens, dass die tierexperimentellen Studien widersprüchlich seien, und drittens, dass relevante Expositionen so selten wären, dass die Zahl der zu attribuierenden Fälle, also jener Leukämiefälle, die als Magnetfeld-bedingt anzusehen sind, klein ist. Alle diese Einschätzungen sind problematisch.

Ein Wirkmechanismus wurde zwar nicht im Detail beschrieben, aber einige wichtige Elemente konnte die bisherige Forschung beisteuern. ELF-MF können reaktive Sauerstoffverbindungen (ROS) induzieren (z.B. BULDAK et al. 2012; KOYAMA et al. 2008; MADJID ANSARI et al. 2016; YOKUS et al. 2008). Allerdings kann die Exposition mit ELF-MF auch die Bildung von ROS durch andere Faktoren reduzieren, was die Widersprüche in den Untersuchungen teilweise erklären könnte. Die Störung der Calcium-Homöostase ist seit den frühen 1970er Jahren

bekannt (BAWIN, ADEY 1976; BLACKMAN et al. 1980). Dabei könnten Interaktionen mit spannungsgesteuerten Ionenkanälen der Zellen eine Schlüsselrolle spielen (z. B. PALL 2013; PIACENTINI et al. 2008). Diese Effekte sind jedoch von der Frequenz, der Intensität und Eigenschaften der Zellen und Gewebe abhängig, weshalb es noch kein allgemein akzeptiertes Modell der biologischen Schädigung von ELF-MF gibt. Es wurde auch die Bedeutung des Erdmagnetfelds hervorgehoben (z.B. LIBOFF 1985), sodass sogar die Position auf der Erdoberfläche eine Rolle spielen könnte, denn diese bestimmt die Richtung des Feldvektors und die Stärke des Erdmagnetfelds. Grundsätzlich darf aber der Mangel an einer mechanistischen Erklärung nicht als Argument gegen Vorsorgemaßnahmen herangezogen werden. Auch von bestimmten Asbestformen wussten wir zum Zeitpunkt, als das Verbot ausgesprochen wurde, nicht, wie sie die Schädigung hervorbringen. Von Benzol wissen wir es bis heute nicht genau.

Hinsichtlich der Widersprüche in den Ergebnissen der Langzeitierversuche fiel besonders ins Gewicht, dass Experimente, die im Labor von Löscher durchgeführt wurden (z. B. MEVISSSEN et al. 1998) und eine höhere Krebsrate bei den ELF-MF exponierten Ratten erbrachten, bei einer Wiederholung unter identischen Bedingungen und mit demselben Rattenstamm im Labor des National Toxicological Programs (NTP 1999) negativ ausfielen. Die Gruppe von Löscher konnte später zeigen, dass die Unterschiede sehr wahrscheinlich auf genetischen Unterschieden in den eingesetzten Ratten beruhten (FEDROWITZ et al. 2004). Was die Empfindlichkeit gegenüber ELF-EMF genau determiniert, ist erst in Ansätzen bekannt (siehe auch FEDROWITZ, LOSCHER 2012). Es wäre also sowohl vom Standpunkt der Vorsorge als auch aus Gründen der Entwicklung eines Wirkmechanismus sehr wichtig, beim Menschen der Gen-Umwelt-Interaktion Beachtung zu schenken. Leider gibt es bislang unserer Kenntnis nach nur eine einzige Untersuchung dazu (YANG et al. 2008; siehe Abb. 3).

Was nun die Zahl der zu attribuierenden Fälle kindlicher Leukämie betrifft, so haben Kheifets et al. (2006) versucht zu zeigen, dass diese weltweit nur zwischen 159 und 4.327 Fälle ausmacht, bei einer Gesamtpopulation von fast 2 Milliarden. Das sind also

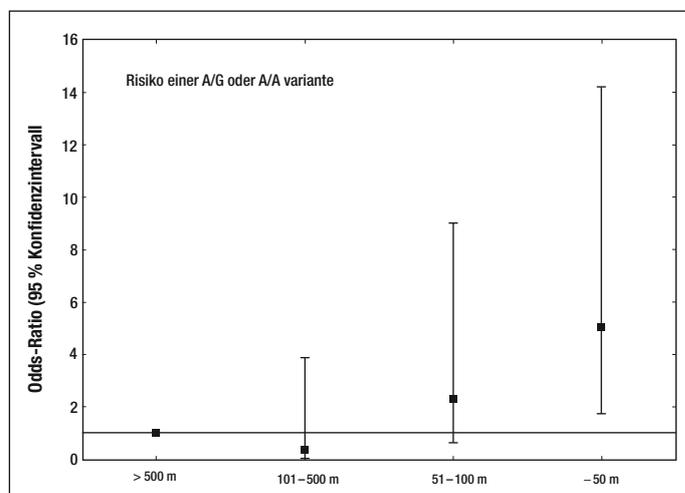


Abb. 3: Die Rate des A/G oder A/A Polymorphismus im DNA-Reparaturgen XRCC1 ist umso höher je näher ein Kind, das an Leukämie erkrankte, an einer Hochspannungsleitung oder Trafostation lebte (YANG et al. 2008).

weniger als 2,4 Fälle pro 1 Million Kinder. Das sind in der Tat sehr wenige Fälle. Allerdings haben wir (KUNDI, HUTTER 2014) darauf hingewiesen, dass diese Abschätzung nur dann gilt, wenn die Messungen in den oben erwähnten epidemiologischen Studien perfekte Sensitivität und Spezifität besitzen, d. h. dass keine Fehlklassifikation der Exposition erfolgt ist. Wie erwähnt, wurden die Messungen ja nicht während der ätiologisch relevanten Zeit, sondern erst nach Erkrankung vorgenommen. Eine Fehlklassifikation ist daher sehr wahrscheinlich. Unter diesen Voraussetzungen könnte die Zahl der ELF-MF Exposition zurechenbaren Leukämieerkrankungen weit höher sein.

Es zeigt sich also, dass die Voraussetzungen für die Behauptung, dass lediglich Vorsorgemaßnahmen mit geringen Kosten empfohlen werden können, nicht zutreffen. Im Gegenteil sind daher Strategien der vernünftigen Vermeidung hoher Expositionen gegenüber ELF-MF anzuwenden. Darunter fallen etwa:

- Hochspannungsleitungen in möglichst großer Entfernung von Plätzen, wo sich Kinder lange aufhalten und Verlegung als Erdkabel
- mittelfristig Durchsetzung technischer Normen für Elektroinstallationen mit niedrigen Magnetfeldern.

Hochfrequente elektromagnetische Felder

Wird die Wellenlänge so klein, dass sie sich von der Quelle ablösen und in den Raum ausbreiten kann, dann spricht man von einem elektromagnetischen Feld (EMF), denn die beiden Komponenten, die elektrische und die magnetische, sind nicht mehr unabhängig voneinander, sondern fest über den Wellenwiderstand des Raumes aneinander gekoppelt. Bei Frequenzen über etwa 10 MHz oszilliert das elektrische Feld im Organismus so rasch, dass es nicht mehr zur Ausbildung eines Stromes kommt, sondern Ionen und polare Moleküle an ihrem Ort Bewegungs- und Rotationsenergie aufnehmen. Diese Absorption elektromagnetischer Energie nennt man Spezifische Absorption (SA), die Rate der Absorption nennt man Spezifische Absorptionsrate (SAR). Sie gibt an, wie viel Energie des hochfrequenten EMF (HF-EMF) pro Zeiteinheit vom Organismus oder einem Körperteil (lokale SAR) absorbiert und dem Feld entzogen wird. Diese Rate ist proportional dem Quadrat des internen elektrischen Feldes und daher ein Maß für die Präsenz des Feldes im Organismus. Da die Erhöhung der Bewegungsenergie im Organismus makroskopisch als Erwärmung in Erscheinung tritt, ist die SAR auch proportional zu dem Temperaturanstieg im Gewebe oder im gesamten Körper. Das gilt jedoch nur kurzfristig, weil die Temperaturregulation des Organismus nach einer gewissen Zeit eingreift und die Temperatur dadurch sinkt. Eine Erhöhung der Körpertemperatur kann Schädigungen, ja sogar den thermischen Tod hervorrufen, weshalb eine Begrenzung der Exposition, um diesen kurzfristigen Effekt zu verhüten, unbedingt erforderlich ist. Aber auch im Zusammenhang mit HF-EMF stellt sich die Frage, ob es neben diesen Effekten auch langfristige Auswirkungen niedriger Expositionen gibt, vor denen Menschen geschützt werden müssen. Die in der EU angewandten Grenzwerte sind überwiegend nur auf den Schutz vor thermischen, kurzfristigen Effekten ausgelegt. Nicht- oder athermische Effekte werden nicht berücksichtigt.

Da eine Exposition gegenüber HF-EMF relevanter Intensität früher selten und regional sehr begrenzt auftrat (z. B. in der Nähe von Radarstationen und Funktürmen), hatte man sich seitens des Öffentlichen Gesundheitswesens dazu wenig Gedanken gemacht. Dementsprechend gering war die Zahl der Untersuchungen. Als jedoch in den 1990er Jahren der digitale Mobilfunk aufkam, wurde empfohlen den nicht-thermischen Effekten epidemiologisch und experimentell nachzugehen, weil nun absehbar war, dass ein erheblicher Anteil der Bevölkerung gegenüber vergleichsweise hohen Intensitäten von HF-EMF des Mobilfunks exponiert sein würde. Dass jedoch in wenigen Jahren praktisch die gesamte Bevölkerung mobil telefonieren würde und die Art und Weise, wie wir miteinander kommunizieren, revolutioniert werden wird, war dennoch nicht abzusehen.

Die im Vereinigten Königreich durchgeführte repräsentative Erhebung zur Mediennutzung aus dem Jahr 2017 zeigt den dramatischen Wandel auch bei Kindern und Jugendlichen (siehe Abb. 4). Über 50 % der 3- bis 4-Jährigen gehen bereits regelmäßig online. Fast 40 % der 8- bis 11-Jährigen besitzen ein eigenes Smartphone und über 70 % der 12- bis 15-Jährigen haben ein eigenes Profil in den sozialen Medien. Heute werden diese Zahlen noch höher sein. Dass mit der Nutzung von Smartphones, Tablets, Laptops etc. eine möglicherweise nicht unerhebliche Exposition gegenüber HF-EMF einhergeht, ist weder den Kindern noch den meisten Eltern bewusst.

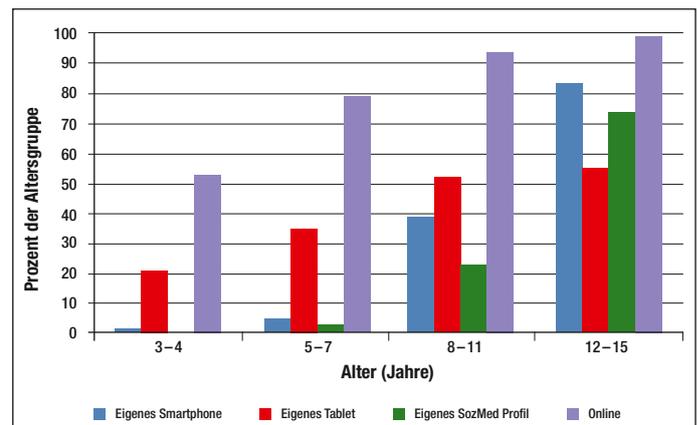


Abb. 4: Mediennutzung von Kindern aus einer Repräsentativbefragung im Vereinigten Königreich (Ofcom 2017: Children and Parents: Media Use and Attitudes Report).

Im Jahr 2011 hat die IARC auch HF-EMF als möglicherweise krebserregend eingestuft, was im Wesentlichen auf die epidemiologischen Befunde zu Hirntumoren im Zusammenhang mit der Handynutzung zurückgeht. Langfristige und intensive Exposition war mit einem deutlich erhöhten Risiko für Gliome und Akustikusneurinome verbunden (IARC 2013). Diese Einstufung geht im Wesentlichen auf die Interphone Studie, eine internationale Studie in 13 Ländern, (INTERPHONE_Study_Group 2010, 2011) und die Studien der Hardell-Gruppe (HARDELL et al. 2006, 2011) zurück. Alle diese Untersuchungen waren an Erwachsenen durchgeführt worden. Derzeit liegt zum Hirntumorrisiko bei Kindern nur eine Fall-Kontroll-Studie, die CEFALO Studie (AY-DIN et al. 2011) vor. Die internationale MOBI-Kids Studie wurde zwar beendet, Ergebnisse liegen aber noch nicht vor (SADETZKI et al. 2014). Die CEFALO Studie ergab Hinweise auf ein erhöhtes Hirntumorrisiko auch für Kinder. Obwohl in den Medien diese

Studie so dargestellt wurde, als hätte sie kein Risiko der Handy-nutzung aufgezeigt, war das einzig wichtige Ergebnis, nämlich das Risiko im Zusammenhang mit längerer Handynutzung, nicht geeignet, eine Entwarnung zu rechtfertigen. Denn wenn die Dauer der Handynutzung der Kinder auf Basis der Netzbetreiberdaten analysiert wurde, ergab sich ein signifikant erhöhtes Risiko (siehe Abb. 5).

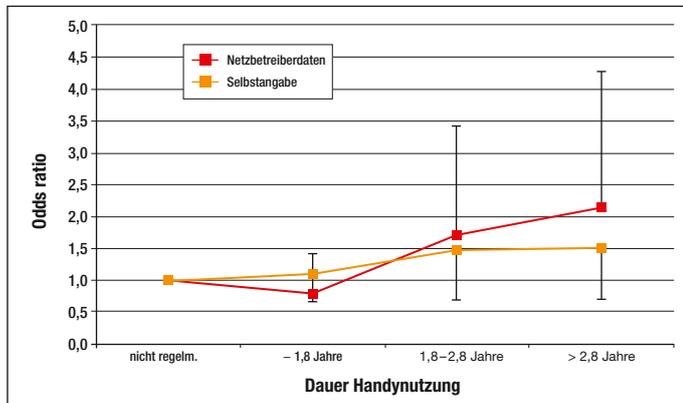


Abb. 5: Schätzung des relativen Hirntumor-Risikos bei Kindern nach der Dauer der Handynutzung (nach Netzbetreiberdaten und Selbstangabe) aus der CEFALO Studie (AYDIN et al. 2011).

Die Nutzung der neuen Kommunikationsmittel hat das Verhalten der Menschen, aber insbesondere von Kindern und Jugendlichen sehr stark verändert. Die dadurch bedingten Veränderungen kognitiver Prozesse, der Mangel an authentischer Erfahrung sowohl im sozialen Kontext als auch in der natürlichen Umwelt können hinsichtlich ihrer Folgen noch gar nicht abgeschätzt werden. Zusätzlich gibt es auch andere Gründe, die Exposition von Kindern gegenüber HF-EMF des Mobilfunks kritisch zu sehen:

- Die Eindringtiefe der Strahlung beim Telefonieren ist größer (CHRIST, KUSTER 2005; CHRIST et al. 2010; GANDHI et al. 2012; WIART et al. 2005; WIART et al. 2008) und daher die Absorption elektromagnetischer Energie in empfindlichen Geweben höher
- Im Schädelknochen befindet sich bei Kindern und Jugendlichen noch rotes Knochenmark, eine Schädigung hämatopoetischer Stammzellen ist daher nicht ausgeschlossen
- Die Ohrmuschel ist etwa 5 % und die Kopfhaut sowie der Schädelknochen sind etwa 70 % dünner als im Erwachsenenalter, weswegen die Antenne näher an den Kopfeingeweiden liegt als bei Erwachsenen
- Die Ausbildung der Nervenscheiden (Myelinisierung) ist noch nicht abgeschlossen und das Gewebe unterliegt einer starken Entwicklungsdynamik. Solche Gewebe sind gewöhnlich gegenüber externen Einflüssen empfindlicher.

Es gibt einige Untersuchungen, die auch die Nutzung eines Mobiltelefons der Mutter während und nach der Schwangerschaft auf die spätere Entwicklung des Kindes geprüft haben. Es zeigte sich, dass eine solche Mobiltelefonnutzung das Risiko von späteren Verhaltensauffälligkeiten des Kindes erhöht. Bereits im Jahre 2008 sorgte eine große Studie aus Dänemark für Aufsehen (DIVAN et al. 2008).

Die Forscher konnten Verhaltensauffälligkeiten in allen Dimensionen des zur Prüfung eingesetzten Strength & Difficulties Questionnaire bei Kindern im Alter von 7 Jahren beobachten (siehe Abb. 6), wenn die Mutter vor und nach der Geburt ein Handy benutzte. In einer tiefer gehenden Analyse wurde später gezeigt, dass das Risiko für Verhaltensauffälligkeiten mit der Zeitdauer, während der das Handy eingeschaltet war, korreliert (DIVAN et al. 2012).

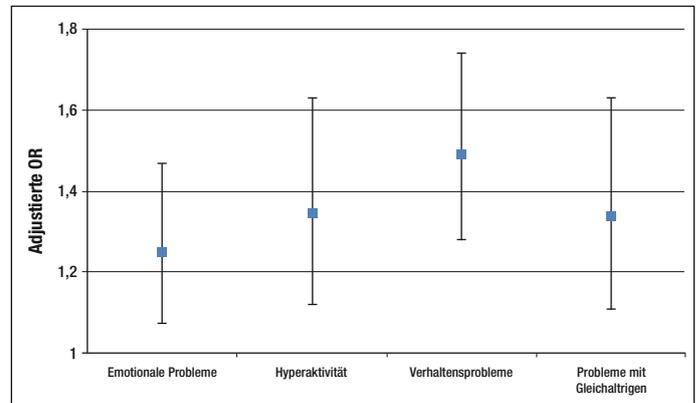


Abb. 6: Relatives Risiko von Verhaltensauffälligkeiten von Kindern im Alter von 7 Jahren, wenn die Mutter vor und nach der Geburt ein Handy nutzte (nach DIVAN et al. 2008).

Insgesamt liegen zu dieser Frage Untersuchungen aus fünf Ländern vor, deren kombinierte Evidenz auf einen Zusammenhang zwischen mütterlicher Handynutzung während der Schwangerschaft und späterer Hyperaktivität des Kindes schließen lässt. In Abbildung 7 finden sich die Ergebnisse einer Meta-Analyse (nach BIRKS et al. 2017) zur Assoziation mütterlicher Handynutzung in der Schwangerschaft und kindlicher Hyperaktivität.

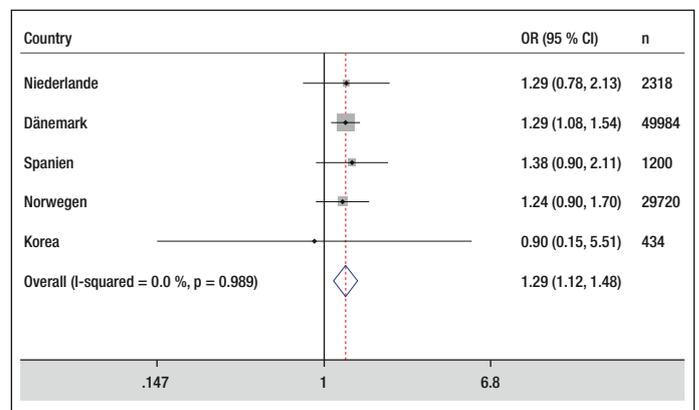


Abb. 7: Meta-Analyse des Zusammenhangs zwischen mütterlicher Handynutzung während der Schwangerschaft und Hyperaktivität des Kindes im Alter von 5 bis 7 Jahren (nach BIRKS et al. 2017).

Eine Untersuchung, die persönliche Dosimetrie anwandte, ergab, dass auch die direkte Exposition des Kindes oder Jugendlichen mit HF-EMF mit einem erhöhten Risiko für Verhaltensauffälligkeiten verbunden ist (THOMAS et al. 2010; siehe Abb. 8).

In der HERMES (Health Effects Related To Mobile Phone Use In Adolescents) Studie ergaben sich sehr interessante und relevante Auswirkungen auf das Gedächtnis, wobei signifikante Effekte in Abhängigkeit von der exponierten Hemisphäre auftraten, die mit der hauptsächlichen Lokalisation der Gedächtnisform (figural, verbal) korrelierte (FOERSTER et al. 2019).

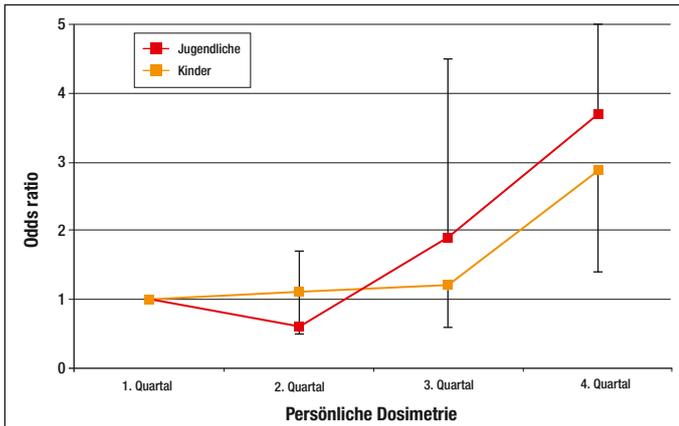


Abb. 8: Das Risiko für Verhaltensauffälligkeiten nimmt mit zunehmender HF-EMF Exposition zu und erreicht im 4. Quartil (den oberen 25%) statistische Signifikanz (nach THOMAS et al. 2010).

Es ergibt sich also insgesamt, dass auch bei HF-EMF langfristige negative Gesundheitsfolgen nicht ausgeschlossen, ja dass sie sogar sehr wahrscheinlich sind. Wie bei ELF-MF schützen die Grenzwerte im Hochfrequenzbereich ebenfalls nur vor kurzfristigen Effekten. Präventive Maßnahmen zum Schutz vor langfristigen Effekten sind insbesondere für Kinder und Jugendliche dringend anzuraten:

- Maßnahmen sollten in erster Linie technologischer Art sein, d. h. auf der Entwicklung unbedenklicher Technologien beruhen.
- Die Nutzung von Telekommunikationstechniken bietet viele Vorteile – auch für Kinder und Jugendliche – daher muss diese Technik sicher gemacht werden.
- Eltern müssen darin beraten werden, wie Kinder und Jugendliche diese Techniken vorteilhaft einsetzen können und wie sie die Exposition gegenüber den Mikrowellen aus dem Handy reduzieren können.

Schlussfolgerungen

Die Geschichte der gesundheitlichen Forschung rund um elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder zeigt recht eindrücklich, dass von Beginn an Fragen zu gesundheitlichen Folgen zu wenig ernst genommen wurden. Bei der Verbreitung dieser Technologien haben praktisch nur technische und wirtschaftliche Überlegungen eine Rolle gespielt. Obwohl fehlende Technologiefolgenabschätzungen aus ärztlicher Sicht nicht akzeptabel sind, wenn gesundheitliche Belange berührt werden, zeigt die jüngere Entwicklung (Stichwort „5G“), dass sich diese Geschichte wiederholt.

Und das geschieht, obwohl sich bei niederfrequenten als auch bei hochfrequenten Anwendungen gezeigt hat, dass mit fortschreitenden Forschungsanstrengungen und genaueren wissenschaftlichen Methoden nachteilige gesundheitliche Auswirkungen nicht nur nicht ausgeschlossen werden können, sondern die Evidenz für solche Auswirkungen zunimmt. Speziell was die Kindergesundheit betrifft, ist es längst an der Zeit, die Erkenntnisse und Hinweise der Wissenschaft ernst zu nehmen und entsprechend zu handeln. Angesichts ihrer noch in Entwicklung befindlichen Physiologie, der noch lange vor sich liegenden Lebenszeit sowie der Verhaltensprägung im Kindesalter ist dringend Umsicht und Vorsicht geboten. Da es sich im Regelfall um einfache Maßnahmen handelt, kann dies auch nicht als „zu viel verlangt“ abgetan werden.

Autoren:

Prof. Dr. med. habil Michael Kundi

PD. Dipl.-Ing. Dr. med. Hans-Peter Hutter

Abteilung für Umwelthygiene und Umweltmedizin,
Medizinische Universität Wien, Österreich

Literatur

Ahlbom A, Day N, Feychting M, Roman E, Skinner J, Dockerty J, et al. (2000): A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. *British journal of cancer* 83:692-698.

Aydin D, Feychting M, Schuz J, Tynes T, Andersen TV, Schmidt LS, et al. (2011): Mobile phone use and brain tumors in children and adolescents: A multicenter case-control study. *Journal of the National Cancer Institute* 103:1264-1276.

Bawin SM, Adey WR. 1976. Sensitivity of calcium binding in cerebral tissue to weak environmental electric fields oscillating at low frequency. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 73:1999-2003.

Birks L, Guxens M, Papadopoulou E, Alexander J, Ballester F, Estarlich M, et al. (2017): Maternal cell phone use during pregnancy and child behavioral problems in five birth cohorts. *Environment international* 104:122-131.

Blackman CF, Benane SG, Joines WT, Hollis MA, House DE. (1980): Calcium-ion efflux from brain tissue: Power-density versus internal field-intensity dependencies at 50-mhz rf radiation. *Bioelectromagnetics* 1:277-283.

Buldak RJ, Polaniak R, Buldak L, Zwiriska-Korczała K, Skonieczna M, Monsioli A, et al. (2012) Short-term exposure to 50 hz elf-emf alters the cisplatin-induced oxidative response in at478 murine squamous cell carcinoma cells. *Bioelectromagnetics* 33:641-651.

Christ A, Kuster N. 2005. Differences in rf energy absorption in the heads of adults and children. *Bioelectromagnetics Suppl* 7:S31-44.

Christ A, Gosselin MC, Christopoulou M, Kuhn S, Kuster N (2010): Age-dependent tissue-specific exposure of cell phone users. *Physics in medicine and biology* 55:1767-1783.

Divan HA, Kheifets L, Obel C, Olsen J. (2008): Prenatal and postnatal exposure to cell phone use and behavioral problems in children. *Epidemiology (Cambridge, Mass)* 19:523-529.

Divan HA, Kheifets L, Obel C, Olsen J (2012): Cell phone use and behavioural problems in young children. *Journal of epidemiology and community health* 66:524-529.

Fedrowitz M, Kamino K, Loscher W (2004): Significant differences in the effects of magnetic field exposure on 7,12-dimethylbenz(a)anthracene-induced mammary carcinogenesis in two substrains of sprague-dawley rats. *Cancer research* 64:243-251.

Fedrowitz M, Loscher W (2012): Gene expression in the mammary gland tissue of female fischer 344 and lewis rats after magnetic field exposure (50 hz, 100 mut) for 2 weeks. *International journal of radiation biology* 88:425-429.

Foerster M, Henneke A, Chetty-Mhlanga S, Roosli M (2019): Impact of adolescents' screen time and nocturnal mobile phone-related awakenings on sleep and general health symptoms: A prospective cohort study. *International journal of environmental research and public health* 16.

- Gandhi OP, Morgan LL, de Salles AA, Han YY, Herberman RB, Davis DL (2012): Exposure limits: The underestimation of absorbed cell phone radiation, especially in children. *Electromagnetic biology and medicine* 31:34-51.
- Greaves M (2003): Pre-natal origins of childhood leukemia. *Reviews in clinical and experimental hematology* 7:233-245.
- Greenland S, Sheppard AR, Kaune WT, Poole C, Kelsh MA. 2000. A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia. Childhood leukemia-emf study group. *Epidemiology (Cambridge, Mass)* 11:624-634.
- Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K (2006): Pooled analysis of two case-control studies on the use of cellular and cordless telephones and the risk of benign brain tumours diagnosed during 1997-2003. *International journal of oncology* 28:509-518.
- Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K. (2011): Pooled analysis of case-control studies on malignant brain tumours and the use of mobile and cordless phones including living and deceased subjects. *International journal of oncology* 38:1465-1474.
- IARC (2002): Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: Volume 80. Non-ionizing radiation, part 1: Static and extremely low frequency (elf) electric and magnetic fields. Lyon, France: IARC Press.
- IARC (2013): Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: Volume 102. Non-ionizing radiation, part 2: Radiofrequency electromagnetic fields. Lyon, France: IARC Press.
- INTERPHONE_Study_Group. (2010): Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: Results of the interphone international case-control study. *International journal of epidemiology* 39:675-694.
- INTERPHONE_Study_Group. (2011): Acoustic neuroma risk in relation to mobile telephone use: Results of the interphone international case-control study. *Cancer epidemiology* 35:453-464.
- Kheifets L, Afifi AA, Shimkhada R (2006): Public health impact of extremely low-frequency electromagnetic fields. *Environmental health perspectives* 114:1532-1537.
- Kheifets L, Ahlbom A, Crespi CM, Draper G, Hagihara J, Lowenthal RM, et al. (2010): Pooled analysis of recent studies on magnetic fields and childhood leukaemia. *British journal of cancer* 103:1128-1135.
- Koyama S, Sakurai T, Nakahara T, Miyakoshi J (2008): Extremely low frequency (elf) magnetic fields enhance chemically induced formation of apurinic/apyrimidinic (ap) sites in a172 cells. *International journal of radiation biology* 84:53-59.
- Kundi M, Hutter HP (2014): What if? The public health perspective. In: *Epidemiology of Electromagnetic Fields*, Rössli M (Ed) CRC Press Taylor & Francis.
- Liboff AR (1985): Geomagnetic cyclotron resonance in living cells. *Journal of Biological Physics* 13:99-102.
- Madjid Ansari A, Farzampour S, Sadr A, Shekarchi B, Majidzadeh AK (2016): Effects of short term and long term extremely low frequency magnetic field on depressive disorder in mice: Involvement of nitric oxide pathway. *Life sciences* 146:52-57.
- Mevissen M, Haussler M, Lerchl A, Loscher W (1998): Acceleration of mammary tumorigenesis by exposure of 7,12-dimethylbenz[a]anthracene-treated female rats in a 50-hz, 100-microt magnetic field: Replication study. *Journal of toxicology and environmental health Part A* 53:401-418.
- NTP (1999): Ntp studies of magnetic field promotion (dmdba initiation) in female sprague-dawley rats (whole-body exposure/gavage studies). National Toxicology Program technical report series 489:1-148.
- Pall ML (2013): Electromagnetic fields act via activation of voltage-gated calcium channels to produce beneficial or adverse effects. *Journal of cellular and molecular medicine* 17:958-965.
- Panagopoulos DJ, Johansson O, Carlo GL (2015): Polarization: A key difference between man-made and natural electromagnetic fields, in regard to biological activity. *Scientific reports* 5:14914.
- Piacentini R, Ripoli C, Mezzogori D, Azzena GB, Grassi C (2008): Extremely low-frequency electromagnetic fields promote in vitro neurogenesis via up-regulation of ca(v)1-channel activity. *Journal of cellular physiology* 215:129-139.
- Sadetzki S, Langer CE, Bruchim R, Kundi M, Merletti F, Vermeulen R, et al. (2014): The mobi-kids study protocol: Challenges in assessing childhood and adolescent exposure to electromagnetic fields from wireless telecommunication technologies and possible association with brain tumor risk. *Frontiers in public health* 2:124.
- Thomas S, Heinrich S, von Kries R, Radon K (2010): Exposure to radio-frequency electromagnetic fields and behavioural problems in bavarian children and adolescents. *European journal of epidemiology* 25:135-141.
- Wertheimer N, Leeper E (1979): Electrical wiring configurations and childhood cancer. *American journal of epidemiology* 109:273-284.
- WHO (2007): Extremely low frequency fields. *Environmental Health Criteria* 238.
- Wiat J, Hadjem A, Gadi N, Bloch I, Wong MF, Pradier A, et al. (2005): Modeling of rf head exposure in children. *Bioelectromagnetics Suppl* 7:S19-30.
- Wiat J, Hadjem A, Wong MF, Bloch I (2008): Analysis of rf exposure in the head tissues of children and adults. *Physics in medicine and biology* 53:3681-3695.
- Yang Y, Jin X, Yan C, Tian Y, Tang J, Shen X (2008): Case-only study of interactions between DNA repair genes (hmlh1, apex1, mgmt, xrcc1 and xpd) and low-frequency electromagnetic fields in childhood acute leukemia. *Leukemia & lymphoma* 49:2344-2350.
- Yokus B, Akdag MZ, Dasdag S, Cakir DU, Kizil M (2008): Extremely low frequency magnetic fields cause oxidative DNA damage in rats. *International journal of radiation biology* 84:789-795.