

Epidemiologische Untersuchungen zu hochfrequenten elektromagnetischen Feldern

Michael Kundi

Institut für Umwelthygiene, Universität Wien

Jahresfortbildungstagung des Referates Umweltmedizin der Österreichischen Ärztekammer
Thema „Mobilfunk & Gesundheit“ Graz, 21. Oktober 2000

Einleitung

Elektromagnetische Wechselfelder breiten sich um die Quelle im Raum aus. Dabei bleibt das Feld bei niedrigen Frequenzen an die Quelle gekoppelt. Erst bei hohen Frequenzen kann sich das elektromagnetische Feld (EMF) frei in den Raum ausbreiten. Dabei erzeugen einander das elektrische und magnetische Wechselfeld ständig gegenseitig (sind also nicht mehr an die Ladungsverschiebungen in der Quelle gebunden). Da sich elektromagnetische Felder mit Lichtgeschwindigkeit im Raum ausbreiten, ergibt sich die Wellenlänge aus der Lichtgeschwindigkeit dividiert durch die Frequenz bzw. die Frequenz aus der Lichtgeschwindigkeit dividiert durch die Wellenlänge. Ab einer Wellenlänge von 10 km ist das elektromagnetische Feld in der Lage, sich von der Feldquelle abzulösen. Ab dieser Wellenlänge spricht man von hochfrequenten Feldern. Da das Licht eine Geschwindigkeit von ca. 300.000 km/s hat, ergibt sich eine Frequenz von etwa 30.000 Hz (=30 kHz), als Grenze für hochfrequente Felder. Ein weiterer Aspekt, der zu berücksichtigen ist, betrifft die Energie der Photonen des Feldes. Diese Energie ist proportional der Frequenz, mit dem Planckschen Wirkungsquant als Proportionalitätskonstante: $E=h\nu$. Reicht die Energie des Feldes aus, um Wasser zu ionisieren, dann spricht man von ionisierender Strahlung. Die Ionisationsenergie für Wasser beträgt etwa 12 eV. Daher ergibt sich eine Wellenlänge von etwa 100 nm, ab der man von ionisierender Strahlung spricht. Das hochfrequente Spektrum kann man grob in zwei Bereiche unterteilen: Die Radiowellen (von 30 kHz bis 300 MHz) und die Mikrowellen (von 300 MHz bis 300 GHz). Aus technischen Gründen gibt es noch zahlreiche weitere Unterteilungen (z.B. in die verschiedenen Rundfunkwellen LW, MW, KW, UKW).

Lange Zeit hielt man hochfrequente elektromagnetische Felder (EMF) für gesundheitlich unbedenklich. Erst als im zweiten Weltkrieg aus Propagandagründen und zum Zwecke der ‚geistigen Landesverteidigung‘ leistungsstarke Rundfunksender gebaut wurden und insbesondere nach der Erfindung des Magnetrons durch Randall und Boot im Jahr 1940 (welche die Radarabwehr begründete) erkannte man, allerdings ausschließlich für das Bedien- und Wartungspersonal, die Möglichkeit einer gesundheitlichen Beeinträchtigung.

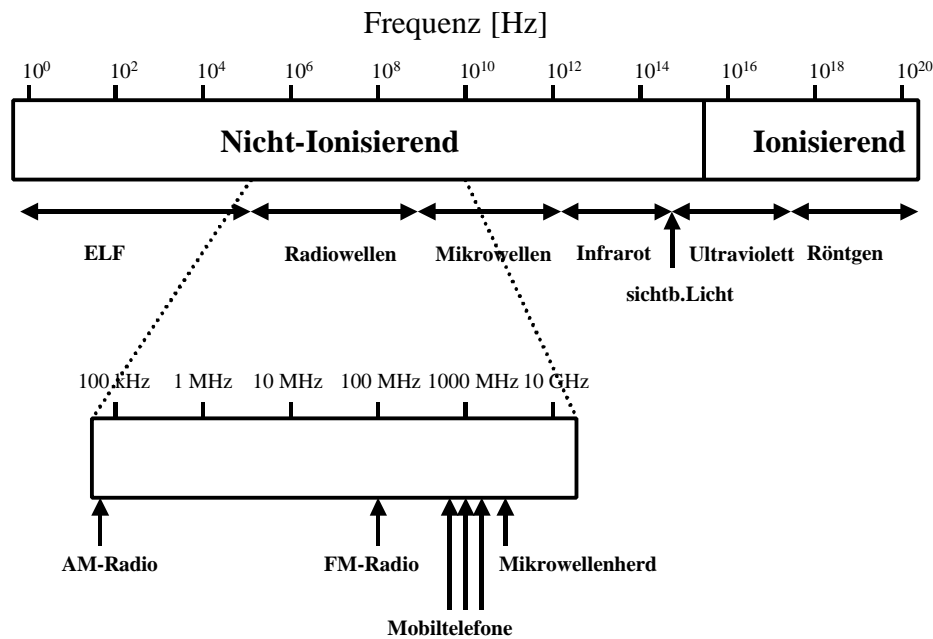


Abb. 1 Das Spektrum elektromagnetischer Felder

Während die Erforschung möglicher gesundheitlicher Auswirkungen, die Ende der 40er Jahre des 20. Jahrhunderts begannen, in den ehemaligen Ostblockstaaten ein breites Spektrum zeigte, war im Westen und vor allem in den USA die Forschung stärker fokussiert. Man kannte die prinzipielle Möglichkeit, dass hochfrequente Felder Wärme erzeugen (insbesondere Mikrowellen, schließlich wurde der Mikrowellenherd bereits 1946 erfunden und 1952 auf den Markt gebracht). Eine Wärmebelastung des Organismus durch Absorption elektromagnetischer Energie würde, wenn sie ausreichend hoch ist, in der Tat zu nachteiligen Auswirkungen führen: Verbrennungen, Hämorrhagie, Gewebnekrosen und sogar der Tod können die Folge sein. Da die kristalline Linse des Auges keine eigene Blutversorgung hat, vermutete man, dass durch die Exposition Katarakte entstehen könnten. Die ersten Untersuchungen zu dieser Frage gehen schon auf die 40er Jahre zurück. Tatsächlich konnte man im Tierversuch Katarakte über einen breiten Frequenzbereich erzeugen. Bemerkenswert war dabei, dass diese Effekte bei einer konvektiven Erwärmung des Auges im Wasserbad bei gleichen Temperaturen nicht auftraten. Man erkannte, dass die Gewebeerwärmung durch Absorption elektromagnetischer Energie nicht mit einer gewöhnlichen konvektiven oder metabolischen Erwärmung verglichen werden kann. Zahlreiche Versuche zur Frage der letalen Dosis hochfrequenter Feldeinwirkungen ergaben, dass eine Reihe physiologischer und Umweltbedingungen sowie bestimmte Eigenschaften der Exposition beachtet werden müssen. Generell besteht heute Übereinkunft, dass eine übermäßige Erwärmung des Körpers oder von

Körperteilen durch Absorption elektromagnetischer Energie zu nachteiligen gesundheitlichen Auswirkungen führt.

Ob auch bei wesentlich niedrigeren Feldstärken, die nicht in der Lage sind, eine relevante Körpererwärmung hervorzurufen, gesundheitlich nachteilige Auswirkungen auftreten können, ist seit Jahren Gegenstand heftiger Diskussionen. Dabei nehmen epidemiologische Untersuchungen eine Schlüsselrolle ein. Insbesondere die Frage der Langzeitwirkungen kann kaum anders als epidemiologisch geklärt werden. Dabei steht man jedoch, kaum anders als bei vielen anderen möglichen Schadbedingungen, vor eine Reihe von Problemen:

- Es gibt kaum einen Ort auf der Erde, an dem man nicht elektromagnetischen Feldern ausgesetzt ist, daher gibt es im strengen Sinn keine Kontrollgruppe.
- Durch den technischen Wandel ändern sich die Expositionsbedingungen ständig, sodass man keine Gruppen mit über Jahre und Jahrzehnte konstanter Exposition finden kann.
- Menschen sind nicht ortsfest, während im Allgemeinen die Emittenten stationär sind.
- Die Erfassung der Exposition ist problematisch, weil wir nicht wissen, welcher Aspekt des einwirkenden Feldes relevant ist (ist es die durchschnittliche Feldstärke, sind es die Spitzenwerte, sind es bestimmte regelmäßige Anteile – die Modulationsfrequenzen? usw.).

Darüber hinaus gibt es eine Reihe weiterer methodischer Probleme. Da wir elektromagnetische Felder in diesem Frequenzbereich nicht direkt wahrnehmen können, ist es auch im Allgemeinen nicht möglich, durch Befragung von Patienten festzustellen, ob sie exponiert waren oder nicht. Man muss deshalb zu Surrogaten wie Arbeit in bestimmten Berufen, Wohnen in bestimmten Regionen usw. greifen. Experimentelle Befunde legen auch nahe, dass hochfrequente EMF die Wirkung mutagener Substanzen verstärken können, sodass auch eine Vielzahl von weiteren Expositionen erhoben werden müsste.

Alle diese Probleme zusammengenommen haben es mit sich gebracht, dass es trotz der zahlreichen epidemiologischen Untersuchungen, die bisher vorgelegt wurden, keine einheitliche Auffassung zur Frage des langfristigen Gesundheitsrisikos hochfrequenter EMF gibt. Vom Standpunkt der Umwelthygiene, die grundsätzlich eine pessimistische Ausgangsposition wählt, kann man die vorliegenden Befunde jedoch so deuten, dass eine vorsorgeorientierte Strategie empfehlenswert und eine Expositionsvermeidung angezeigt ist.

Epidemiologische Untersuchungen

Vom methodischen Zugang her kann man drei Typen epidemiologischer Studien unterscheiden: Ökologische, Fall-Kontroll und Kohortenstudien. Vom Endpunkt her sind die Studien zur Kanzerogenität sowie zur Teratogenität bzw. generell zur Frage des Schwangerschaftsergebnisses zu unterscheiden. Hinsichtlich des Ortes der Einwirkung kann man zwischen beruflicher und Umweltexposition differenzieren. Im Fall der Umweltexposition ist die Frage der Wirkung auf Kinder von besonderem Interesse. Im Folgenden beschränke ich mich auf die Frage der Kanzerogenität.

Ökologische Studien

Ökologische Studien liegen derzeit vier vor. Diese Untersuchungen befassen sich mit der Frage des Zusammenhanges zwischen der Inzidenz bestimmter maligner Erkrankungen in der Umgebung von Rundfunk- und Fernsehsendern. Zwei dieser Untersuchungen wurden auf der Basis von durch Praktiker gemeldeten auffälligen Häufungen von Krebstodesfällen durchgeführt und können daher aus statistischen Gründen nur eingeschränkt zur Beurteilung herangezogen werden.

Selvin et al. (1992) untersuchten Zusammenhänge zwischen kindlichen Hirntumoren, Leukämien und Lymphomen mit der Exposition gegenüber den Emissionen eines Sendeturms (Rundfunk- und Fernsehsender), dem Sutro Tower in San Francisco. Die Autoren waren mehr am methodischen Problem als solchem interessiert als an den inhaltlichen Aspekten ihrer Untersuchung. Sie verwendeten drei verschiedene Methoden, um Zusammenhänge zwischen der Inzidenz der Krebsfälle und der Punktquelle herzustellen. Sie kommen zu folgendem Schluss: 'The three analytic approaches indicate that the patterns of the major childhood cancers are essentially random with respect to the point source'. Allerdings gingen sie von der falschen Annahme aus, dass die Exposition mit zunehmender Entfernung immer geringer wird. Tatsächlich folgt aber die Feldstärke in Bodenhöhe einem komplizierten wellenförmigen Muster, wobei Gebiete niedriger Intensität von solchen hoher Intensität eingeschlossen sind. Weiters wurden die orographischen Bedingungen nicht berücksichtigt. Eine später von Cherry (2000) durchgeführte Berechnung der tatsächlichen Exposition, die durch Messungen an mehreren Stellen verifiziert wurde, erbrachte einen Zusammenhang zwischen der Exposition und der Inzidenz, der für alle drei Malignome signifikant war.

Maskarinec et al. (1994) gingen einer auffälligen Häufung kindlicher Leukämien in einer Region Hawaiis nach. Die standardisierte Inzidenz zeigte für diese Region eine Verdopplung

gegenüber dem Erwartungswert. Von allen untersuchten Faktoren (Röntgenexposition, Beruf der Eltern, Passivrauchen usw.) war lediglich der Zusammenhang mit der Exposition gegenüber einem Rundfunksender auffällig. Da es sich um eine Clusteruntersuchung handelt, kann man keine weit gehenden Schlussfolgerungen ziehen, allerdings fügt sich die Beobachtung in die der anderen Untersuchungen ein.

Hocking et al. (1996) untersuchten Inzidenz und Mortalität an Krebserkrankungen in der Umgebung von Fernsehsendeantennen in Sydney. Das Inzidenzverhältnis zwischen Regionen mit hoher und solchen mit niedriger Exposition war sowohl für Erwachsene als auch für Kinder bei Gehirntumoren und bei Leukämien signifikant erhöht. Das Mortalitätsverhältnis war für Leukämien ebenfalls signifikant erhöht, für Gehirntumore aber nicht, was angesichts der Latenzzeit und Heterogenität der Sterblichkeit nicht unerwartet ist.

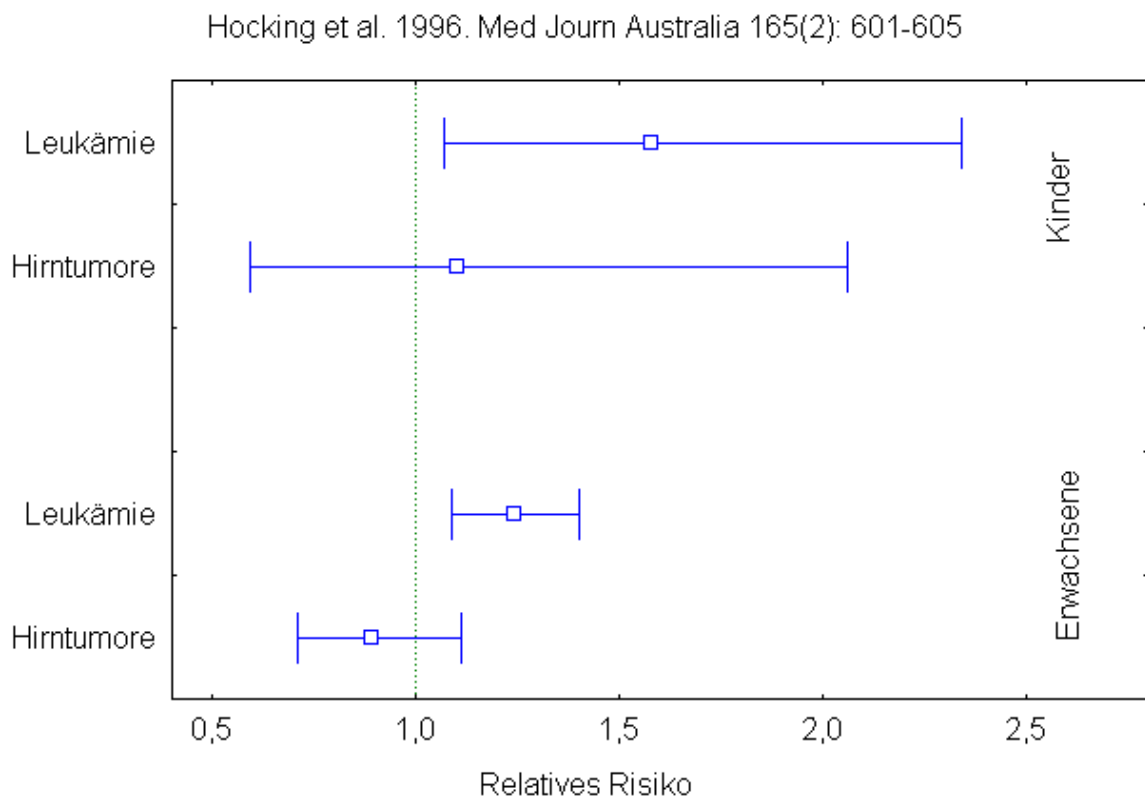


Abb. 2 Relatives Risiko für die Mortalität an Gehirntumoren und Leukämien in der Umgebung von Fernsehsendeantennen in Sydney (Erwachsene und Kinder)

McKenzie et al. (1998) haben die Arbeit von Hocking et al. (1996) kritisiert und darauf hingewiesen, dass die signifikante Risikoerhöhung hauptsächlich auf einen der Sender zurückgeht und dass ein Bias durch andere Expositionen daher nicht ausgeschlossen werden kann. Eine Konfundierung ist zwar immer möglich, aber die bloße Möglichkeit kann niemals eine wissenschaftliche Kritik begründen. Tatsächlich zeigt eine genauere Analyse, dass sich sogar eine Dosis-Wirkungs-Beziehung auffinden lässt, wenn man nach der Stärke der Sender stratifiziert. Lässt man das Gebiet mit der höchsten Exposition weg, dann ist der Zusammenhang nicht mehr signifikant. Eine solche Manipulation der Daten ex post ist aber natürlich unzulässig.

Dolk et al. (1997a) untersuchten eine Häufung von Leukämie- und Lymphomfällen, die einem Allgemeinpraktiker in der Umgebung eines starken Rundfunk- und Fernsehsenders in Sutton Coldfield aufgefallen waren. Es ergab sich eine um das 1.83-fache erhöhte Leukämie-Inzidenz innerhalb eines Radius von 2 km um die Sendeanlage sowie eine systematische Abnahme mit der Entfernung. Da es sich hier um die Analyse eines Clusters handelte, haben die Autoren weitere 20 starke UHF und VHF Sendeanlagen untersucht, um der Hypothese einer Assoziation mit der Exposition nachzugehen. Bei dieser zweiten Untersuchung (Dolk et al. 1997b) zeigte sich nach Aussage der Autoren, wenn überhaupt, dann nur ein schwacher Zusammenhang. Allerdings haben die Autoren, ebenso wie Selvin et al. (1992), die Unterschiede in den Expositionsmustern der verschiedenen Antennenanlagen nicht berücksichtigt. Tatsächlich zeigt eine genaue Aufgliederung, dass das Leukämie-Risiko vom Antennentyp abhängige charakteristische Gipfel aufweist, die mit typischen Expositionsmustern im Einklang stehen. Die Erwartung, dass in der Nähe einer Antenne die höchsten Expositionswerte auftreten müssten, ist für viele Antennenanlagen unbegründet. Diese Antennen weisen einen erheblichen Gewinn auf, der die abgestrahlte Leistung in bestimmte Richtungen und Winkel bündelt. Darüber hinaus ist der Hauptstrahl gewöhnlich gegen den Horizont gerichtet, sodass (wenn man von der unmittelbaren Umgebung, den zuführenden Kabeln etc. absieht) die Maximalwerte der Exposition in Bodenhöhe erst in einigen Kilometern Entfernung auftreten. Die Schlussfolgerung von Dolk et al. (1997b), dass ihre Daten keinen oder nur einen schwachen Zusammenhang mit der Exposition zeigen, dürfte daher falsch sein.

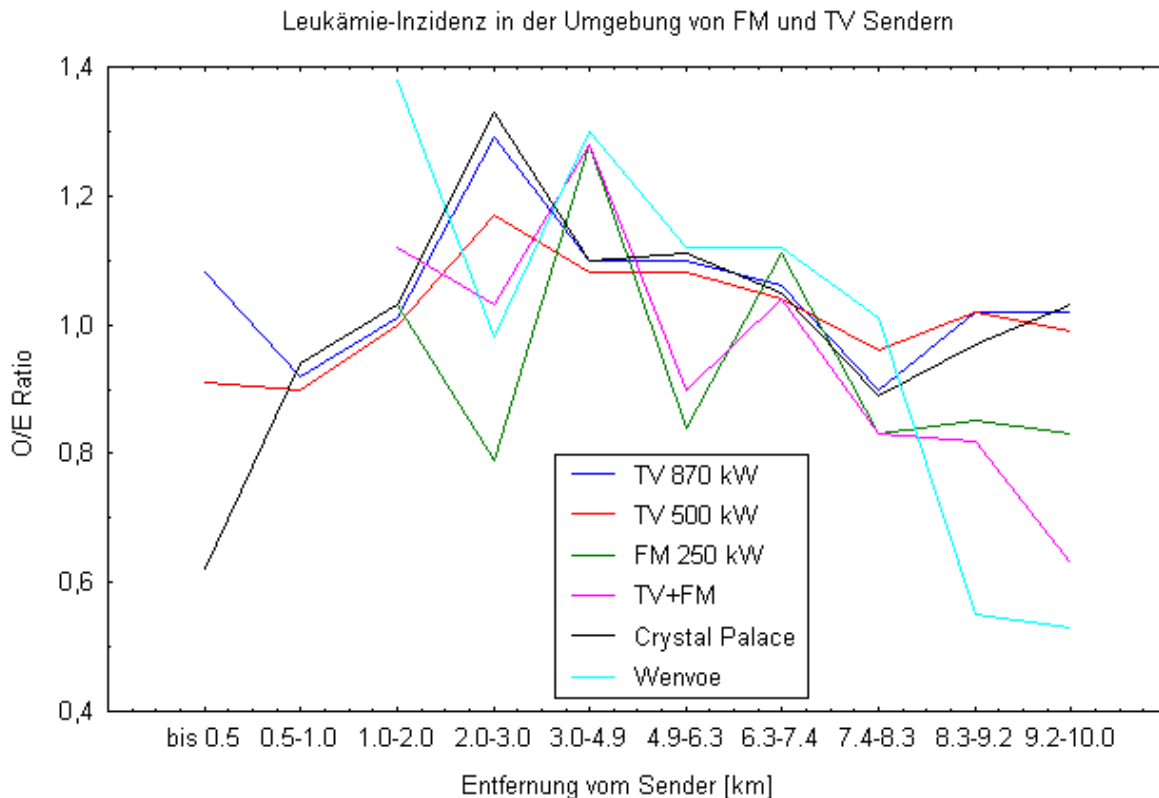


Abb. 3 Leukämierisiko in der Umgebung verschiedener Typen von Antennenanlagen (nach Dolk et al. 1997b)

Alle vier vorliegenden ökologischen Untersuchungen geben Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen der Langzeitexposition gegenüber hochfrequenten Feldern, wie sie für Rundfunk und Fernsehen charakteristisch sind, und dem Auftreten von bösartigen Neubildungen des lymphatischen und/oder hämatopoetischen Systems.

Fall-Kontroll Studien

Fall-Kontroll Studien liegen bisher acht vor. Leider gibt es keine zu Leukämien oder Lymphomen. Vier der Studien (siehe Tabelle 1) behandeln Hirntumore, eine männlichen Brustkrebs, eine weiblichen Brustkrebs, eine Hodenkrebs und eine intraokulare Melanome. Alle Fall-Kontroll-Studien zeigten ein erhöhtes Risiko der Exposition und bei vier der Untersuchungen war die Erhöhung sogar signifikant. Das Grundproblem aller dieser Studien ist die retrospektive Erfassung der Exposition. Da bei retrospektiven Untersuchungen im Allgemeinen Messungen nicht möglich sind, greift man auf andere Methoden zurück. Sehr verbreitet ist die Verwendung der Job Exposure Matrix. Diese erlaubt aus dem Beruf einer Person, deren Exposition abzuleiten. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die

Unterschiede innerhalb eines Berufes erheblich sein können und diese Zuordnung mit Unsicherheiten behaftet ist. Eine Expositionsfehlklassifikation führt allerdings meistens zu einer Unterschätzung des tatsächlichen Risikos. Die andere Methode, die natürlich im Allgemeinen nur bei noch lebenden Personen durchgeführt werden kann, ist die Befragung. Die Befragungen haben den Vorteil, dass die Exposition hinsichtlich Dauer, Zeitpunkt und ev. auch Intensität abgeschätzt werden kann, aber auch den Nachteil, dass ein Overreporting durch die Fälle zu einer systematischen Überschätzung des Risikos führt. Ein Overreporting ist allerdings nur zu befürchten, wenn die Befragung der Person eine Kausalerklärung ihrer Erkrankung ermöglicht oder nahe legt. Es gibt aber auch ein Underreporting (z.B. bei Rauchen nachgewiesen), weil die Person eine Kausalerklärung der Erkrankung abwehrt. Wenn die Befragung gut durchgeführt wird, können diese Fehlerquellen reduziert oder sogar völlig ausgeschaltet werden.

Tabelle 1: Fall-Kontroll-Studien zum Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber hochfrequenten EMF und bestimmten Karzinomen

Studie	Exposition	Klassifikationsmethode	Lokalisation	OR (95%-KI)
Thomas et al. 1987	Radiofrequenzen	Angehörigen-interview	Gehirntumore	1.6 (1.0-2.4)
Hayes et al. 1990	Radiofrequenzen und Mikrowellen	Interview Berufsangabe	Hodenkrebs	3.1 (1.4-6.9) 1.1 (0.6-2.1)
Demers et al. 1991	Radiofrequenzen	Berufsangabe	männl.Brustkrebs	2.9 (0.8-10.0)
Cantor et al. 1995	Radiofrequenzen	Berufsangabe Totenschein	weibl.Brustkrebs	1.14 Weiße 1.34 Farbige
Grayson 1996	Radiofrequenzen und Mikrowellen	JEM	Gehirntumore	1.39 (1.01-1.90)
Holly et al. 1996	Mikrowellen (Radar)	Interview	intraokulares Melanom	2.1 (1.1-4.0)
Beall et al. 1996	VDU Konstruktion	Firmenaufzeichnungen	Gehirntumore Gliome	1.7 (1.0-3.0) 3.9 (1.2-12.4)
Hardell et al. 1999, 2000	Mobiltelefon	Befragung	Gehirntumore (seitenassoziiert)	2.4 (1.0-6.1) 2.6 (1.0-6.7) ⁺⁾

⁺⁾ Adjustiert nach anderen Expositionen

In der Studie von Thomas et al. (1987) wurden die nächsten Angehörigen der an Gehirntumoren verstorbenen Personen aus drei Regionen der USA und gematchten Kontrollen interviewt, um den Beruf des Verstorbenen zu ermitteln. Danach wurde die Zuordnung in wahrscheinlich gegenüber hochfrequenten Feldern exponierten und nicht-exponierten Personen vorgenommen. Insgesamt ergab sich ein signifikant erhöhtes Risiko. Eine detaillierte Untersuchung zeigte aber, dass eine gewisse Heterogenität innerhalb der Gruppe der Exponierten besteht. Das erhöhte Risiko besteht hauptsächlich für Personen, die

in elektrischen oder elektronischen Berufen beschäftigt waren. Eine ebenfalls signifikante Erhöhung des Gehirntumorrisikos bei beruflicher (in diesem Fall militärischer) Exposition gegenüber radiofrequenten und Mikrowellen fand Grayson (1996). In dieser Studie ist sogar eine Unterschätzung des Risikos nicht ausgeschlossen, weil Personen, die aus Krankheitsgründen den Militärdienst verlassen hatten, nicht inkludiert werden konnten. Ein ebenfalls signifikant erhöhtes Risiko für Gehirntumore bei Technikern im Rahmen der Entwicklungsarbeit an Bildschirmgeräten fanden Beall et al. (1996). Allerdings zeigten Programmierer, die vermutlich geringeren Feldstärken ausgesetzt waren, ein noch stärker erhöhtes Risiko. Hardell et al. (1999, 2000) gingen der Frage nach, ob ein Zusammenhang zwischen Gehirntumoren und der Benützung eines Mobiltelefons bestehen. Sie fanden eine signifikante Assoziation mit der Seite, an der überwiegend telefoniert wurde (dieser Zusammenhang war unabhängig von anderen untersuchten Risikofaktoren wie etwa Schädelröntgen).

Hayes et al. (1990) studierten den Zusammenhang der Exposition mit hochfrequenten Feldern und Hodenkrebs. Ein signifikantes Ergebnis fand sich nur, wenn die Exposition nach dem Interview klassifiziert wurde, während die Klassifikation nach der Berufskategorie kein signifikant erhöhtes Risiko anzeigte. Ob das Interview oder die Berufskategorie die bessere Abschätzung der Exposition erlaubt ist offen.

Demers et al. (1991) untersuchten 227 Fälle des seltenen männlichen Brustkrebs in 10 Gebieten der USA. Für Personen, die hochfrequenten Feldern im Beruf exponiert waren, fand sich eine Odds Ratio von 2.9, die allerdings wegen der geringen Fallzahl (nur 7 Personen) statistisch nicht signifikant war. In einer umfangreichen Untersuchung von über 35.000 weiblichen Brustkrebsfällen zeigte sich bei Frauen, die beruflich (nach Angabe auf dem Totenschein) vermutlich gegenüber hochfrequenten EMF exponiert waren, eine leichte Risikoerhöhung, die aber nicht bei allen Expositionsklassen signifikant war. Bei letzterer Untersuchung wird die Problematik der retrospektiven Expositionsklassifikation besonders deutlich.

Eine andere Problematik weist die Untersuchung von Holly et al. (1996) auf, die 221 intraokulare Melanomfälle einer Klinik in San Francisco untersuchten. Es handelt sich um eine explorative Studie, die eine Vielzahl verschiedener möglicher Faktoren prüfte, unter anderem auch die Exposition gegenüber hochfrequenten Feldern. Die signifikante Risikoerhöhung kann hier nur als Hinweis auf eine mögliche Assoziation gedeutet werden.

Betrachtet man alle diese Fall-Kontroll-Studien zusammengenommen, so ist immerhin auffällig, dass alle ein erhöhtes Risiko anzeigen. Die Erwartungswerte liegen aber höchstens bei einem Wert von 3.

Kohortenstudien

Bei Kohortenstudien besteht das Problem der Expositionsmissklassifikation in geringerem Ausmaß als bei Fall-Kontroll-Studien. Darüber hinaus ist bei Kohortenstudien eine solche Fehlklassifikation immer mit einer Reduktion des geschätzten gegenüber dem wahren Risiko verbunden. Deshalb kommt Kohortenstudien eine große Bedeutung bei der Beurteilung einer Schadbedingung zu.

Bisher liegen sieben Kohortenstudien vor, bei denen ebenfalls ein erhöhtes Karzinomrisiko ermittelt wurde.

Tabelle 2: Kohortenstudien zum Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber hochfrequenten EMF und Krebsinzidenz bzw. -mortalität

Studie	Exposition	Bezugsgruppe	Lokalisation	RR/SMR(95%-KI)
Lilienfeld et al. 1978 (Inzidenz)	Radar (Moskauer Botschaft)	Bevölkerung	alle Karzinome	3.2 (1.1-7.7) G1 ^{+) 2.3 (0.9-4.7) G2}
Robinette et al. 1980 (Mortalität)	Radar (Militärpersonal)	nicht od. niedrig Exponierte	alle Karzinome Leuk/Lymph	1.7 (1.1-2.6) 2.2 (1.0-4.8)
Milham 1988 (Mortalität)	Funkwellen (Amateurfunker)	Bevölkerung	alle Karzinome Leukämien AML	0.9 (0.8-1.0) 1.2 (0.9-1.7) 1.8 (1.0-2.9)
Armstrong et al. 1994 (Inzidenz)	5-20 (300) MHz gepulste EMF	niedrig Exponierte	alle Karzinome	1.4 (1.1-1.9)
Szmigielski 1996 (Inzidenz)	150-3500 MHz (Militärpersonal)	nicht od. niedrig Exponierte	alle Karzinome Leuk/Lymph	2.1 (1.1-3.6) 6.3 (3.1-14.3)
Tynes 1996 (Inzidenz)	Funkwellen (Schiffsfunker)	Bevölkerung (Frauen)	alle Karzinome	1.2 (1.0-1.4)
Rothman et al. 1996 (Mortalität)	Telefon mit integr.Antenne	Telefon ohne integr.Antenne	alle Todesurs.	0.9 (0.4-1.7)

^{+) G1...Personen, die innerhalb der Botschaft lebten, G2...die außerhalb lebten}

Die Ergebnisse der Kohortenstudien fügen sich in das Bild der ökologischen und Fall-Kontroll-Studien ein. Die Studie von Lilienfeld et al. (1978), die Folgen der Langzeitexposition gegenüber schwachen Radarfeldern (die Moskauer Botschaft wurde jahrelang vom Sowjetischen Geheimdienst mit Radar bestrahlt) untersuchen sollte, erbrachte eine große Zahl von Hinweisen auf mögliche Schadwirkungen (siehe auch Goldsmith, 1997). Die Studie von Robinette et al. (1980) an Veteranen des Korea-Krieges, zeigt ebenfalls signifikant erhöhte Karzinomrisiken, ebenso wie die Untersuchung von Szmigielski (1996) an Militärpersonal. Milham (1988) untersuchte die Mortalität von Amateurfunkern. Obwohl die Rate an Todesfällen insgesamt und an allen Karzinomen unterdurchschnittlich war (ein

Spezialfall des healthy worker Effekts, denn die Personen gingen nur dann in die Studie ein, wenn sie im Untersuchungsintervall aktive Funker waren), zeigte sich für alle Neubildungen des lymphatischen und hämatopoetischen Systems eine Risikoerhöhung, die für einzelne Gruppen (z.B. AML) signifikant war. Während die anderen Untersuchungen (mit Ausnahme der Lilienfeld-Studie und der von Rothman et al.) an Männern durchgeführt wurden, untersuchte Tynes (1996) Schiffsfunkern. Diese hatten ein signifikant erhöhtes Karzinomrisiko, das auf eine Reihe unterschiedlicher Lokalisationen (Mamma, Endometrium, Leukämien etc.) ohne besondere Häufung einer einzelnen Lokalisation verteilt war. Eine genestete Fall-Kontroll-Studie von Mammakarzinomen erbrachte keine weitere Aufklärung. Wegen der noch zu kurzen Expositionsdauer ist die Studie von Rothman et al. (1996), die über erste Resultate zur Frage der Mortalität von Mobiltelefonbenutzern berichtete, nicht aussagekräftig. Es wurden dabei zwei Typen von Mobiltelefonen verglichen: solche mit gegenüber solchen ohne integrierter Antenne. Darüber hinaus verwendeten sie zur Expositionsermittlung Abrechnungsunterlagen, die keinen eindeutigen Aufschluss darüber geben, ob die Person, die die Rechnung bezahlt, auch die ist, die exponiert wurde.

Fasst man die Ergebnisse der epidemiologischen Untersuchungen zur Frage des Zusammenhangs zwischen der Exposition gegenüber hochfrequenten EMF und dem Karzinomrisiko zusammen, dann muss man zwar eine Reihe von methodischen Problemen festhalten, aber auch betonen, dass eine derartige Häufung von Hinweisen auf ein Risiko jedenfalls einen vorsichtigeren und expositionsvermeidenden Umgang mit solchen Expositionen geboten erscheinen lässt. Man muss sich fragen, warum die IARC (International Agency for Research on Cancer) angesichts dieser Faktenlage noch keine Beurteilung vorgenommen hat. Das liegt an einem Abkommen mit dem Internationalen Modellprojekt EMF der WHO und der ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), das eine ‚Einmischung‘ der IARC erst für 2003 vorsieht. Eine Einordnung zumindest in die Kategorie 2A (‚probably carcinogenic to humans‘) ist nach der derzeitigen Datenlage so gut wie sicher, sofern in der nächsten Zeit keine Untersuchungen auftauchen, die eindeutig die Ursache der Risikoerhöhungen Störvariablen zuordnen können.

Literatur

Armstrong, B., Therioult, G., Guenel, P., Deadman, J., Goldberg, M., & Heroux, P. (1994). Association between exposure to pulsed electromagnetic fields and cancer in electric utility workers in Quebec, Canada, and France. Am J Epidemiol, *140*, 805-820.

Beall, C., Delzell, E., Cole, P. & Brill, I. (1996). Brain tumors among electronics industry workers. Epidemiology *7*, 125-130.

Cantor, K, Stewart, P., Brinton, L, & Dosmeci, M. (1995). Occupational exposure and female breast cancer mortality in the United States. J Occup Environ Med, *37*, 336-348.

Cherry, N. (2000). Probable health effects associated with base stations in communities: The need for health surveys. In Proceedings of the International Conference on Cell Tower Siting: Linking Science & Public Health, Salzburg, Austria, June 7-8, 2000. (www.land-sbg.gv.at/celltower)

Demers, P.A. et al. (1991). Occupational exposure to electromagnetic fields and breast cancer in man. Am J Epidemiol, *134*, 340-347.

Dolk, H., Shaddick, G., Walls, P., Grundy, C., Thakrar, B., Kleinschmidt, I. & Elliot, P. (1997a). Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain, Part I. Sutton Coldfield Transmitter. Am J Epidemiol, *145*, 1-9.

Dolk, H., Elliot, P., Shaddick, G., Walls, P. & Thakrar, B. (1997b). Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain, Part II. All high-power transmitters. Am J Epidemiol *145*, 10-17.

Goldsmith, J. R. (1997). Epidemiologic evidence relevant to radar (microwave) effects. Environ Health Perspect, *105 Suppl 6*, 1579-1587.

Grayson, J. K. (1996). Radiation exposure, socioeconomic status, and brain tumour risk in the US Air Force: a nested case-control study. Am J Epidemiol, *143*, 480-486.

Hardell, L., Nasman, A., Pahlson, A., Hallquist, A., & Mild, K. H. (1999). Use of cellular telephones and the risk for brain tumours: A case-control study. Int J Oncol, *15*(1):113-116.

Hardell, L., Nasman, A., Pahlson, A., & Hallquist, A. (2000). Case-Control Study on Radiology Work, Medical X-ray Investigations, and Use of Cellular Telephones as Risk Factors for Brain Tumors. MedGenMed, May 4, 2000

Hayes, R. B., Brown, L. M., Pottern, L. M., Gomez, M., Kardaun, J. W. P. F., Hoover, R. N., O'Connell, K. J., Sutzman, R. E., & Javadpour, N. (1990). Occupation and risk of testicular cancer: a case-control study. Int J Epidemiol, *19*, 825-831.

Hocking, B., Gordon, I. R., Grain, M. L. & Hatfield, G. E. (1996). Cancer incidence and mortality and proximity to TV towers. Med. J. Australia, *165*, 601-605.

Holly, E. A., Aston, D. A., Ahn, D. K., & Smith, A. H. (1996). Intraocular melanoma linked to occupations and chemical exposures. Epidemiology, *7*, 55-61.

Lilienfeld, A. M., Tonascia, J., Tonascia, S., Libauer, C. A., & Cauthen, G. M. (1978). Foreign Service health status study – evaluation of health status of foreign service and other employees from selected eastern European posts. Final Report to the US Dept of State.

Maskarinec, G., Cooper, J., & Swygert, L. (1994). Investigation of increased incidence in childhood leukemia near radio towers in Hawaii: preliminary observations. J Environ Pathol Toxicol Oncol, *13*(1), 33-37.

McKenzie, D. R., Yin, Y., & Morell, S. (1998). Childhood incidence of acute lymphoblastic leukaemia and exposure to broadcast radiation in Sydney – a second look. Aust NZ J Publ Health, *22*(3), 360-367.

Milham, S. (1988). Increased mortality in amateur radio operators due to lymphatic and hematopoietic malignancies. Am J Epidemiol, *127*, 50-54.

Robinette, C. D., Silverman, C., & Jablon, S. (1980). Effects upon health of occupational exposure in microwave radiation (radar). Am J Epidemiol, *112*, 39-53.

Rothman, K. J., Loughlin, J. E., Funch, D. P., & Dreyer, N. A. (1996). Overall mortality of cellular telephone customers [see comments]. Epidemiology, *7*(3), 303-305.

Szmigielsky, S. (1996). Cancer morbidity in subjects occupationally exposed to high frequency (radiofrequency and microwave) electromagnetic radiation. Sci Total Environ, *180*, 9-17.

Thomas, T. L., Stolley, P. D., Stemhagen, A., Fontham, E. T. H., Bleeker, M. L., Stewart, P. A., Hoover, R. N. (1987). Brain tumour mortality risk among men with electrical and electronic jobs: a case-control study. J Natl Cancer Inst, *79*, 233-238.

Tynes, T., Hannevik, M., Andersen, A., Vistnes, A. I., & Haldorson, T. (1996). Incidence of breast cancer in Norwegian female radio and telegraph operators. Cancer Causes Control, *7*, 197-204.