

# Umweltmedizinische Beurteilung elektromagnetischer Felder

Dr. med. Gerd Oberfeld  
gerd.oberfeld@salzburg.gv.at

ÖÄK Diplomkurs Umweltmedizin  
Seminar 3 – Elektromagnetische Felder  
21. und 22. April 2007, Pörschach

---

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>2</b>
<b>Magnetische Gleichfelder (Magnetostatik).....</b>	<b>3</b>
<b>Elektrische Gleichfelder (Elektrostatik) .....</b>	<b>4</b>
<b>Elektrische Wechselfelder .....</b>	<b>5</b>
<b>Magnetische Wechselfelder .....</b>	<b>9</b>
<b>Elektromagnetische Wellen (hochfrequente Strahlung) .....</b>	<b>24</b>
<b>Literatur.....</b>	<b>34</b>

## **Einleitung**

Das Leben auf unserem Planeten hat sich im Laufe der Evolution vor dem Hintergrund und unter der Einwirkung des natürlichen elektromagnetischen Spektrums entwickelt. Beispiele sind die Photosynthese und der Sehsinn durch das sichtbare Licht, die Bräunung der Haut als Schutzmechanismus gegenüber der UV-Strahlung, die Orientierung der Zugvögel am statischen Erdmagnetfeld, die Wetterfühligkeit gegenüber bestimmten Sferics im kHz-Bereich oder die Synchronisierung des Gehirns über die Schumannresonanzen (ca. 8Hz und weitere).

Zellen, Gewebe, Organe und Organismen funktionieren nicht nur über chemische Reaktionen, sondern sind in ihrem funktionellen Ablauf in komplexen, nicht linearen Prozessen eng mit internen und externen elektromagnetischen Vorgängen verbunden. Pflanzen, Tiere und Menschen sind elektromagnetische Lebewesen.

Noch nie in der etwa sieben Millionen währenden Geschichte der Menschheit gab es eine vergleichbare Entwicklung wie sie seit ca. 100 Jahren mit zunehmender Geschwindigkeit und Durchdringung abläuft – die Exposition von immer mehr Menschen mit künstlich erzeugten elektromagnetischen Feldern und Wellen verschiedenster Frequenzen und Signalmuster.

Der Autor geht in Anlehnung an die Erfahrungen der Geschichte davon aus, dass sich die Exposition der Menschen gegenüber technischen elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern im Hinblick auf Intensität und Frequenzumfang weiter erhöhen wird. Die sich in Folge noch deutlicher zeigenden gesundheitlichen Konsequenzen werden zu einem Umdenken führen.

Grundsätzlich kann zwischen fünf physikalisch klar definierten Arten elektromagnetischer Felder und Wellen unterschieden werden:

- magnetische Gleichfelder (Magnetostatik)
- elektrische Gleichfelder (Elektrostatik)
- elektrische Wechselfelder (niederfrequente elektrische Wechselfelder)
- magnetische Wechselfelder (niederfrequente magnetische Wechselfelder)
- elektromagnetische Wellen (Hochfrequenz)

## **Magnetische Gleichfelder (Magnetostatik)**

### **Eigenschaften**

Neben dem Erdmagnetfeld liegen magnetische Gleichfelder z.B. bei stromdurchflossenen Gleichstromleitern, bei Permanentmagneten und magnetisierten Eisenteilen vor. Die Einheit der magnetischen Feldstärke ist A/m (Ampere pro Meter), davon abgeleitet ist die magnetische Induktion T (Tesla).

## Quellen

Magnetisierte Stahlteile in Betten und Möbeln, Federkernmatratzen, Eisenträger in Fußböden, massive Armierungen, Stahltank im Keller, Auto in der Garage unter dem Schlafzimmer, Gleichstrom von Straßenbahn und O-Bus.

## Wirkungen

Das Leben auf unserem Planeten hat sich unter der Randbedingung des Erdmagnetfeldes entwickelt. Wirkungsdaten liegen etwa zur Orientierung von Zugvögeln und anderer Tiere am Erdmagnetfeld vor (Binhi 2002). In vitro Untersuchungen an Nervenzellen (Blackman 1985) und mathematische Modelle (Thompson et al. 2000) zeigen, dass die Orientierung und Stärke des Erdmagnetfeldes ein wichtiger Faktor für die Reaktion des für Signalübertragungen zentralen Kalzium-Ionen-Kanals ist. Tierversuche zeigen, dass statische Magnetfelder die Produktion des Zirbeldrüsenhormons Melatonin beeinflussen können (Reiter 1993).

Eine Untersuchung unter Berücksichtigung der Lichtexposition zeigte eine signifikante inverse Beziehung zwischen der Intensität der geomagnetischen Aktivität der letzten 36 Stunden, wobei dieser Faktor mit vielen anderen Variablen korreliert ist, ausgedrückt in nT und der Höhe des Melatoninabbauprodukts 6-Hydroxymelatonininsulfat (6-OHMS) im Morgenurin (Burch JB, 1999). Im Hinblick auf konkrete Auswirkungen z.B. durch Verzerrungen des Erdmagnetfeldes in Gebäuden auf Schlafverhalten und Wohlbefinden finden sich einzelne Kasuistiken aus dem Bereich der baubiologischen Messtechnik (Maes 2005). Die Datenlage zu möglichen gesundheitlichen Wirkungen durch gebäudebezogene magnetische Gleichfelder ist sehr unbefriedigend. Dies hat seinen Hauptgrund darin, dass bis dato keine epidemiologischen Untersuchungen mit dem Expositionsfaktor magnetische Gleichfelder durchgeführt wurden.

Neben dem Kompass zur Feststellung horizontaler Abweichungen vom Erdmagnetfeld gibt es ein- und dreidimensionale Sonden nach dem Fluxgate Prinzip zur Quantifizierung der Intensität magnetischer Gleichfelder.

## Zielwertaspekte

Derzeit kann, wenn man vom Ansatz des Ziels eines möglichst ungestörten Erdmagnetfeldes ausgeht, empfohlen werden, Materialien, die das Erdmagnetfeld stören, z.B. magnetisierte Eisenteile wie Stahlträger, Türzargen, Heizkörper, Stahltanks, Federkerne in Matratzen und Lautsprecherboxen im Nahbereich des Menschen zu vermeiden.

## Elektrische Gleichfelder (Elektrostatik)

### Eigenschaften

Elektrische Felder entstehen zwischen positiven und negativen Ladungen, zwischen denen sich das Feld in Form von Kraftlinien aufbaut. Die Einheit ist V/m (Volt pro Meter).

## Quellen

Das natürliche Gleichfeld der Erde wird durch den Potentialunterschied zwischen der Erdoberfläche und elektrisch geladenen Teilchen der Atmosphäre bestimmt und beträgt bei Schönwetter etwa 100 V/m. Bei Gewittern kann das elektrische Gleichfeld Werte bis über 10 kV/m annehmen. Durch Entladungen (Blitze) reduziert sich das Feld wieder. Auch in Gebäuden kann sich bei trockener Luft ein hohes elektrisches Gleichfeld aufbauen. Ursache können Ladungstrennungen durch Bewegung elektrisch schlecht leitfähiger Materialien wie etwa Kunststoffen sein. Die zur Ladungstrennung führende Bewegung (Reibung) kann z.B. durch Gehen mit Kunststoffschuhsohlen auf Kunststoffbodenbelägen, Drehen von Kunststoffrollen von Bürossesseln auf Kunststoffbodenbelägen, Reiben einer Wollhose beim Aufstehen auf einem Kunststoffbezug eines Sessels oder durch den warmen trockenen Luftstrom des Heizkörpers bei Kunststoffgardinen verursacht sein. Weitere Quellen können Fernsehbildschirme und alte Röhrenmonitore sein.

## Wirkungen

Wenn sich der Mensch durch Ladungstrennung entsprechend aufgeladen hat, erfolgt bei entsprechender Ableitmöglichkeit, z.B. durch Handkontakt einer anderen Person, oder Berührung der Türklinke etc. eine spontane Entladung die sogar zur Funkenbildung und einem schmerzhaften Schlag führen kann. Diese elektrostatischen Entladungen sind eine große Gefahr für elektronische Geräte, die zur Zerstörung von Bauteilen führen können. Auch sind durch elektrostatische Funken Explosionen in lösemittelhaltigen Luftgemischen möglich. Hohe elektrostatische Aufladungen im Räumen führen auch zu einer Störung des Raumklimas mit einer Abnahme von Kleinionen. Kasuistiken (Maes 2005) sehen u.a. Zusammenhänge mit Asthmaanfällen, Konzentrationsproblemen, Stress und Kopfschmerzen. Auch in diesem Bereich sind epidemiologische Untersuchungen dringend erforderlich.

## Zielwertaspekte

Orientiert man sich am Schönwetterfeld der Erde von etwa 100 V/m, sollten in Gebäuden Oberflächenbeschichtungen und Materialien, die zu einer starken Ladungstrennung neigen, das sind z.B. schlecht leitfähige Kunststoffe, vermieden werden. Zusätzlich sollte die relative Luftfeuchtigkeit im Winter möglichst nicht unter etwa 35 % absinken.

## Elektrische Wechselfelder

### Eigenschaften elektrischer Wechselfelder

Elektrische Felder entstehen zwischen positiven und negativen Ladungen, zwischen denen sich das Feld in Form von Kraftlinien aufbaut. Dieses Feld entsteht allein aufgrund einer elektrischen Potentialdifferenz, also auch dann, wenn kein Strom fließt. Die Einheit ist V/m (Volt pro Meter). Die Stärke des elektrischen Wechselfeldes bzw. die Dichte und Verteilung der Feldlinien hängen vom Potentialunterschied und der Distanz zwischen Feldquelle und Feldsenke und deren Oberfläche ab.

## Quellen elektrischer Wechselfelder

Geräteleitungen, Verlängerungskabel, Lampenkabel, Elektroinstallationen, Elektrogeräte, vor allem ungeschirmte Geräte, das sind solche mit Flach- oder Konturensteckern, die dem Körper nahe kommen, wie etwa Heizdecken, Schreibtischlampen, elektrische Schreibmaschinen und elektrische Rechenmaschinen, Wände und Böden, die ausgehend von Elektroleitungen eine Feldverschleppung bewirken, Freileitungen. Energiesparlampen, elektronische Steuerungen und Dimmer können elektrische Wechselfelder im Kilohertzbereich verursachen. Typische Expositionen in Gebäuden liegen für die Frequenz 50Hz im Bereich von 1 bis 20V/m, fallweise bis 100V/m.

## Wirkungen elektrischer Wechselfelder

Basierend auf epidemiologischen Studien, Zellstudien und Tierversuchen wurde 1995 ein Entwurf für Empfehlungen der Nationalen Strahlenschutzkommission der USA (NCRP 1995) unter dem Vorsitz von Ross Adey ausgearbeitet. Der Entwurf sieht unter Anderem verschiedene Politikoptionen im Umgang mit magnetischen und elektrischen Wechselfeldern im Frequenzbereich von nahe 0Hz bis 3kHz vor. Option 2 (von insgesamt 4 Optionen) empfahl Expositionsrichtwerte von  $0,2\mu\text{T}$  (200nT) für die magnetische Flussdichte bzw. von 10V/m für das elektrische Wechselfeld. Zum elektrischen Wechselfeld führte der Bericht aus: „Obwohl durch die Betonung von Bioeffekten durch magnetische Felder weitgehend vernachlässigt, gibt es auch Evidenz aus Laboruntersuchungen, die biologisch signifikante Effekte speziell für Kalziumbindungen von Hirngewebe bei elektrischen Wechselfeldern im Bereich 10-100V/m zeigen. Neurologische Verhaltenseffekte inklusive der regulativen Rolle in biologischen Rhythmen des Menschen und bei Tieren wurden elektrischen Wechselfeldern bei Intensitäten von 10-100V/m zugeordnet.“

Der Bereich elektrischer Wechselfelder wurde bis dato von der epidemiologischen Forschung im Vergleich zu magnetischen Wechselfeldern erst ansatzweise untersucht. Im Folgenden werden epidemiologische Untersuchungen im Wohnbereich und an Arbeitsplätzen angeführt.

## Studien zu elektrischen Wechselfeldern und Krebs / Leukämien im Kindesalter

Die von (London et al. 1991) publizierte Fall-Kontroll-Studie (n=140/109) zu elektrischen Wechselfeldern und kindlichen Leukämien (Alter 0-10 Jahre) fand keinen Zusammenhang mit den in Kinderschlafräummitte gemessenen elektrischen Feldern. Da die Exposition gegenüber elektrischen Wechselfeldern durch lokale Feldquellen wie Leitungen in der Wand neben dem Bett, Lampen- und Geräteanschlusskabel etc. dominiert wird, ist eine Messung in Raummitte auf Grund der starken Expositionsfehlklassifikation ohne Relevanz und sind in Folge keine Beziehungen erwartbar. Das Ergebnis ist daher nicht verwertbar.

In einer Fall-Kontroll-Studie zu Leukämien bei Kindern < 15 Jahre (n=56/56) wurde (Coghill et al. 1996) die Exposition gegenüber magnetischen und elektrischen Wechselfeldern am Bettplatz der Kinder untersucht. Magnetische Wechselfelder ergaben bei Fällen als arithmetischer Mittelwert über 24 Stunden  $0,07\mu\text{T}$  (70nT) gegenüber  $0,057\mu\text{T}$  (57nT) bei Kontrollen. Die Vertikalkomponente des elektrischen Wechselfeldes ergab bei Fällen als arithmetischer Mittelwert über 12 Stunden (20:00 bis 08:00 Uhr) 13,9V/m gegenüber 7,3V/m bei Kontrollen. Die Publikation führt als statistische Berechnung des Risikos das relative Risiko (RR) an. Diese Berechnungsmethode ist jedoch Kohortenstudien vorbehalten. Methodisch korrekt bei Fall-Kontroll-Studien ist die Berechnung des odds ratio (OR). Auch waren in der Publikation keine Angaben über das Signifikanzniveau der vierstufigen Auswertung enthalten. Daher wurden vom

gefertigten Sachverständigen aus den Rohdaten der Publikation die entsprechenden OR und das Signifikanzniveau der Expositions-Wirkungs-Beziehung ermittelt:

<b>Exposition 20:00-08:00 Uhr (V/m)</b>	<b>Fälle (n)</b>	<b>Kontrollen (n)</b>	<b>OR</b>	<b>95%CI</b>
<5	17	30	1	
5-9	12	13	1,63	0,61-4,36
10-19	14	8	3,09	1,07-8,85
>19	13	5	4,59	1,39-15,09

Die Auswertung zeigt, dass das Risiko mit zunehmender elektrischer Feldstärke ansteigt und mit ( $p=0,038$ ) eine signifikante Expositions-Wirkungsbeziehung ergibt. Expositionswerte über 10V/m zeigten ein mit OR 3,09 signifikant erhöhtes Leukämierisiko.

In der von (Mc Bride et al. 1999) veröffentlichten Fall-Kontroll-Studie zu kindlichen Leukämien ( $n=274/331$ ) im Alter von 0-14 Jahren und elektrischen Wechselfeldern wurde ein Personenexposimeter eingesetzt und der 48-Stunden-Mittelwert als Expositionsvariable eingesetzt. In der Publikation sind keine Angaben im Hinblick auf das Messprozedere für die aus physiologischer Sicht relevante Nachtphase enthalten. Da die Exposition gegenüber elektrischen Wechselfeldern durch lokale Feldquellen wie Leitungen in der Wand im Kopfbereich, Geräteanschlusskabel etc. dominiert wird, ist eine Messung elektrischer Wechselfelder nur unmittelbar am Bett sinnvoll. Selbst eine Ablage des Messgerätes am Nachttisch würde zu erheblichen Expositionsfehlklassifikationen führen und keine Beziehungen erwarten lassen. Das Ergebnis ist daher nicht verwertbar.

Die von (Green et al. 1999a) veröffentlichte Fall-Kontroll-Studie ( $n=88/133$ ) zu kindlichen Leukämien (Alter 0-14 Jahre) und elektrischen Wechselfeldern verwendete wie in der Untersuchung von (Mc Bride et al. 1999) Personenexposimeter. Dabei wurde als Expositionsmaß der 2-Tagesmittelwert des elektrischen Feldes ohne Nachtphase verwendet. Damit fehlt die wesentlichste Information, nämlich die Exposition in der Nachtphase und sind entsprechende Risikoanalysen beim Endpunkt kindlicher Leukämie daher nicht verwertbar.

In Rahmen einer Pilotstudie mit limitierter Fallzahl zur „United Kingdom Childhood Cancer Study“ (Skinner et al. 2002), einer Fall-Kontroll-Studie zu Kinderkrebs und Leukämie (Alter bei Diagnose 0 bis 14 Jahre), wurden die Ergebnisse von (Coghill et al. 1996) durch Messungen der elektrischen Vertikalkomponente im Bett der Kinder (Polster und Bettmittelpunkt) aufgenommen. Es werden zwei Ergebnisse als OR für akute lymphatische Leukämie, Krebs des Zentralnervensystems, alle Leukämieformen, sonstige Krebsformen und für alle Krebsformen mit unterschiedlichen Fall/Kontrollzahlen,  $n=273/276$  und  $n=426/419$  präsentiert, die sich im Ergebnis der Qualitätssicherung der Messergebnisse unterschieden. Die Exposition wurde in  $0-<10V/m$ ,  $10-<20V/m$  und  $\geq 20V/m$  unterteilt.

In der Auswertungsgruppe mit zwei validen Überprüfungen der Messergebnisse waren von den zehn berechneten OR neun größer 1 und zeigten damit in Richtung eines erhöhten Risikos. Bei den Messungen mit geringerer Absicherung war das Verhältnis fünf zu fünf. Der Faktor der diesen Unterschied erklären könnte ist in der Publikation nicht angeführt. Die Zeit zwischen Diagnose und Messung betrug im Mittel etwa 3 Jahre bei Fällen und Kontrollen. Es finden sich keine Angaben oder Analysen zur Übereinstimmung zwischen der am Tag der Messung gefunden Exposition und der ätiologisch relevanten Zeitperiode. Durch Umzug, Wechsel des Zimmers oder Änderung der Verwendung von elektrischen Geräten im Nahbereich des Bettes kommt es zu Veränderungen der Exposition, mit der Konsequenz einer Fehlklassifikation der Exposition, die dazu führt, dass der Effekt- bzw. Risikoschätzer in Richtung Null verringert

wird. Auch wurde die Berechnung des OR basierend auf ungleich verteilten Expositionstertilen vorgenommen. Dies führt zu einer Verdünnung des Expositionsgradienten und zu einer Reduktion der statistischen Power. Unter Berücksichtigung dieser Umstände ergibt sich aus den Ergebnissen eine größere Wahrscheinlichkeit für einen Zusammenhang mit den untersuchten Endpunkten als dagegen.

## **Studien zu elektrischen Wechselfeldern und Leukämien / Non-Hodgkin Lymphomen bei Erwachsenen - Arbeitsplatz**

In einer eingestuetzten Fall-Kontroll-Studie (Matching 1:4) zu Non-Hodgkin Lymphomen (n=51/203) einer Kohorte männlicher Mitarbeiter eines Energieerzeugers (Ontario Hydro) fanden (Villeneuve et al. 2000b) ein signifikant erhöhtes Risiko für mittels Job-Exposure-Matrix ermittelte elektrische Felder (60Hz). Zur Auswertung wurde auch die über gewissen Feldstärken verbrachte Zeit in Tertilen ermittelt. Für die Expositionsklasse „exposure career“ zeigte der Vergleich mit der Referenztertile (0-<11,19% der Zeit) für die mittlere Tertile (11,19-15,27%) ein OR 1,63 (0,56-4,723), für die dritte Tertile (>15,27%) ein OR 3,05 (1,07-8,8) für den Wert von 10V/m. Die Auswertung zeigte Expositions-Wirkungs-Beziehungen.

In einer weiteren Untersuchung von (Villeneuve et al. 2000a) zeigte sich in einer eingestuetzten Fall-Kontroll-Studie (Matching 1:4) für Leukämien (n=50/200) aus der Selben Kohorte (siehe oben) ein signifikant erhöhtes Risiko für mittels Job-Exposure-Matrix ermittelte elektrische Felder (60Hz). Zur Auswertung wurde auch hier die über gewissen Feldstärken verbrachte Zeit in Tertilen ermittelt und auch die Expositionsdauer berücksichtigt. Bei Mitarbeitern mit Expositionszeiten von mehr als 20 Jahren erbrachte der Vergleich mit der Referenztertile (0-<11,19% der Zeit) für die ersten 10 Jahre der Anstellung für die mittlere Tertile (11,19-<15,27%) ein OR 10,48 (1,20-90,98) sowie für die höchste Tertile (> 15,27%) ein OR 14,79 (1,76-124,10) beim Wert von 10V/m. Die Auswertung zeigte Expositions-Wirkungs-Beziehungen.

## **Zielwertaspekte**

Bei der Beurteilung der Wirkungen elektrischer Wechselfelder geht es nicht nur um chronische Krankheit, wie etwa Krebs, sondern auch um zum Teil erhebliche Störungen des Wohlbefindens, wie Schlafstörungen, Reduktion der Leistungsfähigkeit und Vitalität etc.. Auch wenn dazu keine epidemiologischen Untersuchungen vorliegen, bedeutet es nicht, dass diese Wirkungen nicht vorhanden sein können bzw. sind. Stellvertretend wird daher eine Quelle für Kasuistiken in Form von schriftlichen Berichte von durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder beeinträchtigte Menschen, die ihre persönlichen Erfahrungen und Gesundheitsprobleme im Zusammenhang mit diesen Einwirkungen einer schwedischen Kommission schriftlich mitteilten angeführt. Diese Dokumente wurden in einem Bericht mit dem Titel „Schwarz auf Weiß“ veröffentlicht (Granlund-Lind et al. 2004).

Die (IARC 2002) hat sich mit der Frage der Humankanzerogenität elektrischer Wechselfelder befasst. Sie stellt dazu fest, dass keine für die Karzinogenität relevanten Daten aus Tierversuchen im Hinblick auf elektrische Wechselfelder verfügbar sind. Für den Menschen besteht im Hinblick auf elektrische Wechselfelder für die Karzinogenität eine unzureichende Evidenz. Diese Beurteilung bedeutet nicht, dass keine Evidenz besteht, sondern dass die zum Zeitpunkt der Evaluierung verwendeten Daten für eine Einstufung z.B. als mögliches, wahrscheinliches oder definitives Karzinogen für den Menschen nicht ausreichten.

Die ICNIRP-Richtlinie (ICNIRP 1998) basiert ihre Referenzwerte auf kurzfristigen, unmittelbaren gesundheitlichen Auswirkungen wie z. B. die Reizung peripherer Nerven und Muskeln, Schocks und Verbrennungen, die durch Berührung leitfähiger Objekte verursacht

werden und erhöhte Gewebetemperaturen, die aus der Absorption von Energie während der Exposition durch EMF resultieren. Der für den Frequenzbereich von 25Hz bis 3kHz empfohlene Referenzwert für die Exposition der Allgemeinbevölkerung beträgt  $250/f$ . Bei  $f=50$  (Hz) ergibt sich  $250/0,050\text{kHz} = 5\text{kV/m}$ . Bei höheren Frequenzen sinkt der Referenzwert.

Die Beurteilung elektrischer Wechselfelder ist basierend auf den vorliegenden Informationen in einem ersten vorläufigen Ansatz möglich. Seitens der NCRP wurde, wenn auch nicht offiziell, jedoch basierend auf einer (vom gefertigten Sachverständigen nicht zuletzt aufgrund der mit Dr. Ross Adey fachlich hochqualifizierten Vorsitzführung des Fachgremiums angenommenen) gründlichen Auseinandersetzung mit der vor der Veröffentlichung aktuellen Literatur ein Zielwert von 10V/m als eine von vier Politikoptionen empfohlen. Dieser Empfehlungswert deckt sich mit den Empfehlungen des schwedischen TCO Prüfsiegels für diverse Bürogeräte wie etwa Computermonitore und Drucker im Frequenzbereich 5Hz bis 2 kHz. Die TCO-Werte entstanden vor dem Hintergrund der Risikoreduktion im machbaren Rahmen und haben sich zwischenzeitlich weltweit als Standard durchgesetzt. Zwei epidemiologische Untersuchungen bei Arbeitnehmern sowie eine Untersuchung bei Kindern zeigten signifikante Zusammenhänge mit Leukämien bzw. Non Hodgkin Lymphomen bei Werten über 10V/m. Isotrope und potentialfreie Messungen elektrischer Wechselfelder an Schlafplätzen zeigen in der Regel Werte zwischen 1 und 20V/m zum Teil auch bis 100V/m. Als vorläufiger Beurteilungswert wird vom gefertigten Sachverständigen für Daueraufenthaltsorte, die in Analogie zu den vorliegenden Daten auf achtstündigen Expositionen Tags bzw. Nacht beruhen, ein vorläufiger Beurteilungswert von 10V/m vorgeschlagen. In den beiden kanadischen Untersuchungen (Villeneuve et al. 2000a, Villeneuve et al. 2000b) wurde eine Zeitabhängigkeit von adversen Wirkungen beobachtet. Im Schlafbereich sollten vorsorglich daher tiefere Werte im Bereich um etwa 1V/m angesetzt werden.

## **Magnetische Wechselfelder**

### **Eigenschaften**

Magnetische Wechselfelder entstehen unter anderem ringförmig um stromdurchflossene Leiter. Das Magnetfeld setzt einen Stromfluss voraus und hängt von der Stromstärke ab, jedoch nicht von der Spannung. Die Einheit der magnetischen Feldstärke ist A/m (Ampere pro Meter), davon abgeleitet ist die magnetische Induktion (Erregung elektrischer Ströme und Spannungen durch bewegte Magnetfelder) T (Tesla).

Die Größe der Feldstärkeabnahme mit der Entfernung ist unter anderem von der Kompensation abhängig. Bei Einleitersystemen wie z.B. bei Ausgleichs- und Fehlströmen erfolgt die Abnahme mit etwa  $1/r$ , bei Zweileitersystemen mit etwa  $1/r^2$ , bei Trafospulen mit etwa  $1/r^3$ .

Magnetische Wechselfelder durchdringen beinahe alle Materialien ungehindert. Eine Feldablenkung ist z.B. mit hochleitfähigen Nickel-Eisenlegierungen ( $\mu$ -Metall), Trafoblechen oder Kombinationen (Sandwichplatten) möglich.

Die magnetische Feldstärke bzw. Flussdichte nimmt zu oder ab durch z.B.:

- die Höhe der Stromstärke
- den Phasenwinkel
- die Anordnung (Entfernung) der stromführenden Hin- und Rückleiter zueinander (Kompensationseffekte)
- Ausgleichsströme auf elektrisch leitfähigen Rohren, Schutzleitern, im Erdreich etc.
- die Qualität von Kompensations- und Abschirmmaßnahmen

- Abstand zu Feldverursachern

## **Feldquellen für magnetische Wechselfelder**

Grundsätzlich müssen hier kleinräumige Magnetfelder mit „Reichweiten“ im Bereich einiger Dezimeter mit Übergängen zu großräumigen Magnetfeldern unterschieden werden. Im Folgenden wird eine grobe Einteilung nach dieser Abstufung gegeben:

- körpernahe Kleinlautsprecher in Kopf- und Telefonhörern
- Trafos z.B. von 230V-Radiowecker, 230V-CD-Player, 230V-Radios, 230V-Schreibmaschinen, 230V-Rechenmaschinen // 230V-Magnetfeldmatten // Elektromotoren von Werkzeugen, Haushalts- und Küchengeräten, Uhren, Aquariumpumpen, Overheadprojektoren // E-Herde
- Zu- und Steigleitungen in Mehrfamilien- und Hochhäusern (ohne Fehlströme)
- Verseilte 12V-Halogenbeleuchtungen je nach Abstand der Leiter
- Erdkabel
- Einzeldrahtdachständerzuleitungen
- Niederspannungsleitungen in Einzeldrähten
- Ausgleichsströme auf leitfähigen Strukturen wie z.B. Wasserleitungsrohren, Heizungsrohren, Fernwärmeleitungen, Gasleitungen, Schutzleitern, Computernetzwerkkabel mit beidseitig geerdetem Schirm, etc. sowie Fehlströme bei Leitungen mit oder ohne Ringbildungen
- Elektrifizierte Bahnlinien mit und ohne Ausgleichsströme
- Hoch- und Höchstspannungsleitungen

Diese Unterscheidung nach der Ausdehnung eines Feldes, gemeint ist damit die Distanz bis zu der der übliche Hintergrundpegel erreicht wird, ist von großer Relevanz für die Exposition.

Hinweis: Typische Hintergrundwerte in Gebäuden in ländlichen Bereichen liegen bei etwa 0,01 bis 0,02 $\mu$ T und werden durch die eigene Stromversorgung des Hauses verursacht.

Die Relevanz der Ausdehnung des Magnetfeldes ergibt sich aus der Wahrscheinlichkeit für eine länger dauernde Exposition. Diese ist bei großräumigen Expositionen eher gegeben, da ein Ausweichen in diesen Fällen häufig nicht möglich ist. Dazu kommt, dass mit Ausnahme offensichtlicher Quellen, wie z.B. Nieder-, Hoch- und Höchstspannungsleitungen flächige Magnetfelder auch von Fachleuten durch einfache Besichtigung nicht erkannt werden können, da etwa ein Ausgleichsstrom auf einem Gasrohr nur durch entsprechende Strom- oder Magnetfeldmessungen erkannt werden kann. Eine Ausnahme stellen hier Bahnströme (16 2/3Hz) dar, die im Bereich von einigen 0,1 $\mu$ T(100nT) bei Kathodenbildschirmen zu Bildstörungen führen können und so den Nutzer aufmerksam machen. Kleinräumige Feldquellen können besonders an Schlaf- und Arbeitsplätzen zu längeren Expositionszeiten führen.

## **Statistische Verteilung magnetischer Wechselfelder**

Es ist grundsätzlich notwendig, Informationen über die in Wohnungen vorliegende Höhe der Magnetfeldexposition zu haben, um die bestehende Exposition etwa durch die 220kV-Leitung und die geplante Exposition durch die 380kV-Salzburgleitung besser einordnen zu können.

Zur Frage der Verteilung magnetischer Wechselfelder liegen für Österreich keine Zahlen vor. In Deutschland wurden von (Schüz et al. 2000) im Rahmen der deutschlandweit durchgeführten Fall-Kontroll Studie zu den Ursachen kindlicher Leukämien 24-Stunden Messungen für

magnetische Wechselfelder durchgeführt. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Verteilung magnetischer Wechselfelder (50Hz) für die Ergebnisse der 24-Stunden Messungen im Kinderzimmer von n=1314 Kontrollen für den Median.

Feldverteilung $\mu\text{T}$	Median	
	n	%
< 0,05	1006	76,6
0,05-<0,1	217	16,5
0,1-<0,15	49	3,7
0,15-<0,2	24	1,8
0,2-<0,3	13	1,0
0,3-<0,4	2	0,2
0,4-<0,5	0	0,0
$\geq 0,5$	3	0,2

Tabelle: Statistische Verteilung magnetischer Wechselfelder (50Hz) aus verschiedenen Quellen in Deutschland als 24-Stundenmedian im Kinderzimmer von n=1314 Kontrollen.

Fasst man die Kategorie von 0-<0,1 $\mu\text{T}$ (100nT) zusammen, ergibt sich ein Anteil von 93,1% (n=1223).

Fasst man die Kategorie von 0-<0,2 $\mu\text{T}$ (200nT) zusammen, ergibt sich ein Anteil von 98,6% (n=1296).

Statistische Größe	$\mu\text{T}$
Arithmetischer Mittelwert	0,040
25er Perzentil	0,016
Median (50er Perzentil)	0,027
75er Perzentil	0,048
95er Perzentil	0,117
Maximum	0,682

Tabelle: Statistische Verteilung magnetischer Wechselfelder (50Hz) aus verschiedenen Quellen in Deutschland im Kinderzimmer von n=1314 Kontrollen.

Es ist von großer Wichtigkeit sich diese Verteilung bei der Interpretation epidemiologischer Studien vor Augen zu halten, da sehr häufig mit so genannten cut-off Werten von 0,1 $\mu\text{T}$ (100nT), 0,2 $\mu\text{T}$ (200nT) etc. gearbeitet wird. Diese Vorgangsweise führt bei der gegebenen Verteilung unter anderem zu einem Verdünnungseffekt, weil dabei geringere und höhere Expositionen vermischt werden, mit dem Effekt einer Reduktion des Effektschätzers bzw. Risikoschätzers in Richtung Null. Weiters führen hohe cut-off Werte zu einer eingeschränkten statistischen Power mit dem Effekt, dass die Ergebnisse statistisch instabil sein können. Die von Seiten der Auswertung bessere Vorgangsweise ist die Einteilung in Quantile z.B. in Quartile, wobei das erste Quartil die Referenzkategorie ist und nun das Risiko z.B. für die Krankheit in Relation zu dieser Referenzkategorie ermittelt wird. Aus den obigen Zahlen ergibt sich nunmehr als Referenzkategorie eine Exposition von 0 bis 0,016 $\mu\text{T}$ (16 nT).

Die Verteilung der Exposition gegenüber magnetischen Wechselfeldern ist von vielen Faktoren abhängig. (Schüz et al. 2000) beschreiben etwa, dass in ländlichen Gebieten von Niedersachsen etwa 0,9% der untersuchten Kontrollpopulation 24-Stunden Mediane über 0,2 $\mu\text{T}$ (200nT) zeigten. In Westberlin waren dies 3,5% und in Ost-Berlin 10,3%, weniger als 20% dieser Werte waren nahen Hochspannungsleitungen zuzuordnen.

## Wirkungen magnetischer Wechselfelder

Die öffentliche Diskussion über gesundheitliche Wirkungen elektromagnetischer Felder hat eine ihrer Wurzeln in den epidemiologischen Studien von Wertheimer und Leeper über den

Zusammenhang zwischen der Nähe zu Hochspannungsleitungen und dem gehäuften Auftreten von kindlichen Leukämien (Wertheimer und Leeper 1979) bzw. von Krebs bei Erwachsenen (Wertheimer und Leeper 1982) in Colorado, USA. Die Autoren fanden Expositions-Wirkungsbeziehungen, die unabhängig vom Alter, der Urbanisierung oder dem sozioökonomischen Status waren.

1982 wurde erstmals in der Literatur von (Milham 1982), basierend auf einer Untersuchung der Leukämiersterblichkeit bei beruflich gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern exponierten Männern der Verdacht auf einen Zusammenhang bei beruflichen Expositionen geäußert, wörtlich: „*The findings suggest that electrical and magnetic field may cause leukemia*“. Diese ersten Arbeiten lösten eine intensive Forschungstätigkeit im Bereich magnetischer Wechselfelder besonders für die Frequenzen 50Hz und 60Hz aus.

## **Daten zu kindlichen Leukämien und magnetischen Wechselfeldern**

Die umweltmedizinische Bearbeitung aller relevanten Endpunkte, die im Zusammenhang mit der Exposition gegenüber magnetischen Wechselfeldern untersucht wurden, würde den Umfang dieses Gutachtens bei weitem sprengen. Daher wird am Beispiel der Daten zu kindlichen Leukämien gezeigt, dass die vorhandene Evidenz für gesundheitsschädigende (insbesondere) Langzeiteffekte durch magnetische Wechselfelder bei Feldstärken, wie sie etwa im Umfeld von Hochspannungsleitungen auftreten, ausreichend belegt ist. Besonders der Zusammenhang zwischen magnetischen Wechselfeldern und kindlichen Leukämien war und ist Gegenstand epidemiologischer Forschungen. Die folgenden Informationen beziehen sich auf Deutschland, das im Gegensatz zu Österreich über ein internationales Anforderungen entsprechendes Kinderkrebsregister verfügt und sind der Publikation von (Schüz 2002) entnommen:

*Leukämie ist die häufigste Krebserkrankung im Kindesalter mit einem Anteil von etwa 35% an allen malignen Erkrankungen. In Deutschland erkranken von 13,2 Millionen Kindern unter 15 Jahren etwa 620 jährlich neu an Leukämie. Dies entspricht einer Inzidenz von 4,8 Leukämiefällen pro 100 000 Kinder pro Jahr. Die Heilungschance liegt heute bei über 80%. Die Prognose ist für Kinder mit einer akuten lymphatischen Leukämie (ALL), die etwa 85% der Leukämien im Kindesalter ausmachen, deutlich günstiger als für Kinder mit einer akuten myeloischen Leukämie (AML), bei denen die Fünfjahres-Überlebensrate noch unter 60% liegt. Die AML macht fast die restlichen 15% der kindlichen Leukämien aus. Nur wenige Kinder erkranken an einer chronischen Leukämie oder einer lymphatisch-myeloischen Mischform.*

In einer Übersichtsarbeit zur Rolle von Umwelteinflüssen bei der Entstehung von Leukämien im Kindesalter (Schüz 2002) fasst der Autor die Ergebnisse der in mehreren Journalen publizierten Ergebnisse in der nachfolgenden Tabelle zusammen. Dabei wird deutlich, dass das höchste odds ratio mit OR 3,6 (1,5-8,8) mit einer Pestizidexposition der Mutter während der Schwangerschaft verbunden ist, gefolgt von der Exposition gegenüber magnetischen Feldern während der Nacht  $\geq 0,2\mu\text{T}$  (200nT) OR 2,8 (1,4-5,5).

Umweltfaktoren	OR (95%-KI) <sup>a</sup>	Andere Faktoren	OR (95%-KI) <sup>a</sup>
Einsatz von Insektiziden im Haus <sup>b</sup> mehr als 1 mal pro Jahr	1,2 (0,9-1,6)	Alter der Mutter bei Geburt <sup>f</sup> ≥ 35 Jahre	1,1 (0,8-1,5)
Einsatz von Pestiziden <sup>b</sup> im Garten	1,0 (0,8-1,2)	Rauchen der Mutter (Schwangerschaft) <sup>f</sup> 1-10 Zigaretten pro Tag	0,8 (0,6-1,1)
in der Landwirtschaft	1,5 (1,0-2,2)	11-20 Zigaretten pro Tag	0,5 (0,3-0,9)
Berufliche Pestizidexposition <sup>b</sup> Mutter (Schwangerschaft)	3,6 (1,5-8,8)	> 20 Zigaretten pro Tag	1,3 (0,4-4,7)
Vater (vor Schwangerschaft)	1,5 (1,1-2,2)	Rauchen des Vaters (vor Schwangerschaft) <sup>f</sup> 1-10 Zigaretten pro Tag	1,1 (0,8-1,5)
Magnetische Felder während der Nacht <sup>c</sup> ≥ 0,2 Mikro-Tesla	2,8 (1,4-5,5)	11-20 Zigaretten pro Tag	1,0 (0,8-1,2)
Berufliche Strahlenexposition (ionisierend) <sup>d</sup> Vater (vor Schwangerschaft)	1,2 (0,8-1,7)	> 20 Zigaretten pro Tag	0,9 (0,7-1,2)
Röntgen der Mutter (Schwangerschaft) <sup>d</sup> ≥ 1 mal	0,9 (0,7-1,4)	Geburtsgewicht <sup>f</sup> < 2,5 kg	1,7 (1,1-2,8)
Berufliche Expositionen (Schwangerschaft) <sup>e</sup> Mutter mit Lösungsmitteln	1,2 (0,9-1,7)	> 4 kg	1,4 (1,0-1,8)
Mutter mit Farben, Lacken	1,6 (1,1-2,4)	Vorangegangene Fehlgeburten <sup>f</sup> ≥ 1 mal	1,1 (0,9-1,3)
Mutter, Metallindustrie	1,0 (0,6-1,7)	Stillen (mehr als ein halbes Jahr) <sup>g</sup> 2-6 Monate	1,2 (0,9-1,5)
		nicht oder 1 Monat	1,2 (0,9-1,6)

<sup>a</sup> Odds Ratio und 95%-Konfidenzintervall; <sup>b</sup> aus Meinert et al. (2000); <sup>c</sup> aus Schüz et al. (2001a); <sup>d</sup> aus Meinert et al. (1999);

<sup>e</sup> aus Schüz et al. (2000b); <sup>f</sup> aus Schüz et al. (1999a); <sup>g</sup> aus Schüz et al. (1999b)

Abbildung: Ausgewählte Ergebnisse einer bundesweiten Fallkontrollstudie (1992-2000) zu den Ursachen von Leukämien im Kindesalter (Quelle: Schüz 2002).

Der Erkrankungsgipfel der akuten lymphatischen Leukämie liegt im Kindesalter bei zwei bis vier Jahren. Dieser Umstand wird als „Childhood Leukemia Peak“ bezeichnet und hat sich erst im Laufe des letzten Jahrhunderts herausentwickelt. Dies wurde von (Court Brown und Doll 1961 zit. in Milham und Ossiander 2001) wie folgt berichtet: „... *a new leukemogenic agent ...*“, *had been introduced first into Britain in about 1920, and later into the United States and other countries.*“ Diese Aussage basierte auf der bedeutenden Beobachtung eines Anstiegs der Leukämiersterblichkeit bei den unter Zehnjährigen in den etwa 50 Jahren seit 1911 um 4,5% im Mittel pro Jahr. Eine Analyse über den Zusammenhang der Leukämiersterblichkeit in der Altersgruppe der 2-4-jährigen zeigte einen signifikanten Zusammenhang mit dem Elektrifizierungsgrad der untersuchten Population in den USA (Milham und Ossiander 2001). Die Autoren kommen in der Publikation zu dem Schluss, dass der „childhood leukemia peak“ der Elektrifizierung zuzuordnen ist und 75% der akuten lymphatischen Leukämien vermeidbar wären.

Von (Steliarova-Foucher et al. 2004) wurden Daten über den Inzidenzverlauf zu Krebs bei Kindern und Jugendlichen in Europa publiziert. Dabei wurden nur Daten von Krebsregistern herangezogen, die Mindeststandards entsprachen. Die nachfolgende Abbildung zeigt die auswertbaren Daten der beteiligten Länder in Prozent. Österreich ist aufgrund der unzureichenden Datenqualität nicht beteiligt.



Abbildung: Bevölkerungsabdeckung der Krebsregister in der Untersuchung für Kinder und Jugendliche in Prozent (Quelle: Steliarova-Foucher et al. 2004).

Den Inzidenzverlauf der lymphatischen Leukämie in der Altersgruppe 0-14 zeigt die nachfolgende Abbildung, getrennt nach Ost- und Westeuropa in Dezennien. Zum einen ist ein Anstieg in den letzten drei Jahrzehnten erkennbar, zum anderen ein Unterschied zwischen Ost- (blaue Kurven) und Westeuropa (rote Kurven), mit höheren Inzidenzraten für Westeuropa.

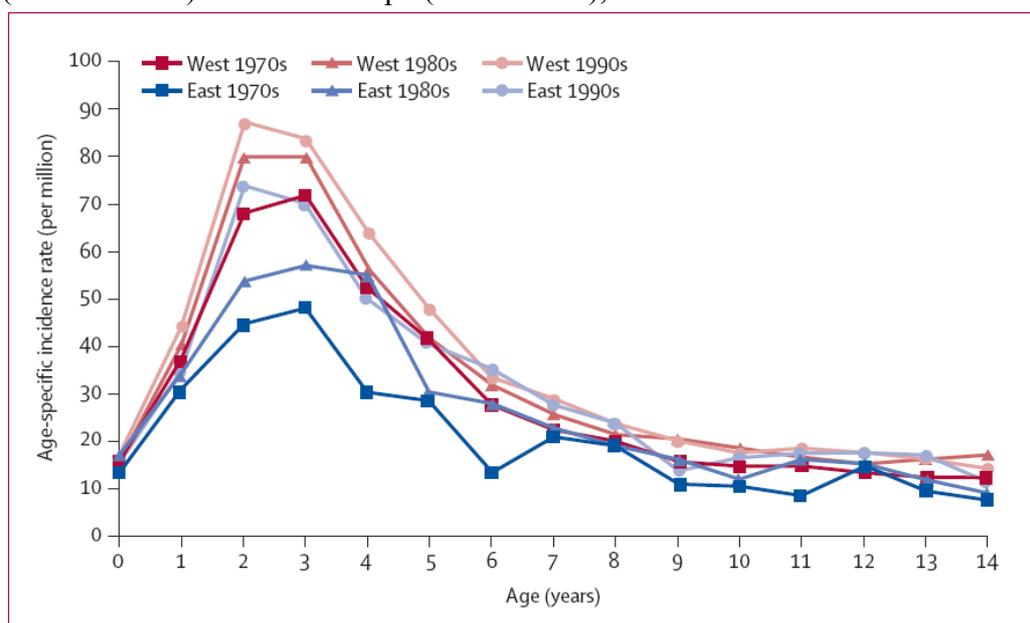


Abbildung: Altersspezifische Inzidenzraten der lymphatischen Leukämie bei Kindern und Jugendlichen bis 14 Jahre (Quelle: Steliarova-Foucher et al. 2004).

(Milham und Ossiander 2002) führen an, dass zur Frage der Beziehungen zwischen einer Exposition gegenüber magnetischen Wechselfeldern und Krebserkrankungen incl. Leukämie seit den frühen 80er Jahren etwa 100 epidemiologische Untersuchungen bei Arbeitnehmern und etwa 40 bei der Wohnbevölkerung publiziert wurden (NIEHS 1999). Weiters geben sie an, dass von den etwa 500 einzelnen Risikoschätzern für jeden verringerten Risikoschätzer sechs erhöhte Risikoschätzer vorliegen.

Bis dato liegen zur Frage der kindlichen Leukämie und der Exposition gegenüber magnetischen Wechselfeldern eine Metaanalyse (Wartenberg 1998) und zwei gepoolte Auswertungen (Ahlbom et al. 2000, Greenland et al. 2000) vor.

Wartenberg kommt bei der Auswertung von 16 Studien zu kindlichen Leukämien zu folgendem Schluss: „... the data provide relatively strong and consistent support for a somewhat weak elevated risk of leukemia for children living in proximity to power lines.“

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Verteilung der Risikoschätzer als odds ratio (OR). Dabei bedeutet ein OR über 1,0 ein erhöhtes Risiko, ein  $OR < 1,0$  ein erniedrigtes Risiko. Z.B. entspricht ein OR von 1,6 einem um den Faktor 1,6 oder 60% erhöhten Risiko. Es ist aus dieser Abbildung klar ersichtlich, dass die überwiegende Mehrheit der ORs über 1,0 liegt. Die Auswertung zeigt auch die weiten Konfidenzintervalle bei vielen, aber nicht bei allen Studien, die die Zahl 1 einschließen.

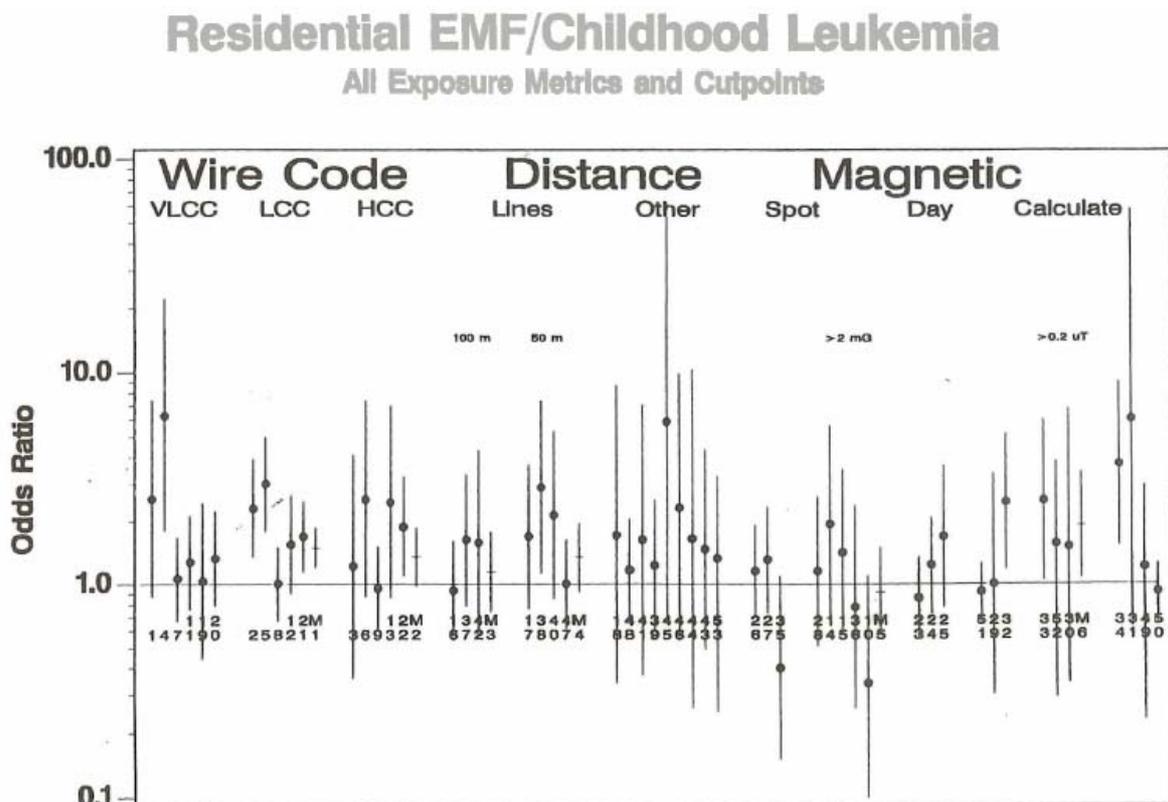


Abbildung: Ergebnisse der Analyse der einzelnen Studien über die Beziehung zwischen elektrischen und magnetischen Feldern und Krebs bei Kindern und der ausgewählten Metaanalyse (Quelle Wartenberg 1998).

Die gepoolte Analyse (Ahlbom et al. 2000) wertete neun Fall-Kontroll-Studien (n=3203/10338) zu kindlichen Leukämien und magnetischen Wechselfeldern gemeinsam aus. Unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht wurde unter Heranziehung einer Referenzkategorie von  $<0,1\mu\text{T}$  (100nT) für die Expositionsklasse  $>0,4\mu\text{T}$  (400nT) ein signifikant erhöhtes OR 2,00(1,27-3,13) ermittelt (siehe Abbildung, letzte Zeile „All studies“). Eine Auswertung der akuten lymphatischen Leukämie unter Berücksichtigung von Alter, Geschlecht und Verkehrsabgasen ergab für die Expositionsklasse  $>0,4\mu\text{T}$  (400nT) ein signifikant erhöhtes OR 3,24(1,22-8,63).

Type of study	0.1-<0.2 $\mu\text{T}$	0.2-<0.4 $\mu\text{T}$	$\geq 0.4 \mu\text{T}$	O	E	Continuous analysis
<b>Measurement studies</b>						
Canada	1.29 (0.84–1.99)	1.39 (0.78–2.48)	1.55 (0.65–3.68)	13	10.3	1.21 (0.96–1.52)
Germany	1.24 (0.58–2.64)	1.67 (0.48–5.83)	2.00 (0.26–15.17)	2	0.9	1.31 (0.76–2.26)
New Zealand	0.67 (0.20–2.20)	4 cases/0 ctrls	0 cases/0 ctrls	0	0	1.36 (0.40–4.61)
UK	0.84 (0.57–1.24)	0.98 (0.50–1.93)	1.00 (0.30–3.37)	4	4.4	0.93 (0.69–1.25)
USA	1.11 (0.81–1.53)	1.01 (0.65–1.57)	3.44 (1.24–9.54)	17	4.7	1.30 (1.01–1.67)
<b>Calculated fields studies</b>						
Denmark	2.68 (0.24–30.45)	0 cases/8 ctrls	2 cases/0 ctrls	2	0	1.50 (0.85–2.65)
Finland	0 cases/19 ctrls	4.11 (0.48–35.1)	6.21 (0.68–56.9)	1	0.2	1.15 (0.79–1.66)
Norway	1.75 (0.65–4.72)	1.06 (0.21–5.22)	0 cases/10 ctrls	0	2.7	0.78 (0.50–1.23)
Sweden	1.75 (0.48–6.37)	0.57 (0.07–4.65)	3.74 (1.23–11.37)	5	1.5	1.31 (0.98–1.73)
Summary						
Measurement studies	1.05 (0.86–1.28)	1.15 (0.85–1.54)	1.87 (1.10–3.18)	36	20.1	1.17 (1.02–1.34)
Calculated fields studies	1.58 (0.77–3.25)	0.79 (0.27–2.26)	2.13 (0.93–4.88)	8	4.4	1.11 (0.94–1.30)
All studies	1.08 (0.89–1.31)	1.11 (0.84–1.47)	2.00 (1.27–3.13)	44	24.2	1.15 (1.04–1.27)

Abbildung: Auswertung für Einzelstudien und die gepoolte Analyse, alle Leukämien. (Quelle: Ahlbom et al. 2000)

In einer gepoolten Analyse wertete (Greenland et al. 2000) unter anderem elf Fall-Kontroll-Studien (n=2078/5516) mit Daten zu kindlichen Leukämien und magnetischen Wechselfeldern gemeinsam aus. Unter Berücksichtigung von Alter, Geschlecht, sozialen und ökonomischen Variablen wurde unter Heranziehung einer Referenzkategorie von  $<0,1\mu\text{T}$  (100nT) für die Expositionsklasse  $>0,3\mu\text{T}$  (300nT) ein signifikant erhöhtes OR 2,06(1,4-3,01) errechnet. Damit ergeben die beiden Auswertungen, basierend auf zum Teil sich überschneidenden Ausgangsstudien, ein übereinstimmendes Ergebnis.

Zusätzlich wurde zwischenzeitlich die größte einzelne Fall-Kontroll-Studie (Draper et al. 2005) zu den Endpunkten Leukämie (n=9700/9700), ZNS/Hirntumoren (n=6605/6605) und andere Krebsdiagnosen (n=12776/12776) bei Kindern (Alter 0-14 Jahre) und dem Zusammenhang mit der Entfernung zu 275kV- und 400kV- und ein kleiner Anteil an 132kV-Freileitungen in England und Wales (zusammen ca. 7000 km Leitungslänge) publiziert. Die Gruppe der Kinder mit Entfernungen  $>600\text{m}$  wurde als Referenzgruppe festgelegt und mit den Expositionen in den Distanzen, 0-49m, 50-69m, 70-99m, 100-199m und 200-599m verglichen. Die Risikoschätzer lagen für alle Distanzklassen über 1,0 mit einer signifikanten Expositions-Wirkungsbeziehung von p for the trend  $<0,01$ . Die Adjustierung für den sozioökonomischen Status änderte an den Risikoschätzern nichts.

Distance, <i>d</i> (metres)	1/ <i>d</i>	RR (95% CI)
0-49	0.040	1.67 (0.40 to 6.97)
50-69	0.017	1.51 (0.48 to 4.79)
70-99	0.012	2.02 (0.76 to 5.39)
100-199	0.007	1.64 (1.00 to 2.71)
0-199	0.010	1.69 (1.13 to 2.53)
200-599	0.003	1.23 (1.02 to 1.49)
$\geq 600$ (reference group)	0.000	1.00

Abbildung: RR unadjustiert für verschiedene Entfernungen zu Hochspannungsleitungen (Draper et al. 2005).

Eine Fall-Kontroll-Studie (N=251/495) aus Japan (Kabuto et al. 2006) zeigte ein signifikant erhöhtes Risiko  $OR=4,67(1,15-19,0)$  für akute lymphatische Leukämie bei 0-15 jährigen Kindern und Expositionen gegenüber magnetischen Wechselfeldern ermittelt als Ein- Wochenmittelwert im Kinderzimmer von über 400nT gegenüber der Referenzkategorie 100nT. Das Ergebnis erwies sich gegenüber Covariablen und Sensitivitätsanalysen für Selektionsbias als stabil.

In einer prospektiven Kohortenstudie (Foliart et al. 2006) über 5,07 Jahre (Median des follow-up) wurde die Überlebensrate bei 361 Kindern im Alter von 1 bis 15 Jahren mit akuter lymphatischer (B-Zell) Leukämie in den USA untersucht. In diesem Zeitraum verstarben 28 Kinder vorwiegend durch einen Rückfall (Rezidiv). Innerhalb der ersten Monate nach der Erstdiagnose wurden magnetische Wechselfelder durch ein personal monitoring über 24 Stunden erhoben. Obwohl nur diese erste Messreihe zur Auswertung herangezogen werden konnte (die Teilnahmeraten bei den weiteren Messungen nach einem und zwei Jahren waren zu gering) zeigten sich bei den Kindern mit Expositionswerten über 300nT für einen tödlichen Verlauf ein HR (hazard ratio) von  $4,53(1,49-13,76)$  gegenüber der Referenzkategorie 100nT. Auch wenn diese Arbeit noch als hypothesengenerierend einzustufen ist und weiterführender Studien bedarf, passt sie sich in das bestehende Bild ein.

Speziell im Bereich epidemiologischer Untersuchungen ist die Qualifizierung und Quantifizierung der (historischen) Exposition eine der größten Schwierigkeiten. Zu Beginn der Untersuchungen etwa zu Magnetfeldern von Hochspannungsleitungen wurde versucht, über Berechnungen der Feldstärken über Draht-Codes (wire codes) die Exposition zu bestimmen. Diese Vorgangsweise hat allerdings den Nachteil, dass andere Feldquellen, die ebenfalls zu erhöhten Magnetfeldern führen, nicht erfasst werden und damit zu einer Fehlklassifikation der Exposition führen (in diesem Fall eine sog. non-differential exposure misclassification). Dies kann zu einem Verdünnungseffekt führen. Der soweit geht, dass ein Effekt nicht entdeckt wird. In weiterer Folge wurde versucht, durch so genannte Spotmessungen, das sind Kurzzeitpunktmessungen etwa vor der Haustüre, im Wohnzimmer oder im Schlafzimmer, das Magnetfeld zu bestimmen. Der Nachteil dieser Methode liegt darin, dass durch die in der Regel zum Teil stark schwankenden Magnetfeldstärken ausgehend von Hochspannungsleitungen, Erdkabeln, Ausgleichsströmen, Trafos und Hausleitungen (z.B. Nachtstromheizungen) wieder eine Fehlklassifikation der Exposition erfolgt.

So ist es zielführender eine kleinere gut definierte Stichprobe zu untersuchen, als ein großes Kollektiv mit schlechter Expositionsanalyse. Auch die personenbezogene Expositions-messung über zumindest 24 Stunden bringt gewisse Nachteile mit sich, da grundsätzlich aktuelle Messungen nicht unbedingt gut mit historischen Expositionen übereinstimmen müssen und hier der wire-code je nach Region, soweit alle relevanten Leitungen erfasst werden, wieder Vorteile haben kann. Entscheidend für die Qualität epidemiologischer Studien ist in diesem Zusammenhang, dass die Exposition im ätiologisch relevanten Zeitraum bestmöglich erfasst wird und Fälle/Kontrollen mit unvollständiger Expositionsanalyse von der Risikoberechnung entweder ausgeschlossen, oder dass in der Analyse zumindest dafür adjustiert wird. Dies ist nicht bei allen Untersuchungen der Fall und ist bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen.

Wichtig ist auch die Unterscheidung und getrennte Auswertung der Tages- und Nachtphase. So konnte (Michaelis et al. 1997b) bei einem Trennpunkt von 200nT eine deutliche Erhöhung des Risikoschätzers für kindliche Leukämien von  $OR 2,3 (0,8-6,7)$  auf  $OR 3,8 (1,2-11,9)$  bei Heranziehung der Messwerte für den Nachtzeitraum zeigen. Bei Beschränkung der Auswertung auf die Altersgruppe der 0-4-jährigen erhöhte sich das Risiko auf  $OR 7,4 (1,4-38,4)$ . Diese Randbedingungen sind bei der Interpretation von Studienergebnissen zu berücksichtigen, da

diese Einflüsse in der Regel dazu führen, dass der Risikoschätzer in Richtung Null verschoben wird und tatsächliche Beziehungen nicht sichtbar werden. Die wahren Risiken sind in der Regel immer und zum Teil deutlich höher als über epidemiologische Studien erfassbar.

Ziel epidemiologischer Untersuchungen ist die Feststellung von sog. Expositions-Wirkungs-Beziehungen. Dies erfolgt üblicherweise durch Aufteilung der untersuchten Stichprobe in verschiedene Expositionsklassen, sog. Quantile wie etwa Tertile (3 Klassen), Quartile (4 Klassen) oder Quintile (5 Klassen) etc.. Dabei ist das erste Quantil die Referenzgruppe (Klasse mit der geringsten Exposition). Im Weiteren wird im Vergleich zur Referenzgruppe für die übrigen Expositionsklassen das sog. relative Risiko (RR) oder odds ratio (OR) in unadjustierten oder für verschiedene Covariaten (z.B. Alter, Geschlecht, vermutete andere Risikofaktoren etc.) adjustierten Modellen berechnet.

Der Referenzgruppe wird dabei im Modell ein RR oder OR von 1 zugeordnet. Ergibt sich nun z.B. im Verhältnis dazu im 2. Quantil ein RR/OR von 2,1, so bedeutet dies, dass statistisch im Mittel für alle  $n$  aus dem 2. Quantil ein um 210% höheres Risiko/Chancenverhältnis für die untersuchte Ausprägung (z.B. kindliche Leukämie) beobachtet wurde.

In verschiedenen Arbeiten zur Frage eines Zusammenhanges zwischen Magnetfeldern und dem Endpunkt Krebs wurde anstelle der Verwendung von Quantilen ein sog. Cutpoint (Trennpunkt) oder eine fixe Klasseneinteilung (z.B.  $0-0,1\mu\text{T}(100\text{nT})$  als Referenzgruppe versus  $0,1-0,2\mu\text{T}(200\text{nT})$  sowie  $0,2-0,4\mu\text{T}(400\text{nT})$ ,  $>0,4\mu\text{T}(400\text{nT})$ ) verwendet. Bei einem Cutpoint wird das Risiko/Chancenverhältnis einer Gruppe unter einem bestimmten Expositionswert mit einer Gruppe mit Expositionen über eben diesem Wert verglichen (z.B.  $0,2\mu\text{T}(200\text{nT})$ ). Die Aussagekraft dieser Auswertungsmethode ist ohne Wissen über die Verteilung der Expositionen in den beiden Gruppen nur eingeschränkt interpretierbar.

Die Verwendung einer fixen Klasseneinteilung, verhindert bei einer Beschränkung auf diese Methode den weiteren Erkenntnisgewinn, da die Untersuchung im unteren Dosisbereich, dem gegenüber der größte Teil der Bevölkerung exponiert ist, verhindert wird. Da zumeist in der Expositionsklasse 0 bis  $0,1\mu\text{T}(100\text{nT})$  etwa 95% der Stichprobe vertreten ist, kann auch die statistische Power beschnitten werden. In Summe führen diese Vorgehensweisen uU zu einer Verschiebung des Effektschätzers in Richtung Null. Im Bereich der Epidemiologie und Umweltepidemiologie ist die statistische Auswertung über Quantile die methodisch korrekte Vorgangsweise. Dabei ist, um eine Vergleichbarkeit zu erreichen, zusätzlich die Auswertung über eine fixe Einteilung sinnvoll.

Die nachfolgenden drei Beispiele sollen zeigen, dass einer der zentralen Punkte bei der statistischen Auswertung die Gewährleistung einer gering belasteten Gruppe als Referenzgruppe darstellt.

### **Beispiel 1**

Die Auswertung der Fall-Kontroll-Studie zu kindlichen Leukämien (Michaelis et al.1997a) ( $n=129/328$ ) für Kinder im Alter  $< 14$  Jahre ergab für die Auswertung mit einem cut-point von  $0,2\mu\text{T}(200\text{nT})$  (ermittelt als Medianwert des magnetischen Wechselfeldes über Nacht im Kinderzimmer) ein OR 3,9(0,9-16,9). Zusätzlich wurden die odds ratios in  $0,01\mu\text{T}(10\text{nT})$  Schritten für den Median des 24 Stundenwertes im Kinderzimmer von  $0,05(50\text{nT})$  bis  $0,25\mu\text{T}(250\text{nT})$  ermittelt. Die nachfolgende Abbildung zeigt, dass bei Werten ab  $0,1\mu\text{T}(100\text{nT})$  ein Anstieg des Risikos beobachtet werden kann. Dazu wird bemerkt, dass diese Auswertung nicht mit einer Expositions-Wirkungs-Kurve, die sich etwa durch Kontrastierung z.B. mit Quartilen ergäbe, verglichen werden darf. Daten zum 25er Perzentil sind in der Publikation nicht angeführt, jedoch beträgt der 24-Stunden Median (50er Perzentil)

0,025 $\mu$ T(25nT)! Eine derartige Kontrastierung wurde nicht vorgenommen, obwohl diese Art der statistischen Auswertung die Methode der Wahl ist. Die cut-point Methode ist eine Zweiteilung und führt zu einer Unterschätzung und Verwischung des tatsächlichen Risikoschätzers.

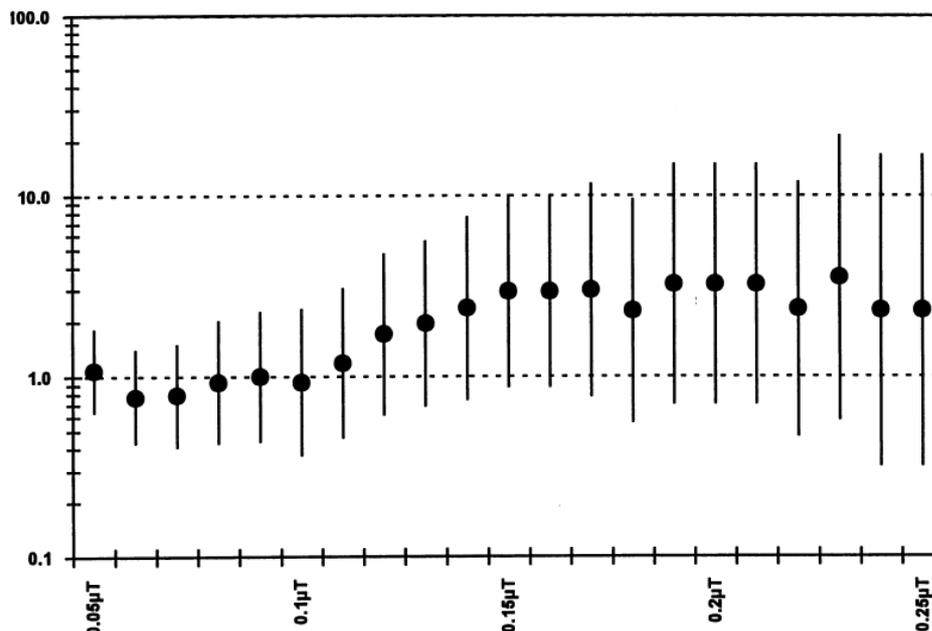


Abbildung: Funktion des odds ratio für den Vergleich von Leukämiefällen und Kontrollen basierend auf dem Median des 24 Stundenmesswertes mit cut-points von 0,05 $\mu$ T(50nT)(50nT) bis 0,25 $\mu$ T(250nT)(250nT) mit einer Schrittweite von 0,01 $\mu$ T(10nT)(10nT) (Quelle: Michaelis et al. 1997a).

## Beispiel 2

In einer Kanadischen Fall-Kontrollstudie (Green et al. 1999a) (n=88/131) zu kindlichen Leukämien wurde die Magnetfeldexposition mit Personendosimetern erhoben. In der Gruppe der unter sechsjährigen fand sich ein signifikanter Zusammenhang in Form einer Expositions-Wirkungskurve. Bei Expositionswerten als Mittelwert über 24 Stunden von 0,07(70nT) bis 0,14 $\mu$ T(140nT)(140nT) zeigte sich eine erhöhtes Risiko von OR 4,0(1,1-14,4) sowie bei einem Mittelwert über 0,14 $\mu$ T(140nT)(140nT) ein OR von 4,5(1,3-15,9). Diese Studie ist eine der wenigen Arbeiten, die eine Auswertung über Quartile vornahm und zeigen konnte, dass selbst in Expositionsbereichen unter 0,1 $\mu$ T(100nT)(100nT) signifikant erhöhte Risiken beobachtet werden können.

Exposition (24h-Mittelwert) $\mu$ T	Fälle n	Kontrollen n	OR	95%CI
<0,03	14	33	1	
0,03-0,07	18	32	2,0	0,6-6,8
0,07-0,14	27	33	4,0	1,1-14,4
>0,14	29	33	4,5	1,3-15,9

Tabelle: Risiko für kindliche Leukämie im Verhältnis zum 24h- Mittelwert – Auswertung über Quartile

## Beispiel 3

Aus Deutschland liegt mit der EMF Studie II, eine Fall-Kontroll-Studie (n=690/1717) zu magnetischen Wechselfeldern (50Hz) und kindlicher Leukämie die bis zur Publikation 2001 umfangreichste Einzelstudie vor (Schüz et al. 2001). Leider werden in der Referenzkategorie bereits 625 Fälle akkumuliert – mit den entsprechenden Folgen für die Ergebnisse. Trotzdem zeigt die Auswertung für den Nachtzeitraum (Median 22:00-06:00 Uhr) einen signifikanten Zusammenhang in Form einer Expositions-Wirkungsbeziehung über 4 Expositionsklassen.

	<0,1 $\mu$ T (100nT)	0,1-<0,2 $\mu$ T (100-200nT)	0,2-<0,4 $\mu$ T (200-400nT)	$\geq$ 0,4 $\mu$ T (400nT)
Fälle (n)	625	44	14	7
OR <sub>a</sub>	1,00	1,33(0,9-1,97)	2,40(1,07-5,37)	4,28(1,25-14,7)

## Beurteilungen von Fachgremien

Wie schon bei den elektrischen Wechselfeldern angeführt, finden sich im Entwurf des Nationalen Strahlenschutzkomitees (NCRP) der USA im Frequenzbereich von nahe 0Hz bis 3kHz als „Option 2“ Expositionsrichtwerte von 0,2 $\mu$ T(200nT) für die magnetische Flussdichte (NCRP 1995). Für künftige Planungen empfiehlt der Entwurf Wohnungen, Kindergärten und Schulen nicht in Zonen mit magnetischen Flussdichten über 0,2 $\mu$ T(200nT) zu bauen bzw. sollten neue Leitungen bei bestehenden Gebäuden eine magnetische Flussdichte von 0,2 $\mu$ T(200nT) nicht überschreiten. Bei neuen Büro- und Industriebauten sollte die Exposition unter 0,2 $\mu$ T(200nT) bleiben.

Die ICNIRP-Richtlinie (ICNIRP 1998) basiert auf kurzfristigen, unmittelbaren gesundheitlichen Auswirkungen wie z. B. der Reizung peripherer Nerven und Muskeln, Schocks und Verbrennungen, die durch Berührung leitfähiger Objekte verursacht werden und erhöhten Gewebetemperaturen, die aus der Absorption von Energie während der Exposition durch EMF resultieren. Der für den Frequenzbereich von 25Hz bis 800Hz empfohlene Referenzwert für die Exposition der Allgemeinbevölkerung beträgt für magnetische Wechselfelder  $5/f$ . Bei  $f=50$ Hz ergibt sich  $5/0,050\text{kHz}=100\mu\text{T}(100.000\text{nT})$ . Bei höheren Frequenzen sinkt der Referenzwert.

1999 wurde vom National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS 1999) der USA ein Bericht zu Gesundheitseffekten elektrischer und magnetischer Felder im Frequenzbereich der Stromversorgung herausgegeben. Darin kommt die Gruppe zum Schluss, dass die Exposition gegenüber „Powerline Frequency ELF-EMF“ ein mögliches Karzinogen darstellt. Eine für das gegenständliche Vorhaben relevante Empfehlung des Berichtes ist, dass das NIEHS den Energieversorgern empfiehlt, die gegenwärtige Praxis der Expositionsreduktion bei der Situierung von Stromleitungen fortzusetzen und die Erforschung zur Reduktion der Entstehung magnetischer Felder bei Übertragungs- und Verteilungsleitungen fortzusetzen, ohne dabei neue Gefährdungen zu generieren. Wörtlich: *“NIEHS suggests that the power industry continue its current practice of siting power lines to reduce exposures and continue to explore ways to reduce the creation of magnetic fields around transmission and distribution lines without creating new hazards. We also encourage technologies that lower exposures from neighbourhood distribution lines provided that they do not increase other risks, such as those from accidental electrocution or fire.”*

Im Juni 2001 überprüfte eine Arbeitsgruppe wissenschaftlicher Experten auf Einladung der International Agency for Research on Cancer (IARC), einer Teilorganisation der WHO mit Sitz in Lyon, Studien über die Kanzerogenität von statischen und niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern (IARC 2002). Anhand der Standardklassifizierung der IARC, die an Menschen und Tieren sowie in Laborversuchen festgestellte Befunde abwägt, wurden niederfrequente magnetische Wechselfelder aufgrund von epidemiologischen Studien über kindliche Leukämien als möglicherweise krebserregend für den Menschen eingestuft (Einstufungs-Gruppe 2B).

Von der kalifornischen Gesundheitsbehörde (California Department of Health) wurde im Zeitraum 1993 bis 2002 unter dem Titel „California EMF-Program“ eine Evaluierung der möglichen Risiken durch elektrische und magnetische Felder bei Stromleitungen, Hausinstallationen, Elektroarbeitsplätzen und -geräten durchgeführt (CDH 2002). Der im Herbst

2002 veröffentlichte Endbericht listet umfassende wissenschaftliche Daten zu gesundheitlichen Wirkungen auf und führt eine Risikoabschätzung durch. Dieser Bericht zählt zu den derzeit aktuellsten Risikoabschätzungen über den Zusammenhang zwischen niederfrequenten magnetischen Wechselfeldern und Gesundheit. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Bewertung des California Department of Health (DHS).

Gesundheitsendpunkt	Einstufung	Gefahr
Leukämie beim Kind	2B bis 1	Möglich bis Definitiv
Leukämie beim Erwachsenen	2B bis 1	Möglich bis Definitiv
Hirntumor beim Erwachsenen	2B	Möglich
Fehlgeburt	2B	Möglich
Amyotrophe Lateralsklerose	2B	Möglich
Hirntumor beim Kind, Brustkrebs, Alzheimer, Selbstmord, plötzlicher Herztod	3	Inadequat

### Weitere relevante Wirkungsdaten

Von Relevanz für die Beurteilung der kanzerogenen Wirkung magnetischer Wechselfelder ist die 2004 publizierte Arbeit einer Gruppe der Tierärztlichen Hochschule Hannover (Fedrowitz et al. 2004). Diese konnte klären, warum im Tierversuch die Arbeitsgruppe um Löscher bei weiblichen Ratten bei Induktion mittels DMBA (7,12-dimethylbenz(a)anthracene) jeweils ein signifikant erhöhtes Brustkrebsrisiko bei zusätzlicher Exposition gegenüber magnetischen Wechselfeldern fand (Baum et al. 1995, Mevissen et al. 1998, Thun-Battersby et al. 1999), eine andere Arbeitsgruppe um Anderson jedoch nicht (Anderson et al. 1999, Boorman et al. 1999a, Boorman et al. 1999b, Anderson et al. 2000). Die Erklärung liegt in der genetisch unterschiedlichen Empfindlichkeit der verwendeten Rattenstämme. Dies wurde in einer weiteren Arbeit (Fedrowitz und Löscher 2006) unter Ausdehnung auf andere Rattenstämme vertieft und bestätigt.

Bisher wurden die unterschiedlichen Ergebnisse aus diesen Tierversuchen als unschlussig bezeichnet und für die Einstufung nicht herangezogen. Mit der nun vorliegenden Klärung erhalten die Ergebnisse aus Tierversuchen einen neuen Stellenwert und ist in Zusammenschau mit den Ergebnissen zu Chromosomenschäden im Tierversuch (Lai und Singh 2004), siehe nächster Absatz, eine Einstufung als definitives Karzinogen für den Menschen angezeigt.

Eine 2004 publizierte Untersuchung (Lai und Singh 2004) zeigte signifikant mehr Chromosomenbrüche in Hirnzellen von Ratten, die über 24 Stunden einem magnetischen Wechselfeld von 10µT(10.000nT), 60Hz Sinus, ausgesetzt waren. Eine Verdoppelung der Befeldungsdauer auf 48 Stunden zeigte noch stärkere Effekte im Sinne eines kumulativen Effekts. In einem zweiten Versuch wurde der mögliche Wirkmechanismus untersucht. Dazu wurden Ratten 2 Stunden einem magnetischen Wechselfeld von 500µT(500.000nT) ausgesetzt. Ratten, die vor der Befeldung Trolox (Vitamin E Analogon), 7-Nitroindazole (Stickstoffoxidsynthesehemmer) oder Deferiprone (Eisenchelatbildner) erhielten, zeigten keine Chromosomenschäden. Die Autoren (Lai und Singh 2004) nehmen an, dass eine akute Exposition gegenüber magnetischen Wechselfeldern über einen eisenabhängigen Prozess, wie z.B. die Fentonreaktion, die direkte Bildung von freien Radikalen sowie die Bildung indirekt über eine Stoffwechsellkaskade und das Stickstoffmonoxid (NO) auslöst.

Als einer der zentralen pathophysiologischen Mechanismen in der Entstehung und Entwicklung von chronischen Krankheiten sowie Krebs hat sich in den letzten Jahren der Bereich der reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) und reaktiven Stickstoffspezies (RNS), die im folgenden unter dem Begriff „freie Radikale“ zusammengefasst werden, etabliert. Freie Radikale sind hochreaktive Stoffwechselprodukte, die endogen (Mitochondrien, Cytochrom P450, Makrophagen, Peroxisomen) und exogen (Eisen und Kupfer via Fenton Reaktion, ionisierende Strahlung) entstehen und in einer ständigen Balance mit antioxidativen Regelungsvorgängen stehen. Wenn die antioxidativen Kontrollmechanismen erschöpft oder überfordert sind, verlagert sich das Redoxgleichgewicht der Zelle in Richtung oxidativer Stress mit der Folge eines erhöhten Potentials für eine Schädigung der DNA im Zellkern, der DNA der Mitochondrien, von Lipiden und Proteinen. Nichtreparierte Schäden an der DNA können zu Mutationen und in weiterer Folge zu einem erhöhten Krebsrisiko führen. Neben der direkten Schädigung der Kern- und Mitochondrien-DNA können auch Interaktionen mit DNA-Reparaturmechanismen zu oxidativen Schäden führen. Weiters beeinflussen freie Radikale Zellsignalwege für die Kontrolle des Zellwachstums und können auch auf diesem Weg die Entstehung von Krebs beeinflussen. Die durch freie Radikale ausgelöste Modifikation der Genexpression hat direkte Auswirkung auf die Zellteilung und den Zelluntergang (Apoptose). DNA-Schäden, Mutationen und veränderte Genexpression sind Schritte im Prozess der Krebsentstehung (Touyz 2004, Young und Woodside 2001, Klauning und Kamendulis 2004).

Ein wichtiger Faktor im Hinblick auf krebsunterdrückende Effekte ist die Rolle des Melatonin (N-acetyl-5-methoxytryptamine) mit seinen vielfältigen Funktionen. Melatonin wird unter anderem als Neurohormon bei Dunkelheit in der Zirbeldrüse produziert. Es hat eine wichtige Rolle in zahlreichen physiologischen und pathophysiologischen Prozessen wie etwa der Regulation des Tag-Nacht-Rhythmus, antioxidative und immunmodulierende Funktionen. Melatonin hat krebsunterdrückende Effekte etwa bei Brustkrebs, Prostatakrebs, Eierstockkrebs, Hautkrebs, Leukämie und Leberkrebs (Büyükcavci et al. 2006, Henshaw und Reiter 2005, Blask et al. 1999).

Es besteht ausreichende, schlüssige und vernetzte Evidenz aus Zellversuchen (Ahuja et al. 1999, Ivancsits et al. 2002, Ivancsits et al. 2003, Ivancsits et al. 2005, Winker 2005, Moretti et al. 2005, Wolf et al. 2005) und Tierversuchen (Beniashvili et al. 1991, Lai und Singh 1997a, Lai und Singh 1997b, Mevissen et al. 1998, Thun-Battersby et al. 1999, Svedenstal et al. 1999, Lai und Singh 2004, Fedrowitz et al. 2004, Fedrowitz und Löscher 2006), dass magnetische Wechselfelder im Wege freier Radikale zum Teil im Verbund mit Melatonin unter anderem zu Schäden an der DNA führen können (Übersichten siehe Simko und Mattson 2004, Henshaw und Reiter 2005). Einige dieser Arbeiten konnten dosisabhängige Zusammenhänge zeigen.

Ebenso besteht Evidenz, dass magnetische Wechselfelder die Wirkung von Tamoxifen (Therapeutikum für Brustkrebs) an Brustkrebszellen *in vitro* hemmen können (Blackman et al. 2001, Ishido et al. 2001, Girgert et al. 2005).

Epidemiologische Untersuchungen zeigen, dass die Exposition gegenüber magnetischen Wechselfeldern unter anderem mit einer Risikoerhöhung für bestimmte Krebsformen und neurodegenerativen Krankheiten einhergehen können (Übersichten siehe Stevens und Davis 1996, Erren 2001, IARC 2001, CDH 2001, Henshaw und Reiter 2005).

Bis vor kurzem erfolgte die Bestimmung der Exposition gegenüber magnetischen Wechselfeldern in der Regel als Mittelwert. Die im Jahr 2000 publizierten Ergebnisse aus Kalifornien zeigten erstmals einen Zusammenhang zwischen Fehlgeburten und dem erhobenen Maximalwert. Die beiden epidemiologischen Untersuchungen, eine Fall-Kontroll-Studie (Lee et al. 2002) und eine prospektive Kohortenstudie (Li et al. 2002), zeigten einen signifikanten

Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Fehlgeburten in den ersten 20 Schwangerschaftswochen und den mittels Personendosimeter über 24 Stunden gemessenen magnetischen Wechselfeldern (60Hz), und zwar mit den gemessenen Spitzenwerten im Bereich  $1,6\mu\text{T}(1.600\text{nT})$  und darüber, jedoch nicht mit den erhobenen Mittelwerten. Das 25. Perzentil betrug  $1,6\mu\text{T}(1.600\text{nT})$  – das bedeutet, dass 75% der Frauen gegenüber Magnetfeldspitzen von  $1,6\mu\text{T}(1.600\text{nT})$  und mehr exponiert waren. 40% aller Fehlgeburten waren mit Magnetfeldern  $>1,6\mu\text{T}(1.600\text{nT})$  assoziiert. Bei grober Übertragung auf Österreich entspricht das ca. 5.800 Fehlgeburten pro Jahr. Zum Vergleich - Österreich beklagt ca. 1.000 Verkehrstote jährlich.

## Zielwertaspekte

Die epidemiologische Forschung hat in einer Vielzahl von Studien eine Risikoerhöhung im Zusammenhang mit erhöhten Expositionen beobachten können. Bias, Confounding oder Zufall können dieses Risikomuster, das bei unterschiedlichen Studien in unterschiedlichen Populationen gefunden wurde, nicht plausibel erklären. Die epidemiologische Evidenz bekommt nun zusätzliche Unterstützung durch den Nachweis von Chromosomenbrüchen in vitro und in vivo sowie von Brustkrebs bei Ratten im DMBA-Modell. Die gegenwärtig verfügbare Wirkungsevidenz weist unter anderem ein erhöhtes Leukämierisiko bei Werten von  $0,2(200\text{nT})$  und  $0,3\mu\text{T}(300\text{nT})$  sowie in einzelnen Arbeiten auch darunter nach. In einem ersten Ansatz wird daher die Begrenzung der Gesamtimmission durch magnetische Wechselfelder jedenfalls auf  $0,1\mu\text{T}(100\text{nT})$  bezogen auf einen gleitenden 8-Stunden-Mittelwert vorgeschlagen. Der gleitende 8-Stunden-Mittelwert soll Daueraufenthalte wie etwa Schlaf- und Arbeitszeiten berücksichtigen. Da die Vorbelastung durch magnetische Wechselfelder großen zeitlichen und örtlichen Schwankungen unterliegt, wird auf Basis der im Zuge der deutschen Kinderkrebsstudie bei Kontrollen erhobenen Immissionsverteilung das 75er Perzentil von  $0,048\mu\text{T}(48\text{nT})$  gerundet mit  $0,05\mu\text{T}(50\text{nT})$  als Vorbelastung angesetzt. Aufgrund der quadratischen Addition von Feldstärken können nunmehr zB drei weitere Feldquellen mit Immissionen zu je  $50\text{nT}$  zugleich bestehen um den Gesamtimmissionswert von  $0,1\mu\text{T}(100\text{nT})$  auszuschöpfen. Dies zeigt die nachfolgende Tabelle:

Immission Feldquelle 1	Immission Feldquelle 2	Immission Feldquelle 3	Immission Feldquelle 4
50nT	50nT	50nT	50nT
Summe 1+2 = 71nT			
Summe 1+2+3 = 87nT			
Summe 1+2+3+4 = 100nT			

Da unter Umständen an einem Immissionsort mehrere externe, durch einen Anrainer in der Regel schwer oder kaum beeinflussbare Magnetfeldquellen (z.B. Hochspannungsleitungen, Mittelspannungsleitungen, Ringschlüsse bei Verteilerleitungen etc.) bestehen können und die Ausschöpfung eines Gesamtimmissionswertes durch eine Feldquelle unverhältnismäßig erscheint, wird eine unter Praxisbedingungen realistische und pragmatische Viertelregelung vorgeschlagen. Dabei verbleiben für die spezifische Immission je  $0,05\mu\text{T}(50\text{nT})$ .

Richtwertmodelle wie das der ICNIRP, die nur auf Reizwirkungen beruhen und zwischenzeitlich nachgewiesene Langzeiteffekte nicht umfassen, können den erwarteten und erforderlichen Schutz der individuellen und öffentlichen Gesundheit nicht sicherstellen. Auch sind Vorsorgeüberlegungen, die 1999 zum gesetzlichen Schweizer Grenzwert von  $1\mu\text{T}(1.000\text{nT})$  führten überholt, da die Basis des Schweizer Grenzwertes der ICNIRP Richtwert von  $100\mu\text{T}$  ist und der Wert von  $1\mu\text{T}(1.000\text{nT})$  einfach durch eine Reduktion auf 1/100 dieses Richtwertes erfolgte – also ohne entsprechende Datenbasis, die zwischenzeitlich als „substantial body of evidence“ gegeben ist.

Daher sind Beurteilungen nach dem ICNIRP Richtwert von  $100\mu\text{T}$  oder dem Schweizer Grenzwert von  $1\mu\text{T}$  ( $1.000\text{nT}$ ) nach der heute vorliegenden wissenschaftlichen Evidenz für Langzeitwirkungen ohne jegliche Relevanz. Eine medizinische Beurteilung, die diese Evidenz ignoriert, beurteilt nicht nach dem Stand des medizinischen Wissens.

An dieser Stelle wird festgehalten, dass für die Feststellung eines möglichen, wahrscheinlichen oder definitiven kausalen Zusammenhanges zwischen Ursache und Wirkung ein lückenloses Wirkmodell nicht voraussetzt.

Künftige Untersuchungen sollten zusätzlich Transienten und Oberwellen berücksichtigen. Dies könnte zu einer geänderten – sprich strengeren Beurteilung führen.

## **Elektromagnetische Wellen (hochfrequente Strahlung)**

### **Eigenschaften**

Im Gegensatz zu den niederfrequenten Feldern sind hier das elektrische und das magnetische Feld miteinander gekoppelt: das elektrische Feld bedingt das magnetische und umgekehrt. Hochfrequente elektromagnetische Wellen pflanzen sich drahtlos im Raum fort und nehmen bei Frequenzen im MHz-Bereich und höher immer mehr auch quasioptische Eigenschaften an. Dazu zählen z.B. Reflexion an leitfähigen Oberflächen oder Beugung an Kanten. Aus diesem Grund werden sie für die Übertragung von Nachrichten als Funkwellen benutzt. Sie können über Antennen abgestrahlt und an einem anderen Ort über Antennen wieder empfangen werden. Die Information kann über verschiedene Modulationsverfahren wie z.B. durch Änderung der Frequenz, Amplitude oder Phase der Trägerwelle „aufgeprägt“ werden.

Frequenzen größer 30 kHz werden im Allgemeinen generell als Hochfrequenz bezeichnet. In der amerikanischen Sprachregelung wird jedoch der Bereich der „radiofrequenten“ Strahlung (30 kHz bis 300 MHz, radiofrequency radiation) von der „Mikrowellenstrahlung“ (300 MHz bis 300 GHz, microwave radiation) unterschieden.

Mobilfunkbasisstationen senden derzeit für GSM im Bereich 920-960 MHz und 1805-1880 MHz sowie bei UMTS-FDD im Bereich 2110 bis 2170 MHz.

### **Quellen**

Sender wie Rundfunk, Fernsehen, Mobilfunkbasisstationen (Handymasten) für GSM, UMTS etc., Mobiltelefone (Handys), Schnurlostelefone (CT1, DECT/GAP), Bündelfunk (TETRA, Tetrapol), Datenfunk, Bluetooth, Funknetzwerke (WLAN), Radaranlagen, Richtfunk, Mikrowellenherde, Funkbabyphone und -kameras, Funktastatur und -bestellsysteme, hochgetaktete Computer.

### **Wirkungen**

Im folgenden Beitrag werden epidemiologische Befunde zu Mobilfunksendeanlagen vorgestellt und kommentiert, da diese den unmittelbareren Einblick in auftretende Symptome ermöglichen. Diese Ergebnisse werden durch Arbeiten zu Expositionen bei Radar- und Rundfunkanlagen unterstützt.

Auch wenn die Exposition beim Mobiltelefon deutlich höher ist als bei Mobilfunkbasisstationen zeigen sich derzeit die massiveren Auswirkungen bei letzteren. Der Hauptgrund dafür liegt mit hoher Wahrscheinlichkeit in der längeren Expositionsdauer und der fehlenden Erholungsmöglichkeit für den Organismus. So sind z.B. Aufenthalte in einer Diskothek mit 95 dB für einige Stunden möglich, für einen erholsamen Schlaf sind jedoch Dauerschallpegel im Bereich um 35 dB erforderlich. Der Unterschied beträgt hier immerhin 60 dB das ist ein Faktor 1.000.000!

Untersuchungen zu den gesundheitlichen Auswirkungen elektromagnetischer Wellen gehen auf die 40er Jahre des 20. Jahrhunderts zurück. Im Vordergrund standen dabei Untersuchungen im hohen Dosisbereich mit der Frage der übermäßigen Erwärmung des Körpers bzw. der Bildung von Linsentrübungen (Katarakt), z.B. bei radarexponierten Personen. Dazu wurden verschiedene Tierversuche durchgeführt, die Linsentrübungen bei immer geringeren Dosen erbrachten, wenn die Linsen nicht sofort nach der Bestrahlung, sondern erst nach einer mehrwöchigen Wartezeit untersucht wurden (Quelle: Richardson 1948, zitiert in Becker 1990). Bereits damals wurden nichtthermische Wirkungen bei der Kataraktbildung diskutiert.

1959 wurde in der Zeitschrift Nature eine neue physikalische Methode zur Erzeugung von Chromosomenschäden vorgestellt (Heller und Teixeira-Pinto 1959). Die Autoren verwendeten gepulste Kurzwellen mit einer Frequenz von 27 MHz und exponierten wachsende Knoblauchwurzelzellen in einer Wasserschale für 5 Minuten diesem Feld. Im Wasser wurde keine Temperaturerhöhung festgestellt. Die Untersuchung erfolgte 24 Stunden nach der Bestrahlung. Die meisten Chromosomenbrüche wurden bei Pulsraten zwischen 80 und 180 Pulsen pro Sekunde festgestellt.

In einer Zusammenstellung von Arbeiten zur Wirkung elektromagnetischer Wellen (Sage 2000) wird die Evidenz für nachfolgende Bereiche dargestellt: Effekte auf das genetische Material (DNA), chromosomale Schäden und Mikrokern-Bildung, Effekte auf die Ornithindecaboxylase (ODC), Gentranskription und -induktion, Stressreaktion (Hitzeschockproteine), Effekte auf zellulärer Ebene (Kalzium-Ionen), zelluläre Effekte am Immunsystem, Blut-Hirn-Schranke, Blutdruck, Geschlechtsorgane, Krebs, subjektive Symptome bei Benutzern von Mobiltelefonen, neurologische Effekte, Störungen bei Neurotransmittern, Augenschädigungen, Verhaltensänderungen, Lernfähigkeit und Gedächtnis, kognitive Funktionen und Schlaf.

Auf der Basis der vorhandenen Literatur zu elektromagnetischen Wellen kommt Neil Cherry zu dem Schluss, dass elektromagnetische Strahlung etwa von Mobilfunksendeanlagen ein wahrscheinlicher Risikofaktor für nachfolgende Krankheiten ist: Krebs, insbesondere Gehirntumoren und Leukämie aber auch alle anderen Krebsarten, Herzrhythmusstörungen, Herzinfarkte, neurologische Effekte inklusive Schlafstörungen, Lernschwierigkeiten, Depressionen und Selbstmorde, Fehlgeburten und Fehlbildungen (Cherry 2000).

## **Studien zu Mobilfunksendeanlagen**

Zur Frage des Zusammenhangs zwischen Mobilfunkbasisstationen und direkten Gesundheitseffekten gibt es weltweit vier epidemiologische Arbeiten sowie eine experimentelle Kurzzeitexposition auf unterschiedlichem Publikationsniveau.

1) Ein Fragebogen zu 16 unspezifischen Krankheitssymptomen wurde an 530 Personen in Frankreich versendet, die sich auf einen Aufruf zur Teilnahme hin gemeldet hatten (Santini et al. 2002). Santini verwendete bei dieser Untersuchung die Selbstselektion. Dabei kann angenommen werden, dass sich eher Personen melden, die Beschwerden durch Mobilfunksendeanlagen vermuten. Dies hat den Nachteil, dass eine Übertragung auf die Gesamtbevölkerung quantitativ nicht möglich ist. Es schafft jedoch den Vorteil, dass Effekte

eher entdeckt werden können. Der gegenteilige Ansatz wäre nur junge gesunde Erwachsene einzuladen, die keine Beschwerden gegenüber Mobilfunksendeanlagen aufweisen dürfen.

Es zeigte sich eine Zunahme von unspezifischen Symptomen mit abnehmender selbst eingeschätzter Distanz zu Mobilfunksendern. Bei der Symptomklasse „sehr häufig“ fand sich eine signifikante Zunahme etwa für die Symptome Müdigkeit, Reizbarkeit, Kopfschmerzen, Schlafstörungen, depressive Tendenzen, Konzentrationsschwierigkeiten, Gedächtnisverlust und Schwindel gegenüber der Referenzgruppe (> 300 m Distanz). Eine Übersicht geben dazu die nachfolgende Tabelle und Abbildung.

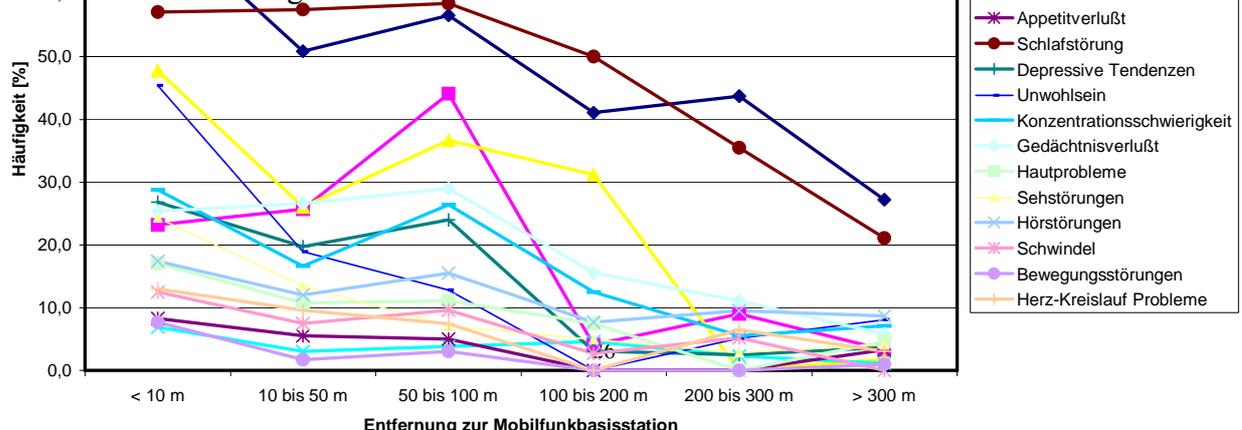
Die Zunahme der Beschwerdebhäufigkeit in der Entfernungsklasse 50-100 m deckt sich mit dem ebenfalls häufig in diesem Entfernungsbereich auftretenden Feldstärkemaximum in städtischen Bereichen. Damit konnte gezeigt werden, dass die Beschwerden eine physikalische Ursache, nämlich die elektromagnetische Strahlung der Anlage, haben.

Symptome	Distanz zur Mobilfunkbasisstation in Metern (m)					
	< 10 m	10-50 m	50-100 m	100-200 m	200-300 m	>300 m
Müdigkeit	72*	50,9*	56,6*	41,1	43,7	27,2
Reizbarkeit	23,2*	25,7*	44,1*	4,1	9	3,3
Kopfschmerzen	47,8*	26,1*	36,7*	31,2*	0	1,8
Übelkeit	6,9	3	3,8	4,6	2,3	1,1
Appetitverlust	8,3	5,5	5	0	0	3,3
Schlafstörungen	57*	57,5*	58,5*	50*	35,5	21,1
Depressive Tendenzen	26,8*	19,7*	24*	3,1	2,5	3,7
Unwohlsein	45,4*	18,9	12,8	0	5,1	8,1
Konzentrations-schwierigkeiten	28,8*	16,6	26,4*	12,5	5,5	7,1
Gedächtnisverlust	25,4*	26,6*	29*	15,6	11,1	5,8
Hautprobleme	17,1*	10,8	11,1	7,5	0	4,6
Sehstörungen	24,3*	13,5	7,1	4,9	2,8	4,1
Hörstörungen	17,4	12	15,5	7,7	9,5	8,7
Schwindel	12,5*	7,5*	9,6*	2,7	5,2	0
Bewegungs-störungen	7,7*	1,7	3	0	0	1
Herz-Kreislauf-Probleme	13*	9,6	7,4	0	6,5	3

\*) Signifikanter Unterschied ( $p < 0.05$ ) im Verhältnis zur Referenzkategorie > 300 m oder nicht exponiert für die Symptomklasse „sehr häufig“

Tabelle: Häufigkeit (%) von Beschwerden von Anwohnern (n=530) von Mobilfunk-Basisstationen als Funktion der Entfernung

Bild: Häufigkeit (%) von Beschwerden von Anwohnern von Mobilfunk Basisstationen als Funktion der Entfernung



2) In einer Querschnittstudie wurden in Österreich (Kärnten und Wien) Personen untersucht, die länger als ein Jahr in der Nähe einer Mobilfunkbasisstation lebten. Dabei wurden subjektive Symptome und Beschwerden, Schlafqualität und Merkfähigkeit abgefragt bzw. getestet. Die Exposition der Studienteilnehmer wurde hinsichtlich Mobilfunk sowie Rundfunk- und Fernsehsendern frequenzselektiv im Schlafzimmer gemessen (n=336). Das Maximum für die Summe der GSM-Mobilfunkbänder betrug  $1400 \mu\text{W}/\text{m}^2$ .

Unabhängig von möglichen Befürchtungen der Anwohner wurden signifikante Zusammenhänge zwischen der Leistungsflussdichte des GSM-Mobilfunks und Herz-Kreislauf-Symptomen gefunden. Zu den Herz-Kreislaufsymptomen zählten: Müdigkeit, Kurzatmigkeit, Herzpochen/Herzjagen, Kopfschmerzen, rasche Erschöpfung, kalte Füße und Schwindelgefühl (Proceedings Rhodos: Hutter et al. 2002). In der Publikation aus 2006 (Hutter et al. 2006) wurden Symptome einzeln ausgewertet. Dabei ergaben sich signifikante Assoziationen für nachfolgenden Symptome: Kopfschmerzen, Konzentrationsprobleme sowie kalten Hände und Füße. Wichtig sind dazu zwei Feststellungen: Die Symptome traten bei Expositionswerten deutlich unter  $1 \text{ mW}/\text{m}^2$  auf (alter Salzburger Vorsorgewert) auf. Weiters die Auswahl der Studienteilnehmer erfolgte repräsentativ und es erfolgte keine Selektion im Hinblick auf eine besonders empfindliche Gruppe. Das bedeutet, dass die gefundenen Effekte repräsentativ für die Gesamtbevölkerung sind und so stark sind, dass sie bereits innerhalb weniger Jahre sichtbar werden.

Unabhängig von möglichen Befürchtungen der Anwohner wurden signifikante Zusammenhänge zwischen der Leistungsflussdichte des GSM-Mobilfunks und den Symptomen, Kopfschmerzen, Konzentrationsprobleme sowie kalten Hände und Füßen gefunden. Die Risikoerhöhung folgte einer Expositions-Wirkungs-Beziehung. Die Auswahl der Studienteilnehmer erfolgte repräsentativ ohne Selektion einer besonders empfindlichen Gruppe. Das bedeutet, dass die gefundenen Effekte repräsentativ für die Gesamtbevölkerung sind und so stark sind, dass sie bereits innerhalb weniger Jahre sichtbar werden.

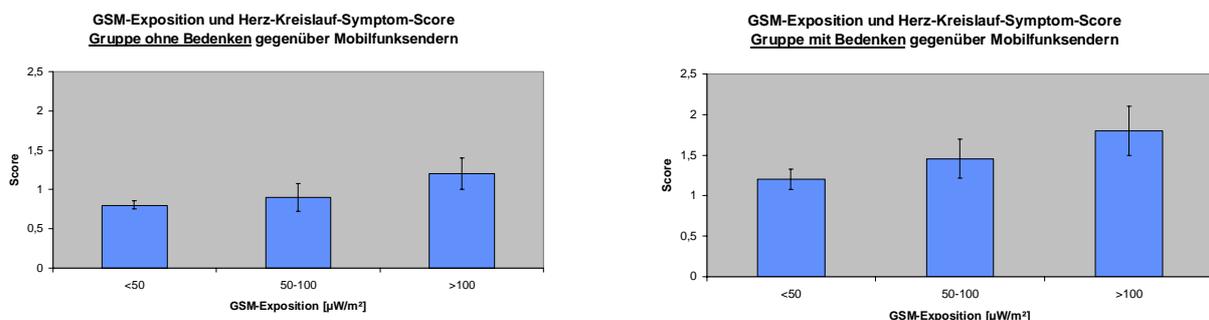


Bild: Expositions-Wirkungs-Beziehungen zwischen Herz-Kreislauf-Symptomen und GSM-Mobilfunkexpositionswerten im Schlafzimmer

3) In einer Querschnittstudie in La Nora, Murcia, Spanien wurden Anwohner im Umfeld zweier GSM Basisstationen untersucht (Navarro et al. 2003). Die Rekrutierung der Teilnehmer erfolgte über Selbstselektion. Dazu wurden in der Apotheke und beim Friseur Fragebögen aufgelegt. Der verwendete Fragebogen war mit dem von Santini ident und es wurden Symptome passend zum "Mikrowellensyndrom" erhoben. Die Leistungsflussdichte wurde breitbandig (400 MHz- 3000 MHz) über dem Bett gemessen. Die Spektrumanalyse ergab die Dominanz zweier GSM 900/1800 MHz Basisstationen. Eine Aufteilung der Exponierten in eine Gruppe mit einer Entfernung von  $< 250 \text{ m}$  (mittlere Exposition  $100 \mu\text{W}/\text{m}^2$ ) und eine Gruppe mit einer Entfernung

> 250 m Distanz (mittlere Exposition 1.100  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ) zur Basisstation zeigte für 9 Symptome eine signifikant höheren Score in der Gruppe mit der höheren Feldstärke.

	n=47	n=54	p-Wert
Mittlere Exposition	100 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1.110 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	<0,001
Mittlere Entfernung	284 m	107 m	<0,001
Gereiztheit	1,04	1,56	<0,05
Kopfschmerzen	1,53	2,17	<0,001
Übelkeit	0,53	0,93	<0,05
Appetitverlust	0,55	0,96	<0,05
Unwohlsein	0,87	1,41	<0,02
Schlafstörung	1,28	1,94	<0,01
Depression	0,74	1,3	<0,02
Schwindelgefühl	0,74	1,26	<0,05

n: Anzahl Teilnehmer in der Gruppe

p-Wert: Der p-Wert ist der Wahrscheinlichkeitswert und gilt als signifikantes Ergebnis, wenn  $p < 0,05$  ist

**Tabelle: Gruppenvergleich: Exposition gegenüber GSM Basisstationen und verschiedenen Krankheitssymptomen (Score)**

4) Die oben angeführte Querschnittsstudie von Navarro et al. wurde vom Autor dieses Kapitels mittels eines logistischen Regressionsmodells auf individueller Ebene reanalysiert (Oberfeld et al. 2004). Es fanden sich signifikante Beziehungen zwischen den gemessenen Feldstärken und 13 Symptomen in einer Expositions-Wirkungsbeziehung. Die Tabelle zeigt die für Alter, Geschlecht und Entfernung adjustierten Ergebnisse.

Symptome	Mittlere Exposition 0.05 – 0.22 V/m (6 – 128 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ )			Hohe Exposition 0.25 – 1.29 V/m (165 – 4400 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ )			p for the trend
	OR	95%-CI	p	OR	95%-CI	p	
Müdigkeit	28.53	3.03 – 268.78	0.0034	40.11	4.56 – 352.44	0.0009	0.0039
Reizbarkeit	3.12	0.91 – 10.68	0.0704	9.22	2.86 – 29.67	0.0002	0.0009
Kopfschmerzen	5.99	1.50 – 23.93	0.0113	6.10	1.80 – 20.65	0.0037	0.0050
Übelkeit	5.92	0.60 – 58.68	0.1288	12.80	1.48 – 110.64	0.0205	0.0499
Appetitmangel	6.66	0.62 – 71.52	0.1175	27.53	3,07 – 247.03	0.0031	0.0030
Schlafstörungen	10.39	2.43 – 44.42	0.0016	10.61	2.88 – 39.19	0.0004	0.0008
Depressive Tendenzen	39.41	4.02 – 386.40	0.0016	59.39	6.41 – 550.11	0.0003	0.0016
Unwohlfühlen	4.29	1.14 – 16.15	0.0314	10.90	3.16 – 37.56	0.0002	0.0007
Konzentrationsprobleme	8.27	2.01 – 34.01	0.0034	19.17	4.91 – 74.77	0.0000	0.0001
Gedächtnisstörungen	2.35	0.62 – 8.89	0.2090	7.81	2.27 – 26.82	0.0011	0.0031
Hautprobleme	7.04	1.06 – 46.62	0.0429	8.22	1.39 – 48.51	0.0201	0.0628
Sehstörungen	2.48	0.65 – 9.44	0.1830	5.75	1.68 – 19.75	0.0054	0.0186
Hörstörungen	3.89	0.99 – 15.21	0.0510	1.63	0.45 – 5.95	0.4572	0.1285
Schwindel	2.98	0.62 – 14.20	0.1712	8.36	1.95 – 35.82	0.0042	0.0117
Gangschwierigkeiten	1.32	0.30 – 5.84	0.7114	2.07	0.57 – 7.50	0.2690	0.5211
Herz-Kreislauf-Probleme	9.42	0.93 – 95.07	0.0572	17.87	1.96 – 162.76	0.0105	0.0333

Tabelle: Zusammenhang zwischen breitbandig ermittelter elektrischer Feldstärke (dominiert durch GSM 900/1800 Mobilfunkseanlagen) und verschiedenen Krankheitssymptomen

Die von den Studienteilnehmern geschätzte Entfernung zwischen Wohnung und Mobilfunksender wurde als Maß für mögliche Befürchtungen ins Modell aufgenommen und änderte das statistische Modell kaum. Auch diese Daten sind auf Grund der Selbstsektion quantitativ nicht auf die Gesamtbevölkerung übertragbar. Sehr wohl sind die Ergebnisse auf eine

nicht näher quantifizierbare Gruppe innerhalb der Bevölkerung übertragbar, die unabhängig von möglichen Befürchtungen erhebliche Störungen des Wohlbefindens und der Gesundheit bedingt durch die Einstrahlung von Mobilfunksendeanlagen erleidet.

Basierend auf diesen Daten wird die im Februar 2002 auf Basis empirischer Evidenz seitens der Landessanitätsdirektion Salzburg gegebene Empfehlung, einen Summenwert für die Dauerexposition gegenüber GSM 900/1800 Mobilfunkbasisstationen von 0,02 V/m bzw. 1  $\mu\text{W}/\text{m}^2$  (neuer Salzburger Vorsorgewert) nicht zu überschreiten, weiter gestützt.

5) Am 30. September 2003 wurde die von den drei niederländischen Ministerien für Gesundheit, Umwelt und Wirtschaft beauftragte Untersuchung des TNO Physics and Electronics Laboratory zu UMTS und GSM vorgestellt (Zwamborn et al.2003). Im Doppel-Blind-Ansatz wurden Teilnehmer zweier unterschiedlicher Personengruppen einzeln in einer geschirmten Expositions-kammer gegenüber hochfrequenter Strahlung exponiert, die von zwei Basisstationsantennen in einer Entfernung von drei Metern abgestrahlt wurde. Die Exposition der Probanden betrug bei allen verwendeten Signalen 1 V/m als Spitzenwert, entsprechend 2,65  $\text{mW}/\text{m}^2$  (2650  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ). Dies entspricht der Exposition im Hauptstrahl einer typischen Mobilfunk-Sektorantenne in einer Entfernung von etwa 125 m (10 W Antenneneingangsleistung, isotroper Antennengewinn 17 dBi). Von den drei unterschiedlichen Signalen (GSM 900 MHz, GSM 1800 MHz, UMTS 2100 MHz) wurden pro Proband nur jeweils zwei Signale verwendet, sowie jeweils eine Plazebophase ohne Feld. Die Abfolge der einzelnen Phasen war den untersuchten Personen und den unmittelbar mit dem Experiment befassten Studienbetreuern nicht bekannt (Doppelblinddesign). Die Einwirkzeit des Feldes betrug jeweils 15 Minuten, mit einer anschließenden Pause von 30 Minuten. Vor der Durchführung der Tests erfolgte eine Trainingsphase unter Anleitung und ohne Exposition.

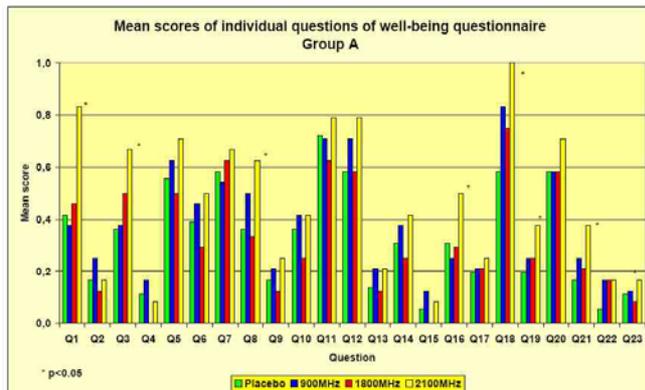
Es wurden zwei Gruppen zu je 36 Personen untersucht. Die Gruppe A umfasste Personen, die sich bei einer Umweltschutzorganisation wegen gesundheitlicher Probleme durch Mobilfunksendeanlagen gemeldet hatten. In die Gruppe B wurden Personen aufgenommen, die keine Beschwerden gegenüber Mobilfunksendeanlagen hatten. Als Endpunkte der Untersuchung wurden vier computergestützte Tests (Reaktionszeit, Gedächtnisvergleich, selektive visuelle Aufmerksamkeit und Doppelaufgabe) sowie die Erhebung des Wohlbefindens mittels Fragebogen (23 Fragen) herangezogen.

Im Hinblick auf die Auswirkungen bei den kognitiven Leistungen wurden statistisch signifikante Veränderungen beobachtet, aber ohne klares Muster betreffend Expositionsart (GSM, UMTS), kognitive Teilfunktionen und Gruppenzugehörigkeit.

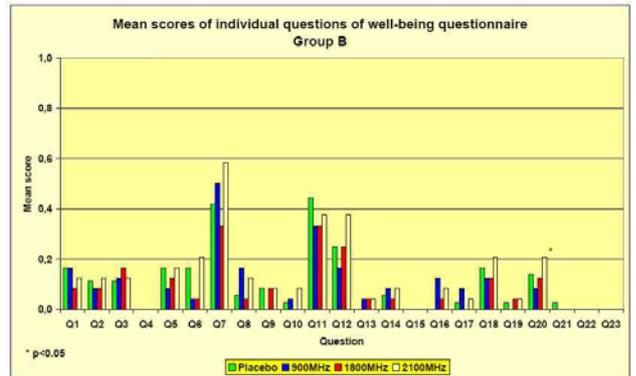
Die Ergebnisse des Fragebogens zum Wohlbefinden zeigten hingegen ein klares Bild. Beim Summenscore über alle Fragen zeigte sich bei der Exposition gegenüber dem UMTS-Signal bei beiden Gruppen eine signifikante Zunahme der Beschwerden. Bei der Gruppe B erhöhte sich der Summenscore von 2,44 (Plazebo) auf 3,08 (UMTS). Bei der Gruppe A erhöhte sich der Summenscore von 7,47 (Plazebo) auf 10,75 (UMTS). Bei den 23 Einzelfragen zum Wohlbefinden zeigte sich bei der Gruppe A auf der Ebene der einzelnen Fragen bei acht Fragen gegenüber der Plazebophase eine signifikante Verstärkung des Beschwerdegrades:

- Q 1 „Schwindel“
- Q 3 „Nervosität“
- Q 8 „Brustschmerzen oder Atemwegsbeschwerden oder Gefühl nicht genug Luft zu haben“
- Q 16 „Körperteile fühlen sich taub oder kribbelnd an“
- Q 18 „Teile des Körpers fühlen sich schwach an“

- Q 19 „sich nicht konzentrieren können“
- Q 21 „leicht zerstreut sein“
- Q 23 „wenig Aufmerksamkeit für etwas haben“



**Bild: Gruppe A: Mittlerer Score für die Einzelfragen des Fragebogens zum Wohlbefinden**



**Bild: Gruppe B: Mittlerer Score für die Einzelfragen des Fragebogens zum Wohlbefinden**

Bemerkenswert an der Untersuchung ist der deutliche Unterschied der Symptomausprägung zwischen der Gruppe A (Beschwerden bei GSM-Sendern) und der Gruppe B (keine Beschwerden bei GSM Sendern) sowohl beim Training bzw. in der Plazebosituation als auch speziell die deutliche Reaktion bei der Feldexposition. Dies ist ein weiterer Beleg für die Existenz elektrosensibler Personen.

Von hoher Bedeutung ist die deutliche Reaktion der Probanden der Gruppe A auf das verwendete UMTS-FDD Signal (W-CDMA) bei einer nur 15 minütigen Einwirkung. Diese Signalform wird im derzeit im Aufbau befindlichen UMTS-Netz eingesetzt. Die in der TNO-Studie verwendete und mittels Signalgenerator erzeugte UMTS-Signalform stellt den Fall dar, dass nur die vier dominierenden Steuerkanäle aktiv sind und kein Nutzkanal. Dieser Fall tritt an einer realen UMTS-Basisstation dann auf, wenn kein Verkehr über die Station abgewickelt wird und nur die permanent sendenden Steuerkanäle aktiv sind. Dies dürfte überwiegend zur Nachtzeit der Fall sein.

Eine 2006 in der Schweiz durchgeführte Untersuchung (Regel et al. 2006), die als Replikation der TNO Studie gedacht war ergab keinen Zusammenhang mit Beschwerden und dem untersuchten UMTS-Signal.

## **Studien zur gesundheitlichen Wirkung von Mobiltelefonen und Handteilen von Schnurlostelefonen**

Im Vordergrund der gesundheitlichen Diskussion zu den Folgen der Mobiltelefonnutzung steht die Frage des Tumorrisikos sowie des Risikos neurologischer Krankheiten.

An Ratten konnten (Lai und Singh 1995, 1996, 1997) DNA-Einzel- und Doppelstrangbrüche nach 2 h Bestrahlung (SAR 1,2 W/kg) mit 2450 MHz zeigen, die durch Melatonin verhindert werden konnten. Dieser Befund deckt sich mit der Überlegung, dass die genotoxische Wirkung bei nicht-ionisierender Strahlung indirekt über freie Radikale zustande kommt. Dieser Wirkmechanismus wurde auch für magnetische Wechselfelder (60 Hz) bei Ratten gezeigt (Lai und Singh, 2004).

Die GSM-900 Bestrahlung (SAR 0,13-1,4 W/kg) von genetisch empfindlichen Mäusen zweimal 30 Minuten täglich über 18 Monate zeigte ein 2,4-fach erhöhtes Lymphomrisiko (Repacholi et al. 1997). Die Wiederholungsuntersuchung war aufgrund methodischer Mängel nicht verwertbar (Utterige et al. 2002)

Untersuchungen auf Zellebene im Rahmen der von der EU cofinanzierten REFLEX-Studie "Risk Evaluation of Potential Environmental Hazards From Low Energy Electromagnetic Field Exposure Using Sensitive in vitro Methods" (REFLEX 2004) erbrachte Chromosomenschäden durch elektromagnetischen Wellen. Die Schädigung der in den Chromosomen vorliegenden Erbsubstanz (DNA) ist ein ernster Befund, der in der Regel zu gesetzlichen Auflagen der Risikoverringerung führt.

Bei einer Bestrahlungsstärke (spezifische Absorptionsrate - SAR) von 1,3 W/kg über 24 Stunden an menschlichen HL-60 Zellen zeigten sich bei der Frequenz 1800 MHz Einzel- und Doppelstrangbrüche der Chromosomen und Mikrokernbildungen. Doppelstrangbrüche sind für die Zelle deutlich schwieriger zu reparieren als Einzelstrangbrüche. Mit 1,3 W/kg lag die SAR deutlich unter den Teilkörperrichtwerten der ICNIRP, wie sie mit 2 W/kg (Allgemeinbevölkerung) bzw. 10 W/kg (beruflich exponierte Personen) im Bereich der Exposition des Kopfes durch ein Mobiltelefon vorgeschlagen werden.

Genotoxische Ereignisse können zum Zelltod, zu Mutationen, Replikationsfehlern, dauerhaften DNA-Schäden und Genom-Instabilitäten mit einem erhöhten Risiko für Krebs und zu verstärkter Alterung führen. In einem weiteren Versuch konnte gezeigt werden, dass durch Zugabe von Vitamin C die Mikrokernbildung durch hochfrequente Strahlung verhindert werden konnte.

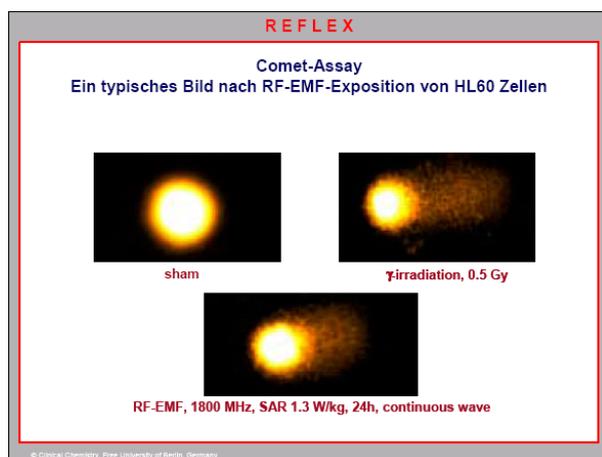


Bild: Chromosomenschäden im Kometenschweiftest durch eine hochfrequente elektromagnetische Welle 24 h, 1800 MHz, SAR 1,3 W/kg bzw. 0,5 Gy Gammastrahlung an einer HL-60 Blutzelllinie. 0,5 Gy entsprechen etwa 1600 Lungenröntgen.

In einer Arbeit der Universität Lund, Schweden, wurden Ratten einmalig zwei Stunden mit einem GSM-Mobiltelefon (900 MHz) bestrahlt und nach 50 Tagen das Gehirn auf Schäden untersucht (Salford et al. 2003). Es zeigten sich bei einer Absorptionsrate von nur 0,02 W/kg signifikant mehr „dunkle Neuronen“, das sind geschädigte Nervenzellen. Die Autoren der Studie wörtlich: „Die intensive Nutzung von Mobiltelefonen durch junge Menschen ist eine ernste Überlegung. Ein Nervenschaden in der hier beschriebenen Art muss nicht unmittelbar zeigbare Folgen haben. Jedoch kann es auf lange Sicht gesehen zu einer verminderten Reservekapazität des Gehirns führen, die durch spätere Nervenerkrankungen oder sogar als Alterung (wear and tear of aging) enthüllt wird. Wir können nicht ausschließen, dass nach einigen Jahrzehnten der

(oftmaligen) täglichen Nutzung eine ganze Generation von Nutzern negative Folgen erleidet, möglicherweise so früh wie im mittleren Alter.“

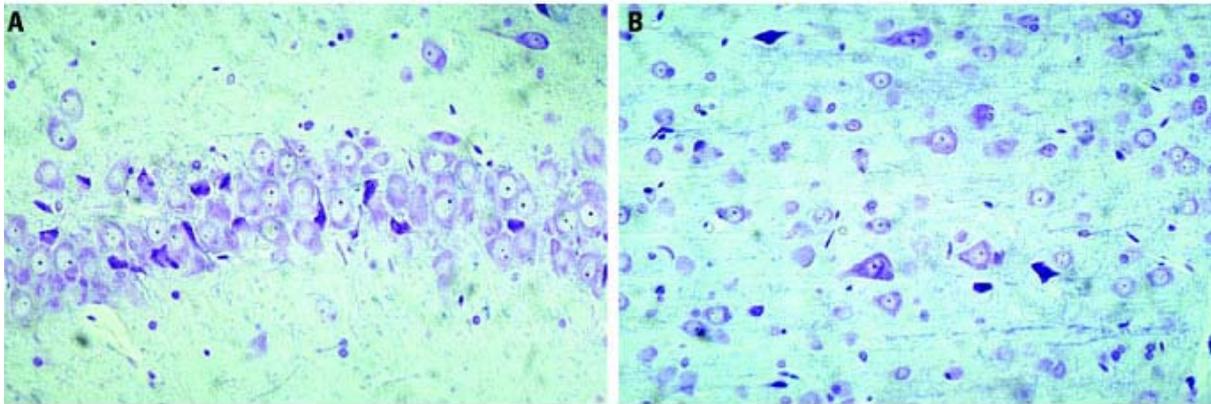


Bild: Schnitt A Pyramidenbahn, Schnitt B Hirnrinde. Zwischen den normalen Nervenzellen (große Zellen) finden sich vermehrt dunkelblaue, geschrumpfte Zellen, so genannte „dunkle Neurone“ (Vergrößerung 160-fach)

In einer Fall-Kontroll Studie untersuchte (Hardell et al. 2002) 1.617 Patienten im Alter von 20 bis 80 Jahren beiderlei Geschlechts, bei welchen im Zeitraum vom 1.1.1997 bis 30.6.2000 die Diagnose Gehirntumor gestellt wurde. Die Exposition gegenüber Mobil- und Schnurlostelefonen, ionisierender Strahlung, organischen Lösungsmitteln, Pestiziden, Asbest etc. wurde ermittelt. Die Verwendung eines analogen Mobiltelefons zeigte ein erhöhtes Risiko mit einer odds ratio (OR) von 1,3 (95% CI 1,02-1,6). Wenn die Nutzung eines analogen Mobiltelefons vor mehr als 10 Jahren begonnen wurde, erhöhte sich das Risiko auf OR 1,8 (95% CI 1,1-2,9).

Für digitale Mobiltelefone und Schnurlostelefone wurden in einer weiteren Analyse (Hardell et al. 2003) erhöhte Risiken für den Tumortypus Astrocytom auf der Seite der vorwiegenden Verwendung (ipsilateral) für analoge Mobiltelefone von OR 1,8 (95% CI 1,1-3,2), für digitale Mobiltelefone (GSM) OR 1,8 (95% CI 1,1-2,8) und Schnurlostelefone OR=1,8 (95% CI 1,1-2,9) gefunden. Für Astrocytome fand sich auf der ipsilateralen Seite ein signifikant erhöhtes Risiko auch für die Dauer der Nutzung der drei Telefontypen.

Die Ergebnisse zu den Akustikusneurinomen werden durch eine weitere Arbeit aus Schweden bestätigt, die ebenfalls eine Zunahme des Risikos in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer analoger Mobiltelefone zeigt (Lönn et al. 2004). Nach zehn Jahren betrug auf der Nutzungsseite das OR 3,9 (95% CI 1,6-9,5). Dies entspricht einem vierfach erhöhtem Risiko.

Neuere Arbeiten von (Hardell et al. 2006) zeigten nun ein etwa dreifach erhöhtes Risiko für einen bösartigen Hirntumor (Astrozytome Grade III und IV) bei Studienteilnehmern, die ihr Mobiltelefon mehr als zehn Jahre nutzten. Bei Schnurlostelefonen war die entsprechende Risikoerhöhung verdoppelt. Mit zunehmender Nutzungsdauer (akkumulierte Stunden) nahm das Risiko zu. Die Altersgruppe der unter 20-Jährigen zeigte dabei das höchste Risiko. Der Vollständigkeit halber sei auf methodische Probleme bei Studien des Interphone-Projektes der WHO hingewiesen, die dazu führen können, dass Risiken schwerer erkannt werden können (Hardell und Mild 2006).

Nach zehnjähriger Forschung zur Frage des Gesundheitsrisikos von Mobiltelefonen steht nun auf allen naturwissenschaftlichen Nachweisebenen (Zelle, Tierversuch, Beobachtung am Menschen) fest, dass bei einer Nutzungszeit von mehr als zehn Jahren das Risiko zur Ausbildung eines

bösartigen Hirntumors verdreifacht ist. Aufgrund des kumulativen Risikos ist ein weiterer Anstieg des Risikos zu erwarten.

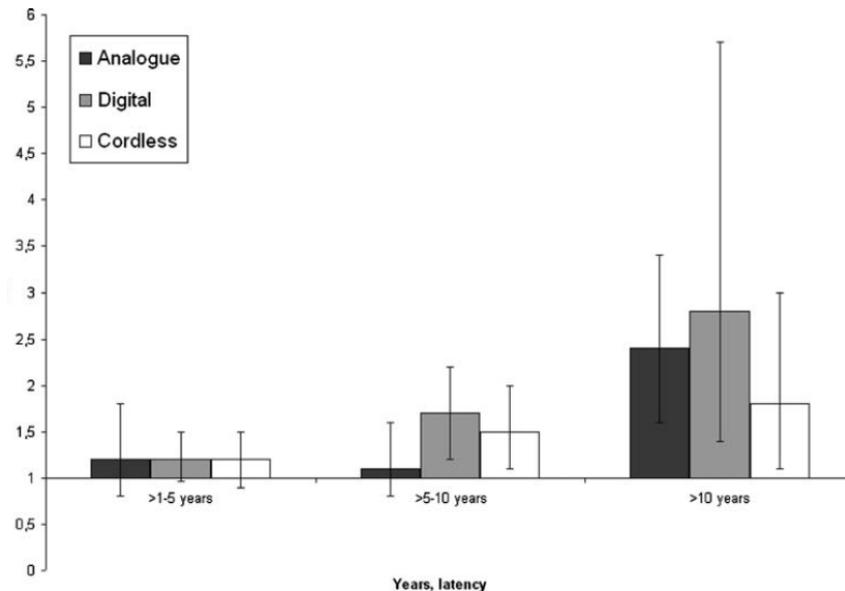


Abbildung 1: Odds ratio und 95% CI für maligne Hirntumore für drei Kategorien der Latenzzeiten unterschieden nach analogen und digitalen Mobiltelefonen und Schnurlostelefonen (Hardell et al. 2006).

**Mobil- und Schnurlostelefone sollten wenn überhaupt, dann nur sehr kurz bei wichtigen und dringenden Gesprächen Verwendung finden.**

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die biologischen und gesundheitlichen Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Wellen unabhängig vom thermischen Wirkprinzip, das die Basis der ICNIRP und WHO Empfehlungen ist, als bewiesen angesehen werden kann und sich die Forschung auf die Frage der Expositions-Wirkungs-Beziehungen bei den verschiedenen technischen Anwendungen und Signalformen im Niedrigdosisbereich, den Kombinationswirkungen z.B. mit elektrischen und magnetischen Wechselfeldern und Gleichfeldern bzw. auf die Etablierung weiterer Wirkmechanismen und vor allem verträglicher Alternativen konzentrieren sollte.

## Zielwertaspekte für Mobilfunkanwendungen

Zum Schutz der individuellen und öffentlichen Gesundheit werden basierend auf dem heutigen Kenntnisstand aus wissenschaftlichen Daten und Empirie folgende Zielwerte vorgeschlagen: GSM Sendeanlagen für die Summe worst-case im Freien  $10 \mu\text{W}/\text{m}^2$ , in Innenräumen  $1 \mu\text{W}/\text{m}^2$ . DECT-Basisstationen, WLAN-Sender, Bluetooth-Sender und UMTS-Basisstationen sollten zumindest um den Faktor 10 (bezogen auf die Leistung) strenger bewertet werden.

Schnurlostelefone und Mobiltelefone sollten generell nur für wichtige und dringende Gespräche verwendet werden. Kinder und Jugendliche sollten Schnurlostelefone und Mobiltelefone wenn überhaupt, dann nur für Notfälle verwenden.

## Literatur

Ahlbom A, Day N, Feychting M, Roman E, Skinner J, Dockerty J, Linet M, McBride M, Michaelis J, Olsen JH, Tynes T, Verkasalo PK. 2000. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. *Br J Cancer*. 2000 Sep;83(5):692-8

Ahuja YR, Vijayashree B, Saran R, Jayashri EL, Manoranjani JK, Bhargava SC. 1999. In vitro effects of low-level, low-frequency electromagnetic fields on DNA damage in human leucocytes by comet assay. *Indian J Biochem Biophys*. 1999 Oct;36(5):318-22.

Anderson LE, Boorman GA, Morris JE, Sasser LB, Mann PC, Grumbein SL, Hailey JR, McNally A, Sills RC, Haseman JK. 1999. Effect of 13 week magnetic field exposures on DMBA-initiated mammary gland carcinomas in female Sprague-Dawley rats. *Carcinogenesis*. 1999 Aug;20(8):1615-20

Anderson LE, Morris JE, Sasser LB, Loscher W. 2000. Effects of 50- or 60-hertz, 100 microT magnetic field exposure in the DMBA mammary cancer model in Sprague-Dawley rats: possible explanations for different results from two laboratories. *Environ Health Perspect*. 2000 Sep;108(9):797-802

Baum A, Mevissen M, Kamino K, Mohr U, Loscher W. 1995. A histopathological study on alterations in DMBA-induced mammary carcinogenesis in rats with 50Hz, 100 muT magnetic field exposure. *Carcinogenesis*. 1995 Jan;16(1):119-25

Becker R B. *Cross Currents, The Perils of Electropollution, the Promise of Electromedicine*, USA 1990

Beniashvili DS, Bilanishvili VG, Menabde MZ. 1991. Low-frequency electromagnetic radiation enhances the induction of rat mammary tumors by nitrosomethyl urea. *Cancer Lett*. 1991 Dec 9;61(1):75-9

Binhi V N: *Magnetobiology: Underlying Physical Problems*. Academic Press. London, San Diego 2002.

Blackman CF, Benane SG, House DE. 2001. The influence of 1.2 microT, 60Hz magnetic fields on melatonin- and tamoxifen-induced inhibition of MCF-7 cell growth. *Bioelectromagnetics*. 2001 Feb;22(2):122-8

Blackman, C.F. 1985. The biological influences of low-frequency sinusoidal electromagnetic signals alone and superimposed on RF carrier waves, in: *Interaction between Electromagnetic Fields and Cells*, (A. Chiabrera, C. Nicolini, and H. P. Schwan, eds), NATO ASI Series A97, Plenum, New York, 521-535

Burch, J.B., Reif, J.S. and Yost, M.G. 1999. Geomagnetic disturbances are associated with reduced nocturnal excretion of melatonin metabolite in humans. *Neurosci Lett* 266(3):209-212

Blask DE, Sauer LA, Dauchy RT, Holowachuk EW, Ruhoff MS, Kopff HS. 1999. Melatonin inhibition of cancer growth in vivo involves suppression of tumor fatty acid metabolism via melatonin receptor-mediated signal transduction events. *Cancer Res*. 1999 Sep 15;59(18):4693-701

Boorman GA, Anderson LE, Morris JE, Sasser LB, Mann PC, Grumbein SL, Hailey JR, McNally A, Sills RC, Haseman JK. 1999a. Effect of 26 week magnetic field exposures in a DMBA initiation-promotion mammary gland model in Sprague-Dawley rats. *Carcinogenesis*. 1999 May;20(5):899-904

Boorman GA, McCormick DL, Findlay JC, Hailey JR, Gauger JR, Johnson TR, Kovatch RM, Sills RC, Haseman JK. 1999b. Chronic toxicity/oncogenicity evaluation of 60Hz (power frequency) magnetic fields in F344/N rats. *Toxicol Pathol*. 1999 May-Jun;27(3):267-78

Buyukavci M, Ozdemir O, Buck S, Stout M, Ravindranath Y, Savasan S. 2006. Melatonin cytotoxicity in human leukemia cells: relation with its pro-oxidant effect. *Fundam Clin Pharmacol*. 2006 Feb;20(1):73-79.

California Department of Education 2004. Electromagnetic Field Setback Exemption Protocol <http://www.cde.ca.gov/ls/fa/sf/emfstbckprotocol.asp>

California Department of Health (CDH). 2002. An Evaluation of the Possible Risks From Electric and Magnetic Fields (EMFs) From Power Lines, Internal Wiring, Electrical Occupations and Appliance; California department of health; Final Report June 2002. [www.dhs.ca.gov/ehib/emf/RiskEvaluation/riskeval.html](http://www.dhs.ca.gov/ehib/emf/RiskEvaluation/riskeval.html)

Cherry N. 2000. Probable Health Effects Associated with Base Stations in Communities: The Need for Health Surveys; In: Proceedings of "International Conference on Cell Tower Siting – Linking Science & Public Health, 7<sup>th</sup> – 8<sup>th</sup> June 200, Salzburg, Austria.

Coghill RW, Steward J, Philips A. 1996. Extra low frequency electric and magnetic fields in the bedplace of children diagnosed with leukaemia: a case-control study. *Eur J Cancer Prev*. 1996 Jun;5(3):153-8

Draper G, Vincent T, Kroll ME, Swanson J. 2005. Childhood cancer in relation to distance from high voltage power lines in England and Wales: a case-control study. *BMJ*. 2005 Jun 4;330(7503):1290

Erren TC. 2001. A meta-analysis of epidemiologic studies of electric and magnetic fields and breast cancer in women and men. *Bioelectromagnetics*. 2001;Suppl 5:S105-19

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 Res*. 2004 Jan 1;64(1):243-51

Fedrowitz M, Loscher W. 2006. Power Frequency Magnetic Fields Increase Cell Proliferation in the Mammary Gland of Female Fischer 344 Rats but Not Various Other Rat Strains or Substrains. *Oncology*. 2006 Jan 16;69(6):486-498

Fews AP, Henshaw DL, Keitch PA, Close JJ, Wilding RJ. 1999a. Increased exposure to pollutant aerosols under high voltage power lines. *Int J Radiat Biol*. 1999 Dec;75(12):1505-21

Fews AP, Henshaw DL, Wilding RJ, Keitch PA. 1999b. Korona ions from powerlines and increased exposure to pollutant aerosols. *Int J Radiat Biol*. 1999 Dec;75(12):1523-31

Foliart DE, Pollock BH, Mezei G, Iriye R, Silva JM, Ebi KL, Kheifets L, Link MP, Kavet R. 2006. Magnetic field exposure and long-term survival among children with leukaemia. *Br J Cancer*. 2006 Jan 16;94(1):161-4.

- Girgert R, Schimming H, Korner W, Grundker C, Hanf V. 2005. Induction of tamoxifen resistance in breast cancer cells by ELF electromagnetic fields. *Biochem Biophys Res Commun*. 2005 Nov 4;336(4):1144-9
- Granlund-Lind R, Lind J, Brunn M. Kunskapsförlag. 2004. *Black on White – Voices and witnesses about Electro-Hypersensitivity – The Swedish Experience*”. Kunskapsförlag.
- Green LM, Miller AB, Agnew DA, Greenberg ML, Li J, Villeneuve PJ, Tibshirani R. 1999a. Childhood leukemia and personal monitoring of residential exposures to electric and magnetic fields in Ontario, Canada. *Cancer Causes Control*. 1999 Jun;10(3):233-43
- 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*. 2000 Nov;11(6):624-34
- Hardell L, Hallquist A, Hansson Mild K, Carlberg M, Pahlson, A, Lilja A. 2002. Cellular and cordless Telephones and the risk for brain tumours; *European Journal of Cancer Prevention* 2002, 11, 377–386
- Hardell L, Mild KH, Carlberg M. 2003. Further aspects on cellular and cordless telephones and brain tumours; *Int J Oncol* 2003 Feb;22(2):399-407.
- Hardell L.; Carlberg M., Mild KH. 2006. Pooled analysis of two case–control studies on use of cellular and cordless telephones and the risk for malignant brain tumours diagnosed in 1997–2003. *Int Arch Occup Environ Health* (2006) DOI 10.1007/s00420-006-0088-5.
- Henshaw DL, Reiter RJ. 2005. Do magnetic fields cause increased risk of childhood leukemia via melatonin disruption? *Bioelectromagnetics*. 2005;Suppl 7:S86-97
- Heller J H, Teixeira-Pinto A A. 1959. A New Physical Method of creating Chromosomal Aberrations; in: *Nature* No. 4665 March 28; 905-906
- Hutter H P, Moshammer H, Kundi M. 2002. Mobile Telephone Base-Stations: Effects on Health and Wellbeing; Presented at the 2nd Workshop on Biological Effects of EMFs, 7th – 11th October 2002, Rhode, Greece.
- Hutter, H.-P., Moshammer, H., Wallner, P., & Kundi, M. 2006. Subjective symptoms, sleeping problems, and cognitive performance in subjects living near mobile phone base stations. *Occupational and Environmental Medicine*, 63, 307-313.
- International Agency for Research on Cancer (IARC). 2002. *Non-Ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields*, VOL. 80 (2002), IARC, Lyon.
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). 1998. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Health Phys*. 1998 Apr;74(4):494-522.
- Ishido M, Nitta H, Kabuto M. 2001. Magnetic fields (MF) of 50Hz at 1.2 microT as well as 100 microT cause uncoupling of inhibitory pathways of adenylyl cyclase mediated by melatonin 1a receptor in MF-sensitive MCF-7 cells. *Carcinogenesis*. 2001 Jul;22(7):1043-8
- Ivancsits S, Diem E, Jahn O, Rudiger HW. 2003. Intermittent extremely low frequency electromagnetic fields cause DNA damage in a dose-dependent way. *Int Arch Occup Environ Health*. 2003 Jul;76(6):431-6

- Ivancsits S, Diem E, Pilger A, Rudiger HW, Jahn O. 2002. Induction of DNA strand breaks by intermittent exposure to extremely-low-frequency electromagnetic fields in human diploid fibroblasts. *Mutat Res.* 2002 Aug 26;519(1-2):1-13
- Ivancsits S, Pilger A, Diem E, Jahn O, Rudiger HW. 2005. Cell type-specific genotoxic effects of intermittent extremely low-frequency electromagnetic fields. *Mutat Res.* 2005 Jun 6;583(2):184-8
- Kabuto M, Nitta H, Yamamoto S, Yamaguchi N, Akiba S, Honda Y, Hagihara J, Isaka K, Saito T, Ojima T, Nakamura Y, Mizoue T, Ito S, Eboshida A, Yamazaki S, Sokejima S, Kurokawa Y, Kubo O. 2006. Childhood leukemia and magnetic fields in Japan: A case-control study of childhood leukemia and residential power-frequency magnetic fields in Japan, *Int. J. Cancer:* 199,643-650 (2006).
- Klaunig JE, Kamendulis LM. 2004. The role of oxidative stress in carcinogenesis. *Annu Rev Pharmacol Toxicol.* 2004;44:239-67.
- Lai H and Singh N P. 1995. Acute low-intensity microwave exposure increases DNA single-strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics*, Vol 16, pp 207-210, 1995.
- Lai H and Singh N P. 1996. Single- and double-strand DNA breaks in rat brain cells after acute exposure to radiofrequency electromagnetic radiation. *Int. J. Radiation Biology*, 69 (4): 513-521.
- Lai H and Singh N P. 1997a. Acute exposure to a 60Hz magnetic field increases DNA strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics.* 1997;18(2):156-65
- Lai H and Singh N. 1997b. Melatonin and N-tert-butyl-alpha-phenylnitron block 60-Hz magnetic field-induced DNA single and double strand breaks in rat brain cells. *J Pineal Res.* 1997 Apr;22(3):152-62
- Lai H and Singh N P. 1997c. Melatonin and Spin-Trap compound Block Radiofrequency Electromagnetic Radiation-induced DNA Strands Breaks in Rat Brain Cells. *Bioelectromagnetics*, 18:446-454.
- Lai H, Singh NP. 2004. Magnetic-field-induced DNA strand breaks in brain cells of the rat. *Environ Health Perspect.* 2004 May;112(6):687-94
- Lee GM, Neutra RR, Hristova L, Yost M, Hiatt RA. 2002. A nested case-control study of residential and personal magnetic field measures and miscarriages. *Epidemiology.* 2002 Jan;13(1):21-31
- Li DK, Odouli R, Wi S, Janevic T, Golditch I, Bracken TD, Senior R, Rankin R, Iriye R. 2002. A population-based prospective cohort study of personal exposure to magnetic fields during pregnancy and the risk of miscarriage. *Epidemiology.* 2002 Jan;13(1):9-20
- London SJ, Thomas DC, Bowman JD, Sobel E, Cheng TC, Peters JM. 1991. Exposure to residential electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia. *Am J Epidemiol.* 1991 Nov 1;134(9):923-37
- Lönn S, Ahlbom A, Hall P, Feychting M. 2004. Mobile Phone Use and the Risk of Acoustic Neuroma; in: *Epidemiology*, Volume 15, Number 6, November 2004, S. 653-659.
- Maes W. *Stress durch Strom und Strahlung – Baubiologie: Unser Patient ist das Haus – Band 1.* ISBN 3-923531-25-7. Neubeuern, 2005.

- McBride ML, Gallagher RP, Theriault G, Armstrong BG, Tamaro S, Spinelli JJ, Deadman JE, Fincham S, Robson D, Choi W. 1999. Power-frequency electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia in Canada. *Am J Epidemiol*. 1999 May 1;149(9):831-42
- 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. *J Toxicol Environ Health A*. 1998 Mar 13;53(5):401-18
- Michaelis J, Schüz J, Meinert R, Menger M, Grigat JP, Kaatsch P, Kaletsch U, Miesner A, Stamm A, Brinkmann K, Karner H. 1997a. Childhood leukemia and electromagnetic fields: results of a population-based case-control study in Germany. *Cancer Causes Control*. 1997 Mar;8(2):167-74
- Michaelis J, Schüz J, Meinert R, Zemann E, Grigat JP, Kaatsch P, Kaletsch U, Miesner A, Brinkmann K, Kalkner W, Karner H. 1997b. Combined risk estimates for two German population-based case-control studies on residential magnetic fields and childhood acute leukemia. *Epidemiology*. 1997 Jan;9(1):92-4
- Milham S Jr. 1982. Mortality from leukemia in workers exposed to electrical and magnetic fields. *N Engl J Med*. 1982 Jul 22;307(4):249
- Milham S, Ossiander EM. 2001. Historical evidence that residential electrification caused the emergence of the childhood leukemia peak. *Med Hypotheses*. 2001 Mar;56(3):290-5
- Moretti M, Villarini M, Simonucci S, Fatigoni C, Scassellati-Sforzolini G, Monarca S, Pasquini R, Angelucci M, Strappini M. 2005. Effects of co-exposure to extremely low frequency (ELF) magnetic fields and benzene or benzene metabolites determined in vitro by the alkaline comet assay. *Toxicol Lett*. 2005 Jun 17;157(2):119-28
- National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP). Draft Report of NCRP Scientific Committee 89-3 on Extremely Low Frequency Electric and Magnetic Fields, June 13, 1995. <http://www.microwavenews.com/ncrp1.html>
- National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS 1999). NIEHS Report on Health Effects from Exposure to Power-Line Frequency Electric and Magnetic Fields. NIH Publication No. 99-4493
- Navarro E A, Segura J, Portolés M, Gómez-Perretta de Mateo C. 2003. The Microwave Syndrome: A Preliminary Study in Spain; in: *Electromagnetic Biology and Medicine (formerly Electro- and Magnetobiology)*, Volume 22, Issue 2,; S. 161-169
- Oberfeld G, Navarro E A, Portolés M, Maestu C, Gómez-Perretta de Mateo C. 2004. The Microwave Syndrom – further Aspects of a Spanish Study; prepared for the 3rd International Workshop on Biological Effects of EMFs, 4. - 8. October 2004, Kos, Greece
- Regel SJ, Negovetic S, Roosli M, Berdinas V, Schuderer J, Huss A, Lott U, Kuster N, Achermann P. 2006. UMTS base station-like exposure, well-being, and cognitive performance. *Environ Health Perspect*. Aug;114(8):1270-5.
- Reiter RJ. 1993. Static and extremely low frequency electromagnetic field exposure: reported effects on the circadian production of melatonin. *J Cell Biochem*. Apr. 51(4): S 394-403
- Sage C. 2000. An Overview of Radiofrequency/Microwave Radiation Studies Relevant to Wireless Communications and Data. In: *Proceedings of “International Conference on Cell Tower Siting – Linking Science & Public Health, 7th – 8th June 200, Salzburg, Austria*

- Salford LG, Brun A E, Eberhard J L. 2003. Malmgren L.; Perrson B.R.R. (2003): Nerve Cell Damage in Mammalian Brain after Exposure to Microwaves from GSM Mobile Phones; in: Environ Health Perspect 111 (2003); 881-883
- Santini R, Santini P, Danze J M, Le Ruz P, Seigne M. 2002. Study of the health of people living in the vicinity of mobile phone base stations: 1st Influence of distance and sex; Pathol Biol; 50; 369 - 373
- Schüz J. 2002. Leukämie im Kindesalter und die Rolle von Umwelteinflüssen bei der Entstehung Umweltmed Forsch Prax 7 (6) 309-320 (2002)
- Schüz J, Grigat JP, Brinkmann K, Michaelis J. 2001. Residential magnetic fields as a risk factor for childhood acute leukaemia: results from a German population-based case-control study. Int J Cancer. 2001 Mar 1;91(5):728-35
- Schüz J, Grigat JP, Stormer B, Rippin G, Brinkmann K, Michaelis J. 2000. Extremely low frequency magnetic fields in residences in Germany. Distribution of measurements, comparison of two methods for assessing exposure, and predictors for the occurrence of magnetic fields above background level. Radiat Environ Biophys. 2000 Dec;39(4):233-40
- Simko M, Mattsson MO. 2004. Extremely low frequency electromagnetic fields as effectors of cellular responses in vitro: possible immune cell activation. J Cell Biochem. 2004 Sep 1;93(1):83-92
- Skinner J, Mee TJ, Blackwell RP, Maslanyj MP, Simpson J, Allen SG, Day NE, Cheng KK, Gilman E, Williams D, Cartwright R, Craft A, Birch JM, Eden OB, McKinney PA, Deacon J, Peto J, Beral V, Roman E, Elwood P, Alexander FE, Mott M, Chilvers CE, Muir K, Doll R, Taylor CM, Greaves M, Goodhead D, Fry FA, Adams G, Law G; United Kingdom Childhood Cancer Study Investigators. 2002. Exposure to power frequency electric fields and the risk of childhood cancer in the UK. Br J Cancer. 2002 Nov 18;87(11):1257-66.
- Steliarova-Foucher E, Stiller C, Kaatsch P, Berrino F, Coebergh JW, Lacour B, Parkin M. 2004. Geographical patterns and time trends of cancer incidence and survival among children and adolescents in Europe since the 1970s (the ACCISproject): an epidemiological study. Lancet. 2004 Dec 11-17;364 (9451):2097-105
- Stevens RG, Davis S. 1996. The melatonin hypothesis: electric power and breast cancer. Environ Health Perspect. 1996 Mar;104 Suppl 1:135-40
- Thompson CJ, Yang YS, Anderson V, Wood AW. 2000. A cooperative model for Ca(++) efflux windowing from cell membranes exposed to electromagnetic radiation; in: Bioelectromagnetics. Sep; 21(6):455-64
- Thun-Battersby S, Mevissen M, Loscher W. 1999. Exposure of Sprague-Dawley rats to a 50-Hertz, 100-microTesla magnetic field for 27 weeks facilitates mammary tumorigenesis in the 7,12-dimethylbenz(a)-anthracene model of breast cancer. Cancer Res. 1999 Aug 1;59(15):3627-33
- Touyz RM. 2004. Reactive oxygen species, vascular oxidative stress, and redox signaling in hypertension: what is the clinical significance? Hypertension. 2004 Sep;44(3):248-52. Epub 2004 Jul 19.
- Villeneuve PJ, Agnew DA, Miller AB, Corey PN, Purdham JT. 2000a. Leukemia in electric utility workers: the evaluation of alternative indices of exposure to 60Hz electric and magnetic fields. Am J Ind Med. 2000 Jun;37(6):607-17

- Villeneuve PJ, Agnew DA, Miller AB, Corey PN. 2000b. Non-Hodgkin's lymphoma among electric utility workers in Ontario: the evaluation of alternate indices of exposure to 60Hz electric and magnetic fields. *Occup Environ Med.* 2000 Apr;57(4):249-57
- Wartenberg D. 1998. Residential magnetic fields and childhood leukemia: a meta-analysis. *Am J Public Health.* 1998 Dec;88(12):1787-94
- Wertheimer N, Leeper E. 1979. Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am J Epidemiol.* 1979 Mar;109(3):273-84
- Wertheimer N, Leeper E. 1982. Adult cancer related to electrical wires near the home. *Int J Epidemiol.* 1982 Dec;11(4):345-55
- Wichmann HE, Hubner HR, Malin E, Kohler B; Hippke G, Fischer D; Bontemps M, Huenges R, Rebmann H, Walzer H. 1989. The significance of health risks caused by outdoor pollution, demonstrated by cross-sectional studies of pseudocrupp in Baden-Württemberg; *Öffentl Gesundheitswes*; VOL 51, ISS 8-9, 1989, P4414-20
- Wichmann HE; Schlipkötter HW, Fülgraff G. 1995. *Handbuch Umweltmedizin: Toxikologie, Epidemiologie, Hygiene, Belastungen, Wirkungen, Diagnostik, Prophylaxe.* ecomed Verlag, Landsberg, 1995.
- Winker R, Ivancsits S, Pilger A, Adlkofer F, Rudiger HW. 2005. Chromosomal damage in human diploid fibroblasts by intermittent exposure to extremely low-frequency electromagnetic fields. *Mutat Res.* 2005 Aug 1;585(1-2):43-9.
- Wolf FI, Torsello A, Tedesco B, Fasanella S, Boninsegna A, D'Ascenzo M, Grassi C, Azzena GB, Cittadini A. 2005. 50-Hz extremely low frequency electromagnetic fields enhance cell proliferation and DNA damage: possible involvement of a redox mechanism. *Biochim Biophys Acta.* 2005 Mar 22;1743(1-2):120-9
- Young IS, Woodside JV. 2001. Antioxidants in health and disease. *J Clin Pathol.* 2001 Mar;54(3):176-86.
- Zwamborn A P M, Vossen S H J A, van Leersum B J A M, Ouwens M A, Mäkel W N (TNO Physics and Electronics Laboratory): Effects of Global Communication system radio-frequency fields on Well Being and Cognitive Functions of human subjects with and without subjective complaints; TNO-report FEL-03-C148, September 2003; [www.ez.nl/beleid/home\\_ond/gsm/docs/TNO-FEL\\_REPORT\\_03148\\_Definitief.pdf](http://www.ez.nl/beleid/home_ond/gsm/docs/TNO-FEL_REPORT_03148_Definitief.pdf)
-