

# Umweltmedizinische Beurteilung elektromagnetischer Felder in Gebäuden

Dr. med. Gerd Oberfeld

Manuskript zum Expertenworkshop der WTA ([www.wta.de](http://www.wta.de))  
„Bauen-Wohnen-Gesundheit“ am 4.3.2005 in Berlin

## 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 Wetterfähigkeit gegenüber bestimmten Sferics im kHz-Bereich oder die Synchronisierung des Gehirns über die Schumannresonanzen (7,8, 14, 20, 26, 33, 39, 45 und 51 Hz).

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 7 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 Lehren der Geschichte davon aus, dass sich die Exposition der Menschen gegenüber technischen elektromagnetischen Feldern im Hinblick auf Intensität und Frequenzumfang weiter erhöhen wird und erst die sich in Folge noch deutlicher als bereits jetzt zeigenden gesundheitlichen Konsequenzen zu einem Umdenken führen werden.

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)

Diese Einteilung nach den verschiedenen Feldarten wird im folgenden auch zur Strukturierung dieses Beitrages gewählt.

Aufgrund der Breite des gestellten Themas können in diesem Beitrag nur Aspekte betrachtet werden. Es werden stellvertretend für die Fülle der verfügbaren Literatur, dies betrifft vor allem den Bereich magnetischer Wechselfelder und elektromagnetischer Wellen, exemplarisch einige Arbeiten näher angeführt. Eine vertiefte Befassung mit dieser Thematik

wird dem interessierten Laien wie auch insbesondere Planern, Architekten, Ärzten, Behörden und Entscheidungsträgern empfohlen.

## **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 V, 2002]. In vitro Untersuchungen an Nervenzellen [Blackman CF, 1985] und mathematische Modelle [Thompson CJ, 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 RJ, 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-Hydroxymelatonin-sulfat (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 W 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 in Räumen führen auch zu einer Störung des Raumklimas mit einer Abnahme von Kleinionen. Kasuistiken [Maes W, 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**

Elektrische Felder entstehen zwischen positiven und negativen Ladungen, zwischen denen sich das Feld in Form von Kraftlinien aufbaut. Es entsteht allein aufgrund einer elektrischen Spannung, 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

Geräteleitungen, Verlängerungskabel, Lampenkabel, Elektroinstallationen, Elektrogeräte, vor allem un abgeschirmte Geräte, das sind solche mit Flachsteckern oder „unechten Schukosteckern“, 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 50 Hz im Bereich von 1 bis 20 V/m, fallweise bis 100 V/m.

## Wirkungen

Wirkungsseitig liegen Befunde bei Nervenzellen vor, die einen Einfluss auf den Kalzium-Ionen-Fluss im Bereich von 5 bis 10 V/m zeigen [Bawin S, 1976]. Basierend auf epidemiologischen Studien, Zellstudien und Tierversuchen wurde 1995 ein Entwurf für Empfehlungen der Nationalen Strahlenschutzkommission der USA (NCRP) 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 0 Hz bis 3 kHz vor. Option 2 (von insgesamt 4 Optionen) empfahl Expositionsrichtwerte von 200 nT für die magnetische Flussdichte bzw. von 10 V/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 10-100 V/m zeigen. Neurologische Verhaltenseffekte inklusive der regulativen Rolle in biologischen Rhythmen des Menschen und bei Tieren wurden elektrischen Wechselfeldern bei Intensitäten von 10 - 100 V/m zugeordnet.“ Leider gibt es kaum epidemiologische Untersuchungen zu elektrischen Wechselfeldern, im Gegensatz zur Fülle an Berichten aus der Bevölkerung und etwa dem Kreis baubiologischer Messtechniker. So finden sich etwa 26 Fallbeispiele mit Verbesserungen für den Schlaf, Kopfschmerzen, Müdigkeit etc. die nach Feldreduktion vor allem im Schlafbereich eingetreten sein sollen [Maes W, 2005]. Eine sehr gute Quelle für Kasuistiken sind auch die schriftlichen Berichte von durch EMF/EMR beeinträchtigten Menschen, die ihre Erfahrungen und ihr Leid einer schwedischen Kommission schriftlich mitteilten. Diese Dokumente wurden in einem Bericht mit dem Titel „Schwarz auf Weiß“ ins Englische übersetzt und veröffentlicht [Granlund-Lind R, 2004]. Aus meiner persönlichen Erfahrung mit vielen Menschen kann ich diese Berichte bestätigen. Elektrische Wechselfelder sind nach meiner Einschätzung ein deutlich unterschätzter Stressfaktor, der häufig leicht zu reduzieren, bzw. präventiv vermeidbar ist.

Empirische Erkenntnisse zeigen, dass viele Menschen nicht nur Auswirkungen der Netzfrequenz von 50 Hz sondern vor allem auch höhere Frequenzen im Kilo- bis Gigahertzbereich verspüren. Typische Quellen im Kilohertzbereich sind Computerbildschirme, wobei eigene Messungen zeigten, dass hier sehr große Unterschiede bestehen können. Die Einführung des schwedischen TCO-Labels brachte hier eine deutliche Verbesserung, obwohl dies keine Garantie dafür ist, dass Beschwerden damit ausgeschlossen sind.

Vorsicht ist bei geerdeten Matratzenauflagen, die zum Schutz vor Elektrosmog verkauft werden, angebracht. Hier wird das Erdpotential näher an den Körper herangebracht und kann durch die damit unter Umständen verbundene Annäherung zur Feldquelle zu einer Erhöhung der elektrischen Feldstärke führen. Die Messung der erdbezogenen Körperspannung ist durch

den auftretenden Kurzschluss ein methodisch falscher Ansatz. Die Messmethode der Wahl ist die potentialfreie Messung der elektrischen Feldstärke.

### **Zielwertaspekte**

Die nachfolgenden Empfehlungen basieren auf der potentialfreien Messung elektrischer Wechselfelder im Frequenzbereich bis 50 Hz. Für Schlafplätze wird ein Zielwert von 0,3 V/m, für ständige Tagesaufenthaltsplätze von 3 V/m empfohlen. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass mit zunehmender Frequenz auch die influenzierte Körperstromdichte zunimmt und daher höhere Frequenzen strenger beurteilt werden müssen.

## **Magnetische Wechselfelder**

### **Eigenschaften**

Magnetische Wechselfelder entstehen 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 die magnetische Induktion (Erregung elektrischer Ströme und Spannungen durch bewegte Magnetfelder) T (Tesla). Magnetische Wechselfelder durchdringen beinahe alle Materialien ungehindert. Trafos an der Zimmerdecke können etwa so auch darüber liegende Räume belasten. Eine Feldablenkung ist z.B. mit teuren hochleitfähigen Nickel-Eisenlegierungen ( $\mu$ -Metall), Trafoblechen oder neuen Sandwichplatten möglich. Um einen genauen Überblick über die von schwankendem Verbrauch ausgehende Belastung zu erhalten, sollte über einen längeren Zeitraum, z.B. 24 Stunden, gemessen werden. Die Größe der Feldstärkeabnahme mit der Entfernung ist unter anderem von der Kompensation abhängig. Bei Einleitersystemen wie z.B. bei Ausgleichsströmen und Bahnstrom erfolgt die Abnahme mit etwa  $1/r$ , bei Zweileitersystemen mit etwa  $1/r^2$ , bei Trafospulen mit etwa  $1/r^3$  bis  $1/r^4$ . Magnetische Wechselfelder durchdringen fast alle Materialien ohne Verluste. Mit Hilfe von  $\mu$ -Metalllegierungen und ähnliche Materialien können die Magnetfeldlinien in einen vorgegebenen Raum gedrängt werden.

### **Quellen**

Elektroinstallationen (z.B. Seile von Halogenbeleuchtungen, Zu- und Steigleitungen in Mehrfamilien- und Hochhäusern), Elektrogeräte (z.B. E-Herde, Kopierer, Computermonitore), Trafos (z.B. von Radioweckern, CD-Playern, Radios, Halogenleuchten, Ladetrafos, elektrischen Schreibmaschinen, elektrischen Rechenmaschinen, Overheadprojektoren), Elektromotoren (z.B. motorbetriebene Zeiger- und Schaltuhren, Haushalts- und Küchengeräte, Elektrowerkzeuge, O-Busse mit Wechselstrommotoren, Aquariumpumpen), körpernahe Kleinlautsprecher in Kopf- und Telefonhörern, Freileitungen, Dachständerzuleitungen, Erdkabel, Eisenbahnen, Magnetfeldmatten, Zündspulen und bewegte magnetische Teile in Autos, unkompenzierte Ausgleichsströme (z.B. über metallene Wasserleitungsrohre, Heizungsrohre, Fernwärmeleitungen, Gasleitungen, Computernetzwerkkabel mit beidseitig geerdetem Schirm).

### **Wirkungen**

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 N, 1979] bzw. von Krebs bei Erwachsenen [Wertheimer N, 1982] in Colorado, USA. Die Autoren fanden Expositions-Wirkungsbeziehungen, die unabhängig vom Alter, der Urbanisierung oder dem

sozioökonomischen Status waren. Diese Arbeiten lösten eine intensive Forschungstätigkeit im Bereich magnetischer Wechselfelder insbesondere für die Frequenzen 50 Hz und 60 Hz aus.

Ein weiterer Forschungsanstoß kam 1987 durch die Hypothese von Stevens über den möglichen Zusammenhang zwischen elektromagnetischen Feldern, Melatonin und Brustkrebs [Stevens RG, 1987].

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

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 hoher Relevanz ist hierzu eine 2004 von Fedrowitz und Löscher publizierte Arbeit [Fedrowitz M, 2004], die klären konnte, warum im Tierversuch eine Arbeitsgruppe bei weiblichen Ratten Brustkrebs durch magnetische Wechselfelder gehäuft fand (Löscher, D), eine andere Arbeitsgruppe (Anderson, USA) nicht. Die Erklärung liegt in der genetisch unterschiedlichen Empfindlichkeit der verwendeten Rattenstämme. Bisher wurden die unterschiedlichen Ergebnisse aus diesen Tierversuchen als un schlüssig 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 aktuellen Ergebnissen zu Chromosomenschäden im Tierversuch [Lai H, 2004] eine Einstufung als definitives Karzinogen angezeigt.

Von der kalifornischen Gesundheitsbehörde 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

Eine 2004 publizierte Schlüsselarbeit [Lai H, 2004] zeigt signifikant mehr Chromosomenbrüche in Hirnzellen von Ratten, die über 24 Stunden einem magnetischen Wechselfeld von 10.000 nT, 60 Hz 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 500.000 nT 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 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.

Bis vor kurzem erfolgte die Bestimmung der Exposition gegenüber magnetischen Wechselfeldern in der Regel als Mittelwert. Für Überraschung sorgten die im Jahr 2000 publizierten Ergebnisse aus Kalifornien, die einen Zusammenhang zwischen Fehlgeburten und dem erhobenen Maximalwert erbrachten. Die beiden epidemiologischen Untersuchungen, eine Fall-Kontroll-Studie [Lee G, 2002] und eine prospektive Kohortenstudie [Li DK, 2002] zeigten einen Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Fehlgeburten in den ersten 20 Schwangerschaftswochen und den mittels Personendosimeter über 24 Stunden gemessenen magnetischen Wechselfeldern (60 Hz), und zwar mit den gemessenen Spitzenwerten im Bereich 1.600 nT und darüber, jedoch nicht mit den erhobenen Mittelwerten. Das 25.- Perzentil betrug 1.600 nT – das bedeutet, dass 75 % der Frauen gegenüber Magnetfeldspitzen von 1.600 nT und mehr exponiert waren. 40 % aller Fehlgeburten waren mit Magnetfeldern >1.600 nT assoziiert. Bei grober Übertragung auf Österreich entspricht das ca. 5.800 Fehlgeburten pro Jahr. Zum Vergleich verzeichnet Österreich ca. 1.000 Verkehrstote jährlich.

Wie bei den elektrischen Wechselfeldern sind auch bei den magnetischen Wechselfeldern die Frequenzen im kHz-Bereich zu beachten. Diese werden unter anderem durch elektronische Schaltnetzteilen, elektronisch geregelte Motoren (z.B. Waschmaschinen, Aufzüge, Antriebe aller Art), elektronische Vorschaltgeräte (EVG) für Leuchtstoffröhren, Energiesparlampen etc. erzeugt und bei fehlender oder unzureichender Filterung ins Stromnetz abgegeben. In den USA wird dies unter dem Begriff „dirty power“ also „schmutzige Energie“ zusammen gefasst. Das Leitungsnetz fungiert als Antenne und strahlt diese Netzstörungen als elektrisches und magnetisches Feld ab. Dieses Feld kann mit Spektrumanalysatoren und entsprechenden Antennen oftmals noch in großer Entfernung von der Quelle gemessen werden.

Erste Daten zeigen, dass diese Feldwirkungen möglicherweise zu erheblichen gesundheitlichen Auswirkungen führen können. So wurden etwa Zusammenhänge mit einem Anstieg des Blutzuckerspiegels, Konzentrationsproblemen und verstärkten Symptomen bei multipler Sklerose sowie deren Rückgang nach dem Einbau von Filtern beobachtet [Havas M, 2004].

An dieser Stelle sei auch auf die möglichen Probleme beim Einsatz von Powerline Techniken, also der Datenübertragung im kHz- und MHz-Bereich über die „Steckdose“ verwiesen und sind vor dem Einsatz dieser Techniken umfangreiche Untersuchungen im Hinblick auf technische und gesundheitliche Auswirkungen erforderlich.

### **Zielwertaspekte für magnetische Wechselfelder im Frequenzbereich 16,66 Hz und 50 Hz**

Einige epidemiologische Untersuchungen zeigen etwa erhöhte Leukämierisiken bei Expositionswerten um 200 nT als arithmetischer Mittelwert sowie vereinzelt auch darunter. Daher wird für Schlafplätze und Tagesaufenthaltsplätze ein Zielwert von 100 nT als arithmetischer Mittelwert empfohlen. Weitere epidemiologische Untersuchungen vor allem im Bereich unter 200 nT sind für verschiedene Endpunkte erforderlich. Im Hinblick auf Arbeiten zu Fehlgeburten wird eine Begrenzung des Spitzenwertes auf jedenfalls 1600 nT empfohlen, auch hierzu sind weitere Untersuchungen nötig.

Schwierig einzuschätzen ist die Situation derzeit bei höheren Frequenzen etwa im Kilohertzbereich. Erste Daten legen nahe diesen Bereich verstärkt zu untersuchen und neben der Frequenz und Amplitude auch die Anstiegssteilheit von Signalen zu beachten. Gebäudeseitig sollten neben der Wahl möglichst emissionsarmer Geräte und Beleuchtungen die Möglichkeit einer Verbesserung durch kHz-Filter z.B. im Bereich 2-100 kHz überlegt werden.

## **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.

### **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**

Bei der Beschreibung der Wirkungen wurde der Schwerpunkt auf aktuelle Arbeiten zur Mobilfunktechnologie gelegt. Dies erfolgt einerseits wegen des starken öffentlichen Interesses an dieser Thematik und andererseits aufgrund der immer deutlicher werdenden Auswirkungen auf Wohlbefinden und Gesundheit.

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 RO, 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 JH, 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 C, 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 N, 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 R, 2002]. Santini verwendete bei dieser Untersuchung die Selbstselektion. Dabei kann angenommen werden, dass sich eher Personen melden, die Beschwerden durch Mobilfunkseanlagen 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 Mobilfunkseanlagen aufweisen dürfen.

Es zeigte sich eine Zunahme von unspezifischen Symptomen mit abnehmender selbst eingeschätzter Distanz zu Mobilfunkseanlagen. 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 Beschwerdehäufigkeit 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

**Symptome in Beziehung zur Entfernung  
zur Mobilfunkbasisstation  
für die Kategorie "sehr häufig"**

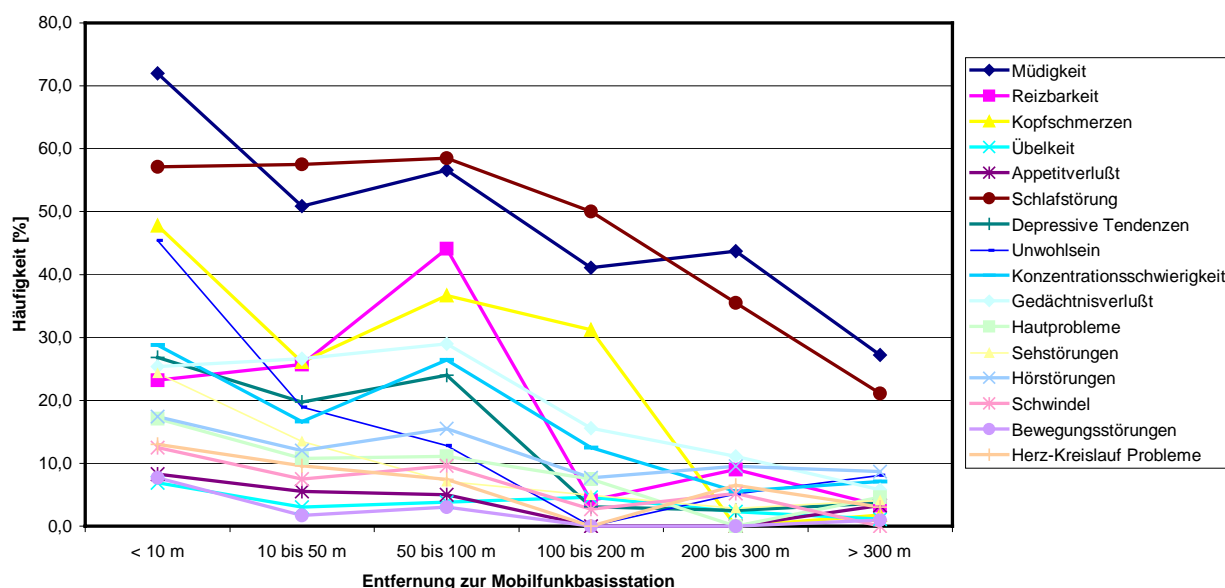


Bild: Häufigkeit (%) von Beschwerden von Anwohnern von Mobilfunk Basisstationen als Funktion der Entfernung

2) In einer Querschnittstudie wurden in Österreich (Kärnten und Wien) Personen untersucht, die länger als ein Jahr in der Nähe einer Mobilfunkbasisstation lebten [Hutter HP, 2002]. 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. 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. 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.

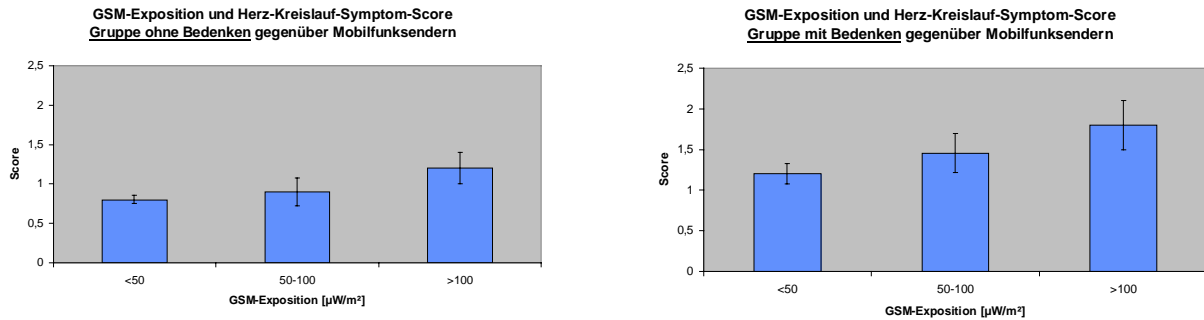


Bild: Expositions-Wirkungs-Beziehungen zwischen Herz-Kreislauf-Symptomen und GSM-Mobilfunkexpositionswerten im Schlafzimmer

3) In einer Querschnittstudie in La Nora, Murcia, Spanien wurden Anwohner im Umfeld zweier GSM Basisstationen untersucht [Navarro EA, 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 m (mittlere Exposition 100 µW/m²) und eine Gruppe mit einer Entfernung > 250 m Distanz (mittlere Exposition 1.100 µW/m²) 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 µW/m²	1.110 µW/m²	<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 Gomez-Peretta et al. wurde vom Autor dieses Kapitels mittels eines logistischen Regressionsmodells auf individueller Ebene reanalysiert [Oberfeld G, 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 Mobilfunksendeanlagen) 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 APM, 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 mW/m<sup>2</sup> (2650  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ). Dies entspricht der Exposition im Hauptstrahl einer typischen

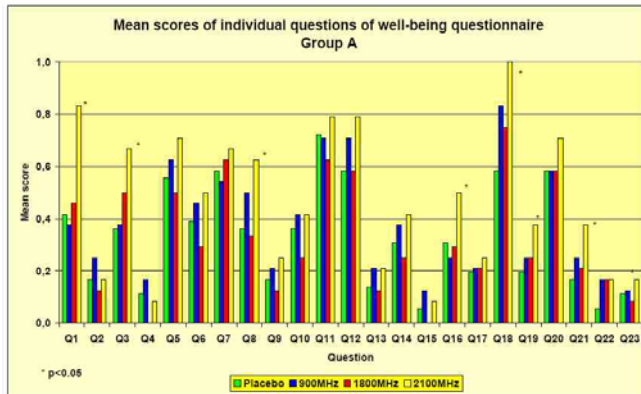
Mobilfunk-Sektorantenne in einer Entfernung von etwa 125 m (10 W Antenneneingangsleistung, isotroper Antennengewinn 17 dBi). Von den drei unterschiedlichen Signalen (GSM 900 MHz, GSM 1800 MHz, UMTS 2100 MHz) wurden pro Proband nur jeweils zwei Signale verwendet, sowie jeweils eine Plazebophase ohne Feld. 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.

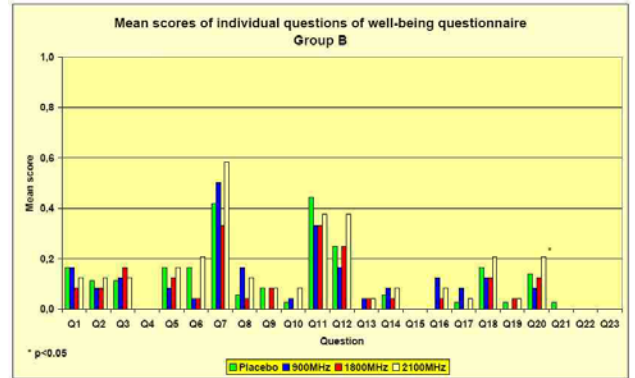
Im Hinblick auf die Auswirkungen bei den kognitiven Leistungen wurden statistisch signifikante Veränderungen beobachtet, aber ohne klares Muster betreffend Expositionsart (GSM, UMTS), kognitive Teilfunktionen und Gruppenzugehörigkeit.

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.

## Studien zur gesundheitlichen Wirkung von Mobiltelefonen

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

Eine aktuelle Untersuchung 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 Chromosenschäden 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.

Gentoxische 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.

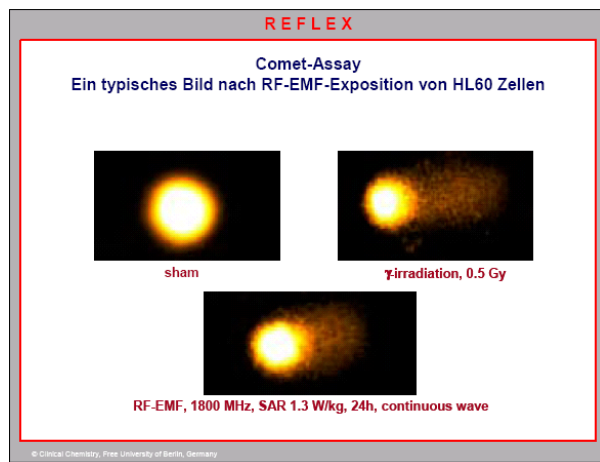


Bild: Chromosomenschäden im Kometenschweiftest durch eine hochfrequente elektromagnetische Welle 24 h, 1800 MHz, SAR 1,3 W/kg bzw. 0,5 Gy Gammastrahlung an einer HL-60 Blutzelllinie. 0,5 Gy entsprechen etwa 1600 Lungenröntgen.

An Ratten konnten von [Lai H, 1995, 1996, 1997] an Chromosomen Einzel- und Doppelstrangbrüche nach 2 h Bestrahlung (SAR 1,2 W/kg) mit 2450 MHz gezeigt werden, 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 im Tierversuch gezeigt [Lai H, 2004].

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 LG, 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.“



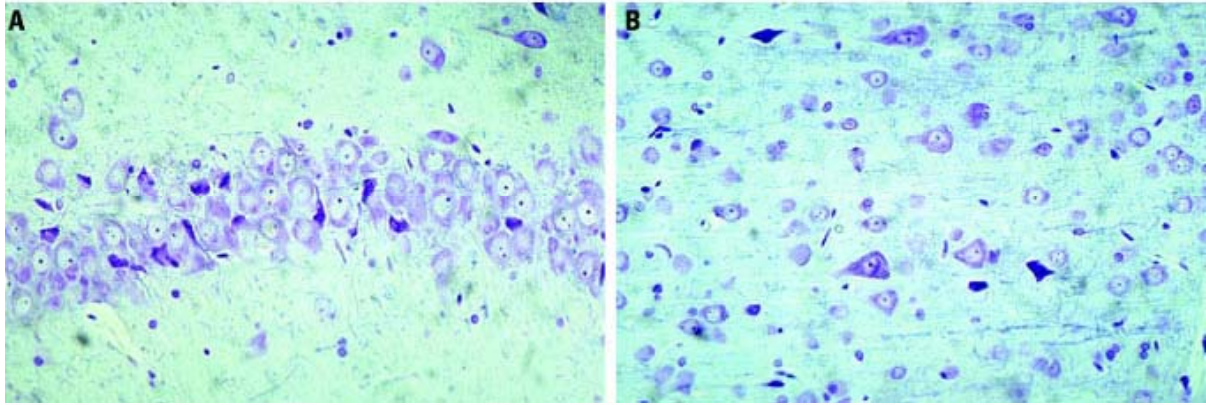


Bild: Schnitt A Pyramidenbahn, Schnitt B Hirnrinde. Zwischen den normalen Nervenzellen (große Zellen) finden sich vermehrt dunkelblaue, geschrumpfte Zellen, so genannte „dunkle Neurone“ (Vergrößerung 160-fach)

In einer Fall-Kontroll Studie untersuchte [Hardell L, 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).

Die Untersuchung zeigte hinsichtlich der Lokalisation des Tumors im Schläfenbereich ein erhöhtes Risiko für jene Seite des Kopfes, an der das Mobiltelefon vorwiegend verwendet wurde OR 2,5 (95% CI 1,3-4,9). Im Hinblick auf die unterschiedlichen Tumortypen fand sich das höchste Risiko für Akustikusneurinome OR 3,5 (95 % CI 1,8-6,8).

Für digitale Mobiltelefone und Schnurlostelefone wurden in einer weiteren Analyse [Hardell L, 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 S, 2004]. Nach zehn Jahren betrug auf der Nutzungsseite das OR 3,9 (95% CI 1,6-9,5). Dies entspricht einem vierfach erhöhtem Risiko.

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**

Bawin, S., and Adey, W. (1976). Sensitivity of calcium binding in cerebral tissue to weak environmental electric fields oscillating at low frequency. *Prpc. natl. Acad. Sci. USA* 73, 1999-2003.

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

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

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, pp. 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.

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.*

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; [www.dhs.ca.gov/ehib/emf/RiskEvaluation/riskeval.html](http://www.dhs.ca.gov/ehib/emf/RiskEvaluation/riskeval.html)

Fedrowitz M.; Kamino K.; Löscher 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; in: *Cancer Research* 64, January 1, 2004; S. 243-251.

Black on White – Voices and witnesses about Electro-Hypersensitivity – The Swedish Experience”. Rigmor Granlund-Lind, John Lind, Mimers Brunn Kunskapsförlag, 2004.

Hardell, L.; Hallquist, A.; Hansson Mild, K.; Carlberg, M.; Pahlson, A.; Lilja, A.: Cellular and cordless Telephones and the risk for brain tumours; *European Journal of Cancer Prevention* 2002, 11, S. 377 – 386.

Hardell L, Mild KH, Carlberg M.; Further aspects on cellular and cordless telephones and brain tumours; *Int J Oncol* 2003 Feb;22(2):399-407.

Havas M., Stetzer D.: Graham/Stetzer Filters Improve Power Quality in Homes and Schools, Reduce Blood Sugar Levels in Diabetics, Multiple Sclerosis Symptoms and Headaches. Poster presented at the International Conference on Childhood Leukaemia – Incidence, causal mechanisms and prevention, 6<sup>th</sup>-10<sup>th</sup> September 2004, London.

Heller J.H.; Teixeira-Pinto A.A. (1959): A New Physical Method of creating Chromosomal Aberrations; in: *Nature* No. 4665 March 28; S. 905-906.

Hutter, H-P., Moshammer, H., Kundi, K. (2002): Mobile Telephone Base-Stations: Effects on Health and Wellbeing; Presented at the 2nd Workshop on Biological Effects of EMFs, 7<sup>th</sup> – 11<sup>th</sup> October 2002, Rhode, Greece.

Non-Ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields, VOL. 80 (2002), IARC, Lyon.

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., (1997): “Melatonin and Spin-Trap compound Block Radiofrequency Electromagnetic Radiation-induced DNA Strands Breaks in Rat Brain Cells.” *Bioelectromagnetics*, 18:446-454.

Lai H.; Singh N.P. (2004): Magnetic Field-Induced DNA Strand Breaks in Brain Cells of the Rat; in: *Environ Health Perspect* 112; S. 687-694.

Lee, G.M.; Neutra, R.R.; Hristova, L.; Yost, M.; Hiatt, R.A. (2002): A nested case-control study of residential and personal magnetic field measures and miscarriages; *Epidemiology*; 13(1); S. 21 - 31.

Li, D.K.; Odouli, R.; Wi, S.; Janevic, T.; Golditch, I.; Bracken, T.D.; 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*; 13(1); S. 9 - 20.

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.

Stress durch Strom und Strahlung – Baubiologie: Unser Patient ist das Haus – Band 1. Maes W., ISBN 3-923531-25-7. Neubeuern, 2005.

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.

Draft Report of NCRP Scientific Committee 89-3 on Extremely Low Frequency Electric and Magnetic Fields, June 13, 1995.

The Invisible Disease - The dangers of environmental illnesses caused by electromagnetic fields and chemical emissions. - The evidence that VDUs, mobile phones, electric lights and other modern appliances can make you ill. Gunni Nordstrom, ISBN: 1 903816 71 8 , June 2004.

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.

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 – Lingking Science & Public Health, 7<sup>th</sup> – 8<sup>th</sup> June 200, Salzburg, Austria.

Salford L.G.; Brun A.E.; Eberhard J.L.; 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); S. 881-883;  
<http://ehp.niehs.nih.gov/docs/2003/6039/abstract.html>

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; S. 369 - 373.

Stevens R.G. (1987): Electric power use and breast cancer: a hypothesis; in: *Am. J. Epidemiol. Apr.* 125(4); S. 556-561.

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.

Wertheimer N.; Leeper E. (1979): Electrical wiring configurations and childhood cancer; in: *Am. J. Epidemiol. Mar.* 109(3); S. 273-284.

Wertheimer N.; Leeper E. (1982): Adult cancer related to electrical wires near the home; in: *Int. J. Epidemiol. Dec.* 11(4); S. 345-355.

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)