

## Effekte der Strahlenbelastung schwierig zu messen und zu interpretieren

Hanna Wick, Mitglied der Wissenschaftsredaktion der Neuen Zürcher Zeitung

**Ob die Strahlung von Handys und Mobilfunk-Antennen die Gesundheit gefährdet, lässt sich trotz einer Vielzahl von Studien noch nicht beantworten. Die beobachteten Effekte sind schwer zu interpretieren; viele Studien sind mit methodischen Mängeln behaftet.**

Von Stromleitungen über elektronische Haushaltgeräte, Rundfunk und Computer bis hin zur Mobiltelefonie nutzen wir heute eine Fülle elektrischer Geräte und Anwendungen. Sie alle sind Quellen unsichtbarer elektromagnetischer Felder, die uns alltäglich umgeben. Es besteht die Sorge, dass diese Strahlung – insbesondere jene von Handys und Mobilfunk-Antennen – auch unterhalb der bestehenden Grenzwerte ein Gesundheitsrisiko darstellt. Seit geraumer Zeit wird deshalb nach potenziell schädlichen Effekten solcher Felder geforscht – bisher ohne gesicherten Befund. Das ist an sich erfreulich, beweist aber nicht, dass die Strahlung unschädlich ist. Wo, wie etwa in Zellkulturen, Effekte gemessen werden konnten, ist unklar, wie diese zustande kommen und zu interpretieren sind.

### Suche nach nichtthermischen Effekten

Wie das sichtbare Licht sind auch Mobilfunk-Signale elektromagnetische Wellen. Für die beiden heute in der Schweiz betriebenen Standards GSM (Global System for Mobile Communications) und UMTS (Universal Mobile Communications System) werden Frequenzen von 900 und 1800 Megahertz beziehungsweise 1900 bis 2200 Megahertz verwendet. Einerseits liegen diese Frequenzen höher als jene von niederfrequenten Feldern, die etwa von Hochspannungsleitungen abgestrahlt werden. Weil verschiedene Studien gefunden haben, dass sehr schwache, über längere Zeit einwirkende niederfrequente Magnetfelder das Leukämie-Risiko bei Kindern etwa verdoppeln, werden diese von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) als «potenziell krebserregend» eingestuft. Andererseits sind die Mobilfunk-Frequenzen viel tiefer als diejenigen von sogenannt ionisierender Strahlung, zu der etwa die Röntgenstrahlung zählt. Die Energie der Mobilfunk-Strahlung reicht deshalb nicht aus, um aus Atomen oder Molekülen Elektronen zu entfernen und so Erbgut und Zellen direkt zu schädigen.

Doch auch die elektromagnetischen Felder des Mobilfunks können gesundheitsschädigende Wirkung zeigen: Biologisches Gewebe absorbiert die Strahlung und erhitzt sich – ein Effekt, den man sich beim Mikrowellenherd zunutze macht, der Menschen aber schaden kann. Durch die Wärmeentwicklung werden ab einem gewissen Schwellenwert Körperfunktionen akut beeinträchtigt; Gewebeschäden, Verbrennungen und Hitzschlag sind die Folgen. Um die Bevölkerung hiervor zu schützen, gelten Grenzwerte, die sich in den meisten Ländern an die Empfehlungen eines unabhängigen Expertengremiums, der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung, anlehnen. Entscheidend ist dabei die Leistung, die der Körper pro Kilogramm absorbiert, die sogenannte spezifische Absorptionsrate (SAR). Für Handys liegt der Grenzwert in der Schweiz bei einem SAR-Wert von 2 Watt pro Kilogramm Körpergewicht.

Ob die Strahlung auch unterhalb dieser Grenzwerte schädigende Effekte zeigen kann, ist unklar. Im Prinzip kann eine solche nichtthermische Wirkung – die sich möglicherweise erst nach längerer Zeit bemerkbar macht – nicht ausgeschlossen werden. Diese Frage zu klären, ist umso dringlicher, als die Zahl der Handynutzer stetig steigt: Heute sind es weltweit mehr als 1,5 Milliarden, in der Schweiz bereits über 6,5 Millionen.

### Wirkmechanismen noch unverstanden

Um potenziell schädliche Effekte von Mobilfunk-Strahlung nachzuweisen, werden Experimente auf vier verschiedenen Ebenen gemacht: Untersuchungen an Zellkulturen, an Tieren, an Versuchspersonen im Labor und an ganzen Bevölkerungsgruppen. Eigentlich sollten sich die Ergebnisse der verschiedenen experimentellen Ansätze gegenseitig ergänzen und bestätigen. Doch schon die Resultate von Studien mit ähnlichem Design und Inhalt widersprechen sich oft oder lassen zumindest keine eindeutigen Schlüsse zu. Dies hat sich auch an einem internationalen Workshop Ende letzten Jahres auf dem Monte Verità im Tessin gezeigt. Das Forschungsgebiet krankt daran, dass viele Studien nicht sorgfältig genug konzipiert, durchgeführt und ausgewertet wurden und deshalb nur beschränkt aussagekräftig sind.

Beim internationalen «Reflex»-Projekt zum Beispiel wurden in verschiedenen Experimenten menschliche und tierische Zellkulturen elektromagnetischer Strahlung ausgesetzt. Nicht nur die Art der Zellen und der Bestrahlung variierte je nach Experiment, sondern auch die statistische Aussagekraft der Daten. In einigen Fälle zeigten sich keine Effekte, in anderen wurden Veränderungen im Erbgut oder im Zellzyklus gefunden. Bei menschlichen Fibroblasten, einer Zellart des Bindegewebes, wurden nach einer Bestrahlung mit 1800 Megahertz ab einem SAR-Wert von 0,3 Watt pro Kilogramm beispielsweise Brüche in der DNA beobachtet. Zahlreiche Faktoren wie Dauer und Modulation der Bestrahlung hatten einen Einfluss auf die Resultate, eine Korrelation zwischen Dosis und Wirkung zeigte sich aber nicht. Unklar ist, ob für die Effekte allein die Intensität des Feldes oder auch die Dauer der Bestrahlung entscheidend ist.

Dennoch sind die «Reflex»-Resultate laut der Meinung vieler Fachleute nicht einfach wegzudiskutieren. Primo Schär von der Universität Basel, der die Experimente mit verschiedenen menschlichen Zellen zurzeit wiederholt, warnt aber davor, aus allfälligen DNA-Brüchen direkt auf ein Gesundheitsrisiko zu schliessen. Unser Körper sei bis zu einem gewissen Grad darauf vorbereitet, mit solchen Schäden umzugehen; sie entstünden in unseren Zellen dauernd. Man wisse ausserdem, so Schär, noch zu wenig darüber, wie die elektromagnetische Strahlung auf einzelne Moleküle und die ganze Zelle wirke, ob sie das Erbgut direkt oder indirekt schädige und ob bleibende genetische Veränderungen zurückblieben. Hier besteht also noch grosser Forschungsbedarf; die Wirkmechanismen sind denn auch ein Schwerpunkt des neuen Nationalen Forschungsprogramms «Nichtionisierende Strahlung – Umwelt und Gesundheit» des Schweizer Nationalfonds.

## Effekte der Strahlenbelastung schwierig zu messen und zu interpretieren

Zurzeit wird in der Schweiz noch eine weitere sehr umstrittene Studie wiederholt, jene der niederländischen Organisation für angewandte Forschung (TNO) über den Einfluss von GSM- und UMTS-ähnlichen Antennen-Signalen auf das subjektive Wohlbefinden und die kognitiven Funktionen beim Menschen aus dem Jahr 2003. Dabei wurden zwei Gruppen miteinander verglichen: sogenannt elektrosensible und nichtelektrosensible Personen. Unter Elektrosensibilität (elektromagnetischer Hypersensibilität) versteht man Symptome wie Müdigkeit, Hautrötungen und Schwindel, die die Betroffenen der Einwirkung elektromagnetischer Felder zuschreiben. Bis anhin gibt es laut der WHO allerdings keine gesicherten Hinweise darauf, dass diese Symptome tatsächlich durch solche Felder ausgelöst werden.

Die Resultate der TNO-Studie zeigten keinen Effekt der GSM-Strahlung (900 und 1800 MHz), die UMTS-Strahlung (1900 bis 2200 MHz) aber führte in beiden Versuchsgruppen zu einer Verminderung des Wohlfühls. Die kognitiven Tests ergaben keinen eindeutigen Befund. Die Studie wurde heftig kritisiert, unter anderem weil die statistische Auswertung und die benutzten Fragebogen als fragwürdig betrachtet wurden. Diese Probleme haben Peter Achermann und seine Kolleginnen von der Universität Zürich bei ihrer Folgestudie durch ein besseres Studiendesign zu vermeiden versucht. Als Vergleich verwenden sie dabei auch ein UMTS-Feld mit einer Stärke von 10 statt 1 Volt pro Meter.

### Knackpunkt Dosimetrie

Damit die Felder auch wirklich die richtige Stärke, Frequenz und Pulsform aufweisen und der Versuch unter möglichst realistischen Bedingungen ablaufen kann, ist eine genaue Dosimetrie nötig. Die Apparaturen, um solche Felder zu generieren, müssen mit Hilfe von Simulationen für jeden Laborversuch massgeschneidert werden. Besonders wichtig ist es, dass der Schwellenwert für thermische Effekte an keiner Stelle überschritten wird und diese so nicht versehentlich für nichtthermische Effekte gehalten werden.

Werde bei der Dosimetrie unsorgfältig gearbeitet, so seien die Ergebnisse später kaum mehr nachzuvollziehen, geschweige denn zu replizieren, sagt Niels Kuster (ETH und Itis-Forschungstiftung, Zürich), der mit seinem Team Versuchsanlagen für Experimente in der Schweiz, Europa, den USA, China und Japan entwickelt. Auch die Interdisziplinarität des Forschungsgebiets hält Kuster für eine Erschwernis: Schon bei der Planung eines Experiments müssten Biologen, Mediziner und Ingenieure eng zusammenarbeiten und sich gegenseitig vertrauen.

Im Unterschied zu Studien im Labor ist es bei Studien in der Bevölkerung noch schwieriger, die einwirkende Strahlung genau zu bestimmen; so zum Beispiel in sogenannten Fall-Kontroll-Studien, wo eine Gruppe von Personen mit einer bestimmten Krankheit retrospektiv bezüglich ihrer Handynutzung mit einer gesunden Gruppe verglichen wird. Die Probanden müssen dabei angeben, wie oft sie wann telefoniert haben und auf welcher Seite ihres Kopfes sie das Handy dabei häufiger getragen haben – woran sie sich oft nicht mehr genau erinnern können. Zudem tragen verschiedenste Quellen mit je anderen Frequenzen im Tagesverlauf unterschiedlich stark zur Strahlungsbilanz bei. Mit neu entwickelten persönlichen Dosimetern, die eine Versuchsperson immer mit sich trägt, soll es nun möglich werden, die Strahlung genau zu erfassen.

Die Frage nach einer möglichen Langzeitwirkung ist damit allerdings nicht gelöst. Erst für wenige Länder wie Grossbritannien und Schweden liegen Studien vor, die einen Zeitraum von über zehn Jahren untersuchen. In einer im Fachjournal «British Medical Journal» publizierten Studie etwa zeigte sich kein direkter Zusammenhang zwischen der Langzeitnutzung von Mobiltelefonen und einem erhöhten Risiko für eine häufige Form von Hirntumoren, sogenannten Gliomen. Für eine andere, gutartige Tumorart am Hörnerv (Akustikusneurinom) hat eine schwedische Forschergruppe indes für Langzeitnutzer eine Verdoppelung des Risikos gefunden. Diese im Rahmen der internationalen Interphone-Studie publizierten Resultate sind laut Joachim Schüz vom dänischen Institut für Krebs-Epidemiologie aber erst richtig einzuordnen, wenn man auch die noch ausstehenden Ergebnisse der übrigen beteiligten Länder kennt. Wichtige Erkenntnisse erhofft man sich auch von einem grossangelegten Versuch mit Tieren, den das amerikanische National Institute of Environmental Health Sciences plant; bisherige Tierversuche zeichnen ein äusserst inkonsistentes Bild. Damit diese und alle weiteren zukünftigen Experimente zuverlässigere Resultate ergeben, haben die Forscher am Workshop auf dem Monte Verità Verhaltensregeln aufgestellt. So hofft man auch, die oft geäusserten Vorwürfe, Studien seien zu «industriefreundlich» einerseits oder zu «esoterisch» andererseits, zu entkräften und die öffentliche Diskussion zu versachlichen.

### Wie Handys und Antennen strahlen

Damit die drahtlose Kommunikation funktioniert, muss jede Antenne eine gewisse Sendeleistung aufweisen, die bis zum Rand der von ihr abgedeckten Zelle reicht. In engmaschigen Netzen mit vielen Antennen liegt die Strahlenbelastung laut der neuen Informationsbroschüre des Bundesamtes für Umwelt, «Elektrosmog in der Umwelt», deshalb oft unter jener in Gebieten mit wenigen, aber stärkeren Antennen.

Anders als ein Radio, das Signale von Sendern lediglich empfängt, sendet ein Mobiltelefon selbst auch Informationen zur Antenne. Diese werden im GSM-Netz in einzelnen Paketen, also gepulst, gesendet. Im UMTS-Netz dagegen wird kontinuierlich mit kleinerer Leistung gesendet. Insgesamt liegt die Sendeleistung von Antennen weit über jener von Handys; die Strahlenbelastung aber ist, vor allem im Kopfbereich, während eines Gesprächs mit dem Natel am Ohr bis zu über eine Million Mal höher. Wie viel Leistung der Kopf dabei absorbiert, ist vom SAR-Wert des Telefontyps abhängig. Während des Verbindungsaufbaus und bei schlechtem Empfang sendet das Handy am stärksten, im Standby-Modus dagegen funkt es nur ab und zu ein kurzes Lokalisierungssignal.

*Dieser Artikel ist erstmals am 25. Januar 2006 in der Beilage «Forschung und Technik» der Neuen Zürcher Zeitung erschienen.*