

Wie hoch ist das Strahlenrisiko durch das Handy?

Zum aktuellen Stand der wissenschaftlichen Diskussion



Welche Art Strahlung geht vom Handy und von Relaisstationen aus? Wie kann sie auf den Menschen wirken, welche Wirkmechanismen werden ausgelöst? Welche Vorschriften und Grenzwerte gibt es? Wohl kaum ein Thema wurde in den vergangenen Jahren in Medien und in Öffentlichkeit so heiß und kontrovers diskutiert wie das »Strahlenrisiko« durch Mobilfunkanlagen, Mobiltelefone und schnurlose Telefone. Insbesondere, wenn Relaisstationen für mobile Kommunikationseinrichtungen in Verbindung mit dem neuen UMTS-Netz eingerichtet werden, beobachtet man oft erbitterte Konfrontationen zwischen Betreibern und Gegnern, die manchmal zu merkwürdigen Entwicklungen führen; so wurde beispielsweise die Antenne auf einem Kirchendach als Kreuz getarnt. Oft nutzen auch erklärte Gegner von Relaisanlagen am Wohnort beruflich oder privat ihr Handy. Leider herrscht häufig ein Defizit an

Fachinformation, was die Debatte sehr emotionalisiert. Die wissenschaftliche Grundlagenforschung ist zudem sehr lückenhaft: Trotz etlicher tausend Publikationen zu Forschungsarbeiten sind nur für einige der Fragen gesicherte Antworten möglich. Wir untersuchen in unserem Arbeitskreis die Wechselwirkung von Infrarot- und Terahertz-Strahlung mit biologischen Molekülen. Daraus lassen sich viele Informationen über das mögliche Strahlenrisiko durch Handys gewinnen.

Mobilfunkanlagen nutzen überwiegend elektromagnetische Wellen im Bereich um ein Gigahertz (GHz). Da eine direkte Kommunikation von Gerät zu Gerät viel zu hohe Leistungen erfordern würde, wird über Relaisstationen vermittelt. Jeweils für einen bestimmten Bereich (eine »Zelle«) werden alle Gespräche zunächst vom sendenden Mobiltelefon an die Relaisstation übermittelt, von dort an die entsprechende Relaisstation des angewählten Emp-

fängers, und dann in dieser Zelle an das empfangende Mobiltelefon.

Der wichtigste Bereich für die mobile Kommunikation liegt zwischen etwa 800 Megahertz (MHz) und 2,5 Gigahertz (GHz) **1**. Diese Frequenzen liegen etwas oberhalb der Frequenzen für die Übermittlung von Fernsehprogrammen (um 700 MHz) und etwa zehnfach höher als der UKW-Bereich für Rundfunksender. Bei noch höheren Frequenzen liegen die Bereiche für die weitverbreiteten Mikrowellenherde, die direkte Kommunikation über Satelliten (Iridium-Netz) sowie Frequenzbänder für wissenschaftliche und technische Anwendungen. Hier sei aber gleich erwähnt, dass eine Reihe von Anwendungen mit noch höheren Frequenzen im Terahertz-Bereich für bildgebende Verfahren in der Medizin oder in der Personenüberwachung entwickelt wurden und nur darauf warten, in der Breite eingesetzt zu werden. Grund genug, sich Gedanken um ein Sicherheitskonzept und um Grenzwerte zu machen, bevor Anwendungen auf den Markt kommen.

Elektromagnetische Wellen können das Gewebe erhitzen

Elektromagnetische Wellen im Gigahertz-Bereich verfügen nicht über ausreichend Energie, um beim Absorptionsprozess direkt zu ionisieren, das heißt, ein Elektron aus einem Atom oder Molekül herauszuschlagen **2**. Diese Eigenschaft tritt erst bei höheren Frequenzen, bei ultravioletter Strahlung, Röntgenstrahlung oder Gammastrahlung auf und bestimmt die biologische Wirkung dieser Strahlungsformen. Dabei werden durch die ionisierten Moleküle Reaktionen ausgelöst, die Schädigung von Zellen oder der Erbanlagen zur Folge haben. Nichtsdestoweniger können elektromagnetische Wellen im Gigahertz-Bereich, wie man es anschaulich bei einem Mikrowellenherd sieht, zur Erhitzung im Gewebe führen.

Wie kann diese elektromagnetische Strahlung auf den Menschen wirken? Dies hängt zunächst einmal davon ab, wie sie vom Gewebe absorbiert wird, welche Energie im Gewebe deponiert wird, und wie diese absorbierte Energie dann vom Körper umgesetzt oder abgegeben wird – auf harmlose oder auf schädliche Weise. Für die Wirkung der elektromagnetischen Welle betrachtet man als physikalische Größen entweder die Stärke der elektrischen Feldstärke E (Einheit: Volt/Meter), die magnetische Feldstärke H (Einheit: Ampère/Meter) oder die absorbierte Strahlungsleistung P (Einheit: Watt/Quadratmeter). Daneben ist auch noch üblich, die spezifische Absorption SA (Einheit: Joule/Kilogramm) oder die spezifische Absorptionsrate SAR (Einheit: Watt/Kilogramm) zu bestimmen **2**. Die zulässigen Grenzwerte dieser Größen sind gesetzlich festgelegt. Die Bundesimmissionschutzverordnung »Elektromagnetische Felder« von 1997 legt für die Bevölkerung beispielsweise als höchstzulässige spezifische Absorptionsrate (SAR) für Teile des Körpers 20 Milliwatt pro 10 Gramm Körpergewebe fest. Diese Grenzwerte basieren derzeit noch auf Schätzungen und Extrapolationen. Sie sollten ständig überprüft werden, und es wäre wünschenswert, dass sie mit zunehmendem Stand der Technik gesenkt würden. Die Eindringtiefe und Absorption elektromagnetischer Strahlung sind stark frequenzabhängig. Sie sind für einen Teil des Frequenzbereichs in **3** dargestellt.

Thermische Effekte abhängig von Art des Gewebes

Die Eindringtiefe hängt neben der Frequenz auch noch vom Wasser- und Proteingehalt des Gewebes ab. Bei Fettgewebe oder Knochengewebe kann sie zwei- bis dreifach größer sein als im Muskelgewebe. Bei den hier betrachteten Frequenzen (1–2 GHz) beträgt die Eindringtiefe einige Millimeter bis einige Zentimeter.

Welche Wirkungsmöglichkeiten und Wirkungsorte sind denkbar? Am Beispiel der als Cartoon gezeichneten Zelle **4** sind diese möglichen Einflüsse zusammengefasst. Denkbar ist, dass die elektrische Feldstärke die Zellmembran beeinflusst, die als Lipiddoppelschicht

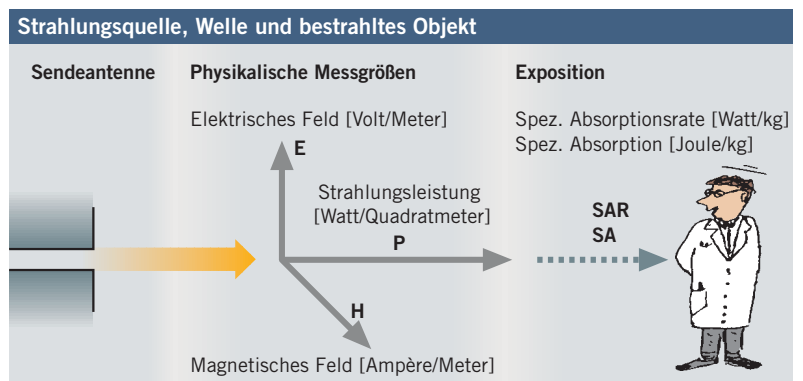


1 Zwischen etwa 800 Megahertz (MHz) und 2,5 Gighertz (GHz) liegt der Bereich des elektromagnetischen Spektrums, der für den Betrieb von Handys genutzt wird.

und elektrischer Isolator die Zelle umgibt. Die »normalen« elektrischen Potenziale über diese Lipiddoppelschicht betragen bis zu zirka 0,1 Volt. Würde dieser Spannung ei-

Auch ein Einfluss durch Ionenwanderung – an die Zellaußen- und Innenwand sind Ionen angelagert – auf die Zellfunktion erscheint möglich. Der Transport von geladenen

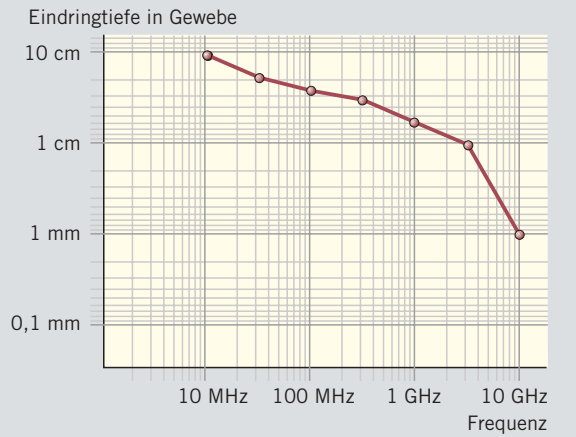
2 Wie absorbiert das menschliche Gewebe die elektromagnetische Strahlung? Dieser Vorgang wird in dieser Abbildung dargestellt – von der Strahlungsquelle über die Welle bis zum bestrahlten Objekt.



ne von außen wirkende Spannung überlagert, beispielsweise 0,5 Volt oder mehr, so könnte das elektrische Feld »durchbrechen«, analog zu einer Funkenentladung in Luft zwischen zwei Elektroden. Ein solcher elektrischer Durchbruch würde die Zellfunktion beeinträchtigen. Allerdings ist es sehr unwahrscheinlich, dass bei Frequenzen um ein Gigahertz mit Mobiltelefonen solche Feldstärken erreicht werden.

Teilchen durch Poren in der Zellmembran ebenso wie Signalketten, die über das Membranpotenzial wirken, könnte durch felderzeugte elektrische Spannungen gestört werden. Im Zellinneren muss prinzipiell berücksichtigt werden, dass die geladenen Teilchen wandern und die elektromagnetischen Wellen direkt auf die DNA im Zellkern einwirken könnten. Schließlich müssen noch Erwärmungseffekte, lokal

Absorption und Eindringtiefe elektromagnetischer Strahlung in Gewebe



3 Eindringtiefe und Absorption elektromagnetischer Strahlung in das Gewebe sind stark abhängig von der Frequenz der Strahlungsquelle.

oder über größere Bereiche, als potenzielle Wirkungen erfasst werden.

Welche Effekte sind von vorneherein unwahrscheinlich? Wo sind aufgrund von experimentellen Befunden konkrete Aussagen möglich? Die Strahlung wird absorbiert, indem das elektrische Feld der elektromagnetischen Welle mit Ladungen und Dipolen der Moleküle, vor allem mit den Dipolen der Wassermoleküle, Wechselwirkungen hervorruft. Diese Dipole werden von der oszillierenden elektrischen Feldstärke zu Schwingungen angeregt und können durch »Reibung« mit ihrer Umgebung Wärme erzeugen. Man spricht hier von der »Orientierungspolarisation« von Wasser, die den Haupteffekt der Absorption bei Frequenzen von ein bis zwei Giga-

hertz ausmacht. Auf der Basis dieser »Reibungswärme« funktioniert der Mikrowellenherd.

Diese Art Wechselwirkung bezeichnet man als »thermische Effekte«. Sie sind halbwegs gut charakterisiert, so dass zu eventuellen Schäden klare Aussagen möglich sind. Daher kann keine pauschale Entwarnung gegeben werden. Vor allem bei Kleinkindern muss bei der Risikobewertung mit Vorsicht vorgegangen werden, da bei ihnen die geringen Volumina von Organen mit den üblichen Sendeleistungen zusammenkommen. Bei Erwachsenen können Trübungen der Augenlinse eintreten, da die protein- und wasserhaltige Augenlinse einerseits gute Absorptionseigenschaften für die Strahlung bietet, andererseits die schlechte Wärmeabfuhr in der nicht durchbluteten Augenlinse den Prozess begünstigt.

Häufig wird die Frage diskutiert, inwiefern sich diese thermischen Effekte über das hinaus auswirken, was starke Sonneneinstrahlung ohnehin bewirkt. Während manche Wissenschaftler ein längeres Handy-Telefonat, bei dem »heiße Ohren« entstehen können, mit einem Sonnenbad vergleichen, diskutieren andere durchaus ernsthaft die Möglichkeit, dass aufgrund inhomogener Erwärmung im Gewebe und der gepulsten Strahlung in Körperzellen lokal höhere Temperaturen auftreten können, die die Zellen zur Produktion von so genannten Hitze-

schockproteinen (hsp, *heat shock proteins*) anregen könnten. Solche Hitzeschockproteine sind aus zellulären Signalwegen bekannt, wo sie beispielsweise das Absterben von Zellen initiieren können. Bisher kann weder die eine noch die andere Fraktion schlüssige Beweise für die Harmlosigkeit der Erwärmung beziehungsweise für die Theorie der Hitzeschockproteine anführen.

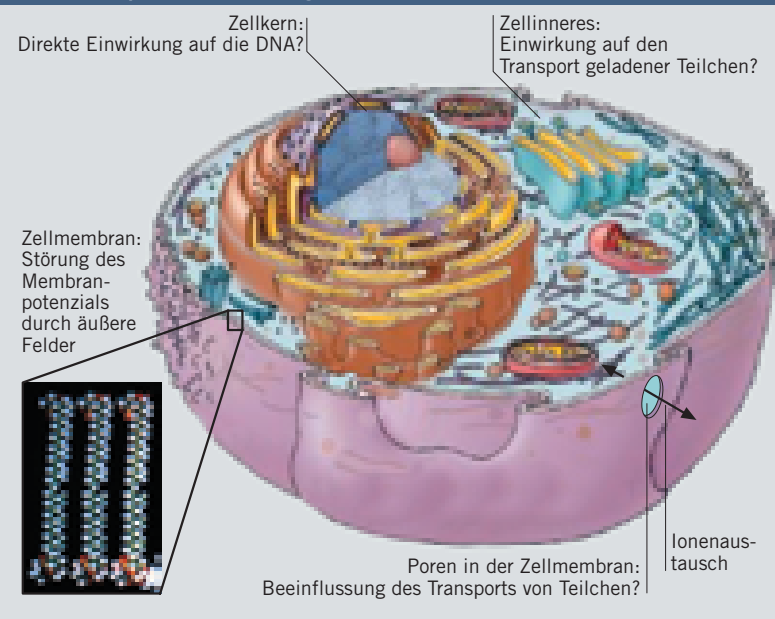
Die technische Weiterentwicklung der Handys hat die Gefahren thermischer Schäden minimiert. Während in der Anfangszeit das Netz der Relaisstationen noch sehr weitmaschig war, und die Handys daher mit konstant hoher Leistung pulsten, entwickelten die Hersteller bald Systeme, die ihre Sendeleistung abhängig von der Entfernung und der Feldstärke der Relaisstation anpassen. Wenn das Display am Handy eine hohe Senderfeldstärke und damit eine nahe Relaisstation anzeigt, genügt eine geringere Sendeleistung. Dies lässt sich vom Hersteller gut als »Schonung« des Nutzers verkaufen, obwohl der Verdacht naheliegt, dass es eigentlich darum ging, die maximale Sprechdauer mit einer Batterieladung zu verlängern. Auch die Entwicklung von Antennenstrukturen, die die Hauptsendeleistung vom Kopf weg gerichtet ausstrahlt, hat dazu beigetragen, dass die thermischen Belastung reduziert wurde.

Nur geringe »Störungssignale« in der Zellmembran

Wie aber steht es mit nicht-thermischen Effekten? Bislang kann eine Kraftwirkung auf geladene Teilchen, die in zelluläre Transportprozesse oder Signalwege eingreift, nicht ausgeschlossen werden. Für den Aufbau von Spannungen über die Zellmembran kann aber Entwarnung gegeben werden: die Lipid-Doppelschicht dieser Membran wirkt bei Frequenzen oberhalb zirka 100 Megahertz wie ein elektrischer Kondensator, der das Hochfrequenzsignal kurzschließt. Die bei Einstrahlung von elektromagnetischen Wellen über die Lipidmembran auftretenden »Störersignale« sind aus diesem Grund so klein, dass sie gegenüber den biologischen Membranpotenzialen vernachlässigt werden können.

Eine dritte, nicht-thermische Wirkung sollte wenigstens prinzipiell in Betracht gezogen werden, ob-

Komponenten einer Zelle und die möglichen Einwirkungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern



4 Wie sich Hochfrequenzstrahlen im Bereich von ein bis zwei Gigahertz auf die verschiedenen Komponenten einer Zelle auswirken könnten, wird in dieser Zeichnung dargestellt.

wohl auch hier bisher keine eindeutigen experimentellen Aussagen vorliegen. Ähnlich wie bei sichtbarem Licht oder bei Licht im infraroten Spektralbereich könnten resonante Absorptionen möglich sein, die nur bei einer bestimmten Frequenz auftreten und die Biopolymere anregen könnten. Zumindest prinzipiell sind solche Resonanzen denkbar, die dann auch in zelluläre Stoffwechselfvorgänge oder Signalwege eingreifen könnten. Für solche Wechselwirkungen müssten eine Reihe von Bedingungen erfüllt sein: Die betroffenen Moleküle müssten niederfrequente Anregungszustände mit sehr niedrigen Energien entsprechend der Energie der elektromagnetischen Wellen aufweisen. Dies könnten Rotationen von Molekülteilen, die Schwingungsbewegung von Proteindomänen oder die kollektive Bewegung von schwach über Wasserstoffbrücken gebundenen Molekülteilen sein. Diese Bewegungen wären allerdings bei Raumtemperatur auch schon durch die Wärmebewegung aktiviert, so dass die Einstrahlung einer elektromagnetischen Welle nur schwache Einwirkung hätte. Möglicherweise ist unser übliches Bild von den möglichen Anregungszuständen von Makromolekülen auch zu einfach, um Anregungen durch niederfrequente Strahlung zu erklären. Denkbar sind auch »Tunnelprozesse«, bei denen Makromoleküle zwischen zwei möglichen Konformationen pendeln und dazwischen »verbotene« Konfigurationen annehmen müssen.

Die experimentellen Arbeiten zur resonanten Anregung von Biomolekülen sind spärlich. Während für kleine Moleküle, zum Beispiel Ammoniak, niederfrequente Absorptionen durch Tunnelprozesse gemessen werden konnten, fehlen spektroskopische Daten über die Absorption von Proteinen, Lipiden und DNA im betrachteten Spektralbereich fast völlig. Es gibt jedoch vereinzelt Hinweise auf nicht-thermische, resonante Effekte beim Wachstum von Zellkulturen, die jedoch kaum reproduziert wurden. Hier ist ein großer Nachholbedarf an Experimenten, die allerdings nicht einfach sind. Auch solche Wechselwirkungseffekte können daher beim jetzigen Stand der Forschung weder bestätigt noch ausgeschlossen werden.



Kein Anlass zur Panik, aber keine pauschale Entwarnung

Es gibt derzeit keine hinreichenden Hinweise, dass Mobiltelefone, schnurlose Telefone oder drahtlose Vernetzungstechniken (»bluetooth«) zu schädigenden thermischen Effekten führen, wenn die geltenden Grenzwerte (20 mW absorbierte Energie pro 10 g Körpergewebe, gemittelt über 6 Minuten – in dieser Zeit kann sich ein Gleichgewicht durch die Blutzirkulation einstellen) eingehalten werden. Überschreitungen dieses Wertes sind nur in unmittelbarer Nähe (innerhalb von wenigen Metern) der Antennen von Relaisstationen zu erwarten. Da diese jedoch meist auf Dächern und Masten montiert sind, liegt auch hier die Belastung weit unterhalb der geltenden Grenzwerte.

Die Hinweise auf eine mögliche Schädigung durch nicht-thermische Effekte sind derzeit nicht ausreichend, um daraus Empfehlungen für niedrigere Grenzwerte oder für Vermeidung von Frequenzbereichen oder bestimmte Übertragungstechniken abzuleiten. Die entsprechenden Studien krankten oft an unzureichend definierten Versuchs-

bedingungen, schlechter Reproduzierbarkeit und unvollständiger Dosimetrie. Die Hinweise auf eine Störung von Hirnströmen, Nervenzuständen oder Schlafphasen sind größtenteils widersprüchlich und lassen bisher keine eindeutigen Schlüsse zu. Dies gilt ebenso für Hinweise auf eine Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke. Auch die vielen Fallberichte von Ärzten sind nur Einzelhinweise, die oft einer genaueren Überprüfung nicht standhalten. Für eine erhöhte »elektromagnetische Sensibilität« einzelner Personen gibt es derzeit keinen wissenschaftlichen Beweis.

Auch wenn der gegenwärtige Kenntnisstand keinen Anlass zu Besorgnis oder gar Panik gibt, sollte er nicht dazu verwendet werden, pauschal zu entwarnen. Fortentwicklungen sollten es ermöglichen, mit kleineren Sendeleistungen zu arbeiten und damit punktuelle Belastungen weiter zu reduzieren. Wenn das Netz von Relaisstationen flächendeckend engmaschiger geknüpft wird, kann mit punktuell geringeren Leistungen gesendet werden. Damit könnte der Dialog zwischen Betreibern und Gegnern zukünftig in nüchternen Bahnen verlaufen. ♦

Der Autor

Prof. Dr. Werner Mäntele ist Direktor des Instituts für Biophysik im Fachbereich Physik der Johann Wolfgang Goethe-Universität. Er befasst sich in seinem Arbeitskreis mit infrarotspektroskopischen Untersuchungen von Proteinen. In diesem Zusammenhang arbeitet er an Absorptions- und Wirkungsmechanismen für Infrarot- und Terahertz-Strahlung in biologischen Systemen.