

ElektrosmogReport

Fachinformationsdienst zur Bedeutung elektromagnetischer Felder für Umwelt und Gesundheit

18. Jahrgang / Nr. 12

www.elektrosmogreport.de

Dezember 2012

Hochfrequenzforschung

Wirkung von Hochfrequenz auf lebendes Gewebe

Diese Arbeit ist eine thermodynamische Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen hochfrequenter Strahlung und lebendem Gewebe. Der israelische Autor beschäftigt sich theoretisch, in einem gedachten Experiment, mit den Temperaturverläufen und deren Einflüssen in lebendem Gewebe unter Einwirkung hochfrequenter Strahlung. Die Temperatur im Gewebe ist danach nicht gleichförmig. Einige Moleküle könnten mehr Energie aufnehmen als andere, und das kann zu biologischen Wirkungen führen. Der Autor stellt Berechnungen dazu an.

Die Wirkung hochfrequenter Strahlung auf lebendes Gewebe und Organe ist gut bekannt. Viele dieser Wirkungen sind nicht-thermischer Natur, es erfolgt keine Erwärmung. Hochfrequente Strahlung wurde als möglicherweise Krebs erregend für den Menschen eingestuft. Noch weiß man wenig über die genauen Mechanismen, die die Wechselwirkungen zwischen Strahlung und Gewebe ausmachen, aber viele Möglichkeiten werden diskutiert. Da lebendes Gewebe an sich schon sehr komplex ist, werden die Mechanismen es auch sein, und deshalb werden Physik, Chemie und Biologie zusammenarbeiten müssen, um die Mechanismen aufklären zu können. In dieser Arbeit wird eine neue thermodynamische Betrachtung vorgestellt, die einen interessanten Aspekt der Wechselwirkungsmechanismen erhellen könnte. Sie zeigt, dass lebendes Gewebe, das Hochfrequenzstrahlung ausgesetzt ist, nicht im thermischen Gleichgewicht ist, sondern es zwei Temperaturen gibt: Die Umgebungstemperatur T_A und bedingt durch gewisse Bedingungen der Strahlung die sehr viel höhere Temperatur T_R . Zusammen mit den hier präsentierten Kriterien für die Bestimmung von T_R können andere Kriterien zu anderen Temperaturen führen. Aber T_R kann ein bedeutender physikalischer Faktor sein, der hier zusammen mit Vorstellungen über mögliche Mechanismen der Wechselwirkungen erklärt wird.

Der hier betrachtete Frequenzbereich ist 1 GHz, in dessen Bereich die Mobilfunkfrequenzen 0,9 und 1,8 GHz liegen. Die Wechselwirkungen von Systemen mit unterschiedlichen Temperaturen, deren Thermodynamik sich nicht im Gleichgewicht befindet, werden untersucht unter Anwendung des Prinzips des lokalen thermodynamischen Gleichgewichts (Local Thermodynamic Equilibrium, LTE). In diesem Prinzip haben die Teilchen des Systems fast die gleichen Eigenschaften wie ein System im vollen Gleichgewicht, trotz der Einwirkung von äußeren Kräften wie beispielsweise ein Energiefluss, der die Temperatur ändert. LTE tritt auf, wenn die Wechselwirkung zwischen den Teilchen im System

stark genug ist, um die zugeführten Kräfte neu zu verteilen und eine statistische Verteilung erreicht, ähnlich wie beim thermodynamischen Gleichgewicht. In einem gedachten Experiment wird eine große Kapsel in der Nähe einer Mobilfunkbasisstation an einer Stelle auf die Erde gestellt, wo die Strahlungsdichte $50 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ beträgt. Die Kapsel ist abgeschirmt und lässt nur Strahlung der zu untersuchenden Frequenzen durch. Das Experiment beginnt mit ausgeschalteter Basisstation, dann sind das Innere und die Umgebung im thermodynamischen Gleichgewicht. Wenn der Sender eingeschaltet wird, stellt sich nach einiger Zeit ein Fließgleichgewicht ein, bei dem kein Nettofluss der Strahlung oder anderer Energie in die Kapsel gelangt. Wenn Energie zugeführt wird, verändern sich die Verhältnisse, abhängig von der Durchlässigkeit der Umhüllung und der Temperatur.

In Bezug auf lebendes Gewebe werden 2 Varianten untersucht, das homogene und das inhomogene Modell. Im homogenen Modell hat das lebende Gewebe die Eigenschaften der Kapsel und befindet sich im Gleichgewicht, wenn keine Strahlung einwirkt; es nimmt durchschnittlich dieselbe thermische Energie auf. Bei schwacher Strahlungskopplung einwirkender Strahlung und der normalen hohen Wärmeleitfähigkeit des menschlichen Körpers wird die Temperatur kaum über $36,5 \text{ }^\circ\text{C}$ steigen, wenn die Strahlungsintensität unter der thermischen Schwelle liegt (der die ICNIRP-Grenzwerte zugrunde liegen). Beim inhomogenen Modell geschieht die Energieübertragung unterschiedlich, weil verschiedene Moleküle verschiedene Wärmeleitfähigkeit haben, und dadurch entstehen Temperaturdifferenzen innerhalb des Gewebes. Solche ungleichförmigen Erwärmungen von Gewebe wurden in Experimenten nachgewiesen. In der Literatur zu biologischen Einflüssen der nicht-ionisierenden Strahlung wird der Begriff „Wärmewirkung“ definiert als gleichmäßige Erwärmung, der Begriff „nicht-thermische Wirkung“ fällt unter das hier angenommene inhomogene System.

Die benötigte Mindestenergie, um in lebendem Gewebe Veränderungen hervorzurufen, ist schwer zu bestimmen. Ein Anhaltspunkt ist, dass der Mensch sich bei $36,5 \text{ }^\circ\text{C}$

Weitere Themen

Feldbelastung durch Induktionsherde, S. 2

Messungen an Modellen ergaben, dass die Grenzwerte meist deutlich überschritten werden.

Stand der EMF-Forschung, S. 2

Auf Tagungen wurde diskutiert, welchen Nutzen Epidemiologie hat und wo die Mobilfunkforschung steht.

Novellierung der 26. BImSchV, S. 3

Zum Entwurf der Novellierung der 26. BImSchV haben Verbände kritische Anmerkungen und Forderungen aufgestellt.

wohl und bei 40 °C krank fühlt. Eine Temperaturdifferenz von 3,5 °C hat somit einen entscheidenden Einfluss auf bestimmte Gewebe des menschlichen Körpers. Es ist vorstellbar, dass bei Anwesenheit von Hochfrequenzstrahlung an einigen Stellen mehr Energie aufgenommen wird als die Durchschnittstemperatur vermuten lässt und durch eine hohe Temperaturdifferenz eine biologische Veränderung zustande kommt. Der Wechselwirkungsmechanismus könnte somit an wenigen Molekülen innerhalb des Gewebes entstehen, die aus dem thermischen Gleichgewicht geraten, ohne dass sich sichtbar etwas an der Durchschnittstemperatur ändert. Solche Prozesse sind bisher nur bei der NADH-Oxidase nachgewiesen.

Die Existenz von nicht-thermischen Wirkungen steht fest, lediglich die Mechanismen der Wechselwirkungen selbst sind noch nicht aufgeklärt. Die thermodynamische Betrachtung hier kann die treibende Kraft sein für einige der Mechanismen, andere Mechanismen wie die Wechselwirkung mit Gruppen von Wassermolekülen sind in diesem Zusammenhang weniger von Bedeutung. Die Absorption der Strahlungsenergie in lebendem Gewebe ist nicht gleichförmig, sondern variiert stark in den verschiedenen Teilen, auch innerhalb einer Zelle.

Es gibt viele Ursachen für Ungleichförmigkeit und Ungleichgewicht in lebenden Geweben, nicht nur durch Hochfrequenzstrahlung. Einige davon haben lebensnotwendige Funktionen im Lebensprozess. Die lange bekannten Energieflüsse in den Mitochondrien, die chemische Energie für die Lebensprozesse in jeder Zelle liefern, sind nur ein Beispiel für Ungleichförmigkeit. Mitochondrien könnten eine Region in den Zellen sein, wo die Wechselwirkungsmechanismen stattfinden. Diese neue thermodynamische Betrachtungsweise der Wechselwirkungsmechanismen zwischen der Hochfrequenzstrahlung und lebendem Gewebe weist der Strahlung Eigenschaften zu, die als sehr heiß und schwach gebunden an die Moleküle des Gewebes anzusehen ist. Die aufgenommene Energie in einem bestimmten Teilchen hängt von der Fließgeschwindigkeit des elektromagnetischen Feldes zum Molekül ab und wie schnell dann die Verteilung in die Umgebung stattfindet. Eine starke Wechselwirkung zwischen Strahlung und Gewebe unterhalb der thermischen Schwelle ist vereinbar mit dieser Betrachtung, wenn die Wechselwirkung nicht gleichförmig ist und einige Moleküle signifikant mehr Energie aufnehmen als der Durchschnitt. Diese Arbeit stellt keine neuen Mechanismen vor, sondern sie will mögliche Kennzeichen von Mechanismen aufzeigen und erklären, dass diese mit bekannten physikalischen und biologischen Prinzipien vereinbar sind. Es ist allerdings auch möglich, dass ganz andere Mechanismen zugrunde liegen.

Quelle: Peleg M (2012): A Thermodynamic Perspective on the Interaction of Radio Frequency Radiation with Living Tissue. *International Journal of Biophysics* 2 (1), 1–6

Hoch- und Niederfrequenz

Hohe Feldbelastung durch Induktionsherde

Bei Induktionsherden können die Grenzwerte sowohl im häuslichen als auch im beruflichen Bereich stark überschritten werden. Direkt am Herd werden die Grenzwerte sogar meist überschritten. Für die durchschnittliche Ganzkörperbelastung gilt, dass die Grenzwerte für die Öffentlichkeit überschritten werden und die Werte

für den beruflichen Bereich z. T. erreicht werden. Für kleine Kinder und den Fetus im Mutterleib werden die Werte am Kopf ebenfalls überschritten.

Induktionsherde werden immer beliebter, vor allem im beruflichen Bereich, weil sie energieeffizienter sind und man die Wärmezufuhr besser regulieren kann als beim traditionellen Elektroherd und die Gefahren der Gasherde vermeiden. Frühere Experimente hatten ergeben, dass die ICNIRP-Grenzwerte mehr als 30-fach überschritten werden können.

Die Berechnungen und Messungen hier erfolgten an hochauflösenden anatomischen Modellen von Erwachsenen verschiedener Größe und Dicke, von schwangeren Frauen und von Kindern, deren Kopf sich in Höhe des Kochfeldes befindet. Gemessen wurden 9–400 kHz im Abstand von 0 cm für jemanden, der am Herd steht (ohne sich über den Herd zu beugen), und 30 cm Abstand zum Rand des Kochfeldes, für jemanden, der daran vorbeigeht. Getestet wurden 13 professionelle Kochfelder und 3 für den Privathaushalt. Auf dem Herd stand jeweils ein mit 3 l Wasser gefüllter Topf, der mit maximaler Hitze erwärmt wurde.

Ergebnisse: Hauptkomponente des Spektrums ist 20 kHz. In 30 cm Abstand erfüllen die meisten Kochfelder die ICNIRP-1998-Grenzwerte für die Öffentlichkeit (6,25 µT), allerdings variieren die Feldstärken um den Faktor 30. Bei 0 cm liegen außer zweien alle innerhalb der beruflichen Grenzwerte von 30,7 µT. Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den professionellen und den privaten Herden. Zusätzlich wurde die Einwirkung des Magnetfeldes mit verschiedenen Gefäßen bestimmt, die auch außerhalb der Mitte des Kochfeldes positioniert waren, und Töpfe, die nicht für Induktionsherde geeignet sind. Bei fast allen Herden wurden erhöhte Feldstärken gefunden in Bezug auf den IEC-62233-Standard, der höchste Wert lag mehr als 4,5-fach darüber bei einem Herd für den Privathaushalt.

Für die Berechnung der Flussdichte, die im menschlichen Körper hervorgerufen wird, wurden 6 nichtschwangere und 3 schwangere anatomische Ganzkörper-Modelle ausgesucht für die dosimetrischen Analysen bezogen auf die Körpermasse von Personen, die beruflich in Küchen arbeiten. Auch Modelle von kleinen Kindern wurden untersucht. Die Messungen der elektrischen und magnetischen Felder erfüllten sowohl an den 3 häuslichen Herden als auch bei den 13 beruflichen Einrichtungen in 30 cm Abstand die IEC-62233-Grenzwerte (2005) für die Öffentlichkeit. Bei kürzeren Abständen werden die beruflichen Grenzwerte erreicht oder überschritten. Die Flussdichten in den menschlichen Körpern von Erwachsenen, Schwangeren und Kindern erreichten die ICNIRP-Grenzwerte von 1998 für die Öffentlichkeit in 30 cm Entfernung.

Quelle: Christ A, Guldemann R, Bühlmann B, Zefferer M, Bakker JF, van Rhoon GC, Kuster N (2012): Exposure of the Human Body to Professional and Domestic Induction Cooktops Compared to the Basic Restrictions. *Bioelectromagnetics* 33, 695–705

Zur Situation der EMF-Forschung

EMF-Forschung in der Sackgasse?

Prof. Dariusz Leszczynski, zur Zeit an der Swinburne University of Technology in Melbourne tätig, schildert seine Eindrücke auf Tagungen zur Forschung im Bereich elektromagnetische Felder (Mobilfunk und Epidemiolo-