

Konzentration nicht im Gleichgewicht ist. Der Anstieg der Calcium-Konzentration in der Zelle kann zu gesteigerter Zellteilung und -differenzierung führen und verschiedene Enzymaktivitäten verändern.

Krebsentstehung (Karzinogenese): Mobilfunkstrahlung kann die DNA-, RNA- Proteinsynthese- und Zellteilungsrate verändern. Aber die epidemiologischen Studien sind nicht eindeutig. Dennoch kann ein möglicher Ablauf der Krebsentwicklung gezeichnet werden. Verschiedene Enzyme und Rezeptoren in der Plasmamembran werden, wie oben beschrieben, als Angriffspunkte für Mobilfunkstrahlung verändert, was ein unkontrolliertes Zellwachstum auslösen kann.

Zusammenfassend ist festzuhalten: Die Zellmembran ist der primäre Angriffspunkt der Strahlung, dadurch entstehen ROS-Moleküle, die NADH-Oxidase-Aktivität in der Zellmembran steigt an. Dauereinwirkung von Mobilfunkstrahlung kann durch oxidativen Stress zu DNA-Schäden führen. Das führt zu vermehrtem Zelltod von Spermienzellen und neurodegenerativen Prozessen im Gehirn sowie zur Beschleunigung des Krebszellwachstums in beiden Organen. Die Beschleunigung des Krebswachstums entsteht durch Einwirkung der Strahlung auf die Enzyme PKC, ODC und Stresskinase und auf die Calcium-Konzentration in den Zellen. Oxidativer Stress und Veränderungen in der PKC-Aktivität könnten für die in vielen Studien beobachtete Unfruchtbarkeit verantwortlich sein. Deshalb sollten die SAR-Grenzwerte für Mobiltelefone herabgesetzt werden, empfehlen die Autoren.

Quelle:

Desai NR, Kesari KK, Agarwal A (2009): Pathophysiology of cell phone radiation: oxidative stress and carcinogenesis with focus on male reproductive system. *Reproductive Biology and Endocrinology* 7, 114

Zellforschung Niederfrequenz

Einfluss elektrischer Felder auf das Zellskelett

In dieser theoretischen Arbeit werden die mechanischen Kräfte berechnet, die von elektrischen Feldern auf das Zellskelett ausgeübt werden. Die berechneten Kräfte dieses elektromechanischen Übertragungsprozesses stellen einen einleuchtenden Mechanismus dar, warum von außen einwirkende elektrische Felder biologische Wirkungen haben.

Über die physikalischen Mechanismen, mit denen elektrische Felder in den Zellen übertragen werden, ist kaum etwas bekannt. Diese Arbeit stellt zum ersten Mal ein quantitatives Modell vor, das eine Verbindung zwischen elektrischem Feld und Zellskelettkräften herstellt. In einer früheren Arbeit hatte der Autor gezeigt, dass elektrische Felder physiologischer Stärke signifikante mechanische Drehungen auf Zellebene erzeugen (s. *ElektrosmogReport* 12/2008). In der neuen Arbeit werden die gleichermaßen auf das Zellskelett einwirkenden Kräfte berechnet und das Ergebnis ist, dass diese in der gleichen Größenordnung liegen, d. h. sie haben die gleichen mechanischen Kräfte, die physiologische Wirkungen ausüben können. Dazu kommen Kräfte durch die Viskosität, die von den umgebenden Strukturen ausgeübt werden. Die Kraft eines elektrischen Feldes von 10 V/m, das auf eine Hyaluronkette des CD 44-Rezeptor im Knorpel übertragen wird, beträgt etwa 1 pN (picoNewton) bei 10 Hz und 7 pN bei 1 Hz. Beträgt das elektrische Feld 100 V/m, ist die auf das Zellskelett übertragene Kraft 0,5 pN bei 10 Hz und 1,3 pN bei 1 Hz. Mechanische Kräfte solcher Stärke sind in der Lage, physiologische Wir-

kungen hervorzurufen. Natürliche Kräfte in und zwischen Zellen betragen etwa 0,5 pN–10 pN. Beispielsweise können 4,5 pN Chromatinmoleküle entfalten oder 0,5 pN Wechselwirkungen zwischen Nukleosomen unterbrechen. Deshalb können künstliche Felder, die von außen einwirken, biologische Relevanz besitzen.

Ein möglicher Mechanismus, wie elektrische Felder wirken, ist eine Änderung des Transmembran-Potenzials, das die spannungsabhängigen Ionen-Kanäle öffnet. Ein anderer Mechanismus könnte über Diffusion/Osmose laufen, was aber bei Wechselfeldern kaum der Fall sein kann. Ein Vorschlag, den Hart 2008 gemacht hatte, ist die Drehung eines negativ geladenen Glycoproteins, das mit der Zelloberfläche verbunden ist. Hier werden die Drehungskräfte, die auf das Zellskelett ausgeübt werden, als Modell vorgestellt. Da die Kräfte in der gleichen (physiologischen) Größenordnung liegen, ist auch dieser Mechanismus möglich. Hart betrachtet in seinem Modell die Beziehungen der Moleküle untereinander: Größe (Radius), Drehung, Ladungen und deren Lage. Die Verbindungen von Molekülen im extrazellulären Raum mit den Molekülen in der Membran und dem Zellskelett im Zellinnern üben Kräfte aufeinander aus. Das Aggrecan (ein Protein, ein Hauptbestandteil des Knorpels) z. B. liegt quer zur Zelloberfläche, die Glykocalix (die Zellhülle) aber parallel, sodass hier Scherkräfte entstehen. Die sich dadurch ergebenden Unterschiede in der Richtung der Kräfte bedeuten möglicherweise verschiedene biologische Wirkungen, weil die Zelle verschiedene Signale erhält. Auch die Frequenz spielt eine wichtige Rolle. Kräfte der elektrischen Felder, die von außen auf die Glykocalix einwirken, werden in das Zellinnere weitergeleitet und bewirken Veränderungen in der Membran und im Zellskelett. Das Modell passt auf alle Zelltypen, unabhängig von der Größe, und es funktioniert bei Gleich- und Wechselfeldern.

Quelle:

Hart FX (2010): Cytoskeletal Forces Produced by Extremely Low-Frequency Electric Fields Acting on Extracellular Glycoproteins. *Bioelectromagnetics* 31, 77–84

Statische Magnetfelder

Pflanzenwachstum durch Magnetfelder beschleunigt

Bohnen und Weizen haben eine höhere Keimungs- und Wachstumsrate sowie stärkere Zunahme der Biomasse, wenn die Samen während der Keimung 7 Tage lang mit statischen Magnetfeldern von 4 und 7 mT behandelt werden. Und das auch, wenn die Pflanzen osmotischem Stress ausgesetzt sind.

Seit langem ist bekannt, dass Magnetfelder das Wachstum von Pflanzen beschleunigen. Diese Wirkung wurde bereits an vielen verschiedenen Nutzpflanzen festgestellt. Man kann diese Eigenschaft der Magnetfelder im kommerziellen Pflanzenanbau dazu nutzen, den Ertrag zu steigern und ihn schneller und früher zu bekommen. In diesen Experimenten kamen Bohnen- und Weizensamen zum Einsatz. Untersucht wurden die Keimung und das Wachstum der Sämlinge in verschiedenen Nährmedien, die durch Salz- oder Zuckerlösung einen osmotischen Druck von 0, 2, 6 und 10 Atmosphären (atm) hatten. 50 Weizen- und 12 Bohnensamen wurden für jeden Ansatz verwendet. Die statischen Magnetfelder von 4 und 7 mT wirkten 7 Tage ein. Innerhalb dieser 7 Tage wurden die Keimungsraten bestimmt und in Prozent zu den unbehandelten Kontrollen angegeben. Dann wurden Länge und Gewicht von Spross und Wurzel gemessen und die Trockenmasse bestimmt.

Nach 7 Tagen waren die mit den statischen Magnetfeldern behandelten Pflanzen schneller gewachsen. Die behandelten Samen von Bohnen und Weizen hatten eine höhere Keimungsrate gegenüber den Kontrollen, unabhängig von der Salz- oder Zuckerkonzentration. Die durchschnittliche Länge der Pflanzen war statistisch höher als die der Kontrollen. Die größten Keimungs- und Wachstumsraten fand man bei den mit 7 mT behandelten Pflanzen, und zwar waren sie umso größer, je stärker die Salz- und Zuckerkonzentration war. Beim Weizen war die Trockenmasse der Pflanzen von Spross und Wurzel bei allen Konzentrationen signifikant erhöht, bei den Bohnen führten nur 7 mT zu statistisch signifikanter Steigerung.

Die Beschleunigung der Keimung und die relative Zunahme der Sprosslänge waren größer bei den Bohnen als beim Weizen. Auch die relative Zunahme des Gewichts der Trockenmasse war bei Bohnen stärker ausgeprägt, bei 7 mT statistisch signifikant. Steigende Salz- und Zuckerkonzentration im Wachstumsmedium verzögert die Entwicklung, Salz stärker als Zucker. Die Keimungsrate der Kontrollpflanzen betrug am 2. Tag etwa 2 %, bei 4 mT 18 % und bei 7 mT 22 % im osmotischen Medium von 10 atm. Nach 7 Tagen waren bei den Kontrollen 84 % und bei den mit Magnetfeldern behandelten Samen 100 % gekeimt. Die Keimungsrate von 100 % war bei den meisten mit Magnetfeld behandelten Ansätzen einen Tag früher erreicht als bei den unbehandelten Kontrollen.

Vergleicht man die Wachstumsentwicklungen bei den Ansätzen mit steigendem osmotischem Druck, war insgesamt eine Verzögerung von Keimung und Wachstum bei Bohnen und Weizen festzustellen, aber immer hatten die Kontrollen die niedrigsten Werte. Bei Salz war das stärker ausgeprägt als bei Zucker, was zeigt, dass Salz noch eine andere giftige Wirkung zeigt als nur den osmotischen Stress. In beiden Pflanzenarten waren die Unterschiede statistisch signifikant, bei 7 mT stärker als bei 4 mT.

Quelle:

Cakmak T, Dumlupinar R, Erdal S (2010): Acceleration of Germination and Early Growth of Wheat and Bean Seedlings Grown Under Various Magnetic Field and Osmotic Conditions. *Bioelectromagnetics* 31, 120-129

Elektrische Felder und Krebs

Kommentar zu Review über EMF-Wirkung

Louis Slesin, der New Yorker Herausgeber der „Microwavenews“, nahm Stellung zu einer Übersichtsarbeit (Review) von L. Kheifets und Mitarbeitern. Slesin schreibt, dass die Beurteilung der Wirkung von niederfrequenten elektrischen Feldern industriefreundlich ist und wichtige wissenschaftliche Arbeiten nicht berücksichtigt wurden.

Die beiden Co-Autoren von L. Kheifets, die selbst an der Universität von Kalifornien in Los Angeles arbeitet, sind Angestellte der Elektro-Industrie; sie arbeiten bei den Energieversorgern National Grid London bzw. Southern California Edison.

Kheifets et al. schreiben in ihren Review, dass niederfrequente elektrische Felder (im Gegensatz zu Magnetfeldern) im Bereich des Haushaltsstroms (50 und 60 Hz) keine Relevanz bezüglich gesundheitlicher Beschwerden haben, insbesondere auch in Bezug auf Krebs. Ausnahmen gibt es evtl. im beruflichen Bereich, obwohl die Zahl der Arbeiten zu gering sei. Jedenfalls gäbe es keine Veranlassung, auf diesem Gebiet weiter zu forschen. Slesin findet, dass das derzeitige geringe Wis-

sen über die Wirkung von elektrischen Feldern im Gegensatz geradezu dazu herausfordert, weiter zu forschen. Slesin spricht von „industrieller Desinformation“, die beabsichtigt, einen vernachlässigten Forschungsbereich zu schließen. Er bemängelt, dass wichtige Studien nicht einbezogen worden sind, die schon in den 1970er und 1980er Jahren von Marino et al. mit Mäusen durchgeführt worden waren. Man fand, dass elektrische Felder einen Einfluss auf Wachstum und Regulation haben und somit ein potenzielles Krebsrisiko darstellen. Diese Studie läutete eine neue Ära in der Forschung zur Gesundheitsgefährdung durch elektromagnetische Felder ein, denn diese Ergebnisse veranlassten das Electric Power Research Institute (EPRI), Experimente am Battelle Pacific Northwest Labor durchführen zu lassen. Das EPRI finanzierte Experimente mit Minischweinen und es kamen ebenfalls schädliche Wirkungen heraus. Die Beurteilung der Forscher war, dass mehr geforscht werden müsse. Weitere durch das EPRI geförderte Experimente mit mehreren Generationen von Ratten erbrachten widersprüchliche Ergebnisse, aber am Battelle Institut war man weiter der Ansicht, dass weiter geforscht werden müsste, was dann aber nicht geschah. Keine dieser Studien wurde in dem Review von Kheifets et al. erwähnt, man bezieht sich hauptsächlich auf epidemiologische Studien, und meint, dass man keine endgültigen Schlüsse ziehen kann, da die Daten zu elektrischen Feldern von Haushaltsstrom und Geräten ungenügend seien. Slesin bemängelt, dass von den verbleibenden sechs epidemiologischen Arbeiten zu beruflicher Belastung eine Eisenbahn-Studie (16,7 Hz) einbezogen worden ist und eine zweite hat kaum Angaben zu elektrischen Feldern enthält. Eine Untersuchung von 2000 wurde in dem Review nicht erwähnt, Sie erbrachte ein 10-fach erhöhtes Risiko für Leukämie bei Elektrikern, die mehr als 20 Jahre in dem Beruf arbeiten. Diese. Slesin mahnt weitere Forschung an.

Am Ende ist vermerkt, dass die Autoren des Reviews nicht auf diese Beanstandungen antworten wollen.

Quellen:

Louis Slesin (2010): Comments on “Extremely Low Frequency Electric Fields and Cancer: Assessing the Evidence” by Kheifets et al. *Bioelectromagnetics* 31,102–103

Kheifets L, Renew D, Sias G, Swanson J (2010): Extremely low frequency electric fields and cancer: Assessing the evidence. *Bioelectromagnetics* 31, 89–101

Mobilfunkforschung

Keine Mikrokerne?

Eine Arbeit, die von 2 Mitarbeitern der Universität Würzburg durchgeführt und vom Elitenetzwerk Bayern (an dem die Elektrizitätswirtschaft beteiligt ist) finanziert wurde, fand keine Unterschiede in der DNA-Schädigung bei Nicht- und Langzeitnutzern von Mobiltelefonen.

Diese Untersuchung an der Universität Würzburg sollte eine Wiederholungsstudie von früheren Experimenten, durchgeführt von Yadav und Mitarbeitern im Jahr 2008, darstellen. Zellkulturen von Schleimhautzellen der menschlichen Mundhöhle von 131 Teilnehmern waren im Test. Die Teilnehmer wurden nach der Dauer der Nutzung ihres Mobiltelefons befragt und ob sie ein Headset benutzten oder nicht. Die Probanden wurden dann in 11 Gruppen eingeteilt (von Nicht-Nutzer bis Langzeitnutzer über 10 Jahre). Im Labor haben dann zwei Personen je 1000 Zellen auf Mikrokerne durchgemustert. Man fand keine Unterschiede zwischen den Gruppen. Die Anzahl der Mikrokerne unterschied sich nicht, weder zwischen Kurz- und Langzeitnutzern noch zu den Headset-Nutzern. Die Studie wurde von Elitenetzwerk Bayern finanziert,