

Konzentrationen von ROS können DNA, Fette, Proteine und Enzyme im Gewebe schädigen. Zwar gibt es Abwehrsysteme (Antioxidantien) gegen oxidativen Schädigung, die könnten aber durch Hochfrequenzstrahlung überlastet werden.

Das Durchschnittsgewicht der Hoden betrug 2,78 und 2,93 g in den Kontrollgruppen, 2,9 und 2,72 in Gruppe B und C. In Gruppe B war die Lipidperoxidation höher als in den beiden Kontrollen, Melatonin verhinderte diesen Anstieg. Zudem waren die Konzentrationen von GSH und GSH-Px signifikant höher in Gruppe C im Vergleich zu B. Die Konzentrationen der Vitamine A und E waren in der bestrahlten Gruppe vermindert, Melatonin verhinderte die Abnahme von Vitamin E. Die 2,45-GHz-Strahlung erzeugt oxidative Schädigung in Hodengewebe.

Die Werte für die Lipidperoxidation waren im bestrahlten Gewebe signifikant höher als in den Kontrollen und signifikant niedriger in der Melatoningruppe; für GSH wurde ein signifikanter Anstieg in Gruppe C gegenüber B ermittelt. Die Aktivität der GSH-Px war auch in Gruppe C signifikant höher als in B, aber insgesamt gab es bei GSH und GSH-Px keine signifikanten Unterschiede. Bei Vitamin C und Beta-Carotin gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den 4 Gruppen.

Die Werte für die einzelnen Parameter

	A ₁	A ₂	B	C
Gewicht Hoden in g	2,78	2,93	2,90	2,72
LPO µmol/g Protein	28,11	29,04	33,84*	21,32*
GSH µmol/g Protein	4,18	3,99	3,9	5,27*
Vitamin A	1,82	1,88	1,05*	1,13*
Vitamin E	21,9	22,8	18,7*	25,5*

* statistisch signifikant

Zwar fand sich in dieser Studie keine signifikanten Veränderungen bei GSH und GSH-Px, aber eine Verminderung der Vitamine A und E in der bestrahlten Gruppe B gegenüber den Kontrollen. Eine mögliche Erklärung dafür ist die relativ stabile Aktivität des Enzyms GSH-Px und ihre Inaktivierung durch schweren oxidativen Stress.

Vitamin A spielt eine wichtige Rolle in der Spermatogenese; bei Verminderung der Konzentration könnte die Entwicklung beeinträchtigt werden. Vitamin E unterdrückt die Lipidperoxidation in Hoden-Mikrosomen und Mitochondrien, verminderte Konzentration führt zu oxidativem Stress und Störungen in Spermatogenese und der Testosteronproduktion, gefolgt von Störungen in Entwicklung und Funktion der Spermien. Melatonin als wichtiges Antioxidans in Zellen und Geweben ist ein effizienter Fänger von verschiedenen Oxidationsmitteln und zusätzlich verhilft es den Zellen zu erhöhter Resistenz gegen Oxidation. Eine wichtige Eigenschaft von Melatonin ist, dass es sowohl in Wasser als auch in Fetten löslich ist, so dass es gut die Blut-Hoden-Schranke überwinden kann und so das Keimepithel schützt. Die Geschlechtsorgane verschiedener Lebewesen haben Bindungsstellen für Melatonin, so kann man auch eine direkte Wirkung des Melatonins in diesen Geweben annehmen. Die vorliegende Studie zeigt somit eine Wirkung von Melatonin gegen oxidativen Stress, der durch 2,45 GHz in den Rattenhoden entsteht.

Quelle:

Aynali G, Naziroğlu M, Celik Ö, Doğan M, Yarıktas M, Yasan H (2013): Modulation of wireless (2.45 GHz)-induced oxidative toxicity in laryngotracheal mucosa of rat by melatonin. *European Archive of Oto-Rhino-Laryngology* 270, 1695–1700

Oksay T, Naziroğlu M, Doğan S, Güzel A, Gümrall N, Koşar PA (2013): Protective effects of melatonin against oxidative injury in rat testis induced by wireless (2.45 GHz) devices. *Andrologia* doi: 10.1111/and.12044

Hochfrequenzwirkung auf die Umwelt

Umweltfolgen vermehrter Hochfrequenzimmissionen

Dieser Überblick gibt Auskunft über wissenschaftliche Arbeiten zu den Auswirkungen von Frequenzen zwischen 10 MHz und 3,6 GHz auf verschiedene Gruppen von Lebewesen. 113 Studien von über 450.000 wurden herausgesucht und die Ergebnisse zusammengefasst. In zwei Dritteln der Studien wurden signifikante Wirkungen sowohl bei hohen als auch bei niedrigen Dosierungen gefunden. Auch sehr geringe Feldstärken zeigen Wirkungen unter Bedingungen, die in der realen Umwelt vorzufinden sind.

Die steigenden Nutzerzahlen im Mobilfunkbereich und die neuen Technologien wie WiFi, WLAN und WiMAX erfordern jedoch neue Untersuchungen, bisher gibt es zu wenige zu Kurz- und Langzeitwirkungen. Die möglichen ökologischen Wirkungen von Hochfrequenz sind kaum erforscht, häufig sind diese Untersuchungen nicht peer-reviewed und als so genannte graue Literatur vorhanden. Von der WHO sind nur die thermischen Wirkungen von Hochfrequenz anerkannt, angeblich gibt es keine weiteren bestätigten Wirkungen. Die hier verwendete Literatur war nicht auf Literatur zu biologischen Experimenten ausgerichtet, man durchsuchte die Datenbanken ISI Web of Knowledge und Google Scholar bis Oktober 2012. Nach Eingrenzung der über 450.000 Treffer verblieben 113 Arbeiten zur Auswertung nach festgelegten Kriterien. 90 % der Studien sind Laborexperimente mit klaren Endpunkten und Umweltrelevanz, 10 % sind Umwelt-Feldstudien. Die meisten Laborstudien befassten sich mit Wachstum, Entwicklung, Verhalten und Fruchtbarkeit als biologische Endpunkte. Für die Auswertung entschied man sich für die Gruppen Vögel, Insekten, andere Wirbeltiere, andere Organismen und Pflanzen. 26 Studien hatten Vögel untersucht, die meisten waren Laborstudien, in den 5 Feldstudien waren signifikante Wirkungen, vor allem bei 900 MHz, gefunden worden. Bei Insekten (8 von 12 Studien erfüllten die Kriterien) waren vor allem Bienen Untersuchungsobjekte. Diese Tiere reagieren auf Handystrahlung, bis hin zum Zusammenbruch des Bienenstocks. Zu Fruchtfliegen kamen 5 Studien zur Auswertung, alle fanden signifikante Wirkungen bei 900 und 1800 MHz. Bei anderen Insekten zeigten sich signifikante Unterschiede in der Orientierung und im Verhalten bei hohen und niedrigen Feldstärken. Mit anderen Wirbeltieren (Fledermäuse, Kaninchen, Affen, Mäuse und Ratten) wurden 50 Arbeiten mit 62 ökologischen Experimenten zu Fruchtbarkeit, Wachstum, Verhalten und Sterbehäufigkeit einbezogen, 50 % davon wurden an Ratten durchgeführt. Viele fanden signifikante Unterschiede, einige andere nicht. Zu den anderen Organismen (Bakterien, Würmer und Schnecken) gab es 4 Studien mit 8 Experimenten, alle zeigten signifikante Unterschiede. Bei Pflanzen sowie Hefe (16 Studien mit 29 Experimenten) ergaben sich signifikante Ergebnisse bei vermindertem Wachstum und oxidativem Stress.

Die Synthese aus dieser Arbeit ist, dass man mehr ökologische Studien mit vergleichbarer Vorgehensweise braucht. Bei den Feldstudien konnten in den verschiedenen Studien keine klaren Zusammenhänge zwischen Feldstärke und Wirkung festgestellt werden. Manche Experimente waren mit Dosierungen durchgeführt worden, die man kaum in der realen Umgebung vorfindet. Als allgemeiner Trend gilt, dass es in verschiedenen Studien keinen klaren Zusammenhang zwischen maximaler Wirkung und der verabreichten Strahlungs-Dosis gibt. Denn es gab auch bei sehr geringen Feldstärken signifikante, ökologisch relevante Wirkungen, und diese Feldstärken sind ver-

gleichbar mit realen Situationen in der Umwelt. Wirkungen wurden nachgewiesen in einer Entfernung bis zu 300 m von der Feldquelle, bei gemessenem elektrischem Feld von 0,53 V/m.

Die Autoren meinen, es sei dringend nötig, vorhandene Experimente zu wiederholen, und die Untersuchungen auf andere Organismen und Arten auszudehnen. Ökologische Studien sollten sich mit den Beziehungen der Populationen zueinander und Wechselwirkungen zwischen Arten befassen. Solche Studien sollten in Mikro-Ökosystemen beginnen, die im Labormaßstab Rückschlüsse auf das Ökosystem zulassen und die für die Politik relevant sind. Studien zu den neuen Technologien wie die neuen Generationen des Mobilfunks (G3 und G4), WiMAX, WLAN und WiFi sind selten, neue könnten deren Auswirkungen auf das Ökosystem klären. Um die Lücken zu verringern, sollten Langzeitwirkungen an ausgewählten Arten und auf das Ökosystem ausgeweitet werden. Laborexperimente und Feldstudien unter kontrollierten Feldstärkebedingungen an weiteren ökologischen Gruppen würden eine solide Basis für zukünftige Erkenntnisse liefern.

Quelle:

Cucurachi S, Tamis WL, Vijver MG, W.J.G.M. Peijnenburg WJ, Bolte JF, de Snoo GR (2013): A review of the ecological effects of radiofrequency electromagnetic fields (RF- EMF). *Environmental International* 51, 116–140

Hochfrequenzwirkung auf die Entwicklung

Mobilfunkfrequenzen verändern Temperaturregulation

An jungen Ratten wurde festgestellt, dass chronisch einwirkende Mobilfunkstrahlung (900 und 1800 MHz) Wärmerregulation und Futteraufnahme beeinflussen.

Temperaturausgleich ist ein wichtiger Faktor während der Entwicklung von wachsenden Organismen, da Energie für vitale Funktionen, für Temperaturregulation und Aufbau des Körpergewebes benötigt wird. Energieeintrag, -speicherung (im Schlaf), -verteilung und -verbrauch werden im Hypothalamus kontrolliert. Bei Ratten weiß man, dass sie umso länger schlafen, je mehr Futter sie aufgenommen haben. Bei geringen Außentemperaturen wird mehr Futter aufgenommen, um Energiereserven anzulegen. Diese Studie untersuchte die Reaktion dieser Thermoregulation unter Einwirkung von Mobilfunkstrahlung geringer Feldstärken (unterhalb der thermischen Schwelle) auf Schlaf, Energieeintrag und Temperaturregulation, die die Körpertemperatur während der Entwicklung im Gleichgewicht halten. Nach 5 Wochen Bestrahlung bei 24 °C wurden die Tiere bei 31 °C weiter bestrahlt. Dafür wurden 2 x 8 drei Wochen alte Ratten 5 Wochen lang kontinuierlicher Mobilfunkstrahlung von 1 V/m (806–960 MHz und 1710–2700 MHz des Basisstation-Kanals, SAR 0,3 mW/kg für 3 Wochen alte, 0,1 mW/kg für 8 Wochen alte Tiere) ausgesetzt. Das ist der thermoneutrale Bereich bei Ratten, in dem der Temperaturverlust über die Haut durch Spannungsänderung der peripheren Gefäße gemessen werden kann. 2 x 8 Ratten dienten als Kontrollen. Die Strahlung wirkte 23,5 Stunden pro Tag ein, eine halbe Stunde wurde während der Versorgung der Tiere abgeschaltet. Die Messungen erfolgten am Rattenschwanz.

Die Ergebnisse: Die bestrahlten Tiere hatten eine signifikant niedrigere Temperatur in der Haut des Schwanzes in allen Schlafphasen als die Kontrolltiere. Das deutet auf periphere Gefäßverengung hin, was durch ein Experiment mit einem gefäßerweiternden Medikament bestätigt wurde. Die bestrahlten Tiere nahmen am Tag auch mehr Nahrung auf als die

Kontrolltiere. Anzahl und Dauer der REM-Phasen waren höher bei 31 °C als bei 24 °C, ebenso die Signalstärke im Sigma-Band (11,0–16,00 Hz). Das war besonders deutlich im Non-REM-Schlaf und scheint eine spezifische Eigenschaft bei schlafenden Ratten zu sein. Weiter wurde eine höhere Anzahl der REM-Schlaf-Phasen durch die Strahlung beobachtet, was zum Anstieg der Wachphasen führt (die Reaktivität nimmt ab in der REM-Schlaf-Phase, da sind die Tiere auch empfindlicher gegenüber Stress von außen).

Die Studie zeigt auch, dass die verschiedenen Wirkungen auf den Schlaf temperaturabhängig sind. Das könnte ein Grund für die unterschiedlichen Ergebnisse in der Literatur sein. Daher ist es immer wichtig, in Experimenten die Temperatur genau zu erfassen und anzugeben. Eines der bemerkenswertesten Ergebnisse ist, dass die Schwanztemperatur bei 31 °C in den bestrahlten Tieren niedriger war als bei den Kontrollen. Die periphere Gefäßspannung wird durch die Hochfrequenzeinwirkung verringert, denn die Gefäßverengung verschwand nach Injektion der gefäßerweiternden Substanz Prazosin nur in den bestrahlten Tieren. Bei 31 °C ist die periphere Gefäßerweiterung am größten, weil Prazosin keine Wirkung bei den Kontrollen hatte. Der Kontrollmechanismus für die Spannung der peripheren Gefäßmuskulatur wird vom Hypothalamus und anderen Hirnregionen gesteuert, die auch an der Schlafkontrolle beteiligt sind. Peripherer Blutfluss als Hauptregulator für die Temperatur ist somit abhängig von der Schlafphase. In diesem Experiment war die Schwanztemperatur nach Bestrahlung im Wachzustand nicht sehr verschieden. Das heißt, die Bestrahlung wirkt direkt auf peripherer Ebene ohne Beteiligung zentraler Stellen. Die Gefäßverengung durch Mobilfunkstrahlung vermindert den Wärmeverlust des Körpers. Darüber hinaus ist bei 31 °C die Futteraufnahme bei den bestrahlten Tieren höher als bei den Kontrollen. Das fördert die Wärmeerzeugung und Speicherung aufgrund der Gefäßverengung. Diese Ergebnisse weisen demnach stark darauf hin, dass die Mobilfunkstrahlung Mechanismen zur Wärmespeicherung auslöst. Ein Anstieg der Futteraufnahme könnte durch Signale aus der Hautabkühlung und der Gefäßverengung veranlasst werden, denn es ist bekannt, dass die Regulation der Futteraufnahme über negatives Feedback von der Peripherie zum Hypothalamus erfolgt. Der beobachtete Anstieg der REM-Schlaf-Frequenz könnte ebenfalls durch periphere Signale der Hautabkühlung initiiert werden, was einen Wechsel zu Aufwach- oder Non-REM-Phasen nach sich zieht. Es ist auch möglich, dass eine höhere REM-Frequenz Stoffwechselprozesse wie z. B. Lipolyse erleichtern könnte, die durch einen Anstieg des Energieeintrags am Tag induziert werden. Chronische Einwirkung von Mobilfunkstrahlung bei Außentemperaturen von 24 und 31 °C verändert nicht den gesamten Schlaf, aber steigert leicht die Zahl der REM-Schlaf-Phasen. Der Anstieg von peripherer Gefäßverengung fördert die Wärmespeicherung. Zusammen mit der vermehrten Futteraufnahme weist diese thermische Reaktion auf Energiespeicherungsvorgänge hin.

Diese Ergebnisse wurden an jungen Tieren erzielt, die während ihrer Entwicklung bestrahlt wurden, einer Phase, in der sie empfindlich gegenüber Umwelteinflüssen sind. Man müsste noch untersuchen, ob bei Erwachsenen dieselben Energiespeicherungsvorgänge passieren oder ob das spezifisch für junge Ratten ist. Geklärt werden muss auch, ob die Kabel der Mess-Elektroden einen Einfluss haben.

Quelle:

Pelletier A, Delanaud S, Décima P, Thuroczy G, de Seze R, Cerri M, Bach V, Libert JP, Loos N (2013): Effects of chronic exposure to radiofrequency electromagnetic fields on energy balance in developing rats. *Environmental Science and Pollution Research* 20, 2735–46