

## Hochfrequenzwirkung

# Absorption von HF-EMF in sensiblen Organen erhöht

**Simulationen an realistischen, menschlichen Modellen geben Hinweis auf erhöhte lokale Absorption bei Bestrahlung mit 3,5 GHz.**

Insbesondere Kinder nutzen immer häufiger Geräte mit drahtloser Kommunikation, wie z. B. Tablets, Handys oder Notebooks. Die mobile WiMAX Technologie erlaubt diesen Geräten eine Verbindung zum Internet aufzubauen. Sie basiert auf dem Standard IEEE 802.16, welcher zur vierten Generation im Mobilfunk (4G) gehört. Um die unmittelbaren Effekte von elektromagnetischer (EM) Strahlung zu minimieren, wurden Richtlinien von der „International Commission of Non-Ionizing Radiation Protection“ (ICNIRP) erlassen. Zu diesen unmittelbaren Wirkungen gehört unter anderem Ganzkörperhitzestress sowie die Erwärmung lokaler Gewebe. Potentielle Erhöhung von beispielsweise Krebsrisiken lassen diese Richtlinien außer Acht. Um die durch EM-Strahlung absorbierte Energie zu quantifizieren, welche sich in dielektrischer Hitzeentwicklung äußern kann, wird die spezifische Absorptionsrate (SAR) genutzt. Die von der ICNIRP aufgestellten Richtlinien limitieren den Ganzkörper SAR auf 0,08 W/kg in der Öffentlichkeit. Außerdem beträgt das Limit für 10 g lokalem SAR 2 W/kg in Kopf und Rumpf sowie 4 W/kg in den Extremitäten. Es gibt jedoch Hinweise, dass Kinder eine größere Menge von Mikrowellen-Strahlung aufnehmen als Erwachsene. Außerdem gibt es spezifische Organe, wie z.B. Augen oder Genitalien, welche EM-Strahlung gegenüber sehr sensibel sind. Um der SAR-Verteilung, die von WiMAX-Geräten hervorgerufen wird, auf den Grund zu gehen, nutzte die Arbeitsgruppe die Finite Differenzenmethode im Zeitbereich (FDMZ) (vergleiche Artikel). Der Simulation liegen vier realistische menschliche Modelle zu Grunde, welche mittels Magnetresonanztomographie (MRT) erstellt wurden und Eigentum der „Virtual Population“ (ViP) sind. Bei den Modellen handelt es sich um den jungen männlichen Erwachsenen Duke (Alter 34; Größe 1,77 m; Gewicht 70,2 kg; BMI 22,4 kg/m<sup>2</sup>), die junge erwachsene Frau Ella (Alter 26; Größe 1,63 m; Gewicht 57,3 kg, BMI 21,5 kg/m<sup>2</sup>), die weibliche Jugendliche Billie (Alter 11; Größe 1,49 m; Gewicht 34,0 kg; BMI 15,4 kg/m<sup>2</sup>) sowie das männliche Kind Thelonus (Alter 6; Größe 1,15 m; Gewicht 18,6 kg; BMI 14,1 kg/m<sup>2</sup>). Als Generator für die EM-Strahlung wird eine E-förmige Patchantenne mit Mikrostreifenleitung simuliert. Diese Antenne arbeitet mit 3,5 GHz und 1V. Das für die FDMZ-Methode notwendige Gitter besitzt die maximale Zellgröße von 2 x 2 x 2 mm und die minimale Zellgröße von 1 x 1 x 1 mm. Die Antenne hatte während der Simulation zwei verschiedene Positionen. Die erste war auf Augenhöhe der Modelle, die zweite in der Höhe des oberen Torsos. Außerdem existierten zwei verschiedene Orientierungen der Antenne, parallel und lotrecht zum Modell. Des Weiteren simulierte die Arbeitsgruppe zwei Distanzen: nah (8 cm) und entfernt (16 cm). Die SAR-Werte wurden auf eine Energieleistung der Antenne von 1 W normalisiert, wobei die Antennen in Notebooks und Tablets eine maximale Leistung von 100 mW erreichen.

Der berechnete Ganzkörper-SAR-Wert überschritt das ICNIRP Limit (0,08 W/kg) lediglich bei einer Bestrahlungseinstellung: männliches Kind, Antenne auf Kopfhöhe, paralleler Orientierung und 8 cm Distanz (SAR<sub>max</sub> = 0,11 W/kg @ 10 mW). Dies stellt laut Autoren ein „worst-case“ Szenario

dar. Für alle anderen Fälle überschritt der SAR-Wert weder für Ganzkörper noch 10 g lokal die Sicherheitsgrenze. Die Wissenschaftler sehen in ihrer Simulation jedoch den interessanten Effekt, dass die maximale EM-Hochfrequenz Energie in sensiblen Organen, wie z.B. Augen und Genitalien, absorbiert wird. So wird der maximale Wert des lokalen SAR bei Thelonus für die Fälle Kopfhöhe, nahe und entfernte Position und parallele Orientierung in den Augen erreicht. Auch bei Billie wird die maximale Absorption in den Augen bei den Fällen Kopfhöhe, nahe und entfernte Position sowie lotrechte und parallele Orientierung erzielt. Des Weiteren wird der maximale SAR-Wert bei Thelonus für folgendes Szenario in den Genitalien generiert: Antenne auf Torsohöhe in lotrechter Orientierung und entfernter Distanz. Dies stellt eine Alltagssituation da, bei dem das Kind vor einem Notebook bzw. Tablet steht, welches sich auf einem Tisch befindet. Auch das Brustgewebe scheint von dem Phänomen der lokalen Absorption betroffen. So erreichen beide weiblichen Modelle den maximalen SAR-Wert für die Szenarien Antenne auf Torsohöhe, nahe und weite Position in paralleler Orientierung. Da einige Fälle von Brustkrebs, induziert durch den Nutzen von Mobiltelefonen, bekannt sind, bedarf dies ebenfalls eines besonderen Augenmerks. Die Autoren identifizieren also durch ihre Simulation die Situation, dass weniger der Ganzkörper-SAR-Wert, als vielmehr die lokalen Absorptionsmaxima in besonders sensiblen Organen ein Problem darstellen. Sie sprechen daher die Empfehlung aus die Bestrahlung, insbesondere von jungen Menschen, so gering wie möglich zu halten um potentiellen Schädigungen vorzubeugen. Dies könne beispielsweise dadurch erreicht werden, die strahlenden Geräte möglichst weit entfernt von Augen Genitalien und Brustgewebe zu platzieren. Die Arbeitsgruppe spricht auch die Schwachstelle ihrer Simulation an: lediglich stehende menschliche Modelle wurden analysiert, sodass keine Aussage über sitzende oder tippende Positionen getroffen werden kann. (RH)

### Quelle:

Siervo B, Morelli M S, Landini L, Hartwig V (2018): Numerical evaluation of human exposure to WiMax patch antenna in tablet or laptop. Bioelectromagnetics, <https://doi.org/10.1002/bem.22128>

## Hochfrequenzwirkung auf Insekten

# 5G-Frequenzen erhöhen Absorption von HF-EMF bei Insekten im Vergleich zu 4G

**Simulationen an realistischen Insektenmodellen deuten darauf hin, dass Frequenzen von mehr als 6 GHz eine erhöhte Energieabsorption bei Insekten nach sich ziehen.**

Hochfrequenz elektromagnetische Felder (HF-EMF) befähigen weltweit Milliarden von Nutzern zu drahtloser Kommunikation. Die Frequenzen bewegen sich hauptsächlich im Bereich zwischen 100 MHz und 6 GHz, wobei 2,45 GHz die häufigste Frequenz darstellt. Sowohl Menschen als auch Tiere sind diesen elektromagnetischen Feldern ausgesetzt, welche teilweise von ihnen absorbiert werden, was unter anderem für Insekten nachgewiesen wurde. Insbesondere bei Insekten wurde die Hochfrequenz-Absorption für die Frequenzen 27 MHz, 900-915 MHz und 2,45 GHz bereits untersucht. Diese Absorption kann zu dielektrischer Erwärmung führen, welche das Verhalten, die Physiologie sowie die Morphologie der Insekten beeinflussen kann. Bei geringerer

Intensität der HF-EMFs können auch nicht-thermische Wirkungen auftreten. Die meisten existierenden Studien haben ihren Fokus auf Frequenzen unter 6 GHz. Im Zuge der nächsten Generation von drahtloser Kommunikation (5G) werden allerdings Frequenzen von 30–300 GHz genutzt, welche im Millimeter-Wellenlängen-Bereich operieren. Die Wellenlängen werden also kleiner und gelangen in einen Bereich, welcher mit der Größe von Insekten vergleichbar ist. Deswegen wird eine erhöhte Absorption von HF-EMFs in Insekten erwartet. Die Autoren des hier vorgestellten Artikels benutzen eine numerische Simulation um die veränderte Absorption bei höheren Wellenlängen zu analysieren. Dazu wurden vier verschiedene Insekten-Modelle mittels mikro-CT (Computertomographie) erstellt. Diese wurden in einem Frequenz-Breitband von 2-120 GHz untersucht, welches sowohl existierende als auch zukünftige Drahtloskommunikation abdeckt.

Bei den vier Insektenmodellen handelt es sich um die australische stachelfreie Biene *Tetragonula carbonaria*, (Länge: 4,5 mm; Breite: 3,0 mm; Gewicht: 2,5 mg) die westliche Honigbiene *Apis mellifera*, (Länge: 11,0 mm; Breite: 5,0 mm; Gewicht: 900 mg) den gemeinen Mistkäfer *Geotrupes stercorarius* (Länge: 8,01 mm; Breite: 4,5 mm; Gewicht: 220 mg) sowie die Wüstenheuschrecke *Schistocerca gregaria*. (Länge: 55 mm; Breite 18,0 mm; Gewicht 3,5 g). Wie bereits erwähnt wurden die vier Arten scheinbarweise mittels mikro-CT aufgenommen. Anschließend wurde aus diesen Scheiben ein vollständiges, reales 3D-Modell erzeugt. Um die Ausbreitung von EMF innerhalb und außerhalb der 3D-Modelle beschreiben zu können, ist es notwendig die dielektrischen Eigenschaften (relative dielektrische Leitfähigkeit ( $\epsilon_r$ ) und spezifische elektrische Leitfähigkeit ( $\sigma$ )) der Insekten zu kennen. Hierfür bediente sich die Arbeitsgruppe früheren, bereits in der Literatur beschriebenen Messungen. Für die eigentliche numerische Simulation wurde die Finite Differenzen Methode im Zeitbereich (FDMZ) eingesetzt. Hierbei handelt es sich um ein mathematisches Verfahren zur Lösung der Maxwell-Gleichungen. Diese beschreiben die Zeitentwicklung von EMF. Bei der FDMZ wird der Raum (in diesem Fall die 3D-Modelle der Insekten) mittels eines speziellen Gitters eingeteilt. An dem Punkten des Gitters wird der Wert der elektrischen Feldstärke bzw. der magnetischen Feldstärke gespeichert. Durch die numerische Rotation des angrenzenden magnetischen Feldes kann an einem Gitterpunkt der neue Wert des elektrischen Feldes ermittelt werden und umgekehrt. Um stabile Ergebnisse bei der Anwendung der FDMZ gewinnen zu können, muss das erwähnte Gitter eine Auflösung haben, die mindestens einem Zehntel der analysierten Wellenlänge entspricht. Die wurde selbst bei der Frequenz von 120 GHz erreicht. Die Bestrahlung wurde homogene, kontinuierliche ebene Wellen mit gleichbleibender Frequenz simuliert. Dabei wurden 7 Frequenzen (2, 3, 6, 12, 24, 60 und 120 GHz), 6 Einfallswinkel sowie 2 Polarisierungen berücksichtigt. Bei 4 Insektenmodellen ergibt dies eine Gesamtanzahl von 336 Simulationen. Die Stärke des elektrischen Feldes beträgt bei der Simulation in allen Fällen 1 V/m. Alle Modelle wurden als homogenes Gewebe behandelt, was einer Annäherung entspricht, da reale Insekten dielektrische Eigenschaften von heterogenem Gewebe besitzen. Nach jeder Simulation wurde die absorbierte HF-EMF Energie ( $P_{abs}$ ) berechnet. Bemerkenswerter Weise steigt  $P_{abs}$  mit erhöhter Frequenz bei allen vier Modellen zwischen 2–6 GHz. Lediglich bei der Wüstenheuschrecke, welches das größte analysierte Insekt darstellt, sinkt die absorbierte Energie bei Wellenlängen über 6 GHz, bleibt jedoch höher als bei 2 und 3 GHz. Die westliche Honigbiene erreicht eine Steigerung von  $P_{abs}$  bis zu 12 GHz, gefolgt von einer leichten Ab-

schwächung bei bis zu 120 GHz.  $P_{abs}$  bleibt jedoch mehr als 10x höher als bei Frequenzen unter 6 GHz. Der Mistkäfer erreicht den Höhepunkt der absorbierten Energie bei 24 GHz, wiederum mit leichter Abschwächung bei höheren Frequenzen. Bei der australischen stachelfreien Biene erreicht  $P_{abs}$  ihr Maximum bei 60 GHz, gefolgt von einer leichten Abschwächung bei 120 GHz. Die Arbeitsgruppe formuliert folgenden Zusammenhang: Bei den in der drahtlosen Kommunikation momentan vorherrschenden Wellenlängen von unter 6 GHz ist die Wellenlänge relativ groß im Vergleich zu der Größe der Insekten. Dadurch dringen die Wellen nicht in die Insekten ein, was sich in einer relativ geringen Energieabsorption bemerkbar macht. Bei 12–24 GHz erreicht die Wellenlänge eine Größe, welche mit der der Insekten übereinstimmt. Dadurch dringen diese mehr und mehr in die Insekten ein, sodass mehr Energie absorbiert wird. Bei den höchsten Frequenzen wird das Eindringen weniger, die Amplitude der Wellen wird jedoch höher, was in einer ähnlichen hohen bzw. leicht niedrigeren  $P_{abs}$  resultiert. Dies wirft die Vermutung auf, dass die Menge der absorbierten Energie von der Größe der Insekten abhängt. Mit einem kleinen Gedankenexperiment zeigt die Arbeitsgruppe drastische Zahlen auf: Sie treffen die Annahme, dass 10% des elektrischen Feldes mit der Stärke von 1 V/m gleichmäßig auf Frequenzen über 6 GHz verteilt ist. Dies würde in einer 370%, 290%, 240% und 3% Erhöhung der absorbierten Energie, respektive in der australischen stachelfreien Biene, dem Mistkäfer, der Honigbiene und der Wüstenheuschrecke resultieren. Unter der Annahme ein Insekt hätte dieselbe Wärmekapazität wie Wasser, würde dies bei der australischen Biene in einer Temperaturerhöhung von 0,000003 °C pro Sekunde resultieren. Dies entspräche 0,25 °C pro Tag. Klar ist, dass ein Modell nur die Annäherung an die Realität sein kann. Hinzu kommt, dass homogene anstatt heterogene Gewebeparameter angenommen wurden. Außerdem wurde die Simulation lediglich mit einer limitierten Anzahl von ebenen Wellen durchgeführt, während reale Bestrahlung aus jeder Richtung erfolgen kann. Trotz dieser Schwächen weist die Publikation auf eine erhöhte Energieabsorption bei Insekten hin, welche durch den Ausbau auf 5G Drahtloskommunikation hervorgerufen werden könnte. Dies könnte, durch erhöhte Körpertemperatur, in Veränderungen des Verhaltens, der Physiologie sowie der Morphologie der Insekten resultieren. (RH)

#### Quelle:

Thielens A, Bell D, Mortimore DB, Greco MK, Martens L, Joseph W (2018): Exposure of insects to radio-frequency electromagnetic fields from 2 to 120 GHz. Scientific Reports, <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22271-3>

### Niederfrequenz und Hirntumore

## Meningeomrisiko im Beruf

**Die Fall-Kontroll-Studie mit 426 Männern und 1166 Frauen (Kontrollen 1472 Männer und 2013 Frauen) ergab bei Menschen, die im Beruf höheren niederfrequenten Feldern ausgesetzt sind, kein erhöhtes Risiko, ein Meningeom zu bekommen, anders als bei Gliomen.**

Das Einwirken niederfrequenter Felder wurde 2002 von der International Agency for Research on Cancer (IARC) der Weltgesundheitsorganisation (WHO) als möglicherweise Krebs erregend beim Menschen (Gruppe 2B) eingestuft. Die Grundlage dafür war der epidemiologische Befund des erhöhten Risikos für Kinderleukämie. Meningeome sind klar