

## **LEISTUNGSSPORT**

Wirkung von elektromagnetischer  
Strahlung durch  
Mobilfunk  
WLAN  
Bluetooth  
GPS  
auf die Gehirnaktivität  
und Reaktionsfähigkeit

## 1. Forschungsstand

Aktuelle wissenschaftliche Studien belegen eine Wirkung von elektromagnetischer Strahlung (EMS), die durch Mobilfunk, WLAN, Bluetooth etc. erzeugt wird, auf die Gehirnaktivität, sowie auf Stoffwechselprozesse des Gehirns, insbesondere auf die Produktion des Schlafhormons Melatonin (Halgamuge, 2013).

Hinsichtlich der Wirkung von EMS auf die Gehirnaktivität konnten Effekte auf die menschliche EEG Alpha- und Beta-Aktivität festgestellt werden. In einer Doppelblind-studie an 72 Probanden konnte bei einer 20-minütigen Exposition gezeigt werden, dass das Alpha-Band des EEG unter Ruhebedingungen durch elektromagnetische Felder beeinflusst wird. Die Alpha-Aktivität war unter der Strahlungsexposition signifikant verringert (Hinrikus et al., 2008; Perentos, Croft, McKenzie & Cosic, 2013; Suhhova et al., 2013). Unter dem Aspekt, dass die Alpha-Aktivität für **Regenerationsprozesse** des Gehirns und kognitiven Systems essenziell ist, weisen diese Befunde darauf hin, dass bei elektromagnetischer Strahlungsexposition diese regenerativen Prozesse gestört werden können (vgl. Abb. 1 und 2).

Hinsichtlich der neurophysiologischen Veränderungen bei Strahlungsexposition vor und während des Schlafes belegen mehrere Studien eine **Veränderung der Schlafarchitektur** mit einem Rückgang der Tiefschlafphasen sowie einem Anstieg der EEG Alpha-1 und Alpha-2 Aktivität in den non-REM Schlafphasen (z.B. Borbely et al., 1999; Huber et al., 2000).

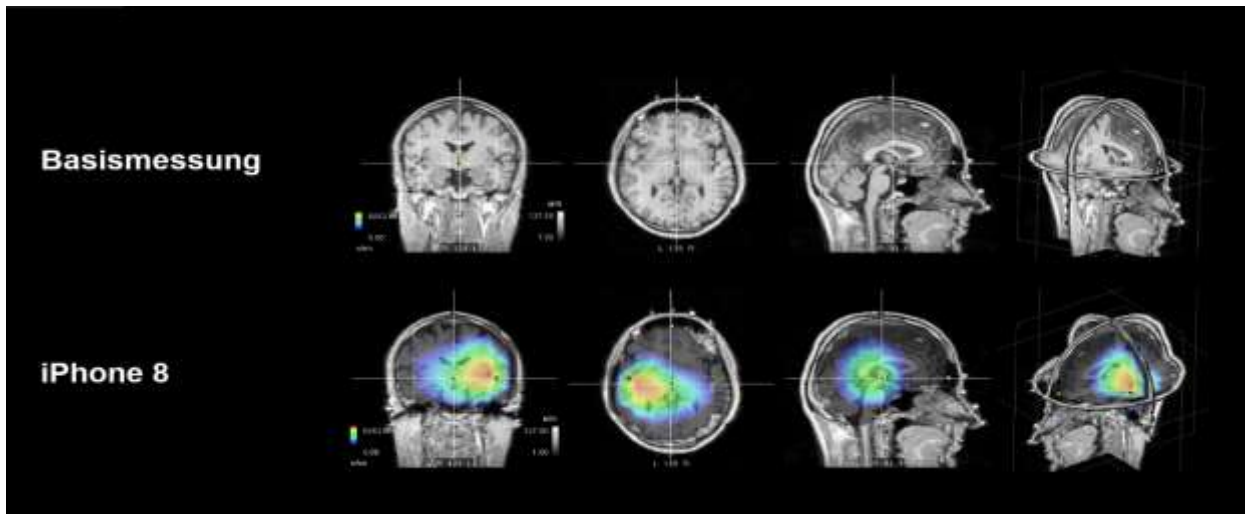
Schlafabhängige Lernprozesse, wie z.B. die Optimierung von **motorischen Fertigkeiten** durch eine Schlafpause, werden durch EMS beeinträchtigt. So konnten Lustenberger et al. (2013) zeigen, dass ein verringerter motorischer Leistungszuwachs am darauffolgenden Tag gegenüber einer Kontrollgruppe, die keiner elektromagnetischen Strahlungsbelastung während des Schlafes ausgesetzt ist, zu beobachten ist. Es wird vermutet, dass die synaptische Plastizität, die bei Konsolidierungsprozessen, d.h. Verfestigung der Lerninhalte, eine maßgebliche Rolle

spielt, durch eine Verschiebung des EEG-Frequenzbereichs durch EMS während des Schlafes beeinträchtigt wird.

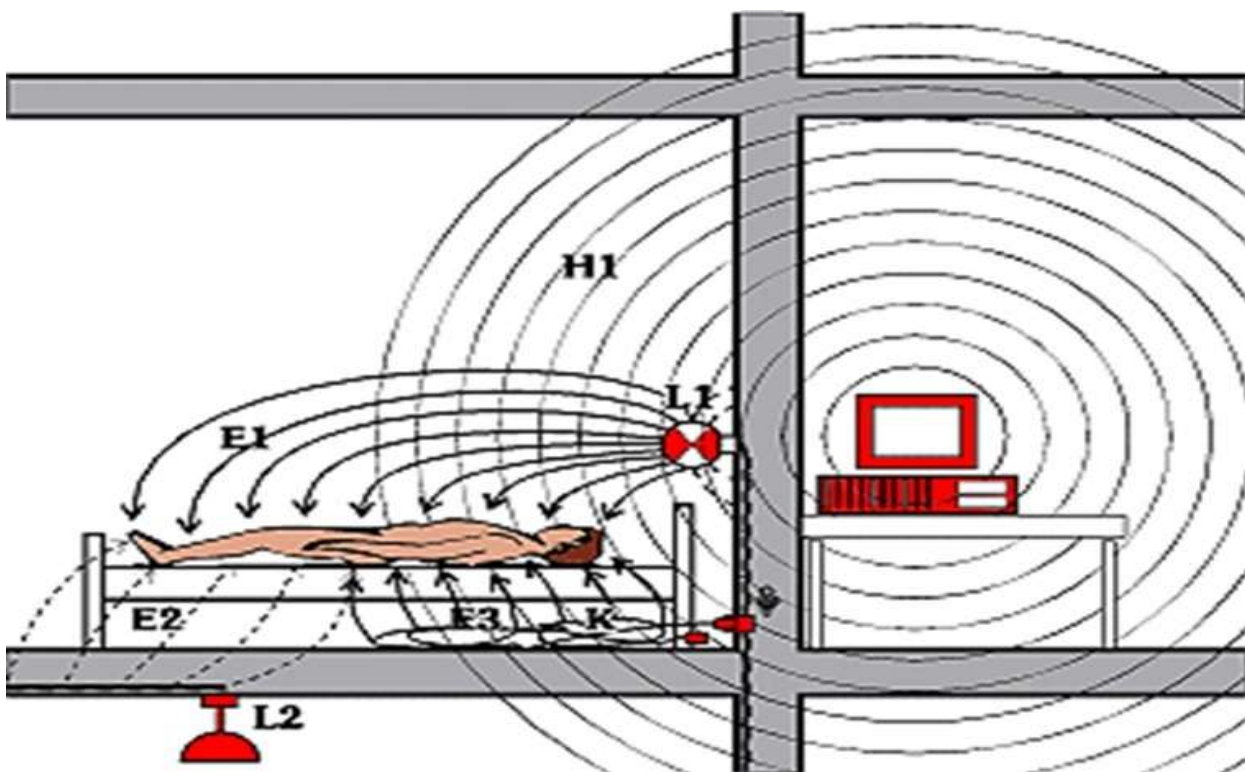
Kinder und Jugendliche haben eine besondere Sensitivität hinsichtlich der Veränderung der elektrischen Gehirnaktivität durch EMS: In einer Studie von Croft et al. (2010) konnte durch Mobilfunkexposition ein signifikant stärkerer Rückgang in der EEG Alpha-Aktivität beobachtet werden als bei einer Stichprobe erwachsener Probanden.

Bei neurologischen und psychiatrischen Störungsbildern, bei denen eine pathologische Veränderung der Frequenzbereiche der EEG-Gehirnaktivität zu beobachten ist, besteht Anlass zu der Vermutung, dass eine Verschlimmerung der Symptomatik bzw. Aufrechterhaltung des Störungsbildes durch eine erhöhte elektromagnetische Strahlungsexposition begünstigt wird. So konnte in einer klinischen Studie von Relova et al. (2010) gezeigt werden, dass das Gehirn bei Epilepsiepatienten, die bedingt durch das Krankheitsbild eine chronisch erhöhte EEG Beta- und Gamma-Aktivität aufweisen, durch Mobilfunkexposition verstärkt mit einer Verschiebung in die höheren Frequenzbereiche (Beta, Gamma) reagiert. Die Autoren argumentieren, dass eine Verschiebung der Gehirnaktivität in die höherfrequenten Bereiche Auslöser für Krampfanfälle bei Epilepsiepatienten sein kann.

Zusammenfassend zeigen die bisherigen wissenschaftlichen Studien zur Wirkung von EMS auf das EEG, dass zum einen eine Verschiebung des Frequenzspektrums in die höherfrequenten Bereiche (Beta- und Gamma-Aktivität), zum anderen eine Reduktion der Alpha-Aktivität stattfindet. Diese Verschiebung der Frequenzspektren kann Ursache für verschiedene psychophysiologische Beeinträchtigungen des Befindens und des gesundheitlichen Zustandes (chronische Müdigkeit, Gereiztheit, Schlafstörungen, Konzentrationsstörungen) sowie eine bei bereits vorhandenen klinischen, insbesondere neurologischen und psychiatrischen Störungsbildern, wie etwa der Depression, dem Aufmerksamkeitsdefizit-Hyperaktivitätssyndrom (ADHS), Epilepsie, eine Provokation, Verschlimmerung oder Chronifizierung der Symptomatik hervorrufen.



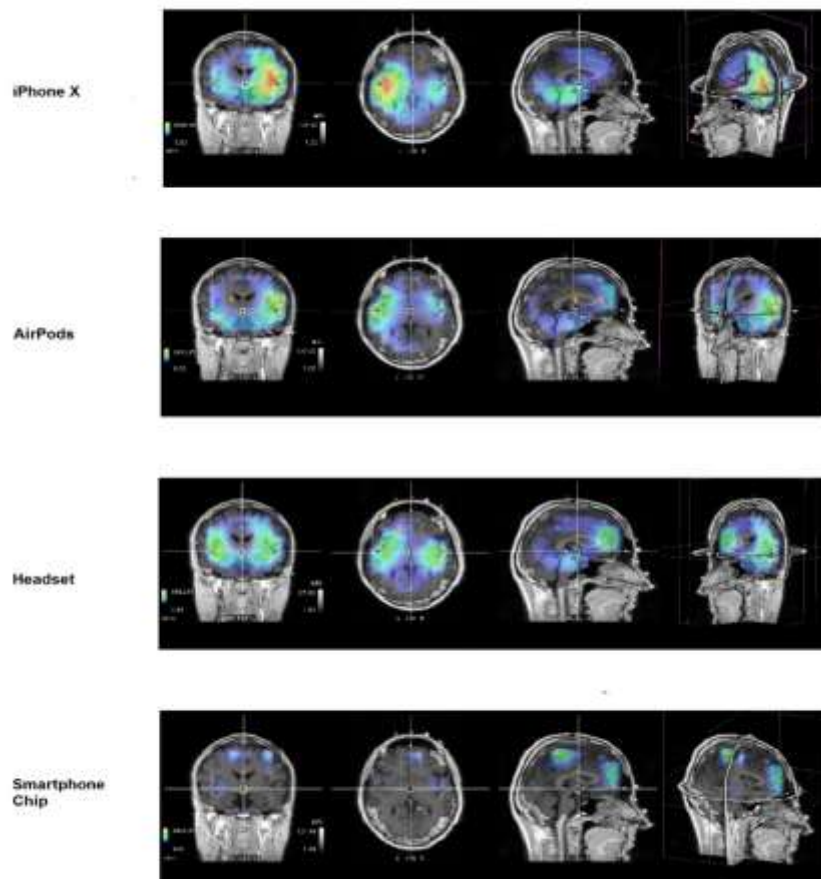
**Abbildung 1:** Wirkung von Strahlungsexposition des iPhone 8, Bluetooth AirPods und Kabel-Headsets auf die Gehirnaktivität. Eine starke Aktivierung im Beta- und Gamma-Band ist in den temporalen Gehirnarealen und Anteilen des limbischen Systems, u.a. dem Hippocampus, zu beobachten.



**Abbildung 2:** Elektromagnetische Strahlung am Schlafplatz kann auf die Gehirnaktivität und weitere Funktionen physiologischer Strukturen wirken.

## 2. Protektive Effekte der Gabriel-Technologie

In drei international publizierten Studien konnte die Wirksamkeit der Gabriel-Technologie auf die Gehirnaktivität bei elektromagnetischer Feldexposition belegt werden. Die in der internationalen Fachzeitschrift *Frontiers in Neuroscience* veröffentlichte Doppel-blindstudie zeigt, dass die Anwendung des Gabriel-Chips protektive Effekte bei Mobilfunkexposition durch das Apple iPhone 5S auf die Gehirnaktivität hat (Henz et al., 2018). Die aktuellste Studie belegt ebenfalls schützende Effekte bei Anwendung des Gabriel-Chips beim iPhone X auf die Gehirnaktivität (Henz, 2019). In einer weiteren Studie konnte ein positiver Effekt der Gabriel-Technologie auf das Gehirn, die Herzratenvariabilität sowie den Muskeltonus bei elektromagnetischer Strahlungsexposition im Auto belegt werden (Henz, 2018).



**Abbildung 3:** Wirkung von 10-minütiger Strahlungsexposition durch das iPhone X, Bluetooth AirPods und Kabel-Headsets auf die Gehirnaktivität. Es ist eine starke Aktivierung in den temporalen Gehirnarealen und Anteilen des limbischen Systems zu beobachten. Bei Anwendung des Smartphone-Chips können die Effekte der Strahlungsbelastung reduziert werden.

### **3. Wirkung eines Fußball-Trackers mit WLAN-/Bluetooth-/GPS-Übertragungsfunktion auf die Gehirnaktivität beim Lauftraining und in der Erholungsphase**

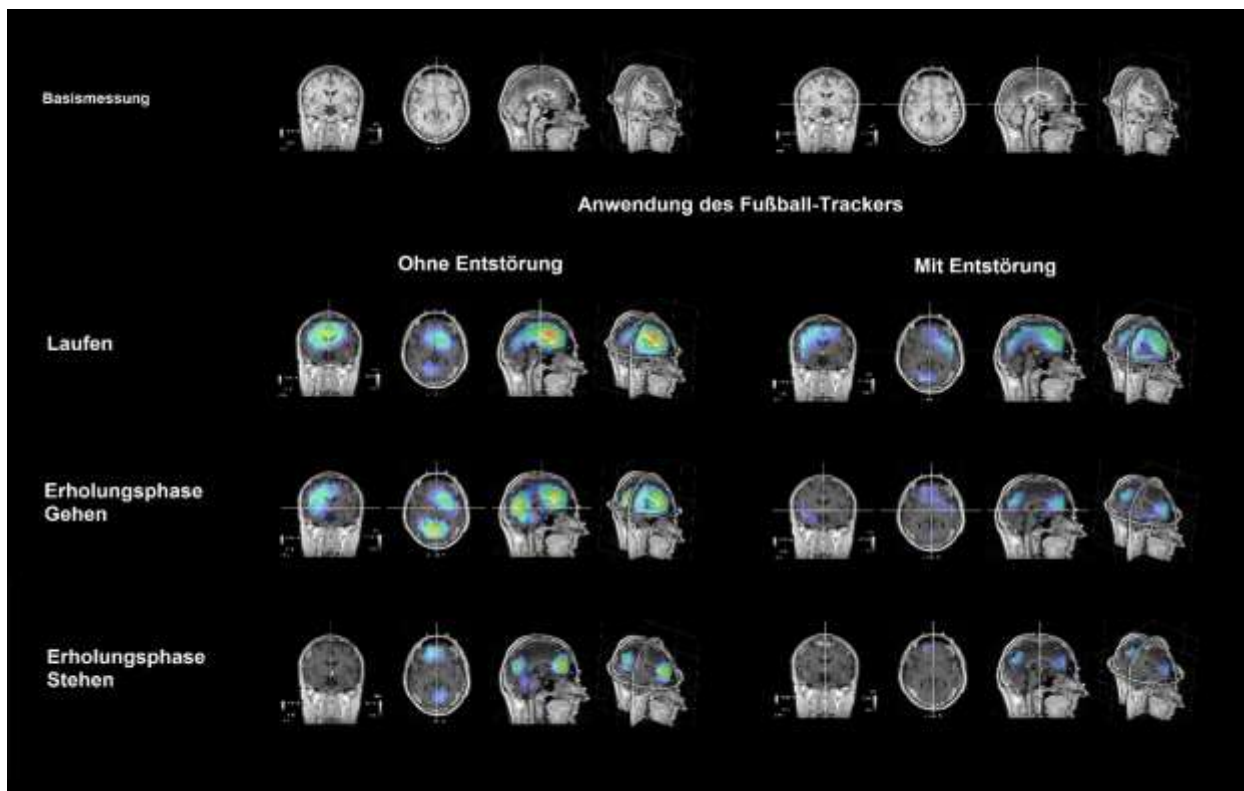
#### **3.1 Forschungsmethodik**

In den vorliegenden Messungen wurden acht Fußball-Leistungssportler (alle männlich, Durchschnittsalter 23,2 Jahre) getestet. Gegenstand der Messungen war die Wirkung der Anwendung eines Fußball-Trackers (Tracktics, Deutschland) mit GPS- sowie WLAN-/Bluetooth- Übertragungsfunktion auf die Gehirnaktivität. Folgende experimentelle Bedingungen wurden getestet: Laufen bei 80 % der maximalen Herzfrequenz (30 Minuten), Erholungsphase im Gehen (5 Minuten) und Erholungsphase im Stehen (5 Minuten). Die Testung erfolgte jeweils in einem Durchgang ohne Entstörung und nach 2,5 Stunden Pause mit Entstörung mittels der Gabriel-Technologie. Am darauffolgenden Tag wurde die Testung in umgekehrter Reihenfolge durchgeführt (Entstörung, ohne Entstörung), um Reihenfolgeeffekte auszuschließen. Die Daten des Fußball-Trackers wurden über WLAN und Bluetooth-Schnittstelle auf einen Laptop übertragen. Die elektrische Gehirnaktivität wurde über ein mobiles high-density EEG (ANT neuro, Amsterdam, Niederlande) von 128 Elektroden, die nach dem internationalen 10-5-System an der Kopfoberfläche angebracht waren, aufgezeichnet. Die elektrookulographische (vertikal, horizontal) und elektromyographische Aktivität wurde von jeweils zwei Elektroden aufgezeichnet. Die EEG-Daten wurden einer Fast-Fourier-Transformation und im Anschluss einer frequenzspezifischen Quellenlokalisierung unterzogen, um Aktivierungsregionen im Gehirn festzustellen. Das EKG wurde mittels des Systems medilog®AR (Schiller, Feldkirchen, Deutschland) von sieben Elektroden als Kontrollvariable aufgezeichnet. Die elektromagnetische Hochfrequenz (HF) wurde kontinuierlich erfasst.

#### **3.2 Ergebnisse**

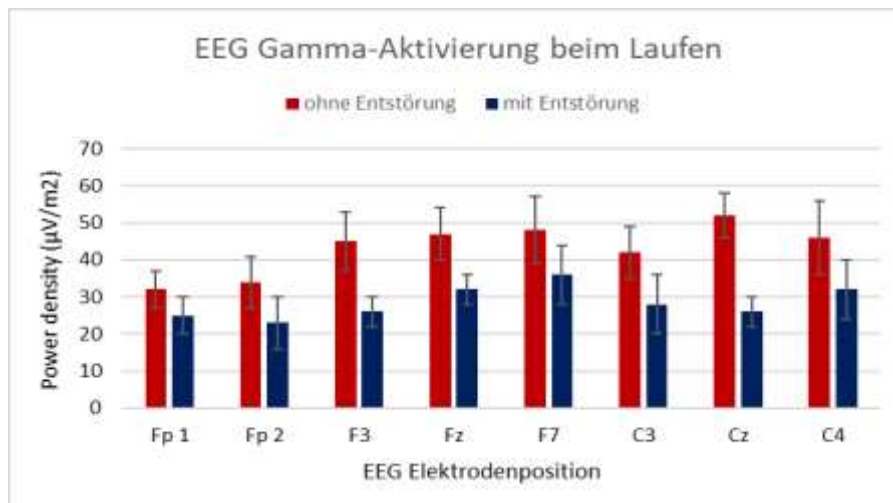
Die Ergebnisse der EEG-Quellenlokalisierung zeigen eine stärkere Stressaktivierung im Beta-3 und Gamma-Band in den frontalen und motorischen Arealen während des Laufens in den Testbedingungen ohne Entstörung des Fußball-Trackers gegenüber den Testbedingungen mit Entstörung des Fußball-Trackers. Die Erholungsphase von der Stressreaktion verläuft in der Testbedingung ohne Entstörung zudem langsamer als in der Testbedingung mit Entstörung (siehe Abb. 4). Eine Übersicht der

Leistungsdichte-spektrern des EEG-Gamma-Bandes an ausgewählten Elektroden des frontalen und motorischen Cortex ist in den Abb. 5A-C dargestellt. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass durch die Anwendung des Fußball-Trackers eine Wechselwirkung von physiologischer Belastung und WLAN-/Bluetooth- und GPS-Exposition auftreten kann, die sich in einer starken Aktivierung im EEG Gamma-Band in den motorischen Arealen sowie in den frontalen Gehirnarealen, die für die Aufmerksamkeits- und Handlungssteuerung verantwortlich sind, äußern kann. Bei Anwendung der Entstörungstechnologie am Fußball-Tracker ist eine Reduktion der Effekte durch die elektromagnetische Strahlungsexposition zu beobachten.

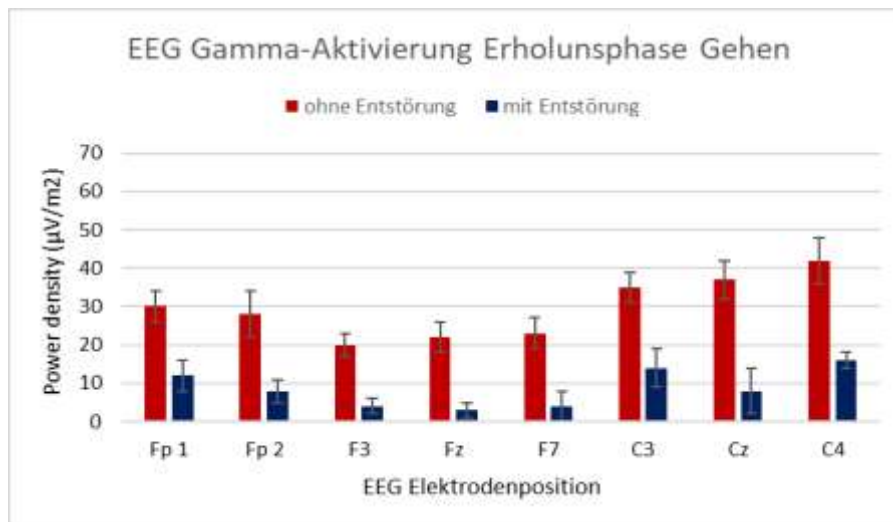


**Abbildung 4:** EEG-Quellenaktivierung bei Anwendung des Fußball-Trackers mit WLAN und Bluetooth-Übertragungsfunktion beim Laufen und in der Erholungsphase Gehen (5 Minuten) und Stehen (5 Minuten) mit und ohne Entstörung des Fußball-Trackers. Die Ergebnisse zeigen eine stärkere Stressaktivierung (Gamma-Aktivität) in den frontalen und motorischen Arealen während des Laufens und in den Erholungsphasen. Die Erholungsphasen der Stressaktivierung des Gehirns durch physiologische Belastung und EMS verlaufen ohne Entstörung des Fußball-Trackers deutlich langsamer als mit Entstörung.

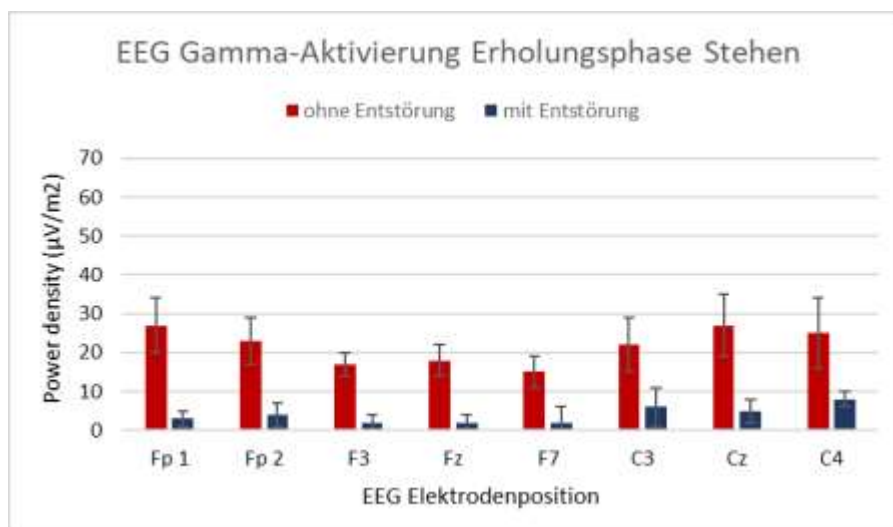
**A**



**B**



**C**



**Abbildung 5A-C:** EEG-Aktivierung an ausgewählten Elektrodenpositionen des frontalen und motorischen Cortex. **A** Die Ergebnisse zeigen reduzierte Gamma-Aktivierungen bei Anwendung des Fußball-Trackers mit Entstörung beim Laufen. **B-C** Die Erholungsphasen von der Stressreaktion des Gehirns infolge der Wechselwirkung von physischer Belastung und EMS verlaufen bei entstörtem Fußball-Tracker schneller.



## 4. EEG-Testmessung 2: Wirkung der Anwendung eines Smartphone mit Headset und Musik-App beim Lauftraining

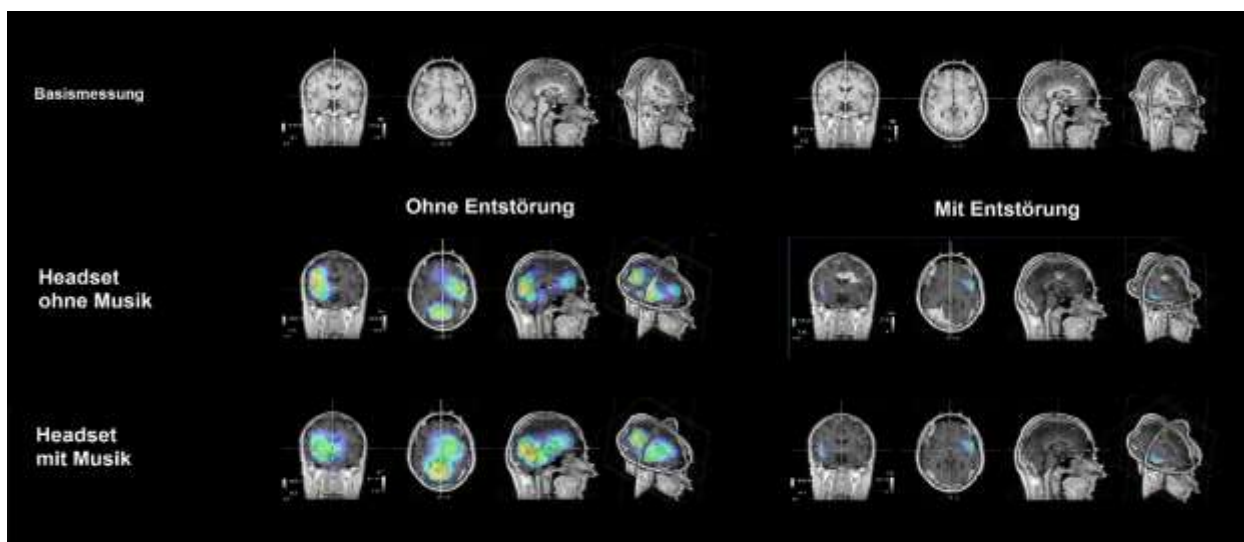
### 4.1 Forschungsmethodik

In den vorliegenden Messungen wurden die gleichen Probanden wie in Abschnitt 1 untersucht. Fragestellung der Messungen war die Wirkung der Anwendung eines Headsets (Apple) am Smartphone (iPhone 8) mit und ohne Anwendung einer Musik-App während des Laufens auf die Gehirnaktivität. Folgende experimentelle Bedingungen wurden getestet: Laufen bei 80 % der maximalen Herzfrequenz (30 Minuten) (1) mit eingeschaltetem Smartphone (iPhone 8) und Kabel-Headset ohne Musik sowie (2) mit eingeschaltetem Smartphone (iPhone 8) und Kabel-Headset mit laufender Musik-App. Die Musik-App lief ohne Ton, um die Wirkung von akustischen Reizen auf die Gehirnaktivität auszuschließen. Die Testung erfolgte jeweils in einem Durchgang ohne Entstörung und nach 2,5 Stunden Pause mit Entstörung mittels der Gabriel-Technologie. Am darauffolgenden Tag wurde die Testung in umgekehrter Reihenfolge durchgeführt (Entstörung, ohne Entstörung), um Reihenfolgeeffekte auszuschließen. Die elektrische Gehirnaktivität wurde über ein mobiles high-density EEG (ANT neuro, Amsterdam, Niederlande) von 128 Elektroden, die nach dem internationalen 10-5-System an der Kopfoberfläche angebracht waren, aufgezeichnet. Die elektrookulographische (vertikal, horizontal) und elektromyographische Aktivität wurde von jeweils zwei Elektroden aufgezeichnet. Die EEG-Daten wurden einer Fast-Fourier-Transformation und im Anschluss einer frequenzspezifischen Quellenlokalisierung unterzogen, um Aktivierungsregionen im Gehirn festzustellen. Das EKG wurde mittels des Systems medilog®AR (Schiller, Feldkirchen, Deutschland) von sieben Elektroden als Kontrollvariable aufgezeichnet.

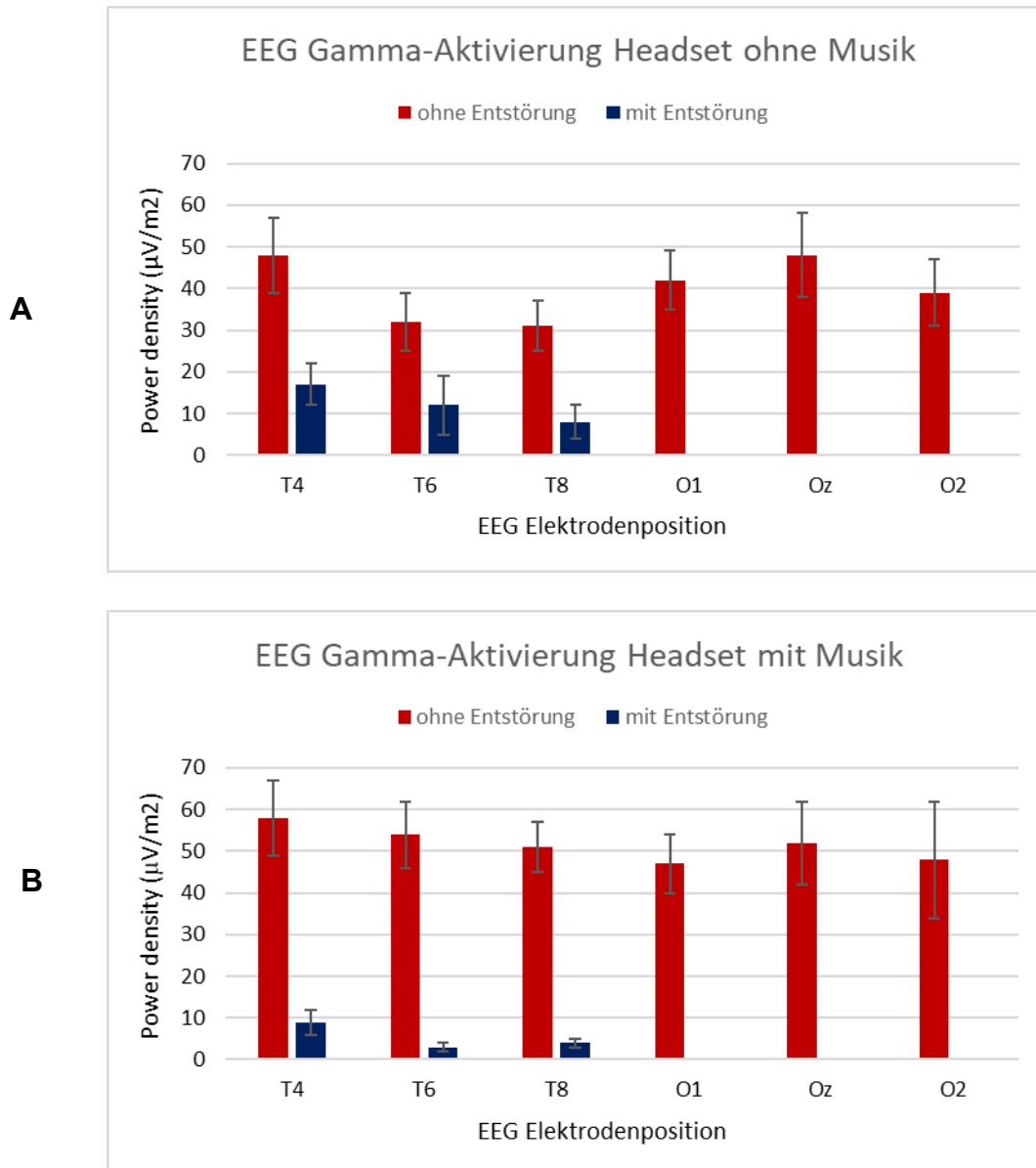
### 4.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der EEG-Quellenlokalisierung zeigen eine stärkere Stressaktivierung im Beta-3 und Gamma-Band in den rechten temporalen und okzipitalen Arealen in den Testbedingungen ohne Entstörung des Smartphone und Headsets gegenüber den Testbedingungen mit Entstörung des Smartphone und Headsets (siehe Abb. 6 und 7). In der Testbedingung mit eingeschalteter Musik-App ist die Aktivierung in den rechten temporalen Gehirnarealen verstärkt. Eine rechtsseitige Aktivierung der temporalen

Gehirnareale wurde von der Strahlung eines am Kabelstrang zum rechten Ohr angebrachten Verstärkers erzeugt. Die gefundenen Ergebnisse weisen darauf hin, dass durch Smartphone-Nutzung mit Headset eine Wechselwirkung von physischer Belastung und kombinierter WLAN-, Bluetooth- und GPS-Strahlungsexposition erfolgt. Dies kann sich in einer Überaktivierung der motorischen und frontalen Gehirnareale zeigen, die für die Aufmerksamkeits- und Handlungssteuerung verantwortlich sind. Bei Personen, die auf EMS sensibel reagieren, kann die Aktivierung des okzipitalen Cortex zu einem subjektiven Empfinden von Reizüberflutung und Gereiztheit führen. Bei Anwendung der Entstörungstechnologie am Smartphone und Headset, ist eine Reduktion der Effekte durch die elektromagnetische Strahlungsexposition zu beobachten.



**Abbildung 6:** EEG-Quellenaktivierung im Beta- und Gamma-Band während des Laufens mit eingeschaltetem Smartphone (iPhone 8) mit Kabel-Headset mit und ohne laufender Musik-App. Die Ergebnisse zeigen eine stärkere Stressreaktion des Gehirns bei während des Lauftrainings mit und ohne Musik ohne Entstörung gegenüber der Testbedingung mit Entstörung.



**Abbildung 7A-B:** EEG-Aktivierung an ausgewählten Elektrodenpositionen des temporalen und okzipitalen Cortex. Die Ergebnisse zeigen reduzierte Gamma-Aktivierungen bei Anwendung **A** des Smartphones mit Headset mit Entstörung beim Laufen **B** des Smartphones mit Headset und laufender Musik-App mit Entstörung beim Lauftraining gegenüber den Testbedingungen ohne Entstörung.

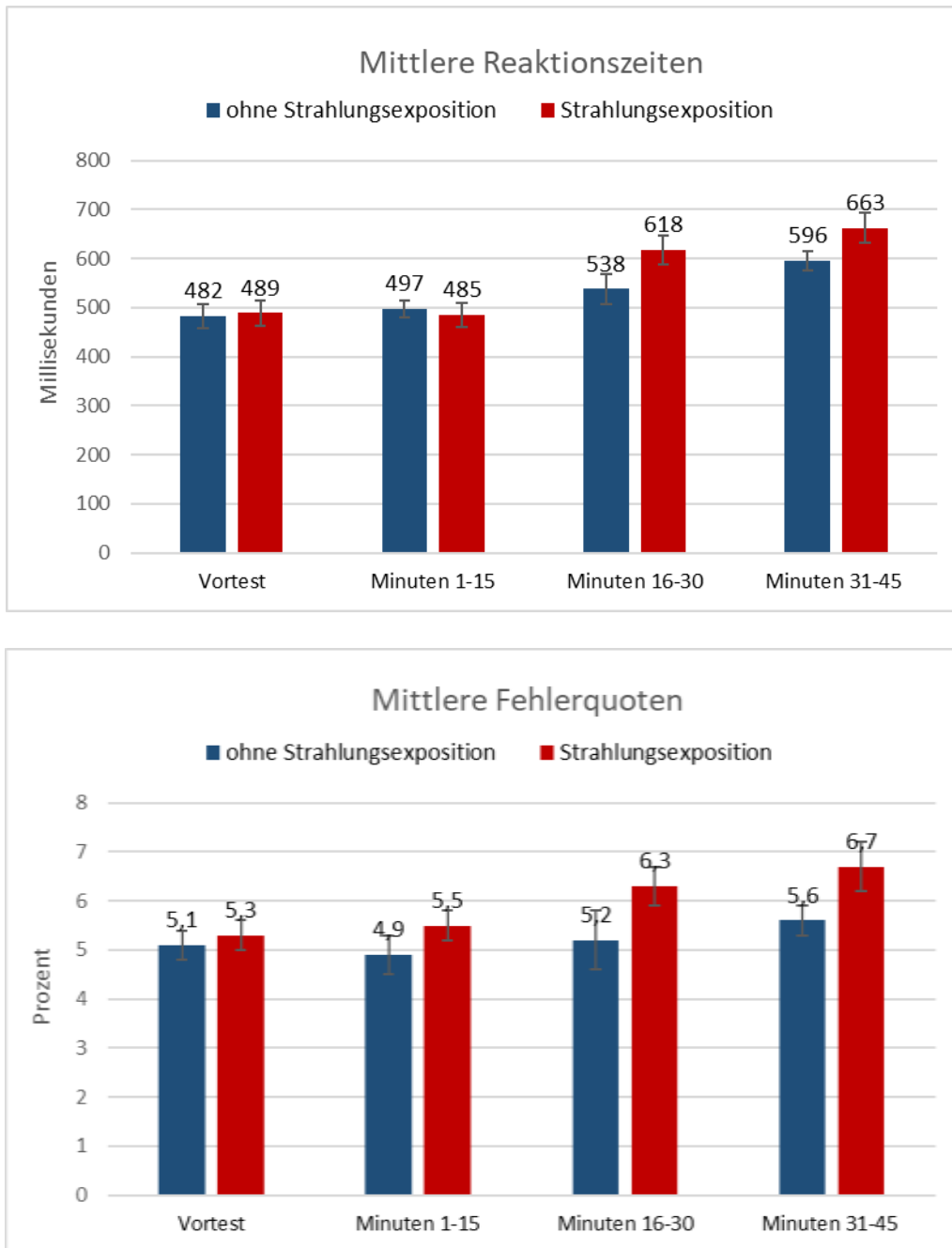
## 5. Wirkung von elektromagnetischer Strahlungsexposition auf die Reaktionsfähigkeit

### 5.1 Forschungsmethodik

In der vorliegenden Studie wurden  $n = 60$  Probanden getestet. Die Probanden wurden in einem Gruppensetting zu je 30 Personen in einem Raum mit PC-Pool getestet. Aufgabe der Probanden war die Durchführung eines Vigilanztests (Mackworth-Clock-Test) über 90 Minuten. Die Hälfte der Probanden absolvierte den Test in einem Raum mit eingeschaltetem WLAN-Router. Jeder Proband hatte zusätzlich ein Tablet mit WLAN-Funktion und jeweils ein eingeschaltetes Smartphone mit aktivierter WLAN und Bluetooth-Funktion am Testplatz liegen. Die zweite Hälfte der Probanden absolvierte den gleichen Test in einem Raum ohne WLAN-Router am LAN-verkabelten Arbeitsplatz. Die mitgebrachten Tablets und Smartphones lagen ausgeschaltet am Testplatz. Beim Vigilanztest wurden jeweils die Reaktionszeiten auf die Testitems sowie die Fehlerquoten erfasst. Die Daten des Vigilanztests wurden inferenzstatistischen Verfahren unterzogen.

### 5.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Reaktionszeittestungen zeigen signifikant längere Reaktionszeiten ( $t_{59} = 1,59$ ;  $p = 0,01$ ) sowie signifikant höhere Fehlerquoten ( $t_{59} = 1,29$ ;  $p = 0,02$ ) ab Minute 16 in der Testbedingung mit Strahlungsexposition gegenüber der Testbedingung ohne Strahlungsexposition (siehe Abb. 8). Aufgrund bisheriger neurowissenschaftlicher Studienergebnisse zur Wirkung von elektromagnetischer Strahlungsexposition auf den Frontalcortex (Aufmerksamkeits- und Handlungssteuerung) und Motorcortex (motorische Planung und Kontrolle) lassen sich die schlechteren Leistungen im Vigilanztest unter elektromagnetischer Strahlungsexposition erklären.



**Abbildung 8A-B:** Mittlere Reaktionszeiten (in ms) und mittlere Fehlerquoten (in %) im Vigilanztest mit und ohne EMS durch WLAN, Mobilfunk und Bluetooth. Die Ergebnisse zeigen signifikant längere Reaktionszeiten sowie höhere Fehlerquoten bei elektromagnetischer Strahlungsexposition ab Minute 16 gegenüber der Testbedingung ohne elektromagnetische Strahlungsexposition.

### 6. Zusammenfassung

Die Studienergebnisse bestätigen bisherige wissenschaftliche Erkenntnisse zur Wirkung von elektromagnetischer Strahlung auf die Gehirnaktivität und belegen systematische Wirkungen von elektromagnetischer Strahlung im Kontext von Konzentrationsfähigkeit, Reaktionsvermögen und sportlichem Training. Die EEG-Testmessungen weisen darauf hin, dass durch technische Geräte, die im Trainingskontext zum Einsatz kommen, Wechselwirkungen von physiologischer Belastung und elektromagnetischer Strahlungsbelastung durch Mobilfunk, WLAN, Bluetooth und GPS auftreten können. So wie bereits in mehreren wissenschaftlichen Studien gezeigt werden konnte, dass durch Mobilfunk und WLAN-Exposition eine Zunahme der Beta- und Gamma-Frequenzen im Gehirn auftreten, die bei Exposition über längere Zeiträume einen Stresszustand des Gehirns und damit auch des kognitiven Systems verursachen, wurde auch in den vorliegenden Messungen eine Erhöhung der Beta- und Gamma-Frequenzen bei elektromagnetischer Strahlungsexposition im Gehirn festgestellt. Insbesondere der Frontalcortex, der für Funktionen der Aufmerksamkeits- und Handlungssteuerung zuständig ist, der Motorcortex, der die motorische Planung und motorische Kontrolle reguliert sowie der Hippocampus, der für die Gedächtnisbildung essenziell ist, sind durch die Strahlungseinwirkung betroffen. Die Studie zur Wirkung von Strahlungsexposition durch WLAN, Mobilfunk und Bluetooth auf die Konzentrations- und Reaktionsfähigkeit zeigt Effekte durch EMS auf das sensomotorische System auf. Die neurophysiologischen Erkenntnisse bisheriger Studien sowie der vorliegenden Testmessungen, insbesondere die Überaktivierung des Frontal- und Motorcortex durch EMS, liefern Erklärungen für die vorliegenden Ergebnisse verlängerter Reaktionszeiten und höherer Fehlerquoten im Vigilanztest.

Die beiden EEG-Studien zeigen ferner, dass die Ergebnisse bisheriger Studien zur Wirkung der Anwendung der Gabriel-Technologie auch auf den Sportbereich übertragen werden können. Durch die Entstörung des Fußball-Trackers und des Smartphone mit Headset wurde eine Reduktion der Effekte, die durch EMS im Gehirn in den frontalen, motorischen und temporalen Gehirnarealen ausgelöst werden, erzielt.

## Literatur

- Borbély, A.A., Huber, R., Graf, T., Fuchs, B., Gallmann, E., & Achermann, P. (1999). Pulsed high-frequency electromagnetic field affects human sleep and sleep electroencephalogram. *Neuroscience Letters*, 275, 207-210.
- Croft, R.J., Leung, S., McKenzie, R.J., Loughran, S.P., Iskra, S., Hambin, D.L., & Cooper, N.R. (2010). Effects of 2G and 3G mobile phones on human alpha rhythms: resting EEG in adolescents, young adults, and the elderly. *Bioelectromagnetics*, 31(6), 434-444.
- Halgamuge, M. N. (2013). Pineal melatonin level disruption in humans due to electromagnetic fields and ICNIRP limits. *Radiation Protection Dosimetry* 154, 4, 405-416.
- Henz, D., Schöllhorn, W.I., & Poeggeler, B. (2018). Mobile Phone Chips Reduce Increases in EEG Brain Activity Induced by Mobile Phone-Emitted Electromagnetic Fields. *Frontiers in Neuroscience, section Neuroenergetics, Nutrition and Brain Health*. Article No. 199.
- Henz, D. (2018). Shielding chips reduce effects of electromagnetic field exposure on EEG brain activity in the car. *Psychophysiology*, 51, S56.
- Henz, D. (2019). Application of a bluetooth headset, cable headset, and a smartphone chip on the smartphone: do these devices reduce effects on EEG brain activity induced by smartphone-emitted electromagnetic fields? *Psychophysiology*, 51, S54.
- Hinrikus, H., Bachmann, M., Lass, J., Tomson, R., & Tuulik, V. (2008). Effect of 7, 14 and 21 Hz modulated 450 MHz microwave radiation on human electroencephalographic rhythms. *International Journal of Radiation Biology*, 84(1), 69-79.
- Huber, R., Graf, T., Cote, K.A., Wittmann, L., Gallmann, E., Matter, D., Schuderer, J., Kuster, N., Borbely, A.A., & Achermann, P. (2000). Exposure to high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG. *NeuroReport*, 11, 3321-3325.
- Lustenberger, C., Murbach, M., Durr, R., Schmid, M.R., Kuster, N., Achermann, P., & Huber, R. (2013). Stimulation of the brain with radiofrequency electromagnetic field pulses affects sleep-dependent performance improvement. *Brain Stimulation*, 6(5), 805-811.
- Perentos, N., Croft, R.J., McKenzie, R.J., & Cosic, I. (2013). The alpha band of the resting electroencephalogram under pulsed and continuous radio frequency exposures. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 60(6), 1702-1720.
- Relova, J.L., Pertega, S., Vilar, J.A., Lopez-Martin, E., Peleteiro, M., & Ares-Pena, F. (2010). Effects of cell-phone radiation on the electroencephalographic spectra of epileptic patients. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 52(6), 173-179.
- Suhhova, A., Bachmann, M., Karai, D., Lass, J., & Hinrikus, H. (2013). Effect of microwave radiation on human EEG at two different levels of exposure. *Bioelectromagnetics*, 34, 264-274.