

Überprüfung des protektiven Effekts des AkuRy Phone Chips auf die Gehirnaktivität bei elektromagnetischer Strahlungsexposition durch Mobilfunk: Eine EEG-Studie

Prof. Dr. Wolfgang Schöllhorn, Dr. phil. Diana Henz

Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Fachbereich 02 – Sozialwissenschaften, Medien und Sport

Institut für Sportwissenschaft

Abteilung Trainings- und Bewegungswissenschaft

Albert-Schweitzer-Straße 22

55128 Mainz

1 Einleitung

Verschiedene wissenschaftliche Studien liefern Hinweise auf Effekte von elektromagnetischer Strahlung, die durch Mobilfunk erzeugt wird, auf das Gehirn. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung gilt hierbei besonderes Interesse der Wirkung von elektromagnetischer Strahlung auf die elektrische Gehirnaktivität, die über das Elektroenzephalogramm (EEG) gemessen wird. Eine Veränderung in der Zusammensetzung der Frequenzbänder des EEG wird hierbei als wissenschaftlicher Hinweis für einen Effekt elektromagnetischer Strahlungsexposition durch Mobilfunk auf die Gehirnaktivität gewertet. Beim EEG gibt die Zusammensetzung der verschiedenen EEG-Frequenzbänder (insbesondere der Theta-, Alpha-, Beta- und Gamma-Bereich) Aufschluss über psychophysiologische Wachheits-, Bewusstseins- und Befindenszustände. Die Analyse der Zusammensetzung der EEG-Frequenzbänder liefert Erklärungen für Veränderungen von Prozessen im Gehirn, die durch elektromagnetische Strahlungsexposition ausgelöst werden und Entstehungsprozesse von damit einhergehenden gesundheitlichen Symptomatiken im körperlichen (z.B. Schlafstörungen, Erschöpfungszustände) und psychischen (z.B. erhöhte Reizbarkeit, Nervosität, Konzentrationsschwierigkeiten) Bereich. Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes wurden Effekte der Anwendung des AkuRy Phone Chips bei elektromagnetischer Strahlungsexposition durch Mobilfunkgeräte auf die Gehirnaktivität anhand der Messung der Zusammensetzung der Frequenzbänder des EEGs unter Ruhebedingungen und bei kognitiver Belastung untersucht.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Neurophysiologische Grundlagen des Elektroenzephalogramm

Das Elektroenzephalogramm ist eine Messmethodik zur Bestimmung der hirnelektrischen Aktivität. Es stellt zentralnervöse Aktivierungs- und Aufmerksamkeitsprozesse dar (Doppelmayr & Amesberger, 2012). Die neurowissenschaftliche Untersuchungsmethode findet in verschiedensten Wissenschaftsfeldern Relevanz.

Die Großhirnrinde (Cortex) ist der Bereich im Gehirn des Menschen, der für perzeptiv-kognitive Prozesse verantwortlich ist (Roth & Münte, 2003). Oberflächlich gesehen besteht sie aus zwei Hemisphären, denen unterschiedliche Funktionen zugeordnet werden. Der Hirnforscher Sperry zeigte dies in den 1960er Jahren in mehreren Untersuchungen, in denen er die Verbindung zwischen den Hirnhälften von an Epilepsie erkrankten Patienten kappte, um die Unabhängigkeit der beiden Hemisphären zu verdeutlichen. Neben dieser eher groben Differenzierung gibt es eine weitere Einteilung, die auf einer unterschiedlichen Zellstruktur beruht. Nach Brodmann werden 52 Areale unterschieden (Ahlert & Kenning, 2006). Der Cortex lässt sich in primäre und sekundäre sensorische-, primäre motorische, prämotorische- und sogenannte assoziative Areale (parietale, temporale und

frontale Assoziationscortex), aufteilen (Abbildung 1 und 2). Diesen Regionen werden bestimmte Brodmann-Areale mit verschiedenen Funktionen zugeordnet (siehe Abb.1 und 2). Durch eine Analyse mit Talaraich-Koordinaten kann eine noch genauere Einteilung gewährleistet werden. Hierbei wird das Gehirn als dreidimensionales Modell abgebildet und der jeweiligen Gehirnaktivität eine x, y und z-Koordinate zugeordnet (Ahlert & Kenning, 2006).

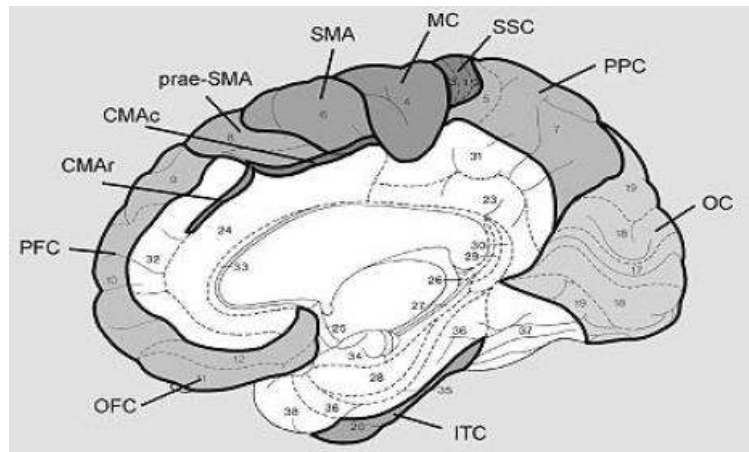


Abbildung 1: Einteilung des medial gelegenen Cortex (Roth & Münte, 2003, 11). Abkürzungen: CMAc = caudales cinguläres motorisches Areal; CMAr = rostrales cinguläres motorisches Areal; ITC = inferotemporaler Cortex; MC = motorischer Cortex; OC = okzipitaler Cortex (Hinterhauptslappen); OFC = orbitofrontaler Cortex; prä-SMA = prä-supplementär-motorisches Areal; PFC = präfrontaler Cortex (Stirnlappen); PPC = posteriorer parietaler Cortex; SMA = supplementär-motorisches Areal; SSC = somatosensorischer Cortex.

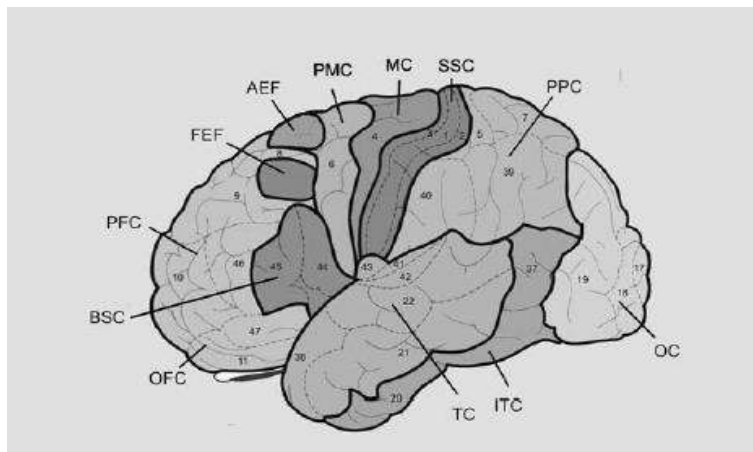


Abbildung 2: Einteilung des lateral gelegenen Cortex (Roth & Münte, 2003, 10). Abkürzungen: AEF = vorderes Augenfeld; BSC = Brocasches Sprachzentrum; FEF = frontales Augenfeld; ITC = inferotemporaler Cortex; MC = motorischer Cortex; OC = occipitaler Cortex (Hinterhauptslappen); OFC = orbitofrontaler Cortex; PFC = präfrontaler Cortex (Stirnlappen); PMC = dorsolateraler prämotorischer Cortex; PPC = posteriorer parietaler Cortex; SSC = somatosensorischer Cortex; TC = temporaler Cortex (Schläfenlappen).

Abbildung 3 zeigt den topographischen Bezug der Elektrodenposition des Elektroenzephalogramms zum jeweils darunter liegenden Gehirnareal. Hier werden den Elektrodenpositionen bestimmte Gehirnareale und entsprechende Brodmannareale zugeordnet. Schellig, Drechsler, Heinemann und Sturm (2009) versuchen mit ihrem Modell der Aufmerksamkeitsnetzwerke die verschiedenen Aufmerksamkeitsfunktionen den beteiligten Arealen zuzuordnen. Der für diese Untersuchung relevanten Aufmerksamkeitsaktivierung und Daueraufmerksamkeit wird eine Beteiligung folgender Gehirnregionen zugeordnet: Hirnstammteil der Formatio reticularis, vor allem noradrenerge Kerngebiete, dorsolateraler präfrontaler und inferiorer parietaler Cortex der rechten Hemisphäre, intralaminare und retikuläre Thalamuskern, anteriorer Anteil des Gyros cinguli (Scheller, Drechsler & Sturm, 2009, 31).

Ausgangspunkt für das Entstehen eines EEG-Signals ist die Informationsaufnahme und Übertragung eines Sinnesorgans zum zentralen Nervensystem (Cooper, Osselson & Shaw, 1978). Dies geschieht durch chemische und elektrische Vorgänge, die elektrische Spannungsänderungen in Neuronen und deren Leitbahnen bewirken (Kugler, 1981). Durch die in den Synapsen eintreffenden Aktionspotenziale werden an den Übertragungsstellen der Nervenzellen postsynaptische Potenziale ausgelöst, die inhibitorisch oder exzitatorisch wirken können. Die Aktionspotenziale in den Nervenleitbahnen sind nicht direkt verantwortlich für das EEG-Signal. Dies bestätigt eine Untersuchung von Li und Jasper (1953). Die postsynaptischen Potenziale laufen im Vergleich zu den Aktionspotenzialen sehr langsam ab und unterliegen nicht dem Alles-oder-Nichts-Prinzip. Sie können sich in vielfältiger Weise überlagern und Summenpotenziale bilden, die ausschlaggebend für die EEG-Signale sind.

Elektrodenposition	Kortikale Lokalisation	Area nach Brodman
Fp1, Fp2	Gyrus frontalis superior (rostrales Ende)	10
F3, F4	Gyrus frontalis medius (mittlerer Abschnitt)	46 (9)
F7, F8	Gyrus frontalis inferior (pars triangularis) (links nahe dem Broca-Sprachzentrum)	45
C3, C4	Gyrus praecentralis (Schulter-Ellbogen-Region)	4 (3)
P3, P4	Lobulus parietalis superior	7
T3, T4	Über Sulcus temporalis superior (überlappt Gyri temporales medius et superior)	21/22
T5, T6	Gyrus temporalis medius (rechts mehr über Sulcus temporalis superior)	37 (39)
O1, O2	Lateral und oberhalb des Okzipitalpols	17 (18)

Abbildung 3: Topographischer Bezug der Elektrodenpositionen zu den Gehirnarealen.

Das postsynaptische Potenzial verteilt sich extrazellulär auf einen weiträumigen Bereich innerhalb der Hirnrinde. Dieser Bereich mit abnehmenden Potentialdifferenzen wird als kortikales Feldpotenzial bezeichnet. Bei ausreichender Stärke bewirkt das Feldpotenzial durch verschiedene elektronische Ionenbewegungen an der Kopfoberfläche Ladungsdifferenzen, die mit Hilfe der EEG-Messung abgeleitet werden. Synchron eintreffende neuronale Potenziale bewirken in den kortikalen Arealen sogenannte elektrische Dipole. Die Summation der Dipole zahlreicher Synapsen hat wesentlichen Einfluss auf das EEG-Signal. Des Weiteren bestimmt die räumliche Richtung der Dipole die Wirkung auf das Signal. Ausschlaggebend sind Neuronen mit senkrechter Ausrichtung. Dies sind hauptsächlich die großen Pyramidenzellen, deren apikale Dendriten senkrecht durch die Hirnrinde zum Cortex verlaufen. Für das EEG sind offene Dipolfelder bestimmend, die aus einer Vielzahl von senkrecht und zueinander parallel angeordneten, aktivierten Neuronen bestehen. Die für das EEG-Signal charakteristischen Oszillationen entstehen durch rhythmische Aktivierungs- und Deaktivierungsmuster, die vom Thalamus in den Cortex geleitet werden. Deren Frequenz und Amplitude ist abhängig von der Modulation des Thalamus und des Cortex (Steriade & Timofeev, 2003). Die Analyse kann abhängig vom Zeit- und Frequenzbereich erfolgen. Für das zuerst genannte, wird das Signal mit Hilfe von event-related potentials (ERPs) analysiert. Dabei wird das ungefilterte EEG-Signal über viele Ereignisse gemittelt. ERP-Komponenten, welche Ausschläge in die positive oder negative Richtung darstellen, repräsentieren dabei verschiedene kognitive Prozesse (Doppelmayr & Amesberger, 2012). Frequenzspezifische Analysen betrachten EEG-Frequenzen in einem gegebenen Zeitrahmen. Als solchen gibt es Leistungs- und Powerspektren, die von den Amplituden- bzw. von den quadrierten Amplitudenwerten ausgehen. Kombinierte Verfahren integrieren sowohl die Zeit-, als auch die Frequenzdomäne. Bei der Ermittlung der spontanen elektrischen Gehirnaktivität wird das Signal in verschiedene Frequenzbänder unterteilt, die bei unterschiedlichen psychophysiologischen Bewusstseins- und Wachheitszuständen auftreten. Im Folgenden werden die für die geplante Studie relevanten Frequenzbänder kurz dargestellt: Die Theta-Aktivität (4-7 Hz) tritt bei psychophysiologischen Zuständen tiefer Entspannung, Meditation, Hypnose, aber auch bei Lernprozessen auf. Insbesondere der hippocampale Theta-Rhythmus spielt eine wichtige Rolle bei der langzeitigen Verfestigung, der so genannten Konsolidierung, von Lerninhalten und Erfahrungen im Langzeitgedächtnis. Der hippocampale Theta-Rhythmus tritt u.a. in den REM (rapid eye movement) Schlafphasen auf. Bedeutsam ist der Thetarhythmus, da seine Aktivität im anterioren zingulären Cortex (ACC) generiert wird (Aftanas & Golocheikine, 2001; Doppelmayr, Finkenzeller & Sauseng, 2008; Gevins, Smith, McEvoy & Yu, 1997). Der ACC nimmt eine wichtige Rolle bei der zentralnervösen Affektverarbeitung ein (Henningesen, 2006, 16f.). Dieser Bereich der Großhirnrinde ist für die Steuerung der bewussten Aufmerksamkeit, Konzentration, Motivation und des Antriebs verantwortlich (Kirschbaum, 2008). Untergliedert wird der ACC in das ventral-rostrale Areal, hier wird

die emotionale Wahrnehmung reguliert und in das dorsale Areal, welches für die bewusste Wahrnehmung zuständig ist (Henningsen, 2006). Die Alpha-Aktivität (8-13 Hz) ist die häufigste Form der Grundaktivität und wird vor allem bei geschlossenen Augen in den okzipitalen und parietalen Gehirnarealen gemessen, kann aber auch bei geöffneten Augen unter entspannten Zuständen auftreten. Innerhalb des Alpha-Bandes lassen sich qualitativ verschiedene kortikale Aktivierungszustände (Alpha-1 und Alpha-2) mit unterschiedlicher funktionaler Bedeutung bestimmen. Die Beta-Aktivität (13-30 Hz) tritt meist präzentral und frontal auf und ist ein Indikator für Wachheit. Aufgrund der großen Bandbreite wird das Beta-Band in drei Bereiche mit korrelierenden psychophysiologischen Zuständen separiert: während der Beta-1 Bereich (13-15 Hz) noch durch eine entspannte, nach außen gerichtete Aufmerksamkeit gekennzeichnet ist, geht der Beta-2 (15-21 Hz) Bereich mit einer erhöhten Wachheit, der Beta-3 Bereich (21-30 Hz) mit einer Überaktivierung und Stressempfinden einher. Die Gamma-Aktivität (30-70 Hz) tritt bei anspruchsvollen Tätigkeiten mit hohem Informationsfluss auf, bei starker Konzentration sowie Lernprozessen. Sie ist ferner ein Indikator für eine Synchronisation von verschiedenen Gehirnarealen sowie für eine neuronale Reorganisation des Cortex. Eine chronisch erhöhte Gamma-Aktivität findet sich bei klinischen Störungsbildern wie z.B. der Schizophrenie, Epilepsie und dem Aufmerksamkeitsdefizit-Hyperaktivitätssyndrom (ADHS).

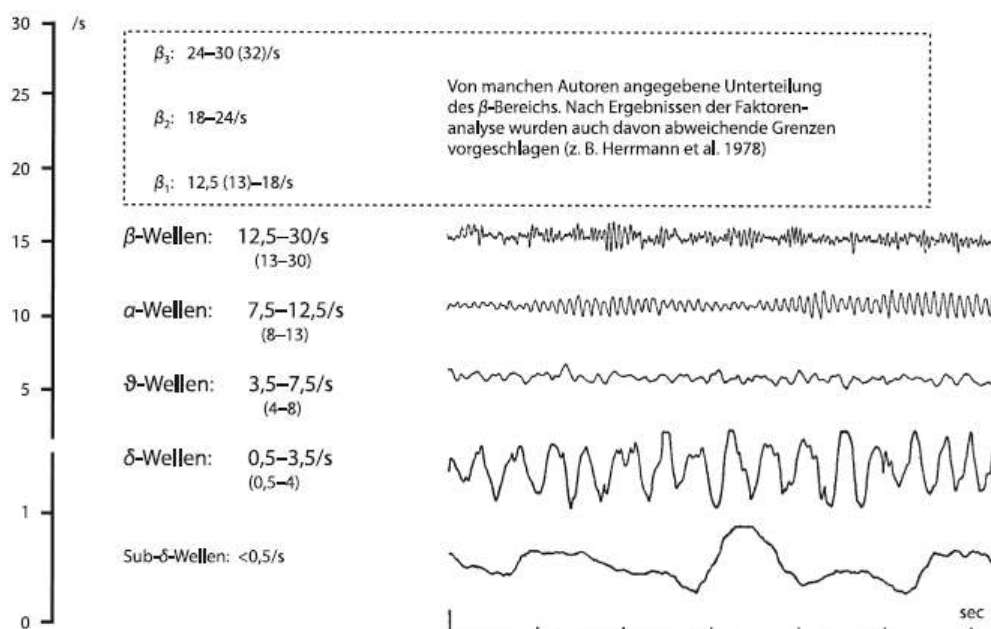


Abbildung 4: Einteilung der Frequenzbereiche des Elektroenzephalogramms.

2.2 Wirkung von Mobilfunkstrahlung auf die Gehirnaktivität

In mehreren wissenschaftlichen Studien konnte eine Wirkung von elektromagnetischer Strahlung, die durch Mobilfunk erzeugt wird, auf Stoffwechselprozesse des Gehirns, insbesondere auf die

Produktion des Schlafhormons Melatonin, und die elektrische Gehirnaktivität belegt werden. Hinsichtlich der Wirkung von elektromagnetischer Strahlung konnten Effekte auf die menschliche EEG Alpha- und Beta-Aktivität festgestellt werden. In einer Doppelblindstudie an 72 Probanden konnte bei einer 20-minütigen Exposition gezeigt werden, dass das Alpha-Band des EEGs unter Ruhebedingungen durch elektromagnetische Felder beeinflusst wird. Die Alpha-Aktivität war unter der Strahlungsexposition signifikant verringert (Perentos, Croft, McKenzie & Cosic, 2013). Hinrikus et al. (2008) und Suhhova et al. (2013) belegten einen Anstieg in der Beta-1 und Beta-2 Aktivität sowie, im Unterschied zur Studie von Perentos, Croft, McKenzie und Cosic (2013), einen Anstieg in der Alpha-Aktivität nach elektromagnetischer Strahlungsexposition.

Kinder und Jugendliche scheinen eine besondere Sensitivität hinsichtlich der Veränderung der elektrischen Gehirnaktivität durch elektromagnetische Strahlung zu haben: In einer Studie von Croft et al. (2010) konnte bei einer durch ein Mobilfunksystem der zweiten Generation (2G) erzeugten Strahlungsexposition ein signifikant stärkerer Anstieg in der EEG Alpha-Aktivität beobachtet werden als bei einer Stichprobe erwachsener Probanden.

Hinsichtlich der neurophysiologischen Veränderungen bei Strahlungsexposition vor und während des Schlafes belegen mehrere Studien einen 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 elektromagnetische Strahlungsexposition durch Mobilfunk beeinträchtigt. So konnten Lustenberger et al. (2013) zeigen, dass ein verringerter motorischer Leistungszuwachs am folgenden 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 Mobilfunkexposition während des Schlafes beeinträchtigt wird.

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 elektromagnetischer Strahlung auf das EEG, dass zum einen eine Verschiebung des Frequenzspektrums in die höherfrequenten Bereiche (Beta- und Gamma-Aktivität), zum anderen eine Intensivierung des Alpha-Zustandes 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 Epilepsie, Schizophrenie, dem Aufmerksamkeitsdefizit-Hyperaktivitätssyndrom (ADHS), Angst- und Depressionsstörungen, möglicherweise eine Provokation, Verschlimmerung oder Chronifizierung der Symptomatik hervorrufen.

Aufgrund der bisherigen Befunde aus wissenschaftlichen Studien zur Wirkung von Mobilfunkstrahlung auf die Gehirnaktivität lässt sich vermuten, dass diese möglicherweise eine Wirkung auf kognitive Funktionsbereiche (z.B. Konzentrationsfähigkeit, Gedächtnis, Problemlösefähigkeit) haben könnte, da diese Funktionsbereiche mit einer Aktivierung in bestimmten Frequenzbändern des EEG korreliert ist. So ist bei Konzentrationsleistungen eine Aktivierung im Beta-Bereich zu beobachten, bei Arbeitsgedächtnisprozessen und Prozessen der Gedächtniskonsolidierung eine verstärkte Aktivität im Theta-Bereich. Bei kreativen Problemlöseprozessen ist häufig eine Aktivierung im Alpha1-Bereich beobachtbar. Systematische wissenschaftliche Studien zur Wirkung von Strahlungsexposition durch Mobilfunk gibt es bisher nicht.

2.4 Ziel und Fragestellung der vorliegenden Studie

Die vorliegende Studie hat zum Ziel, die Wirkung des AkuRy Duett Doppelchip bei Handynutzung auf die kurzfristige Konzentrationsfähigkeit und die korrespondierende Gehirnaktivität während der Aufgabenbearbeitung und in der Ruhephase vor dem Test im Unterschied zu der Konzentrationsfähigkeit und Gehirnaktivität bei Verwendung eines Standardhandys mit Placebo-Chip zu untersuchen. Anhand der EEG-Aktivierung während der Bearbeitung der Konzentrationstests und in den Ruhephasen können Rückschlüsse auf das psychophysiologische Wachheitsniveau und die Art der Aufmerksamkeitsfokussierung gezogen werden. Bei der Interpretation der Ergebnisse werden die Frequenzbänder des EEG (Theta 4-7.5 Hz, Alpha 8-13 Hz, Beta 13-30 Hz, Gamma 30-70 Hz) differenziert betrachtet, da sie unterschiedliche Aussagekraft in Bezug auf den

psychophysiologischen Wachheitsgrad und die Konzentrations- und Leistungsbereitschaft des kognitiven Systems haben.

Die Forschungshypothesen sind:

Nullhypothese: Es zeigt sich kein Effekt der Applikation des AkuRy Duett Doppelchips zu dem Testhandy in den Messungen auf die Konzentrationsfähigkeit und die Gehirnaktivität im Unterschied zur Verwendung eines Standardhandys ohne Applikation oder mit Placebo-Chip.

Alternativhypothese: Es zeigt sich ein Effekt der Applikation des AkuRy Duett Doppelchips zu dem Testhandy in den Messungen auf die Konzentrationsfähigkeit und die Gehirnaktivität im Unterschied zur Verwendung eines Standardhandys ohne Applikation oder mit Placebo-Chip.

Die Forschungshypothesen werden in der vorliegenden Studie folgendermaßen operationalisiert, d.h. experimentell realisiert:

Sollte die Nullhypothese zutreffen, so sollte kein Effekt der Applikation des AkuRy Duett Doppelchips zu dem Testhandy in den Verhaltensdaten der Konzentrationstests (d2-R-Aufmerksamkeitstest: Gesamtzahl aller bearbeiteten Zeichen, Auslassungsfehler, Verwechslungsfehler, Konzentrationsleistungswert) und in der korrespondierenden Gehirnaktivität (Veränderung der Zusammensetzung der Frequenzbänder im Theta-, Alpha-, Beta-, und Gamma-Bereich) bei einem Vergleich mit den Messungen unter der Verwendung eines Standardhandys ohne Applikation oder Placebo-Chip vorliegen.

Sollte die Alternativhypothese zutreffen, so sollte sich ein Effekt der Applikation des AkuRy Duett Doppelchips zu dem Testhandy in den Verhaltensdaten der Konzentrationstests (d2-R-Aufmerksamkeitstest: Gesamtzahl aller bearbeiteten Zeichen, Auslassungsfehler, Verwechslungsfehler, Konzentrationsleistungswert) und in der korrespondierenden Gehirnaktivität (Veränderung der Zusammensetzung der Frequenzbänder im Theta-, Alpha-, Beta-, und Gamma-Bereich) bei einem Vergleich mit den Messungen unter der Verwendung eines Standardhandys ohne Applikation oder Placebo-Chip zeigen lassen.

3 Untersuchungsmethodik

3.1 Stichprobe

In der vorliegenden Untersuchung wurden $n = 30$ gesunde Probanden im Alter von 22 bis 27 Jahren (Durchschnittsalter 24.23 Jahre, Standardabweichung 1.04 Jahre; zwölf weiblich, achtzehn männlich). Die Probanden waren neurologisch gesund, d.h. keine aktuellen neurologischen Beeinträchtigungen oder neurologische Vorerkrankungen lagen vor. Alle Probanden hatten ein gesundes bzw.

korrigiertes Sehvermögen. Alle Probanden gaben vor der Studie ihre Einverständniserklärung. Keiner der Probanden kannte den Hintergrund der Studie. Die Probanden wurden nach Abschluss aller Messungen über den Hintergrund der Studie informiert.

3.2 Versuchsaapparatur

3.2.1 Elektroenzephalogramm

Für eine bessere Überschaubarkeit der Messvorgänge mittels EEG sind die Komponenten der EEG-Untersuchung in Abbildung 5 graphisch dargestellt und werden im Folgenden erläutert. Die Elektroden stellen die Schnittstelle zwischen dem Probanden und der übrigen verwendeten Apparatur dar. Sie haben die Aufgabe des Transports der elektrischen zerebralen Signale zum Schreibsystem des EEG-Geräts. Um die elektrischen Ladungen vom Gewebe (Kopfhaut) zur Elektrode zu übermitteln, ist ein Elektrolyt notwendig, welches in der vorliegenden Studie in Form eines Gels (OneStep EEG-Gel®) eingesetzt wurde. Es besteht aus Natrium- und Chloridionen und dient als elektrischer Ladungsträger. Die weitestgehend widerstandslose Übertragung des EEG-Signals hängt vorrangig von einem ungehinderten Transfer des elektrischen Potenzials über eine elektrische Doppelschicht ab. In der vorliegenden Studie wurden Elektroden aus Silberchlorid für eine nahezu widerstandslose Übertragung verwendet. Für die Darstellung der EEG-Wellen ist ein Differenzverstärker notwendig. Seine Verwendung beruht auf der Unterdrückung von elektromagnetischen Störsignalen. Durch den Einsatz von zwei Ableitpunkten, werden zunächst alle elektrischen Signale des EEGs, sowie die der Störfaktoren erfasst. Daraufhin erfolgt eine Verstärkung der Differenz dieser Potentiale. Die Filterung von weiteren Störquellen, wie die der elektromagnetischen Wellen von Rundfunksendern oder benachbarten Diagnostikgeräten wird von der Gleichtaktunterdrückung des EEG-Verstärkers bestimmt. Die Problematik dieses Verfahrens liegt darin, dass gleichphasige Signalanteile des EEGs ebenso herausgefiltert werden und auf diese Weise die EEG-Darstellung modifiziert wird. Des Weiteren ist es wichtig, den Frequenzbereich der ableitenden Aktivität des Cortex einzugrenzen. Dadurch soll eine stabile Registrierung der Elektrodenpotenziale gewährleistet werden, die durch träge Potenzialschwankungen, die nicht vom Gehirn ausgehen, minimiert werden. Klassische Artefakte stellen Potenzialschwankungen dar, die im EEG registriert werden, jedoch nicht vom Gehirn ausgehen. Die Diagnose und Selektion dieser Artefakte ist von primärem Interesse, um fehlerfreie Ergebnisse gewährleisten zu können. Hierbei kann zwischen biologischen-, also durch den Patienten verursachte Störungen und technischen Artefakten differenziert werden, die durch apparative Mängel und technische Fremdeinwirkung entstehen. Der Gruppe der biologischen Störfaktoren sind die der Augenbewegung, der durch den Herzmuskel entstehenden Potentiale, Puls-, Muskel, Bewegungs- und Hautartefakte zuzuordnen. Sie

entspringen extrazerebral und übersteuern durch körpereigene Spannungsquellen das eigentliche EEG-Signal.

Die EEG-Spontanaktivität wurde mit einem portablen 32-Kanal EEG-System (Micromed© Brain Quick) mit 19 Elektroden gemäß dem internationalen 10-20 System (siehe Abbildung 6) mit Referenz gegen die Nase mit einer Abtastrate von 256 Hz abgeleitet. Beim internationalen 10-20-System werden die Elektroden in zueinander relativen Abständen positioniert. Dem Begriff 10-20-System liegt die Entfernung der Bezugspunkte zugrunde, die in zehner und zwanziger Schritten prozentual unterteilt werden. Während der Datenaufzeichnung mit der von Micromed© entwickelten Software System Plus Evolution ein Hochpassfilter mit 0.05 Hz und ein Tiefpassfilter mit 100 Hz gesetzt. Je ein bipolares Elektroofokulogramm zur Erfassung der horizontalen und vertikalen Augenbewegungen und ein Elektromyogramm zur Erfassung der elektromyographischen Aktivität der Hals- und Schultermuskulatur wurde darüber hinaus zur Kontrolle von EMG-Artefakten aufgenommen.

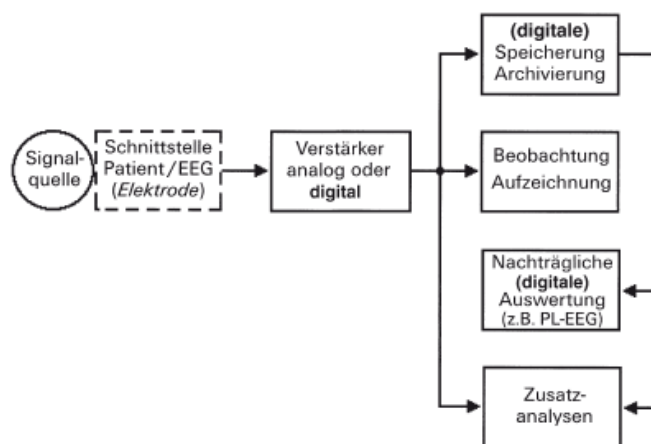


Abbildung 5: Komponenten der EEG-Untersuchung.

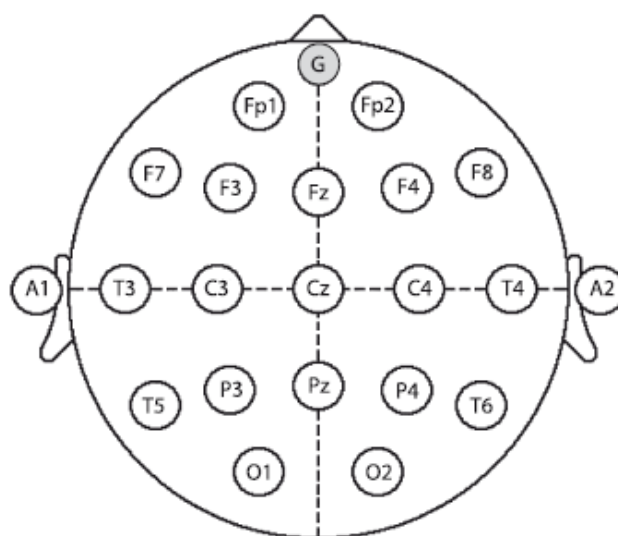


Abbildung 6: Elektrodenanordnung nach dem internationalen 10-20-System.

3.2.2 Experimentelle Apparatur

Die Probanden lagen während der Messungen auf einer therapeutischen Liege in Rückenlage. Davon ausgeschlossen war die Messung und Durchführung des d2-R-Aufmerksamkeitstests, den die Probanden an einem Schreibtisch auf einem Bürostuhl sitzend absolvierten.

Zu den Messungen wurden zwei Handys des Modells iPhone 4S verwendet. Die Modelle unterscheiden sich lediglich darin, dass einem der Handys im Vorfeld von einer außenstehenden Person der AkuRy Duett Doppelchip und dem anderen ein Placebo-Chip hinzugefügt wurde. Im Sinne einer Doppelblindtestung war dem Forschungsteam nicht bekannt, welches das modifizierte Smartphone war. Im Studiendesign wurden die Handys mit „Handy 1“ (Placebo-Chip) und „Handy 2“ (AkuRy Duett Doppelchip) bezeichnet. Das jeweilige Handy wurde durch eine spezielle Halterung an einem Stativ an das linke Ohr des Probanden mit einem Abstand von 1.0 cm appliziert. Zur Messung der elektromagnetischen Strahlung wurde das Hochfrequenz-Messgerät HF-59B (Messbereich 0.01-19999 $\mu\text{W}/\text{m}^2$) und das Niederfrequenz-Messgerät NFA 1000 (Messbereich 0.1-1999 V/m) der Firma Gigahertz Solution verwendet. Ein Lautsprecher wurde für das Erzeugen eines „Rauschens“ verwendet, das während der Messungen von Handy 1 und 2 zur Aufrechterhaltung einer Handyverbindung dienen sollte. Die Probanden erhielten Ohrstöpsel, um die Geräuschkulisse zu dämpfen und deren akustisch-sensorische Beeinflussung auf die Gehirnaktivität möglichst gering zu halten.

3.3. Testaufgabe: Konzentrationstest

Im Folgenden wird das psychologisch-diagnostische Testverfahren des d2-R-Aufmerksamkeitstests beschrieben, das in der vorliegenden Studie angewendet wurde. Beim d2-R-Aufmerksamkeits-Belastungs-Test oder kurz d2-R-Test (siehe Abb. 7) handelt es sich um einen psychologischen Test, der die Konzentrationsfähigkeit erfassen soll. Das Testverfahren stellt eine standardisierte Weiterentwicklung der Durchstreichtests dar, wobei er trotzdem noch unter gleichbenannte Kategorie fällt. Entwickelt wurde er 1962 von Rolf Brickenkamp. Der Test ist aufgrund seiner soliden Absicherung der Testgütekriterien und guten Erfahrungen hinsichtlich der Akzeptanz von Seiten der Probanden ein sehr beliebtes und häufig angewandtes Testinstrument im Bereich der psychologischen Diagnostik. Der Test besteht aus einer Din A4 Seite und ist wahlweise mit Kugelschreiber oder Bleistift zu bearbeiten. Die Aufgabe der Testperson besteht darin, bestimmte Teststellen von anderen zu unterscheiden, in dem diese gekennzeichnet, bzw. durchgestrichen werden. Das Verfahren misst die Quantität und Qualität der Bearbeitung, d.h. zum einen die erreichte Gesamtmenge der bearbeiteten Zeichen und zum anderen die Fehler, die dabei gemacht wurden. Das Testblatt des d2-R-Aufmerksamkeits-Belastungs-Tests besteht aus 14 Zeilen zu je 57 Zeichen. Diese Zeichen sind die Buchstaben „d“ und „p“. Sie sind immer mit unterschiedlichen

Markierungen, ein bis vier senkrecht verlaufende Striche ober- oder unterhalb des Buchstaben, versehen. Die Aufgabe des Probanden besteht darin alle „d“, mit insgesamt zwei Strichen, durchzustreichen. Fehler sind hierbei das Auslassen eines „korrekten“ Buchstaben und das Ankreuzen eines „p“ oder eines „d“ mit mehr oder weniger als zwei Strichen. Der Test ist zeitlich begrenzt, so dass die Testperson nach fünf Minuten aufhören muss. Die Schwierigkeit des Tests besteht zum einen in der Zeitbegrenzung, zum anderen stellt die Differenzierung von relevanten und irrelevanten Reizen eine schwierige Anforderung dar.

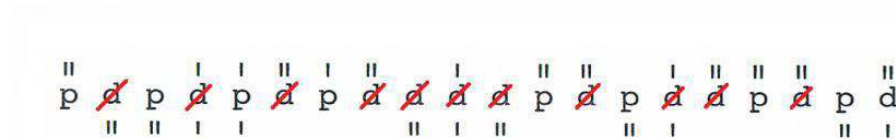


Abbildung 7: Ausschnitt aus dem d2-Test.

3.4 Experimentelles Design und Testablauf

Die Studie wurde in den Laborräumen der Abteilung Trainings- und Bewegungswissenschaft des Instituts für Sportwissenschaft der Johannes Gutenberg-Universität Mainz durchgeführt. Die Untersuchung wurde in einem Labor durchgeführt, in dem keine spezifische elektromagnetische Strahlungsbelastung gemessen werden konnte. Die elektromagnetische Strahlungsbelastung wurde vor Beginn jeder Messung kontrolliert und lag im Durchschnitt bei einem Wert von 0.02 W/m^2 . Die Messungen wurden im Zeitraum vom 01.10.2014 bis 25.11.2014 durchgeführt.

Für jede getestete Versuchsperson wurden zwei Messtermine mit einem zeitlichen Rahmen von je einmal 60 und 120 Minuten vereinbart. Die komplette Messung lässt sich in drei unterschiedliche Konditionen (Baseline, Handy 1 und Handy 2) unterteilen, wobei die Konditionen Baseline und eines der beiden Handys die 120 minütige Messung definieren und das andere Handy in der 60 minütigen Messung Anwendung findet. Als Baseline Kondition wird ein Handy ausgeschaltet benutzt. Es wurde darauf geachtet, dass die Reihenfolge der zwei Messtermine und der getesteten Konditionen insgesamt über alle Probanden etwa gleich verteilt ist, um die Unabhängigkeit der Messreihenfolge zu gewährleisten. Jeder Proband erhielt zu Beginn der Testung eine Probandenkennung (VP 01-30), um die Anonymität der Teilnahme sicherzustellen. Jedes Experiment begann mit dem Ausfüllen einer Einverständniserklärung zur freiwilligen Teilnahme und der Beschreibung des Verwendungszwecks der gesammelten Daten. Danach wurde ein weiterer Fragebogen bearbeitet, der neben demographischen Daten (Alter, Geschlecht, Beruf) auch Angaben über das eventuelle Tragen einer Brille oder Kontaktlinsen, zu neurologischen Beeinträchtigungen, vor dem Test eingenommenen Substanzen (Kaffee, Medikamente, Alkohol) und Fragen zum allgemeinen Befinden und zur Schlafqualität der letzten Nacht beinhalteten. Auch Angaben zur momentanen subjektiven

Konzentrationsfähigkeit und der letzten Aktivität vor Messbeginn wurden erfasst. Nachdem alle Eingangsfragebögen beantwortet wurden, wurde das EEG angelegt. Zu Beginn der Messung wurde der Untersuchungsraum auf bereits bestehende elektromagnetische Strahlung mittels der genannten Messgeräte überprüft. Daraufhin wurde als Prätest eine zweiminütige EEG-Ruhemessung bei geöffneten Augen in Rückenlage auf der Liege ohne eine Applikation eines Handys im Abstand von 1.0 cm vorgenommen. Anschließend erfolgte eine zwanzigminütige Messung unter Verwendung einer der drei Bedingungen (Baseline, Handy 1 oder Handy 2) weiterhin auf der Liege bei geöffneten Augen unter Applikation des Handys im Abstand von 1.0 cm an das linke Ohr des Probanden. Danach wurde der d2-Test dem Probanden erklärt und an einem Schreibtisch auf einem normalen Bürostuhl sitzend durchgeführt. Für die Testbearbeitung wurden 5 Minuten angesetzt. Während des d2-R-Tests wurde ebenfalls eine EEG-Messung durchgeführt und das Testhandy an das Ohr des Probanden appliziert. Die Versuchsdurchführung ist in Abbildung 8 vereinfacht dargestellt. Dieses Design wurde mit den drei verschiedenen experimentellen Bedingungen durchlaufen. Innerhalb des Messzeitraums wurde kontinuierlich mit dem Hochfrequenzmessgerät HF 59B überprüft, inwiefern das Smartphone kontinuierlich mit der gleichen Leistung sendet.



Abbildung 8: Illustration des Testablaufs.

3.5 Datenauswertung

3.5.1 Konzentrationstest

Für die bearbeiteten d2-R-Tests wurde jeweils die Gesamtzahl aller bearbeiteten Zeichen, die Gesamtzahl aller richtig bearbeiteten Zeichen, die Anzahl der Auslassungs- und Verwechslungsfehler, sowie die Gesamtzahl der Fehler und der Konzentrationsleistungswert ermittelt. Die ermittelten Kennwerte des d2-R-Tests wurden für jeden Probanden gemittelt und Varianzanalysen mit Bonferroni-korrigierten post-hoc Tests unterzogen. Das statistische Signifikanzniveau wurde für die vorliegende Studie auf $p < .05$ gesetzt.

3.5.2 EEG-Daten

Die wichtigsten Verfahren zur Darstellung und Interpretation von EEG-Daten werden in Abbildung 9 dargestellt. Für die vorliegende Studie hat die fortlaufende Frequenzanalyse, auch Spektralanalyse genannt, primäre Bedeutung und wird aus diesem Grund kurz erläutert. Sie beruht auf Spektren von verschiedenen EEG-Epochen, die als compressed spectral arrays (CSA) bezeichnet werden. Sie

veranschaulichen die Verteilungen der Frequenzen des EEG-Signals, sowie Änderungen des Frequenzverhaltens. Durch die Fourier-Transformation gehen ebenso die Amplituden der EEG-Wellen mit in das Ergebnis ein. Zur Aufbereitung der EEG-Daten und statistischen Analyse wurde die matlab-basierte Software EEGLAB verwendet. Um die nach der Messung erhaltenen EEG-Daten am Ende illustrieren zu können, bedarf es einer mehrstufigen Bearbeitung der EEG-Rohdaten mittels der matlab-basierten Software EEGLAB. Die eingelesenen EEG-Daten wurden gefiltert, einer Unabhängigkeitsanalyse (independent component analysis, ICA) unterzogen und artefaktbereinigt. Die Leistungsdichtespektren des elektroenzephalographischen Signals wurden in EEGLAB mittels Fast-Fourier-Transformationen für das Theta- (4-7 Hz), Alpha- (8-13 Hz), Beta- (13-30 Hz), und Gamma-Band (30-70 Hz) ermittelt. Die Leistungsflussdichten der elektromagnetischen Strahlung wurden mit den ermittelten Leistungsdichtespektren des EEGs im zeitlichen Verlauf korreliert. EEG-Sequenzen, bei denen ein Grenzwert elektromagnetischer Strahlung von 9.5 W/m^2 überschritten wurde, wurden in die Analyse miteinbezogen. Die so ermittelten Leistungsdichtespektren des elektroenzephalographischen Signals wurden Varianzanalysen mit Bonferroni-korrigierten post-hoc Tests unterzogen. Das statistische Signifikanzniveau wurde für die vorliegende Studie auf $p < .05$ gesetzt.

- A. Amplitudenanalyse (CFM, aEEG),
- B. Perioden- bzw. Intervallanalyse,
- C. Frequenzanalyse (Fourier-Analyse, FFT),
 - a. komprimierte, stapelförmige Spektraldarstellung (CSA),
 - b. dichtemodulierte Spektraldarstellung (DSA),
 - c. Darstellung einzelner Frequenzbänder (frequenz-selektive Spektralanalyse),
 - d. Darstellung einzelner spektraler Parameter,
 - 1. Peak-Frequenz (PPF, »peak power frequency«),
 - 2. Medianfrequenz (MPF, »median power frequency«),
 - 3. Eckfrequenz (SEF, »spectral edge frequency«).

Abbildung 9: Verfahren zur komprimierten Darstellung der EEG-Daten (nach Zschoke & Hansen, 2012, 427).

4 Ergebnisse

4.1 Ergebnisse der Konzentrationstests

Die Ergebnisse des d2-R-Aufmerksamkeitstests sind in Tabelle 1 dargestellt. Beim d2-R-Test zeigen sich statistisch hochsignifikante Effekte für die Gesamtzahl aller bearbeiteten Zeichen (Tempo, $F_{(2,28)} = 10.39$, $p < 0.01$), Gesamtzahl aller korrekt bearbeiteten Zeichen ($F_{(2,28)} = 18.24$, $p < 0.01$), den Konzentrationsleistungswert ($F_{(2,28)} = 17.46$, $p < 0.01$). Die Gesamtzahl der Fehler ($F_{(2,28)} = 5.84$, $p < 0.05$) sowie Auslassungsfehler ($F_{(2,28)} = 5.73$, $p < 0.05$) betreffend zeigen sich zudem signifikante Effekte:

- Unter Applikation von Handy 2 werden im Durchschnitt hochsignifikant mehr Zeichen bearbeitet als mit abgeschaltetem Handy ($p < 0.01$)
- Unter Applikation von Handy 2 werden im Durchschnitt mehr Zeichen richtig bearbeitet als bei der Verwendung von Handy 1 und mit abgeschaltetem Handy ($p < 0.05$)
- Unter Applikation von Handy 2 werden im Durchschnitt weniger Fehler begangen als bei Verwendung von einem ausgeschaltetem Handy ($p < 0.05$)
- Unter Applikation von Handy 2 wird im Durchschnitt hochsignifikant ein höherer Konzentrationsleistungswert als mit abgeschaltetem Handy erreicht ($p < 0.01$)

Tabelle 1: Ergebnisse des d2-R-Tests

Parameter	Bedingung	Mittelwert	Standard- abweichung
Gesamtzahl aller bearbeiteten Zeichen	Baseline	480.33	90.32
	Handy 1	509.37	97.76
	Handy 2	533.67	90.66
Gesamtzahl korrekt bearbeiteter Zeichen	Baseline	201.13	43.77
	Handy 1	217.10	44.41
	Handy 2	231.30	40.18
Gesamtzahl aller Fehler	Baseline	14.00	18.49
	Handy 1	9.07	12.05
	Handy 2	9.3	12.29
Auslassungsfehler	Baseline	13.63	18.52
	Handy 1	8.67	11.99
	Handy 2	9.27	12.39
Verwechslungsfehler	Baseline	0.37	0.61
	Handy 1	0.40	0.67
	Handy 2	0.27	0.58
Konzentrationsleistungswert	Baseline	200.30	43.63
	Handy 1	217.50	43.98
	Handy 2	229.80	40.54

4.2 Ergebnisse der EEG-Messungen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der EEG-Messungen für die Ruhemessungen und während der Bearbeitung des d2-R-Tests dargestellt. Die Darstellung erfolgt jeweils für folgende Frequenzbereiche:

- Theta-Band (4-7.5 Hz)
- Alpha-Band (8-13 Hz)
- Beta-Band (13-30 Hz)
- Gamma-Band (30-70 Hz)

Die Abbildungen zu den einzelnen Frequenzbereichen für alle experimentellen Bedingungen sind in den folgenden Abschnitten dargestellt.

4.2.1 EEG Spontanaktivität

4.2.1.1 Theta-Aktivität

Die EEG-Spontanaktivität im Theta-Bereich (4-7.5 Hz) ist in Abbildung 10 dargestellt. Es zeigt sich ein statistisch signifikanter Unterschied hinsichtlich der Theta-Aktivität während der Ruhephase bei einem Vergleich von Kontrollbedingung und Placebo-Chip an der Elektrode Fz ($p < .05$), beim AkuRy Duett Doppelchip eine stärkere Aktivierung an den Elektroden F3 und Pz im Vergleich zum Placebo-Chip ($p < .05$). Während des Konzentrationstests ist hinsichtlich der Theta-Aktivierung bei einem Vergleich von Kontrollbedingung und Placebo-Chip im Unterschied zum AkuRy Duett Doppelchip eine stärkere Theta-Aktivität an der Elektrode Pz zu beobachten ($p < .05$).

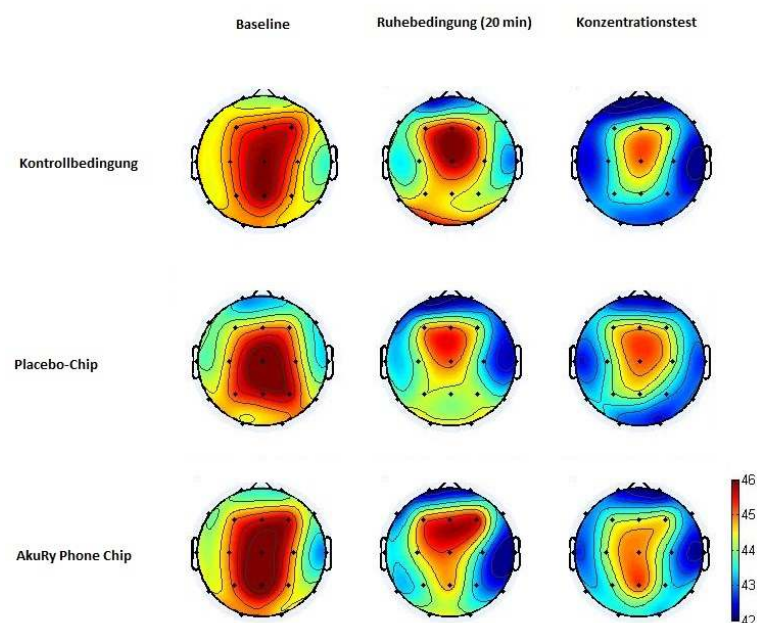


Abbildung 10: EEG Theta-Aktivität in der Kontrollbedingung, für den Placebo-Chip und den AkuRy Duett Doppelchip.

4.2.1.2. Alpha-Aktivität

Die EEG-Spontananaktivität im Alpha-Bereich (8-13 Hz) ist in Abbildung 11 dargestellt. Es zeigt sich ein statistisch signifikanter Unterschied während der Ruhephase hinsichtlich der Alpha-Aktivität bei einem Vergleich von Kontrollbedingung und Placebo-Chip an den Elektroden F7, T3, C3, Cz, P3, Pz, T4, O1 und O2 ($p < .05$), beim Vergleich von Placebo-Chip zum AkuRy Duett Doppelchip an den Elektroden Fz, C3, Cz, P3, Pz, P4, O1 und O2 ($p < .05$). Während des Konzentrationstests ist bei einem Vergleich von Kontrollbedingung und Placebo-Chip eine stärkere Alpha-Aktivität an den Elektroden C3, P3, Pz und P4 in der Kontrollbedingung, beim Vergleich von Placebo-Chip und AkuRy Duett Doppelchip an den Elektroden Cz, P3, Pz und P4 bei Anwendung des AkuRy Duett Doppelchips zu beobachten ($p < .05$).

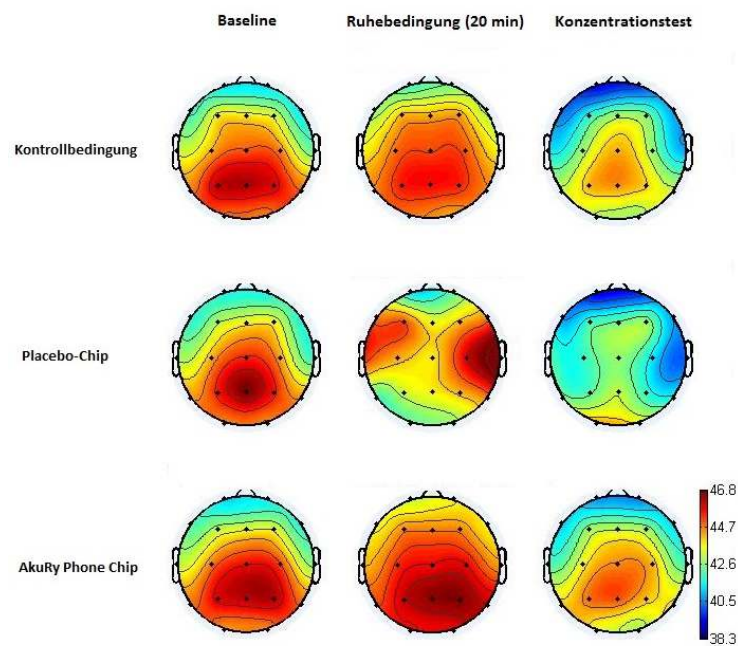


Abbildung 11: EEG Alpha-Aktivität (8-13 Hz) in der Kontrollbedingung, für den Placebo-Chip und den AkuRy Duett Doppelchip.

4.2.1.3. Beta-Aktivität

Die EEG-Spontananaktivität für den Beta-Bereich (13-30 Hz) ist in Abbildung 12 dargestellt. Es zeigt sich ein statistisch signifikanter Effekt der Testbedingung, wobei sich in der Kontrollbedingung, Placebo-Chip Bedingung und beim AkuRy Duett Doppelchip eine stärkere Beta-Aktivität an den Elektroden O1 und O2 im Unterschied zur Baseline und zur 20-minütigen Ruhebedingung zeigt ($p < .05$). Bei einem Vergleich von Kontrollbedingung, Placebo-Chip und AkuRy Duett Doppelchip zeigt sich während des Konzentrationstests kein statistisch bedeutsamer Unterschied.

4.2.1.4. Gamma-Aktivität

Die EEG-Spontananaktivität im Gamma-Bereich (30-70 Hz) ist in Abbildung 13 dargestellt. Es zeigt sich während des Konzentrationstests eine stärkere Gamma-Aktivität bei Anwendung des Placebo-Chips im Unterschied zur Kontrollbedingung an den Elektroden Fp1, F3, Fz, C3, Cz, C4, T3, T4, T5, P3, Pz, P4, O1 und O2 (je $p < .05$), eine höhere Aktivität beim Placebo-Chip im Unterschied zum AkuRy Duett

Doppelchip an den Elektroden Elektroden Fp1, F3, Fz, C4, T3, T4, T5, P3, Pz, P4, O1 und O2 ($p < .05$). Während der Ruhephase zeigen sich keine statistisch signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Gamma-Aktivität bei einem Vergleich von Kontrollbedingung, Placebo-Chip und AkuRy Duett Doppelchip.

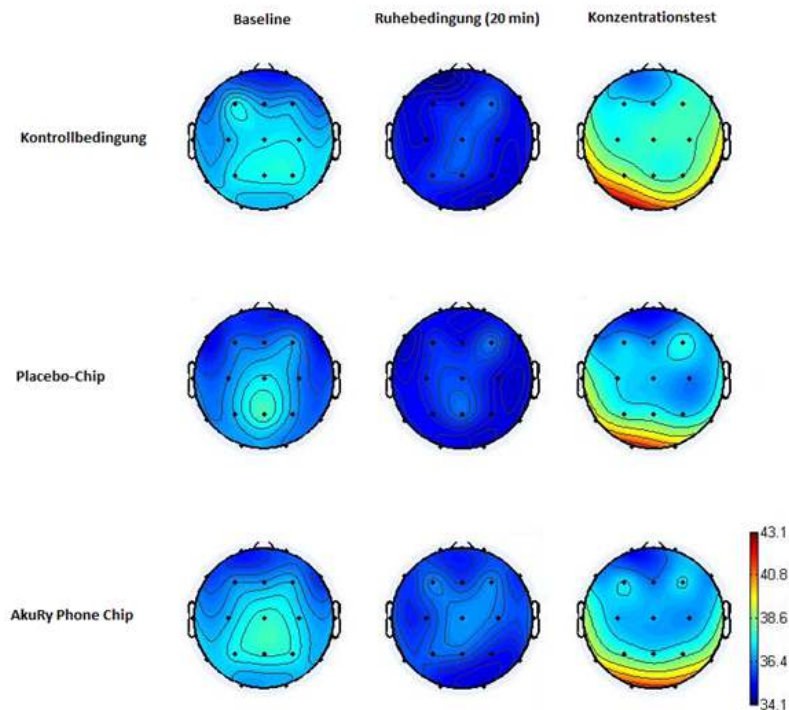


Abbildung 12: EEG Beta-Aktivität (13-30 Hz) in der Kontrollbedingung, für den Placebo-Chip und AkuRy Duett Doppelchip.

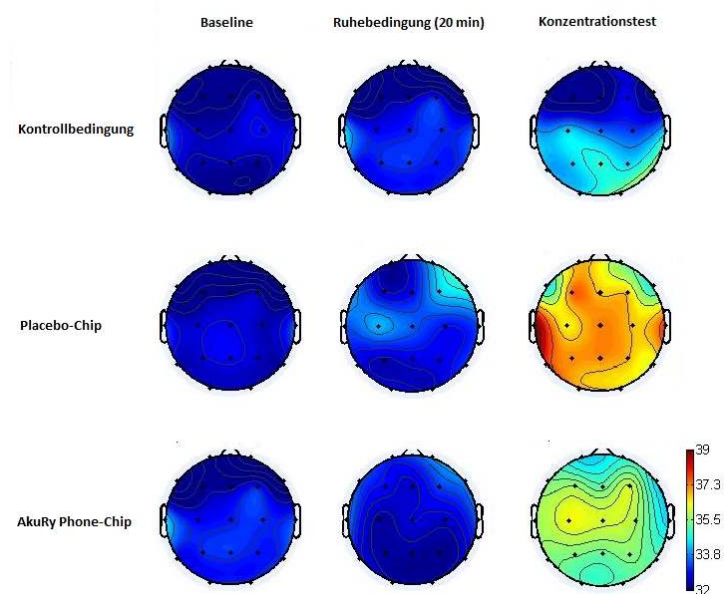


Abbildung 13: EEG Gamma-Aktivität (30-70 Hz) in der Kontrollbedingung, für den Placebo-Chip und AkuRy Duett Doppelchip.

4.2.2 EEG Dipolanalyse

In Abbildungen 14 und 15 sind die Ergebnisse der Dipolanalyse graphisch dargestellt. Die Ergebnisse der Dipolanalyse zeigen, dass bei Strahlungsexposition durch Mobilfunk eine Aktivierung im Limbischen System stattfindet (Abbildung 14). Bei Anwendung des AkuRy Duett Doppelchips findet eine Verlagerung der Aktivierung in die Regionen des Neocortex statt (Abbildung 15).

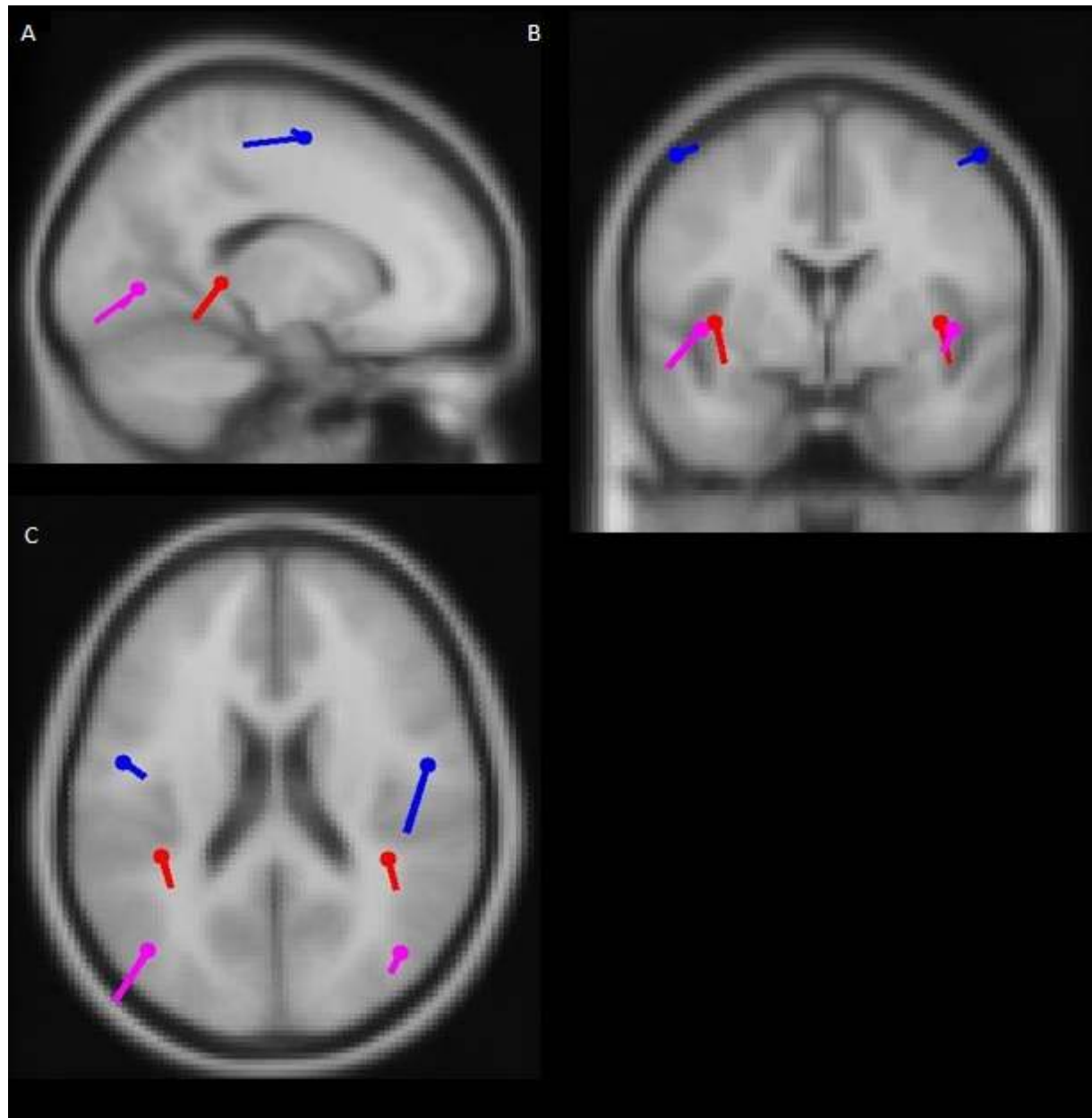


Abbildung 14: Dipolanalyse bei Strahlungsexposition unter Verwendung des Placebo-Chips.
A Sagittalebene. B Frontalebene. C Transversalebene.

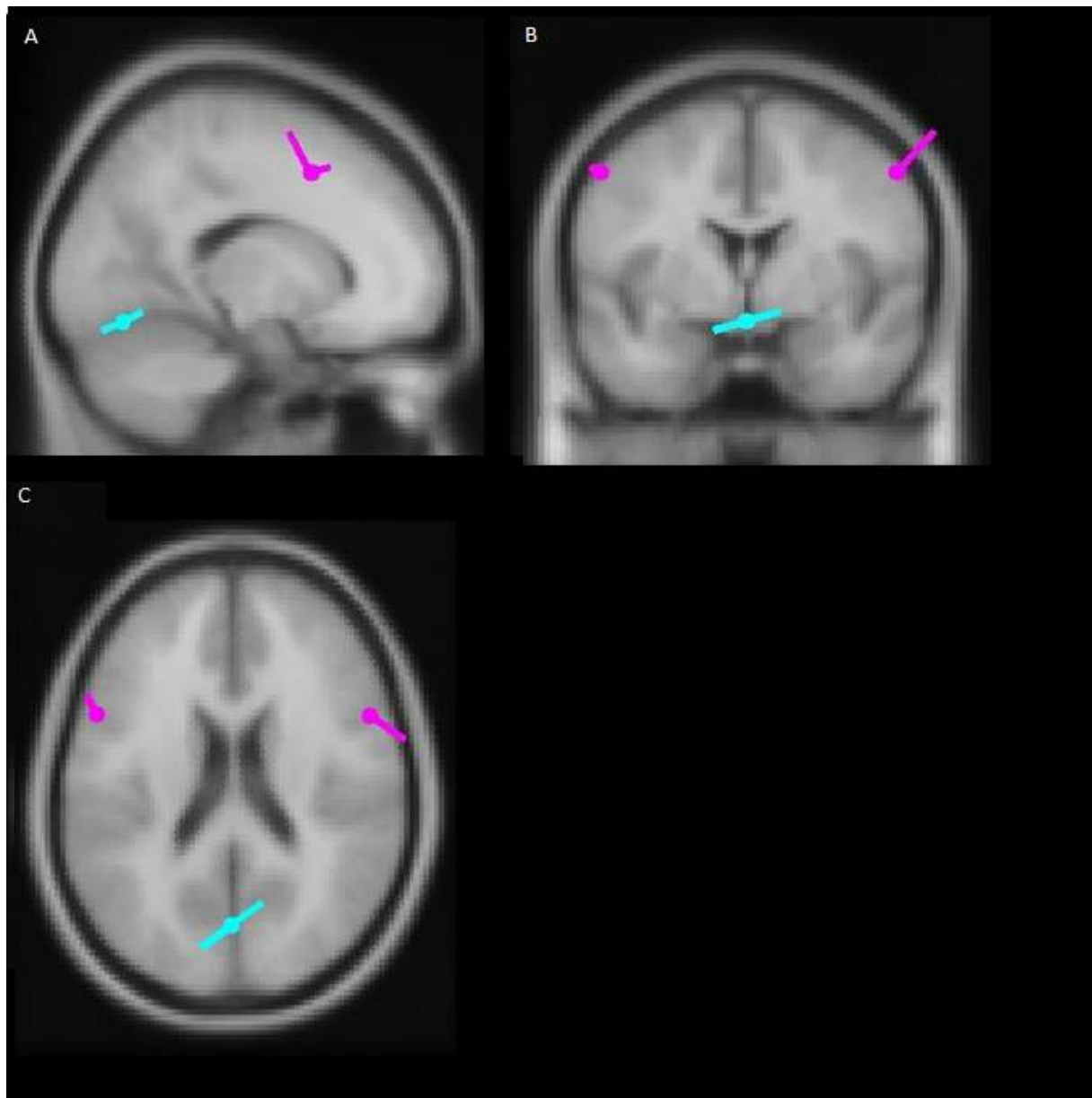


Abbildung 15: Dipolanalyse für die experimentelle Bedingung der Strahlungsexposition unter Anwendung des AkuRy Duett Doppelchips. A Sagittalebene. B Frontalebene. C Transversalebene.

5 Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse

Zusammenfassend werden im Folgenden die zentralen Ergebnisse der vorliegenden Studie dargestellt, wobei auf die Verhaltens- und EEG-Daten eingegangen wird.

5.1 Verhaltensdaten

Die Verhaltensdaten, die bei der Bearbeitung des d2-R-Aufmerksamkeits-Belastungs-Tests zur Erfassung der kurzfristigen Konzentrationsfähigkeit erfasst wurden, belegen während der Handynutzung einen positiven Effekt auf die Gehirnaktivität unter Verwendung des AkuRy Duett Doppelchips. Bei der Testung zur Erfassung der kurzfristigen Konzentrationsfähigkeit wird eine größere Anzahl an bearbeiteten Items mit einer reduzierten Fehlerhäufigkeit im Vergleich zu ausgeschaltetem Handy erzielt.

Die EEG-Daten zeigen mögliche zugrundeliegende neuronale Mechanismen auf, die für die beobachtbare bessere Leistung im Aufmerksamkeitstest und in der Ruhemessung unter Verwendung vom Handy mit verbundenem Chip im Unterschied zum Standardhandy verantwortlich sind. Wird die Gesamtmenge der Ergebnisse zur EEG-Aktivierung betrachtet, so sind eindeutige Trends in Bezug auf die Gehirnaktivierung in den einzelnen Frequenzbändern erkennbar.

5.2 EEG-Aktivität

Hinsichtlich der EEG-Aktivität lässt sich eine Wirkung des AkuRy Duett Doppelchips auf das Theta-, Alpha-, und Gamma-Band feststellen. Im Theta-Band zeigt sich unter Ruhebedingungen eine stärkere Aktivierung unter Anwendung des AkuRy Duett Doppelchips im Unterschied zur Anwendung des Placebo-Chips in den frontalen und parietalen Gehirnarealen. Während des Konzentrationstests ist eine stärkere Theta-Aktivität im zentralen parietalen Areal unter Anwendung des AkuRy Duett Doppelchips im Unterschied zum Placebo-Chip erkennbar. Hinsichtlich der Alpha-Aktivität zeigt sich bei Strahlungsexposition unter Anwendung des Placebo-Chips eine Veränderung in der Alpha-Aktivität, wobei eine Asymmetrie im Unterschied zur Baselinemessung in der Ruhebedingung, eine Reduktion während des Konzentrationstests hinsichtlich der Alpha-Aktivität zu beobachten ist. Durch Anwendung des AkuRy Duett Doppelchips findet eine ausgleichende Wirkung statt, wobei die Alpha-Aktivität in den parietalen Arealen im Unterschied zum Placebo-Chip verstärkt wird. Hinsichtlich der Beta-Aktivität lassen sich keine statistisch bedeutsamen Unterschiede feststellen. Bei Strahlungsbelastung unter Anwendung des Placebo-Chips zeigt sich unter kognitiver Auslastung eine starke Gamma-Aktivität über den gesamten Cortex. Diese ist unter Anwendung des AkuRy Duett Doppelchips reduziert.

Die Ergebnisse der EEG-Aktivierung zeigen, dass durch Strahlungsexposition durch Mobilfunk eine Veränderung in der Gehirnaktivität festzustellen ist. Dies zeigt sich in einer Veränderung der Alpha-Aktivität im Sinne einer Reduktion und Störung der Symmetrie im Ruhezustand sowie einer Reduktion während kognitiver Auslastung im Unterschied zu der Kontrollbedingung ohne Strahlungsexposition. Gleichzeitig ist eine starke Aktivierung in den hochfrequenten Gamma-Bereichen bei Strahlungsexposition unter Verwendung des Placebo-Chips bei kognitiver Auslastung zu beobachten. Die Ergebnisse sprechen dafür, dass bei Strahlungsexposition durch Mobilfunk eine Störung des natürlichen Alpha-Rhythmus stattfindet sowie eine Übersteuerung des psychophysiologischen Wachheitsniveaus bei kognitiven Aufgaben, d.h. das Gehirn stellt ein zu hohes Maß an Aktivität bereit als für die Konzentrationsaufgaben erforderlich ist, was möglicherweise ein psychophysiologischer Erklärungsansatz für die in den Verhaltensdaten beobachtbaren Beeinträchtigungen hinsichtlich der Konzentrationsleistung ist. Für eine Lösung des d2-R-Tests, ist eine Aktivierung im Beta-Bereich ausreichend und wird in EEG-Studien zur Überprüfung der Konzentrationsfähigkeit berichtet (siehe Zschocke & Hansen, 2012). Wird bei längerfristigem konzentriertem Arbeiten eine Gamma-Aktivität anstatt einer erforderlichen Beta-Aktivität erzeugt, so kann dies beträchtliche Effekte auf den metabolischen Haushalt des Gehirns haben und zu einer dauerhaften Veränderung des Neurotransmitterhaushaltes führen, was eine mögliche physiologische Erklärung für von Handynutzern berichtete subjektive Beeinträchtigungen des Befindens wie etwa erhöhte Reizbarkeit, Konzentrationsstörungen und Schlafstörungen sein kann. Wird das Gehirn zu einer dauerhaften Aktivierung im Gammazustand während Arbeitsphasen bei gleichzeitiger Reduktion der Alpha-Aktivität im Ruhezustand und während der Arbeitsphasen angeregt, so ist denkbar, dass in Phasen der Regeneration, d.h. im entspannten Wachzustand ohne kognitive Aktivität, sowie in den Einschlaf- und Schlafphasen ein geringerer Anteil an niederfrequenter Aktivierung am gesamten Frequenzspektrum des EEGs zu einer Reduktion der Qualität der Erholungsphasen führt. Kurzfristig gesehen könnte dagegen eine Aktivierung in den hochfrequenten Bereichen bei Personen mit einem niedrigen psychophysiologischen Aktivierungsniveau positive Wirkungen auf die kognitive Leistungsfähigkeit haben. Es ist denkbar, dass im Sinne eines Neuroenhancements Strahlungseinwirkung durch Mobilfunk, zumindest bei kurzfristiger dosierter Anwendung, einen leistungssteigernden Effekt haben kann. Dies müsste in weiteren Studien systematisch untersucht werden. Bei Betrachtung der Rohdaten lässt sich ein Zusammenhang von Stärke der Strahlungsexposition und Aktivierung von Alpha-Episoden im Rohsignal erkennen (siehe Abbildung 16). Dieser Aktivierungsmechanismus kann als Erklärung für die protektive Wirkung des AkuRy Duett Doppelchips gesehen werden: bei starker Strahlungsexposition durch Mobilfunk erzeugt das Gehirn unter Anwendung des AkuRy Duett Doppelchips einen Puffer in Form von verstärkter Alpha-Aktivität. Die Ergebnisse der Dipolanalyse liefern einen Beleg für diese Hypothese:

bei Strahlungsexposition durch Mobilfunk findet unter anderem eine Aktivierung in der Thalamusregion statt, die als ein Generator für die Alpha-Aktivität gilt. Möglicherweise wird durch diese Aktivierung die Generierung des natürlichen Alpha-Rhythmus kurz- und auch langfristig verändert oder beeinträchtigt.

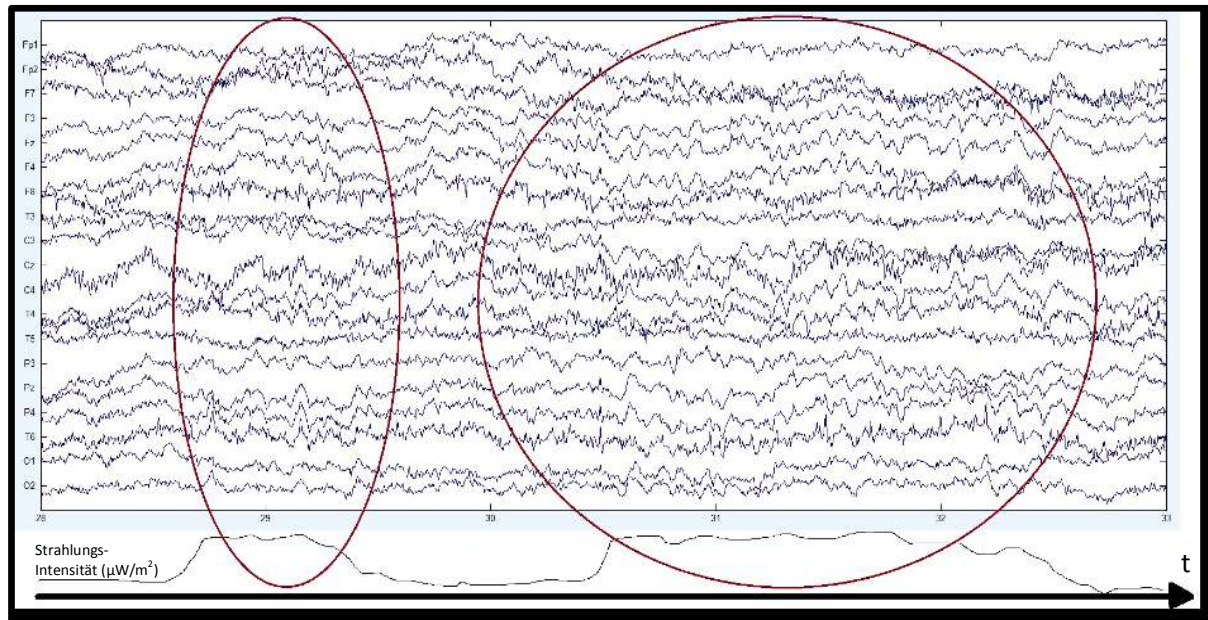


Abbildung 16: Aktivierung von Alpha-Episoden im EEG Rohsignal unter Applikation des AkuRy Duett Doppelchips bei hoher Strahlungsbelastung.

5.3 Fazit

Die im Rahmen der vorliegenden Studie gefundenen Ergebnisse zeigen das Potential des AkuRy Duett Doppelchips und dessen Einsatzes bei Verwendung eines Mobiltelefons auf. Anhand einer beobachtbaren Verbesserung der Konzentrationsleistung in den Verhaltensdaten sowie einem objektiven Beleg für mögliche zugrundeliegende neuronale Prozesse, die zu einer verbesserten Konzentrationsleistung führen, kann festgestellt werden, dass die Verwendung des AkuRy Duett Doppelchips positiven Einfluss auf die kurzfristige Konzentrationsfähigkeit und die korrespondierende Gehirnaktivität hat.

6 Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie wurde untersucht, inwiefern die Applikation des AkuRy Duett Doppelchips an ein Smartphone Einfluss auf die kurzfristige Konzentrationsfähigkeit und die korrespondierende Gehirnaktivität hat. Hierbei wird mit EEG-Messungen auf den Grad des psychophysiologischen Wachheitsniveaus und die Konzentrationsfähigkeit geschlossen. Vorteil dieser Untersuchungsmethodik ist eine Kopplung mit externen Reizen wie etwa dem Ausführen von Konzentrationstests. Diese dienen als Reizung der afferenten Bahnen des zentralnervösen Systems, in der jeweiligen Testbedingung. In der vorliegenden experimentellen Laborstudie wurden unter kontrollierten Bedingungen 30 Probanden in einem Gruppendesign im Alter 22 bis 27 Jahren getestet. Drei Konditionen wurden dabei realisiert: Verwendung eines ausgeschaltetem Handys, Verwendung eines Handys mit Placebo-Chip sowie die Verwendung des Handys mit dem AkuRy Duett Doppelchip. Das Handymodell war ein iPhone 4S. Die Probanden bearbeiteten Tests zur Erfassung der kurzfristigen Konzentrationsfähigkeit (d2-R-Test). Die elektroenzephalographische Spontanaktivität wurde unter Ruhebedingungen vor dem Konzentrationstest sowie während der Bearbeitung der Konzentrationstests aufgezeichnet. Die Verhaltensdaten belegen eine bessere Leistung hinsichtlich der kurzfristigen Konzentrationsfähigkeit zu Gunsten des Handys mit appliziertem AkuRy Duett Doppelchip. Dies zeigt sich in einer größeren Anzahl an richtig bearbeiteten Items bei der Erfassung der kurzzeitigen Konzentrationsfähigkeit im d2-R-Test. Die EEG-Daten liefern Hinweise auf mögliche zugrundeliegende neuronale Mechanismen der beobachtbaren Leistungssteigerung in den Konzentrationstests bei Verwendung des Handys mit appliziertem AkuRy Duett Doppelchip, wobei eine Verstärkung der Theta- und Alpha-Aktivität sowie eine Verringerung der Gamma-Aktivität unter kognitiver Auslastung zu beobachten ist.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Verwendung des Akury Duett Doppelchips bei einem Smartphone positive Auswirkungen auf die Konzentrationsfähigkeit im beobachtbaren Verhalten und auch der zugrundeliegenden Gehirnaktivierung hat. Die im Rahmen der vorliegenden Studie gefundenen Ergebnisse zeigen das Potential der Applikation des Chips während der Verwendung des Smartphones im Alltag auf.

Literatur

- Aftanas, L.I. & Golocheikine, S.A. (2001). Human anterior and frontal midline theta and lower alpha reflect emotionally positive state and internalized attention: High-resolution EEG investigation of meditation. *Neuroscience Letters*, 310, 57–60.
- Ahlert, D. & Kenning, P. (2006). Neuroökonomik. *Zeitschrift für Management*, 1(1), 22–45.
- Becker, N. (2006). *Die neurowissenschaftliche Herausforderung der Pädagogik*. Julius Klinkhardt.
- Birbaumer, N. & Schmidt, R. (2002). *Biologische Psychologie*. 5. Auflage. Springer: Berlin Heidelberg.
- 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.
- Brickenkamp, R. (2004) *Test d2-Revision. Aufmerksamkeits- und Konzentrations-Test*. Göttingen.
- Cooper, R., Osselton, J.W., Schaw, J.C. & Rappelsberger P. (1987). *Elektroenzephalographie*. 2. Auflage. Gustav Fischer Verlag.
- Crabbe, J.B. & Dishman, R.K. (2004). Brain electrocortical activity during and after exercise: A quantitative synthesis. *Psychophysiology*, 41(4), 563–574.
- 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.
- Delorme A., & Makeig S. (2004). EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, 134, 9–21.
- Doppelmayr, M., & Amesberger, G. (2012). Zur Anwendung der Elektroenzephalographie in der Sportpsychologie: Ein Überblick. *Zeitschrift Für Sportpsychologie*, 19(2), 70–79.
- Engel, A.K., & Fries, P. (2010). Beta-band oscillations – signaling the status quo? *Current Opinion in Neurobiology*, 20, 156–165.
- Henningsen, P. (2006). *Neuro-Psychosomatik: Grundlagen und Klinik neurologischer Psychosomatik; 34 Tabellen*. Schattauer Verlag.
- 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.
- Hommes, G. & Pröbstle, C. (2012). *Reader's Digest Lexikon Medizin und Gesundheit: Kon-Lym: [Kondition ... Lymphsystem]*. Reader's Digest, Deutschland, Schweiz, Österreich.
- 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.

- Kirschbaum, C. (2008). *Biopsychologie von A Bis Z*. Springer DE.
- Klimesch, W., Sauseng, P. & Hanslmayr, S. (2007). EEG alpha oscillations: The inhibition-timing hypothesis. *Brain Research Reviews*, 53(1), 63–88.
- Kugler, J. (1981). *Elektroencephalographie in Klinik und Praxis: eine Einführung*. Stuttgart; New York: Thieme.
- 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.
- Lüdemann, C. & Lüdemann, H. (2007). *Leistungstests souverän meistern*. Redline Wirtschaft.
- Müsseler, J. & Prinz, W. (2002). *Allgemeine Psychologie*. Spektrum Akademischer Verlag sowie E. A. Styles (1997). *The Psychology of Attention*. Hove, UK: Psychology Press.
- Niebeling, H.G. (1980). *Einführung in die Elektroenzephalographie*. Berlin, New York: Springer-Verlag.
- 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.
- Razumnikova, O.M. (2007). Creativity related cortex activity in the remotes associates task. *Brain Research Bulletin*, 73(3), 96–102.
- 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.
- Roth, M. (2003). *Aktuelle Entwicklungen in der Psychotraumatologie: Theorie - Krankheitsbilder - Therapie*. Gießen: Psychosozial-Verlag.
- Scharfetter, C. (2010). *Allgemeine Psychopathologie: Eine Einführung*. Georg Thieme Verlag. 133. 62
- Semendeferi K., Armstrong E., Schleicher A., Zilles K. & van Hoesen G.W. (2001). Prefrontal Cortex in Humans and Apes: A Comparative Study of Area 10. *American Journal of physical anthropology*, 114, 224–241.
- 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.
- Westhoff, K. & Hagemeister, C. (2005). *Konzentrationsdiagnostik*. Lengerich: Pabst Science Publishers.
- Zimmer, R. (2004). *Handbuch der Sinneswahrnehmung, Grundlagen einer ganzheitlichen Bildung und Erziehung*. Herder.
- Zschocke, S. & Hansen, H.-C. (2012). *Klinische Elektroenzephalographie*. Heidelberg, New York: Springer.