



Mobilfunkstudie

EEG-Messungen

iPhone 8

Apple iPhone 8 / IMEI-Serien Nr.: 358712090517531

Gabriel-Technologie

Gabriel-Chip GDM60190170

## 1. Forschungsmethodik

In den vorliegenden Messungen wurden acht neurologisch gesunde Probanden getestet. Die Testung mittels Elektroenzephalogramm (EEG) fand im Liegen über einen Zeitraum von 30 Minuten pro experimenteller Bedingung statt. Das Smartphone wurde in jeder Testbedingung im Abstand von 1.0 cm vom rechten Ohr über eine Halterung angebracht. Nach einer Basismessung (10 Minuten) ohne Mobilfunkexposition wurden die Probanden auf einer Matte im Liegen positioniert und das Smartphone iPhone 8 (Hersteller: Apple, Cupertino, CA, USA) für 30 Minuten eingeschaltet. In einer zweiten Testbedingung wurden die Probanden im Liegen positioniert und der Gabriel-Tech Chip (Hersteller: Gabriel-Tech GmbH, Kelkheim, Deutschland) auf dem iPhone 8 angebracht und das Smartphone für 30 Minuten getestet. Die Testbedingungen wurden über alle Probanden im Doppelblinddesign in randomisierter Reihenfolge durchgeführt, um Reihenfolgeeffekte zu vermeiden. Die elektrische Gehirnaktivität wurde mittels eines mobilen high-density EEG (ANT neuro) von 128 Elektroden, die nach dem internationalen 10/5-System an der Kopfoberfläche angebracht waren, mit einer Ausleserate von 512 Hz aufgezeichnet. Die elektrookulographischen (vertikale und horizontale Augenbewegungen) und elektromyographischen (muskuläre Potentiale) Daten wurden als Kontrollvariablen von jeweils zwei Elektroden mit einer Ausleserate von 512 Hz aufgezeichnet. Die EEG-Daten wurden nach Bereinigung von elektrookulographischen und elektromyographischen Artefakten einer Fast-FourierTransformation und im Anschluss einer frequenzspezifischen Analyse für die Frequenzbänder Theta (3,5-7,5 Hz), Alpha (7,5-12,5 Hz), Beta (13,0-30,0 Hz) und Gamma (31,0-100,0 Hz) unterzogen. Die einzelnen Frequenzbänder zeigen unterschiedliche psychophysiologische Wachheits- und Aktivierungszustände (Entspannung/Müdigkeit/Stress etc.) des Gehirns an. In einem weiteren Schritt wurde eine Lokalisierung der EEG-Aktivierungsquellen vorgenommen, mittels derer Aussagen über die Herkunft des an der Kopfoberfläche gemessenen EEG-Signals getroffen werden können. Die Probanden wurden hinsichtlich ihres subjektiven Befindens auf den Dimensionen Kopfschmerzen, Missempfindungen (Bereiche Kopfoberfläche, Gesicht, Oberkörper, Arme), Müdigkeit, Energie, Vitalität, Wohlbefinden, Stress und Gereiztheit in jeder Testbedingung befragt. Die Einschätzung erfolgte jeweils auf einer zehnstufigen Skala mit einem Wertebereich von 0 bis 9 (0 = nicht ausgeprägt; 9 = sehr stark ausgeprägt).

Die Daten des EEGs wurden inferenzstatistischen Verfahren (Varianzanalysen mit Messwiederholung, post-hoc Tests mit Bonferroni-Korrektur) jeweils getrennt nach Gehirnarealen (limbisches System, frontaler, zentraler, temporaler, parietaler und okzipitaler Cortex) für die Frequenzbänder Theta, Alpha, Beta und Gamma unterzogen; ebenso die Daten des subjektiven Befindens für die Dimensionen Kopfschmerzen, Missempfindungen (Bereiche: Kopfoberfläche, Gesicht, Oberkörper, Arme), Müdigkeit, Vitalität, Energie, Wohlbefinden, Stress und Gereiztheit. Das statistische Signifikanzniveau wurde für alle Tests auf  $p < 0,05$  festgelegt.



*Abbildung 1.* Illustration des experimentellen Aufbaus.

## 2. Ergebnisse

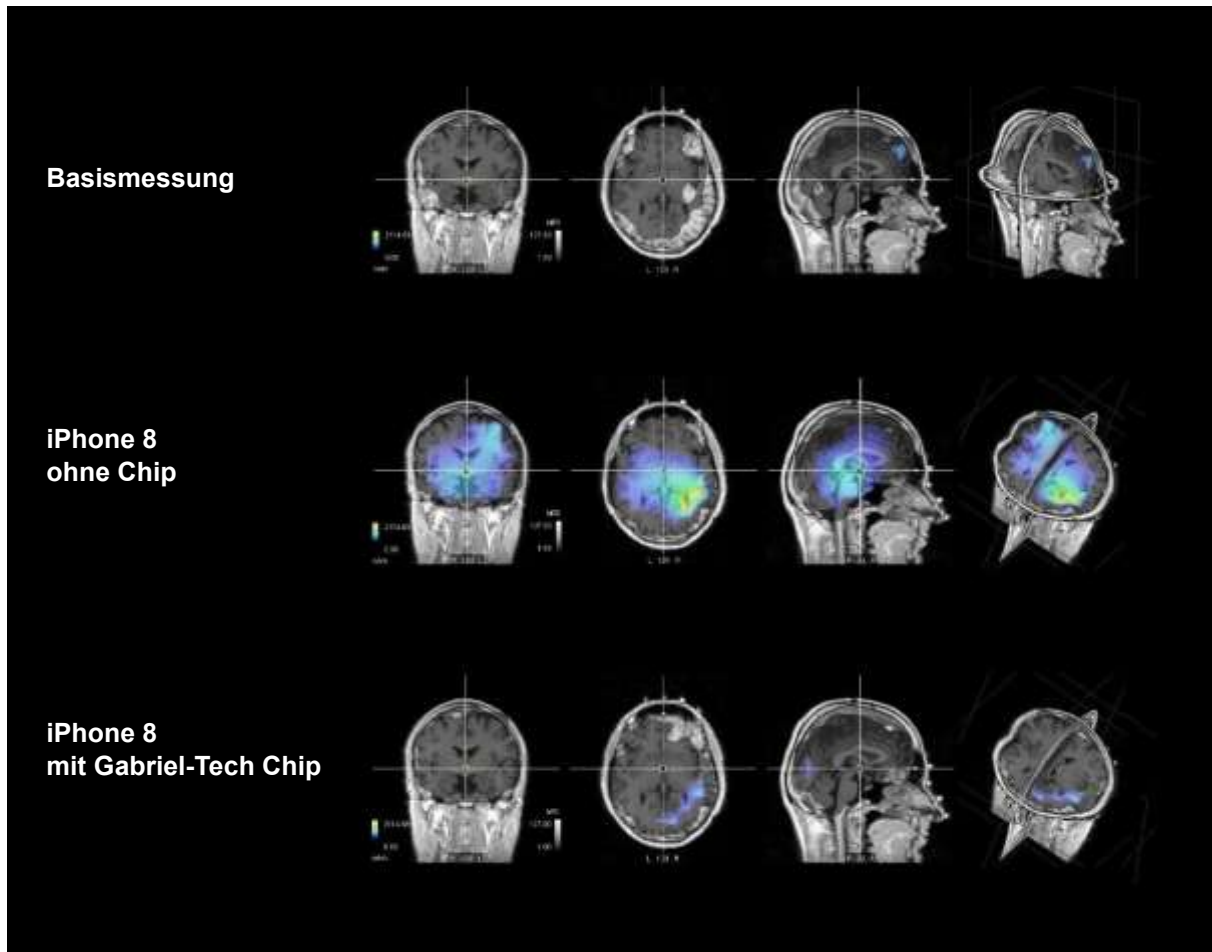
Die Ergebnisse der EEG-Messungen und subjektiven Befindlichkeit sind in Abb. 2 sowie Tabellen 1-7 dargestellt. Die Ergebnisse der EEG-Quellenaktivierungen im Gehirn zeigen während des Mobiltelefonats starke Aktivierungen im Frequenzspektrum Beta und Gamma auch in den tieferliegenden Schichten des Gehirns (v.a. limbisches System). Diese Aktivierungen setzen nach ein- bis zweiminütiger Mobilfunkexposition ein. Bei Anwendung des Gabriel-Tech Chips gehen die Aktivierungen, die durch die Mobilfunkexposition entstehen, nach drei bis vier Minuten signifikant zurück. In den tieferliegenden Schichten des Gehirns (limbisches System) sind bei Anwendung des Gabriel-Tech Chips keine Aktivierungen durch die Mobilfunkexposition mehr zu beobachten (siehe Abb. 2 und Tab. 1-4). Die Ergebnisse der subjektiven Befindlichkeit spiegeln die neurophysiologischen Befunde. Die Probanden berichteten in der Testbedingung ohne Chip eine Zunahme der Kopfschmerzen (Mittelwert 3,9) sowie Missempfindungen an der Kopfoberfläche (Mittelwert 3,9), im Gesicht (Mittelwert 3,8), am Oberkörper (Mittelwert 3,4) und an den Armen (Mittelwert 2,5); ebenfalls eine Zunahme der Müdigkeit (Mittelwert 3,8), des Stressempfindens (Mittelwert 4,2) und der Gereiztheit (Mittelwert 3,7) sowie eine Reduktion der Vitalität (Mittelwert 4,8), der Energie (Mittelwert 7,1) und des Wohlbefindens (Mittelwert 6,3). Bei Anwendung des Gabriel-Tech Chips wurden diese Beeinträchtigungen der subjektiven Befindlichkeit signifikant reduziert und befanden sich auf vergleichbarem Niveau wie in der Basismessung (siehe Tab. 5-7).

Die Ergebnisse der inferenzstatistischen Testung zeigen signifikante Effekte der Anwendung des Gabriel-Tech Chips für das limbische System [ $F(2, 22) = 5,93$ ;  $p = 0,01$ ], sowie für den zentralen [ $F(2, 22) = 3,62$ ;  $p = 0,04$ ], parietalen [ $F(2, 22) = 4,57$ ;  $p = 0,03$ ], temporalen [ $F(2, 22) = 6,18$ ;  $p = 0,01$ ] und okzipitalen Cortex [ $F(2, 22) = 4,87$ ;  $p = 0,03$ ] auf.

Die Ergebnisse der Testung des subjektiven Befindens zeigen signifikante Effekte der Anwendung des Gabriel-Tech Chips bei Mobilfunkexposition durch das iPhone 8 für die Dimensionen Kopfschmerzen [ $F(2, 22) = 4,25$ ;  $p = 0,03$ ] sowie Missempfindungen im Bereich der Kopfoberfläche [ $F(2, 22) = 4,32$ ;  $p = 0,03$ ], Gesicht [ $F(2, 22) = 3,52$ ;  $p = 0,04$ ], Oberkörper [ $F(2, 22) = 3,79$ ;  $p = 0,04$ ] und Arme [ $F(2, 22) = 3,53$ ;  $p = 0,04$ ], Müdigkeit [ $F(2, 22) = 4,61$ ;  $p = 0,03$ ], Vitalität [ $F(2, 22) = 4,54$ ;  $p = 0,03$ ], Energie [ $F(2, 22) = 4,76$ ;  $p = 0,03$ ], Wohlbefinden [ $F(2, 22) = 5,64$ ;  $p = 0,02$ ], Stress [ $F(2, 22) = 3,74$ ;  $p = 0,04$ ] und Gereiztheit [ $F(2, 22) = 3,48$ ;  $p = 0,04$ ] an. Bei Anwendung des Gabriel-Tech Chips befinden sich die Parameter der subjektiven Befragung auf vergleichbarem Niveau wie in der Kontrollbedingung ohne EMF-Exposition.

Die Ergebnisse der vorliegenden EEG-Messungen und des subjektiven Befindens indizieren eine positive Wirkung der Anwendung des Gabriel-Tech Chips, der die Beta- und Gamma-Aktivierungen im Gehirn, die durch Mobilfunkexposition mittels des Apple iPhone 8 am Schlafplatz entstehen, signifikant reduziert. Durch die Anwendung des Gabriel-Tech Chips werden ebenfalls die subjektiv berichteten Beschwerden

Kopfschmerzen und Missempfindungen an der Kopfoberfläche, im Gesicht, am Oberkörper und an den Armen, sowie Müdigkeit, Stress und Gereiztheit reduziert. Bei Anwendung des Gabriel-Tech Chips auf dem iPhone 8 bleiben die Scores für Vitalität, Energie und Wohlbefinden auf vergleichbarem Niveau wie in der Basismessung ohne EMF-Exposition.



*Abbildung 2.* Gemittelte EEG-Quellenaktivierungen im Beta- und Gamma-Band bei Mobilfunkexposition mit dem iPhone 8 ohne (mittlere Zeile) und bei Anwendung des Gabriel-Tech Chips während der Mobilfunkexposition (untere Zeile). Rot = sehr starke Aktivierung, blau = sehr geringe Aktivierung. Die Ergebnisse zeigen starke Aktivierungen bei Mobilfunkexposition ohne Chip, v.a. in den tieferliegenden Gehirnregionen (limbisches System). Bei Anwendung des Gabriel-Tech Chips werden diese durch Mobilfunkexposition ausgelösten Aktivierungen signifikant reduziert. Aktivierungen im limbischen System treten bei den Probanden nicht mehr auf.

EEG Gamma- Aktivität	Limbisches System	Frontal	Zentral	Temporal	Parietal	Okzipital
Basismessung	0,78	3,54	3,94	2,88	3,86	3,85
iPhone 8 ohne Chip	10,28*	7,15	18,36*	24,37**	20,23**	22,10**
iPhone 8 mit Gabriel-Tech Chip	0,63	2,78	4,58	3,30	4,64	4,87

\* statistisches Signifikanzniveau  $p < .05$  im Vergleich von Testbedingung iPhone 8 ohne Chip gegenüber der Basismessung sowie der Testbedingung iPhone 8 mit Gabriel-Tech Chip

\*\* statistisches Signifikanzniveau  $p < .01$  im Vergleich von Testbedingung iPhone 8 ohne Chip gegenüber der Basismessung sowie der Testbedingung iPhone 8 mit Gabriel-Tech Chip

**Tabelle 1.** Mittlere Leistungsdichten in  $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$  der EEG-Aktivierungen im Gamma-Band (31-100 Hz) durch Mobilfunkexposition für die Testbedingungen iPhone 8 ohne und iPhone 8 bei Anwendung des Gabriel-Tech Chips sowie für die Kontrollbedingung (Basismessung ohne EMF-Exposition). Die Ergebnisse zeigen einen signifikanten Anstieg der Aktivierungen im Gamma-Band in den limbischen, zentralen, temporalen, parietalen und okzipitalen Gehirnarealen bei Anwendung des iPhone 8. Wird der Gabriel-Tech Chip angewendet, sind die Gamma-Aktivierungen in den limbischen, zentralen, temporalen, parietalen und okzipitalen Gehirnarealen gegenüber der Testbedingung iPhone 8 ohne Chip signifikant reduziert.

EEG Beta-Aktivität	Limbisches System	Frontal	Zentral	Temporal	Parietal	Okzipital
Basismessung	4,75	14,38	10,64	8,58	8,92	9,48
iPhone 8 ohne Chip	14,26*	25,58*	22,06*	29,38**	26,23**	23,29**
iPhone 8 mit Gabriel-Tech Chip	5,92	13,11	10,35	10,69	9,80	11,26

\* statistisches Signifikanzniveau  $p < .05$  im Vergleich von Testbedingung iPhone 8 ohne Chip gegenüber der Basismessung sowie der Testbedingung iPhone 8 mit Gabriel-Tech Chip

\*\* statistisches Signifikanzniveau  $p < .01$  im Vergleich von Testbedingung iPhone 8 ohne Chip gegenüber der Basismessung sowie der Testbedingung iPhone 8 mit Gabriel-Tech Chip

**Tabelle 2.** Mittlere Leistungsdichten in  $\mu V^2/Hz$  der EEG-Aktivierungen im Beta-Band (13-30 Hz) durch Mobilfunkexposition für die Testbedingungen iPhone 8 ohne und iPhone 8 bei Anwendung des Gabriel-Tech Chips sowie für die Kontrollbedingung (Basismessung ohne EMF-Exposition). Die Ergebnisse zeigen starke Aktivierungen im Beta-Band in allen getesteten Gehirnarealen bei Anwendung des iPhone 8. Wird der Gabriel-Tech Chip angewendet, sind die Beta-Aktivierungen in allen getesteten Gehirnarealen auf vergleichbarem Niveau mit der Basismessung.

EEG Alpha-Aktivität	Limbisches System	Frontal	Zentral	Temporal	Parietal	Okzipital
Basismessung	10,03	7,64	9,27	8,40	10,38	16,26
iPhone 8 ohne Chip	4,62*	5,86	2,74*	2,34**	5,02*	5,48*
iPhone 8 mit Gabriel-Tech Chip	11,54	8,90	10,25	9,73	11,65	14,33

\* statistisches Signifikanzniveau  $p < .05$  im Vergleich von Testbedingung iPhone 8 ohne Chip gegenüber der Basismessung sowie der Testbedingung iPhone 8 mit Gabriel-Tech Chip

\*\* statistisches Signifikanzniveau  $p < .01$  im Vergleich von Testbedingung iPhone 8 ohne Chip gegenüber der Basismessung sowie der Testbedingung iPhone 8 mit Gabriel-Tech Chip

**Tabelle 3.** Mittlere Leistungsdichten in  $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$  der EEG-Aktivierungen im Alpha-Band (8-13 Hz) durch Mobilfunkexposition für die Testbedingungen iPhone 8 ohne und iPhone 8 bei Anwendung des Gabriel-Tech Chips sowie für die Kontrollbedingung (Basismessung ohne EMF-Exposition). Die Ergebnisse zeigen eine signifikante Reduktion der Aktivität im Alpha-Band in den limbischen, zentralen, temporalen, parietalen und okzipitalen Gehirnarealen bei Anwendung des iPhone 8. Wird der Gabriel-Tech Chip angewendet, werden die Alpha-Aktivierungen in allen getesteten Gehirnarealen auf vergleichbarem Niveau mit der Basismessung aufrechterhalten.



EEG Theta-Aktivität	Limbisches System	Frontal	Zentral	Temporal	Parietal	Okzipital
Basismessung	5,94	6,25	8,35	5,37	6,44	8,43
iPhone 8 ohne Chip	1,93**	4,38	2,14*	0,73**	2,58*	2,30*
iPhone 8 mit Gabriel-Tech Chip	5,24	6,03	7,53	7,66	5,27	7,34

\* statistisches Signifikanzniveau  $p < .05$  im Vergleich von Testbedingung iPhone 8 ohne Chip gegenüber der Basismessung sowie der Testbedingung iPhone 8 mit Gabriel-Tech Chip

\*\* statistisches Signifikanzniveau  $p < .01$  im Vergleich von Testbedingung iPhone 8 ohne Chip gegenüber der Basismessung sowie der Testbedingung iPhone 8 mit Gabriel-Tech Chip

**Tabelle 4.** Mittlere Leistungsdichten in  $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$  der EEG-Aktivierungen im Theta-Band (4-7,5 Hz) durch Mobilfunkexposition für die Testbedingungen iPhone 8 ohne und iPhone 8 bei Anwendung des Gabriel-Tech Chips sowie für die Kontrollbedingung (Basismessung ohne EMF-Exposition). Die Ergebnisse zeigen eine signifikante Reduktion der Aktivierungen im Theta-Band in allen getesteten Gehirnarealen bei Anwendung des iPhone 8. Wird der Gabriel-Tech Chip angewendet, werden die Theta-Aktivierungen in allen getesteten Gehirnarealen auf dem Niveau der Basismessung aufrechterhalten.

	Mittlerer Score Kopfschmerzen
Basismessung	
M	<b>0,0</b>
S	0,0
iPhone 8 ohne Chip	
M	<b>3,9<sup>a,b</sup></b>
S	0,7
iPhone 8 mit Gabriel-Tech Chip	
M	<b>0,0</b>
S	0,0

<sup>a</sup> statistisches Signifikanzniveau  $p < .05$  im Vergleich von Testbedingung iPhone 8 ohne Chip gegenüber der Basismessung

<sup>b</sup> statistisches Signifikanzniveau  $p < .05$  im Vergleich von Testbedingung iPhone 8 ohne Chip gegenüber der Testbedingung iPhone 8 mit Gabriel-Tech Chip

M: Mittelwert S: Standardabweichung

**Table 5.** Mittlere Scores berichteter Kopfschmerzen durch Mobilfunkexposition für die Testbedingungen iPhone 8 ohne und iPhone 8 bei Anwendung des Gabriel-Tech Chips sowie für die Kontrollbedingung (Basismessung ohne EMF-Exposition). Die Scores wurden von den Versuchspersonen auf einer Skala von 0 (keine Kopfschmerzen) bis 9 (unerträgliche Kopfschmerzen) während jeder Versuchsbedingung berichtet. Die Ergebnisse zeigen einen signifikanten Anstieg subjektiv berichteter Kopfschmerzen bei Anwendung des iPhone 8 ohne Chip. Wird der Gabriel-Tech Chip angewendet, ist der Score der subjektiv berichteten Kopfschmerzen gleichbleibend, vergleichbar der Kontrollbedingung ohne EMF-Exposition.

	Kopfoberfläche	Gesicht	Oberkörper	Arme
Basismessung				
M	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
S	0,0	0,0	0,0	0,0
iPhone 8 ohne Chip				
M	<b>3,9<sup>a,b</sup></b>	<b>3,8<sup>a,b</sup></b>	<b>3,4<sup>a,b</sup></b>	<b>2,5<sup>a,b</sup></b>
S	0,6	0,8	0,5	0,4
iPhone 8 mit Gabriel-Tech Chip				
M	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>
S	0,2	0,2	0,0	0,0

<sup>a</sup> statistisches Signifikanzniveau  $p < .05$  im Vergleich von Testbedingung iPhone 8 ohne Chip gegenüber der Basismessung

<sup>b</sup> statistisches Signifikanzniveau  $p < .05$  im Vergleich von Testbedingung iPhone 8 ohne Chip gegenüber der Testbedingung iPhone 8 mit Gabriel-Tech Chip

M: Mittelwert S: Standardabweichung

**Tabelle 6.** Mittlere Scores berichteter Missempfindungen (Wärmegefühl, Muskelverspannung-/Muskelschmerzen, Taubheitsgefühl, Kribbeln) an der Kopfoberfläche, im Gesicht, am Oberkörper und an den Armen durch Mobilfunkexposition für die Testbedingungen iPhone 8 ohne Chip und iPhone 8 bei Anwendung des Gabriel-Tech Chips sowie für die Kontrollbedingung (Basismessung ohne EMF-Exposition). Die Scores wurden von den Versuchspersonen auf einer Skala von 0 (keine Veränderung des Empfindens) bis 9 (sehr starke Veränderung des Empfindens) während jeder Versuchsbedingung berichtet. Die Ergebnisse zeigen einen signifikanten Anstieg subjektiv berichteter Missempfindungen bei Anwendung des iPhone 8 ohne Chip an. Wird der Gabriel-Tech Chip angewendet, bleibt der Score der subjektiv berichteten Missempfindungen auf vergleichbarem Niveau mit der Kontrollbedingung ohne EMF-Exposition.

	Müdigkeit	Vitalität	Energie	Wohl- befinden	Stress	Gereiztheit
Basismessung						
M	<b>0,3</b>	<b>7,5</b>	<b>9,0</b>	<b>9,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
S	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
iPhone 8 ohne Chip						
M	<b>3,8<sup>a,b</sup></b>	<b>4,8<sup>a,b</sup></b>	<b>7,1<sup>a,b</sup></b>	<b>6,3<sup>a,b</sup></b>	<b>4,2<sup>a,b</sup></b>	<b>3,7<sup>a,b</sup></b>
S	1,3	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5
iPhone 8 mit Gabriel-Tech Chip						
M	<b>0,2</b>	<b>9,0</b>	<b>9,0</b>	<b>9,0</b>	<b>0,2</b>	<b>0,0</b>
S	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0

<sup>a</sup> statistisches Signifikanzniveau  $p < .05$  im Vergleich von Testbedingung iPhone 8 ohne Chip gegenüber der Basismessung

<sup>b</sup> statistisches Signifikanzniveau  $p < .05$  im Vergleich von Testbedingung iPhone 8 ohne Chip gegenüber der Testbedingung iPhone 8 mit Gabriel-Tech Chip

M: Mittelwert S: Standardabweichung

**Tabelle 7.** Mittlere Scores berichteter Befindlichkeit (Müdigkeit, Vitalität, Energie, Wohlbefinden, Stress, Gereiztheit) durch Mobilfunkexposition für die Testbedingungen iPhone 8 ohne und iPhone 8 bei Anwendung des Gabriel-Tech Chips sowie für die Kontrollbedingung (Basismessung ohne EMF-Exposition). Die Scores wurden von den Versuchspersonen auf einer Skala von 0 (keine Veränderung des Empfindens) bis 9 (sehr starke Veränderung des Empfindens) während jeder Versuchsbedingung berichtet. Die Ergebnisse zeigen eine signifikante Zunahme der Müdigkeit, des Stressempfindens und der Gereiztheit mit einer Reduktion der Vitalität, Energie und des Wohlbefindens bei Anwendung des iPhone 8 ohne Chip gegenüber den Testbedingungen iPhone 8 mit Gabriel-Tech Chip und der Basismessung ohne EMF-Exposition an. Wird der Gabriel-Tech Chip angewendet, bleiben die Scores Müdigkeit, Vitalität, Energie, Wohlbefinden, Stress und Gereiztheit auf vergleichbarem Niveau mit der Kontrollbedingung ohne EMF-Exposition.