



Mobilfunkstudie

EEG-Studie

iPhone 5SE

Apple iPhone 5SE / IMEI-Serien Nr.: 35384808933108

Gabriel-Technologie

Gabriel-Chip GDM60SI70

1. Forschungsmethodik

In den vorliegenden Messungen wurden sechs neurologisch gesunde Probanden (Durchschnittsalter 42 Jahre) getestet. Die Testung mittels Elektroenzephalogramm (EEG) fand im Sitzen über einen Zeitraum von 15 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 wurde das Smartphone iPhone SE (Hersteller: Apple, Cupertino, CA, USA) für 15 Minuten eingeschaltet. In einer zweiten Testbedingung wurde der Gabriel-Chip (Hersteller: Gabriel-Tech GmbH, Kelkheim, Deutschland) auf dem iPhone SE angebracht und das Smartphone für 15 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-Fourier-Transformation 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, Vitalität, Energie, Wohlbefinden, Stressempfinden 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, Stressempfinden und Gereiztheit. Das statistische Signifikanzniveau wurde bei allen Tests auf $p < 0,05$ festgelegt.

1. Ergebnisse

Die Ergebnisse der EEG-Messungen und subjektiven Befindlichkeit sind in Abb. 1 sowie Tabellen 1-7 dargestellt. Die Ergebnisse der EEG-Quellenaktivierungen im Gehirn zeigen während des Mobiltelefonats Aktivierungen im Frequenzspektrum Beta und Gamma, auch in den tieferliegenden Schichten des Gehirns (v.a. limbisches System). Diese Aktivierungen setzen nach drei- bis vierminütiger Mobilfunkexposition ein. Bei Anwendung des Gabriel-Chips gehen die Aktivierungen, die durch die Mobilfunkexposition entstehen, nach zwei bis drei Minuten signifikant zurück. In den tieferliegenden Schichten des Gehirns (limbisches System) sind bei Anwendung des Gabriel-Chips keine erhöhten Aktivierungen durch die Mobilfunkexposition mehr zu beobachten (siehe Abb. 1 und Tab. 1-4). Die Ergebnisse der subjektiven Befindlichkeit spiegeln die neurophysiologischen Befunde. Die Probanden berichteten in der Testbedingung ohne Chip eine signifikante Zunahme der Kopfschmerzen (Mittelwert 3,8) sowie Missempfindungen an der Kopfoberfläche (Mittelwert 3,5), im Gesicht (Mittelwert 3,3), am Oberkörper (Mittelwert 3,1) und an den Armen (Mittelwert 2,4); ebenso eine Zunahme der Müdigkeit (Mittelwert 6,2), des Stressempfindens (Mittelwert 6,4), der Gereiztheit (Mittelwert 5,9) und einer Abnahme der Vitalität (Mittelwert 2,5), der Energie (Mittelwert 2,4) und des Wohlbefindens (Mittelwert 1,7). 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-Chips für das limbische System [$F(2, 15) = 5,27$, $p = 0,02$], sowie für den zentralen [$F(2, 15) = 4,52$, $p = 0,03$], parietalen [$F(2, 15) = 4,08$, $p = 0,03$], temporalen [$F(2, 15) = 5,98$, $p = 0,01$] und okzipitalen Cortex [$F(2, 15) = 4,64$, $p = 0,03$] auf.

Die Ergebnisse der Testung des subjektiven Befindens zeigen signifikante Effekte der Anwendung des Gabriel-Chips bei Mobilfunkexposition durch das iPhone SE für die Dimensionen Kopfschmerzen [$F(2, 15) = 4,31$, $p = 0,03$] sowie Missempfindungen im Bereich der Kopfoberfläche [$F(2, 15) = 4,72$, $p = 0,03$], Gesicht [$F(2, 15) = 3,82$, $p = 0,04$], Oberkörper [$F(2, 15) = 3,95$, $p = 0,04$] und Arme [$F(2, 15) = 3,86$, $p = 0,04$] an; ebenso für die Dimensionen Müdigkeit [$F(2, 15) = 4,53$, $p = 0,03$], Vitalität [$F(2, 15) = 3,76$, $p = 0,04$], Energie [$F(2, 15) = 3,73$, $p = 0,04$], Wohlbefinden [$F(2, 15) = 4,29$, $p = 0,03$], Stressempfinden [$F(2, 15) = 3,85$, $p = 0,04$] und Gereiztheit [$F(2, 15) = 3,60$, $p = 0,04$]. Bei Anwendung des Gabriel-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-Chips, die die Beta- und Gamma-Aktivierungen im Gehirn, die durch Mobilfunkexposition mittels des Apple iPhone SE entstehen, deutlich 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, Müdigkeit, Stressempfinden und Gereiztheit reduziert. Durch die Anwendung

des Gabriel-Tech Chips bleiben die Parameter Vitalität, Energie und Wohlbefinden auf vergleichbarem Niveau mit der Kontrollmessung ohne EMF-Exposition.

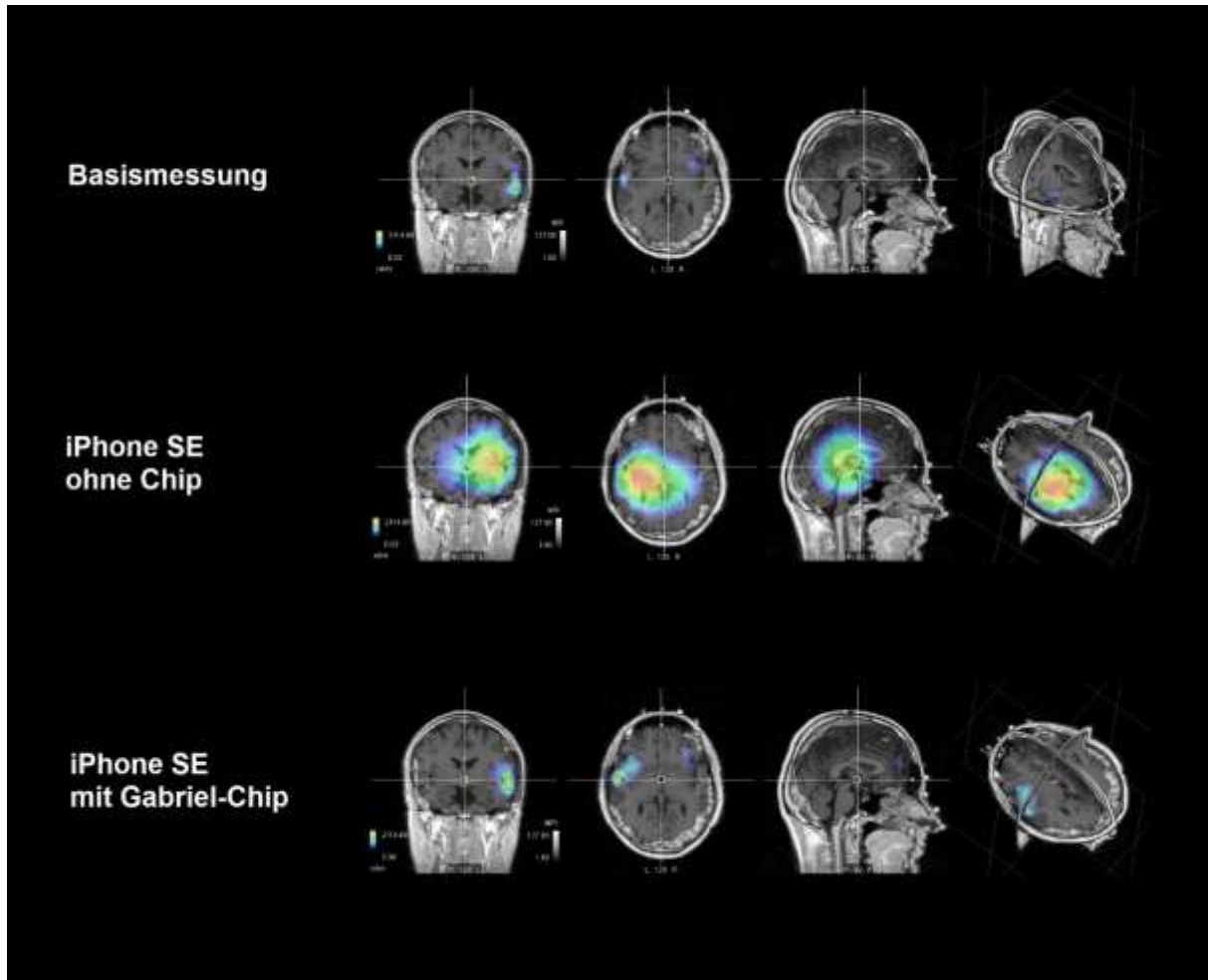


Abbildung 1. Gemittelte EEG-Quellenaktivierungen im Beta- und Gamma-Band beim Mobiltelefonat mit dem iPhone SE ohne Chip (mittlere Zeile) und bei Anwendung des Gabriel-Chips während der Mobilfunkexposition (untere Zeile). Rot = sehr starke Aktivierung, blau = sehr geringe Aktivierung. Die Ergebnisse zeigen starke Aktivierungen bei Mobilfunkexposition ohne Chip, v.a. in den tieferliegenden Gehirnregionen (limbisches System). Bei Anwendung des Gabriel-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 | 0,64 | 3,06 | 3,85 | 2,90 | 3,62 | 3,97 |
| iPhone SE ohne Chip | 20,35* | 5,49 | 18,39* | 28,24** | 16,40* | 14,53* |
| iPhone SE mit Gabriel-Chip | 0,82 | 4,76 | 4,90 | 3,63 | 5,38 | 5,91 |

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

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

Tabelle 1. Mittlere Leistungsdichten in $\mu V^2/Hz$ der EEG-Aktivierungen im Gamma-Band (31-100 Hz) durch Mobilfunkexposition für die Testbedingungen iPhone SE ohne Chip und iPhone SE bei Anwendung des Gabriel-Chips sowie für die Kontrollbedingung (Basismessung ohne EMF-Exposition). Die Ergebnisse zeigen starke Aktivierungen im Gamma-Band in allen getesteten Gehirnarealen bei Anwendung des iPhone SE ohne Chip. Wird der Gabriel-Chip auf dem iPhone SE angebracht, sind die Gamma-Aktivierungen in allen getesteten Gehirnarealen signifikant reduziert.

| EEG Beta- Aktivität | Limisches System | Frontal | Zentral | Temporal | Parietal | Okzipital |
|------------------------------------|---------------------|---------|---------|----------|----------|-----------|
| Basismessung | 4,47 | 12,69 | 10,20 | 9,70 | 9,32 | 9,94 |
| iPhone SE ohne Chip | 19,28* | 16,53 | 20,05* | 32,39** | 20,75* | 22,38* |
| iPhone SE mit Gabriel-Chip | 6,94 | 15,21 | 12,83 | 13,06 | 12,58 | 12,66 |

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

** statistisches Signifikanzniveau $p < .01$ im Vergleich von Testbedingung iPhone SE ohne Chip gegenüber der Basismessung sowie der Testbedingung iPhone SE mit Gabriel-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 SE ohne Chip und iPhone SE bei Anwendung des Gabriel-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 SE. Wird der Gabriel-Chip auf dem iPhone SE angebracht, sind die Beta-Aktivierungen in allen getesteten Gehirnarealen auf vergleichbarem Niveau mit der Basismessung.

| EEG Alpha-Aktivität | Limisches System | Frontal | Zentral | Temporal | Parietal | Okzipital |
|----------------------------|------------------|---------|---------|----------|----------|-----------|
| Basismessung | 9,38 | 8,74 | 9,93 | 8,53 | 10,48 | 15,73 |
| iPhone SE ohne Chip | 2,41* | 6,28 | 3,24* | 0,78** | 4,27* | 5,02* |
| iPhone SE mit Gabriel-Chip | 8,90 | 7,54 | 10,85 | 9,62 | 11,68 | 13,26 |

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

** statistisches Signifikanzniveau $p < .01$ im Vergleich von Testbedingung iPhone SE ohne Chip gegenüber der Basismessung sowie der Testbedingung iPhone SE mit Gabriel-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 SE ohne Chip und iPhone SE bei Anwendung des Gabriel-Chips sowie für die Kontrollbedingung (Basismessung ohne EMF-Exposition). Die Ergebnisse zeigen eine Reduktion der Aktivität im Alpha-Band in allen getesteten Gehirnarealen bei Anwendung des iPhone SE. Wird der Gabriel-Chip auf dem iPhone SE angebracht, werden die Alpha-Aktivierungen in allen getesteten Gehirnarealen auf vergleichbarem Niveau mit der Basismessung aufrechterhalten.

| EEG Theta- Aktivität | Limisches System | Frontal | Zentral | Temporal | Parietal | Okzipital |
|-------------------------------------|---------------------|---------|---------|----------|----------|-----------|
| Basismessung | 5,70 | 6,38 | 8,20 | 6,35 | 6,81 | 8,63 |
| iPhone SE ohne Chip | 1,37* | 5,03 | 2,41* | 0,68** | 2,11* | 2,01* |
| iPhone SE mit Gabriel-Chip | 5,02 | 6,37 | 7,65 | 5,23 | 5,40 | 7,28 |

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

** statistisches Signifikanzniveau $p < .01$ im Vergleich von Testbedingung iPhone SE ohne Chip gegenüber der Basismessung sowie der Testbedingung iPhone SE mit Gabriel-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 SE ohne Chip und iPhone SE bei Anwendung des Gabriel-Chips sowie für die Kontrollbedingung (Basismessung ohne EMF-Exposition). Die Ergebnisse zeigen eine Reduktion der Aktivierungen im Theta-Band in allen getesteten Gehirnarealen bei Anwendung des iPhone SE. Wird der Gabriel-Chip auf dem iPhone SE angebracht, werden die Theta-Aktivierungen in allen getesteten Gehirnarealen auf dem Niveau der Basismessung aufrechterhalten.

| | Mittlerer Score Kopfschmerzen |
|---------------------------------|-------------------------------|
| Basismessung | 0,0 |
| iPhone SE ohne Chip | 3,8 ^{a,b} |
| iPhone SE mit Gabriel-Tech Chip | 0,2 |

^a statistisches Signifikanzniveau $p < .05$ im Vergleich von Testbedingung iPhone SE ohne Chip gegenüber der Basismessung

^b statistisches Signifikanzniveau $p < .05$ im Vergleich von Testbedingung iPhone SE ohne Chip gegenüber der Testbedingung iPhone SE mit Gabriel-Tech Chip

Tabelle 5. Mittlere Scores berichteter Kopfschmerzen durch Mobilfunkexposition für die Testbedingungen iPhone SE ohne Chip und iPhone SE 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 SE auf. Wird der Gabriel-Tech Chip auf dem iPhone SE angebracht, ist der Score der subjektiv berichteten Kopfschmerzen gleichbleibend, vergleichbar der Kontrollbedingung ohne EMF-Exposition.

| | Kopfoberfläche | Gesicht | Oberkörper | Arme |
|---------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Basismessung | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| iPhone SE ohne Chip | 3,5 ^{a,b} | 3,3 ^{a,b} | 3,1 ^{a,b} | 2,4 ^{a,b} |
| iPhone SE mit Gabriel-Tech Chip | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,1 |

^a statistisches Signifikanzniveau $p < .05$ im Vergleich von Testbedingung iPhone SE ohne Chip gegenüber der Basismessung

^b statistisches Signifikanzniveau $p < .05$ im Vergleich von Testbedingung iPhone SE ohne Chip gegenüber der Testbedingung iPhone SE mit Gabriel-Tech Chip

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 SE ohne Chip und iPhone SE bei Anwendung des Gabriel-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 berichtete Missempfindungen mittleren Grades bei Anwendung des iPhone SE an. Wird der Gabriel-Chip auf dem iPhone SE angebracht, bleibt der Score der subjektiv berichteten Missempfindungen auf vergleichbarem Niveau mit der Kontrollbedingung ohne EMF-Exposition.

| | Müdigkeit | Vitalität | Energie | Wohl- befinden | Stress | Gereiztheit |
|---------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Basismessung | 0,8 | 8,4 | 8,6 | 8,8 | 0,3 | 0,2 |
| iPhone SE ohne Chip | 6,2 ^{a,b} | 2,5 ^{a,b} | 2,4 ^{a,b} | 1,7 ^{a,b} | 6,4 ^{a,b} | 5,9 ^{a,b} |
| iPhone SE mit Gabriel-Tech Chip | 0,6 | 8,7 | 9,0 | 9,0 | 0,2 | 0,3 |

^a statistisches Signifikanzniveau $p < .05$ im Vergleich von Testbedingung iPhone SE ohne Chip gegenüber der Basismessung

^b statistisches Signifikanzniveau $p < .05$ im Vergleich von Testbedingung iPhone SE ohne Chip gegenüber der Testbedingung iPhone SE mit Gabriel-Tech Chip

Tabelle 7. Mittlere Scores berichteter Befindlichkeit (Müdigkeit, Vitalität, Energie, Wohlbefinden, Stressempfinden, Gereiztheit) durch Mobilfunkexposition für die Testbedingungen iPhone SE ohne Chip und iPhone SE 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, der Energie und des Wohlbefindens bei Anwendung des iPhone SE ohne Chip gegenüber den Testbedingungen iPhone SE mit Gabriel-Tech Chip und der Basismessung an. Wird der Gabriel-Tech Chip auf dem iPhone SE angebracht, bleiben die Scores Müdigkeit, Vitalität, Energie, Wohlbefinden, Stressempfinden und Gereiztheit auf vergleichbarem Niveau mit der Basismessung ohne EMF-Exposition.