



EEG-Studie

Audi A6 Quattro

Gabriel-Technologie

Gabriel-Chip GDM60190170

1. Forschungsmethodik

In den vorliegenden Messungen wurden acht neurologisch gesunde Probanden (alle männlich, Durchschnittsalter: 49,4 Jahre) getestet. Die Testung mittels Elektroenzephalogramm (EEG) fand im Sitzen über einen Zeitraum von 15 Minuten pro experimenteller Bedingung statt. Nach einer Basismessung (15 Minuten) außerhalb des Fahrzeugs (Audi A6 Quattro) wurde der Proband auf dem Fahrersitz im Auto positioniert. In einer ersten Testbedingung wurde der Gabriel-Tech Chip (Hersteller: Gabriel-Tech GmbH, Kelkheim, Deutschland) auf dem Smartphone iPhone X (Hersteller Apple, Cupertino, USA) angebracht und die Wirkung während einer 15-minütigen Mobilfunkexposition bei einer standardisierten Fahrt getestet. In einer weiteren Testbedingung wurde das iPhone X ohne Chip für 15 Minuten im Kraftfahrzeug während einer standardisierten Fahrt 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, aufgezeichnet. Die elektrookulographischen (vertikale und horizontale Augenbewegungen) und elektromyographischen (muskuläre Potentiale) Daten wurden als Kontrollvariablen von jeweils zwei Elektroden 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 und subjektives Befinden (Müdigkeit, Vitalität, Energie, Wohlbefinden, Stressempfinden, 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 und subjektives Befinden (Müdigkeit, Vitalität, Energie, Wohlbefinden, Stressempfinden, Gereiztheit). Das statistische Signifikanzniveau wurde bei allen Tests auf $p < 0,05$ festgelegt.

2. 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 der Mobilfunkexposition starke Aktivierungen im Frequenzspektrum Beta und Gamma v.a. in den tieferliegenden Schichten des Gehirns (u.a. limbisches System). Diese Aktivierungen setzen bereits nach ein- bis zweiminütiger Mobilfunkexposition ein. Bei Anwendung des Gabriel-Tech Chips gehen diese 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-Tech Chips keine Aktivierungen durch die Mobilfunkexposition mehr zu beobachten (siehe Abb. 1). Die Ergebnisse der subjektiven Befindlichkeit spiegeln die neurophysiologischen Befunde. Die Probanden berichteten in der Testbedingung ohne Chip eine Zunahme der Kopfschmerzen (Mittelwert 4,2), sowie Missempfindungen an der Kopfoberfläche (Mittelwert 4,7), im Gesicht (Mittelwert 3,8), am Oberkörper (Mittelwert 3,2) und an den Armen (Mittelwert 2,9). Ferner wurde eine größere Müdigkeit (Mittelwert 3,4), reduzierte Vitalität (Mittelwert 5,1), reduzierte Energie (Mittelwert 5,7), reduziertes Wohlbefinden (Mittelwert 6,4), verstärktes Stressempfinden (Mittelwert 6,8), verstärkte Gereiztheit (Mittelwert 5,4) dokumentiert. Bei Anwendung des Gabriel-Tech Chips wurden diese Beeinträchtigungen der subjektiven Befindlichkeit signifikant reduziert und befanden sich auf vergleichbarem Niveau wie in der Basismessung ohne EMF-Exposition (siehe Tab. 5 bis 7).

Die Ergebnisse der inferenzstatistischen Testung der EEG-Daten zeigen hochsignifikante Effekte der Anwendung des Gabriel-Tech Chips für das limbische System [$F(2, 22) = 9,58; p = 0,008$], den frontalen [$F(2, 22) = 6,35; p = 0,01$], temporalen [$F(2, 22) = 10,25; p = 0,007$] und okzipitalen Cortex [$F(2, 22) = 6,74; p = 0,009$] auf, sowie signifikante Effekte für den zentralen [$F(2, 22) = 4,76; p = 0,03$] und parietalen Cortex [$F(2, 22) = 5,06; p = 0,02$].

Die Ergebnisse der Testung des subjektiven Befindens zeigen signifikante Effekte der Anwendung des Gabriel-Tech Chips für die Dimensionen Kopfschmerzen [$F(2, 22) = 4,40; p = 0,03$], Missempfindungen im Bereich Kopfoberfläche [$F(2, 22) = 4,42; p = 0,03$], Gesicht [$F(2, 22) = 4,27; p = 0,03$], Oberkörper [$F(2, 22) = 3,69; p = 0,04$] und Arme [$F(2, 22) = 3,78; p = 0,04$], Müdigkeit [$F(2, 22) = 4,46; p = 0,03$], Vitalität [$F(2, 22) = 3,43; p = 0,04$], Energie [$F(2, 22) = 3,91; p = 0,04$], Wohlbefinden [$F(2, 22) = 3,83; p = 0,04$], Stress [$F(2, 22) = 3,72; p = 0,04$] und Gereiztheit [$F(2, 22) = 3,85; p = 0,04$] an. Bei Anwendung des Gabriel-Tech Chips befinden sich die Parameter der subjektiven Befindlichkeit 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 auf dem iPhone X bei Kindern und Jugendlichen, der die Beta- und Gamma-Aktivierungen im Gehirn, die durch Mobilfunkexposition mittels des Apple iPhone X entstehen, deutlich reduziert. Durch die Anwendung des Gabriel-Tech Chips werden ebenfalls die subjektiv berichteten Beschwerden Kopfschmerzen, Müdigkeit, Stress, Gereiztheit

Reduktion der Energie, der Vitalität und des Wohlbefindens, die durch die Mobilfunkexposition mittels des iPhone X auftreten, verringert.

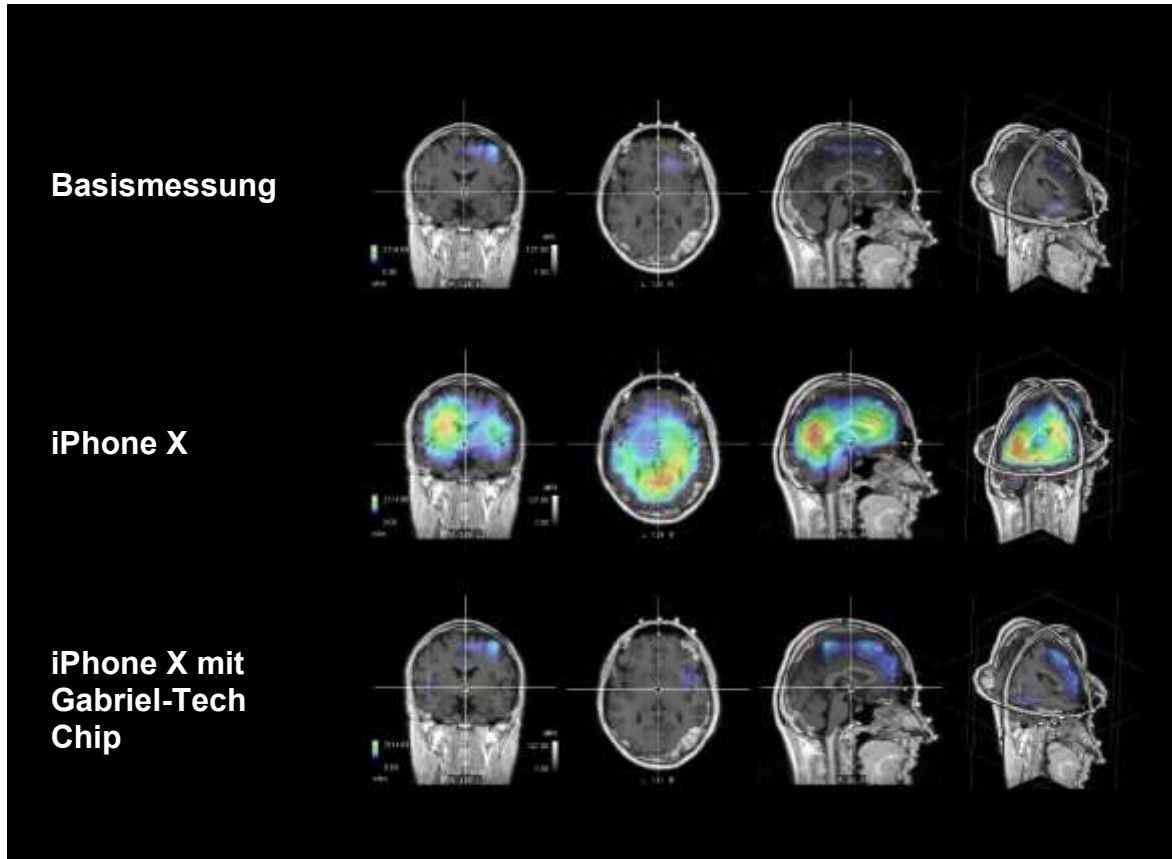


Abbildung 1. EEG-Quellenaktivierungen gemittelt über alle Probanden in den Frequenzbändern Beta und Gamma bei Mobilfunkexposition durch das iPhone X (Mitte) und bei Anwendung des Gabriel-Tech Chips auf dem iPhone X während der Mobilfunkexposition (unten) im Kraftfahrzeug. Rot = sehr starke Aktivierung, blau = sehr geringe Aktivierung. Die Ergebnisse zeigen sehr starke Aktivierungen bei Mobilfunkexposition ohne Chip, v.a. in den tieferliegenden Gehirnregionen (limbisches System), dem frontalen und okzipitalen Cortex. Bei Anwendung des Gabriel-Tech Chips auf dem iPhone X im Kraftfahrzeug werden diese durch Mobilfunkexposition ausgelösten Aktivierungen des Gehirns signifikant gegenüber der Testbedingung Mobilfunkexposition ohne Chip reduziert und befinden sich auf vergleichbarem Niveau wie in der Basismessung.

EEG Gamma- Aktivität	Limisches System	Frontal	Zentral	Temporal	Parietal	Okzipital
Basismessung	0,72	3,58	2,94	3,01	4,80	3,95
iPhone X ohne Chip	27,50**	24,11**	12,40*	37,25**	16,03*	35,37**
iPhone X mit Gabriel-Tech Chip	0,53	4,97	4,81	3,48	3,62	5,09

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

* statistisches Signifikanzniveau $p < .05$ im Vergleich von Testbedingung iPhone X ohne Chip gegenüber der Basismessung sowie der Testbedingung iPhone X mit Gabriel-Tech 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 X ohne Chip und iPhone X bei Anwendung des Gabriel-Tech Chips jeweils im Audi A6 Quattro sowie für die Kontrollbedingung (Basismessung ohne EMF-Exposition). Die Ergebnisse zeigen starke Aktivierungen im Gamma-Band in allen getesteten Gehirnarealen bei Anwendung des iPhone X ohne Chip. Wird der Gabriel-Tech Chip auf dem iPhone X angebracht, sind die Gamma-Aktivierungen in allen getesteten Gehirnarealen signifikant reduziert.

EEG Beta- Aktivität	Limisches System	Frontal	Zentral	Temporal	Parietal	Okzipital
Basismessung	3,52	12,90	10,28	9,58	8,33	7,22
iPhone X ohne Chip	27,33**	30,61**	20,48*	35,10**	22,39*	36,95**
iPhone X mit Gabriel-Tech Chip	4,95	17,18	12,06	11,26	10,60	10,47

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

* statistisches Signifikanzniveau $p < .05$ im Vergleich von Testbedingung iPhone X ohne Chip gegenüber der Basismessung sowie der Testbedingung iPhone X 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 X ohne Chip und iPhone X bei Anwendung des Gabriel-Tech Chips jeweils im Audi A6 Quattro sowie für die Kontrollbedingung (Basismessung ohne EMF-Exposition). Die Ergebnisse zeigen starke Aktivierungen im Beta-Band in allen getesteten Gehirnarealen bei Anwendung des iPhone X ohne Chip. Wird der Gabriel-Tech Chip während der EMF-Exposition angewendet, 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	12,59	8,92	10,03	8,31	10,28	19,73
iPhone X ohne Chip	2,27**	3,36*	3,58*	1,53*	5,27*	4,14**
iPhone X mit Gabriel-Tech Chip	14,62	9,84	13,25	10,20	12,68	16,29

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

* statistisches Signifikanzniveau $p < .05$ im Vergleich von Testbedingung iPhone X ohne Chip gegenüber der Basismessung sowie der Testbedingung iPhone X 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 X ohne Chip und iPhone X bei Anwendung des Gabriel-Tech Chips jeweils im Audi A6 Quattro 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 X ohne Chip. Wird der Gabriel-Tech Chip während der EMF-Exposition getragen, 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	10,37	8,50	7,95	7,31	7,85	8,49
iPhone X ohne Chip	1,56**	2,48*	2,71*	0,80*	2,31*	2,06*
iPhone X mit Gabriel-Tech Chip	12,19	8,25	9,20	9,38	9,06	8,12

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

* statistisches Signifikanzniveau $p < .05$ im Vergleich von Testbedingung iPhone X ohne Chip gegenüber der Basismessung sowie der Testbedingung iPhone X 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 X ohne Chip und iPhone X bei Anwendung des Gabriel-Tech Chips jeweils im Audi A6 Quattro sowie für die Kontrollbedingung (Basismessung ohne EMF-Exposition). Die Ergebnisse zeigen eine Reduktion der Aktivierungen im Theta-Band in den getesteten Gehirnarealen bei Anwendung des iPhone X ohne Chip. Wird der Gabriel-Tech Chip während der EMF-Exposition getragen, werden die Theta-Aktivierungen in allen getesteten Gehirnarealen aufrechterhalten, vergleichbar der Basismessung ohne EMF-Exposition.

	Mittlerer Score Kopfschmerzen
Basismessung	
M	0,0
S	0,0
iPhone X ohne Chip	
M	4,2 ^{a,b}
S	1,1
iPhone X mit Gabriel-Tech Chip	
M	0,0
S	0,0

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

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

M: Mittelwert S: Standardabweichung

Tabelle 5. Mittlere Scores berichteter Kopfschmerzen durch Mobilfunkexposition für die Testbedingungen iPhone X ohne Chip und iPhone X bei Anwendung des Gabriel-Tech Chips jeweils im Audi A6 Quattro 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 X ohne Chip auf. Wird der Gabriel-Tech Chip auf dem iPhone X angebracht, ist der Score der subjektiv berichteten Kopfschmerzen gleichbleibend, vergleichbar der Basismessung ohne EMF-Exposition.

	Kopfoberfläche	Gesicht	Oberkörper	Arme
Basismessung				
M	0,0	0,0	0,0	0,0
S	0,0	0,0	0,0	0,0
iPhone X ohne Chip				
M	4,7^{a,b}	3,8^{a,b}	3,2^{a,b}	2,9^{a,b}
S	1,1	0,6	0,4	0,3
iPhone X mit Gabriel-Tech Chip				
M	0,2	0,1	0,1	0,0
S	0,2	0,1	0,1	0,0

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

^b statistisches Signifikanzniveau $p < .05$ im Vergleich von Testbedingung iPhone X ohne Chip gegenüber der Testbedingung iPhone X 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 X ohne Chip und iPhone X bei Anwendung des Gabriel-Tech Chips jeweils im Audi A6 Quattro 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 X ohne Chip gegenüber den Testbedingungen iPhone X mit Gabriel-Tech Chip und der Basismessung an. Wird der Gabriel-Tech Chip auf dem iPhone X angebracht, bleibt der Score der subjektiv berichteten Missempfindungen vergleichbar der Kontrollbedingung ohne EMF-Exposition.

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

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

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

M: Mittelwert S: Standardabweichung

Tabelle 7. Mittlere Scores berichteter Befindlichkeit auf den Dimensionen Müdigkeit, Vitalität, Energie, Wohlbefinden, Stress und Gereiztheit durch Mobilfunkexposition für die Testbedingungen iPhone X ohne Chip und iPhone X bei Anwendung des Gabriel-Tech Chips jeweils im Audi A6 Quattro sowie für die Kontrollbedingung (Basismessung ohne EMF-Exposition). Die Scores wurden von den Versuchspersonen auf einer Skala von 0 (keine Veränderung des subjektiven Empfindens) bis 9 (sehr starke Veränderung des subjektiven 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 X ohne Gabriel-Tech Chip gegenüber den Testbedingungen iPhone X mit Gabriel-Tech Chip und der Basismessung an. Wird der Gabriel-Tech Chip bei Mobilfunkexposition durch das iPhone X angewendet, bleiben die Scores Müdigkeit, Vitalität, Energie, Wohlbefinden, Stressempfinden und Gereiztheit auf vergleichbarem Niveau mit der Kontrollbedingung ohne EMF-Exposition.