



Mobilfunkstudie

EEG-Messungen

BMW X5

Gabriel-Technologie

Gabriel-Chip GDM60190170

## 1. Forschungsmethodik

In den vorliegenden Messungen wurden acht neurologisch gesunde Probanden (Alter 45,6 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) ohne EMF-Exposition wurden die Probanden im BMW X5 auf der Fahrerseite positioniert und ein Mobiltelefonat mit dem iPhone X über die WLAN/Bluetooth-Schnittstelle für 15 Minuten während einer standardisierten Fahrt geführt. In einer zweiten Testbedingung wurde der Gabriel-Tech Chip (Hersteller: Gabriel-Tech GmbH, Kelkheim, Deutschland) auf dem iPhone X appliziert sowie auf der WLAN/Bluetooth-Schnittstelle und für 15 Minuten während einer standardisierten Fahrt getestet. 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 elektro-myographischen 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 des subjektiven Befindens auf den Dimensionen Kopfschmerzen, Missempfindungen (Bereiche Kopfoberfläche, Gesicht, Oberkörper, Arme), Müdigkeit, Vitalität, Energie, Wohlbefinden, Stress, 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).

## 2. Ergebnisse

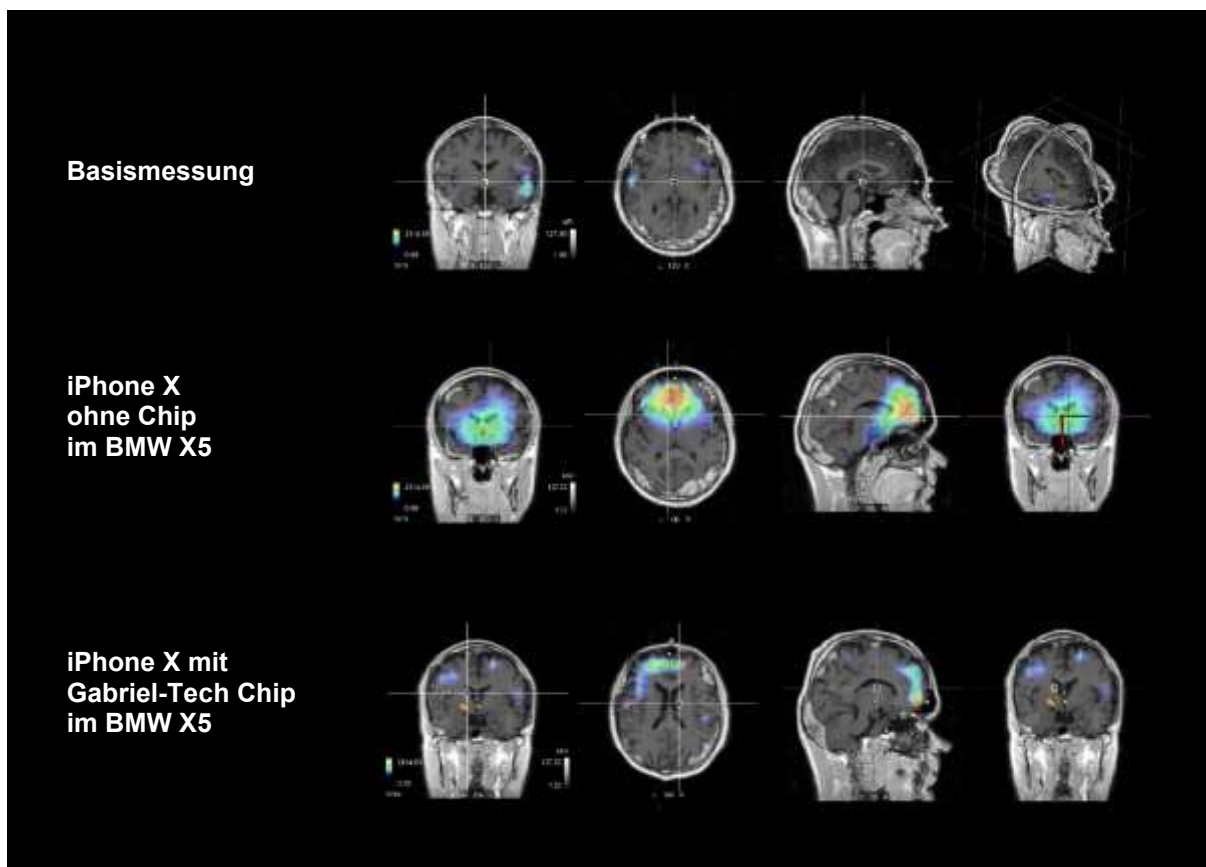
Die Ergebnisse der EEG-Messungen und subjektiven Befindlichkeit sind in Abb. 1 sowie Tabellen 1-7 dargestellt. Die Ergebnisse der EEG-Quellenaktivierungen im Gehirn zeigen während der Mobilfunkexposition im BMW X5 ohne Entstörung starke Aktivierungen in den Frequenzbändern Gamma und Beta. Diese Aktivierungen setzen nach ein- bis zweiminütiger EMF-Exposition ein. Nach der Gabriel-Tech Entstörung des BMW X5 sind die Beta- und Gamma-Aktivierungen, die durch die EMF-Exposition im Fahrzeug entstehen, reduziert (siehe Abb. 1 und Tab. 1-4). Die Ergebnisse der subjektiven Befindlichkeit spiegeln die neurophysiologischen Befunde wider. Die Probanden berichteten in der Testbedingung ohne Chip eine Zunahme der Kopfschmerzen (Mittelwert 4,2), sowie Missempfindungen an der Kopfoberfläche (Mittelwert 4,5), im Gesicht (Mittelwert 3,8), am Oberkörper (Mittelwert 3,6) und an den Armen (Mittelwert 3,2). Ferner wurde eine größere Müdigkeit (Mittelwert 4,3), reduzierte Vitalität (Mittelwert 5,0), reduzierte Energie (Mittelwert 5,3), reduziertes Wohlbefinden (Mittelwert 6,2), verstärktes Stressempfinden (Mittelwert 7,3), verstärkte Gereiztheit (Mittelwert 5,8) 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 signifikante Effekte der Anwendung des Gabriel-Tech Chips für den frontalen  $[F(2, 22) = 5,08; p = 0,02]$  und temporalen Cortex  $[F(2, 22) = 4,36; p = 0,03]$ .

Die Ergebnisse der Testung des subjektiven Befindens zeigen signifikante Effekte der Anwendung des Gabriel-Tech Chips für die Dimensionen Kopfschmerzen  $[F(2, 22) = 4,31; p = 0,03]$ , Missempfindungen im Bereich Kopfoberfläche  $[F(2, 22) = 4,26; p = 0,03]$ , Gesicht  $[F(2, 22) = 4,17; p = 0,03]$ , Oberkörper  $[F(2, 22) = 3,51; p = 0,04]$  und Arme  $[F(2, 22) = 3,66; p = 0,04]$ , Müdigkeit  $[F(2, 22) = 4,29; p = 0,03]$ , Vitalität  $[F(2, 22) = 3,75; p = 0,04]$ , Energie  $[F(2, 22) = 3,60; p = 0,04]$ , Wohlbefinden  $[F(2, 22) = 3,57; p = 0,04]$ , Stress  $[F(2, 22) = 3,48; p = 0,04]$  und Gereiztheit  $[F(2, 22) = 3,72; p = 0,04]$  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, der die Beta- und Gamma-Aktivierungen im Gehirn, die durch Mobilfunkexposition während der Fahrt im BMW X5 entstehen, signifikant reduziert. Durch die Anwendung des Gabriel-Tech Chips werden ebenfalls die subjektiv berichteten Beschwerden Kopfschmerzen, Müdigkeit, Stressempfinden und Gereiztheit reduziert. Die Scores für Vitalität, Energie und Wohlbefinden, die während der Mobilfunkexposition durch das iPhone X im BMW X5 auftreten, bleiben auf vergleichbarem Niveau wie in der Basismessung ohne EMF-Exposition.



*Abbildung 1.* Gemittelte EEG-Quellenaktivierungen im Beta- und Gamma-Band bei Mobilfunkexposition durch das iPhone X im BMW X5. Rot = sehr starke Aktivierung, blau = sehr geringe Aktivierung. Die Ergebnisse zeigen starke Aktivierungen im Beta- und Gamma-Band bei Mobilfunkexposition ohne Chip in den frontalen Gehirnarealen. Bei Anwendung des Gabriel-Tech Chips werden diese Aktivierungen deutlich reduziert.

EEG Gamma-Aktivität	Limbisches System	Frontal	Zentral	Temporal	Parietal	Okzipital
Basismessung	0,86	3,38	3,82	2,60	3,79	3,25
iPhone X ohne Chip	0,94	22,78*	5,07	16,28*	5,35	6,58
iPhone X mit Gabriel-Tech Chip	0,48	2,17	4,39	3,65	3,72	4,24

\* 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 EMF-Exposition für die Testbedingungen iPhone X ohne Chip und iPhone X mit Gabriel-Tech Chip jeweils im BMW X5 sowie für die Kontrollbedingung (Basismessung ohne EMF-Exposition). Die Ergebnisse zeigen stärkere Aktivierungen im Gamma-Band im frontalen und temporalen Cortex bei Mobilfunkexposition durch das iPhone X ohne Chip gegenüber der Basismessung. Bei Anwendung des Gabriel-Tech Chips sind die Gamma-Aktivierungen in den frontalen und temporalen Gehirnarealen gegenüber der Testbedingung ohne Chip signifikant reduziert und befinden sich auf vergleichbarem Niveau mit der Basismessung ohne EMF-Exposition.

<b>EEG Beta- Aktivität</b>	Limisches System	Frontal	Zentral	Temporal	Parietal	Okzipital
Basismessung	4,60	12,57	10,68	8,73	8,81	9,63
iPhone X ohne Chip	7,64	25,49*	12,31	19,83*	10,59	10,46
iPhone X mit Gabriel-Tech Chip	5,86	10,15	8,92	6,71	7,74	8,38

\* 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 (14-30 Hz) durch EMF-Exposition für die Testbedingungen iPhone X ohne Chip und iPhone X mit Gabriel-Tech Chip jeweils im BMW X5 sowie für die Kontrollbedingung (Basismessung ohne EMF-Exposition). Die Ergebnisse zeigen stärkere Aktivierungen im Beta-Band im frontalen und temporalen Cortex bei Mobilfunkexposition durch das iPhone X ohne Chip gegenüber der Basismessung. Bei Anwendung des Gabriel-Tech Chips sind die Beta-Aktivierungen in den frontalen und temporalen Gehirnarealen gegenüber der Testbedingung ohne Chip signifikant reduziert und befinden sich auf vergleichbarem Niveau mit der Basismessung ohne EMF-Exposition.

EEG Alpha-Aktivität	Limbisches System	Frontal	Zentral	Temporal	Parietal	Okzipital
Basismessung	11,74	8,23	9,84	8,60	10,22	16,85
iPhone X ohne Chip	12,03	0,89*	11,35	0,52*	12,28	15,47
iPhone X mit Gabriel-Tech Chip	11,12	9,75	10,33	9,85	11,82	18,26

\* 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 EMF-Exposition für die Testbedingungen iPhone X ohne Chip und iPhone X mit Gabriel-Tech Chip jeweils im BMW X5 sowie für die Kontrollbedingung (Basismessung ohne EMF-Exposition). Die Ergebnisse zeigen geringere Aktivierungen im Alpha-Band im frontalen und temporalen Cortex bei Mobilfunkexposition durch das iPhone X ohne Chip gegenüber der Basismessung. Bei Anwendung des Gabriel-Tech Chips sind die Alpha-Aktivierungen in den frontalen und temporalen Gehirnarealen gegenüber der Testbedingung ohne Chip signifikant erhöht und befinden sich auf vergleichbarem Niveau mit der Basismessung ohne EMF-Exposition.

<b>EEG Theta- Aktivität</b>	Limisches System	Frontal	Zentral	Temporal	Parietal	Okzipital
Basismessung	5,37	9,29	8,13	8,05	6,44	8,82
iPhone X ohne Chip	5,16	1,32*	10,84	0,81*	8,74	7,05
iPhone X mit Gabriel-Tech Chip	5,64	8,82	7,49	10,72	5,59	7,25

\* 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  $\mu V^2/Hz$  der EEG-Aktivierungen im Theta-Band (4-7,5 Hz) durch EMF-Exposition für die Testbedingungen iPhone X ohne Chip und iPhone X mit Gabriel-Tech Chip jeweils im BMW X5 sowie für die Kontrollbedingung (Basismessung ohne EMF-Exposition). Die Ergebnisse zeigen geringere Aktivierungen im Theta-Band im frontalen und temporalen Cortex bei Mobilfunkexposition durch das iPhone X ohne Chip gegenüber der Basismessung. Bei Anwendung des Gabriel-Tech Chips sind die Theta-Aktivierungen in den frontalen und temporalen Gehirnarealen gegenüber der Testbedingung ohne Chip signifikant erhöht und befinden sich auf vergleichbarem Niveau mit der Basismessung ohne EMF-Exposition.



	Mittlerer Score Kopfschmerzen
Basismessung	
M	<b>0,0</b>
S	0,0
iPhone X ohne Chip	
M	<b>4,2<sup>a,b</sup></b>
S	0,8
iPhone X mit Gabriel-Tech Chip	
M	<b>0,0</b>
S	0,0

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

<sup>b</sup> 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 BMW X5 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	<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 X ohne Chip				
M	<b>4,5<sup>a,b</sup></b>	<b>3,8<sup>a,b</sup></b>	<b>3,6<sup>a,b</sup></b>	<b>3,2<sup>a,b</sup></b>
S	0,9	0,6	0,5	0,3
iPhone X mit Gabriel-Tech Chip				
M	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
S	0,1	0,2	0,0	0,0

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

<sup>b</sup> 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 BMW X5 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	<b>0,3</b>	<b>8,1</b>	<b>7,9</b>	<b>8,5</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
S	0,2	0,6	0,5	0,4	0,0	0,0
iPhone X ohne Chip						
M	<b>4,3<sup>a,b</sup></b>	<b>5,0<sup>a,b</sup></b>	<b>5,3<sup>a,b</sup></b>	<b>6,2<sup>a,b</sup></b>	<b>7,3<sup>a,b</sup></b>	<b>5,8<sup>a,b</sup></b>
S	0,7	0,8	0,7	0,4	0,7	1,1
iPhone X mit Gabriel-Tech Chip						
M	<b>0,2</b>	<b>8,8</b>	<b>9,0</b>	<b>9,0</b>	<b>0,2</b>	<b>0,0</b>
S	0,1	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0

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

<sup>b</sup> 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 BMW X5 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 im BMW X5 angewendet, bleiben die Scores Müdigkeit, Vitalität, Energie, Wohlbefinden, Stressempfinden und Gereiztheit auf vergleichbarem Niveau mit der Kontrollbedingung ohne EMF-Exposition.