

Achim Enders

Technische EMV-Probleme bei EEG-Untersuchungen unter zusätzl.

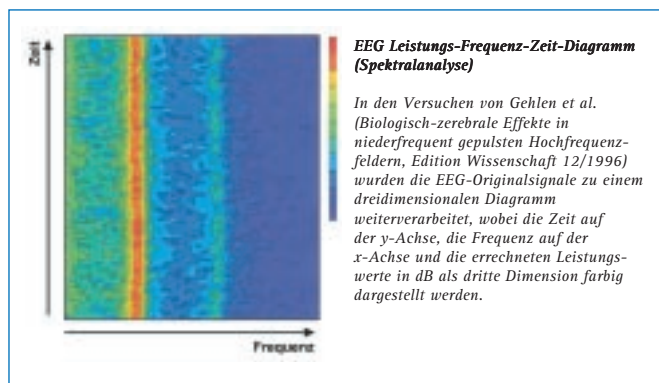
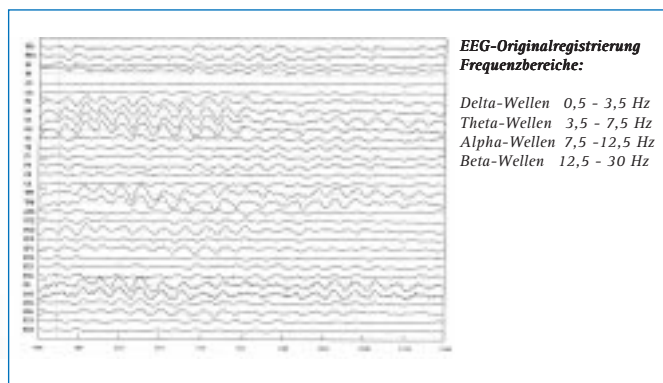
Was ist ein EEG?

Das sogenannte Elektroenzephalogramm des Menschen, kurz EEG, beruht auf hochempfindlichen Messungen von Potentialdifferenzen an der Kopfoberfläche im Bereich von typisch 10 bis 300 μV . Die Potentiale entstehen als Summenwerte der elektrischen Aktivität von nahe unter der Kopfoberfläche liegenden Nervenzellen. Sie werden von der Kopfoberfläche mittels Elektroden abgeleitet. Über verschiedene Schaltschemata werden die Spannungsdifferenzen zwischen jeweils zwei Elektroden ermittelt, wobei sich aus der Vielzahl der Elektroden-Plazierungsmöglichkeiten auf dem Kopf und möglicher Paar-Differenzmessungen die medizinisch-diagnostischen Möglichkeiten des EEG ergeben. Bei der häufig angewendeten Spektralanalyse werden die EEG-Zeitverlaufskurven meist in Frequenzanteile im Bereich einiger Zehntel bis ca. 30 Hz gegliedert, wobei die entscheidenden Fragen geeigneter Messperioden sowie der Abtastfrequenz hier nicht

vertieft werden sollen. Weitere Details sind der Monographie von Zschocke zu entnehmen („Klinische Elektroenzephalographie“, Stephan Zschocke, Springer Verlag 1995).

HF-Feldeinfluss auf das EEG und technische EMV

Mittlerweile gibt es einige Publikationen, die einen Einfluss schwacher, nicht-thermischer hochfrequenter Felder auf das EEG beim Menschen nahelegen. Im vorliegenden Beitrag soll die unterschiedliche Qualität der Arbeiten, die Aussagekraft im Vergleich zu ähnlichen Untersuchungen mit konträrem Ergebnis und ihre Stellung bei der Gesamtbewertung eventueller Gesundheitsrisiken durch schwache hochfrequente Felder nicht analysiert werden. Stattdessen wird die Frage aufgeworfen, inwieweit zunächst die gesamten Feldverhältnisse bei diesen Messungen kontrolliert werden müssen, und zwar sowohl unter hochfrequenter Exposition als auch



tzlicher elektromagnetischer Feldexposition

bei den zugehörigen Kontrollmessungen ohne Exposition, um feldbedingte Artefakte ausschließen zu können. Dies ist eine an sich alte, typische Fragestellung aus dem Gebiet der technischen EMV. Sie hat zu einer Reihe von Standardmaßnahmen, technischen Konstruktionsmerkmalen und Normen sowohl bei den EEG-Geräten als auch den Messungen geführt, so dass EMV-induzierte Artefakte im „EEG-Alltag“ nur selten auftreten sollten und bei aufmerksamer Durchführung und Interpretation beherrscht werden können. Nicht zuletzt hilft hier das Erfahrungswissen des Personals, typische Artefakte zu erkennen.

Dieses Problem rückt aber bei der bewussten Erzeugung zusätzlicher elektromagnetischer Felder, die bei EEG-Studien an Probanden zur Untersuchung eventueller biologischer HF-Feldeinflüsse zwangsläufig und nicht nur im HF-Bereich auftreten, natürlicherweise erneut in den Mittelpunkt. Bisherige Erfahrungen, Kontrollmöglichkeiten und Lösungen für die in der medizinischen Praxis vorherrschenden 50 Hz „Brummeinstreuungen“ inkl. entsprechender Oberwellen reichen bei weitem nicht aus, wenn heute übliche Elektronik, sowohl in Form von HF-Expositionseinrichtungen als auch entsprechender Steuer- und Monitorelektronik, in der näheren bis unmittelbaren Umgebung von EEG-Untersuchungsplätzen aufgebaut wird. Dies gilt nicht nur für die Elektronik als solche, sondern ebenfalls für alle Verbindungskabel, über die unvorhergesehene Ausgleichsströme fließen können. In Folge entstehen neue und teilweise schwer zu entdeckende

Artefakte im EEG, deren Abklärung und sichere Verhinderung bei den dem Autor vorliegenden Publikationen über EEG-Beeinflussungen durch HF-Strahlung nicht in genügendem Maße dokumentiert wird.

Es sollen nun nicht diejenigen technischen EMV-Probleme diskutiert werden, die durch die direkte Einkopplung hochfrequenter Feldenergie in die EEG-Elektroden und Geräte bedingt sind. Solche Beeinflussungen können selbstverständlich auch auftreten. Sie sind bei sorgfältiger Arbeitsweise aber meist erkenn- und beherrschbar. Hier geht es vielmehr um tatsächliche Schwankungen der EEG-Differenzsignale, die nicht durch neurologisch-physiologische Prozesse, sondern durch sonstige Fremdeinflüsse verursacht werden.

Plausible Mechanismen für eine EEG-Beeinflussung

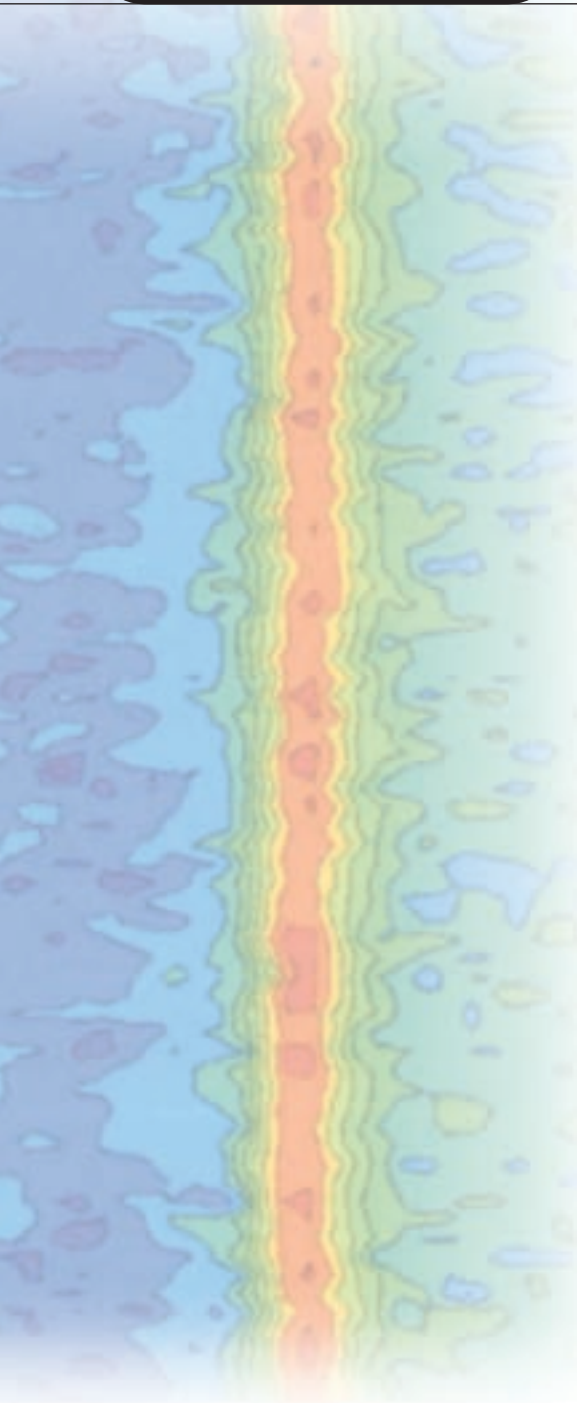
Im Folgenden seien zwei nach Meinung des Autors sehr plausible Verfälschungsmöglichkeiten durch äußere statische und/oder niederfrequente Magnetfelder beispielhaft besprochen:

a) Die je zwei für eine Messung verwendeten Elektrodenableitungen bilden mit allen denkbaren leitfähigen Pfaden im Kopf zusammen Induktionsschleifen. Gibt es nun eine magnetische Flussänderung innerhalb dieser Schleifen durch äußere veränderliche Felder, liegt am Differenzeingang des EEG-Auswertegeräts eine artefizielle zusätzliche Spannung an. Auch bei magnetischen Gleichfeldern kann es durch kleine, insbesondere schnelle Körperbewegun-

gen zu Flussänderungen in der Schleife kommen.

b) Der Herzschlag erzeugt im Arteriensystem des Körpers pulsformige Wanderwellen sowohl in Bezug auf den Druck als auch die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes. Hierdurch kommt es zu kleinen Körperbewegungen (siehe Punkt a) wie auch zu Hallspannungen im Arterienquerschnitt, da ein äußeres statisches oder niederfrequentes Magnetfeld zusammen mit der Geschwindigkeit der Ionen im Blut eine Lorentzkraft in Querrichtung erzeugt. Alle diese durch den Pulsschlag hervorgerufenen Artefakte sind im Zusammenhang mit kombinierten EEG- und Kernspintomographie-Untersuchungen bekannt (englisch „pulse artefact“, siehe z.B. „Methodological Issues in EEG-correlated Functional MRI Experiments“, L. Lemieux et al., Int. Journal of Bioelectromagnetism, IJBEM 1999, 1(1) pp. 87-95). Folge ist eine Änderung der Potentialverteilung an der Kopfoberfläche, die mit dem Grund- und Oberwellentakt der Blutströmungsgeschwindigkeit moduliert wird. Dieses Phänomen könnte zwar im weiteren Sinne als biologischer Effekt interpretiert werden, ist aber nicht mit einer geänderten Aktivitätslage des Nervensystems verknüpft und stellt demzufolge ein EEG-Artefakt dar.

Für den ersten Effekt a) sind in der Literatur äußere Grenzfeldstärken beschrieben, unterhalb der die Störeinflüsse sicher vermieden werden können und die elementar nachvollziehbar sind. Angesichts der geringen Potentialdifferenzen, die das „wahre“ EEG ausmachen, verwundern diese in



der technischen EMV sonst beispiellos niedrigen Grenzwerte nicht. So soll z.B. nach DIN VDE 0107 (VDE 0107):1994-10 die 50 Hz-Flussdichte am EEG-Messplatz einen Effektivwert von 70 nT (!) nicht überschreiten; die Abschätzung geht offensichtlich von maximal tolerierbaren Störspannungen im Bereich von 1 μV aus bei Schleifenflächen im Bereich einiger hundert Quadratzentimeter.

Für den Effekt aus Punkt b) ist nach Wissen des Autors noch keine gründliche Untersuchung erfolgt; die bei den extrem hohen statischen Flussdichten der Kernspintomographie gewonnenen Daten sind vermutlich nicht einfach auf niedrigere Flussdichten mit anderer Zeitabhängigkeit übertragbar. Interne Berechnungen zeigen zumindest, dass die im folgenden Abschnitt realistisch abgeschätzten Flussdichten im Nahfeld eines Mobiltelefons unter experimentellen Expositionsbedingungen zu Störspannungen oberhalb 1 μV führen können.

Abschätzung von Fremdfeldeinflüssen

Was wäre Ursache für unerwünschte magnetische Flüsse? In der technischen EMV ist bekannt, dass heutige, handelsübliche Elektronik fast immer ein breites, zeitvariantes Frequenzspektrum an Magnetfeldern durch die Verwendung von Schaltnetzteilen und generell schnellen Regelfunktionen in Leistungskreisen aufweist. Diese Entwicklung wird in den meisten Fällen durch die Forderung nach hohen Wirkungsgraden und/oder kleinen Bauweisen getrieben. Verschaltet bzw. vernetzt man entsprechende Systeme, können teilweise erhebliche Magnetfelder durch große Schleifen entstehen, die solange nicht beachtet werden, solange sie nicht zu EMV-Störeinkopplungen führen.

Die exzeptionell niedrigen Störpegel für EEG-Messungen gibt es sonst in fast keiner anderen Situation und müssen deshalb sehr sorgfältig überwacht werden. Auch bei ständig eingeschalteten Geräten ist von erheblichen zeitvarianten Feldern auf kurzer und langer Zeitskala auszugehen (thermische Auswirkungen auf Taktzeiten etc.).

Bringt man nun bewusst elektrotechnische Expositions-, Mess- und Überwachungseinrichtungen in der Nähe eines EEG-Messplatzes an, so müssen deren Felder am Ort des Kopfes, d.h. am Ort der Elektrodenableitungen, genauestens und während der gesamten Untersuchungsdauer bekannt sein, ehe die neuronale Aktivität des Kopfes selbst als Ursache für EEG-Änderungen verantwortlich gemacht werden kann.

Ein Beispiel soll dies erläutern: Bringt man ein Mobiltelefon in die Nähe des Kopfes in natürlicher Sprechposition, so zeigen schon elementare Überlegungen, dass zusätzlich zum HF-Nutzsignal in Bezug auf das EEG erhebliche raum- und zeitvariante magnetische Flussdichten im niederfrequenten Bereich relevant sein können: Ein GSM-Handy mit 2 Watt Sendeleistung und 3 V Versorgungsspannung beansprucht im Sendemodus einen Strom von ca. 1 bis 2 Ampere, der mit einem 217 Hz-Takt an- und abschwillt. Je nach eingebauten Regler- und Filterfunktionen, Layout der Versorgungsleitungen etc. sind eine Gleichfeldkomponente und Wechselfeldkomponenten verschiedener Frequenzen präsent, die im Nahbereich um das Mobiltelefon herum stark ausgeprägt sein können. Ohne repräsentative Statistik sind in unserem Labor tatsächlich an einigen zufällig ausgewählten Mobiltelefonen Nah-Magnetfelder im Bereich von 100 nT bis über 10 μT zwischen 5 und 500 Hz gemessen worden.

Dies ist elementar nachvollziehbar: Ein Draht mit 2 Ampere Stromstärke besitzt in 2 cm Entfernung eine Flussdichte von 20 μT , eine Drahtschleife von 4 cm Durchmesser und 4 Ampere Strom im Mittelpunkt von sogar 125 μT , und nicht alle Versorgungsleitungen in einem Mobiltelefon können kompensiert so aufgebaut werden, dass durch eine kleine Entfernung zwischen Hin- und Rückleitung eine Feldstärkereduktion erfolgt.

Ersetzt man das Mobiltelefon am Kopf durch Antennen in etwas größerer Entfernung mit separater HF-Erzeugung und Verstärkung, gelten ähnliche Überlegungen für diese Elektronik. Trotz des größeren Abstandes ist nicht automatisch sichergestellt, dass keine Beeinflussung des EEG's auftritt. Selbst Scheinexpositions-messungen oder Messungen mit ausgeschalteter HF, aber eingeschalteter Elektronik („stand-by“) sind nach dem oben Gesagten zu kontrollieren. Insbesondere mögliche Ausgleichsströme über Verbindungskabel, die über Ecken oder sogar in Schleifenform geführt sind, können auch bei Abständen von mehreren Metern noch störrelevante Flussdichten für eine EEG-Messung hervorrufen.

Mögliche Lösungen

Wie lassen sich nun Einflüsse solcher Fremdfelder auf das EEG erkennen? 50 Hz-„Brummeinstreuungen“ werden meist von vornherein vermieden, indem der EEG-Arbeitsplatz in einem „elektromagnetisch ruhigen“ Raum ohne zusätzliche elektrotechnische Vorrichtungen eingerichtet wird. Spektakulär sind hier „nur“ die wenigen bekannt gewordenen Fälle, wo ein nicht sachgerecht ausgeführter Potentialausgleich ganze Krankenhaustrakte für EEG-Messungen unbrauchbar machte. Empfohlen (in der Praxis meist nur stichprobenar-

tig durchgeführt) wird darüber hinaus, durch Mitmessen einer „Blindelektrode“, d.h. einer Induktionsschleife in der Nähe des Kopfes ohne Kopfkontakt, fremdinduzierte Spannungen durch äußere, zeitveränderliche Flussdichten direkt zuordnen zu können. Für eine vollständige Aussage muss dies aber in jedem Fall dreidimensional, d.h. mit drei zueinander orthogonal stehenden Schleifen, kontrolliert werden. Der o.a. Fall b) kann mit dieser Maßnahme aber unter Umständen nicht befriedigend erfasst werden, da eine Hall-Spannung keine Induktionsspannung darstellt und hierfür störrelevante Gleich- oder sehr niedrigfrequente Wechselfelder mit der Induktionsschleife kaum erfasst werden können. In jedem Fall ist zu konstatieren, dass dieser Fall noch einer eingehenderen Analyse und - als notwendiger Voraussetzung - natürlich einer Aufklärung der kompletten magnetischen Feldverhältnisse bedarf.

Als Fazit kann nur die Forderung formuliert werden, die magnetischen Feldverhältnisse im ganzen Volumenbereich des Kopfes und während der gesamten EEG-Messzeit, sowohl unter HF-Exposition wie auch unter Scheinexposition, lückenlos zu kontrollieren, um eine fälschliche Aussage über EEG-Änderungen aufgrund von HF-Expositionen definitiv ausschließen zu können. Hierfür kommen nur Flussmessgeräte in Frage, die entsprechend empfindlich sind und den ganzen relevanten Frequenzbereich erfassen. Darüber hinaus müssen sie die Feldverhältnisse am Kopf möglichst unverändert lassen. Insbesondere darf beim on-line-monitoring nicht selbst wieder ein Magnetfeld erzeugt werden, wie es z.B. bei Kompensationsmessgeräten der Fall sein kann.

*Prof. Dr. Achim Enders, Institut für EMV,
TU Braunschweig*