

Mobiler Messkopf zur standortunabhängigen Teilkörper-SAR-Messung an Mobiltelefonen

Dr.- Ing. Heinrich Eder, LfU

Dipl. Phys. Arno Wiedenhofer, StMUGV



Inhaltsverzeichnis:

ZUSAMMENFASSUNG	3
1. GRENZWERTE UND GESUNDHEITSSCHUTZ	4
1.1. Wirkungsschwellen.....	4
1.2. Gesundheitliche Wirkungsschwellen und Basisgrenzwerte	4
1.3. Athermische Wirkungen	5
1.4. Abgeleitete Grenzwerte.....	5
2. STANDARDISIERTE SAR-MESSUNG AN HANDYS	6
3. SAR-MESSKOPF ESM-120	8
4. PRAKTISCHE VERSUCHE MIT DEM SAR-MESSKOPF ESM-120	9
4.0. Vorbemerkungen.....	9
4.1. Versuch 1: Suche des Handy-Bereiches mit maximaler Abstrahlung	12
4.2. Versuch 2: Ortsbezogene Messung der SAR	12
4.3. Versuch 3: Reduzierung der Sendeleistung in Gesprächspausen.....	13
4.4. Versuch 4: SAR im Standby-Betrieb	13
4.5. Versuch 5: Dynamische Leistungsregelung im GSM- bzw. UMTS-Netz.....	15
4.6. Versuch 6: Einfluss von Handhabung und Headset.....	15
4.7. Versuch 7: Messungen an einer DECT-Basisstation	17
4.8. Versuch 8: Mobilfunk im Auto.....	17
5. HINWEISE FÜR DEN VERBRAUCHERSCHUTZ	18
LITERATUR	19

Zusammenfassung

Mit Hilfe des mobilen SAR-Messkopfes ist es erstmals möglich, für reale Anwendungssituationen im Mobilfunk die aktuelle Feldexposition des Nutzers – ausgedrückt in SAR (Spezifische Absorptionsrate) – ortsunabhängig zu messen. Dabei sind insbesondere standorttypische Einflüsse, Einflüsse der dynamischen Sendeleistungsregelung von Mobiltelefonen sowie Einflüsse der Handhaltung des Mobiltelefons in Echtzeit darstellbar.

Das Messprinzip

Der SAR-Messkopf enthält eine gewebesimulierende Flüssigkeit, deren elektrische Eigenschaften auf die Frequenzen des D-Netzes abgestimmt sind (vergl. Europäische Norm EN 50631). Andere Frequenzen werden vom Messkopf automatisch erkannt (optional), so dass der Messwert mit einem Kalibrierfaktor auf den frequenzbezogenen SAR-Wert umgerechnet werden kann.

Die Messung erfolgt mit Hilfe einer dreidimensionalen Dipolsonde, die so unter der Oberfläche der Kugel justiert ist, dass sie den über 1 Gramm gemittelten Teilkörper-SAR-Wert erfasst. Die SAR-Messung mit dem Messkopf entspricht nicht den Anforderungen der europäischen Norm EN 50361, die eine spezielle Kopfoberfläche, definierte Handy-Positionen, ein aufwändiges Abtastverfahren und eine Messung bei maximaler Sendeleistung des Handys vorschreibt. Der SAR-Messkopf ist als Demonstrationsmodell vielmehr dafür gedacht, verschiedene Einflussgrößen auf die reale Absorption in Echtzeit zu untersuchen.

Das Messgerät

Der Messkopf ist batteriebetrieben und erlaubt eine Betriebszeit von bis zu 80 Stunden, so dass ortsungebundene Messungen – z. B. im Auto, im Zug, an verschiedenen Standorten in Gebäuden, Tiefgaragen usw. – möglich sind. Die SAR wird in Echtzeit als Zahlenwert im Display sowie mit einem Bargraph angezeigt. Daneben lässt sich der SAR-Zeitverlauf über die letzten 60 Sekunden auch auf einem Computer-Bildschirm darstellen. Mit dem auf einem fahrbaren Stativ montierten Messkopf lassen sich besonders günstige und ungünstige Orte für das Telefonieren in einer reflektierenden Umgebung herausfinden.

Um vergleichbare Messergebnisse zu erhalten, muss das Handy in einen Dauer-Sendezustand versetzt werden. Dafür ist eine Schallquelle erforderlich, die verhindert, dass das Telefon während des Messvorganges in den DTX-Modus (Sprechpause) umschaltet. Der Schallgeber ist im Gerät integriert.

1. Grenzwerte und Gesundheitsschutz

Grenzwerte dienen dem Schutz der Gesundheit. Sie basieren auf dem aktuellen Stand **wissenschaftlicher Forschung** und geben die Grenze erlaubter Belastungen an, die nicht überschritten werden darf. In der Praxis gibt es Grenzwerte zum Beispiel für Stoffe im Trinkwasser, für die Lärmbelastung oder, im Sommer, für den Ozongehalt der Luft.

Auch für den Mobilfunk gibt es Grenzwerte. Ihre Einhaltung soll sicherstellen, dass von den elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks keine gesundheitlichen Gefahren für die Menschen ausgehen.

1.1. Wirkungsschwellen

Was eine Wirkungsschwelle ist, kann man sich am folgenden Beispiel klar machen: Stellen Sie sich vor, Sie öffnen eine Tür. Physikalisch gesehen üben Sie dabei eine Kraft auf die Türklinke aus. Aber erst wenn Sie genug Kraft anwenden, bewegt sich die Türklinke nach unten. Genau das ist die Wirkungsschwelle. Unterschreiten Sie diese Schwelle, dann passiert nichts – ganz egal wie lange Sie auf die Klinke drücken.

Gesundheitliche Wirkungsschwellen bezeichnen demnach eine Schwelle, unterhalb derer keine gesundheitlichen Wirkungen auftreten. Diese Schwelle muss sich auf eine messbare Einheit beziehen, zum Beispiel auf die Konzentration eines Stoffes. Beim Mobilfunk gibt die Wirkungsschwelle die Leistung an, ab der mit gesundheitlichen Wirkungen zu rechnen ist.

1.2. Gesundheitliche Wirkungsschwellen und Basisgrenzwerte

Gesicherte wissenschaftliche Befunde zu gesundheitlichen Wirkungsschwellen sind die Grundlage für die Grenzwertempfehlungen der **internationalen Kommission für den Schutz vor nicht ionisierender Strahlung (ICNIRP)**.

Da hochfrequente elektromagnetische Felder im Körper in Wärme umgewandelt werden, bezieht sich die Festlegung von Wirkungsschwellen zunächst – jedoch nicht ausschließlich – auf die Erwärmung. Der Wärmeeffekt wird in Watt pro Kilogramm Körpergewicht absorbiertes Leistung beschrieben. Abgeleitet von den Wirkungsschwellen hat die ICNIRP hierfür Basisgrenzwerte festgelegt. Sowohl Wirkungsschwellen als auch Basisgrenzwerte werden als **spezifische Absorptionsraten (SAR)** in Watt pro Kilogramm angegeben. Sie entsprechen damit der in Körperwärme umgewandelten elektromagnetischen Leistung.

Man unterscheidet zwischen der **Ganzkörper-** und der **Teilkörper-Absorptionsrate**. Bei ersterer wird die Gesamtabsorption über die gesamte Körpermasse gemittelt. Dies ist insbesondere sinnvoll, wenn das elektromagnetische Feld auf den ganzen Körper einwirkt, wie z. B. im Fernfeld einer Funksendeanlage. Wirkt ein hochfrequentes Feld nur räumlich eng begrenzt auf einen Körper ein, z. B. beim Gebrauch eines Handys, so ist die über den Gesamtkörper gemittelte Absorptionsrate in der Regel sehr klein, obwohl lokal hohe Feldwerte auftreten können. In diesem Fall ist zusätzlich die maximal vorkommende, über eine Teilmasse gemittelte Teilkörper-Absorptionsrate zu begrenzen, um eine unzulässige lokale Erwärmung zu verhindern.

Als *Wirkungsschwelle* für den Ganzkörperbereich hat die ICNIRP einen Wert von 4 Watt pro Kilogramm Körpergewicht festgestellt. Diesem Wert der absorbierten Leistung entspricht ein Anstieg der Körpertemperatur von etwa 1°C innerhalb von 30 Minuten. Unterhalb dieser Schwelle treten nach dem Fachurteil der ICNIRP keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen auf.

Die *Basisgrenzwerte* für die Allgemeinbevölkerung liegen um das 50fache unterhalb dieser Wirkungsschwelle. Nach Aussage der ICNIRP ist hierdurch der Schutz auch für empfindliche Menschen wie Kranke, Alte, Kinder und Schwangere gewährleistet. Der Anstieg der

Körpertemperatur, der damit noch zugelassen wird, entspricht in etwa der körpereigenen Erwärmung bei normalem Gehen.

Bei der Festlegung des **Teilkörper-Grenzwertes** geht die ICNIRP von Forschungsergebnissen aus, die für Primaten-Augen mit ungünstigen Thermoregulationseigenschaften abgeleitet wurden. Mit einem Sicherheitsfaktor von 50 liegt der über 10 Gramm Gewebe gemittelte Teilkörper-Grenzwert demnach bei 2 Watt pro Kilogramm. Die amerikanische Standardisierungsorganisation ANSI hat auf Grund anderer Überlegungen einen etwas niedrigeren Teilkörper-Grenzwert festgelegt, der über 1 Gramm Gewebe gemittelt wird (**Tab. 1**).

Mittelungsmasse	Basisgrenzwerte der SAR	
	ICNIRP (1998)	ANSI C 95.1199
Ganzkörper	0,08 W/kg	0,08 W/kg
10 g (Teilkörper)	2 W/kg	-
1 g (Teilkörper)	-	1,6 W/kg

Tab. 1 Basisgrenzwerte der Spezifischen Absorptionsrate SAR für die allgemeine Bevölkerung im Frequenzbereich 100 kHz bis 10 GHz nach ICNIRP- und ANSI-Empfehlung

1.3. Athermische Wirkungen

Unter athermischen Wirkungen versteht man mögliche biologische Wirkungen sehr schwacher, energiearmer elektromagnetischer Felder, die so gering sind, dass eine Temperaturerhöhung im Körper nicht messbar ist. Als mögliche athermische Effekte werden beispielsweise Veränderungen des Zellstoffwechsels und der Hirnströme sowie die Förderung von Krebs diskutiert.

Ob solche athermische Effekte als wissenschaftlich nachgewiesen gelten können, ist allerdings äußerst umstritten. Ihre Existenz wird in der Wissenschaft kontrovers diskutiert und allgemein als nicht gesichert angesehen. Bisherige Wiederholungen der Experimente haben vielfach ein anderes, ja gegenteiliges Ergebnis gebracht. Erst wenn ein Einfluss mehrfach bestätigt wird, kann er als allgemeingültiger Stand der Wissenschaft angesehen werden.

In diesen Zusammenhang gehört auch die gelegentlich geäußerte Vermutung, dass die gepulste Signalform des GSM-Mobilfunks besonders wirksam sei und deshalb selbst sehr schwache Felder den Menschen beeinflussen könnten. Dieser Ansicht wird von den meisten Fachleuten jedoch aufgrund von Studienergebnissen widersprochen.

1.4. Abgeleitete Grenzwerte

Basisgrenzwerte für elektromagnetische Felder, also auch die SAR, sind im Körperinnern definiert, d. h. an dem Ort, an dem eine Wechselwirkung mit Körpergewebe auftreten kann. Ihre direkte Messung ist sehr schwierig und aufwendig. Für die praktische Überprüfung von Immissionen hat man daher so genannte **abgeleitete Grenzwerte** für die „verursachenden Größen“ außerhalb des Körpers entwickelt. Diese sind insbesondere das elektrische und das magnetische Feld (**Tab. 2**). Die abgeleiteten Grenzwerte sind einfacher zu überprüfen. Sie gewährleisten, dass die biologisch wichtigen SAR-Basisgrenzwerte unter keinen Umständen überschritten werden.

In vielen Fällen überschätzen die äußeren Feldstärkewerte die tatsächlichen Absorptionswerte im Körper. Das gilt insbesondere im Nahfeld von Antennen mit hohem

Blindfeldanteil. In solchen Fällen dürfen die abgeleiteten Grenzwerte überschritten werden, wenn sichergestellt ist, dass die Basisgrenzwerte eingehalten werden.

Frequenz	abgeleitete Grenzwerte		
	E/(V/m)	H/(A/m)	B/(μ T)
400 MHz	27,5	0,073	0,092
900 MHz	41	0,11	0,14
1800 MHz	58	0,15	0,19
>2000 MHz	61	0,16	0,20

Tab. 2 Abgeleitete Grenzwerte der elektrischen Feldstärke E, der magnetischen Feldstärke H und der magnetischen Flussdichte B nach ICNIRP und 26. BImSchV im Bereich der Mobilfunkfrequenzen

Sowohl für die bisherigen GSM-Netze als auch für das neue UMTS-Netz hat die ICNIRP Grenzwerte empfohlen. Diese sind in Deutschland gesetzlich verankert und in der Bundesimmissionsschutzverordnung – genauer: 26. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz (26. BImSchV) – festgelegt.

2. Standardisierte SAR-Messung an Handys

Von Handy-Antennen wird hochfrequente Energie in unmittelbarer Körpennähe abgegeben. Zwangsläufig dringt ein Teil davon in das menschliche Gewebe ein und wird dort absorbiert. Um die Einhaltung des relevanten Teilkörper-Basisgrenzwertes SAR messtechnisch überprüfen und damit gesundheitliche Risiken für den Handy-Nutzer ausschließen zu können, wurde an der ETH Zürich ein SAR-Messplatz entwickelt (**Bild 1**). Das SAR-Messverfahren wurde 2001 im Rahmen der CENELEC (Europäisches Komitee für elektrotechnische Standardisierung) genormt. In der **europäischen Norm EN 50361** wurden Durchführung und Randbedingungen von SAR-Messungen an Handys so festgelegt, dass in verschiedenen Messlabors durchgeführte Messungen vergleichbare Ergebnisse liefern.

Da eine SAR-Messung in lebendem Gewebe nicht möglich ist, wird ein **standardisiertes Phantom-Modell** des menschlichen Kopfes benutzt. Dieses besteht aus einer 2-3 mm dicken Kunststoffschale, die mit einer speziellen Flüssigkeit gefüllt ist, die die elektromagnetischen Eigenschaften des Kopfgewebes simuliert (**Tab. 3**). An das Ohr dieses Schalenkopfes wird in typischen Telefonierhaltungen das zu untersuchende Handy gehalten und mit Hilfe eines Basisstationssimulators so angesteuert, dass es mit maximaler Leistung sendet. In der Flüssigkeit des Kopfphantoms wird eine **elektrische Feldsonde** mit Hilfe eines Industrieroboters bewegt, der von einem Computer gesteuert wird. Der

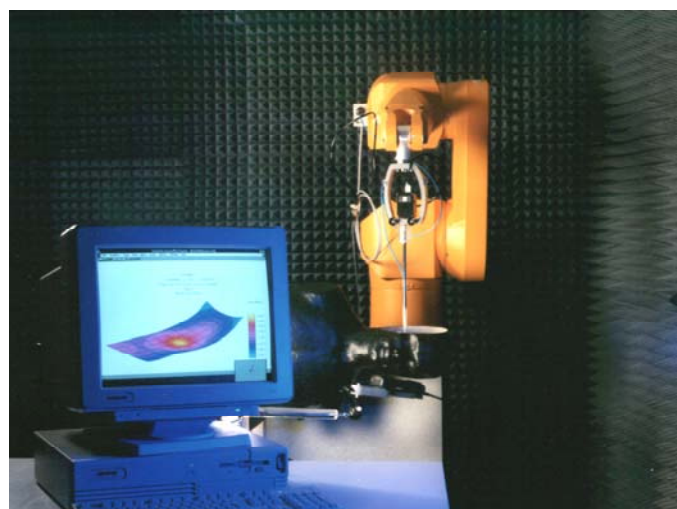


Bild 1 Computergesteuerter SAR-Messplatz

Computer zeichnet dabei die elektrischen Feldstärke- bzw. SAR-Werte über einem dreidimensionalen Gitternetz in dem Phantom-Modell auf und berechnet aus den Einzelwerten die maximalen über 1 g oder 10 g Gewebemasse gemittelten SAR-Werte.

Mit der eingesetzten Feldsonde werden die drei in der Flüssigkeit auftretenden elektrischen Feldstärkekomponenten E_x , E_y und E_z gemessen. Die Messung erfolgt mit Hilfe dreier senkrecht zueinander angeordneter, kleiner Dipolantennen. Die **Gesamtfeldstärke** E_i erhält man durch vektorielle Überlagerung der Einzelkomponenten:

$$E_i = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}.$$

Die elektrische Feldstärke in einem Material ist direkt über die Leitfähigkeit σ mit der Stromdichte J verbunden:

$$J = \sigma E_i.$$

Die Spezifische Absorptionsrate berechnet sich dann zu

$$SAR = \sigma E_i^2 / \rho,$$

wobei ρ die Dichte des Gewebes ist. Typische mittlere Leitfähigkeiten σ von menschlichem Gewebe sind in **Tab. 3** wiedergegeben. Die Dichten von menschlichem Gewebe liegen je nach Wassergehalt in der Nähe von $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$.

Die tatsächlich im menschlichen Kopf auftretende spezifische Absorptionsrate beim Betrieb eines Mobiltelefones hängt von verschiedenen Parametern ab:

- dem individuellen Kopf (äußere Form, Gewebeverteilung im Innern, elektrische Gewbeeigenschaften),
- der Bauart des Mobiltelefones (Form, Antennenkonstruktion, Leistungsbegrenzung, Materialien),
- dem Mobilfunknetz (Empfangs/Sendeeigenschaften, dynamische Leistungsregelung),
- der Handybenutzung (Abstand von der Kopfoberfläche, Haltung, Hand).

Bevor ein Handy das **CE-Zeichen** erhält und damit in Europa verkauft werden darf, muss mit Hilfe einer SAR-Messung die Einhaltung der Basisgrenzwerte nachgewiesen werden. Die Handy-Hersteller veröffentlichen die Messergebnisse für die nach Normbedingungen gemessene SAR im Internet und in den Bedienungsanleitungen (z. B. www.handywerte.de)

Bei der normgemäß durchgeführten SAR-Messung werden nur die direkten Einflüsse der Handy-Konstruktion unter definierten Betriebsbedingungen (homogenes Kopfmodell mit hohen Absorptionseigenschaften, maximale Sendeleistung, spezielle Gerätehaltung am Kopf eines Durchschnitts-Menschen) erfasst. Dies ist unter Sicherheitsaspekten sinnvoll und notwendig. So wird gewährleistet, dass der Basisgrenzwert auch unter ungünstigsten (realen) Betriebsbedingungen nicht überschritten wird. Im realen Betrieb schwanken die SAR-Werte erheblich, wobei die nach der Norm gemessenen Maximalwerte jedoch nie überschritten werden.

Frequenz f/MHz	Dielektrizitätszahl ϵ_r	Leitfähigkeit σ /(S/m)
300	45	0,85
450	44	0,88
900	42	0,99
1 450	41	1,20
1 800	40	1,38
2 450	39	1,84
3 000	39	2,40

Tab. 3 Elektrische Eigenschaften der gewebesimulierenden Flüssigkeit

3. SAR-Messkopf ESM-120

Der SAR-Messkopf ESM-120 ersetzt keine normgerechte SAR-Messung für Handys. Er ist vielmehr als Demonstrationsmodell gedacht, um verschiedene Einflussgrößen bei realer Handynutzung für die SAR zu veranschaulichen und quantitativ zu erfassen.

Aufgrund des aufwendigen dreidimensionalen Abtastverfahrens dauert eine SAR-Messung nach EN 50361 für eine einzelne Handy-Position bei einer Frequenz mehr als 15 Minuten. Messungen mit zeitabhängigen Einflussparametern sind so also nicht wirtschaftlich durchführbar. Um auch den zeitlichen Verlauf und verschiedene Handhabungsoptionen von Handys untersuchen zu können, besitzt der SAR-Messkopf ESM-120 eine **fest eingebaute Sonde**, die so positioniert und kalibriert ist, dass sie direkt den über 1 g gemittelten SAR-Wert misst, der physikalisch bedingt im homogenen Phantom-Modell nahe der Oberfläche maximal wird (eine Erweiterung auf die 10-g-Teilkörper-SAR ist geplant).

Der **Messpunkt** ist auf dem Phantom markiert. Bewegt man nun das zu untersuchende Handy (bei konstanter Sendeleistung) an diesem Messpunkt vorbei, so lässt sich leicht die Handy-Position finden, für die der SAR-Wert maximal wird. Um diese Maximumsuche einfach durchführen zu können, ist der SAR-Messkopf ESM-120 als Phantom-Modell mit Kugelsymmetrie aufgebaut. Dies bedeutet keine Einschränkung für die Aussagekraft des Messwertes. Wie Simulationsrechnungen gezeigt haben, ist die Oberflächengeometrie nur von untergeordneter Bedeutung für den maximalen Teilkörper-SAR-Wert.

Die Elektronik des Messkopfes erkennt die Frequenz des einfallenden elektromagnetischen Feldes, soweit sie zum GSM900-, GSM1800- oder UMTS-Band gehört, und wählt automatisch den richtigen Kalibrierfaktor aus, um eine direkte SAR-Anzeige zu ermöglichen. (Für andere Frequenzbänder müssen eventuell neue Kalibrierfaktoren ermittelt werden.)



Bild 2 Versuchsaufbau mit SAR-Messkopf EMS-120

Der SAR-Messkopf ESM-120 wurde vor allem zur Untersuchung folgender Zusammenhänge entwickelt:

- In welchem Bereich des Handys findet die stärkste Abstrahlung statt?
- Wie hängt die Absorption vom Abstand zwischen Antenne und Kopf ab?
- Wie ändert sich die SAR während eines Gespräches?
- Welchen Einfluss haben die Umgebung und insbesondere die Hand auf die SAR?
- Wie wirkt sich die dynamische Leistungsregelung auf die SAR aus?
- Welche Streuungen der SAR gibt es innerhalb einer Produktionsserie?

4. Praktische Versuche mit dem SAR-Messkopf ESM-120

4.0. Vorbemerkungen

Bevor man eigene Untersuchungen mit dem SAR-Messkopf startet, muss man folgende Voraussetzungen und Randbedingungen kennen:

- Sendebetrieb des Handys

Für die Durchführung einer normgerechten SAR-Messung ist ein **Basisstationssimulator** erforderlich, mit dem das zu testende Handy eine Funkverbindung aufbauen kann. Das Handy darf sich nicht in ein öffentliches Netz einbuchen, da es dann von diesem Netz aus gesteuert würde. Der Basisstationssimulator ermöglicht es, das Handy in einen definierten Sendezustand mit Abgabe der maximalen Sendeleistung zu steuern. Da für die hier vorgesehenen einfachen Versuche in der Regel ein solcher teurer Basisstationssimulator nicht zur Verfügung steht, muss ersatzweise eine **Funkverbindung in einem öffentlichen Netz** aufgebaut werden. Es empfiehlt sich hier eine (kostenlose) Service-Verbindung zu nutzen (bei D1: 2202, bei D2: 1212, bei O2: 55222, bei E plus: 1000 bzw. 1155). Um einen durchgehenden Sendebetrieb des Handys sicherzustellen, ist zudem die Schallquelle zu aktivieren.

- Dynamische Leistungsregelung in Mobilfunknetzen

GSM- und UMTS-Mobiltelefone passen ihre Ausgangsleistung an die **Qualität der lokalen Funkversorgung** an. Dabei gilt: Eine gute Netzversorgung (4 bis 5 Feldstärkebalken am Display sichtbar) führt zu einer geringen Sendeleistung des Handys, bei schlechter Netzversorgung wird die Sendeleistung bis zur maximalen Leistung hochgeregelt. Das GSM-Handy regelt in einem Dynamikbereich von bis zu 30 dB (Faktor 1000). Die minimale Sendeleistung liegt bei etwa 1 Milliwatt, die höchste bei 2 Watt im GSM900-Frequenzband, bzw. 1 Watt im GSM1800-Frequenzband. UMTS-Handys besitzen einen Regelbereich bis 80 dB (1: 100.000.000).

DECT-Telefone besitzen **keine Leistungsregelung**. Sie senden Pulse mit konstanter Leistung von 250 Milliwatt bei einer zeitgemittelten Leistung von 10 mW. Dabei sendet die Basisstation kontinuierlich, das Mobiltelefon nur bei Anruf. Schnurlostelefone im CT1-Standard senden ein sinusförmiges **Dauerstrichsignal** (cw-Signal) aus.

- Sprechpausen

Während der Sprechpausen geht das GSM-Telefon in den **Sendemodus DTX** (Discontinuous Transmission Mode). Dieser Modus benutzt im Gegensatz zum normalen Sendemodus (Impulsfolge 217Hz, **Bild 3a, 3b**) eine Mischung aus 8 Hz und 2 Hz-Pulsfolgen, was im Mittel einer erheblichen Reduzierung der mittleren Sendeleistung entspricht (**Bild 3c**).

Um in den Versuchen den DTX-Modus zu unterbinden, muss entweder der Hintergrund-Geräuschpegel sehr hoch sein oder der interne Schallgeber eingeschaltet werden. Andererseits kann die Auswirkung des DTX-Modus bei den Messungen mit dem Testkopf durch gezielte Sprechpausen (bei geringem Hintergrundpegel) demonstriert werden.

- Spitzenwertanzeige

Die Messelektronik besitzt eine **Spitzenwertanzeige**, die gleichzeitig mit der Mittelwertanzeige am Bildschirm sichtbar gemacht werden kann. Somit sind simultan beide Werte darstellbar. Spitzenwert und Mittelwert unterscheiden sich beim GSM-Handy um dem Faktor 8 (wegen des Puls-Pausen-Verhältnisses von 1:8). Bei DECT ergibt sich ein Faktor von 24.

- Technische Daten der Mobilfunknetze

Die technische Daten von öffentlichen Mobilfunknetzen und Schnurlostelefonen sind in den **Tab. 4** und **5** zusammengestellt.

- Messort

Der **Messort am linken Ohr** des Testkopfes ist gekennzeichnet. Das Mobilgerät wird üblicherweise so gehalten, dass es sich mit seiner Antenne über dem gekennzeichneten Messpunkt befindet. Die Lage kann variiert werden, um den Ort mit der höchsten SAR zu finden. Manchmal befindet sich dieser auch etwa in der Mitte des Mobilgerätes über der Tastatur.

	GSM 900 (D-Netze)		GSM 1800 (E-Netze)		UMTS – FDD ¹⁾	
	Mobiltelefon	Basisstation	Mobiltelefon	Basisstation	Mobiltelefon	Basisstation
Frequenz in MHz	890-915	935-960	1710-1785	1805-1880	1920-1980	2110-2170
Zahl Frequenzkanäle	125		375		12	
Bandbreite	200 kHz		200 kHz		5 MHz	
Max. Sendeleistung im Mittel im Puls	0,25 W 2 W	10 W 10 W	0,125 W 1 W	10 W 10 W	0,125 W	20 W
Leistungsregelung	28 dB	30 dB	30 dB	30 dB	80 dB	25 dB
Regel- geschwindigkeit	2 dB/ 60ms	2 dB/ 60ms	2 dB/ 60ms	2 dB/ 60ms	1-3dB/ 0,667ms	1-3dB/ 0,667ms
Zeitraumen	4,615 ms		4,615 ms			
Pulsdauer	0,577 ms (217 Hz)		0,577 ms (217 Hz)		nicht gepulst	nicht gepulst

¹⁾ Die UMTS-Netze, die zur Zeit in Deutschland aufgebaut werden, arbeiten nach dem FDD- (Frequency Division Duplex) Modus, d. h. Aufwärts- und Abwärtsstrecke belegen unterschiedliche Frequenzbänder. Für spätere kleinzellige UMTS-Netze kann auch ein TDD- (Time Division Duplex) Modus eingesetzt werden, bei dem Aufwärts- und Abwärtsstrecke unterschiedliche Zeitschlitze in dem gleichen Frequenzband belegen. Im Gegensatz zu FDD wäre ein TDD-Signal gepulst.

Tab. 4 Technische Daten von öffentlichen Mobilfunknetzen

	DECT (TDD)		CT1+	
	Mobiltelefon	Basisstation	Mobiltelefon	Basisstation
Frequenz in MHz	1880-1900		885-887	930-932
Kanalzahl	120		80	
Bandbreite	1,73 MHz		25 kHz	
Sendeleistung	10 mW (im Mittel) 250 mW (Puls)		10 mW (Dauerstrich)	
Leistungsregelung	keine		keine	
Zeitraumen	10 ms			
Pulsdauer	0,368 ms (100 Hz)		nicht gepulst	

Tab. 5 Technische Daten von Schnurlostelefonen

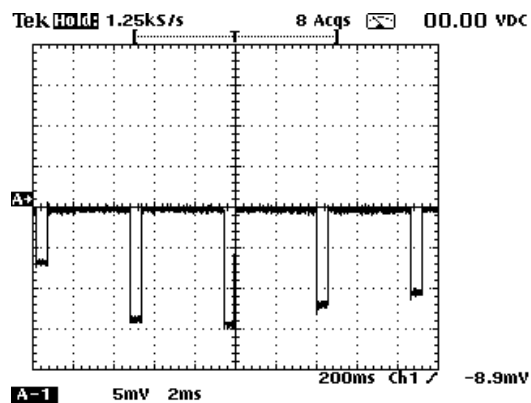


Bild 3a: Signalverlauf eines GSM-Handy-Signals mit 2-ms-Auflösung für ein Kästchen auf der (horizontalen) Zeitachse. Der Abstand der Pulsfolge entspricht einer Frequenz von 217 Hz.

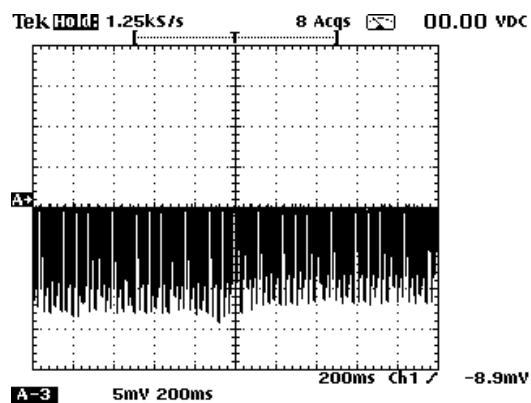


Bild 3b: Signalverlauf eines GSM-Handy-Signals mit 200-ms-Auflösung für ein Kästchen auf der (horizontalen) Zeitachse

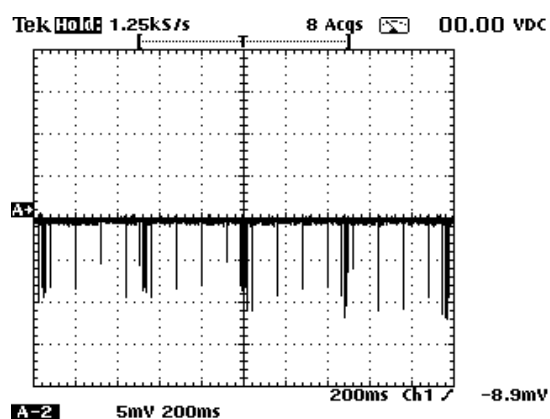


Bild 3c: Signalverlauf für ein GSM-Handy im DTX-Modus (Sprechpause) mit 200-ms-Auflösung für ein Kästchen auf der Zeitachse (Das Signal enthält 8-Hz- und 2-Hz-Frequenzkomponenten.)

4.1. Versuch 1: Suche des Handy-Bereiches mit maximaler Abstrahlung

Es werden eine Service-Verbindung aufgebaut und die Schallquelle aktiviert. Das Handy wird außen am Messpunkt des Messkopfes vorbeigeführt. Beobachtet man dabei die Anzeige des SAR-Wertes, so lässt sich der Bereich des Handys identifizieren, der eine maximale Absorption im Nutzerkopf verursacht.

Fragen: Wo liegen die Bereiche für maximale Absorption im Nutzer bei verschiedenen Handys? Liegen diese Bereiche in der Nähe der Antenne? Gibt es Unterschiede im GSM900- und GSM1800-Frequenzband?

Zusatzversuch: Das Handy wird langsam von der Kugeloberfläche weg bewegt oder verkippt. Dabei wird die SAR-Anzeige beobachtet.

Hinweis: Die höchste SAR muss nicht unbedingt im Bereich der Antenne liegen. Der Schaltungsaufbau wirkt als Gegengewicht für die Antenne. Ein „hot spot“ kann an verschiedenen Stellen auftreten. Oft tritt die höchste SAR im Bereich der Tastatur auf.

4.2. Versuch 2: Ortsbezogene Messung der SAR

Der Messkopf wird an verschiedene Aufenthaltsorte mit unterschiedlicher Qualität des Mobilfunknetzes gebracht. Es wird eine Service-Verbindung aufgebaut und die Schallquelle zur Aussteuerung des Sendebetriebs aktiviert. Mögliche Aufenthaltsorte zur SAR-Bestimmung, bei denen unterschiedliche Werte zu erwarten sind, können sein:

- im Freien,
- in Fensternähe,
- in Raummitte,
- in der Tiefe des Gebäudes,
- in der Tiefgarage/Keller/U-Bahnschacht,
- im Auto, in der Eisenbahn.

Es wird eine Service-Nummer gewählt und das Mobiltelefon in Normalposition an den Kopf (markierter Bezugspunkt) gehalten. Dabei kann man den Verbindungsaufbau verfolgen.

Nach einer kurzen Phase mit voller Sendeleistung regelt das Gerät die Leistung stufenweise herunter (**Bilder 4** und **5**) und zwar um so weiter, je besser die Verbindungsqualität ist. Die maximale SAR kann somit in keinem Fall (auch nicht bei sehr schlechter Netzqualität) überschritten werden.

Vor der SAR-Messung wird an dem vorgesehenen Messort die Feldstärkeanzeige am Handy-Display bei gleicher Ausrichtung des Handys, jedoch ohne Messkopf beobachtet.

Erwartetes Ergebnis: Je höher die Feldstärke, desto geringer der SAR-Wert beim Telefonieren.

Zusatzversuch: Der Kopf wird um seine Achse gedreht, um Abschattungen durch den Schädel zu demonstrieren.

Zusatzversuch: Das Handy wird in seiner Lage verändert, indem es einmal mehr vertikal oder mehr horizontal gehalten wird, um den Einfluss der Polarisationsrichtung zu testen. Auf Grund von Beugung und Reflexionen in der Umgebung sind die Polarisationsrichtungen in Gebäuden häufig annähernd gleich verteilt.

Zusatzversuch: Das Handy wird einmal so gehalten, dass die Rückseite möglichst frei ist (freie Abstrahlbedingung für die Antenne) und einmal so, dass die Antenne mit den Fingern / der Hand abgedeckt ist.

Fragen: Welche Veränderungen der SAR sind zu beobachten? Wie lässt sich das Verhalten erklären?

Hinweis: Typische Messwerte für die SAR finden sich in **Tab. 6** und **Bild 5**, wobei die maximale SAR für das jeweilige Handy vom Hersteller vorgegeben wird (www.handywerte.de oder www.mmfa.org).

4.3. Versuch 3: Reduzierung der Sendeleistung in Gesprächspausen

Der Schallgeber wird ausgeschaltet und eine **Gesprächspause** simuliert. Während der Gesprächspause sollte die Sendeleistung des Mobilgerätes und damit die SAR stark zurückgehen, wenn keine Nebengeräusche vorhanden sind. (Vergleiche obige Erläuterungen zum DTX-Modus.) (**Bild 4**)

4.4. Versuch 4: SAR im Standby-Betrieb

Das eingeschaltete, empfangsbereite Handy wird an den Testkopf gehalten, ohne eine Verbindung aufzubauen. Die SAR ist gleich **Null**, da das Handy nur die Basisstation empfängt und von sich aus nicht sendet. **Ausnahme:** In größeren Zeitabständen (ca. alle 30 Minuten bis 4 Stunden je nach Netzbetreiber) oder bei Zellenwechsel (Handover) geht die Sendeleistung für einige Sekunden auf den Maximalwert um einen Code bei der Basisstation abzusetzen.

Aufenthalt	typischer Teilkörper-SAR-Wert (gemittelt über 10 g) in W/kg	
im Freien	Stadt	0,01
	Land	0,5
in Gebäuden	am Fenster	0,05
	im Innern	0,5
	Tiefgarage	1 *)
im Auto	Stadt	0,1
	Land	1 *)
Zum Vergleich: Basisstation in 30 m Entfernung (Hauptkeule)	0,001	

*) Leistung Mobiltelefon voll ausgeregelt

Tab. 6 Typische SAR-Werte beim Telefonieren in verschiedenen Umgebungssituationen

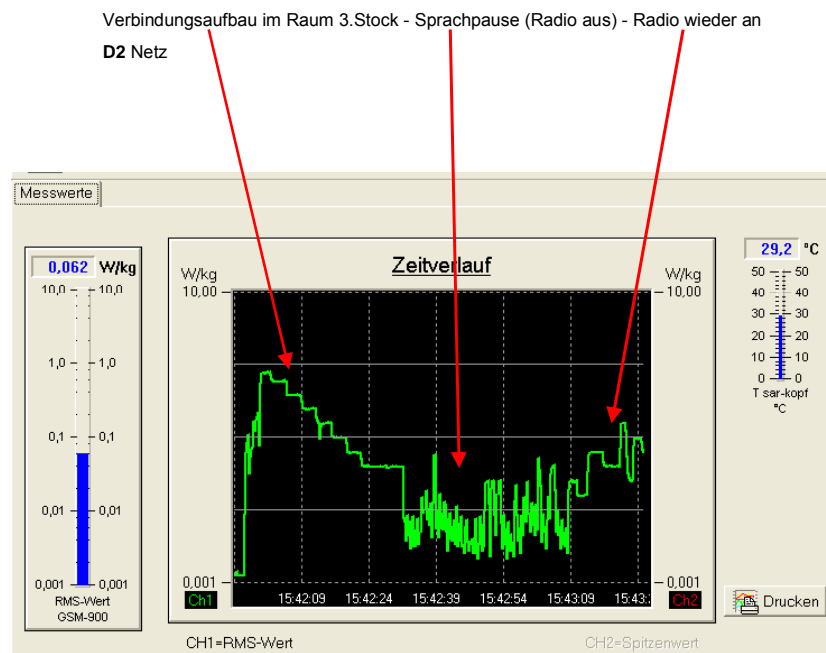


Bild 4: Zeitverlauf der SAR während eines Gesprächsaufbaus und einer Sprechpause

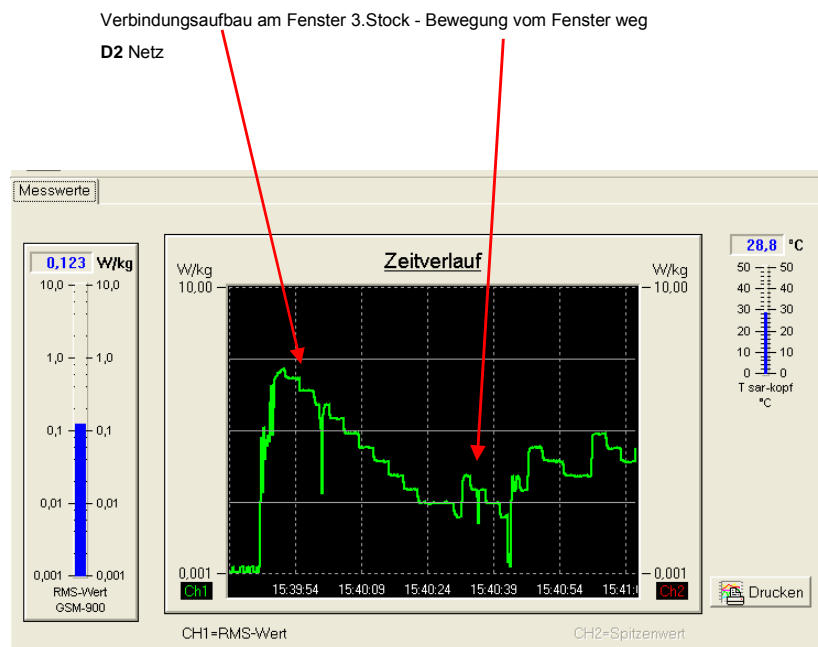


Bild 5: Beispiel für den zeitlichen Verlauf der SAR bei einem Gesprächsaufbau in Fensternähe und anschließender Bewegung in die Raummitte

4.5. Versuch 5: Dynamische Leistungsregelung im GSM- bzw. UMTS-Netz

Wählt man sich in das Mobilfunknetz ein und hält das Mobilgerät sofort an den Messkopf, so kann man verfolgen, wie sich das Handy mit voller Leistung bei der Basisstation einbucht. Ist die Verbindung gut, regelt das Handy seine Sendeleistung in 2-dB-Stufen herunter. Die **Regelbefehle** kommen dabei von der Basisstation in der Regel in 60 Millisekunden Abstand. Der Endpegel wird relativ schnell erreicht. Andere Netze haben ggf. abweichende Regelcharakteristiken (**Bilder 4** und **5**).

Hinweise:

Bei ungünstigen Empfangsbedingungen besteht kaum Spielraum für den **Regelvorgang**. Defekte Handys (z. B. mit unterbrochener Antennenverbindung) zeigen keinen Regelvorgang und senden immer mit der vollen verfügbaren Leistung.

An einigen Mobiltelefonen kann man beobachten, dass die Sendeleistung schon bei der Anzeige von 3 Feldstärkebalken auf dem Display voll ausgeregelt war. Um einen Gewinn (SAR-Reduzierung) aus der Leistungsregelung zu erzielen, müssen je nach Typ des Telefons 4 bis 5 Feldstärkebalken auf dem Display sichtbar sein.

Bei Überlastung einer Basisstation versucht sich das Handy bei der nächsten Station einzubuchen. Die Sendeleistung und die SAR steigen damit in der Regel an.

Im Gegensatz zu GSM-Handys buchen sich UMTS-Handys nicht mit der höchsten Sendeleistung in das Netz ein, sondern regeln die Leistung von niedrigen Werten her soweit hoch, bis die Verbindungsqualität ausreichend ist. Während des Sendebetriebs regeln sie die Leistung zur Minimierung des allgemeinen Störpegels wesentlich schneller als GSM-Handys (1500 Regelschritte pro Sekunde).

Unterschiedliche Mobilfunknetze können verschiedene Regelcharakteristiken (Höhe und Zeit pro Regelstufe) aufweisen.

4.6. Versuch 6: Einfluss von Handhabung und Headset

Technischer Hintergrund:

Die Hand in der Nähe vermindert zwangsläufig die effektive Abstrahlleistung des Handys, weil sie Hochfrequenz-Energie absorbiert. Wird die Antenne teilweise abgedeckt, kann die für die Verbindung zur Basisstation zur Verfügung stehende Hochfrequenz-Leistung erheblich zurückgehen (5 bis 10 dB können bei integrierten Antennen beobachtet werden). Die **Bilder 6** und **7** zeigen Ergebnisse von Simulationsrechnungen für das Abstrahlverhalten von Handy-Antennen ohne und mit Hand.

Gleiches gilt für die Empfangsleistung. Um dies zu kompensieren, regelt die Basisstation ihre Leistung hoch. Auch das Mobiltelefon müsste bei Bedämpfung der Antenne eigentlich hoch regeln, um die verminderte Ausgangsleistung zu kompensieren. Das tut es jedoch nur bis zu einem gewissen Grad. Wird durch die Bedämpfung mit dem Finger die Anpassung der Antenne an die Verstärker-Endstufe so verschlechtert, dass das Stehwellenverhältnis (SWR – standing wave ratio) auf der Antennenzuleitung unzulässig ansteigt, setzt die **SWR-Regelung der Endstufe** ein. Zum Schutz vor Überlastung von Endstufe und Akku wird die Sendeleistung dann begrenzt. Dies ist der Grund dafür, dass man normalerweise ein Abnehmen der SAR beobachtet, sobald man die Antenne mit der Hand oder dem Finger bedeckt.

Tatsache bleibt jedoch, dass eine unsachgemäße Handhaltung des Mobiltelefons die Sendeleistung der Basisstation erhöht. In der Summe kann dies einen **erheblichen Beitrag am Gesamt-HF-Leistungspegel des Mobilfunknetzes** ausmachen! Berechnungen zeigen, dass allein der Einfluss der Antennenabdeckung mit dem Finger eine Verdopplung der Strahlungsleistungsdichte im Umfeld der Basisstationen ergeben kann. Eine teilweise oder sogar vollständige Abdeckung der Antenne mit den Fingern bzw. der Hand ist bei vielen Nutzern zu beobachten, insbesondere wenn es sich um eine integrierte Antenne handelt.

Parametrisches Handmodell mit 1800 MHz Mobiltelefon

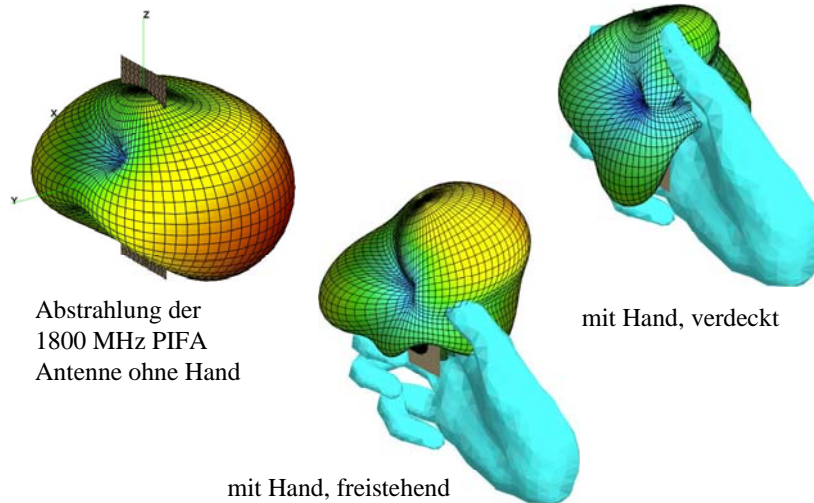


Bild 6: Strahlungscharakteristik einer integrierten Handy-Antenne (PIFA) ohne bzw. mit einer Hand in der Nähe (Simulationsergebnisse des Programmes FEKO, www.emss.de)

Parametrisches Handmodell mit 1800 MHz Mobiltelefon

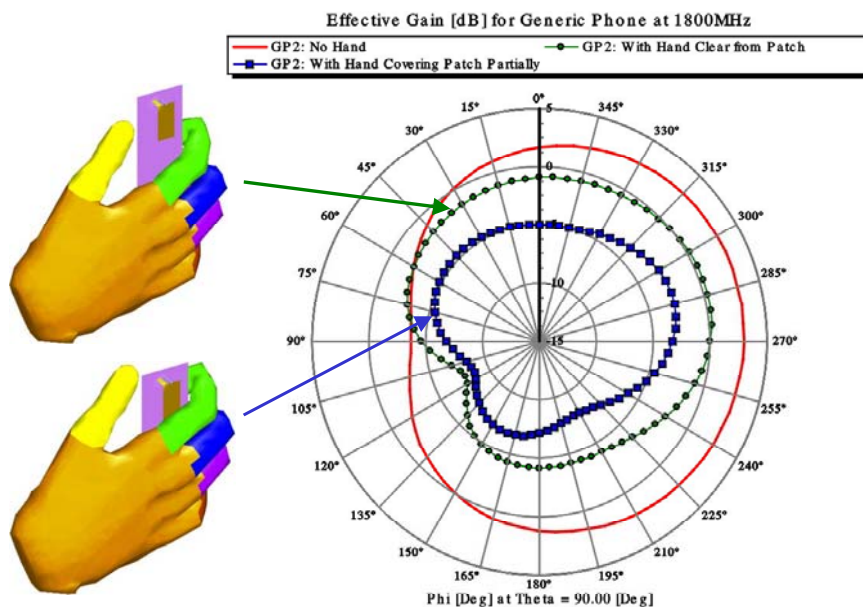


Bild 7: Antennencharakteristik einer integrierten Handy-Antenne (PIFA) ohne und mit Handeinfluss (Simulationsrechnung mit dem Programm FEKO, www.emss.de)

Versuchsdurchführung:

Zunächst wird die Verbindung aufgebaut und die Schallquelle eingeschaltet. Dann sind folgende Situationen zu vergleichen:

- Das Handy wird mit einem isolierenden Stativ an den Kunstkopf gehalten und die SAR bestimmt.
- Das Handy wird mit der Hand (Antenne nicht abgedeckt) an den Kunstkopf gehalten: Die SAR geht leicht zurück.
- Das Handy wird mit teilweise oder ganz abgedeckter Antenne an den Messkopf gehalten: Die SAR geht erheblich zurück. Die Endstufe regelt den Abstrahlungsverlust nicht aus.

Zusatzversuche mit Headset:

- Ein Headset mit Kabelanschluss wird anstatt des Mobiltelefons an den Messpunkt (Ohr) gehalten. Die SAR reduziert sich um bis zu 90 %. Das Verbindungskabel des Headsets darf keine HF-Leistung abstrahlen (Kabel an den Messpunkt halten, Telefon möglichst weit vom Messpunkt entfernen).
- Ein **Funk-Headset** besitzt selbst nur eine Sendeleistung von wenigen Milliwatt. Der SAR-Beitrag des **Headsets** ist gegenüber dem Mobiltelefon im Regelfall vernachlässigbar.

4.7. Versuch 7: Messungen an einer DECT-Basisstation

Der Messkopf ESM-120 wird in die Nähe der **DECT-Basisstation** gebracht, wobei der Messpunkt der Strahlungsquelle zugewandt ist. Der Ort der höchsten SAR kann ermittelt werden.

Hinweis: Der Teilkörper-SAR-Wert, der von einer **GSM- oder UMTS-Basisstation** an Aufenthaltsorten von Anwohnern erzeugt wird (Abstand >30 m), liegt üblicherweise unter 0,001 Watt/kg und ist mit dieser Einrichtung nicht messbar. **Messungen im Nahbereich von Mobilfunkbasisstationen dürfen nur von Fachpersonal unter Beachtungen der arbeitsschutzrechtlichen Bestimmungen durchgeführt werden!**

4.8. Versuch 8: Mobilfunk im Auto

Im Auto ist gesetzlich eine Freisprecheinrichtung vorgeschrieben, wenn der Fahrer während der Fahrt bzw. bei laufendem Motor telefonieren will. Zu dieser gehört normalerweise auch eine Außenantenne. Wird in einem Auto von einem Mitfahrer ein Mobiltelefon direkt benutzt, so ist die Situation vergleichbar mit dem Telefonieren in einem Gebäude. Das Mobiltelefon regelt seine Sendeleistung nach der dort vorgefundenen Übertragungsverhältnissen, wobei die Fenster eines PKWs für Funkwellen mehr oder weniger durchlässig (hohe Dämpfung durch metallisierte Scheiben) sind. Bei guter Netzqualität steigt die SAR im Kopf des Nutzers im Auto nicht so stark an, wie vielfach angenommen wird (siehe **Tab. 6**).

Mit dem SAR-Messkopf können folgende Zusammenhänge untersucht werden:

- Anstieg der SAR beim Telefonat im Auto im Vergleich zu den Bedingungen im Freien,
- Auswirkung der Außenantenne auf die SAR,
- Auswirkung von Fensterantennen auf die SAR,
- Auswirkung der Empfangssituation (Stadt, Land, Tunnel) auf die SAR,
- Auswirkung von metallisierten Wärmeschutz-Scheiben.

5. Hinweise für den Verbraucherschutz

Es existieren umfassende internationale **Richtlinien zur Gewährleistung der Sicherheit im Mobilfunk**. Die darin angegebenen Grenzwerte schließen eine beträchtliche Sicherheitsmarge ein, die darauf ausgerichtet ist, die Sicherheit aller Personen unabhängig von Alter und Gesundheitszustand zu gewährleisten. Basierend auf wissenschaftlichen Untersuchungsergebnissen haben die Weltgesundheitsorganisation, die Internationale Kommission für nichtionisierende Strahlung (ICNIRP), die Europäische Kommission und andere national und international agierende Organisationen den Grenzwert für den Teilkörper-SAR-Wert auf 2 W/kg erkannt.

In Europa tragen alle Mobiltelefone das „**CE-Zeichen**“, durch das vom Hersteller zugesichert wird, dass alle relevanten Richtlinien und regulatorischen Anforderungen – also auch die Grenzwertfestlegung der EU-Ratsempfehlung von 2 W/kg – eingehalten werden. Die im Mobile Manufacturers Forum (MMF) organisierten Hersteller von Mobiltelefonen dokumentieren darüber hinaus den normgerecht gemessenen SAR-Wert in der Betriebsanleitung und im Internet.

Bei der Bewertung des nach Norm gemessenen SAR-Wertes ist zu berücksichtigen, dass es sich um den maximal möglichen Wert unter ungünstigen Betriebsbedingungen handelt. Aufgrund der dynamischen Leistungsregelung ist der tatsächliche SAR-Wert im realen Betrieb in der Regel wesentlich niedriger. Für den **praxisrelevanten SAR-Wert** sind neben der Netzqualität vor allem auch die Sendeeigenschaften des Handys von Bedeutung. Ein Handy, dessen maximale Sendeleistung im oberen Toleranzbereich liegt, hat naturgemäß einen höheren „Norm-SAR-Wert“ als ein Handy mit einer niedrigeren Sendeleistung, kann aber gleichzeitig im realen Betrieb durch optimierte funktechnische Eigenschaften einen deutlich niedrigeren „Gebrauchs-SAR-Wert“ haben.

Von Verbraucherverbänden sowie von politischer Seite wurde wiederholt ein **Qualitätssiegel** gefordert, durch das Handys ausgezeichnet werden sollen, deren „Norm-SAR-Wert“ unter 0,8 W/kg (TCO01-Label) bzw. 0,6 W/kg (Blauer Engel) liegt (**Tab. 7**). Die Hersteller von Mobiltelefonen lehnen eine derartige Klassifizierung mit der Begründung ab, dass alle Handys mit CE-Zeichen gesundheitlich unbedenklich sind und zudem der Norm-SAR-Wert

Verbraucher-Kriterien



Industrie: Angabe des max. SAR-Wertes (www.handywerte.de
oder mmfai.org)

CE-Zeichen: Einhaltung der Grenzwerte



Blauer Engel:
Begrenzung SAR-Wert < 0,6 Watt/kg



TCO01:
Begrenzung SAR-Wert < 0,8 Watt/kg +
effektive Strahlungsleistung > 0,3 W



Strahlungsfaktor:
SAR-Wert/effektive Strahlungsleistung

Tab. 7 Kennzeichnung der SAR-Werte von Handys

nur begrenzt geeignet ist, die tatsächliche Absorption im Betrieb zu beschreiben.

Die Zeitschrift connect hat ein eigenes Vergleichskriterium für Handys entwickelt, den **Strahlungsfaktor**, der den Quotienten aus Norm-SAR-Wert und abgestrahlter Leistung angibt, also in einem gewissen Maß die realen Betriebsbedingungen mit berücksichtigt.

Für den Verbraucher ist es wichtig zu wissen, dass alle Handys, die das CE-Zeichen tragen, nach dem wissenschaftlichen Erkenntnisstand ohne gesundheitliches Risiko benutzt werden können. Darüber hinaus kann er die Absorption der Hochfrequenzfelder im Kopf bei der Handy-Nutzung durch bewussten Umgang minimieren:

- vorzugsweise an Orten mit guter Netzversorgung telefonieren,
- Antenne nicht mit Hand abdecken,
- Verwendung eines Headsets.

Weitere Informationen findet man auch unter folgenden Internetadressen:

www.mobilfunk.bayern.de

www.bgf.de

www.fz-juelich.de/mut

www.ralf-woelfle.de

www.lfas.bayern.de

www.maschek.de

www.connect.de

www.handywerte.de

www.mmfai.org

www.emss.de

Literatur

- (1) Joe Wiart et al.: Analysis of the Influence of the Power Control and Discontinuous Transmission on RF Exposure with GSM Mobile Phones, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 42, Nr. 4, Nov. 2000, pp. 376 – 385
- (2) Achim Bahr: Nahfeld-Untersuchungen innerhalb von Kraftfahrzeugen, Funkschau 25/98 S. 80 – 81
- (3) Volker Hombach et al.: The Dependence of EM Energy Absorption Upon Human Head Modelling at 900 MHz, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 44 No. 10, Oct. 1996, pp. 1865 – 1873
- (4) Frank Schönborn, M. Burkhardt, N. Kuster: Differences in Energy Absorption between Heads of Adults and Children in the Near Field of Sources, Health Physics, 74(2), 1988, pp. 160-168
- (5) DIN EN 50361, Juni 2002: Grundnorm zur Messung der Spezifischen Absorptionsrate (SAR) in Bezug auf die Sicherheit von Personen in elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen (300 MHz bis 3 GHz)
- (6) DIN EN 50383, Sept. 2002: Grundnorm für die Berechnung und Messung der Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern durch Mobilfunk-Basisstationen und stationären Teilnehmergeräten von schnurlosen Telekommunikationsanlagen (110 MHz bis 40 GHz)