Johann-Andreas-Schmeller-Gymnasium
Nabburg **Abiturjahrgang 2007**

Facharbeit

aus dem Fach

Physik

Thema:

Messung von Mobilfunkstrahlung

Verfasser: Regina Spichtinger **Leistungskurs:** Physik

Abgabetermin: 22.12.2006 **Zurückgegeben am:** _____

Ergebnisse: **schriftlich:** _____ **Punkte** **Mündliche Prüfung:** _____ **Punkte**

Gesamtergebnis: **Punkte:** _____ **Note:** _____ **in Worten:** _____

_____
Günther Schuster **(Kursleiter)**

Gliederung

1. Einleitung **3**
2. Grundlagen **3**
2.1 Mobilfunk **3**
2.2 Hochfrequente elektromagnetische Felder **4**
2.3 ICNIRP **5**
3. Funktionsweise des Mobilfunks **6**
4. Die Anfänge der Mobilfunknetze **9**
5. Die modernen Mobilfunknetze **9**
6. Grenzwerte für elektromagn. Strahlung und ihre Festlegung **11**
7. Die Wechselwirkung des Mobilfunks mit empfindlichen medizinischen Geräten **12**
8. Messungen mit dem SAR-Messkopf **13**
8.1 Funktionsweise des Messkopfes **13**
8.2 Messung der Mobilfunkstrahlung **14**
8.2.1 Mobilfunkstrahlung bei unterschiedlichem Empfang 14
8.2.2 Mobilfunkstrahlung in der Nähe einer Basisstation 18
8.2.3 Mobilfunkstrahlung bei verschiedenen Abständen 20
8.2.4 Mobilfunkstrahlung für verschiedene Abschirmmaterialien 20
8.2.5 Mobilfunkstrahlung von unterschiedlichen Handys 26
9. Tipps zur Strahlungsminimierung **27**
9.1 Tipps aus Quellen **27**
9.2 Meine Vorschläge **27**
10. Schlusswort **28**
11. Anhang **29**
11.1 Quellenverzeichnis **29**
11.2 Erklärung **30**

Copyright © Regina Spichtinger 2006. All rights reserved.

1. Einleitung

Für die meisten Menschen in Deutschland ist es normal geworden, immer und überall erreichbar zu sein. Derzeit (Aug. 2006) gibt es 82,8 Millionen Mobilfunkanschlüsse in Deutschland[1]. Das sind mehr Anschlüsse als Einwohner. Weltweit nutzt ein Drittel der Bevölkerung den Mobilfunk. Jedes Kind kann sich inzwischen unter dem Wort „Handy“ etwas vorstellen und es bedienen. Die Vorteile des Mobilfunks sind nicht zu übersehen, Kinder rufen ihre Eltern an, wenn sie unterwegs sind oder abgeholt werden möchten. Ebenso können in Notfällen durch ein Handy Leben gerettet werden. Aber viele Menschen werden durch Mobilfunkmasten in ihrer Nähe beunruhigt. Weitere Verunsicherungen schaffen Medien, indem sie Horrormeldungen verbreiten, dass Mobilfunk Krebs fördere. Wie jedoch Mobilfunk funktioniert, wissen die allerwenigsten, so dass die meisten Menschen auf diesem Gebiet leicht beeinflussbar sind.
Um Jugendliche praktisch an diese Thematik heranzuführen, hat das bayerische Landesamt für Umwelt die Aktion „Mobilfunk und Schule“ gestartet. Es verleiht ein Mobilfunk-Messsystem an interessierte Schulen. Damit kann Mobilfunkstrahlung in Echtzeit gemessen werden. Dieses Angebot habe ich genutzt um die folgende Facharbeit zu erstellen.

2. Grundlagen

2.1 Mobilfunk

Ein Mobilfunksystem ist ein System zur Übertragung von Sprache und Daten zwischen mehreren Personen. Mindestens einer der Teilnehmer ist dabei mobil und kann sich frei ohne einen festen Anschlusspunkt im gesamten Netz bewegen. Die Übertragung erfolgt drahtlos mittels elektromagnetischer Wellen (Funkwellen). [2]

Übersicht der Mobilfunkdienste

für jedermann
- Schnurloses Telefon (CT1+, CT2, DECT)
- Funktelefon (D-, E-Netz, UMTS)
- Funkruf, Paging Systeme (Eurosignal, Cityruf, ERMES, QUIX)
- Bündelfunk (Chekker)
- Mobiler Satellitenfunk (IRIDIUM, INMARSAT)
- WLAN (Wireless Local Area Network)

für einen eingeschränkten Personenkreis
- Betriebsfunk (Chekker)
- BOS-Funk (Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben, z.B. Polizeifunk)
- Funknetz der Deutschen Bahn AG GSM-R (Global System for Mobile Communications - Rail(way))
- Amateurfunk

für Navigation und Ortung
- Seefunk
- Flugfunk

[1] Zahlen aus Quelle 11
[2] Quelle 2, Seite 7

Die meisten Mobilfunksysteme sind erdgebunden. Sie bestehen aus einem System festinstallierter Stationen (Basisstationen, Mobilfunkmasten) und einer Vielzahl mobiler Endgeräte (z.B. Handy, Funkgerät).

Daneben gibt es auch noch satellitengestützte Mobilfunksysteme, die entweder aus wenigen hoch fliegenden geostationären Satelliten (GEO-Systeme wie INMARSAT) oder vielen niedrig fliegenden Satelliten (LEO-Systeme, z.B. IRIDIUM mit 66 Satelliten) bestehen.

2.2 Hochfrequente elektromagnetische Felder

Die Übertragung der Informationen von Handy zu Handy bzw. Festnetztelefon erfolgt über hochfrequente elektromagnetische Wellen. Diese werden von Sendeantennen abgestrahlt und mit Hilfe einer weiteren Antenne empfangen. Elektromagnetische Wellen breiten sich in Luft mit Lichtgeschwindigkeit aus und übertragen dabei Energie und die darin gespeicherten Informationen über große Entfernungen.
Sie bestehen aus einem gegenseitig gekoppelten elektrischen und magnetischen Feld, wobei die Feldrichtungen senkrecht aufeinander stehen (s. Abb.1). Sowohl die elektrische, als auch die magnetische Feldstärke nimmt mit dem Abstand r zur Antenne um 1/r ab. Da die Leistungsflussdichte das Produkt aus beidem ist (S= E·H), nimmt sie mit dem Abstand r um $1/r^2$ ab[4] (vgl. Abb.2).

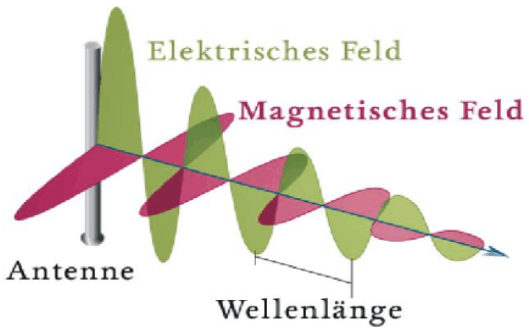


Abb.1: Die elektromagnetische Welle[3]

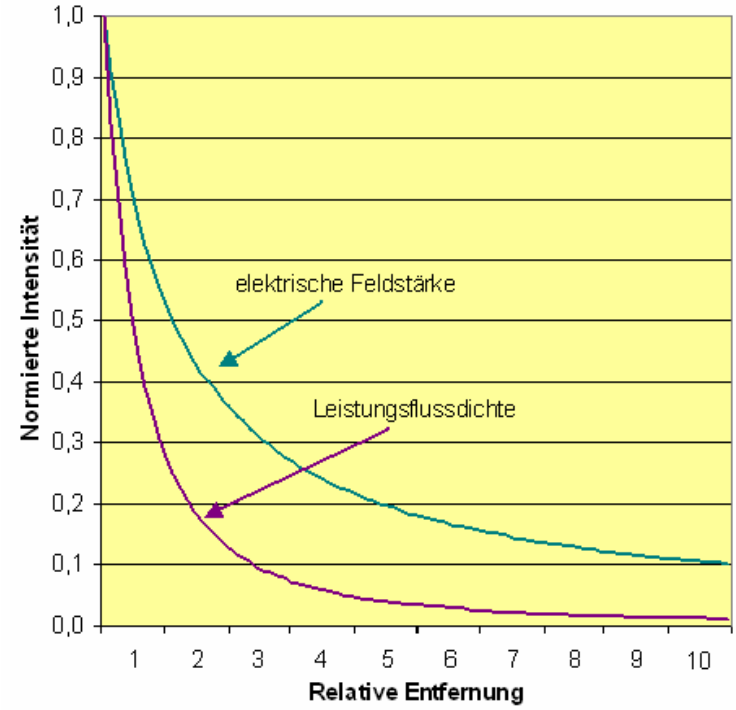


Abb.2: Intensität des elektrischen Feldes und der Leistungsflussdichte in Abhängigkeit vom Abstand zur Sendeantenne [5]

[3] Quelle 10, Folie 4
[4] Quelle 2, Seite 9
[5] nach Quelle 2, Seite 10

Für diese Feldstärken sind Grenzwerte definiert. Für die D-Netz-Frequenzen bei 900 MHZ liegt der Grenzwert bei 41,25 V/m für das elektrische Feld und bei 0,11 A/m für das Magnetfeld. Die Messwerte an einem konkreten Beispiel zeigen, dass die Grenzwerte weit unterschritten werden. Es wurde die elektrische und magnetische Feldstärke einer D-Netz-Basisstation mit einer relativ hohen Sendeleistung von 50 W mit einem Feldstärkemessgerät untersucht. In zwei Meter Entfernung vom Mobilfunksender wird die Hälfte der Grenzwerte ausgeschöpft. Wenn man 500 Meter von der Basisstation entfernt misst, beträgt die elektrische Feldstärke nur noch 0,3 V/m und die magnetische 0,001 A/m.[6]

Eine Besonderheit elektromagnetischer Wellen im Vergleich zu anderen Wellen (z.B. Schallwellen in Luft) ist, dass sie kein Ausbreitungsmedium benötigen, d.h. sie breiten sich auch im Vakuum aus. Charakteristisch für die hochfrequenten Wellen ist ihre Frequenz, die zur Funkübertragung zwischen 30 MHz und 6 GHz liegt.

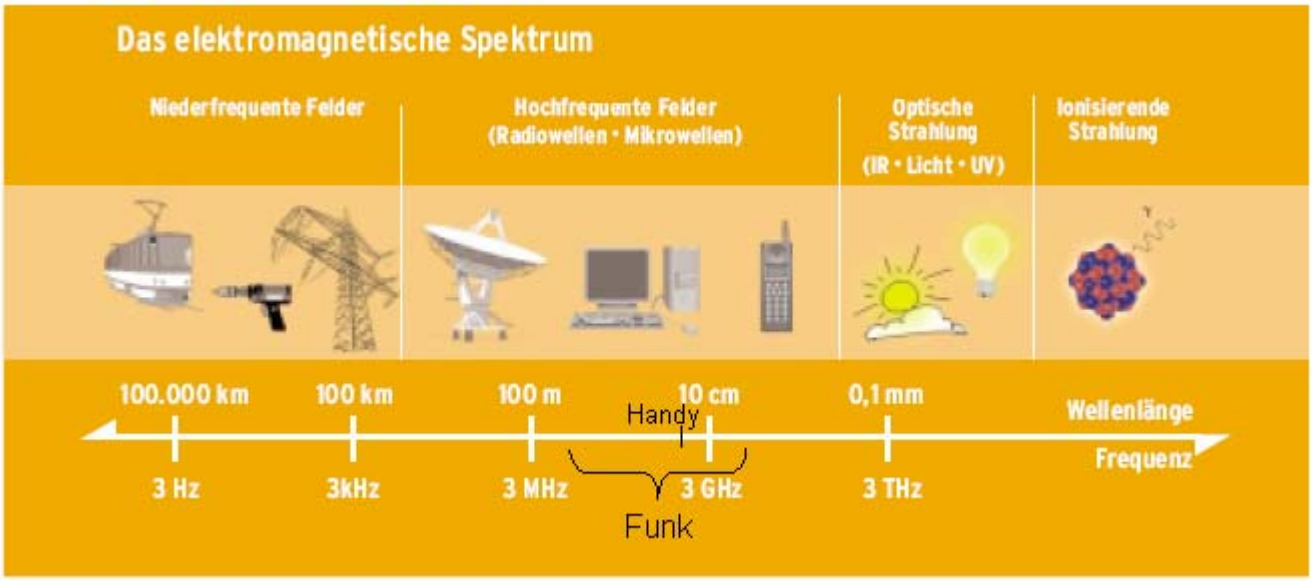


Abb.3: Das elektromagnetische Spektrum [7]

2.3 ICNIRP

ICNIRP steht für “International Commission on Non-Ionising Radiation Protection”, die Internationale Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung. In der jetzigen Form besteht diese Kommission seit 1992. Ihre Mitglieder sind international anerkannte, unabhängige Experten für Fragestellungen aus dem Bereich der nichtionisierenden Strahlung. Die Hauptaufgaben der ICNIRP bestehen in der kontinuierlichen Analyse und gesundheitlichen Bewertung des Kenntnisstandes auf allen Gebieten, die für den Strahlenschutz relevant sind, einschließlich der Analyse der jeweils aktuellen Forschungsergebnisse. Diese Analysen, verbunden mit Empfehlungen, werden regelmäßig veröffentlicht. Ziel ist eine weltweite Harmonisierung der Verfahren und Vorgehensweisen zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung [8].

[6] Quelle 2, Seite 10
[7] Quelle 4, Seite 3
[8] Quelle 7, Seite 21

3. Funktionsweise des Mobilfunks

Ein Mobilfunknetz besteht aus einer Vielzahl sog. Funkzellen, die jeweils von einer ortsfesten Basisstation (=Mobilfunkanlage) versorgt werden (s. Abb.4). Je nach Gesprächsaufkommen haben diese Zellen einen Durchmesser von einigen hundert Metern in Ballungsräumen und bis zu 30 Kilometern auf dem Land. Die Informationsübertragung zwischen Handy und Mobilfunkanlage geschieht über elektromagnetische Wellen (Funk)[9]. Die einzelnen Basisstationen sind sowohl untereinander als auch mit einem zentralen Computer (MSC = mobile switching centre) wie im herkömmlichen Telefonnetz verbunden.

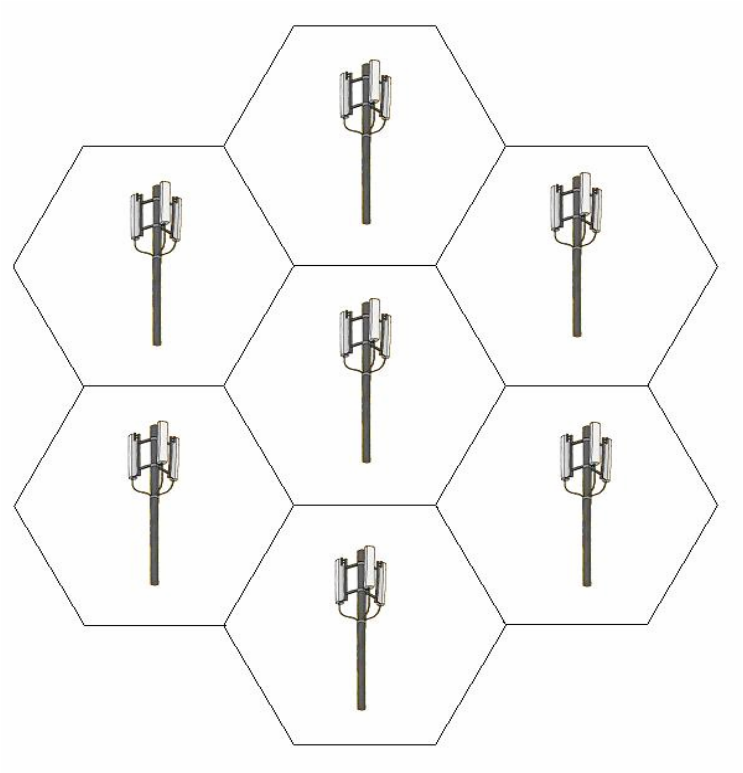


Abb.4: Funkzellen mit jeweils einer Basisstation

Beim Einschalten und bei jedem Funkzellenwechsel meldet sich das Handy mit einer individuellen Kennung bei der Basisstation, die seine Funkzelle versorgt. Diese Daten werden an den zentralen Computer weitergeleitet, sodass dieser den Ort jedes eingeschalteten Handys kennt. [10]

<u>Wie funktioniert ein Telefonat?</u> (vgl. Abb.5)

Ein Mobilfunksignal wird vom Handy als elektromagnetische Welle an die Basisstation der Funkzelle gesendet. Die übermittelten Daten (z.B. Telefonnummer des gewünschten Gesprächspartners) werden entweder über Richtfunk oder über ein Kabel zum nächsten zentralen Computer geleitet. Dieser kennt die Zelle, in der sich der gewünschte Gesprächspartner aufhält, wenn dessen Handy eingeschaltet ist, und sendet die Daten an die entsprechende Basisstation. Diese sendet ein Funksignal an das gewünschte Handy.[11]

[9] Quelle 1, Seite 5
[10] Quelle 2, Seite 12
[11] Quelle 4, Seite 4/5

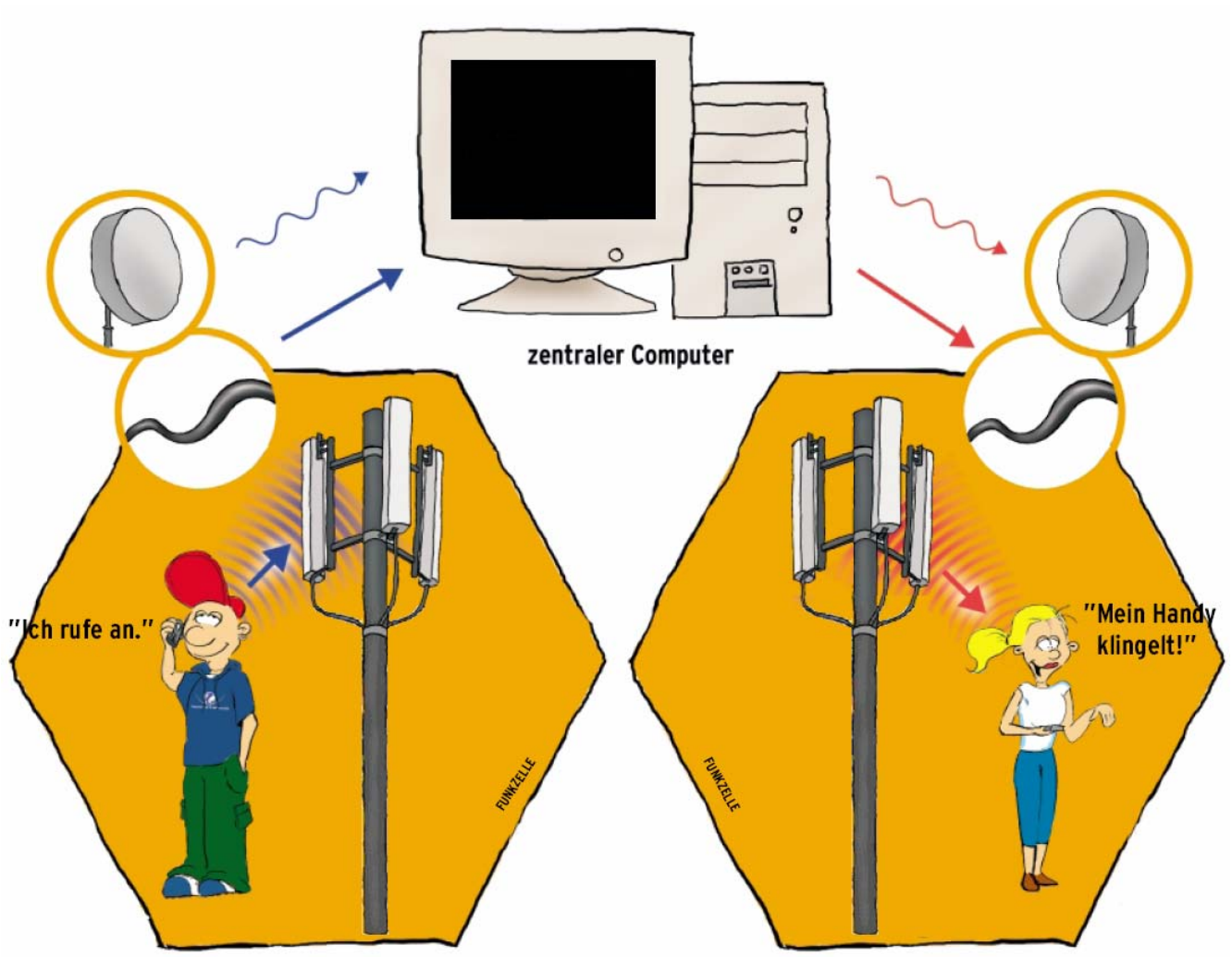


Abb.5: Veranschaulichung der Funktionsweise eines Handygesprächs [12]

Weitere Feinheiten:

Wenn ein Teilnehmer seine ursprüngliche Zelle verlässt, leitet der zentrale Computer das Telefongespräch automatisch zur Basisstation der nächsten Funkzelle weiter, ohne dass eine Unterbrechung stattfindet. [13]

Die Sprache liegt im Niederfrequenzbereich (20 Hz bis 20 kHz) und kann somit nicht direkt übertragen werden, da die Sendeleistung (frequenzabhängig) zu gering wäre und kilometerlange Antennen notwendig wären. Deshalb benutzt man, wie in der Rundfunktechnik üblich, eine hochfrequente elektromagnetische Welle als Träger. Ihre Frequenz oder Amplitude bzw. Phase wird im Rhythmus der Sprache moduliert (s. Abb.6). Früher wurde dies durch analoge Techniken erreicht, jetzt findet dies nur noch digital statt.

[12] nach Quelle 4, Seite 4/5
[13] Quelle 2, Seite 13

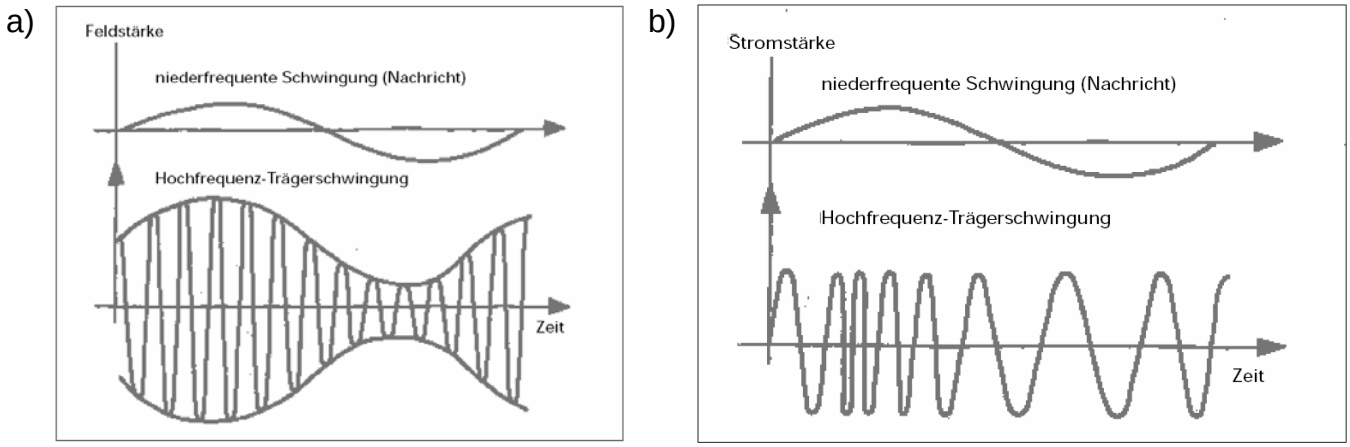


Abb.6: Veranschaulichung der Modulation a) Amplitudenmodulation b)Frequenzmodulation

Damit möglichst viele Teilnehmer zur gleichen Zeit telefonieren können, müssen die jeweiligen Funksignale unterscheidbar sein. Um dies zu erreichen, gibt es zwei Möglichkeiten, die meistens zusammen angewendet werden. Dadurch können im D- und E-Netz bis zu 100 Telefongespräche gleichzeitig geführt werden.
Zum Einen kann man mit verschiedenen Trägerfrequenzen („Kanälen“) senden. Dies wird in der Fachsprache **Frequenzmultiplex-System** genannt. In benachbarten Zellen dürfen aber nicht die gleichen Trägerfrequenzen verwendet werden, da es sonst zu Störungen kommen kann. Eine andere Möglichkeit ist das **Zeitmultiplex-System**. Dabei teilen sich mehrere Teilnehmer (beim D- und E-Netz 8 Teilnehmer) eine Frequenz, auf der sie zeitversetzt senden und empfangen (s. Abb. 7). Es werden Zeitrahmen mit einer Dauer von 4,6 ms gebildet, die in 8 Zeitschlitze von je 0,577 ms unterteilt sind. [14]

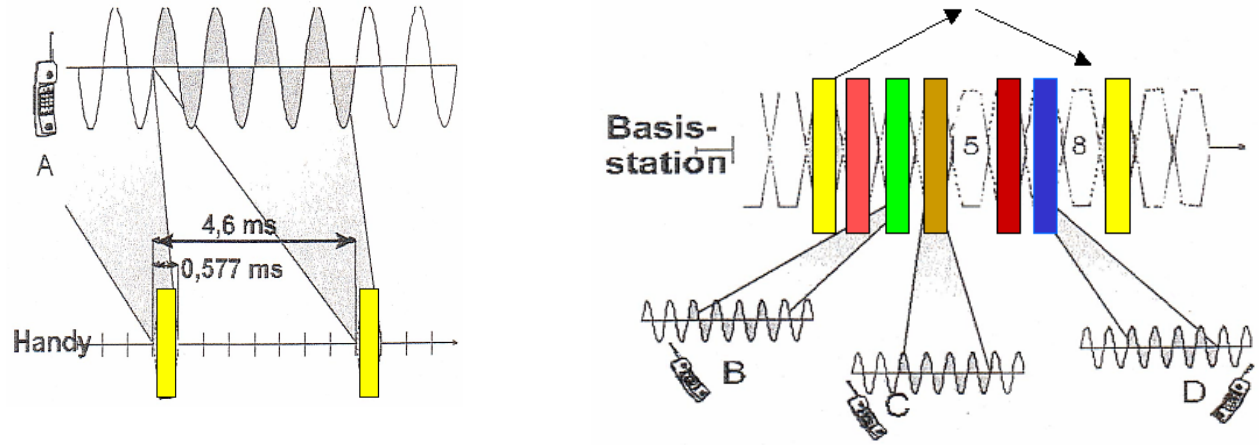


Abb.7: Veranschaulichung des Zeitmultiplex-Systems [15]

Das Handy komprimiert die zu übertragende Information innerhalb eines Zeitschlitzes von 0,577 ms und sendet sie an die Basisstation. Die folgenden 7 Zeitschlitze kann die Basisstation für andere Gespräche nutzen. Durch diese Methode entsteht ein gepulstes Signal auf der Seite des Handynutzers, bei dem sich die Pulse alle 4,6 ms (entspricht einem Rhythmus von 217 Hz) wiederholen.

[14] Quelle 2, Seite 13
[15] Quelle 10, Folie 9

Um unnötig starke Strahlung zu vermeiden, wird die Sendestärke ständig auf dem niedrigst möglichen Wert gehalten, sodass die Signalstärke, sowohl beim Mobilfunkgerät als auch bei der Basisstation, ständig schwankt.[16] Die höchste Leistung strahlt das Handy bei sehr schlechtem Empfang ab, zum Beispiel in Stahlbetonbauten. Auch Holzhäuser aus Lärchenholz schirmen die Strahlung gut ab, sodass der Empfang innen schlecht ist. Das Handy hat jedoch auch oft bei schlechten Netzsituationen Empfang. Bei Netzsuche ist eine Verbindung nicht möglich. In dieser Situation strahlt das Handy nicht, sondern wartet, bis es wieder eine Basisstation hört.

4. Die Anfänge der Mobilfunknetze

1926 wurde auf der Eisenbahnstrecke Berlin-Hamburg versuchsweise die Möglichkeit geschaffen, vom Zug aus drahtlos mit dem öffentlichen Fernsprechnetz zu telefonieren.
Der erste private Mobilfunkdienst wurde 1946 in den USA aufgebaut. In Deutschland begann das „ABC“ der Mobilfunknetze in den 50er Jahren (A-Netz: 1958-1977, B-Netz: 1972-1994, C-Netz: 1984-2000).[17] Das C-Netz hatte eine maximale Kapazität von 800 000 Teilnehmern, die jedoch ab 1992 ausgeschöpft war. Deshalb wurde zu dieser Zeit der GSM-Standard (Global System for Mobile Communications) eingeführt, wodurch über die D1-, D2- und E-Netze seitdem eine weltweite Kommunikation mit 150 Ländern möglich ist. Seit 2003 wird das Versenden von Fotos und Musik über UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) angeboten.[18]
Darüber hinaus gibt es seit langem Funknetze, die nur einem bestimmten Personenkreis zugänglich sind wie den Polizeifunk und die Betriebsfunksysteme (Taxiruf).

5. Die modernen Mobilfunknetze

GSM
Derzeit wird in Europa hauptsächlich die GSM-Technik verwendet. In Deutschland werden dabei für das D-Netz Trägerfrequenzen um 900 MHz und für das E-Netz Trägerfrequenzen um 1800 MHz eingesetzt.

UMTS
Durch UMTS kann man bis zu 200mal höhere Datenraten erzielen als mit GSM.[19] Es arbeitet im Frequenzbereich zwischen 1900 MHz und 2170 MHz. Dabei hat es zwei besondere Übertragungsmöglichkeiten: **Frequenzduplex** (die Verbindung Handy-Basisstation nutzt eine andere Frequenz als die Verbindung Basisstation-Handy) und **Zeitduplex** (beide Kommunikationseinrichtungen verwenden die gleiche Frequenz und wechseln sich ab). Da der Frequenzduplex eine größere Variabilität in der Bandbreite besitzt, wird er beim Ausbau bevorzugt eingesetzt. Ein entscheidender Unterschied zur GSM-Technik ist, dass UMTS kontinuierlich auf einer Frequenz sendet und die Informationen verschlüsselt werden. Durch diese Methode können benachbarte Basisstationen mit der gleichen Frequenz senden. Die Sendeleistung der für UMTS eingesetzten Antennen ist vergleichbar mit der von bestehenden GSM-Sendern und beträgt zwischen 10 bis 30 Watt, obwohl wesentlich größere Datenmengen übertragen werden.
Auf dem Weg von GSM zu UMTS gibt es Zwischenstufen, bei denen die Datenraten schrittweise erhöht wurden. Zu diesen Techniken gehören HSCSD (High Speed Circuit

[16] Quelle 2, Seite 14
[17] Quelle 2, Seite 8
[18] Quelle 7, Seite 12
[19] Quelle 1, Seite 6

Switched Data), GPRS (General Packet Radio Service) oder EDGE (Enhanced Data Rate for GSM Evolution). [19]

In der folgenden Tabelle sind einige charakteristische Daten zusammengefasst.

Daten einiger Mobilfunksysteme (bezogen auf Deutschland): [20]	
D1- und D2-Netz (digital):	
Frequenzbereich:	890–960 MHz
Zeitrahmen:	4,6 ms
Funkzellenanzahl:	ca. 3500 pro Netz
Zellengröße:	0,5 km bis 35 km
Sendeleistung einer Basisstation:	typisch: 20-50 W
max. Pulsleistung eines Handys:	2 W
mittlere Pulsleistung eines Handys:	0,25 W
E1- und E2-Netz (digital):	
Frequenzbereich:	1760-1865 MHz
Zeitrahmen:	4,6 ms
Funkzellenanzahl:	ca. 6000 pro Netz
Zellengröße:	0,2 km bis 10 km
Sendeleistung einer Basisstation:	typisch: 10 W
max. Pulsleistung eines Handys:	1 W
mittlere Pulsleistung eines Handys:	0,125 W
UMTS:	
Frequenzbereich:	1900-2170 MHz
Zeitrahmen:	10 ms
Funkzellenanzahl:	40 000 (Ende 2003, alle Netzbetreiber zusammen bundesweit)
Reichweite:	200 m - 1500 m im Freien
Sendeleistung einer Basisstation:	typisch: 10-30 W
mittlere Sendeleistung eines Handys:	0,25 W
CT-1 (schnurloses Telefon, analog): (bis 12/2008 zugelassen)	
Frequenzbereich:	885–932 MHz
Reichweite:	200 m im Freien
mittlere Sendeleistung:	0,01 W
CT-2 (schnurloses Telefon, digital): (bis 12/2008 zugelassen)	
Frequenzbereich:	864–868 MHz
Zeitrahmen:	2 ms
Reichweite:	200 m im Freien
mittlere Sendeleistung:	0,01 W

[20] Quelle 2, Seite 16 und Quelle 7, Seite 13

DECT (schnurloses Telefon, digital): Frequenzbereich: Zeitrahmen: Reichweite: mittlere Sendeleistung: Maximale Pulsleistung:	 1880–1900 MHz 10 ms 300 m im Freien 0,01 W 0,25 W
IRIDIUM: Frequenzbereich: Zahl der Satelliten im Endausbau: Zeitrahmen: Funkzellenanzahl (weltweit) maximale/mittlere Sendeleistung (Puls)	 ca. 1600 MHz 66 in 780 km Höhe 60 ms ca. 2000 7 W / 0,7 W
INMARSAT: Frequenzbereich: Zahl der Satelliten: Zeitrahmen: Maximale Sendeleistung:	 1530-1660 MHz 4 in 36 000 km Höhe 84 ms bursts 16 W

6. Grenzwerte für elektromagn. Strahlung und ihre Festlegung

In der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (26. BImSchV) hat die Bundesregierung verbindliche Regelungen zum Schutz vor nichtionisierenden Strahlen getroffen. Grundlage dieser Festlegungen sind Empfehlungen internationaler und nationaler Expertengremien, zum Beispiel der Weltgesundheits-organisation (WHO), der Umweltorganisation der Vereinten Nationen (UNEP), der Internationalen Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) oder der deutschen Strahlenschutzkommission (SSK). Diese Gremien überprüfen in regelmäßigen Abständen den neuersten Stand der Forschung und entscheiden darüber, ob eine Aktualisierung der Grenzwerte erforderlich ist. Dabei werden alle Forschungsergebnisse mit einbezogen.[21] Derzeit beruhen die Grenzwerte im Mobilfunkbereich auf der Begrenzung der vom Körper aufgenommenen Energie (thermische Effekte), wobei ein Sicherheitsfaktor von 50 verwendet wird. Das bedeutet, dass der Grenzwert um das 50fache unter der ermittelten Wirkungsschwelle[22] liegt. Expertengremien, die Studien zu athermischen Effekten auswerten, empfehlen bisher keinen niedrigeren Grenzwert.[23] Als Maß für die vom Körper aufgenommene Energie dient die **spezifische Absorptionsrate** (**SAR**). Sie wird in Watt pro Kilogramm (W/kg) Körpergewicht angegeben.
Bei hochfrequenten Sendeanlagen (Basisstationen) liegen die Grenzwerte für eine ganzkörperbezogene SAR bei maximal 0,08 W/kg. Mobilfunkanlagen mit einer Sendeleistung über 10 Watt dürfen erst in Betrieb genommen werden, wenn eine Standortbescheinigung der Bundesnetzagentur ausgestellt wurde.[24]
Endgeräte, wie Handys, fallen nicht unter die 26. BImSchV, werden aber durch entsprechende Empfehlungen oder Normen geregelt. Bei der Nutzung von Handys kommt es zu einer maximalen Abstrahlung im Bereich des Kopfes. Der entsprechende Teilkörper-

[21] Quelle 1, Seite 9
[22] Quelle 6, Seite 4
[23] Quelle 7, Seite 20
[24] Quelle 2, Seite 23

grenzwert beträgt maximal 2 W/kg (gemittelt über 10 g Körpergewebe). Die amerikanische Standardisierungsorganisation ANSI hat auf Grund anderer Überlegungen einen etwas niedrigeren Teilkörper-Grenzwert (1,6 W/kg) festgelegt, der über 1 Gramm Gewebe gemittelt wird. [25]

Neben dem SAR-Wert existiert ein sogenannter **Stahlungsfaktor S**. Dieser drückt die vom Kopf absorbierte Strahlung bezogen auf die frei in Luft abgestrahlte (effektive) Sendeleistung aus. Die Formel dazu lautet $S = SAR / P_{eff}$. Je mehr effektive Sendeleistung zur Verfügung steht, desto mehr kann das Handy im Netzbetrieb seine Sendeleistung in Bezug auf die vom Kopf absorbierte Leistung reduzieren. Strahlungsfaktoren unter 5 sind günstig (nachzulesen im Internet unter www.handywerte.de).

Der SAR-Wert gibt die maximal mögliche absorbierte Strahlung am Kopf an, während der Strahlungsfaktor mehr die Effizienz – nämlich das Verhältnis von Strahlenbelastung zum Nutzsignal - angibt. [26]

7. Die Wechselwirkung des Mobilfunks mit empfindlichen medizinischen Geräten

Herzschrittmacher, Insulinpumpen, Nervenstimulatoren und andere elektrisch betriebene Implantate können durch elektromagnetische Felder beeinflusst werden. Deshalb sollten solche Patienten ein eingeschaltetes Mobiltelefon nicht in die Nähe ihrer Implantate bringen. Bei Herzschrittmachern wird geraten, einen Sicherheitsabstand zwischen Handy und Schrittmacher von 25 cm einzuhalten. Neuere aktive Implantate müssen erhöhte Forderungen erfüllen und sind durch Handys kaum mehr störbar.
Bei manchen Hörgeräten löst die Frequenz des Mobiltelefons Brummgeräusche aus. Um diese Beeinträchtigung zu umgehen, muss das Hörgerät ausgeschaltet oder eine Telefonspule verwendet werden.

Einige medizinisch-technische Geräte, wie sie in Krankenhäusern meistens auf Intensivstationen verwendet werden, können bereits in etwa 1 bis 2 Metern durch das elektromagnetische Feld von Mobilfunktelefonen in ihrer Funktion beeinträchtigt werden. [27]
Um die Betriebssicherheit dieser Geräte zu garantieren, wird Patienten, Besuchern und Handwerkern das Benutzen von Mobiltelefonen in Krankenhäusern untersagt. Durch die Verwendung von hausinternen Funk-Rufanlagen (Piepsern) entsteht keine Gefährdung, solange es sich um reine Empfangsgeräte handelt. Häufig haben jedoch Notärzte ihr Telefon angeschaltet, wenn sie sich in der Nähe lebenserhaltender Geräte aufhalten. Manche Kliniken haben das Handyverbot bereits aufgehoben, z. B. Charite, Berlin.

[25] Quelle 6, Seite 5
[26] Quelle 5, Seite 21/22
[27] Quelle 1, Seite 7

8. Messungen mit dem SAR-Messkopf

Das bayerische Landesamt für Umwelt startete unter der Leitung von Herrn Dr.-Ing. Heinrich Eder im Schuljahr 2005/06 die Aktion „Mobilfunk und Schule“. Dabei verleiht es an interessierte Schulen einen Messkopf, der Mobilfunkstrahlung direkt erfasst und anzeigt (s. Abb. 8).

Abb.8: Messkopf mit Computer

8.1 Funktionsweise des Messkopfes

Der SAR-Messkopf enthält eine gewebesimulierende Flüssigkeit, deren elektrische Eigenschaften auf die Frequenzen des D-Netzes abgestimmt sind (vgl. Europäische Norm EN 50631). Andere Frequenzen werden vom Messkopf automatisch erkannt, sodass dieser den Messwert mit einem Kalibrierfaktor auf den frequenzbezogenen SAR-Wert umrechnet.
Die Messung erfolgt mit Hilfe einer dreidimensionalen Dipolsonde, die so unter der Oberfläche der Kugel justiert ist (s. Abb. 9), dass sie den über 1 Gramm gemittelten Teilkörper-SAR-Wert erfasst. Der Messkopf dient als Demonstrationsmodell, das die reale Absorption in Echtzeit misst und entspricht nicht der europäischen Norm, die eine spezielle

Kopfoberfläche, definierte Handy-Positionen, ein aufwändiges Abtastverfahren und eine Messung bei maximaler Sendeleistung des Handys fordert.[28]

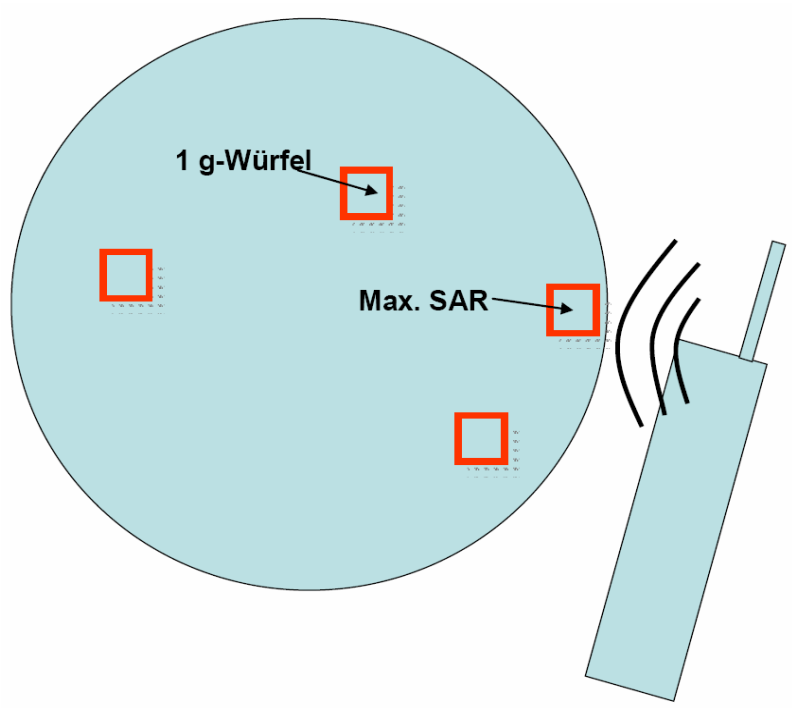


Abb.9: Prinzip der SAR-Messung [29]

8.2 Messung der Mobilfunkstrahlung

Im Folgenden habe ich aus meinen über 100 Messungen aussagekräftige ausgewählt und diese näher beschrieben. Alle Messungen, bei denen der Typ des Handys nicht explizit erwähnt ist, wurden mit einem Siemens A55 durchgeführt.

8.2.1 Mobilfunkstrahlung bei unterschiedlichem Empfang

Ein Handy sendet das erste Signal beim Einschalten, wenn der Einloggvorgang stattfindet, also nachdem die PIN eingegeben wurde. Dieses Signal dauert ca. 3 s. Im folgenden Standby-Betrieb gibt das Handy keine Leistung (Strahlung) ab, außer bei einem Zellenwechsel oder zum Melden bei der jeweiligen Basisstation (alle 30 Minuten bis zu 6 Stunden).
Bei Handys mit Prepaidkarten gibt es meistens zwei Arten von Kontoservices, im Folgenden als „Kontoserviceanzeige“ und „Kontoserviceanruf“ bezeichnet. Bei der „Kontoserviceanzeige“ wird der aktuelle Kontostand in Form einer Laufschrift angezeigt, während dieser beim „Kontoserviceanruf“ akustisch mitgeteilt wird. Letzterer ist somit vergleichbar mit einem üblichen Anruf.

[28] Quelle 6, Seite 3
[29] Quelle 5, Seite 4

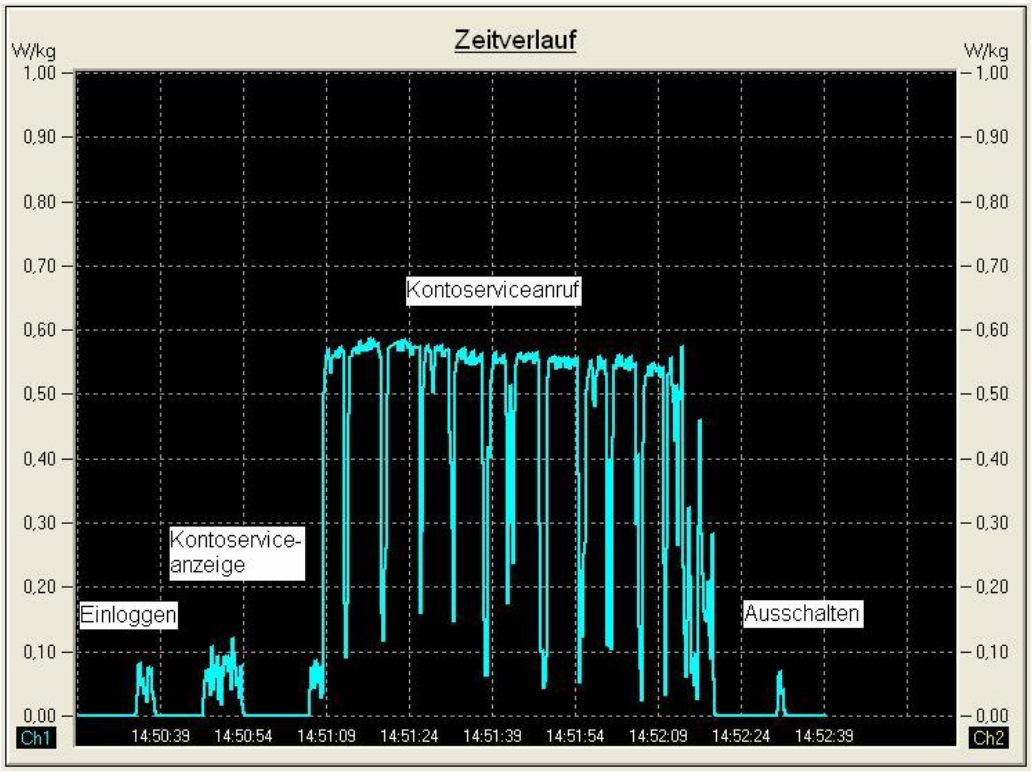


Abb.10: Messung bei durchschnittlichem (4 von 6 Strichen) Empfang

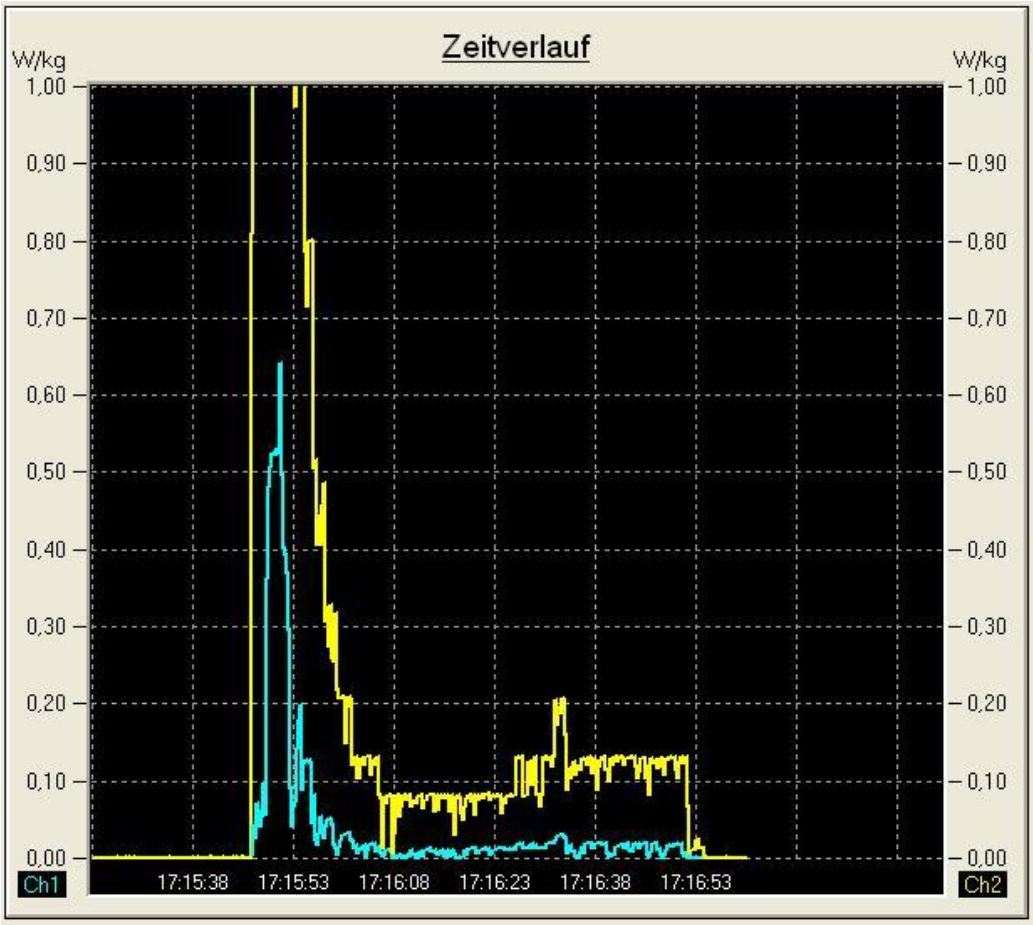


Abb.11: Anruf bei sehr gutem (6 von 6 Strichen) Empfang
(zwischen Hainstätten und Witzlricht)

In Abb. 11 kann man den charakteristischen Verbindungsaufbau eines Telefonats gut erkennen. Am Anfang steigt der SAR-Wert auf sein Maximum, dann regelt das Handy auf einen geringeren Wert, bis schließlich der kleinstmögliche erreicht ist, bei dem die Verbindung noch sicher bestehen bleibt. Im Vergleich dazu bleibt der SAR-Wert bei schlechtem Empfang (s. Abb. 12) hoch. Beim Vergleichen der Abbildungen 10 und 12 ist zu erkennen, dass sich der SAR-Wert bei durchschnittlichem und schlechtem Empfang kaum unterscheidet. Deshalb gilt: **je besser die Netzqualität ist, desto geringer ist der SAR-Wert des Handys und der Basisstation.**
Die gelbe Kurve in Abb.11 zeigt die Spitzenwerte an, während die türkisfarbige den durchschnittlichen SAR-Wert darstellt. Die beiden Werte unterscheiden sich um den Faktor 8 bei GSM-Handys, da ein gepulstes Signal übertragen wird.
Dieses gepulste Signal kann in Abb. 13 noch genauer gesehen werden, da die Messwerte in der Oszilloskop-Funktion des Programms dargestellt werden. Der gelbe Strich markiert in diesem Fall den effektiven SAR-Wert. Ganz deutlich wird die Sprechpause, in der nur jeder 27. Impuls gesendet wird.

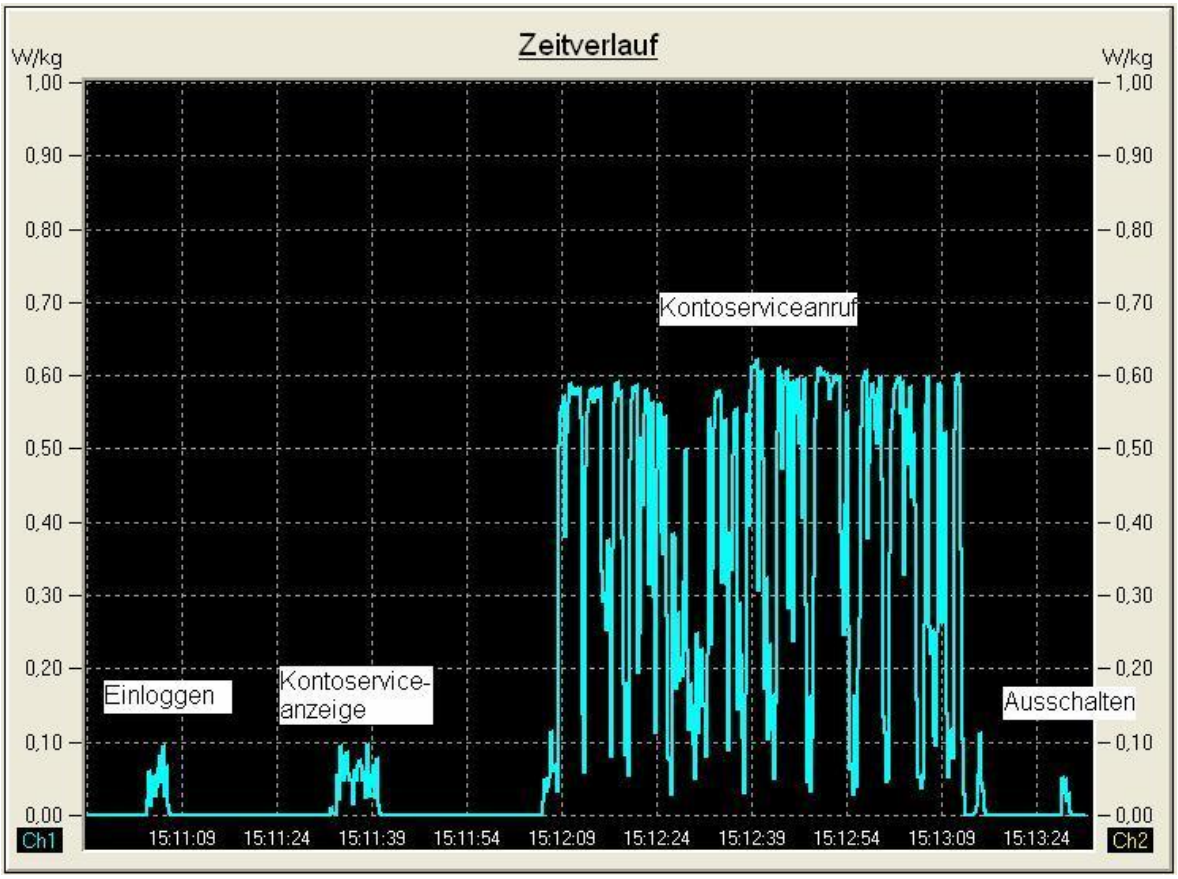


Abb.12: Messung bei schlechtem (1-2 von 6 Strichen) Empfang

Viele Menschen glauben auch, dass bei der Netzsuche das Handy maximale Strahlung abgibt. Dies ist ein Irrtum! In einer Messung (Abb.14) habe ich genau das Gegenteil festgestellt. Das Handy sendet erst Strahlung ab, wenn es ein Netz gefunden hat und sich einbucht.

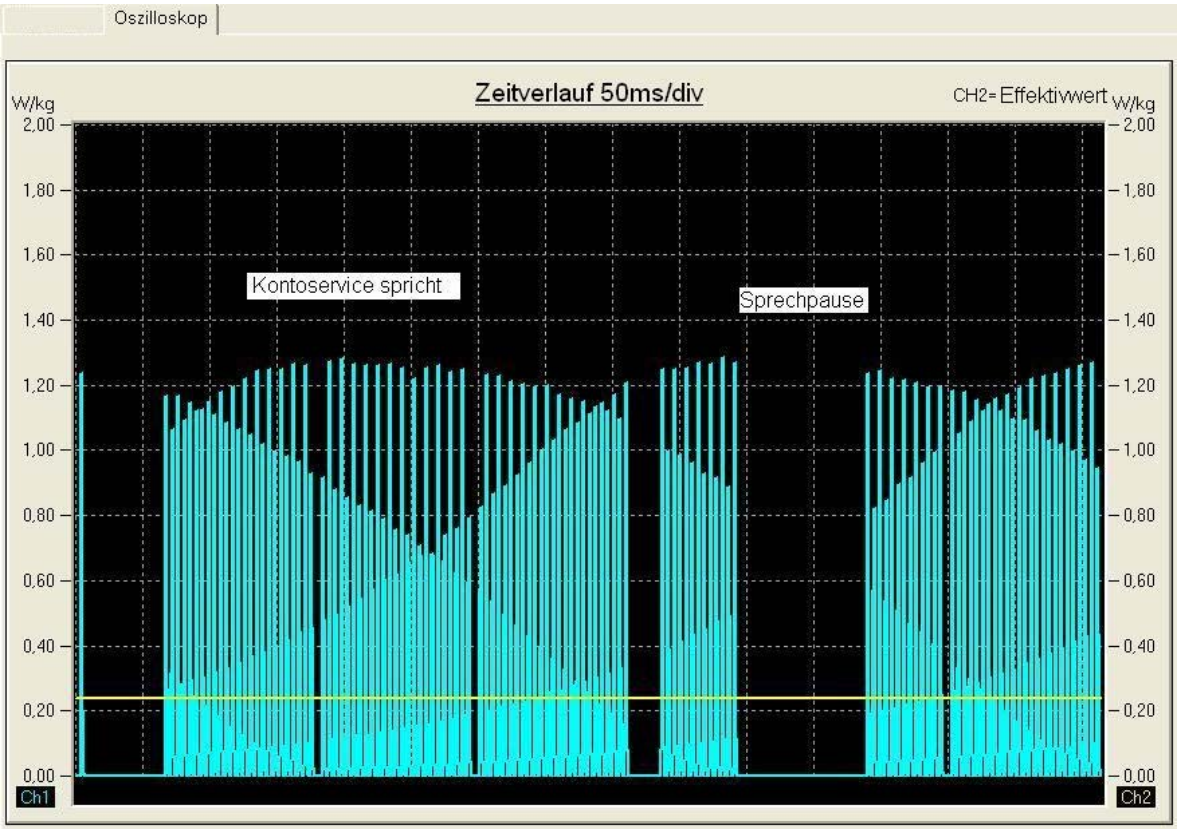


Abb.13: Pulsstruktur während eines Gesprächs

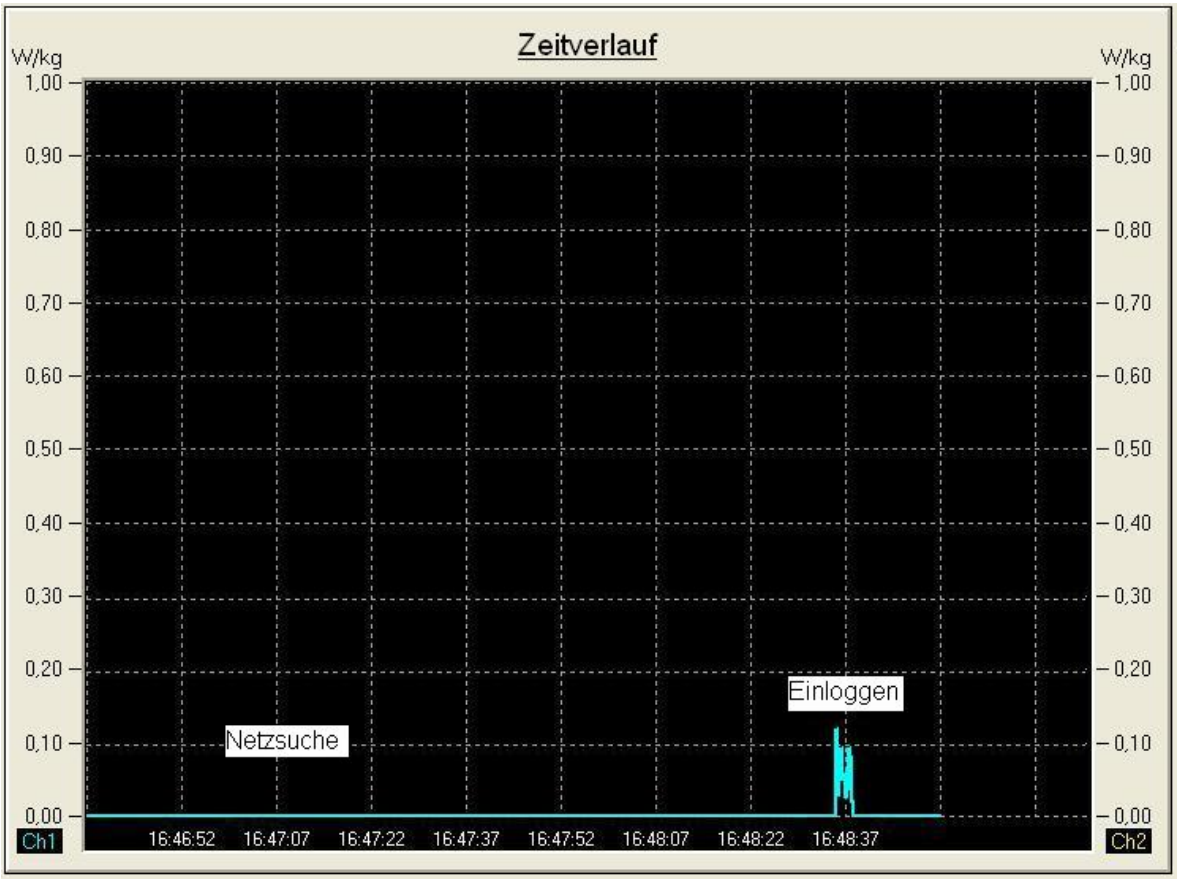


Abb.14: Netzsuche

8.2.2 Mobilfunkstrahlung in der Nähe einer Basisstation

In vielen Studien wird vor der Strahlung der Mobilfunkmasten gewarnt. Die Menschen in der näheren Umgebung einer Basisstation sind beunruhigt und Bürgerinitiativen fordern den Abbau verschiedener Masten. Doch meinen Messungen zufolge ist die Strahlung der Mobilfunkstation kaum messbar. Sie ist bis zu 300 mal geringer als bei einem Handyanruf. Ich habe im Auftreffpunkt der Hauptkeule (Abb.16) und fast direkt unter einer Basisstation (Abb.17) gemessen. Der effektive SAR-Wert bleibt immer bei 0 W/kg, der Höchstwert der Spitzenwerte liegt bei 0,004 W/kg und durchschnittlich bei 0,002 W/kg.

Abb.15: Mobilfunkmast

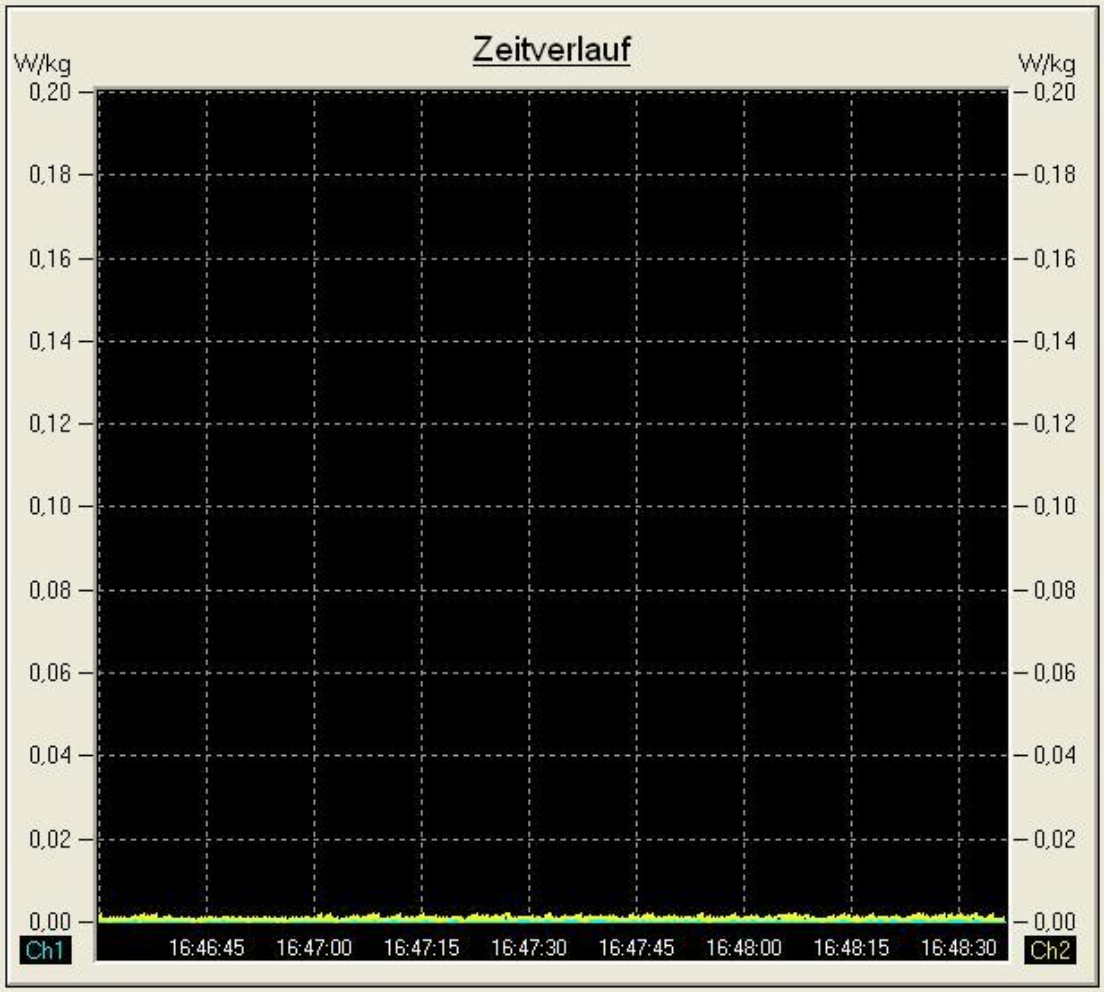


Abb.16: Messung im Auftreffpunkt der Hauptkeule des Rotbühlsenders bei Witzlricht

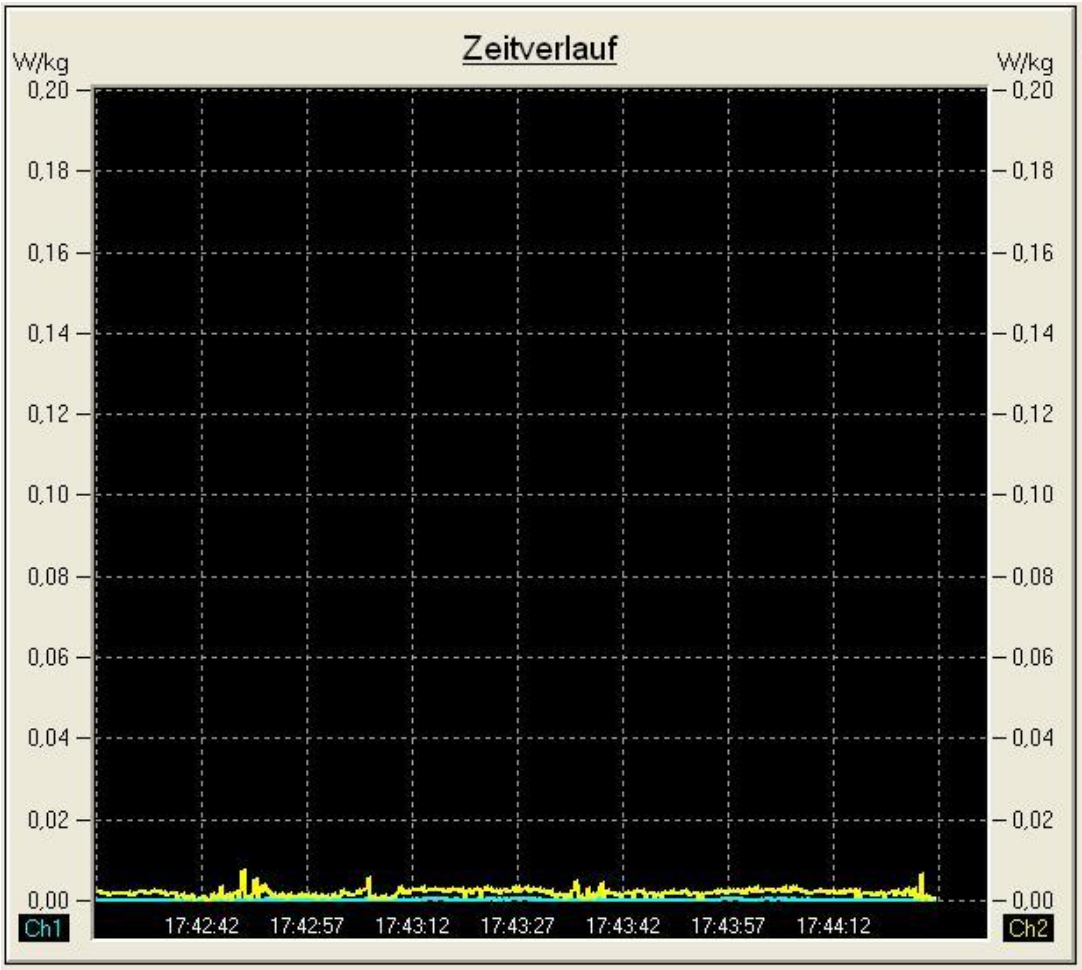


Abb.17: Hintergrundstrahlung beim Rotbühlsender im empfindlichsten Messbereich

Durch die Abb. 10 bis 12 und 16 bzw. 17 wird deutlich, dass ein Handy um einiges mehr strahlt als eine Basisstation. Dies kann auch durch folgende Modellrechnung deutlich gemacht werden.

<u>Berechnung der lokalen spezifischen Gesamtenergie pro Tag im Kopf:</u>[30]
SAR-Werte im Kopf (aus FDTD-Simulation)
Basisstation 100 m entfernt: 10^{-5} W/kg
Handy am Kopf 0,3 W/kg

20 W Basisstation, Dauerstrahlung

SAR = 10^{-5} W/kg · 24 · 3600s = **0,86 Ws/kg**

2 W Handy (D-Netz), 1 h/Tag

SAR = 0,3 W/kg · 1 · 3600s = **$1{,}08 \cdot 10^3$ Ws/kg**

Faktor Handy / Basisstation: $\frac{1{,}08 \cdot 10^3 \text{ Ws/kg}}{0{,}86 \text{ Ws/kg}} \approx \mathbf{1000}$

[30] Quelle 5, Seite 25

8.2.3 Mobilfunkstrahlung bei verschiedenen Abständen

Theoretisch nimmt die Leistungsflussdichte mit $1/r^2$ im Abstand zum Objekt ab. Dies konnte mit der Messung (Abb.18) bestätigt werden. Alle Rahmenbedingungen blieben gleich und nur der Abstand änderte sich.

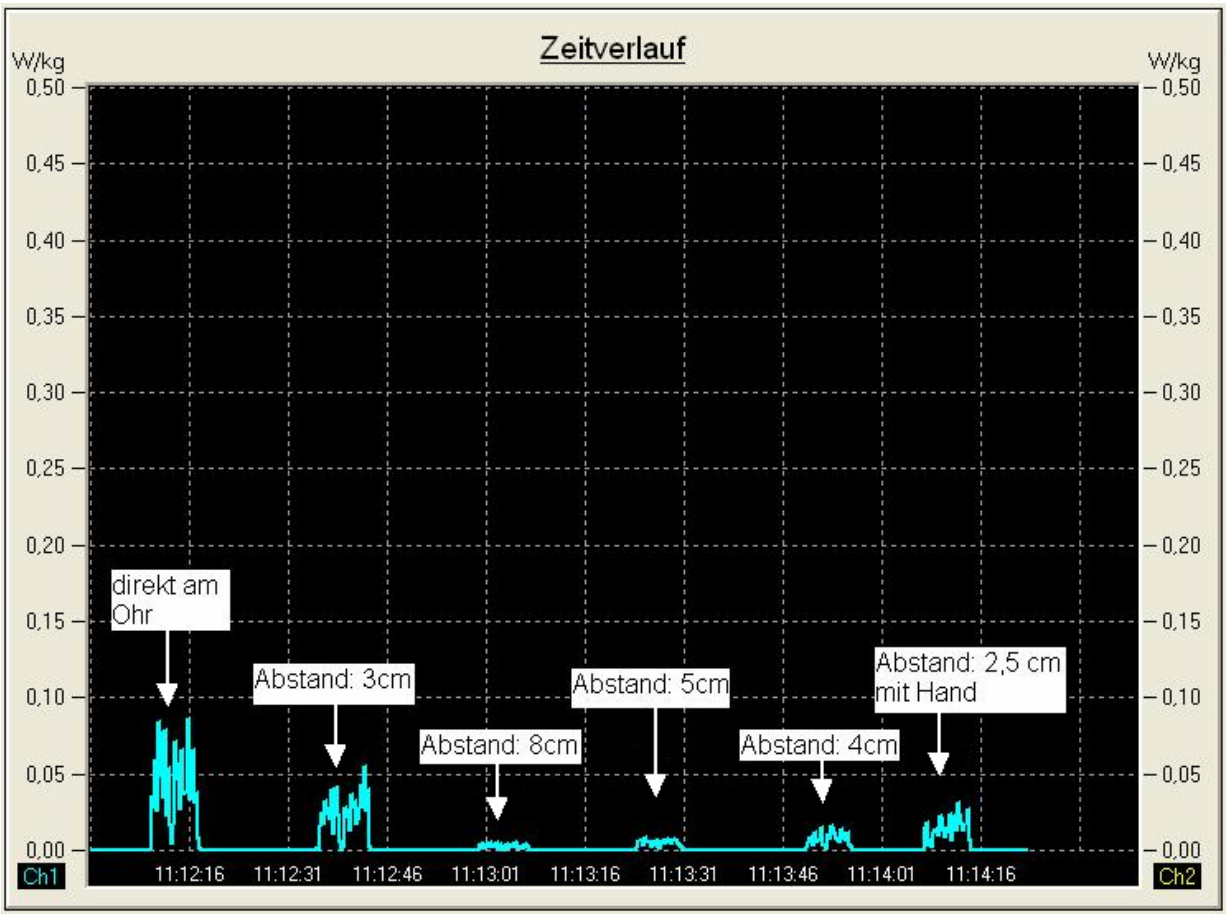


Abb.18: Kontoserviceanzeige mit verschiedenen Abständen Handy-Kopf

8.2.4 Mobilfunkstrahlung für verschiedene Abschirmmaterialien

Auf Flohmärkten, in kleinen Läden und im Internet werden alle möglichen Dinge angeboten, die angeblich die Strahlung drehen oder vermindern sollen, sodass sie nicht mehr schädlich ist. Daneben existieren auch physikalisch bewiesene Abschirmmaterialien. Diese können z.B. beim Hausbau berücksichtigt werden, um elektromagnetische Wellen von außen abzuschirmen. Dies kann durch professionelle Institute (Liste unter http://www.bayern.de/lfu/laerm/emv/index.html) im Einzelfall nachgeprüft werden. Jedoch sollte man bedenken, dass damit das Telefonieren mit dem Handy im Haus erschwert wird und bei einem Telefonat mehr Leistung abgegeben werden muss als in einem üblichen Gebäude. Eine Abschirmung einer Strahlenquelle führt immer auch zu Reflexionen von der Rückseite und erhöht dort den Feldstärkepegel.
Ich habe mich auf einfache Abschirmmaterialien beschränkt, die zwischen Handy und Kopf gebracht werden. Sie reduzieren zum Teil die Strahlung in Richtung Kopf erheblich und sind

billig zu beschaffen. Zum Vergleich sollte die Abb. 10 herangezogen werden. Alle Messungen wurden am gleichen Ort durchgeführt, um vergleichbare Ergebnisse zu bekommen.

a) Zuerst möchte ich eine leicht zu realisierende Möglichkeit der Abschirmung vorstellen. Ich habe eine einlagige Rettungsfolie zwischen Handy und Kopf gehalten. Damit reduziert sich der SAR-Wert um den Faktor 3,3 bzw. 12 im Vergleich zu einem üblichen Telefonat ohne Abschirmung (s. Abb.19). Während vorher der durchschnittliche SAR-Wert bei 0,44 W/kg (Berechnung mit genauen Zahlen zu Abb.10) lag, konnten nun bei der Abschirmung mit der goldenen Seite am Kopf nur noch 0,13 W/kg und mit der silbernen Seite am Kopf nur noch 0,036 W/kg gemessen werden.

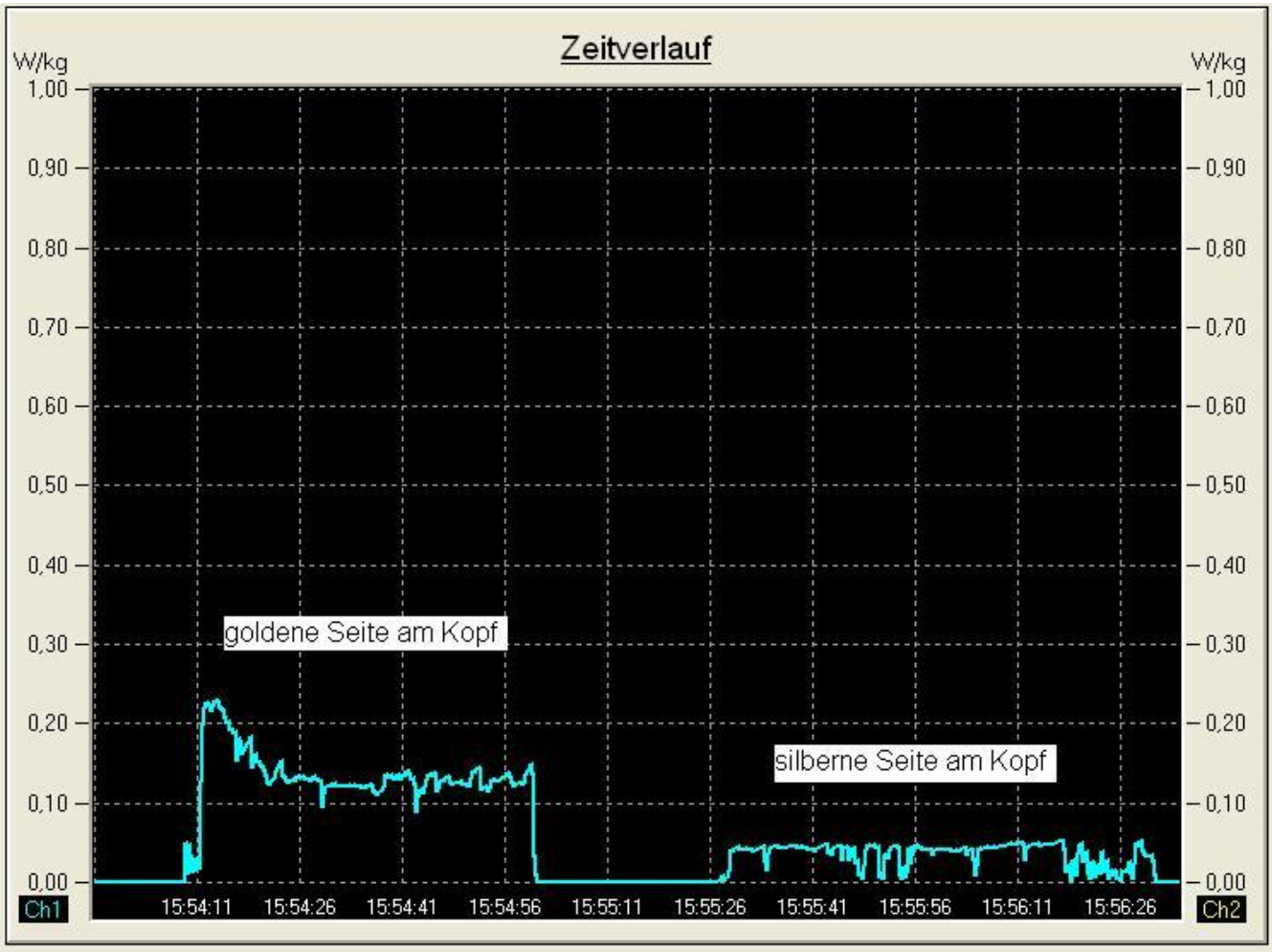


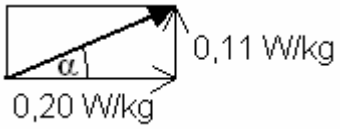
Abb.19: Handy mit Rettungsfolie

b) Als Nächstes kann durch ein Gitter Mobilfunkstrahlung absorbiert werden. Bei diesem Versuch wird die Polarisation der Mobilfunkwellen deutlich. Bei jedem Stellungswechsel des Gitters regelt das Handy seine Leistung nach oben und bald darauf wieder soweit wie möglich nach unten. Bei einem Winkel von ca. 30° zwischen Handy und Gitter ist die Strahlung am geringsten, dies ergibt auch eine überschlagsmäßige Rechnung zur Abb.20.

Wenn das Gitter senkrecht zum Handy gehalten wird (vgl. 1), zeigt der Graph einen SAR-Wert von ca. 0,11 W/kg an. Dieser Wert entspricht der Strahlung in y-Richtung in meiner Skizze. Sobald das Gitter parallel zum Handy gehalten wird (vgl. 2), kann nur noch die Strahlung senkrecht zum Gitter und Handy gemessen werden. Der SAR-Wert beträgt in diesem Fall ca. 0,20 W/kg.

1)

2)



$$\tan\alpha = \frac{0{,}11}{0{,}2};$$

$$\alpha \approx 30°$$

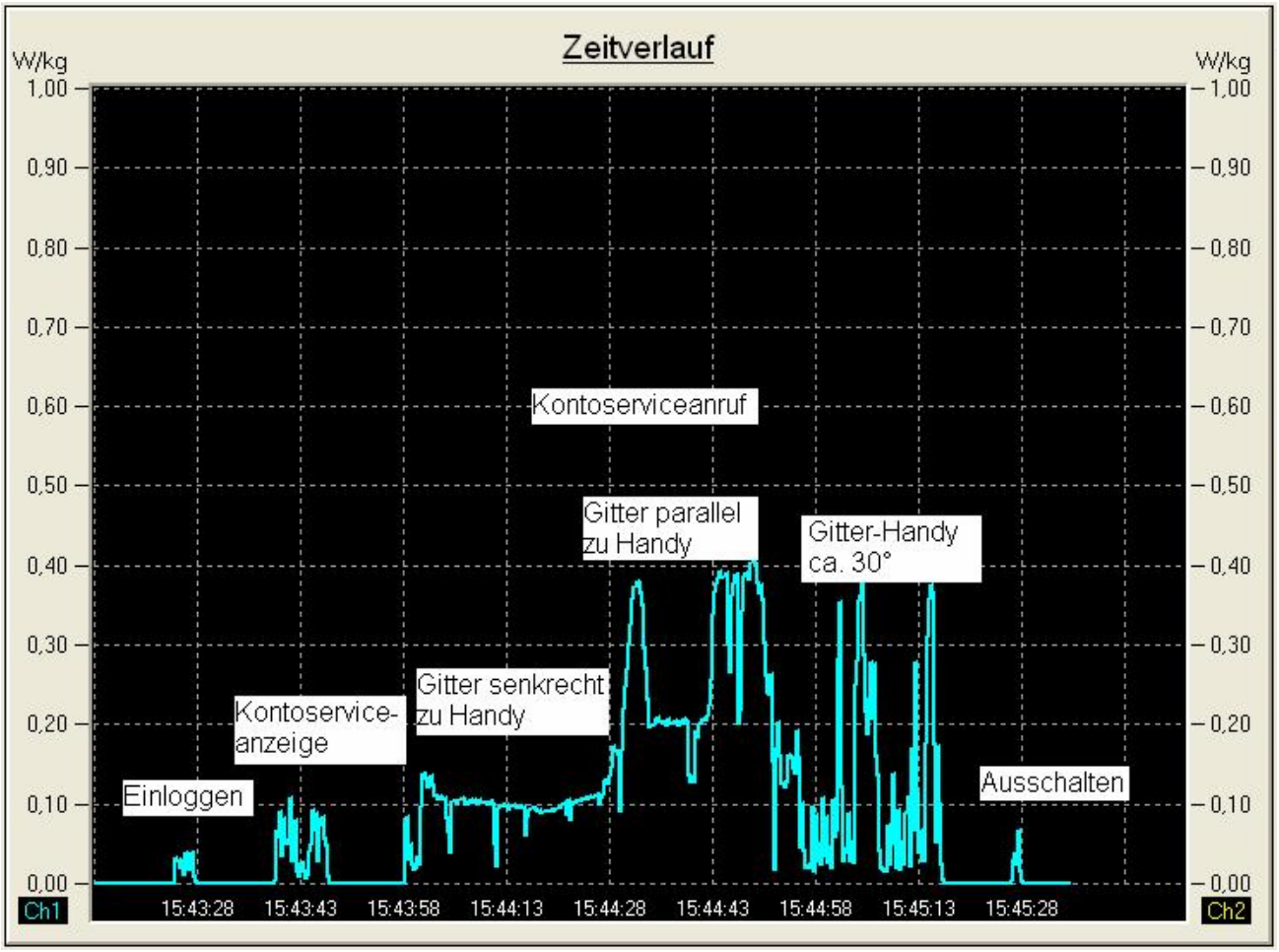


Abb.20: Abschirmung durch ein Gitter

c) In den folgenden Messungen habe ich bei meinem Handy die Schale abgenommen (s. Abb.21). Es zeigt sich, dass diese einen Teil der elektromagnetischen Wellen abhält. Vor allem an der Rückseite des Handys konnten grenzwertige SAR-Werte gemessen werden (Abb. 23).

Aus diesen Ergebnissen schließe ich, dass die Antenne in der Mitte meines Handys liegen muss. Dies ist eher selten, normalerweise liegt die Antenne im oberen Bereich des Handys, in manchen Fällen auch am unteren Ende (z.B. Motorola RAZR).

Sie sollte mit der Hand nicht abgedeckt werden, da sonst die Leistung hochgeregelt werden muss. Bei fast allen Messungen habe ich versucht, die Antenne nicht mit meiner Hand abzuschirmen. In einer Messung habe ich sie bewusst verdeckt und auf dem Bildschirm war ein niedrigerer SAR-Wert angezeigt worden. Dies hat mich verwundert, sodass ich es in meinem Erfahrungsbericht an Herrn Dr.-Ing. Heinrich Eder vom bayerischen Landesamt für Umwelt erwähnt habe. Er hat mir folgende Erklärung dafür gegeben:

Abb.21: Handy ohne Schale

„Die Sache mit der Hand auf der Antenne hat einen Haken: die Dämpfung/Verstimmung der Antenne ist so groß, dass die Regelungsleistung des Handys meist nicht ausreicht um das zu kompensieren. In den meisten Fällen wird man daher sogar eine Minderung der SAR feststellen. Es kann aber nicht Sinn der Sache sein, das Handy so zu bedämpfen, dass die Regelung nicht mehr wirksam ist. Im Sinne einer optimalen Verbindung deshalb Finger weg von der Antenne!“

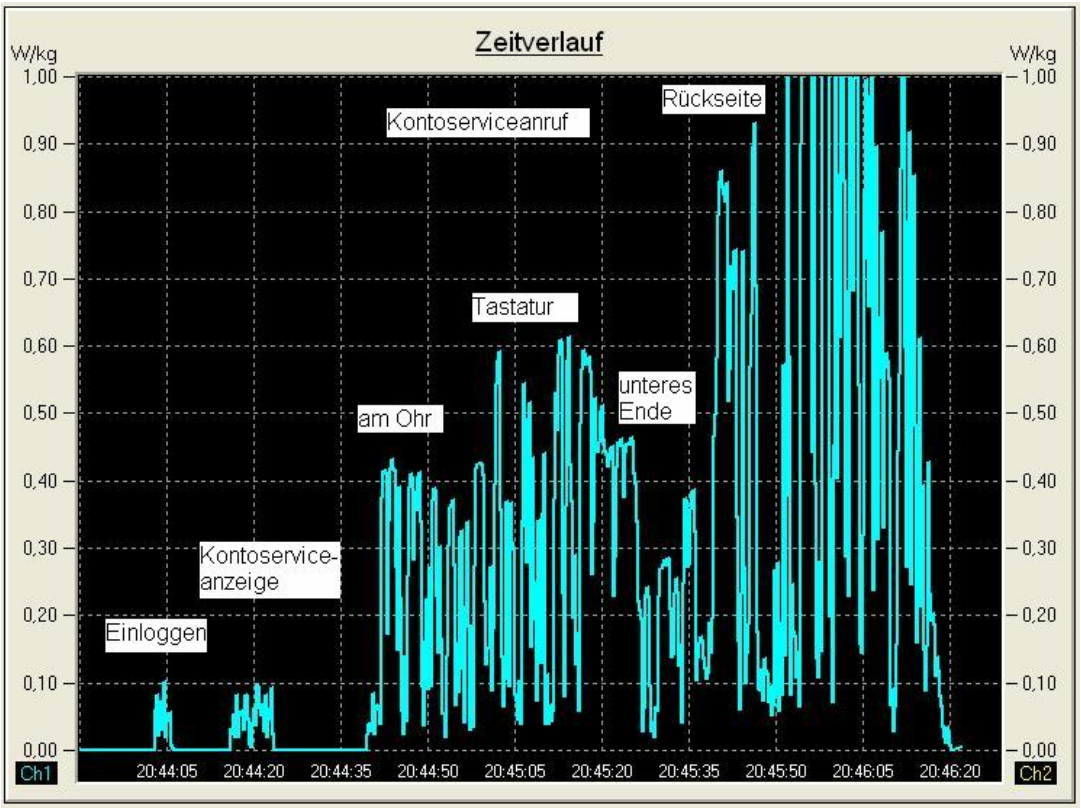


Abb.22: Handy ohne Schale

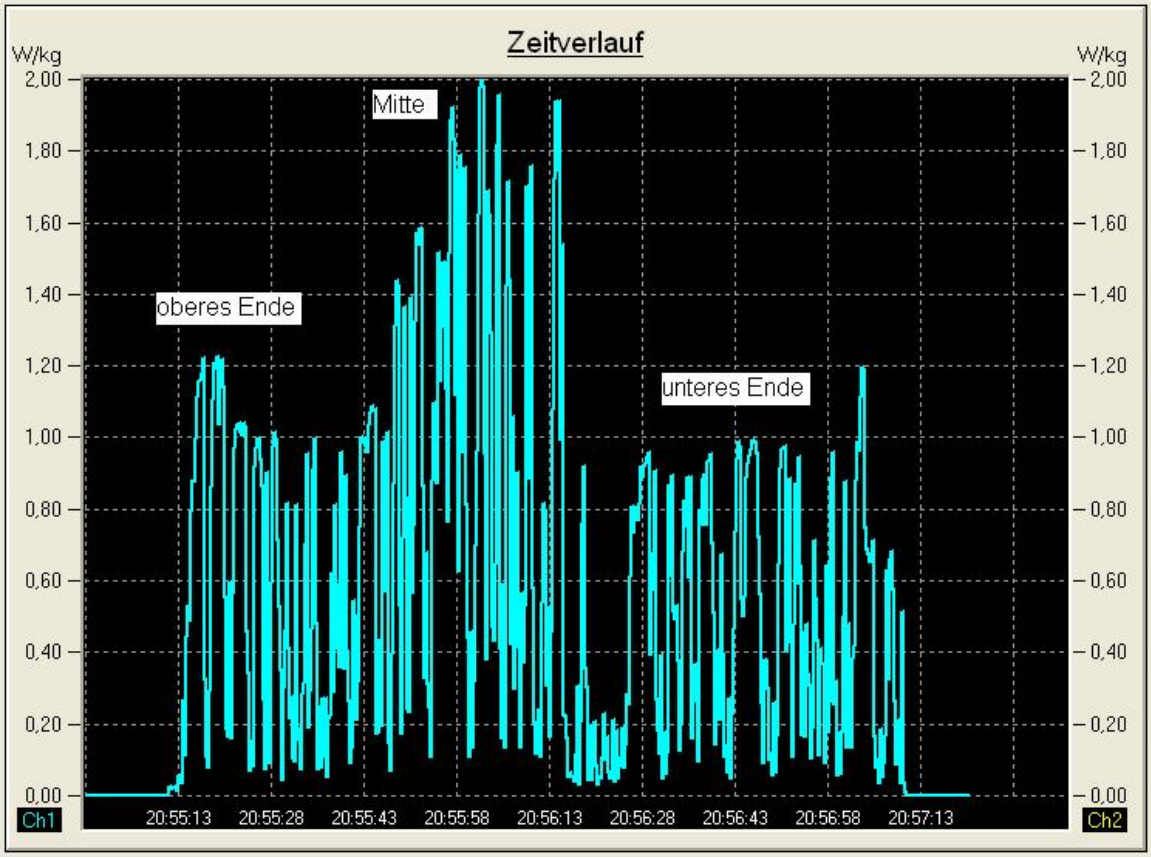


Abb.23: Rückseite des Handys ohne Schale

d) Bei den nächsten zwei Messungen (Abb.25 und 26) habe ich das Handy (ohne Schale) mit dessen Rückseite an den Kopf gehalten und ein beschichtetes Gitter bzw. Folie dazwischen gebracht, um deren Absorptionswirkung bei grenzwertigen SAR-Werten zu demonstrieren. Die Ergebnisse waren einzigartig. Ich konnte keine Strahlung mehr detektieren. Somit habe ich nach längerer Suche (s. Abb.24) sehr gute Abschirmmaterialien gefunden. Sie bestätigen die Abschirmung elektromagnetischer Wellen durch Gitter.

Abb.24: Abschirmmaterialien: emaillierter Topf, Spritzschutzgitter, Eierschneider, Fondue-abdeckung, Gitter und Kappe von Puderzuckerstreuer, Kartoffelreibe, Sieb, Alupapier, beschichtetes Alupapier, Rettungsfolie, beschichtete Folie (nicht auf Bild)

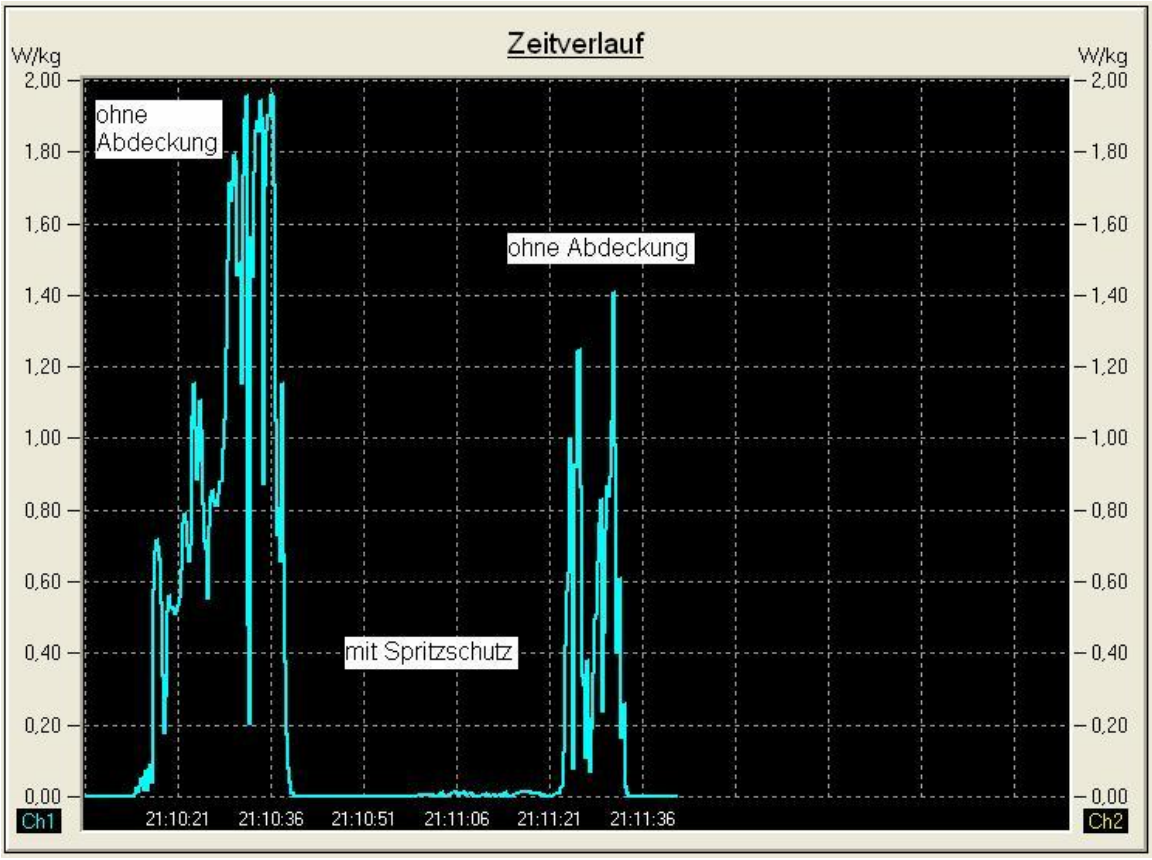


Abb.25: Handy ohne Schale mit und ohne beschichtetem Gitter

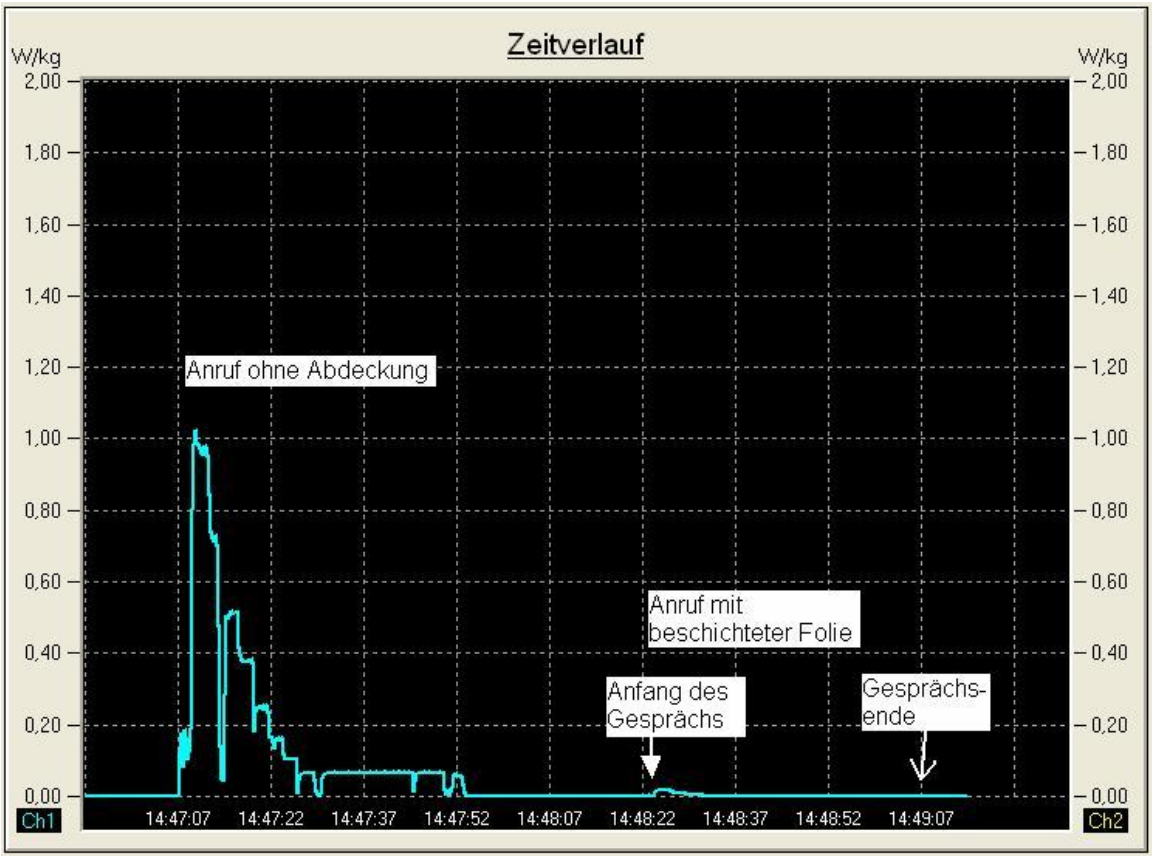


Abb.26: Messung ohne und mit beschichteter Folie

8.2.5 Mobilfunkstrahlung von unterschiedlichen Handys

In Deutschland gibt es mehrere Hundert verschiedene Handys. Dabei unterscheiden sie sich stark in ihrem SAR-Wert. Meistens haben neuere Handys geringere SAR-Werte als ältere. Dies kann aber nicht verallgemeinert und muss deshalb in der jeweiligen Anleitung oder im Internet (z.B. www.handywerte.de) nachgelesen werden. Zwei sehr gegensätzliche Beispiele sind auf Abb.27 und Abb.28 zu erkennen. Grundsätzlich sind Klapphandys vorteilhaft, da die Antenne einen größeren Abstand zum Kopf hat als bei anderen Handys.

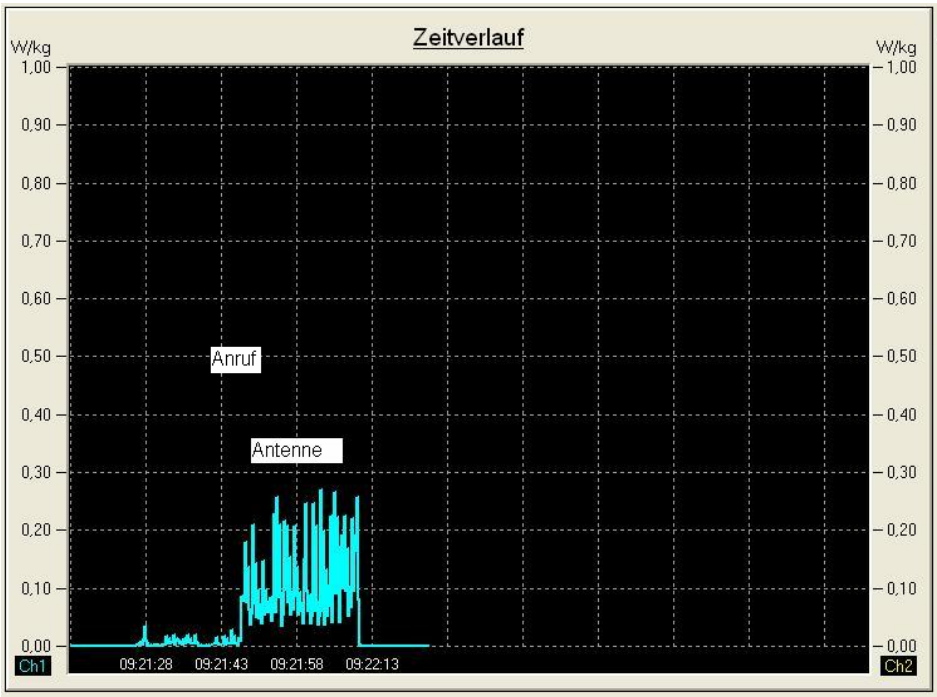


Abb.27: Panasonic X400 bei optimalen Empfang

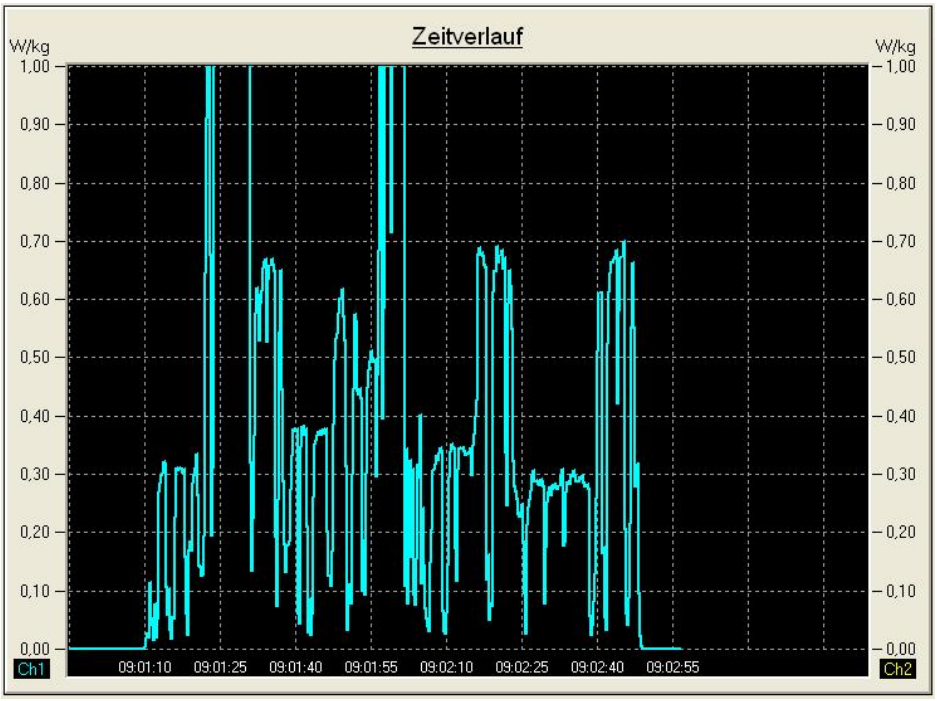


Abb.28: Sagem X2 bei optimalen Empfang

9. Tipps zur Strahlungsminimierung

9.1 Tipps aus Quellen[31]

- beim Handykauf - neben dem Design und dem Preis - auf einen niedrigen SAR-Wert (unter 0,6 W/kg) und Strahlungsfaktor (unter 5) achten
- kritisch überprüfen, ob man immer und überall mit dem Handy telefonieren und erreichbar sein muss (z.B. U- und S-Bahn, Zug, Auto, Büro, Schule, Kino)
- für längere Gespräche möglichst ein Festnetztelefon nutzen
- alternativ auf Fax, SMS oder E-Mail ausweichen
- auf guten Empfang (4 bis 5 Balken) achten (verbesserter Empfang oft im Freien oder am Fenster)
- Handy erst ans Ohr halten, wenn beim Gesprächspartner das Telefon klingelt, da beim Verbindungsaufbau die Sendeleistung am höchsten ist
- möglichst kurz telefonieren
- Handy an der unteren Hälfte seitlich anfassen, sodass die Rückseite weitgehend frei bleibt
- Headset oder Freisprechfunktion eines Handys verwenden
- im Auto möglichst mit Freisprechanlage und Außenantenne telefonieren
- die Basisstation schnurloser Telefone außerhalb des Schlafzimmers aufstellen

9.2 Meine Vorschläge

Zur Verringerung der Strahlungsleistung von Handys und Mobilfunkmasten könnten die Netzbetreiber die Senderdichte vergrößern, sodass z. B. in dicht bevölkerten Räumen keine Funklöcher mehr auftreten und andererseits Handys überall guten Empfang haben. Die zusätzlichen Sender könnte man in Ampeln oder Straßenlampen integrieren. Für die Durchsetzung solcher Vorhaben wäre aber eine umfassende Aufklärung der Bevölkerung notwendig, um ihr die Ängste vor weiteren Sendemasten zu nehmen.
Je dichter das Netz desto geringer kann die Gesamt-Sendeleistung ausgelegt werden, da die Dämpfung durch Häuser usw. wegen der kürzeren Übertragungswege geringer wird.

Bei den bisherigen Handys ist es schwierig, ein durchgehendes Abschirmmaterial zwischen Antenne und Vorderschale in die Innenseite einzubringen, da die Fläche durch Tastatur, Display und Lautsprecher unterbrochen ist.
Mein Vorschlag wäre deshalb, das Mikrofon und den Lautsprecher auf der Rückseite des Handys zu platzieren und ein Absorptionsmaterial (z.B. Gitter) in die rückseitige Schale zu integrieren. Während der Wahl des Gesprächpartners liegt das Handy - wie gewohnt - zur Eingabe bzw. Auswahl der Zielnummer in der Hand des Benutzers, wird aber anschließend mit der Rückseite an das Ohr gehalten, sodass nun eine optimale Abschirmung besteht und andererseits die Sprachqualität nicht darunter leidet. Das Zustandekommen einer Verbindung könnte man optisch durch eine LED auf der Rückseite signalisieren.

Für derzeitige Handys schlage ich vor, eine beschichtete Folie oder Gitter beim Telefonieren zwischen Handy und Kopf zu bringen. Eine praktikable Möglichkeit wäre z.B. das Handy nach der Wahl des Gesprächspartners in eine Gitterschale zu stecken.

[31] Quelle 1, Seite 10; Quelle 3, Seite 4; Quelle 4, Seite 14/15

Die einfachste derzeitig verfügbare Variante zur Reduzierung von Strahlung besteht in der Benutzung eines Headsets. Dabei sollte man das Handy nicht in die Hosentasche stecken, sondern in der Hand halten, sodass die Antenne frei ist.

Unabhängig von all diesen technischen Vorschlägen sollte man sich aber öfters bewusst machen, wie man durch einfache tägliche Gewohnheiten die Gefahren reduzieren kann, ohne dabei auf die Vorteile des Mobilfunks verzichten zu müssen. So könnte man z.B. zur Mitteilung kurzer Sachverhalte weitgehend die Textnachricht SMS nutzen, da beim Wegschicken das Handy relativ weit vom Körper entfernt ist und zudem das Versenden nur kurze Zeit dauert und kaum Leistung benötigt, wie auf der Abb. 29 zu sehen ist.

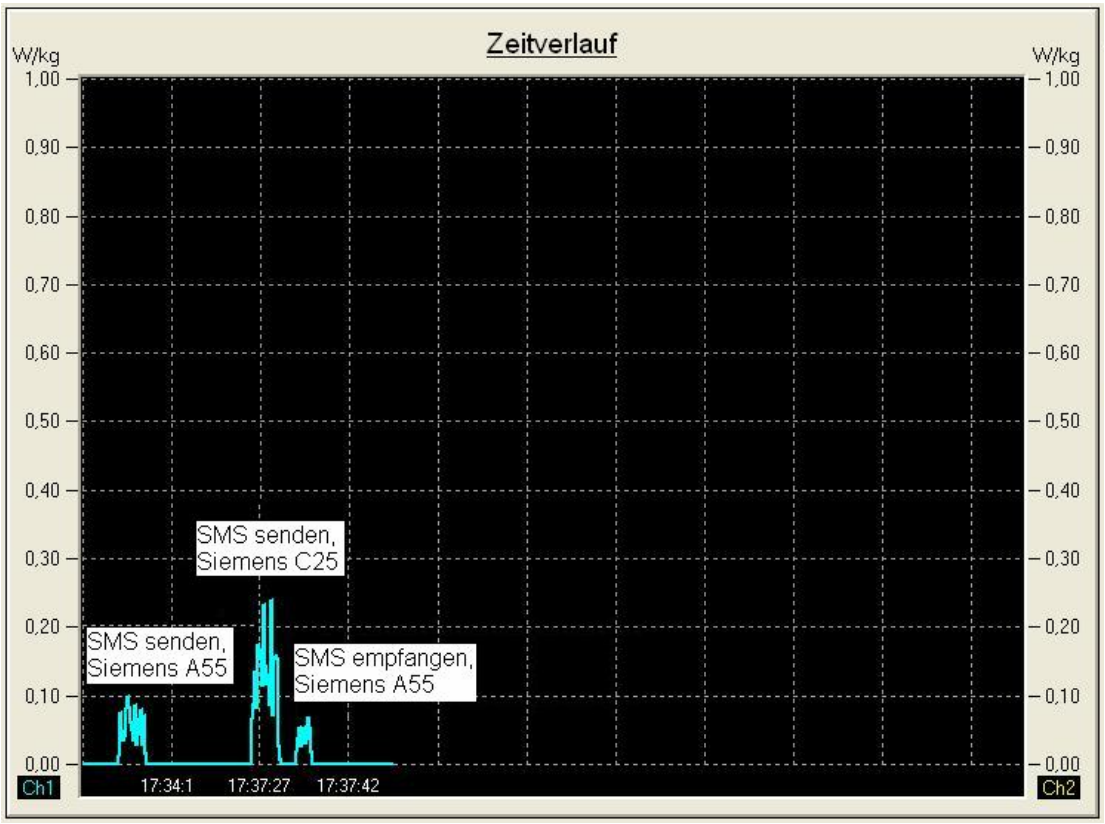


Abb.29: Verschicken und Empfangen von SMS

10. Schlusswort

Am Ende meiner Facharbeit möchte ich mich bei Herrn Dr.-Ing. Heinrich Eder herzlich bedanken, der mir den Mobilfunkmesskopf zur Verfügung stellte und dadurch diese Arbeit ermöglichte. Die Idee zu dieser Facharbeit hatte mein Physikleistungskurslehrer Herr Günther Schuster, als er von der Aktion „Mobilfunk und Schule“ las. Daraufhin hat er mit mir eine Informationsveranstaltung besucht, sodass das Nabburger Gymnasium die Möglichkeit zur Ausleihe des Mobilfunkmesskopfes erhielt. Am Ende des Schuljahres 2005/2006 bekam ich dieses Gerät und konnte die ersten Messungen durchführen. Die folgenden zwei Wochen waren sehr aufregend und die Arbeit machte mir großen Spaß, wobei mich die Ergebnisse immer wieder erstaunten. Nach etwa 100 Messungen sandte ich den Koffer am letzten Schultag ans bayerische Landesamt für Umwelt zurück.

11. Anhang

11.1 Quellenverzeichnis

(1) Broschüre „Elektromagnetische Felder“
Herausgeber: Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (Juni 2003)

(2) Broschüre „Fachinformation Stichwort Mobilfunk“
Herausgeber: Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU) (Jan. 2003)

(3) Strahlenthemen: Mobilfunk und Sendetürme
Herausgeber: Bundesamt für Strahlenschutz (Aug. 2005)

(4) Broschüre „Mobilfunk: Wie funktioniert das eigentlich?“
Herausgeber: Bundesamt für Strahlenschutz (Mai 2006)

(5) Mobilfunk und Schule – Leitfaden für die Anwendung des Mobilfunk-Messkopfes im Unterricht (März 2006)
Autor: Dr.-Ing. Heinrich Eder, LfU

(6) Mobiler Messkopf zur standortunabhängigen Teilkörper-SAR-Messung an Mobiltelefonen (Dez. 2005)
Autoren: Dr.-Ing. Heinrich Eder, LfU; Dipl. Phys. Arno Wiedenhofer, StMUGV

(7) Broschüre „Elektromagnetische Felder“
Herausgeber: Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU) (Sept. 2002)

(8) Grundlagen, Begriffserklärungen vom Bundesamt für Strahlenschutz
http://www.bfs.de/elektro/hff/grundlagen.html (Okt. 2005)

(9) „3.6 Rundfunktechnik“ aus meinen Physikaufzeichnungen der K12

(10) Präsentation „Mobilfunk_Technik“ von Herrn Dr.-Ing. Heinrich Eder

(11) www.bitcom.org

11.2 Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe.
Insbesondere versichere ich, dass ich alle wörtlichen und sinngemäßen Übernahmen aus anderen Werken als solche kenntlich gemacht habe.

_____ _____

Ort, Datum Unterschrift