

Innovationen in der Antennenentwicklung für Mobiltelefone unter Berücksichtigung des Benutzereinflusses

Dirk Manteuffel, Dirk Heberling

IMST GmbH, Carl-Friedrich-Gauss-Str. 2, D-47475 Kamp-Lintfort

manteuffel@imst.de

1 Einleitung

Mit dem Wechsel vom zwanzigsten ins einundzwanzigste Jahrhundert hat sich der Mobilfunk zu einer global genutzten Kommunikationsmöglichkeit entwickelt. Diese Entwicklung geht eng mit der Einführung des Standards GSM (Global System for Mobile Communication) einher. Werden Mobiltelefone, die auf dem momentan aktuellen GSM Standard beruhen, vorwiegend zur Sprachkommunikation genutzt, soll das Endgerät mit der für das Jahr 2003 geplanten Einführung von UMTS (Universal Mobile Telecommunication Standard) zur universellen Multimedia Schnittstelle werden. Diese rasante Entwicklung setzt einen äquivalenten Fortschritt in der Technologie voraus. Hier sind besonders die Fortschritte in der Systemintegration zu nennen. Hochintegrierte Elektronik ermöglicht es, moderne Mobiltelefone immer kleiner zu bauen, während die Funktionalität stetig steigt.

Diesen hohen Anforderungen an Miniaturisierung und ästhetischem Design bei steigender Funktionalität muss auch die Antennenentwicklung Rechnung tragen. Bereits vor einigen Jahren wurden hier die ausziehbaren Antennen weitgehend durch die kompakteren Helixantennen ersetzt. Gegenwärtig vollzieht sich wiederum ein Wandel in der Antennentechnik für Mobiltelefone. Dieser äußert sich darin, dass bei vielen neuen Geräteentwicklungen versucht wird, auf eine von außen sichtbare Antenne gänzlich zu verzichten und diese statt dessen vollständig in das Gehäuse zu integrieren. Die Nachfrage nach integrierten Antennen von Seiten der Endgerätehersteller ist durch mehrere

Aspekte begründet: Hier ist zum einen das Design zu nennen, welches die abstehende Antenne nicht mehr berücksichtigen muss. Zum anderen steigt die Robustheit der Geräte, da der Benutzer keinen direkten Zugriff mehr auf die Antenne hat; diese also nicht verbiegen oder abbrechen kann. Schließlich entstehen produktionsbezogene Vorteile, da die Antenne beispielsweise als Stanz-Biegeteil hergestellt und mittels automatischer Bestückung in das Mobiltelefon eingesetzt werden kann.

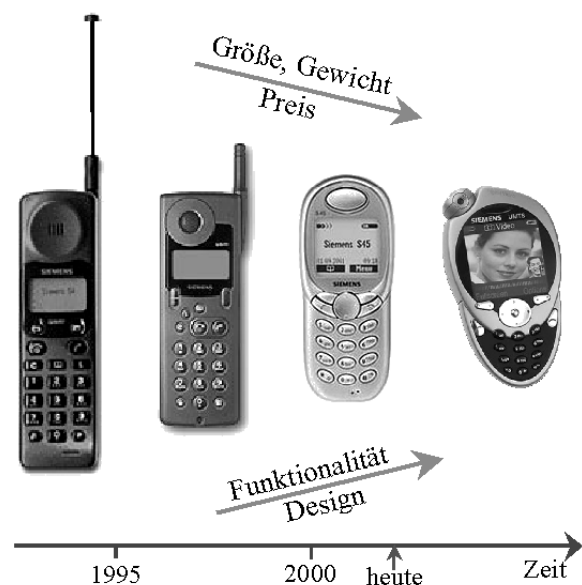


Bild 1: Evolution der Mobiltelefone.

2 Anforderungen an integrierte Antennen für Mobiltelefone

Für den Antennenentwickler stellen integrierte Antennen eine besondere Herausforderung dar. Zur Integration in das Gehäuse eines Mobiltelefons sind herkömmliche Konzepte nicht geeignet. Hingegen werden Strukturen verwendet,

welche auf dem Prinzip der Mikrostreifenleitungsantenne, die vielfach umgangssprachlich auch als *Patchantenne* bezeichnet wird, basieren. In einer kompakten Bauform, wie sie bei einem Mobiltelefon vorliegt, liefern diese Antennenkonzepte im Allgemeinen nur eine geringe Bandbreite. Demnach ist ein vorrangiges Entwicklungsziel, in dem zur Verfügung stehenden geringen Volumen eine Antenne mit ausreichender Anpassung im gesamten Frequenzband zu integrieren, die mit Hinblick auf die Massenproduktion kostenminimal aufgebaut werden kann. Hinzu kommt, dass derzeit nahezu alle aktuellen Geräte mehrere Standards vereinen. In Europa sind dies vorwiegend der GSM900 und der GSM1800 Standard. Vielfach kommt auch noch der GSM1900 Standard hinzu. Deshalb ist eine weitere Anforderung an geeignete Konzepte für integrierbare Antennen, ihre Mehrbandfähigkeit in Bezug auf die genannten Standards. Ein oft nicht genügend berücksichtigter Aspekt einer Antenne für Mobiltelefone ist die Interaktion mit dem Benutzer. Befindet sich die Antenne im Inneren eines kleinen Gerätes, lässt es sich praktisch nicht vermeiden, dass sich der Benutzer mit seiner Hand oder seinem Kopf in unmittelbarer Nähe der Antenne befindet. Das führt zu dem, dass abgestrahlte Energie im Gewebe des Benutzers in Verlustwärme umgewandelt wird. Zum anderen beeinflusst der Benutzer die Abstrahlungseigenschaften der Antenne.

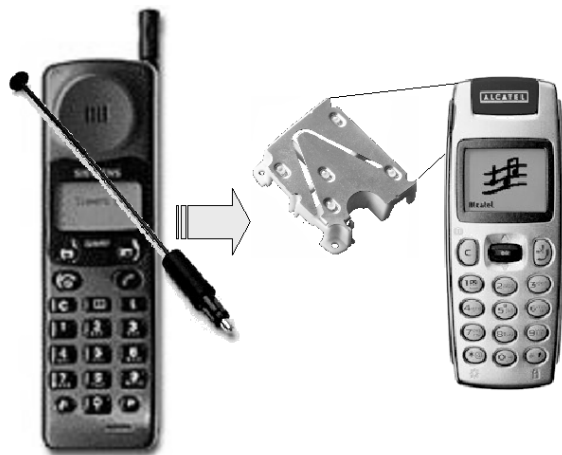


Bild 2: Von externen zu integrierten Antennen.

3 Das Funktionsprinzip

Um die Wirkmechanismen von Antennen in kleinen Mobiltelefonen eingehend zu analysieren, ist es notwendig, die Interaktion des Antennenmoduls mit dem Mobiltelefon zu untersuchen [1]. Die Gesamtlänge moderner Mobiltelefone variiert derzeit zwischen 80 mm und 130 mm. Bei einer Mittenfrequenz von 925 MHz im GSM900-Band entspricht das $0,25 \lambda$ bis $0,4 \lambda$. Im GSM1800-Band entspricht die Länge der Hauptplatine dementsprechend bei einer Frequenz von 1800 MHz $0,48 \lambda$ bis $0,78 \lambda$. Unabhängig von der speziellen Geräte-topologie stellt die Hauptplatine (PCB - Printed Circuit Board) des Mobiltelefons das leitfähige Objekt mit den größten Abmessungen innerhalb des Gerätes dar. Seine Größe und Breite entspricht etwa der Gesamtausdehnung des Mobiltelefons.

Zur optimalen Platznutzung werden integrierte Antennen in Mobiltelefonen meistens im $\lambda/4$ -Mode betrieben [2]. Dies setzt die Nutzung der Hauptplatine als Gegenpol zum Antennenmodul voraus. Das sich daraus ergebende Funktionsprinzip wird häufig fälschlicherweise allein durch das Spiegelungsprinzip beschrieben, bei dem von einer Monopolantenne über einer unendlich ausgedehnten Masseebene ausgegangen wird. Vereinfacht wird hierbei angenommen, dass die Masseebene den Monopol spiegelt. Diese Annahme ist für eine unendlich ausgedehnte Massefläche exakt und für eine große Massefläche näherungsweise gültig. Sie bildet aber für ein kleines Mobiltelefon mit o. g. Abmessungen die physikalischen Zusammenhänge nur unzureichend nach.

Ein zutreffenderes Modell kann durch die Analyse der Stromverteilung auf dem Mobiltelefon aufgestellt werden [1]. Diese lässt sich wie folgt in drei Anteile aufteilen: Die Stromverteilung auf dem Antennenmodul entspricht einer $\lambda/4$ -Verteilung. Abweichungen entstehen ledig-

lich durch Stromverdrängungseffekte aufgrund der Faltung des Strahlers und der daraus resultierenden Verkopplung verschiedener Strahlerbereiche. Die Stromverteilung auf der Hauptplatine stellt die Überlagerung zweier Effekte dar: Direkt unter dem Antennenmodul bildet sich auf der Hauptplatine die vom Antennenmodul induzierte Stromverteilung aus. Sie entspricht prinzipiell der Verteilung auf dem Antennenmodul, besitzt jedoch ein anderes Vorzeichen und ist zudem über den oberen Teil der Hauptplatine *verschmiert*. Des weiteren stellt sich durch die Ankopplung der Hauptplatine an das Antennenmodul eine globale Stromverteilung auf der Hauptplatine ein. Diese folgt den Randbedingungen der elektrisch leitfähigen Platte, die diese Platine darstellt. Da die Länge der Hauptplatine beispielsweise im Falle einer GSM900-Antenne nahe der halben Wellenlänge in Luft liegt, kann sich auf ihr eine entsprechende Stromverteilung ausbilden. Bei geeigneter Länge kann es sogar zur Eigenresonanz der Hauptplatine kommen. Die resultierende Stromverteilung auf der Hauptplatine stellt eine Überlagerung beider genannten Effekte dar. Beschreibt man die Wirkungsweise der Antenne lediglich durch das Spiegelungsprinzip, werden die durch Eigenresonanz der Hauptplatine hervorgerufenen Ströme vernachlässigt.

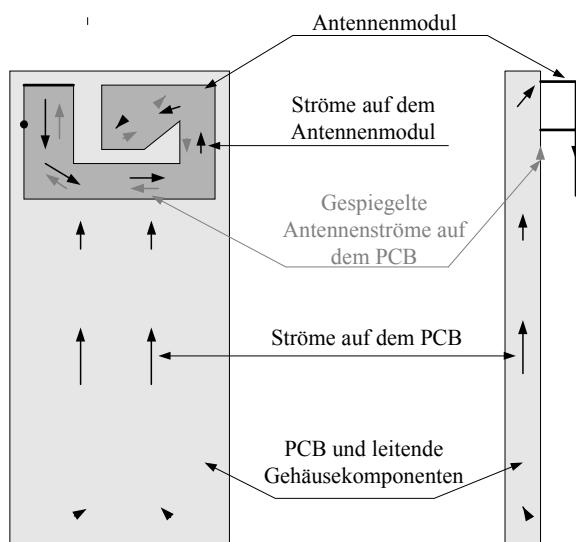


Bild 3: Prinzipielle Stromverteilung auf dem PCB und dem Antennenmodul.

Der oben beschriebene Einfluss der Stromdichte auf der Hauptplatine des Mobiltelefons ist bei weitem nicht klein. Insbesondere im GSM900 Band bestimmt er dominant die Antenneneigenschaften des Mobiltelefons. Dies lässt sich besonders eindrucksvoll anhand der Bandbreite der Antenne demonstrieren. Bild 3 zeigt die erzielbaren Bandbreiten bei Verwendung des gleichen Antennenmoduls in Mobiltelefonen verschiedener Größe.

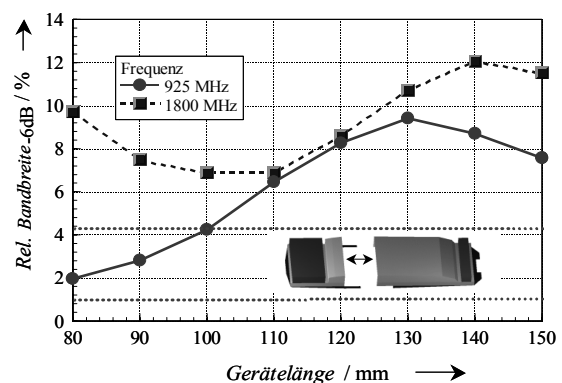


Bild 3: Erzielbare Bandbreite bei Verwendung der gleichen integrierten Antenne in Mobiltelefonen verschiedener Größe.

4 Der Einfluss des Benutzers

Bei der Verwendung eines Mobiltelefons durch den Benutzer kommt es aufgrund der Nähe des menschlichen Gewebes zur elektromagnetischen Strahlungsquelle zu einer Wechselwirkung, die im folgenden als Benutzereinfluss bezeichnet wird. Der Benutzereinfluss kann auf unterschiedliche Art betrachtet werden:

Hier ist zum einen der *Einfluss des Mobiltelefons auf den Benutzer* zu nennen. In diesem Fall wird der Einfluss des hochfrequenten elektromagnetischen Feldes auf den menschlichen Körper untersucht. Ein solcher Einfluss wird oft mit einer potentiellen gesundheitlichen Schädigung des Benutzers in Zusammenhang gebracht. Eine Sichtung und Bewertung der biomedizinischen Forschung wird von der WHO (World Health Organisation) vorgenommen. Auf ihrer

Basis hat die ICNIRP (International Commission on Non-Ionising Radiation Protection) einen Katalog von Grenzwerten zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern zusammengestellt [3]. In diesem Katalog werden verschiedene Frequenzbereiche hinsichtlich der Wirkmechanismen elektromagnetischer Felder auf den biologischen Organismus unterschieden. In dem für Mobiltelefone relevanten Frequenzbereich wird in [3] als dominierender Effekt die Absorption von hochfrequenter elektromagnetischer Energie im biologischen Gewebe angegeben. Die Absorption ist zumeist lokal begrenzt, ihre Verteilung inhomogen. Die Umwandlung der hochfrequenten elektromagnetischen Energie in Verlustleistung führt zu einer Temperaturerhöhung im biologischen Gewebe. Dieser Zusammenhang wird durch die *SAR* (Spezifische Absorptionsrate)

$$SAR = c \left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{t=0+} = \sigma \frac{E_{eff}^2}{\rho} \quad (1)$$

ausgedrückt. Die *SAR* stellt die im Gewebe umgesetzte Verlustleistung bezogen auf eine bestimmte Gewebemasse dar. Gl. (1) stellt einen direkten Zusammenhang zwischen dem im Gewebe induzierten elektrischen Feld und der im Körper hervorgerufenen Temperaturerhöhung pro Zeiteinheit dar. In [3] werden Experimente zitiert, die gezeigt haben, dass eine Temperaturerhöhung von bis zu 1 Kelvin im menschlichen Gewebe durch den körpereigenen Temperaturregelungsmechanismus ohne nachweisbare Schädigung ausgeglichen werden kann. Bei einem Erwachsenen ist hierzu eine Ganzkörper-*SAR* von 4 W/kg mit einer halbstündigen Befeldung notwendig. Um verschiedene Umgebungsbedingungen und die unterschiedliche physiologische Konstitution der Individuen zu berücksichtigen, wird ein Sicherheitsfaktor von 10 für beruflich Exponierte und ein weiterer Sicherheitsfaktor von 5 für die allgemeine Bevölkerung vorgeschlagen. Dies führt zu einem Maximalwert der *SAR* im ganzen

Körper von 0,08 W/kg. Da es bei der Verwendung von Mobiltelefonen vorwiegend zu einer lokalen Exposition im Bereich des Kopfes des Benutzers kommt, werden in [3] höhere Grenzwerte angegeben. So ergibt sich in der ICNIRP Richtlinie [3] für das Maximum der lokalen *SAR* im Kopf oder Rumpf ein Grenzwert von 2 W/kg. Obwohl die Überprüfung der *SAR* Werte in Europa derzeit nicht zwingend vorgeschrieben ist, wird sie dennoch von allen Endgeräteherstellern durchgeführt. Die ermittelten Werte werden dem Kunden zugänglich gemacht.

Zur Illustration zeigt Bild 4 die anhand einer numerischen Simulation berechnete *SAR*-Verteilung in einer Nachbildung des menschlichen Kopfes bei Verwendung eines Mobiltelefons für den GSM900 Standard.

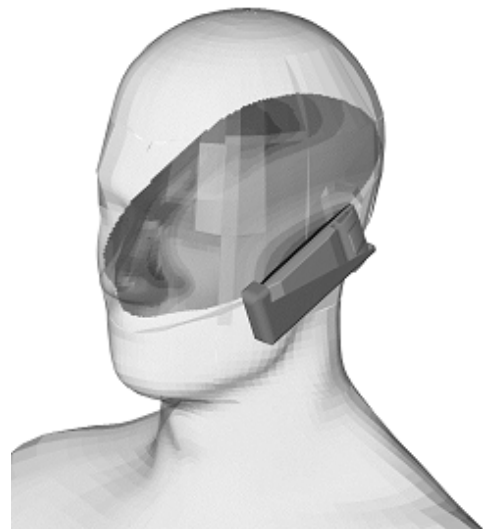


Bild 4: Numerisch berechnete *SAR*-Verteilung in einer Nachbildung des menschlichen Kopfes bei der Benutzung eines Mobiltelefons.

Im Gegenzug zur oben angeführten Sichtweise kann man auch den *Einfluss des Benutzers auf das Mobiltelefon* betrachten. Hier führen die Gewebeverluste dazu, dass nicht die gesamte von der Antenne abgestrahlte Leistung in das Fernfeld transportiert wird. Zum anderen kann die hohe Permittivität des Gewebes zu einer Fehlanpassung der Antenne führen. Außerdem wird die Richtcharakteristik der Antenne beeinflusst. Im Benutzerfall besteht zwischen der

abgestrahlten Leistung und der vom Verstärker am Antennenfußpunkt zur Verfügung gestellten Leistung folgende Beziehung:

$$P_{rad} = P_{in} - P_{ref} - P_{Verlust, Antenne} - P_{Verlust, Benutzer} \quad (2)$$

In Gl. (2) bezeichnet P_{rad} die gesamte ins Fernfeld abgestrahlte Leistung, P_{in} die vom Verstärker ausgang zur Verfügung gestellte Leistung. P_{ref} bezeichnet die am Antennenfußpunkt durch Fehlanpassung reflektierte Leistung. Eine solche Fehlanpassung tritt auch ohne Benutzer auf. Ihr Wert wird jedoch durch Rückwirkung vom Benutzer beeinflusst. $P_{Verlust, Antenne}$ bezeichnet die Materialverluste der Antenne. Hier muss zusätzlich zum Material des Antennenmoduls auch das Material des übrigen Mobiltelefons berücksichtigt werden. Dieser Anteil ist vom Benutzer unabhängig. Schließlich beschreibt $P_{Verlust, Benutzer}$ die Verlustleistung, die im biologischen Gewebe in Wärme umgesetzt wird.

Bild 5 zeigt beispielhaft den Einfluss einer Nachbildung des menschlichen Kopfes auf das Richtdiagramm eines Mobiltelefons für den GSM900 Standard.

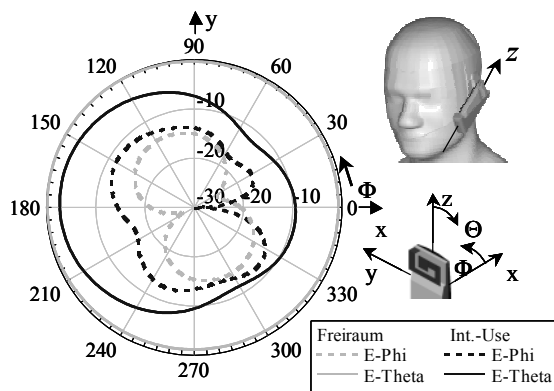


Bild 5: Numerisch berechneter Einfluss einer Nachbildung des menschlichen Kopfes auf das Richtdiagramm eines Mobiltelefons.

5 Multibandantennen

Moderne Mobiltelefone sind mittlerweile so konzipiert, dass sie in zwei oder mehreren Mobilfunkstandards arbeiten können. Die ver-

schiedenen Standards verwenden unterschiedliche Frequenzbänder. *Dualband* Geräte werden in Europa meistens auf die Mobilfunkstandards GSM900 und GSM1800 angepasst. Um die Verwendung dieser Geräte beispielsweise auch bei Reisen in die USA zu ermöglichen, unterstützen manche Geräte zusätzlich den GSM1900 Standard. Hierbei handelt es sich ebenfalls um einen verbreiteten digitalen Mobilfunkstandard, der auf den GSM Spezifikationen beruht. Derartige Mobiltelefone werden auch als *Tripleband* Geräte bezeichnet. In Hinblick auf die geplante Einführung des UMTS Standards im Jahre 2003 ist zu erwarten, dass aufgrund unzureichender Netzabdeckung die ersten Geräte zusätzlich auf die GSM Standards ausgelegt werden.

Bild 6 zeigt die Lage der genannten Mobilfunkstandards im Frequenzspektrum. Es wird deutlich, dass gerade im oberen Frequenzbereich eng benachbarte und sogar überlappende Bereiche von der Antenne abzudecken sind.

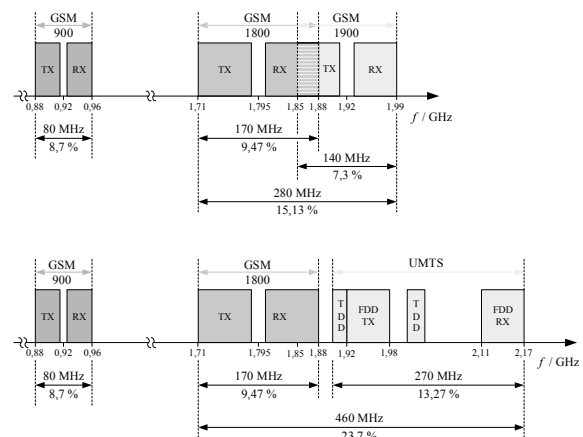


Bild 6: Frequenzbereiche verschiedener Mobilfunkstandards.

Ein Antennenkonzept, das geeignet ist eine solche Anpassung in den Bändern GSM900/1800/1900 oder GSM900/UMTS zu realisieren ist beispielhaft in Bild 7 dargestellt.

Das strukturierte Blech beinhaltet drei resonante Elemente, von denen zwei $\lambda/4$ Patchelemente sind und das dritte einen $\lambda/2$ Schlitzresonator darstellt, der mit einem der Patchelemente

verkoppelt ist. Das Funktionsprinzip der dargestellten Antenne ist Inhalt einer Patentanmeldung [4].

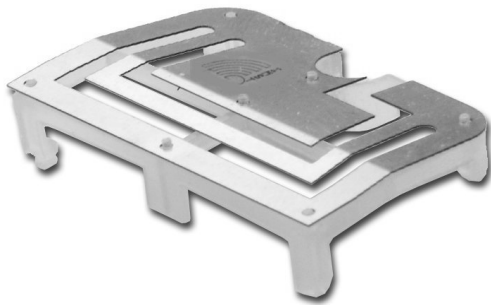


Bild 7: Dreiband-Antennenmodul.

Bild 7 zeigt die numerisch bestimmte Eingangsimpedanz der Antenne am Fußpunkt, der mit dem Verstärkerausgang des Mobiltelefons verbunden ist. Es sind deutlich die o. g. drei Resonanzen zu erkennen. Im selben Diagramm ist zusätzlich der Eingangsreflexionsfaktor der Antenne dargestellt. Dieser repräsentiert die Anpassung der Antenne an die Ausgangsimpedanz des Verstärkers des Mobiltelefons und gibt somit den Frequenzbereich an, in dem der Antenne vom Verstärker im Sinne einer Leistungsanpassung effizient Leistung zugeführt werden kann. Bild 7 zeigt, dass sich durch die beiden Resonanzen im oberen Frequenzbereich eine breitbandige Anpassung durch Verkoppelung der beiden Moden ergibt, die in diesem Fall die Bänder GSM1800 und GSM1900 abdeckt.

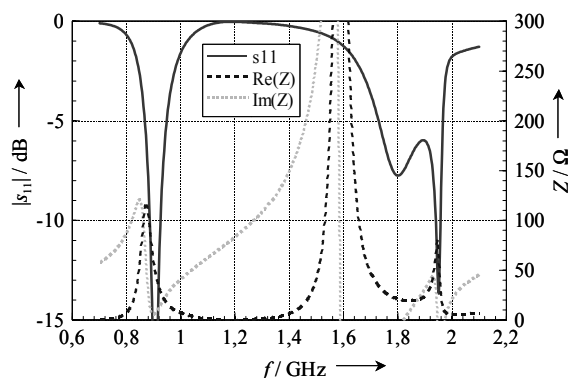


Bild 7: Eingangsimpedanz und Anpassung der Dreibandantenne an die gewünschten Frequenzbänder.

Die dargestellte Antenne erfüllt alle Randbedingungen, die an eine funktionelle low-cost Komponente für die Massenproduktion gestellt wird. Sie kann durch einen einfachen Stanzprozess aus einem Metallblech hergestellt werden. Das gilt auch für die Speisekontakte, die im gleichen Schritt mit ausgestanzt und als Federkontakte ausgeführt werden. Das so entstandene Antennenblech wird in vielen Fällen auf einem Kunststoffrahmen befestigt, der dann mittels automatischer Bestückung in das Mobiltelefon integriert wird. Einige Hersteller verzichten sogar auf den Kunststoffrahmen und klemmen das Antennenblech direkt in die Innenseite der Geräterückseite. Wird das Gerät geschlossen findet die Kontaktierung der Antenne automatisch statt.

6 Literatur

- [1] D. MANTEUFFEL: *Analyse und Synthese von integrierten Antennen für Mobiltelefone unter besonderer Berücksichtigung des Benutzereinflusses*. Dissertation, Gerhard Mercator Universität Duisburg, Shaker Verlag Aachen, ISBN 3-8322-0976-X, 2002.
- [2] K. HIRASAWA, M. HANEISHI (EDITORS): *Analysis and design of small and low-profile antennas*. Artech House Inc., Boston, 1992.
- [3] ICNIRP: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). In: *Health Physics*, vol. 74, pp. 449-522, 1998.
- [4] D. MANTEUFFEL: *Integrierte Dreiband Antenne*. Patentanmeldung beim Deutschen Patent- und Markenamt, Aktenzeichen 101 37 946.3, München, 7. August 2001