

Bekleidungstextilien mit elektromagnetischer Schirmwirkung

Thomas Mühl, Eric Kraus, Hermann J. Peifer, Fachhochschule Aachen, Aachen
Boris Obolenski, FEG Textiltechnik Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH, Aachen

Die stark wachsende Verbreitung von elektrischen Geräten im Hochfrequenzbereich wie Mobiltelefone, Funknetze und Mikrowellenöfen hat die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen elektromagnetischer Wellen in das öffentliche Interesse geholt. Der Beitrag beschreibt die Messung der Schirmdämpfung von konfektionierten Bekleidungstextilien.

Ausgangssituation

Die gültigen Grenzwerte elektromagnetischer Strahlung zielen auf den Schutz vor den wissenschaftlich nachgewiesenen gesundheitlichen Risiken. Daneben gibt es Empfehlungen u.a. vom Bundesamt für Strahlenschutz bezüglich geeigneter ergänzender Vorsorgemaßnahmen [1]. Dies betrifft beispielsweise den Gebrauch schnurloser Telefone oder bei Herzschrittmacherpatienten einen Mindestabstand zwischen Handyantenne und Herzschrittmacher.

Eine ergänzende Vorsorge kann unter bestimmten Umständen auch durch spezielle Bekleidungstextilien mit elektromagnetischer Schirmwirkung erreicht werden. Dabei werden ausgewählte CO-Fasern und ein hochfeiner Edelmetalldraht gemeinsam zu einem CO-Garn versponnen und daraus konfektionierte Kleidungsstücke hergestellt [2]. Bei geeigneter Auslegung und Verarbeitung kann so eine Schirmwirkung erreicht werden, ohne den Tragekomfort oder die Waschbarkeit des Textils zu verschlechtern.

Besonderheiten bei Bekleidungstextilien

Zur Qualifizierung der Schirmwirkung der textilen Flächen werden Schirmdämpfungsmessplätze verwendet, die in Anlehnung an Standards (IEEE-STD 299 / MIL-STD 285 oder ASTM D4935) die Reduzierung der Strahlungsintensität messen [3]. Die Ergebnisse beziehen sich dabei auf das unkonfektionierte, nicht am Körper getragene Textil. Wird das Textil als Alltagskleidung (Hemd, T-Shirt, Jacke) getragen, ergeben sich zwei zusätzliche Aspekte. Zum einen kann ein derartiges Bekleidungsstück keinen Vollschutz bieten, da dies eine vollständige Umhüllung des Menschen voraussetzen würde. Anders als bei Hochfrequenz-Schutzkleidung mit Masken, Handschuhen etc. gibt es bei Alltagsbekleidung Körperregionen mit und ohne Schirmwirkung, und der

Einfluss der Zuschnitte und Verarbeitung muss geklärt werden. Der zweite Aspekt ist der Einfluss des menschlichen Körpers, der elektromagnetisch nicht neutral ist, auf die Schirmwirkung des Textils. Aufgrund der Hochfrequenzeigenschaften des menschlichen Körpers und dessen Geometrie wird die Strahlungsreduzierung durch die Schirmhülle gegenüber dem Verhalten in Luft verändert. Beide Effekte können messtechnisch durch spezielle Messplätze mit einer Körperrückbildung oder feldtheoretisch mit Hilfe von Simulationen der elektromagnetischen Wellenausbreitung untersucht werden.

Feldsimulationen

Bei nahezu allen in der Praxis relevanten elektromagnetischen Feldproblemen lässt die Komplexität der technischen Anordnung eine Lösung mit analytischen Methoden nicht mehr zu. Die numerische Feldsimulation dient der Lösung elektromagnetischer Probleme mit Hilfe digitaler

Rechner. Mittels umfassender Visualisierungsmöglichkeiten kann man in die Struktur hineinschauen und so Dinge erkennen, die einer direkten Messung nicht zugänglich sind. Gerade die Kombination von punktueller Messtechnik und den erweiterten Möglichkeiten der Simulation führen zu einem tiefen physikalischen Verständnis und tragen so zur Optimierung von elektromagnetischen Systemen bei.

Als 3-dimensionaler Feldsimulator wurde hier der Zeitbereichssimulator von CST Microwave Studio eingesetzt, da dieser bei nicht resonanten Strukturen noch relativ geringe Rechenzeiten benötigt. Zur Diskretisierung wird das Lösungsgebiet in eine große Anzahl von Zellen unterteilt. Sind die Zellen klein genug, ändern sich die Felder auf den Zellkanten nur geringfügig, und die zugrunde liegenden Maxwell'schen Gleichungen können auf den Zellflächen durch lineare Gleichungen ersetzt werden. Als Folge erhält man ein großes Gleichungssystem für die elektromagnetischen Integralgrößen aller Zellen, welches dann mit den Methoden der numerischen Mathematik gelöst werden kann. Für die Zeitbereichssimulation wird die Struktur mit einer transienten Anregung (Impuls) beaufschlagt und der räumliche Feldverlauf zeitlich solange berech-

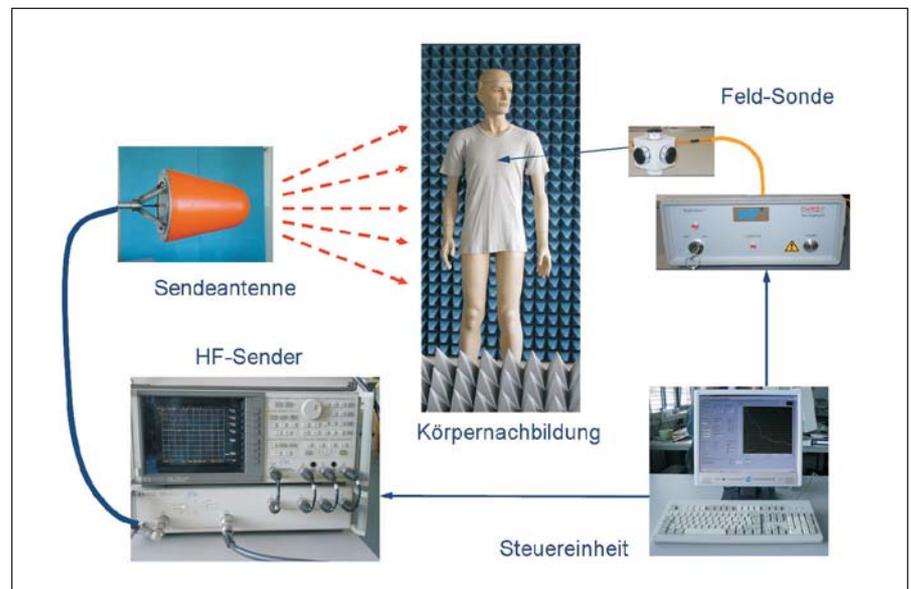


Bild 1 Messplatz mit einer Körperrückbildung

net, bis nahezu keine Energie mehr in der Struktur vorhanden ist. Die Extraktion des Übertragungsverhaltens im Frequenzbereich erfolgt mit Hilfe einer nachgeschalteten diskreten Fourier-Transformation. Typische Rechenzeiten auf einem 3 GHz-Pentium-Rechner liegen bei 10 h für eine Diskretisierung mit 500.000 Zellen.

Messplatz mit einer Körperrnachbildung

Wesentliche Komponente des in Bild 1 dargestellten Messplatzes zur Schirmdämpfungsmessung von Bekleidungstextilien ist eine Körperpuppe aus ca. 5 mm dickem Polyethylen, die vollständig mit einem Hochfrequenzabsorber ausgefüllt ist. Das Absorbermaterial ist so gewählt, dass es näherungsweise die Dämpfungseigenschaften des menschlichen Gewebes aufweist. Die Körperpuppe wird von einem Netzwerkanalysator mit Leistungsverstärker über die Sendeantenne aus zwei Metern Entfernung bestrahlt. Im Inneren der Puppe kann an verschiedenen Stellen eine Feldsonde platziert werden. Die Sonde misst die elektrische Feldstärke in drei Raumachsen und überträgt die Messwerte über einen Lichtwellenleiter zur Steuereinheit des Messplatzes. Auf diese Weise werden Messungen im Frequenzbereich 800 MHz bis 3 GHz jeweils ohne und mit Textil durchgeführt. Aus beiden Messungen wird dann für die jeweilige Messstel-

le die Schirmdämpfung des Textils als Funktion der Frequenz bestimmt.

Einfluss des menschlichen Körpers

Die elektromagnetischen Eigenschaften des menschlichen Körpers, die für die Wellenausbreitung und Intensitätsverteilung maßgeblich sind, können durch eine frequenzabhängige elektrische Leitfähigkeit und Dielektrizitätskonstante beschrieben werden. Zur Nachbildung des menschlichen Körpers müssen durch eine entsprechende Modellierung sowohl die Körperabmessungen als auch das stark differenzierte Innere des Körpers nachgebildet und über individuelle Unterschiede gemittelt werden. Angewendet werden kann ein homogenes Körpermodell mit einer mittleren Leitfähigkeit und relativen Dielektrizitätskonstante z.B. nach EN 50361 für Simulationen des Kopfes bzw. entsprechenden Materialkonstanten für den Körpertrumpf oder ein Schichtenmodell, das die Körperoberfläche mit Haut, Fettschicht, Rippen und Muskelgewebe differenzierter und damit für das Eindringen der Strahlung realitätsnäher nachbildet. Aus den differenzierten Angaben der Datenbank des Italian National Research Councils (IFAC) [4] wurde ein Schichtenmodell des menschlichen Rumpfes für die weiteren Untersuchungen gewählt. Zusätzlich wurde bei den Berechnungen be-

rücksichtigt, dass das Textil nicht direkt auf der Körperoberfläche anliegt, sondern typischerweise eine Luftschicht zwischen leitfähigem Schirm und Hautoberfläche vorhanden ist. Tabelle 1 gibt den Schichtaufbau mit den elektrischen Parametern bei 900 MHz an.

Auf der Basis dieses Modells wurden Feldsimulationen für 900 MHz, 1,9 GHz und 2,45 GHz (Frequenzen D-Netz, E-Netz und Mikrowelle/Funknetze) mit unterschiedlichen Schichtdicken, die die starke individuelle Variationsbreite widerspiegeln sollen, durchgeführt. Dabei wurde der planare Schichtaufbau mit einer ebenen Welle bestrahlt und die Leistungsflussdichte (Strahlungsintensität) im Muskelfleisch jeweils mit und ohne elektromagnetischen Schirm verglichen. Die Reduzierung der Leistungsflussdichte ist dann die Schirmdämpfung des sich vor dem Körpermodell befindenden Textils. Zur Überprüfung der Simulationsergebnisse wurden zusätzlich Berechnungen des Leistungstransports im eingeschwungenen Zustand mit Hilfe hintereinander geschalteter, verlustbehafteter Wellenleiter durchgeführt. Die Eigenschaften der Wellenleiter wie Wellenimpedanz, Ausbreitungskonstante und Länge wurden entsprechend den Schichten des Körpermodells festgelegt. Die Ergebnisse der Dämpfungen durch das schirmende Textil decken sich mit denen der Feldsimulationen.

Bild 2a zeigt die sich ergebende Schirmdämpfung des körperrnah getragenen Textils für einen Stoff, der in Luft 10 dB Dämpfung besitzt, und Bild 2b die Ergebnisse für einen 30 dB-Stoff. Orange sind die Schirmdämpfungswerte bei den angenommenen typischen Dicken, schwarz die Werte bei den Dickenvariationen. Zu erkennen ist die meist geringere Schirmdämpfung des getragenen Textils und die

| | Dicke [mm] | Leitfähigkeit [S/m] | rel. Dielektrizitätskonstante | Variation der Dicke/mm |
|-------------------|------------|---------------------|-------------------------------|------------------------|
| Schirmtextil | | | | |
| Luftschicht | 5 | 0 | 1 | 0 bis 15 |
| Haut | 2,5 | 0,87 | 41,1 | 1 bis 5 |
| Fett | 5 | 0,05 | 5,5 | 2 bis 8 |
| Rippen/Muskulatur | 10 | 0,58 | 35,6 | 10 |
| Muskelfleisch | | 0,94 | 55 | ∞ |

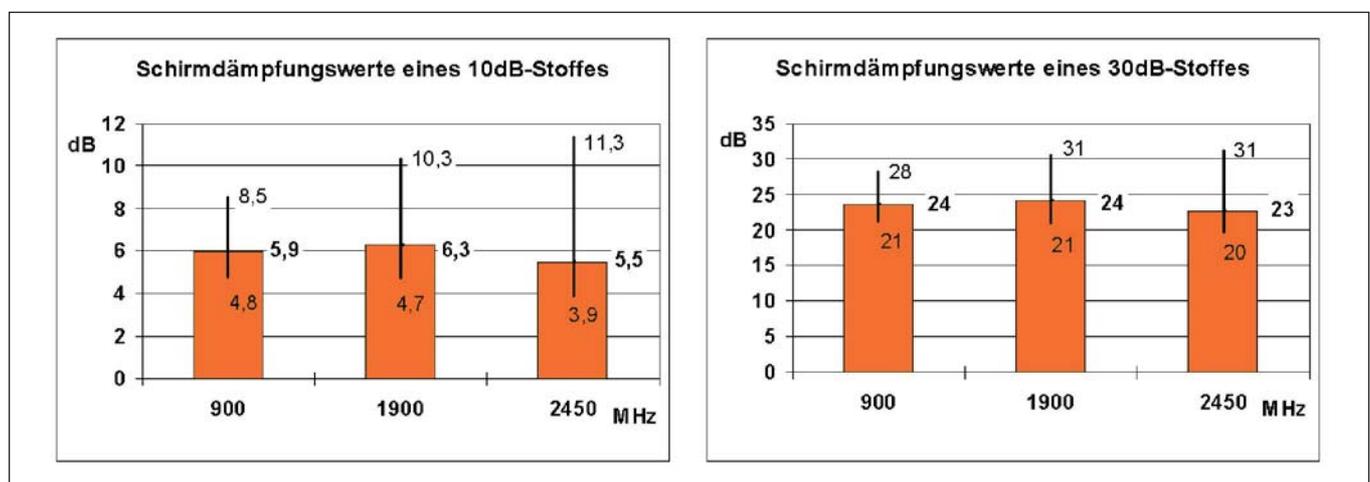


Bild 2 Vergleich der Schirmdämpfungen eines körperrnah getragenen Textils mit der in Luft: a) 10 dB-Stoff, b) 30 dB-Stoff

Variationsbreite der Dämpfung bei Veränderungen der Schichtdicken. Größten Einfluss hierbei hat die Luftschicht zwischen Textil und Hautoberfläche.

Aus weiteren Berechnungen für anders dämpfende Schirmstoffe wurde eine Transfer-tabelle ermittelt, die eine Abschätzung der typischen Dämpfungswerte von körpernah getragenen Textilien auf der Basis der Schirmdämpfungswerte in Luft erlaubt. Bild 3 zeigt den Zusammenhang für 900 MHz, 1,9 GHz und 2,45 GHz.

Schirmwirkung eines T-Shirts aus schirmender Strickware

Zusätzlich zu dem Einfluss des menschlichen Körpers soll nun die Wirkung der

Öffnungen und Ränder der Bekleidungstextilien untersucht werden. Dazu wurde ein Simulationsmodell aufbauend auf der beschriebenen Mehrschicht-Körpernachbildung definiert. Bild 4 zeigt das Modell, dessen Körperabmessungen an typische Werte, die auch die Messpuppe aufweist, angelehnt sind. Der Rumpf wurde durch einen elliptischen Zylinder mit 30 cm Breite, 24 cm Tiefe und einer Höhe von 59 cm dargestellt, Arme und Beine und der Hals als Zylinder angesetzt.

Mit diesem Torso wurden Simulationen der Feldverteilungen ohne und mit einem leitfähigem T-Shirt, das in Bild 4 blau dargestellt ist, durchgeführt. Die weiteren Ergebnisse beziehen sich auf 900 MHz, ver-

tikale Polarisation der elektrischen Feldstärke des anregenden Felds und eine Darstellung in der senkrechten Schnittebene, die in Bild 4 hellgrau dargestellt ist. Bild 5 zeigt die Ergebnisse: links die Dämpfungswerte durch ein T-Shirts aus 10 dB-Stoff und rechts die eines 30 dB-T-Shirts. Zu erkennen ist, dass sowohl bei dem 10 dB-T-Shirt der körpernah getragene Dämpfungswert von ca. 6 dB (Reduzierung der Intensität um 75 %) als auch beim 30 dB-T-Shirt der Wert von 24 dB (Reduzierung um 99,6 %) in einer größeren Region im Körper erreicht wird. Mit zunehmender Nähe zu den Öffnungen verringert sich aber der Dämpfungswert, sowohl zum Hals als auch zum unteren T-Shirt-Rand hin. Um 90 % des jeweils möglichen Dämpfungswerts zu erhalten, muss bei dem 10 dB-T-Shirt ein Abstand von mindestens 6 cm und beim 30 dB-T-Shirt ein Abstand von etwa 18 cm zu allen Öffnungen eingehalten werden. Dieser erforderliche Abstand hängt von der Frequenz der Strahlung, der Polarisation des anregenden Felds und den Körpereigenschaften ab und ist nur als Richtwert anzusehen.

Mess- und Simulationsergebnisse eines T-Shirts aus Strickware

Der beschriebene Messplatz mit der Körpernachbildung wurde für Messungen an einem fertig ausgerüsteten T-Shirt aus Strickware verwendet. Gemessen wurde, wie in Bild 6 dargestellt, in Randhöhe des T-Shirts und 5, 20 und 30 cm höher, jeweils in einer Tiefe von 6 cm von der Vorderseite. Der ausgerüstete Stoff hat bei 900 MHz eine Schirmdämpfung in Luft von 16,4 dB, was einen Körperdämpf-

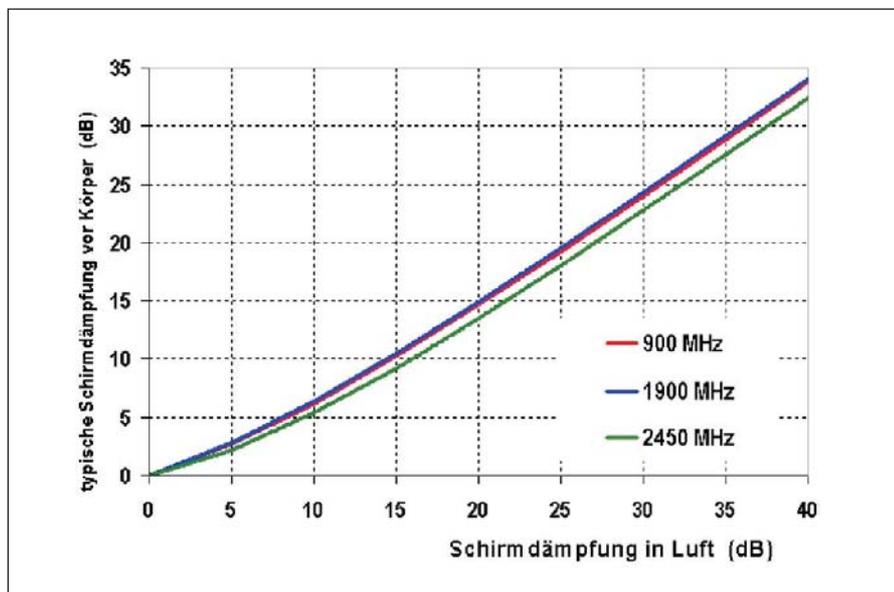


Bild 3 Typische Schirmdämpfungswerte von körpernah getragenen Textilien als Funktion der Schirmdämpfung in Luft

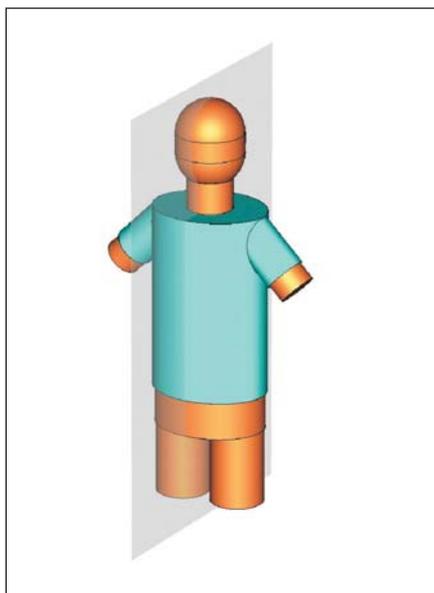


Bild 4 Simulationsmodell mit EMV-T-Shirt

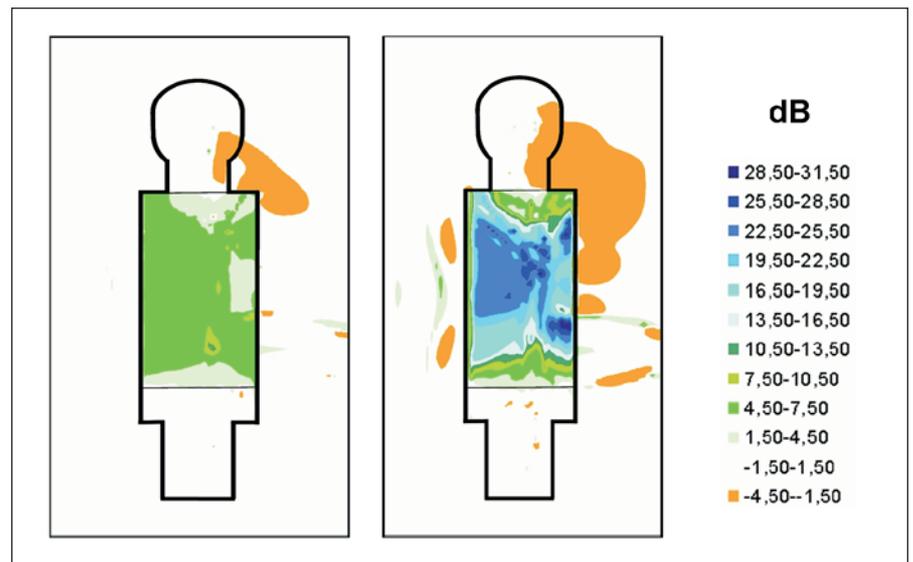


Bild 5 Simulationsergebnisse: links Dämpfung durch ein 10 dB-EMV-T-Shirt, rechts Dämpfung durch ein 30 dB-EMV-T-Shirt

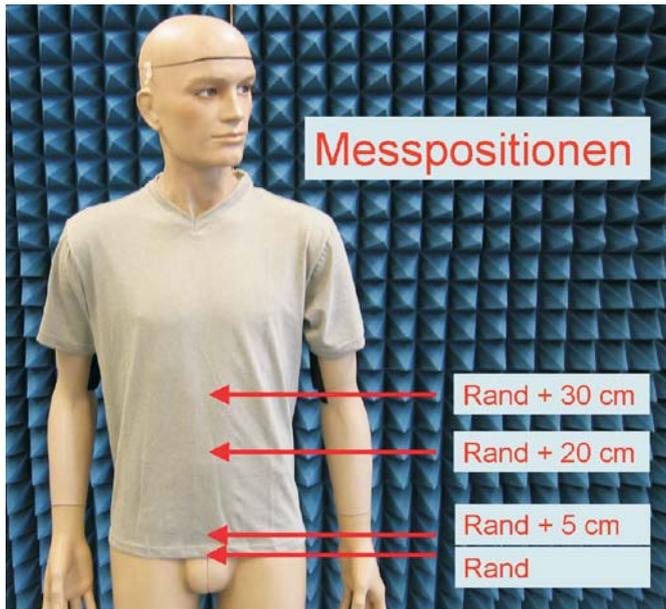


Bild 6 Untersuchtes T-Shirt mit Markierung der Messpositionen

fungswert ohne Öffnungen von typischerweise 11,4 dB erwarten lässt. Bild 7 zeigt die Messergebnisse für 900 MHz und vertikale Polarisation des elektrischen Feldes zusammen mit den Simulationsergebnissen des getragenen T-Shirts. Man erkennt den Einfluss der unteren Öffnung des T-Shirts und dass man die Messwerte näherungsweise mit den simulierten Werten nachbilden kann.

Fazit

Im Rahmen des Projekts wurde ein Messplatz mit einer menschlichen Körperrückbildung aufgebaut, der die Messung der Schirmdämpfung von konfektionierten Bekleidungstextilien erlaubt. Erste Messungen zeigen eine gute Übereinstimmung der Messergebnisse mit Feldsimulationen der entsprechenden Geometrien. Mit der Kombination aus detailliert auswertbaren Simulationsergebnissen und Überprüfung durch gezielte Messungen kann eine Abschätzung der Schirmwirkung auch bei nicht vollständiger Umhüllung der Person erreicht werden. Die Ergebnisse können als typische Richtwerte verwendet werden, Einflüsse wie die individuelle Körpergeometrie oder der innere Organaufbau sind dabei nicht berücksichtigt.

Mit diesen Verfahren konnte gezeigt werden, dass bei geeigneter Textilie und Konfektionierung auch bei einer unvollständigen Umhüllung des Körpers eine Schirmwirkung in größeren Körperregionen erreicht werden kann.

Danksagung

Wir danken der Stiftung Industrieforschung für

die Förderung des Forschungsprojekts "Entwicklung von EMV-Messverfahren zur Untersuchung und Optimierung neuartiger EMV-Bekleidung"

Literatur

[1] Strahlung und Strahlenschutz, Broschüre des Bundesamts für Strahlenschutz, 2003,

www.bfs.de

- [2] Mühl, T., Obolenski, B., Melliand Textilberichte 85 (2004), 348-349, 587-588
- [3] Mühl, T., Obolenski, B., Melliand Textilberichte 85 (2004), 190-192
- [4] Dielectric Properties of Body Tissues, Datenbank des Italian National Research Councils (IFAC), <http://niremf.ifac.cnr.it/tissprop>

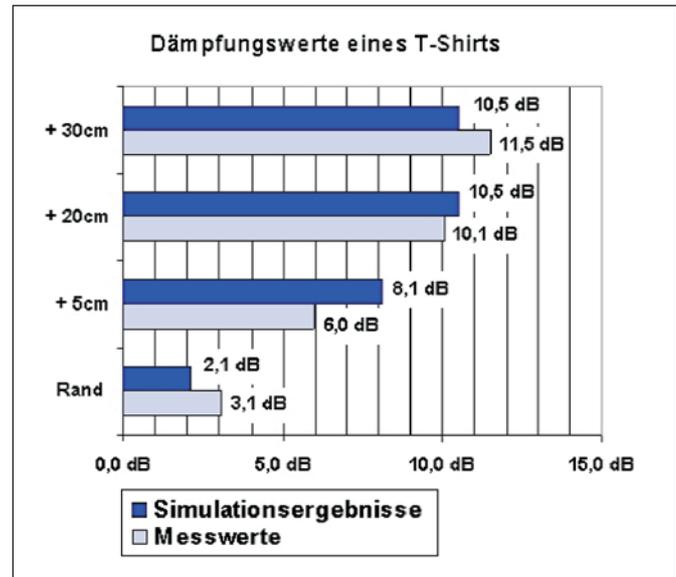


Bild 7 Ergebnisse der Messungen mit einem T-Shirt und Simulationsergebnisse bei 900 MHz