

## NEWS

l e t t e r

G 14514 ● 7. Jahrgang ● Nr. 2 ● August 1999

# Sicherheit von Personen mit Herzschrittmachern in elektromagnetischen Feldern

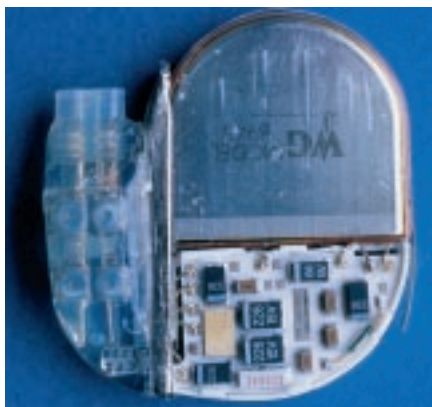


Abbildung: Herzschrittmacher

## Eine Zusammenfassung des aktuellen Forschungsstands von Dipl. Phys. Theodor Bossert

Seit jeher wird zwischen der möglichen Störung von Geräten (Elektromagnetische Verträglichkeit, EMV) und der Gefährdung des Menschen bzw. der natürlichen Umwelt (Elektromagnetische Umweltverträglichkeit, EMVU) unterschieden.

Eine Gerätestörung ohne Gefahr für den Menschen liegt z.B. vor, wenn zwei Computermonitore Verzerrungen und Flackern zeigen, weil sie in zu geringem Abstand voneinander aufgestellt sind. Derartige Stör-

beeinflussungen von Geräten untereinander sind im täglichen Leben unvermeidlich. Niemand käme auf die Idee, etwa um einen Computermonitor herum eine Absperrung mit Warnschildern zu errichten, bloß weil andere elektronische Geräte in der Nähe gestört werden könnten. In der Nähe eines Induktionsofens oder unmittelbar vor einer Funkantenne kann das Feld so stark sein, daß es dadurch direkt zu schädlichen Wirkungen im menschlichen Körper kommt. Derartige Gefahrenbereiche müssen deshalb generell durch Absperrungen für Menschen unzugänglich gemacht werden.

In manchen Situationen überlagern sich beide Sachverhalte, wenn es nämlich um die Störung von Geräten geht, deren Fehlfunktion Menschen gefährden kann: Während des Fluges ist die Störung der Bordelektronik des Flugzeugs mittelbar auch eine Gefahr für die Insassen, selbst wenn diese keinem für sie unmittelbar gefährlichen Feld ausgesetzt sind. In so einem Fall sind Absperrungen nicht realisierbar, hier muß durch Warnhinweise verhindert werden, daß felderzeugende Geräte im Inneren des Flugzeugs verwendet werden.

[Fortsetzung auf Seite 2 >](#)

## Inhalt

Sicherheit von Personen mit Herzschrittmachern in elektromagnetischen Feldern	S. 1
Mobilfunk im Krankenhaus	S. 6
Herzschrittmacher und Handys	S. 10
Internationale Personenschutzstandards	S. 12
Rückblick nach fünf Jahren Medizinproduktegesetz	S. 14
Nachrichten	S. 15
Impressum	S. 16





Fehlfunktionen kommen. In diesem Fall muß der Herzschrittmacherträger gewarnt werden.

Wie das oben erwähnte Beispiel der Computermonitore beschreibt, kann man bei elektronischen Geräten keinesfalls erfahrungsgemäß davon ausgehen, daß sie in allen Feldern ungestört funktionieren, die für den Menschen noch nicht unmittelbar gefährlich sind. Dies gilt auch für implantierbare Herzschrittmacher, auch bei diesen Geräten darf man nicht a priori davon ausgehen, daß sie ausreichend störfest seien. Die Forschungsgemeinschaft Funk hat sich deshalb die Aufgabe gestellt, die Erforschung der Störfestigkeit von Herzschrittmachern zu fördern, um damit für Personen mit Herzschrittmachern mehr Sicherheit vor Gefährdung durch elektromagnetische Felder zu erreichen. Diese Studien sollen auch dazu dienen, daß die Hersteller von Herzschrittmachern in die Lage versetzt werden, ihre Geräte in Zukunft hinreichend störfest zu machen.

### Unterschiedliche Herangehensweisen

Die Störfestigkeit von implantierten Herzschrittmachern kann man sowohl am lebenden Patienten als auch mit Hilfe von Modellen des menschlichen Körpers untersuchen. Beide Vorgehensweisen sind aus der Literatur bekannt.

Untersuchungen am lebenden Menschen bringen Sicherheit gegen Modellfehler bei der Nachbildung des menschlichen Körpers und gewährleisten eine absolut reale Situation. Unvorteilhaft ist jedoch, daß jeder Patient einen Spezialfall darstellt und die Untersuchung nur für seinen eingesetzten Herzschrittmacher und die Beschaffenheit und Lage seiner Elektrode gilt. Man kann also nie feststellen, ob es nicht noch kritischere Kombinationen aus Lage der Herzschrittmacherelektrode, Störfestigkeit des implantierten Geräts und körperlichen Eigenschaften des Patienten gibt. Darüber hinaus wird niemand einen Patienten stundenlangen Tests aussetzen wollen. Soviel Zeit wäre aber erforderlichlich,

um alle denkbaren Konstellationen eines einwirkenden Feldes zu berücksichtigen. Als nicht unproblematisch erweisen sich bei diesen Untersuchungen am Menschen auch ethische Fragen: Darf man einen Herzschrittmacherträger durch bewußte Feldexposition in Situationen bringen, bei denen sein Herzschrittmacher Fehlfunktionen zeigen könnte? Diese Exposition dient schließlich nicht der Behandlung des Patienten, sondern der Erforschung der Störsicherheit von implantierten Herzschrittmachern im Allgemeinen.

Die Forschungsgemeinschaft Funk hat wegen der ethischen Problematik darauf verzichtet, aktiv Untersuchungen mit Patienten zu fördern. Gleichwohl gibt es derartige Untersuchungen in der Literatur, die natürlich zur Meinungsbildung nicht zu vernachlässigen sind [1].

Unter der Beschränkung auf Modelluntersuchungen gibt es wiederum zwei prinzipielle Ansätze, um die Störfestigkeit von implantierten Herzschrittmachern zu erforschen.

Beim ersten Ansatz, der im Folgenden als ganzheitliche Methode bezeichneten Vorgehensweise, „implantiert“ man einen realen Herzschrittmacher mitsamt seiner Elektrode direkt in ein mechanisches Körpermodell und belastet ihn mit äußeren elektromagnetischen Feldern bis zum ersten Auftreten einer Funktionsstörung. Der Vorteil ist, daß man unmittelbar Schwellen für die Feldstärke ermitteln kann. Der Nachteil ist jedoch, daß man auf alle zu untersuchenden Herzschrittmachertypen nacheinander alle denkbaren äußeren Feldkonstellationen einzeln einwirken lassen muß, wobei das dann jeweils für alle denkbaren Elektrodenkonstruktionen und alle programmierbaren Einstellungen des jeweiligen Gerätetyps zu wiederholen ist.

Beim zweiten Ansatz, folgend strukturierte Methode genannt, unterscheidet man zwischen der Einkopplung des äußeren Feldes in die implantierte Elektrode und der davon völlig unabhängigen Störfestigkeit des Herzschrittmachergeräts gegenüber

Allein in der Bundesrepublik Deutschland leben mehr als 300.000 Menschen mit einem implantierten Herzschrittmacher. Für diese Menschen ist dieses elektronische Gerät lebensnotwendig, weshalb es unerlässlich ist, daß es ununterbrochen störungsfrei funktioniert. Der Herzschrittmacher selbst ist ein kompaktes elektronisches Gerät, das über eine implantierte Elektrode mit dem Herzen verbunden ist: Er überwacht den Herzrhythmus und stimuliert das Herz, falls es aussetzt. Als hochkomplexes elektronisches Gerät läßt sich auch ein Herzschrittmacher durch elektromagnetische Felder stören. Befindet sich der Herzschrittmacherträger in einem elektromagnetischen Feld, so ist damit auch sein Implantat dem Feld ausgesetzt. Es ist dann entscheidend, welche Störfestigkeit das Herzschrittmachergerät besitzt:

- Ist das Gerät so störfest, daß Fehlfunktionen erst bei Feldstärken auftreten können, die bereits auch für den Menschen selbst unmittelbar gefährlich wären, kommt es zu keiner Gefährdung, denn am Eintreten in derartig starke Felder wird die Allgemeinbevölkerung ja durch Absperrungen gehindert.
- Ist das Gerät hingegen weniger störfest, so könnte es zu lebensbedrohlichen

Störspannungen an seinem Elektrodenanschluß. Der Vorteil hierbei ist, daß wesentlich weniger Kombinationen getestet werden müssen. Erst durch diese Strukturierung wurde es überhaupt möglich, systematisch nach den „kritischsten“ Konstellationen zu suchen: Man ermittelt für jedes Elektrodenlayout einzeln die wirksamste Konstellation des äußeren Feldes. Aus allen Ergebnissen wählt man jeweils dasjenige aus, das die größte eingekoppelte Spannung liefert. So erhält man den ungünstigsten Fall aller möglichen Einkopplungen. Entsprechend ermittelt man für jeden Gerätetyp zunächst einzeln seine störimpfindlichste Geräteeinstellung. Unter allen Geräten wählt man dann jeweils das empfindlichste aus und erhält so ein Störfestigkeitsverhalten, das dem „worst case“ aller Geräte entspricht. Durch Kombination der jeweils maximal eingekoppelten Spannung mit der minimalen Störschwelle aller Geräte erhält man diejenige Feldstärke, die im ungünstigsten Fall

ausreichen könnte, einen implantierten Herzschrittmacher zu stören. Andererseits kann man durch Kombination der jeweils maximal in die Elektrode eingekoppelten Spannung mit der für die Allgemeinbevölkerung zulässigen Feldstärke feststellen, welche Störspannungen ein Gerät aushalten müßte, damit sich auch ein Herzschrittmacherträger gefahrlos überall dort aufhalten kann, wo keine unmittelbare Personengefährdung besteht.

Nur bei der strukturierten Methode kann man die Einkopplungsmessungen durch numerische Berechnungen ergänzen: Damit wird es mit begrenztem Zeitaufwand möglich, Tausende von Kombinationen zu berücksichtigen. Auf der anderen Seite besteht dabei aber die Gefahr, daß durch ein Zusammenwirken verschiedener Abstrahierungen modellbedingte Effekte auftreten, die in der Wirklichkeit keine Bedeutung haben. Um diese Unsicherheit auszuschließen kann es oft sinnvoll sein, die Ergebnisse stichprobenartig mit Untersuchun-

gen nach der ganzheitlichen Methode zu überprüfen.

In der Literatur sind Untersuchungen nach beiden Vorgehensweisen bekannt. Die Forschungsgemeinschaft Funk hat sowohl Studien nach der ganzheitlichen Methode [2] als auch nach der strukturierten Methode [3] [4] [5] gefördert.

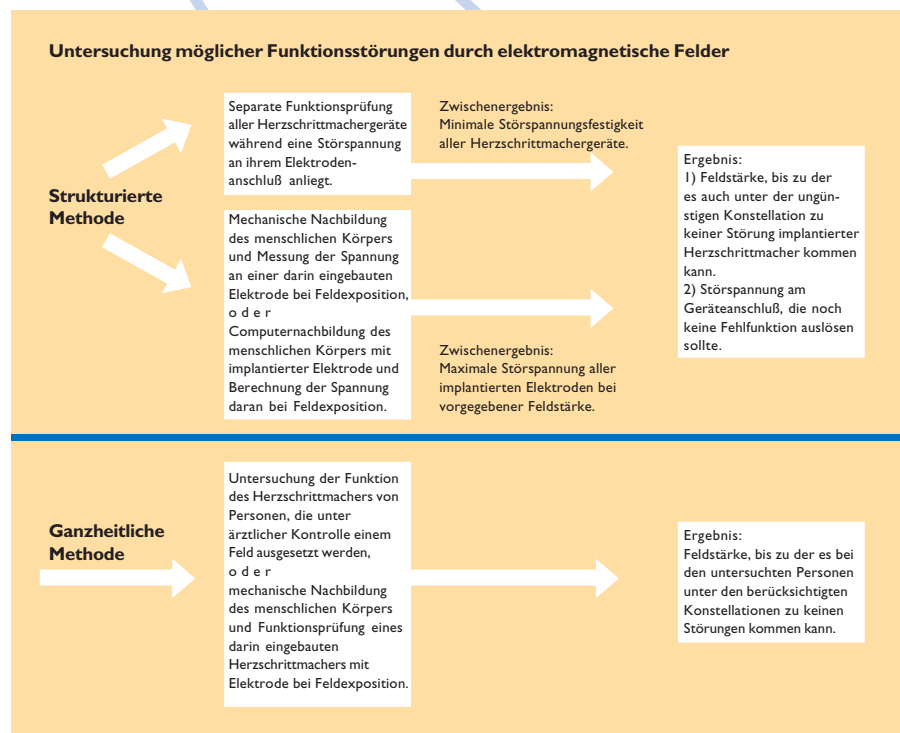
### Aktueller Stand des Wissens

In der Literatur fanden sich bis Anfang dieses Jahrzehnts bereits relativ umfangreiche Untersuchungen im Frequenzbereich unter 50 MHz [6] [7]. Für höhere Frequenzen gab es nur Einzeluntersuchungen, die keinen Gesamtüberblick erlaubten [8]. Deshalb enthielt die jetzt abgelöste Norm über die Begrenzung allgemein zugänglicher elektromagnetischer Felder E DIN VDE 0848 Teil 2:1991-10 nur im Frequenzbereich bis 50 MHz Schutzvorschriften für Herzschrittmacherträger. Entsprechendes gilt auch für die Gerätenorm für Herzschrittmacher E DIN EN 45502-2-1:1998-07, in welcher ein Nachweis der Störfestigkeit nur im Frequenzbereich bis 30 MHz gefordert wird.

In diesem Jahrzehnt ist die Anzahl der Veröffentlichungen zur Störbeeinflussung von implantierten Herzschrittmachern deutlich angestiegen. Die meisten theoretischen und experimentellen Untersuchungen gibt es im Rahmen der strukturierten Methode zum Einkopplungsmechanismus des äußeren Feldes in die Herzschrittmacherelektrode.

### Feldeinkopplung in die implantierte Herzschrittmacherelektrode

Hier gibt es andererseits auch die größte Variation bei den Ergebnissen. Es zeichnet sich ab, daß Messungen gewissermaßen nur noch als „Kalibrierung“ für die heute dominierenden Modellrechnungen eingesetzt werden. Der überzeugende Vorteil der numerischen Berechnungen des Einkopplungsmechanismus ist, daß man nahezu beliebig viele Konstellationen ausprobieren und sich nur so sicher sein kann,



**Bild 1: Die unterschiedlichen Herangehensweisen ergänzen sich**

Nur die strukturierte Methode macht es möglich, alle denkbaren Konstellationen zu berücksichtigen und dadurch Sicherheit in jeder Situation zu schaffen. Andererseits kann nur mit der ganzheitlichen Methode nachgeprüft werden, ob sich durch Modellbildungen und Simulationen Fehler eingeschlichen haben.



den ungünstigsten Einkopplungsfall auch tatsächlich erfaßt zu haben. Eine Einschränkung der theoretischen Untersuchungen liegt darin, daß man modellbedingten Effekten, die durch die digitalisierte Segmentierung des menschlichen Körpers entstehen und in der Realität nicht existieren, nur schwer auf die Spur kommt. Deshalb sind neue Berechnungsergebnisse stets in Frage zu stellen, solange sie noch nicht durch weitere Untersuchungen mit deutlich abweichendem Ansatz oder durch Messungen bestätigt wurden.

Die feststellbaren Abweichungen der Forschungsergebnisse untereinander sind weitgehend erklärbar, so daß es keine Wi-

dersprüchlichkeiten gibt. Studien, die sich auf wenige markante Konstellationen konzentrieren, haben in der Regel einen hohen Genauigkeitsgrad. Sie repräsentieren aber nur die untersuchten Konstellationen. Andererseits setzen Studien, die sehr viele Konstellationen berücksichtigen, eine gewisse Optimierung und Vereinfachung des Modells voraus. Sie erfassen die ungünstigste Konstellation besser, haben aber eine geringere Genauigkeit und bedürfen stets der Überprüfung auf rein modellbedingte Effekte. Auf dem Feld dieses pragmatischen „Widerspruchs“ hat sich in den letzten Jahren sehr viel getan: Einerseits sind die Computer heute erheblich leistungsfähiger als noch vor ein paar Jahren, und andererseits sind die theoretischen Rechenmodelle wesentlich verbessert worden.

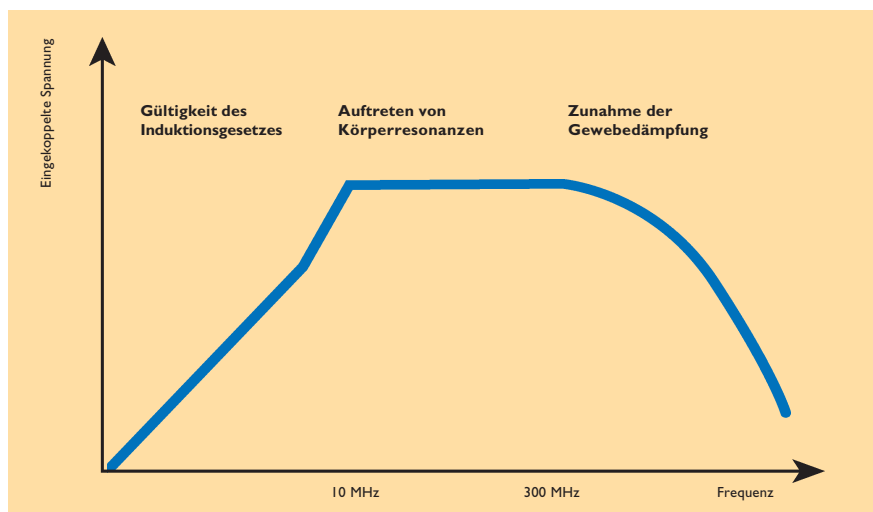
In einer Studie im Auftrag der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin haben Hansen et al. 1995 [9] gezeigt, daß sich im Frequenzbereich bis etwa 10 MHz elektrische und magnetische Empfindlichkeit in gewisser Weise komplementär verhalten. Eine implantierte Elektrode ist dann für ein homogenes Magnetfeld besonders empfindlich, wenn sie einer ge-

schlossenen Schleife nahe kommt. Genau dieses Layout ist andererseits relativ unempfindlich für ein homogenes elektrisches Feld. Entsprechend gilt die Umkehrung für eine eher gestreckt implantierte Elektrode. Es gibt keine Elektrode, die für beide Feldarten gleichzeitig optimal empfindlich ist. Im Frequenzbereich oberhalb etwa 10 MHz verwischt sich die Unterscheidbarkeit nach elektrisch bzw. magnetisch wirksamen Elektrodenlayouts. Zusätzlich treten hier Körperresonanzen auf.

Die Berechnungen von Hansen et al. decken viele Kombinationen aus Elektrodenlayouts und Feldkonfigurationen ab; eine solche Vielfalt wäre aus Zeitgründen meßtechnisch niemals realisierbar gewesen. Die Ergebnisse sind kompatibel zu den exemplarischen Messungen anderer Autoren.

In einer von der Forschungsgemeinschaft Funk geförderten Studie von Hansen et al. 1996 [5] wird die Einkopplung bei Frequenzen bis zu 2,5 GHz berechnet. Das dabei verwendete Planarmodell ist nur bei Frequenzen aussagekräftig, bei denen der menschliche Körper groß gegenüber der Wellenlänge ist, also etwa oberhalb 500 MHz. Ergebnis dieser umfangreichen Studie und weiterer Folgestudien desselben Autors ist, daß die Einkopplung oberhalb einer gewissen Frequenz wegen der zunehmenden Gewebedämpfung stetig abnimmt. Auch die Ergebnisse von Hansen et al. sind im Rahmen der getroffenen Vereinfachungen mit exemplarischen Messungen anderer Autoren kompatibel. Es zeigt sich allerdings, daß ein planares Körpermodell erst oberhalb von etwa 1 GHz zuverlässig das Auffinden der ungünstigsten Einkopplungskonstellation erlaubt.

In einer ebenfalls von der Forschungsgemeinschaft Funk geförderten Studie von Landstorfer et al. 1999 [5] wird die Einkopplung im Frequenzbereich 50 MHz bis 500 MHz berechnet. Diese Studie deckt eine sehr große Anzahl von Kopplungskonstellationen ab, welche die Autoren selbst exemplarisch durch einzelne Messungen überprüft haben. Diese Studie ergänzt die Kenntnisse im Frequenzbereich zwischen den bei-



**Bild 2: Maximale Antennenwirksamkeit beliebig implantierter Elektroden**

Jede implantierte Elektrode hat für sich genommen einen deutlich stärker differenzierten Frequenzgang. Wenn man die Frequenzgänge aller Konstellationen aus unterschiedlich implantierten Elektroden und unterschiedlichen Einfallsrichtungen des Feldes aufzeichnet, ergibt sich eine Hüllkurve, die etwa dem dargestellten Frequenzverlauf entspricht. Keine real implantierte Elektrode gibt mehr Störspannung an das Herzschrittmachergerät ab.

den vorgenannten Studien. Wenn man den gefundenen Frequenzverlauf der Einkopplung zwischen 150 MHz und 500 MHz zu höheren Frequenzen hin extrapoliert, fügt er sich gut mit den Ergebnissen des planaren Modells oberhalb 1 GHz zusammen. Die Ergebnisse bestätigen aber auch, daß das planare Modell unterhalb von 1 GHz nicht geeignet ist, den „worst case“ der Einkopplung zu beschreiben.

Bei etwa 80 MHz tritt nach den Berechnungen von Landstorfer et al. eine deutliche Resonanz auf. Es kann im Moment noch nicht ausgeschlossen werden, daß die starke Resonanzüberhöhung zu wesentlichen Teilen rein modellbedingt ist: Hier bedarf es erst noch bestätigender Untersuchungen.

Bezüglich des Einkopplungsmechanismus kann man im Ergebnis das Frequenzspektrum grob in drei Bereiche untergliedern:

- Bei tiefen Frequenzen bis etwa 10 MHz kann man die Einkopplung gut durch das Induktionsgesetz (Elektrode als Schleife) erklären: Die eingekoppelte Spannung steigt linear mit der Frequenz.
- Im Bereich der Körperresonanzen (30 ... 300 MHz) hat die eingekoppelte Spannung bei jeder einzelnen Konstellation einen erheblich zerklüfteten Frequenzgang, jedoch ist die eingekoppelte Spannung der jeweils ungünstigsten Konstellation nur wenig von der Frequenz abhängig, d.h. bei jeder Frequenz ist eben nur eine andere Konstellation relevant.
- Oberhalb 300 MHz nimmt die Dämpfung durch das Körpergewebe zu, so daß die eingekoppelte Spannung abnimmt.

### Störspannungsfestigkeit der Herzschrittmachergeräte

Die Störfestigkeit der Herzschrittmachergeräte hängt wesentlich vom Zeitverhalten des Störsignals ab. Besonders kritisch sind Signale, deren Hüllkurve einen ausgeprägten Niederfrequenzanteil enthält. Sind Anteile im Frequenzbereich zwischen 1 und 2 Hz vorhanden, kann der Herzschrittmacher dies als Herzeigenrhythmus interpretieren und die Stimulation des Her-

zens einstellen. Andere niederfrequente Anteile können vom Herzschrittmacher als Störung erkannt werden und ihn veranlassen, in den Störbetriebsmodus umzuschalten.

Es gibt also keine allgemeingültige Störspannungsschwelle für Herzschrittmacher, vielmehr ist jede Signalform, d.h. jede technische Feldaussendung einzeln zu betrachten. Aufgrund der umfangreichen, von der Forschungsgemeinschaft Funk geförderten Untersuchung der Störspannungsfestigkeit von Herzschrittmachergeräten durch Meckelburg et al. 1996 [3] kann man heute jedoch bereits für praktisch alle gebräuchlichen Signalformen Störschwellen angeben.

### Verifizierung

Vor allem hinsichtlich der Handfunktelefone gibt es zahlreiche Untersuchungen nach der ganzheitlichen Methode. So haben Hofgärtner et al. 1996 [1] an Patienten untersucht, bis zu welchen Abständen Störungen von Herzschrittmachern durch Handys auftreten. In einer von der Forschungsgemeinschaft Funk geförderten Studie hat Irnich 1995 [2] an vielen Herzschrittmachern, die mit ihrer Elektrode in einen mit Salzlösung gefüllten Trog eingebracht waren, den maximalen Störabstand handelsüblicher Handys ermittelt.

Die Ergebnisse beider Studien sind zu den weiter oben beschriebenen kompatibel. Dabei ist zu berücksichtigen, daß mit den Experimenten exemplarische Situationen abgebildet wurden und keine „worst case“-Betrachtung erfolgte.

### Fazit

Als Ergebnis der umfangreichen Studien kennt man nun die Feldeinkopplung in die Schrittmacherelektrode und das Störverhalten der aktuell implantierten Herzschrittmacher im Frequenzbereich bis 2,5 GHz. Erst auf der Basis dieser Kenntnisse war es den Gremien der Deutschen Kommission für Elektrotechnik (DKE) möglich, Schutzvorschriften hinsichtlich zulässiger Feldexposition für Herzschrittmacherträ-

ger im Frequenzbereich 0 Hz bis 2,5 GHz zu veröffentlichen (E DIN VDE 0848 Teil 3-1:1999-06). Gleichzeitig wird es nun möglich werden, die Störfestigkeit der Herzschrittmachergeräte in E DIN EN 45502-2-1 so festzulegen, daß die Träger dieser Geräte zukünftig in ihrer Bewegungsfreiheit nicht mehr eingeschränkt sein werden.

Nicht alle der derzeit noch implantierten Herzschrittmacher früherer Bauart erfüllen diese zukünftigen Anforderungen, so daß sich bis auf weiteres nicht alle Herzschrittmacherträger gefahrlos überall dort aufhalten können, wo sich Personen ohne Implantat aufhalten dürfen. Anhand der jetzt vorliegenden Erkenntnisse kann man die Herzschrittmacherträger jedoch zielgenau warnen, ohne durch pauschale Aussagerung allgemeine und unnötige Verunsicherung zu erzeugen.

*Dipl. Phys. Theodor Bossert ist Mitarbeiter am Institut für Rundfunktechnik, München*

### Literatur

- 1 Hofgärtner, F.; Müller, Th.; Sigel, H.: Können Mobil-Telefone im C- und D-Netz Herzschrittmacher gefährden? – In: Deutsche medizinische Wochenschrift (1996), Nr. 121, S. 646 – 647
- 2 Irnich, W.: Beeinflussbarkeit von Herzschrittmachern durch Mobilfunk. – In: Newsletter Edition Wissenschaft (1995), Nr.4, S. 3 – 8
- 3 Meckelburg, H.-J.; Jahre, K.; Matkey, K.: Störfestigkeit von Herzschrittmachern im Frequenzbereich 30 kHz bis 2,5 GHz. – In: Newsletter Edition Wissenschaft (1996), Nr. 5, S. 1 – 43
- 4 Hansen, V.; Vaupel, T.: Numerische Berechnung der Eingangsimpedanz von Herzschrittmachern und der durch einen externen Dipol am Herzschrittmachereingang erzeugten Störspannung. – In: Newsletter Edition Wissenschaft (1996), Nr.6, S. 9 – 22
- 5 Landstorfer, F.; Geisbusch, L.; Jakobus, U.; Maier, M.; Ruoff, H.-O.; Spreitzer, W.; Waldmann, J.: Development of a model describing the coupling between electrodes of cardiac pacemakers and transmitting antennas in their close vicinity in the frequency range from 50 MHz to 500 MHz. – Bericht des Instituts für Hochfrequenztechnik der Universität Stuttgart (1999)
- 6 Bossert, T.; Dahme, M.: Beeinflussung von Herzschrittmachern durch leistungsstarke Funksender. – In: Elektromagnetische Verträglichkeit, Tagungsband EMV'88, Hüthig-Verlag (1988), S. 545 – 554
- 7 Jahre, K.: Gutachten über die Störfestigkeit implantierbarer Herzschrittmacher. – Rheinisch-Westfälischer TÜV im Auftrag des FTZ der Deutschen Bundespost (1989)
- 8 Garbe, H.; Köster, D.; Hansen, D.: Meßtechnische Ermittlung der Eingangsspannung bei Herzschrittmachern unter Einfluß von elektromagnetischen Feldern. – Bericht des ABB EMI-Control Center im Auftrag des FTZ der Deutschen Bundespost (1989)
- 9 Hansen, V.; Xu, X.; Kammerer, H.; Eibert, T.: Elektromagnetische Felder im Nahbereich im freien Raum und im biologischen Körpergewebe, 30 kHz bis 100 MHz, HF-Störspannungen an Herzschrittmachern. – Bericht der Ruhr-Universität Bochum im Auftrag der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Fb 733 (1995) mit Ergänzung (1997)