

Lothar Geisbusch, Friedrich M. Landstorfer, et. al.

# Einkopplung elektromagnetischer Felder

## in Herzschrittmacherelektroden im Frequenzbereich von 50 MHz bis 500 MHz

Die Forschungsgemeinschaft Funk e.V. hat es sich u.a. zur Aufgabe gemacht, mögliche Störungen an Herzschrittmachern und deren Störmechanismen durch hochfrequente elektromagnetische Strahlung untersuchen zu lassen, um gesicherte Ergebnisse als Grundlage für Richtlinien und Normen zu erhalten, die sowohl die Sicherheit des Herzschrittmachertägers sicherstellen als auch die Notwendigkeiten moderner Funkdienste berücksichtigen.



Modell des ersten implantierbaren Herzschrittmachers von 1958

Sie hat zu diesem Zweck in der Vergangenheit drei Studien vergeben, die diese Frage unter verschiedenen Gesichtspunkten untersuchten (CETECOM: „Störfestigkeit von Herzschrittmachern im Frequenzbereich 30 KHz bis 2,5 GHz“, Edition Wissenschaft Nr. 5/96; Prof. Dr. Werner Irnich: „Störbeeinflussung von Herzschrittmachern durch Mobilfunkgeräte“, Edition

[Fortsetzung auf Seite 2 >](#)

## Inhalt

### FORSCHUNG

Einkopplung elektromagnetischer Felder in Herzschrittmacherelektroden im Frequenzbereich von 50 MHz bis 500 MHz **S. 1**

Internationale Fall-Kontrollstudie zur Untersuchung des Risikos für die Entstehung von Hirntumoren durch den Gebrauch von Handys **S. 8**

Interview mit Prof. Dr. Maria Blettner, Vorsitzende der Strahlenschutzkommission (SSK) **S. 10**

Zellen im Stress **S. 22**

### INTERNES

8. Mitgliederversammlung der FGF **S. 12**

Rede des Bundesministers für Wirtschaft und Technologie, Dr. Müller **S. 14**

### AKTUELLES

„Geldrollenbildung“ im Blut – verursacht durch Mobilfunk-Felder? **S. 4**

Neue Technologie UMTS – das Mobilfunksystem der nächsten Generation **S. 16**

DECT-Telefone: Gepulste Gefahr? **S. 26**

NACHRICHTEN **S. 28**

IMPRESSUM **S. 28**



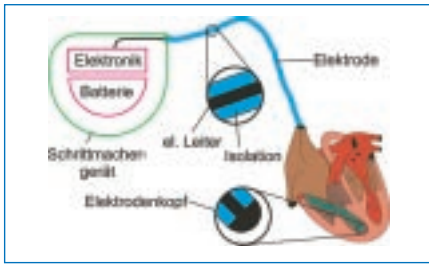


Bild 1: Schematische Darstellung des Herzschrittmachers.

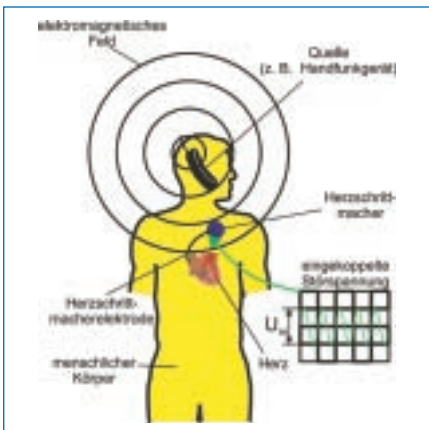


Bild 2: Körper mit Sendeantenne und Oszillogramm.

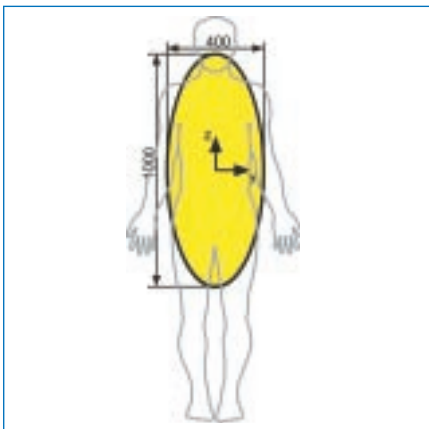


Bild 3: Ellipsoides Körpermodell.

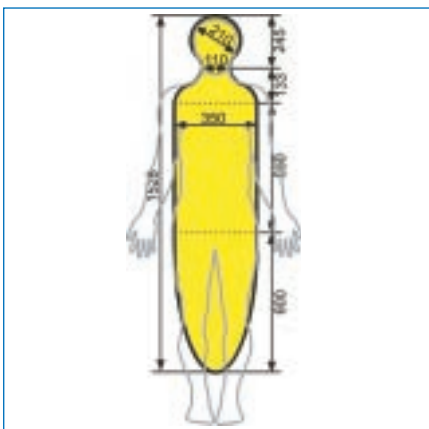


Bild 4: Körpermodell mit Kopf und Schulter.

Wissenschaft Nr. 7/96 und Prof. Dr. Volker Hansen: „Berechnung der Eingangsimpedanz von Herzschritt-machern“, Edition Wissenschaft Nr. 6/96). Gegenstand dieser von der FGF neu beauftragten Studie war die „Einkopplung elektromagnetischer Felder in Herzschritt-macherelektroden im Frequenzbereich von 50 MHz bis 500 MHz.“

### Problemstellung

Herzschrittmacher dienen der Therapie von Herzerkrankungen, wie z. B. Herzrhythmusstörungen. Das Schrittmachergerät, welches meist unter einem der beiden Schlüsselbeine implantiert wird, bedient sich dabei der sog. Herzschrittmacherelektrode. Diese Elektrode hat zwei Aufgaben: 1. Ableiten des Signals der Herzaktivität, damit das Gerät seine überwachende Funktion wahrnehmen kann, 2. Weiterleiten der Stimulationsimpulse vom Gerät zum Herzen (Bild 1, Seite 2).

Das Herzschrittmachergerät, welches großordnungsmäßig die Abmessungen einer Streichholzschachtel besitzt, beinhaltet sowohl eine Batterie als auch eine elektronische Schaltung, welche die eigentliche Funktion ausübt. Das metallische Gehäuse des Gerätes ist mit dem menschlichen Gewebe leitend verbunden. Jedoch ist die Elektrode, bis auf deren Kopf, gegenüber dem menschlichen Gewebe isoliert. Der Elektrodenkopf mündet im Herzen und verwächst dort dank einer speziellen Beschichtung mit dem Gewebe des Herzens.

Elektromagnetische Felder können in den menschlichen Körper eindringen und in der Herzschrittmacherelektrode eine elektrische Spannung induzieren. Diese Spannung kann sich störend auf die elektronische Schaltung des Schrittmachers auswirken (Bild 2, Seite 2).

Die untersuchten Frequenzen von 50 MHz bis 500 MHz liegen zwar außerhalb des für den Schrittmacher detektierbaren Frequenzbereichs, jedoch können durch Nichtlinearitäten, z.B. verursacht durch Halbleiter,

Gleichrichteffekte auftreten, so daß aus den hochfrequenten eingekoppelten Wechselspannungen Gleichspannungsanteile entstehen können. Sind die hochfrequenten Signale zum Beispiel mit einer Frequenz von 1 Hz amplitudenmoduliert, so resultiert daraus eine pulsierende Gleichspannung mit einer Frequenz, welche größenordnungsmäßig der des Herzschlags entsprechen kann. Der Herzschrittmacher kann dieses pulsierende Gleichspannungssignal als vom Herz kommendes Signal interpretieren und infolge dessen unerwünschte Schrittmacherimpulse aussenden.

### Übersicht

Um den Zusammenhang zwischen einem von außen auf den menschlichen Körper einwirkenden elektromagnetischen Feld und der in das Schrittmachergerät eingekoppelten Spannung zu untersuchen, wurde am Institut für Hochfrequenztechnik der Universität Stuttgart eine Studie durchgeführt. Dabei wurde zwischen Fernfeld- und Nahfeldexposition unterschieden. Der Frequenzbereich der Untersuchung erstreckt sich dabei von 50 MHz bis 500 MHz. In diesem Frequenzbereich arbeiten zum Beispiel Rundfunksender, Amateurfunkstationen und auch Betriebsfunkgeräte.

Bei der Fernfeldexposition wurde eine ebene elektromagnetische Welle als Anregung angenommen. Durch diesen Wellentyp, welcher durch einfache mathematische Gleichungen beschreibbar ist, kann das elektromagnetische Feld entfernter Sendeeinrichtungen modelliert werden.

Ein typisches Beispiel für eine Nahfeldexposition liegt bei einem Funkgerät vor, welches von einem Schrittmacherträger körpfernah benutzt wird. Die Zusammenhänge sind bei dieser Expositionsart wesentlich komplizierter, da die örtliche Verteilung des elektromagnetischen Feldes von dem Abstand und der Orientierung des Funkgerätes zum Körper abhängt. Aus diesem Grunde muß bei den Untersuchungen nicht nur die Einfallrichtung der elektromagnetischen Wellen berücksichtigt

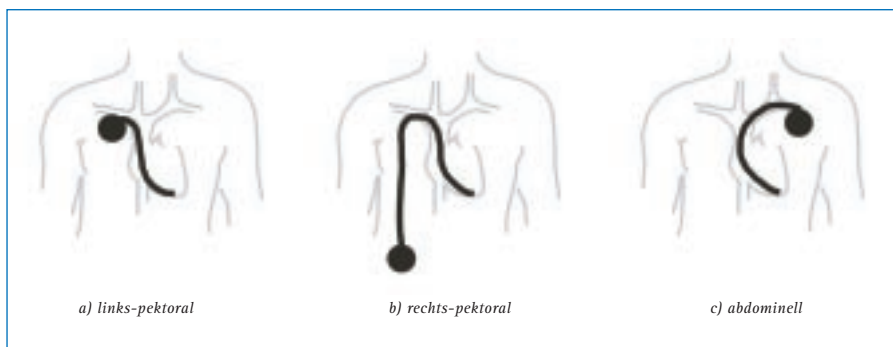


Bild 5: Unterschiedliche Implantationsarten.

werden, sondern auch der Abstand zur Sendeantenne und die Antenneneigenschaften.

Fernfeld- und Nahfeldexposition wurden mit unterschiedlichen Berechnungsverfahren untersucht. Hierbei erforderte speziell die Nahfeldexposition sehr umfangreiche Computer-Berechnungen. Parallel zu den Berechnungen wurden auch Messungen zur Überprüfung der Rechenergebnisse durchgeführt.

### Modellierung

Ziel der Untersuchung war es, eine „worst case“-Abschätzung durchzuführen. Hierbei wurden sehr viele Parameter, wie z. B. Einfallrichtung und Polarisierung der einfallenden Welle, variiert. Um die hierfür benötigte sehr große Zahl an Rechnungen zu bewältigen, mußten geeignete schnelle Berechnungsverfahren eingesetzt werden. Aufgrund dieser Vorgabe mußte auf eine detaillierte Modellierung der Anatomie des Menschen verzichtet und auf einfachere Körpermodelle zurückgegriffen werden.

Zur Erstellung der Körpermodelle wurden die Abmessungen nach DIN 33402 Teil 2 verwendet. Unter Berücksichtigung der zu verwendenden Feldberechnungsverfahren entstanden daraus ein rotationssymmetrisch ellipsoides Körpermodell, welches den Oberkörper abdeckt (Bild 3, Seite 2), und eines mit Kopf und Schulter, welches ebenfalls rotationssymmetrisch ausgeführt ist (Bild 3, Seite 2). Neben der geometrischen Modellierung des menschlichen Kör-

pers sind für die Berechnungen auch die elektrischen Parameter (Dielektrizitätskonstante und spezifische Leitfähigkeit) des Körpergewebes wichtig. So hat Fettgewebe zum Beispiel eine erheblich geringere Leitfähigkeit als Muskelgewebe. Für die Körpermodelle, welche ausschließlich als homogen angenommen wurden, wurden die elektrischen Parameter durch gewichtete Mittelwertbildung der unterschiedlichen Gewebeparameter bestimmt.

Je nach Patient können die Herzschrittmacher in unterschiedlicher Weise implantiert werden. So ist zwischen den drei Implantationsarten links-pektoral, rechts-pektoral und abdominell zu unterscheiden. Wie Bild 5 zu entnehmen ist, ist der Schrittmacher bei links-pektoraler Implantation unter dem linken Schlüsselbein, bei rechts-pektoraler unter dem rechten Schlüsselbein und bei abdomineller Implantation in der Bauchhöhle implantiert. Der Modellierung wurden diese drei Implantationsarten zugrunde gelegt (Bild 5, oben).

### Fernfeldexposition

Bei der Fernfelduntersuchung wurden folgende Parameter zur „worst case“-Suche variiert:

Parameter	Wertebereich
Einfallrichtung	alle Winkel im -Raster
Polarisation	vertikal, horizontal
Körpermodell	ellipsoides Modell und Kopf-Schulter-Modell
Implantationsart	rechts-pektoral, links-pektoral und abdominell

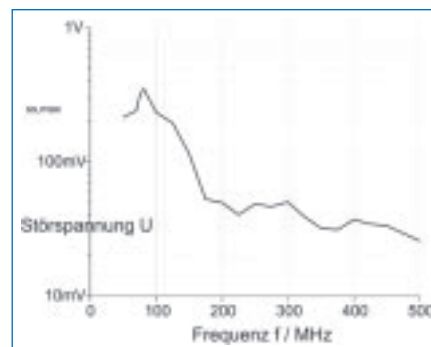


Bild 6: Maximale Störspannungswerte bei Fernfeldexposition.

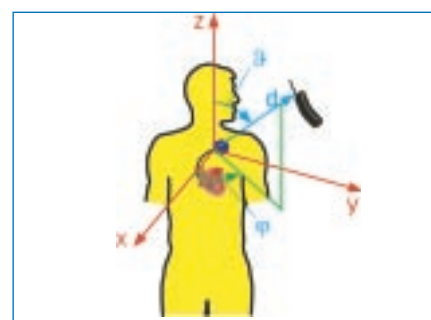


Bild 7: Antenne im Kugelkoordinatensystem.

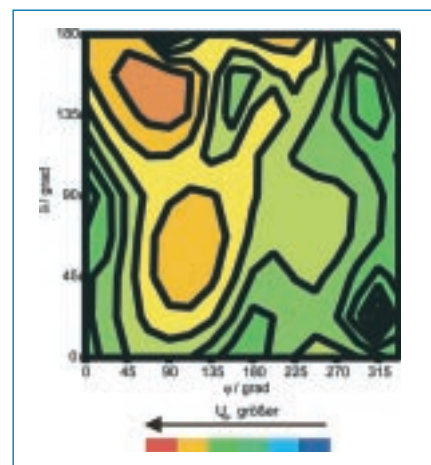


Bild 8: Beispiel einer eingekoppelten Störspannung in Abhängigkeit der Antennen-Position.

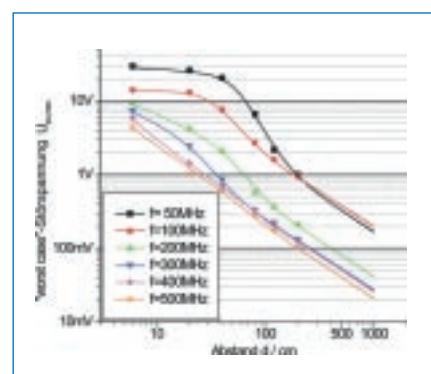



Bild 9: Maximale Störspannungswerte bei Nahfeldexposition.



Angeregt wurde jeweils mit einer ebenen Welle mit der Amplitude  $E_s = 1 \text{ V/m}$ . Als Ergebnis wird jeweils die gefundene „worst case“-Störspannung  $U_{ss, \max}$  angegeben (Index s steht für Spitzenwert, der Index ss für Spitze-Spitze-Wert). (Bild 6, Seite 3) Der hohe Wert der Störspannung bei ca.  $f = \text{MHz}$  wird sowohl durch Elektroden-, als auch von Körperresonanzen hervorgerufen.

## Nahfeldexposition

Gegenüber der Fernfeldexposition existieren bei der Nahfeldexposition zwei weitere Parameter, die sich auf die eingekoppelte Störspannung auswirken. Dies ist zum einen der Typ der Sendeantenne und zum anderen der Abstand zwischen Herzschrittmacher und Sendeantenne. Während bei der Fernfeldexposition dank des Reziprozitätsprinzips die Einkopplungen für alle Einfallsrichtungen in einem einzigen Programmdurchlauf berechnet werden können, erfordert bei der Nahfeldexposition jede einzelne Antennenposition einen eigenen Programmdurchlauf. Die Zahl der Berechnungen ist somit ungleich höher. Wie in Bild 7 (Seite 3) zu sehen ist, wurde die Antennenposition mit Hilfe der Winkel  $u$  und  $j$  und dem Abstand  $d$  (Kugelkoordinaten) beschrieben. Bild 8 (Seite 3) zeigt die eingekoppelte Störspannung in Abhängigkeit von den Winkeln  $u$  und  $j$ . Der Abstand  $d$  wird dabei festgehalten, so daß die Sendeantenne auf einer fiktiven Kugeloberfläche bewegt wird. Wie dem Bild 8 (Seite 3) zu entnehmen ist, besteht eine starke Abhängigkeit von der Positionierung der Antenne. Der dabei gefundene Maximal-

wert wurde als „worst case“-Störspannung notiert. Die „worst case“-Werte, welche durch Variation der Antennenposition, der Polarisation der Antenne, des Antennentyps und der Implantationsart gefunden wurden, wurden abhängig von der Frequenz und vom Abstand  $d$  zusammengefaßt und sind in Bild 9 (Seite 3) dargestellt.

Die Spannungswerte beziehen sich auf eine von der Sendeantenne abgestrahlte Wirkleistung von  $ERP = 1 \text{ W}$  ( $ERP = \text{equivalent radiated power}$ ). Wie dem Bild 9 (Seite 3) zu entnehmen ist, können für kleine Abstände Störspannungen von nahezu  $30 \text{ V}$  erreicht werden. Dabei sind jedoch zwei Dinge zu beachten. Zum einen handelt es sich um Spitze-Spitze-Werte und zum anderen um Leerlaufspannungswerte, d. h., daß diese Werte für eine unendlich hohe Eingangsimpedanz des Schrittmachergerätes gültig sind. Um die tatsächlich auftretende Störspannung zu erhalten, ist die Leerlaufspannung mit dem Quotienten  $Z_{\text{ein}} / (Z_{\text{ein}} + Z_{\text{el}})$  zu multiplizieren ( $Z_{\text{ein}}$ : Eingangsimpedanz des Herzschrittmachers,  $Z_{\text{el}}$ : Elektrodenimpedanz). Die tatsächliche Störspannung hängt somit auch vom Herzschrittmachergerät ab. Darüber hinaus ist auch die Störempfindlichkeit von Herzschrittmachern hersteller- und typabhängig. Während technisch veraltete Geräte eher empfindlich auf Störungen reagieren, sind modernere Geräte in dieser Hinsicht meist robuster.

*Dipl.-Ing. Lothar Geisbusch,  
Prof. Dr.-Ing. Friedrich M. Landstorfer,  
et. al., Institut für Hochfrequenztechnik,  
Universität Stuttgart*