

# Arbeitsplatzbeurteilung bei einem Mitarbeiter mit implantiertem Defibrillator in einer Maschinenfabrik

Der 53-jährige Mitarbeiter Herr M. war am 9. November 2011, gerade zu Beginn der Schicht, leblos an seinem Arbeitsplatz aufgefunden worden. Die sofort durchgeführte Reanimation war erfolgreich und der Mitarbeiter hat den Herzstillstand ohne weitere Folgen überlebt. Am 28. November 2011 wurde ihm daraufhin ein Defibrillator implantiert.

Herr M. ist nun Anfang März 2012 wieder hergestellt und möchte im Rahmen einer stufenweisen Wiedereingliederung seine Arbeit erneut aufnehmen. Da er als Bohrwerksdreher arbeitet, stellt sich die Frage, ob die sich in der Nähe befindenden Elektroschränke oder die magnetischen Felder, die beim Einspannen kleinerer Teile auftreten, die Funktion des Defibrillators beeinträchtigen können.

Aktive Implantate lassen sich durch elektrische, magnetische und auch durch elektromagnetische Felder frequenz-, feldverlaufs- und feldstärkeabhängig beeinflussen.

Die Betriebsärztin informiert sich hierzu auf der Seite der BG ETEM über die dort hinterlegte Broschüre BGI 5111: „Beeinflussung von Implantaten durch elektromagnetische Felder – Eine Handlungshilfe für die betriebliche Praxis“ vom Juni 2009.

Die Unfallverhütungsvorschrift BGV B11 „Elektromagnetische Felder“ enthält Festlegungen zum Schutz von Arbeitnehmern bei Expositionen gegenüber elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern. Konkretisiert und erläutert wird die Unfallverhütungsvorschrift BGV B11 durch die BG-Regel BGR B11 „Elektromagnetische Felder“. Da die Einhaltung der zulässigen Werte aber nicht zwangsläufig einen Schutz von Personen mit Implan-

taten darstellt, ist daher eine Einzelfallentscheidung für diesen Personenkreis notwendig. Die hierzu notwendigen Informationen befinden sich in der BG-Regel BGR B 11, die sich an Unternehmer, Sicherheitsfachkräfte und auch Mediziner richtet. Diese Beurteilung sollte gemeinsam mit einem Kardiologen, dem Betriebsarzt sowie dem Sachkundigen gemäß BGR B11 hinsichtlich elektromagnetischer Felder erfolgen.

Ein implantierbarer Defibrillator (ICD – implantable Cardioverter Defibrillator) ist ein spezieller Herzschrittmacher, der als aktives Implantat zusätzlich Herzkammerflimmern therapiert, indem er einen elektrischen Stromstoß zur Neusynchronisation des Herzrhythmus erzeugen kann. Durch den Defibrillator wird über eine bipolare Elektrode Kammerflimmern detektiert. Es erfolgt dann die Abgabe eines Schockimpulses direkt auf den Herzmuskel, was zu einer Neusynchronisierung führen soll.

Solche aktiven Implantate können durch physikalische Mechanismen wie elektrische oder magnetische Felder beeinflusst werden. Hierdurch kann es zur Einkopplung (Influenz) von Strömen in den menschlichen Körper kommen, wodurch Körperströme verursacht werden.

Wirksam können sowohl die Magnetfelder selbst, als auch die durch sie verursachten Körperströme werden. Statische und niederfrequente Magnetfelder durchdringen den menschlichen Körper, ohne dabei in nennenswerter Weise abgeschwächt zu werden. Die Einwirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder (> zirka 100 kHz) führt zur Einkopplung von Energie in Implantate, die mit der Stärke der Gewebe-

*Dr. Monika Stichert,  
arbeits- und reise-  
medizinische Praxis,  
Erkrath*



schicht zwischen Implantat und Haut abnimmt. Dies kann zu einer Erwärmung und/oder zu einer Störung des Implantats führen.

Eine Störbeeinflussung des Herzschrittmachers ist immer dann möglich, wenn über die Sensing-Elektrode ein elektrisches Signal ausreichender Spannung und relevanter Signalform an den Eingang dieses Gerätes gelangt. Ein solches Signal kann beispielsweise durch externe elektrische und magnetische Felder in die implantierte Herzschrittmacherelektrode eingekoppelt werden. Die Höhe der Störspannung ist im Wesentlichen abhängig von der Bauart der verwendeten Elektroden, der Lage der implantierten Elektroden im Körper sowie der Richtung, der Amplitude und der Modulation des externen Feldes.

Nach vorliegenden Untersuchungen führen bipolare Elektroden zu niedrigeren Störspannungen als die fast nicht mehr verwendeten unipolaren Elektroden. Dann wird zur Beurteilung der Störbeeinflussung für beide Elektrodenarten das unipolare Modell verwendet. Bei dieser Art der Störbeeinflussung kommt es nicht nur auf die lokale elektrische und magnetische Feldstärke am Ort des Herzschrittmachergerätes an, sondern auch auf die Feldstärke im Bereich des Thorax.

Es kann zu einer Störbeeinflussung durch direkte Einstreuung in das Herzschrittmachergerät kommen, da das Gehäuse implantierbarer Herzschritt-

machergeräte für statische und niederfrequente Magnetfelder nahezu „transparent“ ist. Das Körpergewebe besitzt für statische und niederfrequente Magnetfelder keine dämpfende Wirkung. Daher entspricht die magnetische Feldstärke innerhalb des menschlichen Körpers der Feldstärke, die am selben Ort ohne die Anwesenheit des Körpers gemessen wird.

In Abhängigkeit von der Störeinkopplung können folgende Störungen auftreten:

- Das Herz hat seinen Eigenrhythmus, es treten keine Herzrhythmusstörungen auf, und der Schrittmacher sollte keine Stimulationsimpulse abgeben. Aufgrund externer Störfelder wird der Herzschrittmacher jedoch daran gehindert, den Herzeigenrhythmus zu erkennen. Das hat zur Folge, dass der Herzschrittmacher die für den eingestellten Sicherheitsmodus vorgesehenen Stimulationsimpulse abgibt. Dabei handelt es sich um die Auslösung eines irreversiblen Umschaltens in einen fest programmierten asynchronen Modus (meist VVI 70/min.). Je nach Herzschrittmachergerät handelt es sich dabei um einen vom Arzt voreingestellten Betrieb. Der Übergang in einen solchen Betrieb kann vom Herzschrittmacher

träger unbemerkt bleiben. In seltenen Fällen kann es jedoch auch zu einer asynchronen Stimulierung des Herzens und zu einer Beeinflussung des Herzrhythmus kommen.

- Bei starken magnetischen Feldern kann der integrierte Reed-Kontakt (Magnetschalter) im Herzschrittmacher diesen in den Magnetmodus schalten, d. h. es wird mit einer festen, voreingestellten Frequenz stimuliert. Dies ist aber bei modernen Geräten nicht längerfristig möglich, deshalb muss schnellstmöglich eine Überprüfung in der Schrittmacherambulanz erfolgen.
- Der gegenteilige Fall besteht, wenn das Herz einen nicht ausreichenden oder keinen Eigenrhythmus hat, und der Herzschrittmacher müsste Stimulationsimpulse abgeben. Der Herzschrittmacher interpretiert jedoch das externe Störsignal als Herzeigenrhythmus und unterdrückt seine Stimulationsfunktion (Inhibition), sog. „overseising“. Die Dauer der Inhibition wird im Wesentlichen von der Länge und dem zeitlichen Verlauf des externen Störsignals bestimmt, wobei eine länger andauernde Inhibition zum Tode führen kann. Hier ist schnellstmöglich Abstand zum Störsignal herzustellen.

Da Defibrillatoren Herzschrittmachern mit Zusatzfunktion entsprechen, können alle zuvor genannten Störungen dort auch auftreten. Es bestehen aber folgende Besonderheiten:

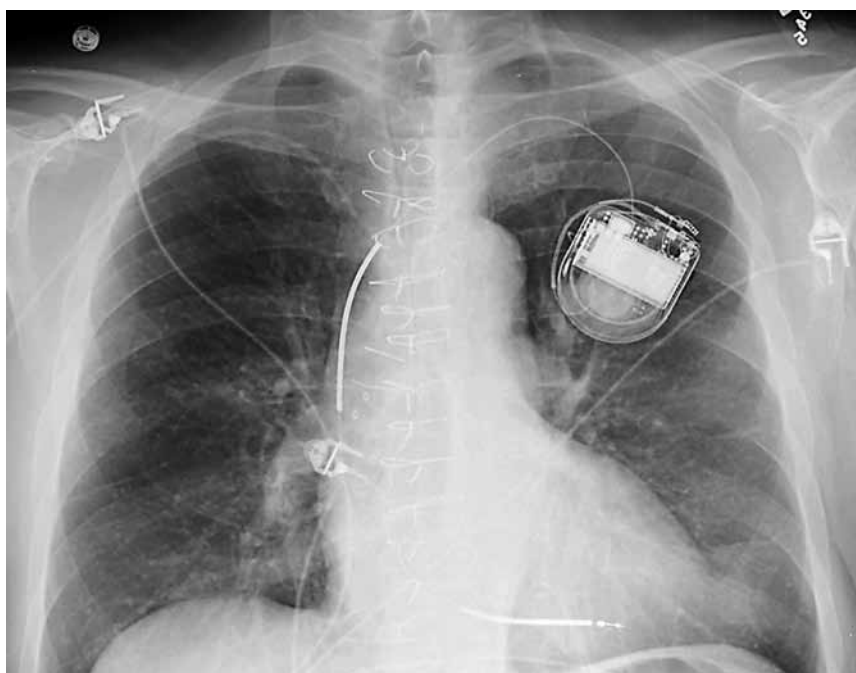
- Bei einer Beeinflussung des integrierten Reed-Kontaktes wird die Therapiefunktion des Defibrillators deaktiviert.
- Durch äußere elektrische oder magnetische Felder erzeugte Störspannungen können als Herzkammerflimmern interpretiert werden. Der Defibrillator gibt zur vermeintlichen Therapie einen Elektroschock ab. Aufgrund der ausschließlichen Verwendung von bipolaren Elektroden ist die Störbeeinflussbarkeit von Defibrillatoren durch äußere niederfrequente elektrische und magnetische Felder im Vergleich zu einer Störbeeinflussbarkeit von Herzschrittmachern mit unipolaren Elektroden wesentlich vermindert.

Die BG-Schrift gibt dann auch eine Hilfestellung, wie die praktische Vorgehensweise zur Beurteilung der Beeinflussbarkeit ist. Bei der Bewertung sind sowohl die Exposition des Betroffenen als auch die Eigenschaft des Implantates zu berücksichtigen.

Zunächst werden die Bereiche bestimmt, in denen sich der Implantatträger während seiner Arbeitszeit und der Pausen aufhalten wird. Die Zugangswege zu Arbeits- und Aufenthaltsbereichen sind mit zu beurteilen. Bei der Ermittlung der Feldquellen sind alle feldrelevanten, elektrisch betriebenen Arbeits- und Betriebsmittel sowie Anlagen innerhalb der Arbeits- und Aufenthaltsbereiche und deren Zugangswege zu berücksichtigen.

Im **Anhang 1** der BG-Schrift findet sich eine Anlagen- und Geräteliste. Eventuell geht hieraus schon hervor, dass eine Beeinflussung nicht zu erwarten ist, und einer Weiterbeschäftigung steht nichts mehr im Wege.

Zur Ermittlung der Exposition in den Arbeits- und Aufenthaltsbereichen sind die Arbeitspositionen und die Körperhaltung des Implantatträgers zu berücksichtigen. Dabei sind – abhängig von der



Art der Störbeeinflussung – beispielsweise die lokalen Feldstärken am Ort des Implantats oder im Bereich des Thorax relevant. Insbesondere sind neben statischen Feldern auch Felder mit Frequenzen zu betrachten, die mit dem physiologischen Herzsignal (Wiederholffrequenz 0,2 Hz bis 5 Hz) verwechselt werden können, sowie Felder, die im Frequenzbereich bis 1 kHz – einschließlich möglicher Schwebungsfrequenzen – liegen.

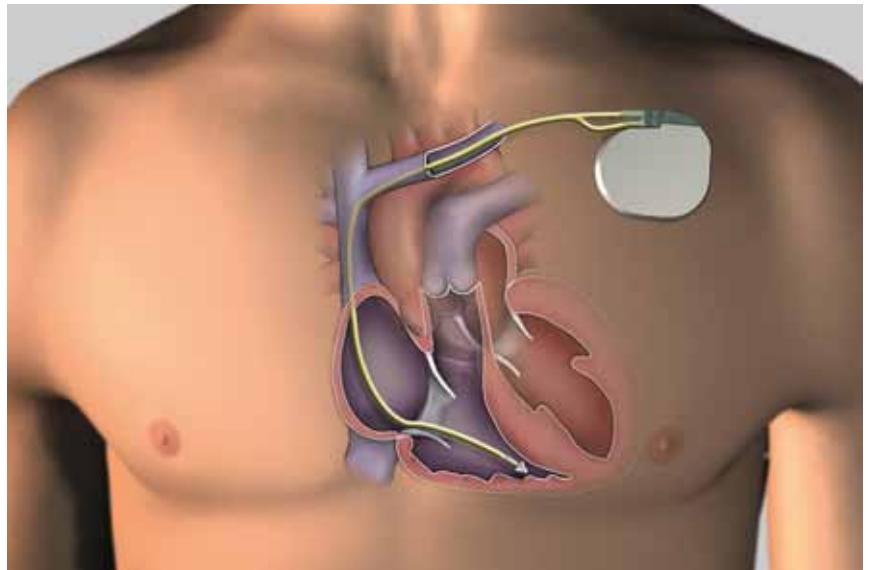
Die Ermittlung der Exposition mittels Messung, Berechnung oder Vergleich hat durch einen Sachkundigen gemäß BGR B11 zu erfolgen. Die Ermittlung der Exposition mittels Messung ist in **Anhang 2** erläutert.

Zur Beurteilung der Beeinflussbarkeit von Herzschrittmachern sind neben Hersteller und Typ des implantierten Herzschrittmachers auch die Funktionsweise (Schrittmachermodus), die Art der Elektroden, die Betriebsart und die programmierte Empfindlichkeit zu ermitteln (siehe **Anhang 3**). Die meisten dieser Informationen können dem Herzschrittmacherpass entnommen werden.

Die Ermittlung und Bewertung der Störbeeinflussbarkeit eines Herzschrittmachers kann nach folgenden Verfahren erfolgen:

- Vergleich der Exposition mit zulässigen Werten
- Überprüfung und Bewertung anhand der Herzschrittmacheraktion eines implantierten Herzschrittmachers mittels Untersuchungen am Arbeitsplatz
- Überprüfung und Bewertung anhand der Herzschrittmacheraktion eines implantierten Herzschrittmachers mittels Messungen im Labor.

Werden vom Implantathersteller keine implantatspezifisch zulässigen Werte angegeben, lassen sich diese durch unterschiedliche Verfahren feststellen. In der Norm E DIN VDE 0848-3-1 „Sicherheit in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern; Teil 3-1: Schutz von Personen mit aktiven Körperhilfsmitteln im Frequenzbereich von 0 Hz bis 300 GHz“ sind Störschwellen angegeben, bei de-



ren Einhaltung eine Beeinflussung von Herzschrittmachern ausgeschlossen werden kann. Aus den Störschwellen und der programmierten Wahrnehmungsschwelle (dokumentiert im Herzschrittmacherpass) lassen sich mit Hilfe der angegebenen Umrechnungsformeln zulässige Spitzenwerte elektrischer und magnetischer Felder bestimmen.

Bei Einhaltung der Spitzenwerte nach E DIN VDE 0848-3-1 sind Beeinflussungen von Herzschrittmachern ausgeschlossen. Die in der E DIN VDE 0848-3-1 genannten Sicherheitswerte beziehen sich auf Implantate mit unipolaren Elektrodensystemen (ungünstigster Fall). Die in der Norm E DIN VDE 0848-3-1 festgelegten Werte sind meist zu restriktiv, da sie auf vereinfachten Modellen mit ungünstigen Körpergeometrien basieren. Sind die Implantateigenschaften bekannt, lassen sich individuelle zulässige Werte ermitteln.

Für die Ermittlung eines individuellen zulässigen Wertes sind die Betriebsart, die programmierte Empfindlichkeit, die Art der verwendeten Elektroden (uni- / bipolar) sowie die tatsächliche wirksame Schleifenfläche relevant. Die tatsächliche wirksame Schleifenfläche sollte nach Möglichkeit anhand von Röntgenbildern bestimmt werden und in die Berechnung der Störschwelle einfließen. In **Anhang 4** ist die Ermittlung zulässiger Werte anhand des individuellen Herzschrittmachersystems beschrieben.

Es besteht aber auch die Möglichkeit, eine Überprüfung und Bewertung anhand der Herzschrittmacheraktion eines implantierten Herzschrittmachers am Arbeitsplatz vorzunehmen. Die Überprüfung erfolgt mittels eines Telemetriegerätes / Programmiergerätes oder eines EKG-Messgerätes.

Der Herzschrittmacherträger befindet sich mit Telemetriegerät an seinem Arbeitsplatz bzw. in den Bereichen, in denen er sich während seiner Arbeitszeit und der Arbeitspausen aufhält. Über das intrakardiale EKG (IEKG) werden die herzeigenen Signale, die Markerkannäle und die induzierten Störspannungen beobachtet und aufgezeichnet. Hierzu muss das Telemetrie- / Programmiergerät störfest sein. Die ermittelten Daten sind von einem Mediziner dahingehend auszuwerten, ob ein ungestörter Betrieb des Herzschrittmachers am Arbeitsplatz gewährleistet ist. Wird bei Anwendung der genannten Verfahren festgestellt, dass zulässige Werte überschritten werden oder eine Beeinflussung des Herzschrittmachers möglich ist, sind Maßnahmen erforderlich, um die Störbeeinflussung zu verhindern.

Solche Maßnahmen können sein:

- Maßnahmen an der Feldquelle zur Verringerung der Exposition, beispielsweise Abschirmung oder Veränderung der Leitungsführung
- Vergrößerung des Abstandes zur Feldquelle, beispielsweise durch Abgrenzungen oder durch Verlagerung von Bedienständen

- Erhöhung der Wahrnehmungsschwelle des Implantats durch Veränderung der Schrittmacherprogrammierung durch den Kardiologen
- Erstellung von Betriebsanweisungen
- Kennzeichnung der Bereiche, die von Implantatträgern nicht betreten werden dürfen
- Unterweisung von Mitarbeitern und Fremdpersonal
- Information von Besuchern

Bei Geräten des täglichen Lebens ist bei bestimmungsgemäßem Gebrauch und bei Einhaltung eines Mindestabstandes von 30 cm zwischen Oberkörper und Oberfläche des Gerätes in der Regel eine Beeinflussung des Implantats ausgeschlossen. Zwischen Mobiltelefonen und dem Brust- / Schulterbereich sollte ein Sicherheitsabstand von 15 cm eingehalten werden. Zu handgeführten elektrischen Betriebsmitteln sollte ein Abstand von 30 cm nicht unterschritten werden.

Herr Fischer von der BG ETEM schrieb 2008 im „arbmednet“, dass zu elektrischen Antrieben, den Zuleitungen sowie generell zu E-Verteilungen und Kabeltrassen generell eine Unterarm-länge Abstand gehalten werden sollte. Daher stellen Drehmaschinen kein Problem dar, aber die von mir zu Beginn genannten Magnetspannplatten. Diese werden wir noch gesondert beurteilen.

Bei ortsveränderlichen Anlagen und Betriebsmitteln wie akkubetriebene Elektrowerkzeuge, Magnethaltesysteme (Lasthebemagnete) und netzbetriebene Elektrowerkzeuge (z. B. Bohrmaschine, Schwingschleifer, Handkreissäge, Winkelschleifer) ist eine Beeinflussung des Defibrillators nicht wahrscheinlich, wie der Tabelle zu entnehmen ist. Bei Werkzeugmaschinen, Be- und Verarbeitungsmaschinen (z. B. bei der Holz- und Metallbearbeitung), Magnete zur Positions- und Lageerkennung (z. B. bei Magnetschaltern und Pneumatikzylinder), magnetische Spann- und Halteinrichtungen sind Beeinflussungen wahrscheinlich nicht möglich, allerdings muss bei den magnetischen Spann- und Halteinrichtungen eine



mögliche Remanenz der Werkstücke berücksichtigt werden.

Bei Kabeln und Leitungen wie bei Industrieanlagen / Kabelbühnen, Hochspannungskabeln, Sammelschienen, Energieverteilung und Freileitungen ist zu beachten, dass bei Strömen größer 100 A in der unmittelbaren Umgebung der stromführenden Leiter eine Beeinflussung möglich ist. Bei Freiluftschaltanlagen ist eine Beeinflussung nur bei Arbeiten in der Anlage möglich und bei Frequenzumformern hängt es vom Abstand und der Bauart ab, ob es möglich ist. Dies gilt auch für Umrichter, Ladestationen, Gleichrichter, Notstromaggregaten. Bei Schaltanlagen (SF6 / Innenraumschaltanlagen) ist es wiederum je nach Abstand und Bauart möglich. Bei Trafostationen ist es in öffentlich zugänglichen Bereichen ausgeschlossen, möglich jedoch in der direkten Umgebung der Niederspannungsseite. Bei Umspannwerken und Windkraftanlagen ist es nur im Inneren der Anlage möglich, beim Generator an der Generatorableitung.

Berechnungen sind häufig viel zu kompliziert und werden deshalb selten durchgeführt. Nach Maschinenrichtlinie liegt aber auch schon häufig eine Emissionsbestimmung vor, diese kann beim Hersteller der Maschine angefordert werden.

Bei Messungen unter Laborbedingungen hat sich gezeigt, dass sich im Vergleich zu den Sicherheitswerten

in der DIN in der Regel wesentlich höhere Beeinflussungsschwellen ergeben. Untersuchungen unter Laborbedingungen könnten z.B. im Universitätsklinikum Aachen durchgeführt werden.

Die Funktionsweise des Implantats kann anhand des NBG-Codes (NASPE / BPEG Generic Pacemaker Code) ermittelt werden. (NASPE: North American Society of Pacing and Electrophysiology; BPEG: British Pacing and Electrophysiology Group). Im Herzschrittmacherausweis sind hierzu Angaben beispielsweise unter Modus / Mode oder Betriebsart zu finden.

Der NBG-Code beschreibt die allgemeine Funktion eines Schrittmachers anhand von maximal fünf Buchstaben. Dabei sind für die medizinische Funktion des Schrittmachers nur die ersten drei Buchstaben relevant. Sie stehen für die Stimulation, die Wahrnehmung und die Betriebsart. Ergänzt werden diese durch den vierten Buchstaben, der die Programmierbarkeit, Telemetrie und Frequenzadaption beschreibt, und den fünften Buchstaben, der anti-tachykarde Eigenschaften beschreibt. Nähere Angaben finden sich wiederum in der zuvor genannten BGI. Die Gefährdungsbeurteilung sollte wie zuvor beschrieben folgende Punkte beinhalten:

- Bestimmung der Arbeits- und Aufenthaltsbereiche
- Identifizierung der Feldquellen
- Ermittlung der auftretenden Exposition
- Ermittlung der Implantateigenschaften
- Bewertung der Störbeeinflussungsmöglichkeiten

Wichtig ist, dass die Beschäftigten eine Informationspflicht haben, über die Versorgung mit Körperhilfsmitteln zu informieren, damit der Unternehmer notwendige Maßnahmen ergreifen kann. □

Dr. Monika Stichert