

# Implantate bei MRT-Untersuchungen

## Allgemeines

Wie bereits erwähnt, gehören MRT-Untersuchungen mittlerweile zur täglichen Routine in der radiologischen Diagnostik. Der Patient wird dabei sowohl einem starken statischen als auch veränderlichen kleineren Magnetfeldern ausgesetzt. Das statische Magnetfeld wird bei höheren Feldstärken mit Hilfe von supraleitenden Magneten erzeugt. Kleine Geräte, z.B. zur Untersuchung von Gelenken, arbeiten dagegen mit niedrigen Feldstärken, die, wie erwähnt, durch Permanentmagnete erzeugt werden. Die Feldstärken der meisten Geräte liegt zwischen 0,25 bis 1,5 Tesla und neuerdings bei bis zu 3 Tesla.

Unter normalen Untersuchungsbedingungen gehen von MRT-Geräten, die zur Patientenuntersuchung zugelassen sind, keine akuten oder chronischen gesundheitlichen Schäden aus. Es wurde jedoch, wie bereits erwähnt, hin und wieder während der Untersuchung von Lichterscheinungen in den Augen, sogenannten Phosphenen, berichtet, die aber nach Beendigung der Untersuchung verschwanden und danach auch nicht wieder auftraten. Allerdings besitzen immer mehr Patienten Implantate wie Prothesen, Herzschrittmacher u.a., die oft ganz oder teilweise aus Metallen bestehen. Im Zusammenhang mit solchen Metallen im oder auch am Körper können bei MRT-Untersuchungen jedoch verschiedene unerwünschte Effekte auftreten und den Patienten im schlimmsten Falle schädigen oder erheblich verletzen.

## Induktion elektrischer Ströme

Die für Prothesen verwendete Metalle sind, wie jedes Metall, in der Lage, elektrischen Strom zu leiten. Die zur Untersuchung verwendeten Hochfrequenzimpulse können in diesen Leitern elektrische Ströme induzieren. Die Implantate verhalten sich dabei wie kleine Antennen. Die Effektivität mit der diese Metallteile als unerwünschte Antenne wirken, hängt dabei von vielen, in ihrem Zusammenspiel kaum absehbaren Faktoren, ab. Eine Rolle spielen das Material, dessen Geometrie, die biologische Beschaffenheit des Patienten, die Lage des Metalls in Bezug auf die die Hochfrequenz abstrahlende Untersuchungsantenne und die verwendete Messsequenz. Einige medizinische Produkte wirken besonders leicht als Antenne, so z. B. Thermokatheter, Führungsdrähte, Metallfixatoren an der Wirbelsäule, EKG-Kabel und Nervenstimulationselektroden.

## Erwärmung

Durch die Hochfrequenz, die bei der Untersuchung auf den Patienten wirkt, können sich Metalle sehr stark erwärmen und zu Verbrennungen ersten bis sogar dritten Grades führen. Wer z.B. einen Metalllöffel versehentlich in einem Mikrowellengerät gelassen hat, kennt diesen Effekt. Eine relevante Erwärmung von Bioimplantaten, die Metall enthalten und für die MRT Untersuchung vorgesehen sind, scheint nach neuesten Erkenntnissen aber extrem selten zu sein. Schwere Verletzungen sind eher von externen Metallteilen zu erwarten, wie von den metallischen Teilen von Patientenüberwachungsgeräten oder Kabeln.

## Artefakte

Durch Metalle können erhebliche Bildfehler (Artefakte) auf den Schnittbildern einer Untersuchung entstehen. Je nach dem Umfang dieser Artefakte kann die Beantwortung der anstehenden diagnostischen Fragestellung erschwert oder im extremen Fall sogar völlig unmöglich gemacht werden. Die Artefakte entstehen dadurch, dass die Metallteile das zur Untersuchung verwendete Magnetfeld lokal stören und die Beziehung zwischen der Frequenz und der Position der erwünschten Volumen (Voxel) so weit verändern, dass eine korrekte Ortsrekonstruktion nicht mehr möglich ist. Besonders ferromagnetische Materialien verursachen derartige starke Artefakte. Bei nicht ferromagnetischen Materialien, wie z.B. bei Kupfer, Silber oder Titan beruht die Bildstörung auf kleinen Strömen, die innerhalb dieser Implantate durch die Hochfrequenzimpulse entstehen. Die Bildstörungen selbst äußern sich als lokal fehlende Bildinformation oder als Verzerrungen. Besonders am Rande solcher Störungen können helle Linien (Signalanhebungen) beobachtet werden, die im ungünstigen Falle als pathologische Befunde fehlinterpretiert werden können. Neben dem Material, seiner Beschaffenheit und der Lage im Körper des Patienten, hängt das Aussehen der Artefakte von der angewandten Untersuchungssequenz ab. Umfang und Aussehen der durch Metalle verursachten Artefakte lässt sich nicht vorhersagen.

## Wechselwirkungen zwischen Magnetfeldern und Metallimplantaten

Nichtferromagnetische Materialien werden durch die Magnetfelder nicht beeinflusst. Ferromagnetische Materialien können dagegen angezogen, bewegt und schlimmstenfalls disloziert, also aus ihrer ursprünglichen Position entfernt werden. Dabei hängt diese mögliche Beweglichkeit natürlich stark von der Art und dem Verwendungszweck des Implantats ab. So können sich z.B. im Knochen verankerte Schrauben auch im starken statischen Magnetfeld eines MRT nicht bewegen. Anders verhält es sich beispielsweise bei Gefäßclips, die nicht vergleichbar stark durch das umgebende Gewebe fixiert sind.

## Test der MRT-Kompatibilität

Bevor daran gedacht werden kann, einen Patienten mit einem metallhaltigen Bioimplantat zu untersuchen, sollte dessen Eignung zur Untersuchung vorab getestet werden. Dazu werden Muster der Implantate ohne den Patienten in das Untersuchungsgerät gelegt und in gleicher Weise und mit den gleichen Untersuchungssequenzen untersucht wie später der Patient. Dabei kann das Verhalten des Implantats studiert und mögliche Nebenwirkungen können abgeschätzt werden. Die weitreichendsten Erfahrungen liegen dabei für MRTs mit einem Magnetfeld von 1,5 T vor, weil diese Geräte als Standard gelten und daher besonders verbreitet sind. Es versteht sich von selbst, dass die MRT-Kompatibilität für Geräte mit anderen Magnetfeldern neu getestet werden muss. Das gilt besonders für die neusten Geräte mit Magnetfeldern mit drei und mehr Tesla. Aus diesen Erfahrungen sind Tabellenwerke entstanden, die Aussagen über die Eignung der gängigen Implantate machen. Es ist allerdings zu beachten, dass die MRT-Kompatibilität normalerweise keine Eigenschaft ist, die vom Hersteller zugesichert oder garantiert ist. Eine Ausnahme davon bilden bestimmte Gefäßclips zur Behandlung von Aneurysmen der Gefäße des Gehirns.

## Risikoabschätzung und Indikation

Ogleich die genannten Kompatibilitätslisten einen Anhalt für die MRT-Kompatibilität eines Implantats geben können, ist es nicht möglich, daraus allgemeingültige Aussagen abzuleiten, die unterschiedliche Untersuchungssituationen, Geräte und Patienten berücksichtigen. Von wenigen Ausnahmen abgesehen, wird vom Hersteller eines Implantats keine Aussage zu seiner MRT-Kompatibilität gemacht. Daher liegt das gesamte Risiko der Einschätzung von möglichen Nebenwirkungen beim untersuchenden Arzt. Folglich muss die Indikation zur Untersuchung immer im Einzelfall getroffen werden. Hierbei sollte besonders bedacht werden, ob die gewünschten Aussagen der Untersuchung eventuell auch mit anderen diagnostischen Methoden erzielt werden können und ob das erwartete Ergebnis der Untersuchung die Therapie des Patienten nachhaltig beeinflusst. Letztendlich muss hier eine individuelle Risikoabschätzung und eine Güterabwägung vorgenommen werden. Ferner sollte eine mögliche juristische Haftung beim Auftreten von Nebenwirkung ebenso in die Betrachtung einbezogen werden, wie mögliche gravierende Nachteile, die dem Patienten durch eine nicht durchgeführte Diagnostik entstehen könnten.

## Erfahrungen mit Implantaten im MRT

Über die Jahre liegen zahlreiche Erfahrungen mit den Eigenschaften von Implantaten vor. Allerdings ist die Zuverlässigkeit dieser Aussagen sehr unterschiedlich. Denn es handelt sich sowohl um Einzelfallbeschreibungen als auch um Modellstudien. Die hier näher beschriebenen Implantate wurden ausgewählt, um die Probleme im Einzelfall deutlich zu machen. Etwaige Empfehlungen können daraus nicht abgeleitet werden. Ferner gilt es zu bedenken, dass die Zahl der Produkte immens ist und allgemeingültige Aussagen wegen der zahlreichen eingesetzten Materialien und Materialkombinationen ohnehin schwierig zu machen sind. Aus den vorgenannten Aussagen folgt, dass vor einer möglichen Untersuchung der genaue Typ eines Implantats, z.B. aus dem Operationsprotokoll oder dem Patientenausweis, bekannt sein muss. Die bisherigen Erfahrungen schließen in breitem Umfang bisher nur Untersuchungsgeräte bis 1,5 Tesla ein, die zur Zeit als technischer Standard gelten. Über Geräte zwischen 3 und Tesla liegen dagegen bisher nur wenige Erfahrungen vor.

## Aneurysma Clips

### Anwendungsgebiet

Verschluss krankhaft ausgesackter Arterien im Kopf (Aneurysma) oder fehlgebildeter erweiterter Venen im Kopf und anderen Körperteilen durch Metallclips.

### Probleme

Ältere Clips waren aus magnetischem Material. Patienten mit diesen Clips dürfen nicht untersucht werden. Es könnte zu einer Verlagerung des Clips und einer anschließenden Hirnblutung kommen. Als sicher gelten jedoch Clips, die aus Titan und Titanlegierungen bestehen. Über die Sicherheit sogenannter schwach magnetischer Materialien, wie rostfreier Edelstahl wird noch diskutiert. Hierbei geht es insbesondere um die Frage, wie "schwach" definiert werden kann. Auch diese Clips scheinen aber letztlich doch MRT-tauglich zu sein.

### Artefakte

Artefakte um das Implantat herum hängen u.a. davon ab, wie stark dessen Material das Magnetfeld des MRT-Magneten stört. Da der Artefakt in der Regel in der Region mit dem größten diagnostischen Interesse entsteht, sollte das eingesetzte Material möglichst kleine Störungen verursachen. In dieser Hinsicht scheint Titan besonders gut abzuschneiden.

## Biopsiekanülen, Marker, andere medizinische Geräte und Instrumente

### Probleme

Da solche Teile speziell im Hinblick auf ihre spätere Verwendung im MRT konstruiert wurden, bestehen ausgedehnte Erfahrungen zur MRT-Tauglichkeit. Der Umfang der Tauglichkeit und etwaige Anwendungsbeschränkungen werden vom Hersteller zugesichert.

## Brustimplantate und Gewebeexpander

### Anwendung

Brustimplantate bestehen aus zwei ineinanderliegenden Folienbeuteln. Der innere Beutel enthält ein Silikongel. Die äußere Hülle enthält Wasser. Im Falle einer Undichtigkeit der inneren Hülle kann daher kein Silikon in die Brust gelangen. Als erfreulicher Nebeneffekt hebt sich das Silikon vom Wasser im MRT-Bild gut ab. Daher kann ein MRT gut zur Rupturdiagnostik dieser Implantate eingesetzt werden. Gewebeexpander werden eingesetzt, um den Raum für spätere Prothesen vorzudehnen. Sie bestehen aus einem Folienbeutel der sich sukzessive mit einer physiologischen Kochsalzlösung befüllen lässt. Zu diesem Zweck besitzt der Beutel eine integrierte oder über einen Schlauch verbundene Einspritzmöglichkeit aus Metall, einem Port. Darüber wird die Folienhülle mit Kochsalzlösung aufgefüllt.

### Probleme

Brustimplantate bestehen aus Kunststoff und sind für MRT-Untersuchungen zum Ausschluss eines Rezidives vorgesehen. Sie sind daher unproblematisch. Das gleiche gilt meist auch für Expander.

### Artefakte

Gewebeexpander können mehr oder weniger große Artefakte durch ihren Port verursachen. Besonders ungünstig für die Auswertung einer Untersuchung sind solche Modelle, bei denen der Port unmittelbar in den Expander integriert ist und daher auch in der Untersuchungsregion liegt.

## Implantierbare Herzschrittmacher und Defibrillatoren

### Anwendung

Herzschrittmacher werden Patienten mit Störungen der Reizleitung im Herzen eingesetzt, also bei Herzrhythmusstörungen. Sie sind das häufigste implantierte elektrische Gerät überhaupt. Defibrillatoren werden bei Patienten eingesetzt, die unter der Gefahr von Kammerflimmern leiden.

### Probleme

Patienten mit Herzschrittmachern oder Defibrillatoren dürfen nicht im MRT untersucht werden. Bei beiden Geräten gibt es zahlreiche negative Effekte. Hierzu gehören Verlagerungen des Gerätes, vorübergehende oder vor allem dauernde Funktionsstörung durch das statische Magnetfeld, Erhitzungen der Elektroden durch die Hochfrequenz und die Induktion von Störströmen und Spannungen durch die Elektroden der Geräte.

## Cochlearimplantate

### Anwendung

Sie werden bei tauben Menschen eingesetzt, deren Innenohr jedoch intakt ist. Sie bestehen normalerweise aus drei Teilen. Eine Mehrkanalelektrode liegt im Innenohr und reizt dort die Sinneszellen. Sie wird von einem hinter dem Ohr implantierten Empfänger angesteuert. Von außen wird eine Koppelspule angesetzt, die mit dem eigentlichen Hörgerät verbunden ist.

### Probleme

Patienten mit Cochlearimplantaten dürfen nicht untersucht werden. Als besonders kritisch erwies sich dabei ein implantierter Magnet, der die äußere Koppelspule in Position hält. Durch das statische Magnetfeld bewegt er sich stark und wird teilweise demagnetisiert. Die Cochlearelektroden verursachen außerdem ausgeprägte Artefakte. Nach einer vorherigen chirurgischen Entfernung des Magneten wurden einzelne Patienten allerdings im MRT untersucht.

## Stents, Coils und Gefäßfilter

### Anwendung

Stents bestehen aus Metallgeflechtem oder Rohren, die dazu dienen, Blutgefäße und andere Lumina offen zu halten. Coils sind kleine Metallspiralen. In kleine Gefäße appliziert, führen sie dort zu einem gewollten Gefäßverschluss. Gefäßfilter werden in die Vena cava eingesetzt und sollen dort Thromben aufhalten, um Embolien zu verhindern.

### Probleme

Stents werden fest in die Wand eines Gefäßes gepresst und wachsen innerhalb von 6-8 Wochen in das Gewebe ein. Sofern das Material selbst nicht magnetisch ist, sind keine größeren Probleme zu erwarten. Das Gleiche gilt auch für Cavafilter. Allerdings gibt es Stents, die aus magnetischen nichtrostenden Stählen bestehen. In diesen Fällen ist mit einer ungewollten Verlagerung zu rechnen. Coils dagegen scheinen problemlos zu sein, obgleich ihre gewendelte Struktur im Prinzip eine Spule darstellt und sie deshalb unter theoretischen Gesichtspunkten besonders kritisch zu sein scheinen. Dessen ungeachtet sehen viele Untersucher das Vorliegen cardialer Stents dennoch als Kontraindikation für eine MRT-Untersuchung an.

## Klammern zur Refixierung von Knochendeckeln

### Anwendung

Nach einer Hirnoperation muss der zuvor entfernte Knochendeckel wieder eingepasst und befestigt werden. Dazu kann man spezielle Klammern verwenden.

### Probleme

Da diese Klammern speziell für diesen Zweck entwickelt wurden, ist eine Untersuchung im MRT unproblematisch.

### Artefakte

Die entstehenden Artefakte sind so klein, dass sie die Auswertung der Untersuchung nicht beeinträchtigen.

## Zahnimplantate, Augenprothesen und Epithesen

### Anwendung

Hierbei handelt es sich um Schrauben, die fest im Knochen verankert werden. Sie dienen als Befestigung für Prothesen oder Epithesen.

### Probleme

Normalerweise bestehen keine Probleme, weil diese Implantate fest im Knochen verankert sind und die auftretenden Kräfte gegenüber dieser Befestigung keine Rolle spielen. Implantate, die Magneten zur Halterung der Prothesen, wie z.B. bei Augenprothesen, enthalten, dürfen dagegen nicht untersucht werden.

## Intrauterinpeessar und Diaphragma

### Anwendung

Intrauterinpeessare werden in die Gebärmutter eingesetzt und bestehen aus Kunststoff und teilweise Metall (Kupfer). Diaphragma bestehen ebenfalls aus Kunststoff besitzen aber einen Haltering aus Metall.

### Probleme

Die Untersuchung ist ohne Schwierigkeiten möglich. Es besteht aber die Gefahr einer Lageveränderung durch das statische Magnetfeld. Daher sollte nach einer Untersuchung der Sitz geprüft werden.

## Künstliche Herzklappen

### Anwendung

Künstliche Herzklappen ersetzen natürliche Herzklappen. Man unterscheidet sehr grob zwei Gruppen. Herzklappen, die ganz aus Metall bestehen und Bioprothesen. Auch letztere enthalten jedoch häufig einen Haltering aus Metall.

### Probleme

Die Kräfte, die am Herzen und dessen Klappen unter natürlichen Bedingungen wirken, übersteigen den Einfluss des statischen und dynamischen Magnetfeldes deutlich. Herzklappen gelten daher als sicher, sofern sie aus nicht magnetischem Material bestehen. Ein möglicher nachteiliger Effekt auf den Ventilverschluss der Herzklappen nach dem Prinzip der Lenzschen Regel, bei Geräten mit einem größeren Magnetfeld als 1,5 Tesla, wird diskutiert. Hierbei handelt es sich um ein entgegengesetztes Magnetfeld, welches entsteht, wenn man einen elektrischen Leiter im Magnetfeld bewegt. Dieser Effekt könnte die Bewegung der beweglichen Klappenelemente bei Klappen, die ganz aus Metall gefertigt sind, hemmen.

## Implantate, die Magneten enthalten

### Anwendung

Viele Implantate enthalten Magnete, um z.B. bestimmte Prothesen zu fixieren. Hierzu zählen Cochlearimplantate (Innenohrimplantat), Augenprothesen usw. Eine Sonderstellung besitzen implantierte Ventile zur Ableitung der Cerebrospinalflüssigkeit bei einem Hydrocephalus (Wasserkopf). Diese können durch die Haut mit einem Magneten eingestellt werden.

### Probleme

Durch das statische Magnetfeld wirken auf diese Implantate mit Magneten große Kräfte. Außerdem können die magnetischen Eigenschaften der Implantate dauerhaft beeinträchtigt werden. Solche Implantate dürfen deshalb nicht untersucht werden. Mittlerweile sind aber die meisten dieser Ventile MRT-kompatibel ausgeführt. Allerdings muss die Einstellung des Ventils vor und nach der Untersuchung mit einer Röntgenaufnahme kontrolliert werden, um eine mögliche, durch das statische Magnetfeld verursachte, Verstellung rechtzeitig erkennen und beseitigen zu können.

## Orthopädische Implantate

### Anwendung

Zur Behandlung von Knochenbrüchen oder als Gelenkersatz werden in großem Umfang Metallprothesen eingesetzt.

### Probleme

In der Gelenk- und Weichteildiagnostik ist das MRT unverzichtbar geworden. Daher sind aktuelle Materialien zur Osteosynthese und zum Gelenkersatz MRT-kompatibel ausgelegt.

### Artefakte

Die Größe der Artefakte hängt vom Material und der Geometrie des Implantats ab. So können beispielsweise bestimmte Schrauben, die zur Befestigung eines gerissenen vorderen Kreuzbandes verwendet werden, sehr ausgedehnte Artefakte verglichen mit ihrer Größe verursachen und daher die Diagnostik erschweren.

## Penisimplantate und Penisprothesen

### Anwendung

Penisimplantate und Penisprothesen werden in die Schwellkörper chirurgisch eingesetzt und sollen deren Funktion bei Patienten mit einer Impotetia coeundi ersetzen.

### Probleme

Abhängig vom Typ der Implantate und Prothesen können diese ferromagnetische Materialien enthalten. Das statische Magnetfeld kann auf diese Implantate und Prothesen Kräfte ausüben, die den Patienten ernsthaft verletzen können. Daher dürfen Patienten mit solchen Implantaten oder Prothesen nicht im MRT untersucht werden.

## Tätowierungen und Permanent Makeup

### Anwendung

Auch beim Permanent-Makeup handelt es sich im Prinzip um eine Tätowierung. Bei beiden Verfahren werden mittels einer Nadel Pigmente in die Lederhaut des Patienten eingebracht. Bei einem Permanent-Makeup werden die Pigmente jedoch nur sehr oberflächlich eingebracht. Daher verblassen sie mit der Zeit und verschwinden schließlich völlig.

### Probleme

Besonders blaue und schwarze Farben können eisenhaltige Pigmente enthalten. Es kann daher, wenn auch sehr selten, zu vorübergehenden Schwellungen und brennenden Schmerzen im Bereich der Tätowierung kommen. Insgesamt scheinen derartige Nebenwirkungen aber eher selten zu sein. Daher stellen Tätowierungen keine Kontraindikation dar, allerdings muss der Patient über mögliche Reaktionen informiert werden. Falls es dann im konkreten Fall zu Schmerzen kommt, muss die Untersuchung abgebrochen werden.

## Foley- Katheter

### Anwendung

Es handelt sich hierbei um Katheter aus Kunststoff, die zur Harnableitung aus der Blase verwendet werden. Diese werden außerhalb des Körpers mit einem Urinsammelbeutel verbunden, der ebenfalls aus Kunststoff besteht. Gerade im Rahmen einer intensivmedizinischen Betreuung werden aber gerne Blasen Katheter verwendet, die zur Messung der Körpertemperatur einen Temperatursensor in der Katheterspitze eingebaut haben. Der Temperatursensor selbst, die Verbindungskabel und der Stecker bestehen aber aus Metall.

### Probleme

Einfache Blasen Katheter sind ohne Probleme zu untersuchen, weil sie aus Kunststoff bestehen. Foley-Katheter mit Temperatursensoren können unter bestimmten Bedingungen belassen werden. Hierzu ist es erforderlich, dass der Katheter von Auswertegeräten und Kabeln getrennt wird. Der Katheter muss gestreckt fixiert werden, damit die darin enthaltenen Kabel nicht als Antenne wirken können. Falls der Patient ein Wärmeempfinden hat, muss die Untersuchung sofort abgebrochen werden. Wenn möglich, sollten diese Katheter aber vor der Untersuchung durch einfache Systeme ohne Temperatursensor ersetzt werden.

## Medikamentenpflaster

### Anwendung

Solche sogenannten transdermalen Systeme haben die Form eines Pflasters. In dessen Inneren befindet sich das Medikament, welches über eine semipermeable Kunststoffmembran, die auf die Haut des Patienten geklebt wird, in den Körper gelangt. Verbreitete transdermale Systeme enthalten z.B. Nitroglycerin zur Behandlung einer Angina pectoris, Östrogene bei klimakterischen Beschwerden oder auch Schmerzmittel. Manche transdermale Systeme enthalten neben Kunststofffolien auch eine Aluminiumfolie oder eine metallbeschichtete Folie.

### Probleme

Die Aluminiumfolie beeinträchtigt als nicht magnetisches Material zwar nicht das Magnetfeld. Wohl aber ist sie ein elektrischer Leiter. Es kann daher während der Untersuchung schlimmstenfalls zu Verbrennungen zweiten Grades kommen. Solche Pflaster müssen daher vor der Untersuchung immer entfernt werden.