SIEMENS

Magnetresonanztomographie bei Siemens

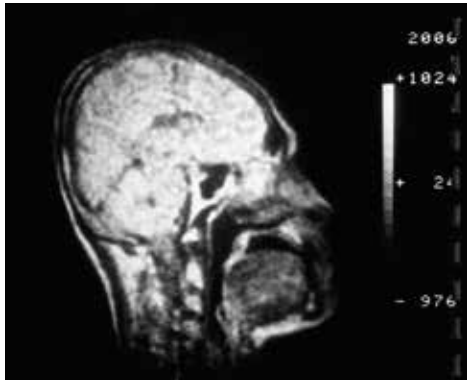
Eine Erfolgsgeschichte

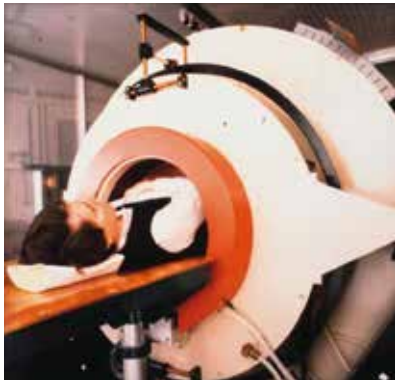
MedHistory Milestones

Answers for life.

Magnetresonanztomographie bei Siemens

Eine Erfolgsgeschichte





Inhalt

03 Vorwort

04 Verborgenes wird sichtbar

06 Wie wir mit Magneten in unseren Körper blicken können

10 Die Anfänge bei Siemens

14 MAGNETOM 1983

16 Die Magnetresonanztomographie entwächst den Kinderschuhen

20 Neues auf engstem Raum

22 Offen und standardisiert

26 Am Rande des technisch Möglichen

28 Tim verändert die Magnetresonanz-tomographie

32 Zwei in einem: der Biograph mMR

34 Alles unter einem Dach

36 Die wichtigsten Magnetresonanz-tomographen der Siemens-Geschichte

Titelbild: Untersuchung mit dem ersten MAGNETOM im Jahre 1983

Vorwort

Bernd Ohnesorge

CEO der Business Unit Magnetic Resonance
Siemens Healthcare

Im Jahre 1983 wurde der erste Siemens Magnetresonanztomograph mit dem Namen MAGNETOM bei einem Kunden installiert. Ist das nun schon oder erst 30 Jahre her? Grund genug jedenfalls, einmal zurückzublicken. Die Retrospektive zeigt, wie eindrucksvoll sich diese Technologie im Siemens-Konzern entwickelt hat: Von den Kinderschuhen über die ersten kommerziellen Schritte bis hin zur Technologie- und Marktführerschaft.

Schon viele Siemens-Innovationen haben die Welt verändert. Mit der Magnetresonanztomographie machen wir nun schon seit 30 Jahren immer wieder Neues möglich – was früher noch Träume waren, ist heute Wirklichkeit geworden. Zu diesem Erfolg beigetragen haben viele. Angefangen von den sehr engagierten Mitarbeitern von der ersten Stunde an, über unsere großartigen Kooperationspartner, und auch meine geschätzten Vorgänger, in der Leitung der Business Unit Magnetic Resonance (siehe auch Übersicht auf Seite 43).

Erfindergeist, Überzeugung und Durchhaltevermögen waren sicherlich wichtige Faktoren auf dem bisherigen Weg. Auch heute noch geben Mitarbeiter der ersten Generation ihre Erfahrung an die jungen Mitarbeiter weiter und der Geist von 1983 lebt dadurch immer weiter. Als entscheidend sehe ich an, dass wir immer als ein Team eng zusammenstanden und zusammenstehen! Dafür möchte ich mich bei allen herzlich bedanken.

> The best way to predict the future is to invent it.
>
> Theodore Edward Hook, 1825

All die technologischen Entwicklungen, in die Sie als Leser auf den kommenden Seiten eintauchen, haben MAGNETOM zu dem gemacht, was es heute ist. Um unsere derzeitige Position zu behaupten, stützen wir uns auf vier wichtige Pfeiler: Unsere integrierte Spulentechnologie Tim, unsere einzigartige Untersuchungs-Software Dot, unsere Applikationen, die immer wieder Trends in der Bildgebung setzen, und natürlich das Design unser Magnetresonanztomographen, das die Untersuchungen für unsere Kunden immer effizienter und für Patienten immer angenehmer macht.

Nun aber ran an die Lektüre! Ich wünsche Ihnen viel Vergnügen,

Bernd Ohnesorge

Verborgenes wird sichtbar

Einen Blick ins Innere des Körpers werfen – das war bis vor nicht allzu langer Zeit unvorstellbar. Am 8. November 1895 revolutioniert ein Mann die medizinische Diagnostik: Wilhelm Conrad Röntgen entdeckt die X-Strahlen. Nun „durchleuchtet" der Mediziner den Patienten und macht so das Skelett sichtbar. Im Laufe der Zeit entwickeln Forscher weitere bildgebende Verfahren, die den Ärzten bei der Diagnose von Krankheiten helfen: Computertomographie, Ultraschall und Nuklearmedizin nutzen verschiedene Techniken, die für bestimmte Untersuchungen jeweils besonders gute Bilder liefern. Seit Beginn des 20. Jahrhunderts erforschen Wissenschaftler auch die Grundlagen einer Technik, von der sich zeigt, dass sie hervorragend zur medizinischen Bildgebung geeignet ist: Die Magnetresonanztomographie (MRT) erzeugt Schnittbilder des Körpers und stellt sie zwei- oder dreidimensional am Bildschirm dar.

Die Magnetresonanztomografie, auch unter dem Namen Kernspintomographie bekannt, arbeitet ohne Röntgenstrahlen. Das MRT-System besteht aus einem großen Magneten, einer Antenne, die Radiowellen sendet und empfängt, und einem Computer, der die Signale in Bilder umwandelt und am Monitor darstellt. Die Auflösung dieser Bilder ist bei modernen Magnetresonanztomographen so hoch, dass selbst Stoffwechselvorgänge im Gehirn und anderen Organen sehr präzise untersucht werden können.

Die Geschichte des Magnetismus beginnt mit wissenschaftlicher Neugier und Experimenten. Die Menschen beobachten, experimentieren und denken schon in der Antike über magnetische Phänomene nach. Sie bestaunen die mysteriöse Kraftwirkung bestimmter Steine, verwenden sie in magischen Ritualen und in der Medizin. Große griechische Philosophen wie Thales und Aristoteles versuchen den Magnetismus zu erklären. Doch sie kommen der Ursache nicht auf die Spur, und so bleibt der Magnetismus noch lange Zeit im Reich der Magie und des Aberglaubens. Mehr als tausend Jahre vergehen, bis die magnetischen Eigenschaften mit neuen wissenschaftlichen Methoden untersucht werden – und mit der Erfindung des Kompasses erstmals praktischen Nutzen haben.

Ende des 19. Jahrhunderts legen zwei niederländische Physiker den Grundstein zur modernen Magnetresonanztomographie: Pieter Zeeman entdeckt, dass sich optische Spektrallinien im Magnetfeld aufspalten; Hendrik Antoon Lorentz erklärt diesen Effekt. Für diese Leistung erhalten beide gemeinsam den Physik-Nobelpreis des Jahres 1902. Bald darauf folgen weitere wichtige Arbeiten: 1922 finden Otto Stern und Walter Gerlach heraus, dass sich Atome im Magnetfeld parallel oder antiparallel ausrichten. Die Erklärung dafür liefern George Eugene Uhlenbeck und Samuel A. Goudsmit im Jahre 1925: Die Elektronen des Atoms haben einen Eigendrehimpuls, den sogenannten Spin. Die magnetischen Eigenschaften der Atome werden ab 1929 an der Columbia University in den USA genauer untersucht. Hier entdecken Isidor Isaac Rabi und seine Mitarbeiter, dass sich Atome in einem Magnetfeld ausrichten, wenn sie hohen Frequenzen ausgesetzt werden. Rabi entwickelt eine Methode zur Registrierung kernmagnetischer Eigenschaften und erhält dafür 1944 den Nobelpreis für Physik. In diesem Jahr gelingt dem Russen Yevgeni K. Zavoisky der erste Versuch mit Elektronenspin-Resonanz.

1946 entdecken zwei Physiker unabhängig voneinander das Prinzip der Magnetresonanz: Felix Bloch und Edward Mills Purcell zeigen, dass Atomkerne in einem Magnetfeld kippen, wenn sie von einem elektromagnetischen Hochfrequenzfeld energetisch angeregt werden. Wird dieses Hochfrequenzfeld abgeschaltet, geben die Atome die absorbierte Energie ab und kehren in ihren Ausgangszustand zurück. Mit dieser Entdeckung schaffen Block und Purcell die technische Grundlage von Magnetresonanztomographen und erhalten dafür im Jahre 1952 gemeinsam den Physik-Nobelpreis.

Im Jahre 1950 weist Erwin Hahn nach, dass Atomkerne ein Echo erzeugen, wenn sie mit zwei Hochfrequenzimpulsen beeinflusst werden, das sogenannte Spinecho. Das Magnetresonanz-Verfahren ist jedoch noch langsam und ungenau, bis 1968 eine Züricher Forschergruppe die Empfindlichkeit entscheidend weiterentwickelt: Richard Ernst, Weston Anderson und Kurt Wüthrich verbessern die Pulsanregung und analysieren das Resonanz-Signal mit einer neuen Methode. Die Magnetresonanz-Technik wird damit rund tausendmal schneller und wesentlich empfindlicher. Richard Ernst erhält für diese Leistung 1991 den Chemie-Nobelpreis.

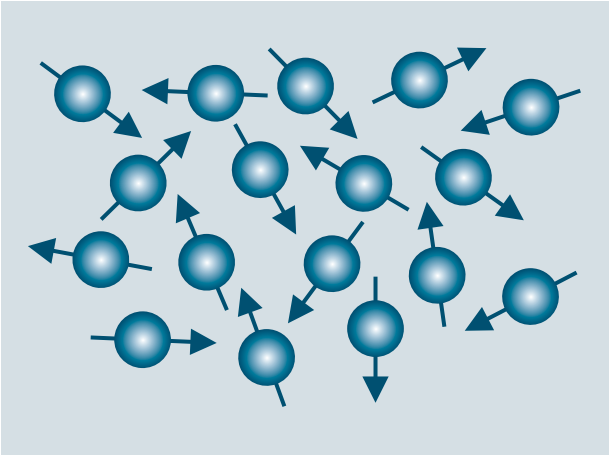
In den folgenden Jahren entwickelt sich das Magnetresonanz-Verfahren zu einer wichtigen analytischen Methode, die für Festkörper, Flüssigkeiten und Gase geeignet ist – bis der amerikanische Arzt Raymond Damadian 1971 zeigt, dass sich mit der Kernspin-Resonanz auch Tumor-Gewebe von gesundem Gewebe unterscheiden lässt. Als Geburtsjahr der Magnetresonanztomographie gilt das Jahr 1973: Der Chemiker Paul C. Lauterbur und der Physiker Sir Peter Mansfield ermöglichen als erste die Abbildung eines flüssigkeitsgefüllten Objekts – zusammen erhalten sie den Medizin-Nobelpreis des Jahres 2003 für diese bahnbrechenden Arbeiten zur Entwicklung der Magnetresonanztomographie.

Siemens hat das Potential der neuen Technik schon früh erkannt. Bereits im Jahre 1959 untersucht das Unternehmen in einem eigenen Forschungslabor mit dem Magnetresonanz-Verfahren Kunststoffe. Der Unternehmensbereich Medizintechnik in Erlangen stellt 1965 den Physiker Alexander Ganssen ein, der mit seinen Vorschlägen und Entwicklungen die medizinische Anwendung der Magnetresonanz entscheidend voranbringt. Ganssen gibt auch den Anstoß zur Entwicklung eines eigenen bildgebenden Magnetresonanztomographen bei Siemens. Die Abteilung für Grundlagenforschung wird weiter ausgebaut, die Entwicklung der Komponenten vorangetrieben, die technischen Schwierigkeiten der Anfangszeit gelöst. Im August 1983 installiert Siemens als erstes Unternehmen weltweit einen kommerziellen Magnetresonanztomographen für klinische Anwendungen: Das MAGNETOM wird am Mallinckrodt Institute of Radiology in St. Louis, Missouri, USA, in Betrieb genommen. Bevor es soweit war, ist viel passiert. Die Entwicklung der Magnetresonanztomographie bei Siemens ist eine ereignisreiche Geschichte – eine Geschichte von Forschung, einer Holzhütte, einer grünen Paprika und einem Sixpack Bier.

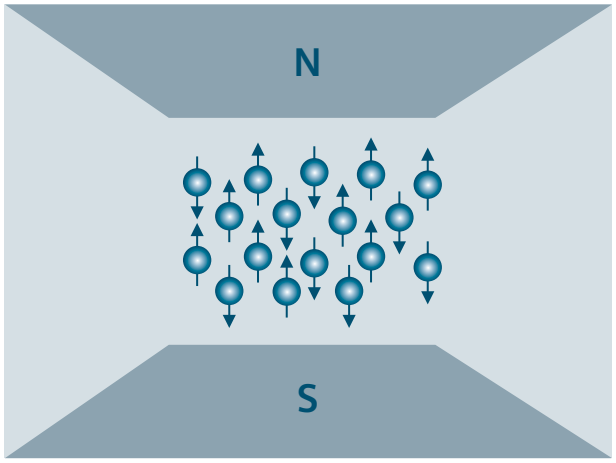
Wie wir mit Magneten in unseren Körper blicken können

Der Kompass in unserem Körper

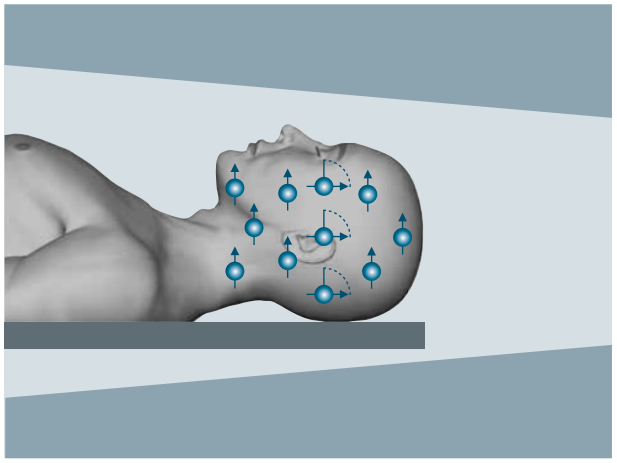
Unser Körper besteht zu einem großen Teil aus Wasser, das sich wiederum aus winzigen Teilchen zusammensetzt: aus Wasserstoff- und Sauerstoffatomen. Die Magnetresonanztomographie macht sich zunutze, dass die Kerne der Wasserstoffatome magnetische Eigenschaften besitzen: Wirkt ein Magnet auf diese Wasserstoff-Atomkerne, richten sie sich im Magnetfeld aus; ähnlich einer Kompassnadel im Magnetfeld der Erde. Im Magnetresonanztomographen werden nun elektromagnetische Hochfrequenzen in Form von Radiowellen ausgesendet. Diese Wellen treffen auf die ausgerichteten Wasserstoff-Atomkerne und versetzen sie in Schwingung. Werden die Wellen abgeschaltet, kehren die Atome in ihre Ausgangsstellung im Magnetfeld zurück. Dabei geben sie die Energie teilweise wieder ab, die sie durch die Hochfrequenzwellen aufgenommen haben. Diese freigewordene Energie wird von hochempfindlichen Empfangsspulen gemessen und ihr Ursprungsort kann mit geeigneten Techniken räumlich zugeordnet werden. Ein Computer rechnet die Daten um und erzeugt daraus Tomographien, zu Deutsch: Schnittbilder. Der Arzt kann diese Bilder zwei- oder dreidimensional am Bildschirm betrachten. Besonders gut geeignet ist die Magnetresonanztomographie für weiches Körpergewebe wie Gehirn, innere Organe und Gelenke. Der Patient spürt von alldem nichts – die MRT-Untersuchung ist völlig schmerzfrei.



Im Körper befinden sich Wasserstoffatome



Diese Atome besitzen magnetische Eigenschaften



Atome richten sich im Magnetfeld des MRT aus

Was passiert während der Untersuchung?

Wenn der Patient auf dem MRT-Untersuchungstisch Platz genommen hat, legt das Personal die Spulen auf den Teil des Körpers, der untersucht werden soll. Bei manchen Untersuchungen bekommt der Patient vorher ein Kontrastmittel verabreicht, das besondere Körperstrukturen noch deutlicher sichtbar macht, beispielsweise Blutgefäße oder Tumorgewebe. Anschließend wird er auf dem automatischen Tisch in den Magnettunnel gefahren. Während der Untersuchung muss der Patient ruhig liegen, damit keine Bildartefakte entstehen. Das Gradientensystem verursacht Klopfgeräusche, die je nach Messprogramm unterschiedlich laut sind. Deshalb trägt der Patient wahlweise Ohrstöpsel oder Kopfhörer mit Musik. Die Magnetresonanztomographie arbeitet mit Magnetfeldern, die meist über 20.000 Mal stärker sind als das Magnetfeld der Erde. Deshalb müssen vorher alle magnetischen Gegenstände wie Schmuck, Piercing, Uhr und Brille abgelegt werden.

Die Komponenten eines Magnetresonanztomographen

Der Magnet

Das Herzstück des Magnetresonanztomographen. Der Magnet erzeugt ein Magnetfeld mit einer bestimmten Stärke, bei heutigen klinischen MRT-Systemen meist 1,5 oder 3 Tesla. Zum Vergleich: Ein handelsüblicher Hufeisenmagnet hat etwa 0,1 Tesla. Die Einheit „Tesla" bezeichnet genaugenommen die magnetische Flussdichte. Umgangssprachlich hat sich dafür jedoch die Bezeichnung „Feldstärke" eingebürgert, also die Stärke des Magnetfeldes – auch wenn diese Benennung physikalisch nicht korrekt ist. Je stärker das Magnetfeld, desto deutlicher hebt sich das Signal vom Hintergrundrauschen ab. Dadurch wirkt sich die Feldstärke auf die mögliche Bildauflösung aus, auf die Untersuchungszeiten und auf den Bildkontrast, also den Unterschied zwischen dunklen und hellen Bildpunkten. Neben der erwünschten Feldstärke erzeugt der Magnet ein unerwünschtes Streufeld, das heißt, es entsteht auch im Raum um das MRT-System ein Magnetfeld, das nicht für die Erzeugung des Bildes gebraucht wird. Dieses Streufeld wirkt sich auf magnetische Gegenstände im und um den Untersuchungsraum aus. Der Raum muss deshalb abgeschirmt werden. Ältere Abschirmungen waren aus Eisen und der Magnet wog damit bis zu 32 Tonnen. Moderne MRT-Anlagen sind mit hochentwickelten Spulen abgeschirmt und deutlich leichter. Die Betriebstemperatur des Magneten liegt bei minus 269 Grad Celsius (4 Kelvin, das heißt knapp über dem absoluten Nullpunkt). Um diese Temperatur zu erreichen, wird der Magnet mit flüssigem Helium gekühlt. Bei älteren Anlagen musste das Helium nach rund sechs Wochen nachgefüllt werden. Moderne Siemens-MAGNETOM-Systeme arbeiten mit der sogenannten Zero Helium Boil-Off-Technologie. Mit dieser Technologie verbrauchen MRT-Systeme im normalen Betrieb kein Helium, regelmäßige Heliumfüllungen sind nicht notwendig.

Die Gradienten

Die Signale des Körpers im Magnetfeld müssen ihrem Ursprungsort exakt zugeordnet werden, wofür unter anderem das sogenannte Gradientensystem benötigt wird. Dabei handelt es sich ebenfalls um Magnetspulen, die in den drei Dimensionen des Raumes weitere Magnetfelder erzeugen. Diese drei Felder liegen über dem Hauptmagnetfeld und liefern die räumlich kodierten Daten, aus denen der Computer das Schnittbild errechnet.

Die Spulen

Um das Magnetresonanz-Signal besser empfangen zu können, liegen Hochfrequenzspulen auf dem Körperteil, der untersucht werden soll. Einige dieser Spulen senden und alle Spulen empfangen die MRT-Signale. Dadurch verbessert sich das Signal-zu-Rausch-Verhältnis; das heißt, das stärkere Signal macht das Bild deutlicher, da das sogenannte Bildrauschen weniger wird. Dieses Rauschen besteht aus unerwünschten Bildpunkten, deren Helligkeit vom eigentlichen Bildinhalt abweicht.

Das Hochfrequenz-System

Das HF-System erzeugt Hochfrequenzsignale in Pulsform. Sendespulen schicken diese Hochfrequenzwellen in den Körper und regen damit die Wasserstoff-Atomkerne an. Die „Antwort" der Atomkerne, die Kernresonanz, wird von der Antenne einer Empfangsspule erfasst. Das empfangene Signal wird verstärkt und für die Weiterverarbeitung umgewandelt.

Das Rechnersystem

In modernen Magnetresonanztomographen sind meist drei Rechner verbaut, die verschiedene Aufgaben übernehmen: einer regelt die Bedienung der Anlage, einer steuert das gesamte Messsystem und die Spulen, einer berechnet das Bild und führt die zahlreichen Programme zur Untersuchungs-Auswertung aus.

Oberkörperspule, 2012

Fußspule, 2012

Die Anfänge bei Siemens

Alexander Ganssen, 1954

Das erste MR-Forschungslabor aus Holz, Erlangen, 1979

0,1-Tesla-Magnet mit Faradayschem Käfig, 1979

Die ersten Arbeiten zur Magnetresonanz sind theoretischer Natur: Wissenschaftler erforschen die Wechselwirkung des Atomkerns mit der molekularen Umgebung, entdecken den Spin, experimentieren mit Wasserstoffkernen im Magnetfeld.

Mit den Fortschritten werden schon bald erste Anwendungen möglich: Ab 1951 untersuchen Chemiker mithilfe der Magnetresonanz Strukturen und Bindungen von Molekülen, darunter auch eine der bedeutendsten Entdeckungen der Biologie: die Form und der Aufbau der Gene. Siemens erkennt das Potential des Verfahrens und zeigt großes Interesse an der Erforschung und der Entwicklung der Technik. Ingenieure im Siemens-Forschungslabor untersuchen mit der Magnetresonanz bereits 1959 die Beschaffenheit von Kunststoffen. Im Jahre 1965 stellt das Unternehmen einen Mann ein, der in den folgenden Jahren die Entwicklung der Magnetresonanztomographie entscheidend prägen wird: den Physiker Alexander Ganssen.

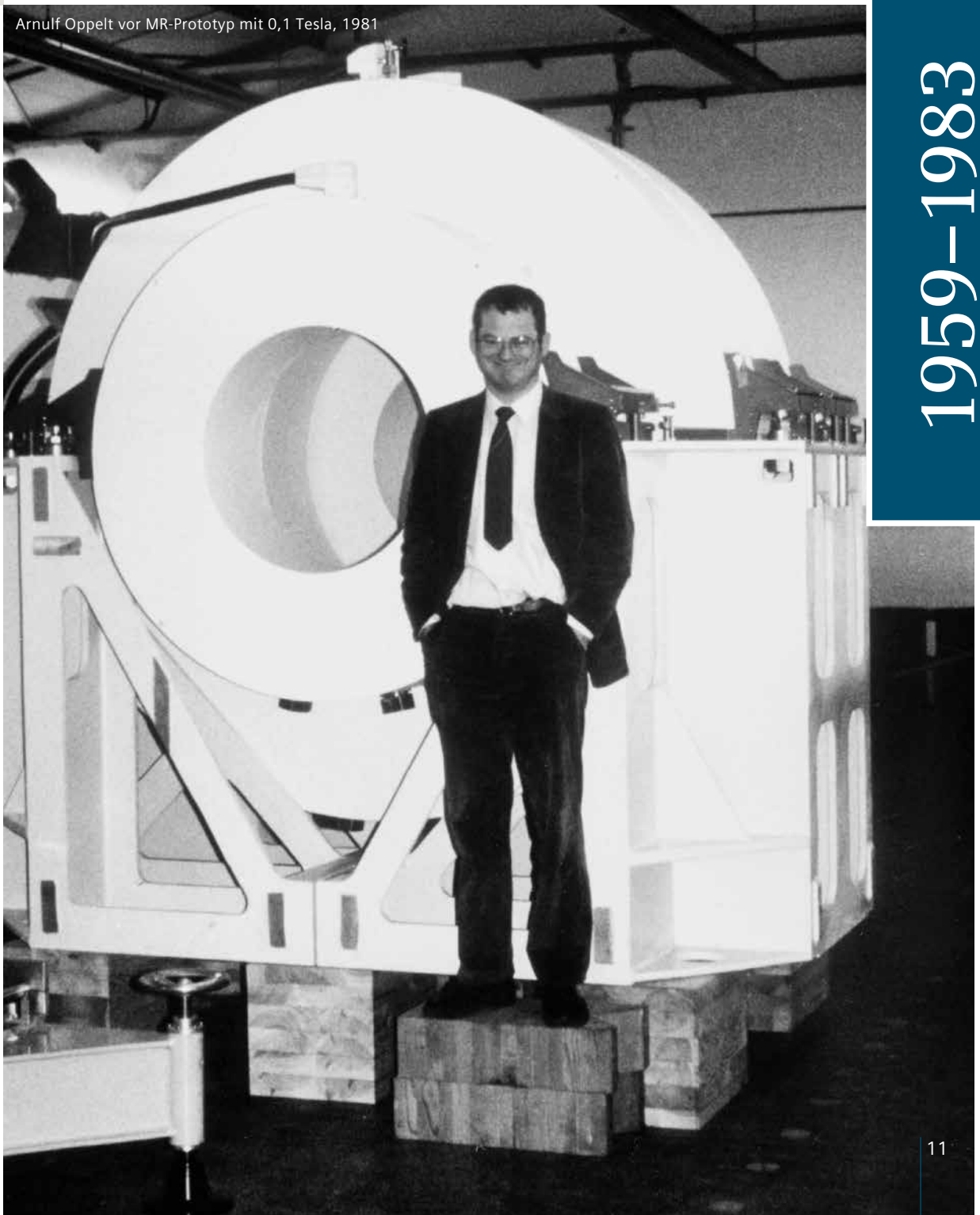
Schon während seines Studiums beschäftigt sich Alexander Ganssen mit der magnetischen Kernresonanz und bleibt ihr sein Leben lang treu. In seiner Dissertation in Physik im Jahre 1953 greift er die Erkenntnisse der Nobelpreisträger Felix Bloch und Edwin Purcell auf, die 1946 das Prinzip der Magnetresonanz entdeckt hatten. Bei Siemens forscht Ganssen an Magnetresonanz-Techniken für die medizinische Diagnostik. Er entwickelt ein Gerät, das 1966 gebaut und ein Jahr später patentiert wird: Den weltweit ersten Apparat, der mithilfe der Magnetresonanz den Blutfluss des Patienten an der Halsschlagader oder am Arm misst. Weitere Patente und Erfindungen folgen. Ganssen baut unter anderem ein kompaktes Magnetresonanz-Tischgerät, mit dem bestimmte Kreislauf-Erkrankungen diagnostiziert werden können.

Beim Siemens-Unternehmensbereich Medizintechnik beginnen 1977 erste Planungen zum Bau eines Magnetresonanztomographen, an denen der spätere Nobelpreisträger Peter Mansfield als Berater beteiligt ist. Die MRT-Bildgebung hatte bis zu dieser Zeit bereits große Fortschritte gemacht. So kann Paul C. Lauterbur, ebenfalls späterer Nobelpreisträger, Schnittbilder

von lebenden Mäusen zeigen, als er im Januar 1977 die Medizintechniker von Siemens in Erlangen besucht. Im gleichen Jahr scannt der amerikanische Arzt Raymond Damadian seinen Brustkorb mit dem Magnetresonanz-Verfahren – mit viereinhalb Stunden dauert die Abbildung allerdings noch sehr lange.

Die Geschäftsleitung der Siemens-Medizintechnik stimmt der Entwicklung eines Magnetresonanztomographen zu. Der Leiter der Grundlagenentwicklung, Rudolf Schittenhelm, und sein Laborleiter Alexander Ganssen stellen zum 1. Februar 1978 den Physiker Arnulf Oppelt als Projektleiter ein. Zusammen mit einem kleinen Team baut Oppelt den ersten MRT-Prototypen: eine 0,1-Tesla-Anlage mit einem Magneten, in den bereits ein ganzer Mensch passt. Dieser Magnet wird bei der Firma Oxford Instruments Ltd. in England bestellt, das Siemens-Forschungslabor konstruiert das Gradientensystem, Steuerung und Software entwickelt der Unternehmensbereich Medizintechnik. Ende 1978 entsteht die erste Versuchsanlage auf dem Gelände des Siemens-Forschungslabors in Erlangen – in einer eigens dafür gebauten Holzhütte.

Um Störungen des Magnetfelds zu vermeiden, gibt es in dieser Holzhütte keine magnetischen Teile. Nicht einmal ein Eisennagel ist darin verbaut! Dennoch haben die Forscher mit Problemen zu kämpfen: Die Stromversorgung des Magneten schwankt, und da die Frequenz der Kernresonanz auf der von Radiowellen liegt, empfangen die Physiker abends Kurzwellensender statt MRT-Signale. Als Lösung für dieses Problem bauen sie zur Abschirmung um den Magneten einen Faradayschen Käfig. Das ist eine geschlossene Hülle aus einem elektrischen Leiter, die ihren Innenraum elektrisch abschirmt.



Arnulf Oppelt vor MR-Prototyp mit 0,1 Tesla, 1981

1979 beschäftigt sich Oppelts Team mit den „Kinderkrankheiten“ des Geräts und verbessert die Software. Ende des Jahres sollen die Forscher endlich Ergebnisse vorlegen. Die Zeit drängt, der Druck steigt, verbleibende Störungen müssen deshalb erstmal durch eine lange Messzeit ausgemittelt werden. Ein geeignetes Test-Objekt wird gesucht. Man entscheidet sich für ein eher ungewöhnliches Versuchsobjekt: eine grüne Paprika. Denn „sie würde auf jeden Fall stillhalten, war groß genug, um als Pendant eines menschlichen Organs zu gelten und man konnte sie aufschneiden, um sich von der Ähnlichkeit des potentiellen Bildes mit der Anatomie zu vergewissern.“

Damit ihnen die Wartezeit während der endgültigen Testmessung nicht zu lang wird, besorgen sich die Physiker ein Sixpack Bier, „welches die Stimmung deutlich“ hebt. Es dauert jedoch bis in die Abendstunden, bis die Paprika abgebildet ist, und sie können ihren Vorgesetzten das Ergebnis erst am nächsten Tag präsentieren. Es ist ein voller Erfolg! Die Forscher sind begeistert, erkennen jedoch einige Wochen später einen kleinen Fehler bei der Bildrekonstruktion: Als Datum der Aufnahme erscheint deshalb im Bild der 14. Februar 1980, an dem der Fehler beseitigt war. Tatsächlich wurde es jedoch schon im November 1979 aufgenommen. Die Aufnahme der Paprika überzeugt die Vorgesetzten vom Potential der Magnetresonanztomographie, und so kann das MRT-Team um Ganssen und Oppelt weitermachen.

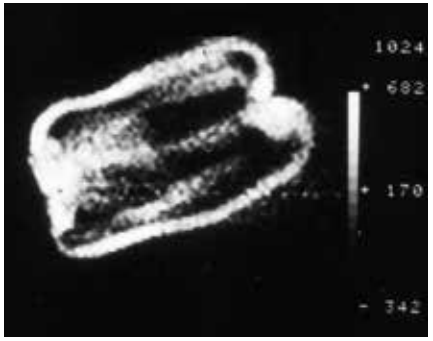
Die Forschungen führen schnell zu weiteren Erfolgen. Schon wenige Monate später, im März 1980, folgt das erste Bild eines menschlichen Schädels. Als Freiwilliger stellt sich Alexander Ganssen zur Verfügung. Die Abbildung seines Kopfes dauert nur acht Minuten – das ist bereits deutlich kürzer als die Aufnahme der Paprika wenige Monate zuvor. Das Ergebnis lässt erahnen, welches Potential in der Magnetresonanztomographie steckt, besonders wenn Weichteile dargestellt werden sollen.

Nur wenige Monate danach erfolgt der nächste Schritt: Im September 1980 werden die ersten Patienten untersucht. Bewegungen stellt die Versuchsanlage jedoch noch unscharf dar, und so beschränken sich die Forscher zunächst auf Kopf, Arme und Beine. Für die Probanden ist die Untersuchung noch wenig komfortabel: Sie müssen auf einem Holzbrett in den Magneten kriechen, der zudem sehr eng ist. Auch für den Untersucher hält sich der Komfort in Grenzen. Er muss zwei lange Stäbe benutzen, um die Spulen im Magnetfeld zu justieren.

Auf der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Neuroradiologie 1980 stellt Arnulf Oppelt die Magnetresonanztomographie vor – die ersten Reaktionen der medizinischen Fachwelt sind jedoch verhalten. Im Laufe des Jahres 1981 steigern die Ingenieure die Bildqualität des MRT-Systems deutlich. In einer zweiten Versuchsanlage mit 0,2-Tesla Feldstärke werden Patienten des Nürnberger Radiologen Ernst Zeitler untersucht. Mittlerweile sind die Bilder so gut, dass Tumoren in Kopf oder Bauch und die Veränderung im Gehirn bei multipler Sklerose lokalisiert werden können.

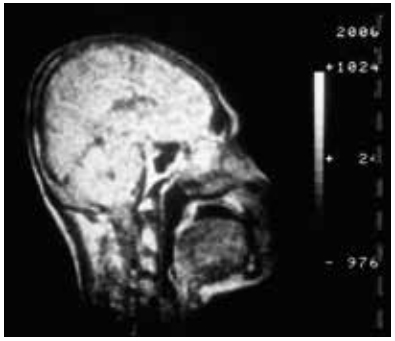
„Das Potential der Magnetresonanztomographie zu diagnostischen Zwecken war klar, als wir 1981 den ersten Tumor auf einem Kopfbild gesehen haben“, sagt Oppelt. In diesem Jahr beginnt das Siemens-Forschungszentrum mit Unterstützung des Bundesministeriums für Forschung und Technologie einen neuen Magneten zu entwickeln, der ebenfalls ein 0,2 Tesla starkes Magnetfeld erzeugt, jedoch aus vier ölgekühlten Spulen besteht, mit denen der Magnetresonanztomograph deutlich effizienter arbeitet.

Die bisher verwendete Magnettechnik hat einige Nachteile: Schaltet man die Anlage ein, dauert es etwa eine halbe Stunde, bis das Magnetfeld stabil ist. Vor allem aber stehen die Ingenieure vor großen Schwierigkeiten, wenn sie die Feldstärke über 0,2 Tesla erhöhen und damit die Bildqualität weiter verbessern wollen: Der Stromverbrauch würde drastisch



MR-Aufnahme einer Paprika, 1980

Arnulf Oppelts Kopf in Versuchsanlage, 1980



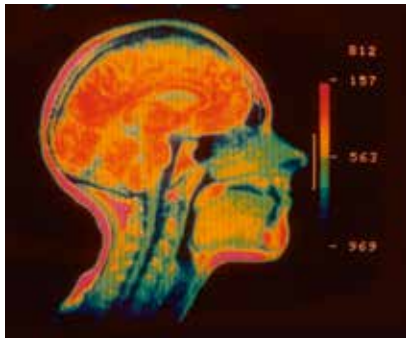
Alexander Ganssens Kopf, 1980

Ganzkörperuntersuchung in Versuchsanlage, 1980

Versuchsanlage mit Kopfspule, 1982

steigen und die Spulen gäben erheblich mehr Wärme ab. Für die dritte Versuchsanlage entwickelt Siemens deshalb einen supraleitenden Magneten. Supraleitend bedeutet, dass die Drähte der Magnetspulen unter einer Temperatur von minus 269 Grad Celsius keinen elektrischen Widerstand mehr haben. Um die Drähte auf diese niedrige Temperatur zu bringen, werden sie mit flüssigem Helium gekühlt. Zusätzlich schirmt flüssiger Stickstoff das Helium ab, damit es nicht von Wärmestrahlung erwärmt wird und nicht so schnell verdampft.

Mit den supraleitenden Magneten sind schon bald höhere Feldstärken möglich: Bei der dritten Versuchsanlage sind es 0,5 Tesla. Wenig später entwickelt Siemens bereits Magneten mit 1,5 Tesla. Höhere Feldstärke bedeutet besseres Signal-zu-Rausch-Verhältnis, besseres Signal-zu-Rausch-Verhältnis bedeutet höhere Bildqualität. Neben den Magneten verbessern die Ingenieure die Programme, die das Magnetresonanz-Signal auswerten und am Bildschirm darstellen. Noch im Jahre 1981 entwickelt Siemens die Technik so weit, dass die Produkt-Vorentwicklung beginnen kann. Zwei Jahre später, im Sommer 1983, installiert das Unternehmen sein erstes kommerzielles MRT-System mit supraleitendem 0,35-Tesla-Magneten am Mallinckrodt Institute of Radiology in St. Louis, USA: das MAGNETOM.



Kopfaufnahme mit MAGNETOM, 1982

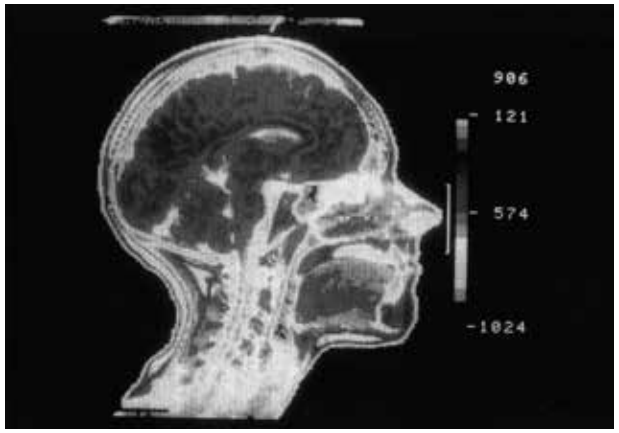
Erstes MAGNETOM in St. Louis, USA 1983

Prototyp für kommerzielles MAGNETOM, 1982

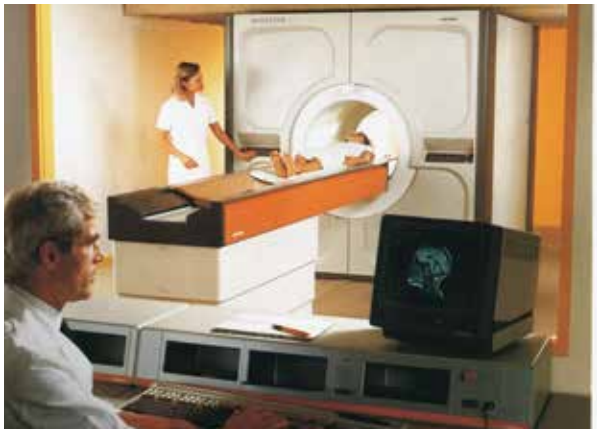
MAGNETOM
SIEMENS

MAGNETOM 1983

Kopfspule mit verschiedenen Kissen, 1983



Kopfaufnahme, 1983



Untersuchung mit dem ersten MAGNETOM, 1983

Im Sommer 1983 ist es soweit: Nach jahrelanger Forschung und Entwicklung stellt Siemens seinen ersten kommerziellen Magnetresonanztomographen vor, das MAGNETOM. Schon in diesem Modell ist ein supraleitender Magnet verbaut, der mit unterschiedlichen Feldstärken lieferbar ist: eine rund 5,3 Tonnen schwere Ausführung mit 0,35 Tesla, kurze Zeit später eine ähnlich schwere mit 0,5 Tesla und ein 1,5-Tesla-System mit einem Gewicht von 7,3 Tonnen. Nachdem das MAGNETOM im abgeschirmten Untersuchungsraum aufgebaut ist, wird der Magnet mit flüssigem Stickstoff und flüssigem Helium auf minus 269 Grad Celsius abgekühlt und mit Strom aufgeladen. Danach benötigt er keine weitere elektrische Leistung und die Stromversorgung wird dauerhaft getrennt. Das Helium und der Stickstoff verdunsten jedoch langsam und müssen deshalb regelmäßig nachgefüllt werden – das erste MAGNETOM verbraucht etwa zwei Liter Stickstoff und einen halben Liter Helium pro Stunde.

Vor dem Raum mit dem MRT-System steht das Bedien- und Auswertepult, im angrenzenden Rechnerraum befinden sich unter anderem die elektronische Steuerung und der Bildrechner, in einem Technikraum sind Kühlaggregat und Stromversorgung untergebracht. Das MAGNETOM mit 0,35 Tesla Feldstärke benötigt im Jahre 1983 noch insgesamt rund 95 Quadratmeter Raumfläche, die Anlage mit 1,5 Tesla erfordert etwa 140 Quadratmeter Platz. Bei der Wahl des Aufstellungsortes muss zudem beachtet werden, dass Stahl in der Nähe des MRT-Systems Einfluss auf dessen Magnetfeld hat. Daher gilt es, bestimmte Mindestabstände zum Mittelpunkt des Magneten einzuhalten. So sollte sich beispielsweise in weniger als 15 Metern Abstand keine von Autos und LKWs befahrene Straße befinden, und auch Aufzüge mit Stahlgehäuse müssen weiter entfernt sein.

Die diagnostische Leistung ist bereits beeindruckend: Bei einer Ganzkörperuntersuchung macht das MAGNETOM in einem Bildabschnitt von 50 Zentimetern Durchmesser Strukturen sichtbar, die kleiner sind als 2 Millimeter; bei einer Kopfuntersuchung kann der Arzt auf einem Bilddurchmesser mit 25 Zentimetern sogar Strukturen sehen, die kleiner sind als 1 Millimeter. Das Bild besteht aus Bildpunkten (Pixeln) mit 256 Graustufen, mit denen die verschiedenen Gewebearten im Körper dargestellt werden. So heben sich verschiedene Gewebe deutlich voneinander ab, und der Arzt kann krankheitsbedingte Veränderungen im Körper erkennen. Die Auswertungs-Software bietet zahlreiche Optionen und kann jederzeit erweitert werden.

Die Magnetresonanztomographie entwächst den Kinderschuhen

Untersuchungsvorbereitung, 1984

Klinikum Charlottenburg, 1983

Magnetabschirmung, 1984

Die Grundlagenforschung und die Vorentwicklung haben sich bewährt: Bereits 1982 erzeugen die Siemens-Forscher mit den MRT-Prototypen aussagekräftige Bilder.

Die Anlagen waren bisher unter Laborbedingungen getestet worden. Für den Routinebetrieb in Kliniken oder Arztpraxen müssen die Ingenieure einfach zu bedienende Steuerelemente entwickeln. Die Bedienung soll leicht von der Hand gehen, ohne dadurch die vielen Möglichkeiten bei der Untersuchung einzuschränken. Die Forscher überarbeiten zudem die Elektronik, um die Bilder schneller zu berechnen und am Monitor darzustellen. Die Dokumentationsmöglichkeiten werden an die medizinischen Gepflogenheiten angepasst, die nötigen Arbeitsschritte praxisnah in den Klinikalltag integriert. Auch am Komfort arbeiten die Ingenieure: Bei den Prototypen musste man über ein Holzbrett in den Magneten klettern, nun wird der Patient über einen motorisierten Lagerungstisch in die richtige Position für die Untersuchung gebracht.

Anfang 1983 ist es dann soweit: An der Medizinischen Hochschule Hannover installiert Siemens den ersten Magnetresonanztomographen, der im klinischen Umfeld auf Alltagstauglichkeit getestet wird. Das Herzstück der Anlage ist ein ölgekühlter normalleitender Magnet mit 0,2 Tesla Feldstärke, den Siemens mit Unterstützung des Bundesministeriums für Forschung und Technologie entwickelt hat. Die Mediziner der Hochschule untersuchen mit diesem Testsystem mehr als 800 Patienten. Der Test läuft so gut, dass Siemens die Produktentwicklung weiter vorantreibt und im Unternehmensbereich Medizinische Technik den Geschäftsbereich „Magnetresonanz“ gründet.

„Die Kernspintomographie wächst aus den Kinderschuhen“, heißt es wenige Monate später in einer Pressemitteilung, in der Siemens seinen ersten serienreifen Magnetresonanztomographen der Öffentlichkeit vorstellt: das MAGNETOM.

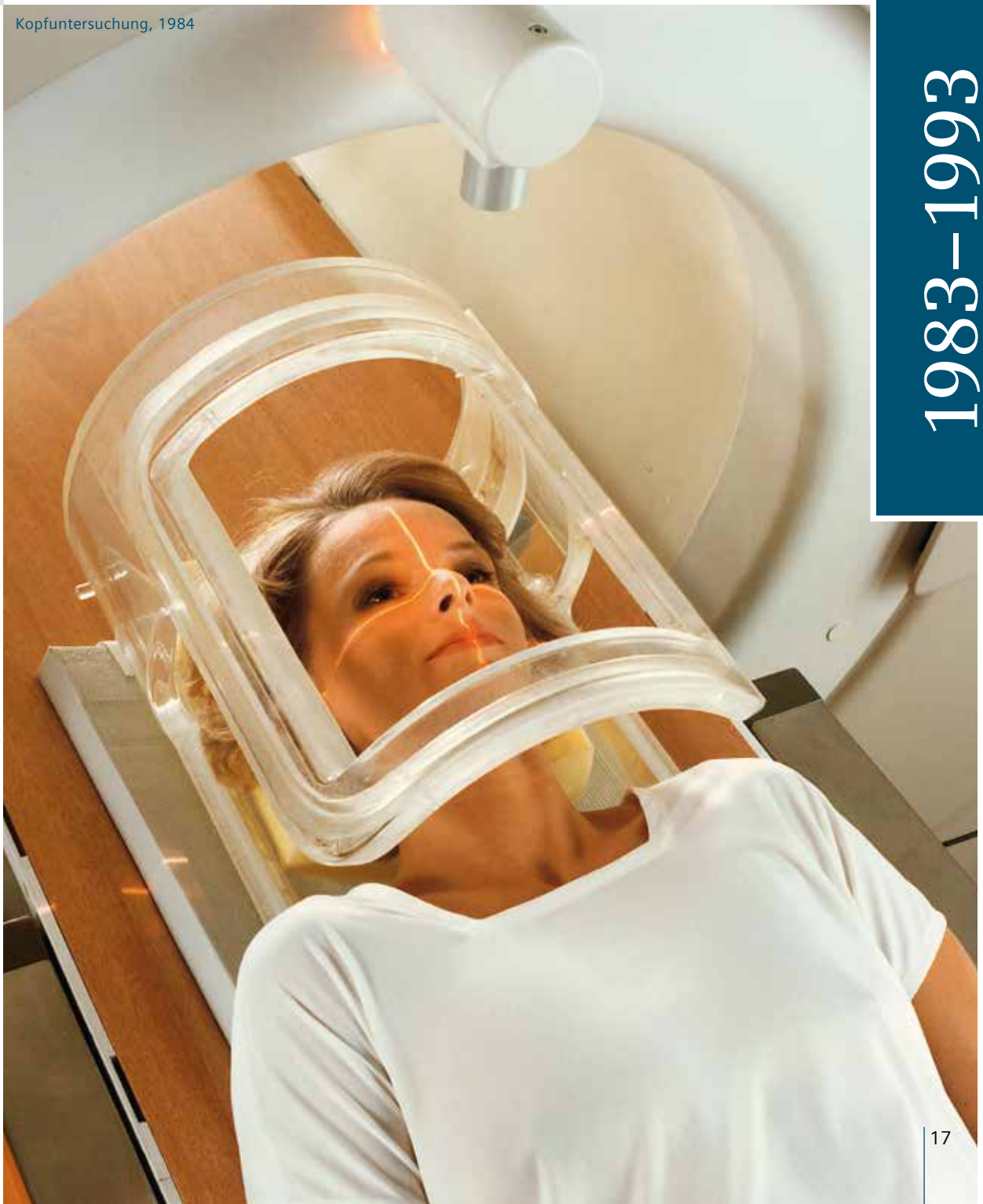
Bereits im August werden die ersten Patienten in einem MAGNETOM-System mit 0,35 Tesla Feldstärke untersucht: Siemens installiert das erste System am Mallinckrodt Institute of Radiology in St. Louis, USA. Damit ist das Unternehmen einer der weltweit ersten Anbieter, der die Magnetresonanztomographie für klinische Anwendungen zur Verfügung stellt.

Das erste MAGNETOM Deutschlands bekommt der Radiologe Armin Kühnert. Er setzt in seiner Praxis in Dietzenbach in der Nähe von Frankfurt am Main ein System mit einer Feldstärke von 0,35 Tesla ein. Fast zeitgleich erhält der Münchner Radiologe Hansjörg Heller ein System mit 0,5 Tesla. Für sein MAGNETOM lässt Heller die Räume seiner Praxis erheblich umbauen. Da das Gerät zu dieser Zeit noch nicht aktiv abgeschirmt ist, müssen störende Einflüsse der Umgebung ausgeschlossen werden. Den Aufwand des Umbaus nimmt Heller in Kauf: „Ich konnte ja nicht auf die grüne Wiese vor der Stadt gehen. Da wäre keiner gekommen.“

1983–1993

Das Klinikum Charlottenburg der Freien Universität Berlin erhält als erste Universitätsklinik Deutschlands im Dezember 1983 einen Magnetresonanztomographen mit supraleitendem Magneten von Siemens. Bis Juni 1984 liefert das Unternehmen 14 MAGNETOM-Systeme weltweit aus. Im gleichen Monat erteilt die amerikanische Food and Drug Administration dem MAGNETOM die endgültige Freigabe für den US-Markt. 1986 erhält Siemens in Japan als erster Hersteller von Magnetresonanztomographen die Zulassung für Systeme mit 1,5 Tesla. Anlagen mit 0,35 und 0,5 Tesla sind dort zu dieser Zeit bereits zugelassen.

Die Magnete der ersten MRT-Systeme können nur in Räumen aufgestellt werden, die mindestens 40 Quadratmeter groß sind. Der Grund dafür ist das starke Streufeld der herkömmlichen Magneten. Bei diesen ist das Magnetfeld nicht abgeschirmt; es wirkt auf technische Einrichtungen und Geräte, auf Herzschrittmacher und Prothesen. Siemens entwickelt einen supraleitenden Magneten mit rund fünfmal kleinerem Streufeld. Diese weltweit einzigartige Konstruktion schirmt das Magnetfeld durch eine sogenannte magnetische Flussrückführung ab, das heißt, eine käfigförmige Abschirmung leitet das Streufeld zum Magneten zurück. Damit benötigt der Magnet nur noch halb so viel Platz, also einen rund 20 Quadratmeter großen Raum. Viele der bis dahin nötigen Umbauten im Raum sind nun nicht mehr notwendig; die Installation ist somit deutlich günstiger.



Kopfuntersuchung, 1984

Die supraleitenden Magnete ermöglichen zudem höhere Feldstärken. In der Magnetresonanztomographie gilt: Je stärker das Magnetfeld, desto höher die Bildqualität. Durch Verbesserungen an Magnetspulen und Abschirmung kann Siemens die Feldstärke schnell steigern. Bereits 1984 kommt ein MAGNETOM mit 1,5 Tesla Feldstärke auf den Markt. Für die medizinische Forschung entwickeln die Siemens-Ingenieure im Jahre 1986 das erste MRT-System mit einem 4-Tesla-Ganzkörpermagneten.

Neben dieser Leistungssteigerung führt Siemens zahlreiche technische Neuerungen ein, die neue Diagnose-Möglichkeiten schaffen, die Untersuchungsdauer verkürzen und den Energieverbrauch senken. Bereits 1985 kann die Messzeit durch die sogenannte Halb-Fourier-Matrix fast halbiert werden. Bei dieser Messtechnik ermittelt das MAGNETOM etwa die Hälfte der Daten durch direkte Messung, die andere Hälfte rekonstruiert es mathematisch. Zur weiteren Messzeitverkürzung setzt Siemens auf sogenannte Gradientenecho-Techniken. Dabei machen sich die Ingenieure Aufnahmeverfahren zunutze, die vorher nicht verwendet werden konnten.

In der Medizin nennt man die Darstellung von Gefäßen mittels bildgebender Systeme Angiographie. Damit lassen sich beispielsweise Ablagerungen in Blutgefäßen erkennen oder Venenkrankheiten wie Thrombosen diagnostizieren. Bereits 1989 ermöglicht Siemens Angiographie-Untersuchungen in seinen Magnetresonanztomographen: Das MAGNETOM berechnet mit der sogenannten 3D-Volumen-MR-Angiographie die Gefäße aus verschiedenen Richtungen und stellt sie dreidimensional dar.

Mit der Magnetresonanz lassen sich schon Mitte der 1980er Jahre detaillierte Schnittbilder des schlagenden Herzens erstellen. Bei Medizinern stoßen diese Aufnahmen auf besonders großes Interesse, da zu dieser Zeit kein anderes Verfahren das Innere des Herzens in solch hoher Qualität darstellen kann. Als einer der ersten Hersteller liefert Siemens spezielle Programme, die Herz-Anatomie und -Funktion darstellen und wichtige Werte wie Volumen und Muskeldicke

Werbebroschüre,
1984

Frühe Angiographie-Aufnahme,
1987

Knieaufnahme,
1987

Untersuchungsauswertung,
1988

messen. Schon damals lassen sich aussagekräftige Filme des schlagenden Herzens erstellen.

Im Jahre 1989 bringt Siemens ein 1,0-Tesla-System mit aktiv abgeschirmtem Magneten auf den Markt, das MAGNETOM 42 SPE. Aktiv abgeschirmt bedeutet: Zusätzlich zu den Spulen, die das Magnetfeld erzeugen, sind Spulen am Magneten angebracht, die das Magnetfeld nach außen hin abschwächen – dort wo kein Magnetfeld für die Bildgebung gebraucht wird. 1991 folgt ein Magnetresonanztomograph mit aktiv abgeschirmtem 1,0-Tesla-Ganzkörpermagneten, der über eine PC-ähnliche, intuitive Benutzeroberfläche bedient wird: das MAGNETOM Impact.

Untersuchungs-
vorbereitung, 1990

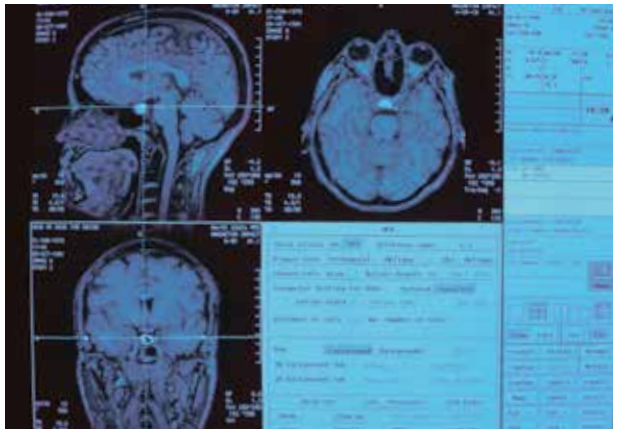
Kopfuntersuchung,
1991

Forschungslabor Erlangen, 1987

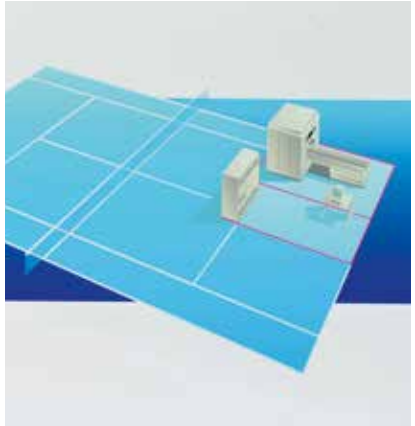
SIEMENS
MAGNETOM
IMPACT

Neues auf engstem Raum

Patiententisch des MAGNETOM Impact, 1991



Ergebnis einer Kopfuntersuchung, 1991



Größenvergleich des MAGNETOM Impact mit einem Tennisplatz, 1991

Kopfuntersuchung, 1993

Die Magnetresonanztomographen der 1980er Jahre stellen manch interessierte Klinik oder Praxis vor praktische Schwierigkeiten: Die MRT-Systeme benötigen viel Platz – oft 100 Quadratmeter oder mehr – und die Räume dafür umzubauen ist aufwendig und teuer. Zudem sind die Betriebskosten hoch und die Wartung nimmt viel Zeit in Anspruch, da die Systeme nach einigen Wochen mit Stickstoff und Helium neu befüllt werden müssen. Im Jahre 1991 bringt Siemens ein MRT-System auf den Markt, das auch für begrenzte Räumlichkeiten geeignet ist und bei dem Betrieb und Wartung deutlich weniger kosten: Das MAGNETOM Impact mit aktiv geschirmtem 1-Tesla-Ganzkörpermagneten kann auf einer Fläche von nur 40 Quadratmetern installiert werden und kommt mit zwei Helium-Füllungen pro Jahr aus.

Der geringe Platzbedarf ist vor allem auf die verbesserte aktive Abschirmung des supraleitenden Magneten zurückzuführen. Mit dieser Magnet-Technologie ist der Zusammenhang zwischen der Größe des Magnetsystems und seiner Feldstärke zum Teil aufgehoben. Das MAGNETOM Impact mit 1 Tesla Feldstärke benötigt sogar weniger Platz als die meisten zu dieser Zeit aktuellen Systeme mit 0,5 Tesla. Der Magnet verfügt über eine serienmäßige Helium-Kühlanlage und verbraucht nur noch zwei bis drei Helium-Füllungen pro Jahr. Bei all dem ist der Magnet im Jahre 1991 einer der leichtesten auf dem Markt.

Neben den Verbesserungen des Magneten verfügt das MAGNETOM Impact über neue Bildverarbeitungstechnologien und stellt die Untersuchungsergebnisse erstmals auf einer PC-ähnlichen Benutzeroberfläche dar. Mit einer Computermaus navigiert der Anwender durch die sinnvoll zusammengefassten Untersuchungsprogramme und hat alle wichtigen Daten auf dem hochauflösenden Monitor im Blick. Neben dem höheren Komfort für den Anwender profitiert auch der Patient vom Aufbau des MAGNETOM Impact: Alle wichtigen Anschlüsse für die Hochfrequenzspulen und anderes Zubehör sind im Patiententisch integriert. Das verkürzt die Vorbereitungszeit und erhöht die Bequemlichkeit, die Untersuchung wird schneller.

Offen und standardisiert

Anfang der 1990er Jahre ist die Magnetresonanztomographie aus dem klinischen Alltag nicht mehr wegzudenken. Zu vielen Fragen liefert sie die schnellste und präziseste Antwort. Neue Funktionen und Programme eröffnen weitere Diagnosemöglichkeiten und schnellere Rechner verkürzen die Untersuchungszeiten. Zwanzig Patienten in acht Stunden gelten ab 1992 als Standard. Doch noch ist die Magnetresonanztomographie nicht für alle Menschen geeignet: Einige Patienten fühlen sich unwohl, wenn sie in die enge Magnetöffnung des MRT-Systems gefahren werden. Vor allem Kinder[1] und ältere Menschen können darum nicht oder nur eingeschränkt untersucht werden. Eine der größten Herausforderungen für die Ingenieure ist deshalb, die Magnetresonanztomographie allen zugänglich zu machen – ohne dabei die Untersuchungsmöglichkeiten einzuschränken. Im Jahre 1993 gelingt dies Siemens mit dem ersten wirklich offenen MRT-System: dem MAGNETOM Open.

Der mit einem 0,2 Tesla starken Magneten ausgestattete MAGNETOM Open ist nach drei Seiten offen. Diese Bauweise ermöglicht den Ärzten, das MRT-System auch während einer Operation zur Überwachung einzusetzen. Der Patient liegt auf einem speziell entwickelten MRT-Operationstisch und wird bei Bedarf schnell unter das MAGNETOM Open gefahren. So kann beispielsweise ein Neurochirurg erkennen, wo die Grenze eines Tumors liegt und ob er ihn bereits vollständig entfernt hat. Die Operation selbst findet dabei außerhalb des Streufelds des Magnetresonanztomographen statt, sodass mit normalen chirurgischen Instrumenten gearbeitet werden kann.

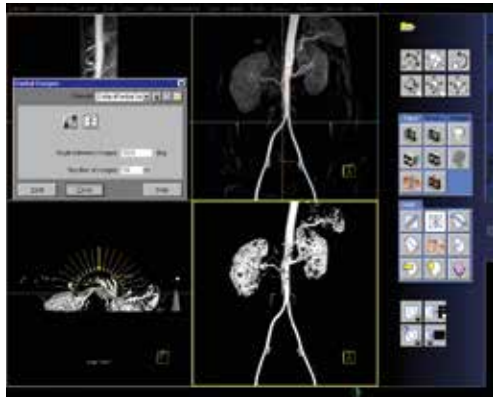
Ob schmerzender Ellenbogen, verstauchter Knöchel oder verletzter Kopf – der zu untersuchende Körperteil wird einfach zentral unter den Magneten des MAGNETOM Open gelegt. Bei Untersuchungen der Hand kann der Patient sogar neben dem Gerät sitzen bleiben. Er muss nur die Hand unter den Magneten legen. Das offene Design bietet zudem den Vorteil, dass beispielsweise ein Gelenk untersucht werden kann, während der Patient die schmerzende Stelle bewegt. Der Arzt sieht das bewegte Gelenk auf dem Bildschirm und kann das verletzte Gewebe diagnostizieren. Bei aller Offenheit beherrscht das MAGNETOM Open sämtliche Funktionen und Programme für den klinischen Einsatz. Sogar MR-Angiographie-Untersuchungen sind mit dem Gerät möglich.

Die Software der Siemens-Magnetresonanztomographen ist in den 1990er Jahren PC-ähnlich aufgebaut und lässt sich damit bereits deutlich intuitiver bedienen als die der ersten MRT-Systeme. Magnetresonanz- und Computertomographen oder andere bildgebende Systeme desselben Herstellers hatten jedoch bisher verschiedene Softwareoberflächen – und jede einzelne musste erst vom Bedienpersonal erlernt werden. Um die Jahrtausendwende schafft Siemens als erster Hersteller medizintechnischer Geräte eine einheitliche Benutzeroberfläche für alle seine Systeme: die Software *syngo*.

Von nun an ist die Bedienung aller Bildgebungssysteme von Siemens standardisiert.

MRT-Untersuchung in Singapur, 1993

Nach drei Seiten offen: MAGNETOM Open, 1994



Angiographie mit *syngo*, 2001

Schafft die Klinik oder Arztpraxis ein neues Gerät von Siemens an, ist die Einarbeitungszeit für das Personal viel kürzer. Die grafische Bedienoberfläche besteht durchgehend aus einfachen und selbsterklärenden Symbolen. Unter der Oberfläche von *syngo* stecken zahlreiche Funktionen, die auf die Arbeitsabläufe in Kliniken und Arztpraxen optimiert sind. Beispielsweise lassen sich in der elektronischen Patientenakte alle Daten des Patienten zusammenfassen, sodass der Arzt stets den Überblick über bereits erfolgte Untersuchungen wie MRT-Befunde, Laborwerte oder Operationsberichte hat. Die abteilungsübergreifende Vernetzung beschleunigt die Arbeitsabläufe und der Arzt kann sich mehr um den Patienten kümmern. Und auch Siemens profitiert direkt von *syngo*, da sich Neuentwicklungen leichter in das bestehende System integrieren lassen.

Eine dieser Entwicklungen ist das MAGNETOM Symphony. Ursprünglich im Jahre 1997 vorgestellt, wird das System kontinuierlich verbessert und bekommt neue Funktionen. Durch den modularen Aufbau ist das MAGNETOM zukunftssicher. Der Anwender stellt das Gerät nach seinen Bedürfnissen zusammen und kann es nach einigen Jahren bequem nachrüsten. Diese Bedürfnisse des Anwenders spielen bereits bei der Entwicklung eine große Rolle: Siemens befragt Radiologen, ihre Assistenten und die Patienten nach ihren klinischen und persönlichen Ansprüchen an ein MRT-System. Neben Leistungsfähigkeit und Flexibilität wird vor allem auch Bedien- und Patientenkomfort gewünscht.

MAGNETOM Symphony, 1997

Damit Ärzte und Assistenten problemlosen Zugang zum Patienten haben, entwickelt Siemens Techniken wie den freitragenden Patiententisch. Der Tisch des MAGNETOM Symphony kann beispielsweise mit bis zu 200 Kilogramm belastet und auf 45 Zentimeter über den Boden abgesenkt werden. Wird der Patient zur Untersuchung in die „Röhre" gefahren, wirkt das helle und offene Aussehen eventuellen Ängsten entgegen. Der Magnettunnel ist nur 120 Zentimeter lang und trägt ebenso zum Patientenkomfort bei wie die individuell einstellbare Beleuchtung und die gute Belüftung. Überhaupt spielt das Design des MAGNETOM Symphony eine große Rolle: Verkleidung und Magnetöffnungsring sind in verschiedenen warmen Farben erhältlich, die eine angenehme Atmosphäre schaffen und beruhigen.

Sollen besonders feine Hirnstrukturen oder schnelle Stoffwechselvorgänge abgebildet werden, ermöglichen MRT-Systeme mit stärkerem Magneten noch höhere Bildauflösung. Deshalb kommen ab Anfang der 2000er Jahre in der klinischen Diagnose zunehmend Systeme mit 3 Tesla Feldstärke zum Einsatz. Diese Hochleistungssysteme erweitern die Möglichkeiten beispielsweise in der neurologischen Diagnostik und in der Krebsmedizin. Darüber hinaus verkürzt sich damit die Untersuchungszeit, was bei großen Körperregionen eine echte Erleichterung sein kann. Denn vielen Patienten, vor allem Kindern[1], fällt langes Stillhalten in der Röhre schwer. Im Jahre 2001 stellt Siemens ein 3-Tesla-MRT-System vor, mit dem der ganze Körper in einer Untersuchung gescannt werden kann: das MAGNETOM Trio ist mit den leistungsstärksten Gradientenspulen der Industrie und neuen Hochleistungstechniken für die Bildgebung ausgestattet.

Im selben Jahr geht MAGNETOM World an den Start – kein neuer Magnetresonanztomograph, sondern ein Forum, in dem Anwender ihre Erfahrungen mit ihren MAGNETOM-Systemen untereinander und mit Siemens austauschen. Es bietet Anwendungstipps, Trainingsprogramme, Fallstudien und Arbeitsgruppen zu bestimmten Disziplinen wie zum Beispiel Neurologie oder Orthopädie. Der anfangs jährlich, später alle zwei Jahre stattfindende MAGNETOM World Summit schafft Gelegenheit zum persönlichen Austausch mit anderen Anwendern und Forschern. Austausch, Kooperationen und Arbeitsgemeinschaften – für Siemens seit jeher wichtige Möglichkeiten um Innovationen zu entwickeln und zu etablieren. Im Laufe der Jahre gründet der Unternehmensbereich Magnetresonanz zahlreiche Partnerschaften mit anderen Unternehmen, Kliniken und Forschungseinrichtungen.

Qualitätsvergleich von Kopfaufnahmen, 1983 bis 2002

Operationskontrolle mit MAGNETOM Open, 1994

Skizze eines Behandlungsraum mit MAGNETOM Symphony, 2001

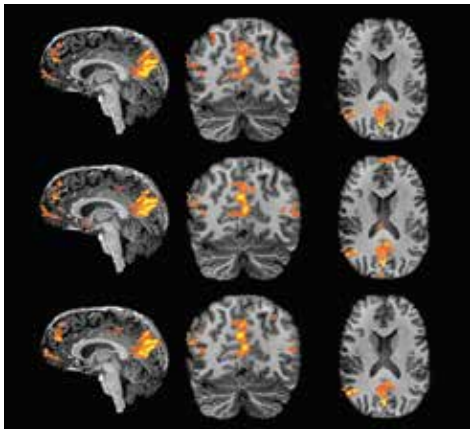
Oberkörperaufnahme, 1996

Das klinische Portal MAGNETOM World, 2014

MAGNETOM
7T MRI

Am Rande des technisch Möglichen

Skizze Untersuchungsraum MAGNETOM 7T, 2010



Funktionelle MRT mit MAGNETOM 7T, 2012

Ultrahochfeldsystem MAGNETOM 7T, 2010

In der Medizin sind nicht nur die Diagnose und die Planung der optimalen Behandlung von großer Bedeutung, die Ärzte müssen zudem die Ursachen und Auswirkungen von Krankheiten in ihren Grundlagen verstehen. Dazu forschen weltweit zahlreiche Wissenschaftler mithilfe der Magnetresonanztomographie. Mit speziell für die Forschung entwickelten MRT-Systemen machen sie bisher unbekannte Vorgänge in unserem Körper sichtbar. Die Forscher beobachten feinste Strukturen im Gehirn und die Veränderungen, die beispielsweise bei multipler Sklerose, Hirntumoren oder der Alzheimer-Krankheit auftreten. Bei diesen Studien werden MRT-Systeme mit besonders hohen Feldstärken eingesetzt, die sogenannten Ultrahochfeld-Magnetresonanztomographen.

Bereits 1986 baut Siemens für die Forschung einen MAGNETOM mit 4-Tesla-Ganzkörpermagnet. In den 2000er Jahren setzen Forschungseinrichtungen sogar auf Magnetresonanztomographen mit 7 Tesla Feldstärke – das entspricht etwa dem 140.000-fachen des Erdmagnetfelds. Für die Diagnose von Krankheiten im klinischen Alltag sind weiterhin Feldstärken von 1,5 bis 3 Tesla am besten geeignet; für die Erforschung der Ursachen von Krankheiten und anderen Studien bringen die Ultrahochfeld-Systeme viele Vorteile: Das stärkere Magnetfeld ermöglicht noch kontrastreichere und höher aufgelöste MRT-Bilder, auf denen sich selbst Strukturen mit einer Größe von 0,2 Millimetern deutlich voneinander abheben. Diese Auflösung und neue Techniken erlauben den Forschern, selbst feinste Verknüpfungen im Gehirn zu erkennen. Beim Stoffwechsel im Gewebe können sie chemische Moleküle unterscheiden und damit beispielsweise sehen, wie Medikamente im Körper wirken.

Um die Ultrahochfeld-Systeme an die spezialisierten Forschungen anzupassen, arbeitet Siemens Healthcare weltweit mit Wissenschaftlern an Universitäten und in Forschungseinrichtungen Hand in Hand. So hat das Unternehmen beispielsweise mit dem ersten Kooperationspartner für das MAGNETOM 7T², dem Massachusetts General Hospital in Boston, eine ganze Palette spezialisierter Spulen und anwendungsorientierte Techniken entwickelt. Diese Zusammenarbeit mit akademischen Partnern und die dabei erprobten neuen Techniken bringen die Technologie der klinischen Magnetresonanztomographen in großen Schritten voran: Viele Erkenntnisse aus der Entwicklung für die Forschung fließen in Systeme mit niedrigerer Feldstärke ein. Die Forschungsgemeinschaft ist groß, denn auch in der Ultrahochfeld-MRT ist Siemens Weltmarktführer: Mehr als die Hälfte der Forschungs-MRT-Systeme stammt von Siemens.

MAGNETOM
Espree, 2006

Ganzkörperaufnahme, 2003

Tim verändert die Magnetresonanztomographie

Ende des Jahres 2003 revolutioniert Tim die Magnetresonanztomographie. Tim ist nicht etwa der neueste Entwickler in der MRT-Forschung bei Siemens, sondern ein Kurzwort, das aus Anfangsbuchstaben zusammengesetzt ist: Tim steht für Total imaging matrix. Um das Revolutionäre an Tim zu erklären, werden die nächsten Zeilen etwas technisch: Der Begriff Matrix bezeichnet in der Bildgebung ein Punktmuster, das aus einzelnen Bildpunkten zusammengesetzt eine Abbildung erzeugt. Das Herzstück der Tim-Technologie sind die völlig neuartigen HF-Spulen, die mit solch einem Matrix-Konzept Daten sammeln. Tim lokalisiert Punkte im Körper des Patienten, die in eine Daten-Matrix umgewandelt werden. Aus dieser riesigen Datenmenge berechnet die Tim-Technologie dann die Schnittbilder des Körpers.

Bei Ganzkörperuntersuchungen waren bisher verschiedene Spulen notwendig, die für die Aufnahme bestimmter Körperregionen gewechselt wurden. Dazu musste der Patient bei vielen Untersuchungen zwischendurch aufstehen. Tim ermöglicht erstmals Aufnahmen von Kopf bis Fuß in einem einzigen Durchlauf, da die Matrix-Spulen alle Körperteile in gleichbleibend hoher Detailschärfe abdecken. Aufwendige Teilaufnahmen werden automatisch mitgemessen. Das erleichtert viele Untersuchungen, beispielsweise die des Gefäß- oder Nervensystems, und die Befundbilder lassen sich besser beurteilen. Die Abbildung des ganzen Körpers ist bei bis zu 2,05 Metern großen Patienten in rund zwölf Minuten möglich. Neben dem enormen technischen Fortschritt in der Bildqualität, dem deutlich verringerten Zeitaufwand für die Vorbereitung des Patienten und der verkürzten Messzeit bringt das Tim-Verfahren weitere Vorteile für Bedienpersonal und Patient: Tim unterstützt das Personal mit vielen automatischen Programmen, die auf bestimmte Anwendungen ausgelegt sind, beispielsweise Herz- oder Knochenabbildungen oder die Untersuchung von Kindern[1]. Der Patient profitiert von den sehr leichten Spulen: Mit 950 Gramm wiegt die sogenannte Körper-Matrix-Spule weniger als manche Winterbettdecke.

Die Tim-Technologie ermöglicht zudem, dass der Patient bei fast allen Untersuchungen mit den Füßen voran gescannt werden kann - für viele Patienten eine große Erleichterung, da ihr Kopf somit nicht in die „Röhre“ muss. All das vereint Siemens im MAGNETOM Avanto, das am 25. November 2003 am Universitätsklinikum in Tübingen klinisch in Betrieb genommen wird.

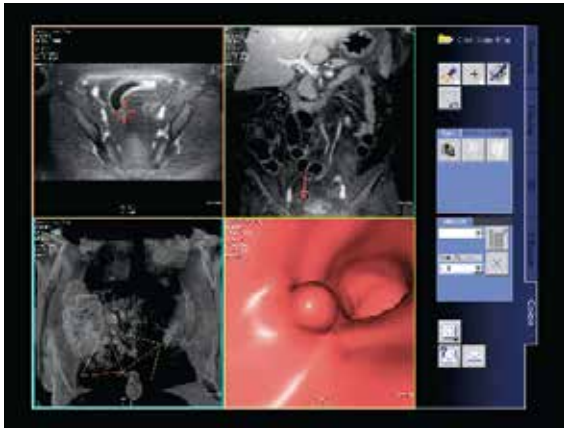
Einige Monate später ermöglicht die Tim-Technologie zusammen mit Optimierungen von Komponenten wie Magnet, Gradientensystem und Empfangselektronik einen weiteren Meilenstein in der Magnetresonanztomographie: Das MAGNETOM Espree ist das weltweit erste 1,5-Tesla-System mit 70 Zentimeter großer Magnetöffnung. Damit haben adipöse Patienten erstmals uneingeschränkten Zugang zur Hochfeld-MRT. Neben ausreichend Raum bietet das MAGNETOM Espree ein bis zu viermal höheres Signal-zu-Rausch-Verhältnis im Vergleich zu gängigen offenen MRT-Systemen mit niedrigerer Feldstärke. Dadurch können

tiefe Gewebeschichten auch bei schwergewichtigen Patienten in Hochfeldqualität dargestellt werden.

Von da an arbeiten die Siemens-Ingenieure an Techniken und Software, die die Tim-Technologie noch weiter verbessern und unterstützen. Die *syngo*-Software erhält zahlreiche neue MRT-Anwendungen, die den Komfort weiter erhöhen, die Untersuchungsmöglichkeiten erweitern und die Bilder noch klarer machen. Unter anderem erweitert Siemens im Jahre 2005 die MRT-Bildgebungstechnik um BLADE, das noch schärfere Bilder liefert, selbst wenn der Patient sich bewegt. Im gleichen Jahr ermöglicht SPACE hochaufgelöste 3D-Darstellungen, beispielsweise des Gehirns oder der Gelenke.

Der Druck im Gesundheitswesen nimmt weltweit zu. Ärzte und Assistenten müssen kostenoptimiert arbeiten und dabei gleichzeitig die beste Diagnose und Behandlung bieten. Deshalb spielen technologische Innovationen und gesteigerte Produktivität eine große Rolle. Siemens bringt im Jahre 2009 MAGNETOM Aera und MAGNETOM Skyra auf den Markt. Das 1,5-Tesla-System Aera und das Skyra mit 3 Tesla sind die ersten beiden Magnetresonanztomographen mit der vierten Generation der Tim-Technologie (Tim 4G) und dem Dot-Verfahren. Dot steht für Day optimizing throughput, ein optimiertes Messverfahren für schnellere Untersuchungen. Es vereinfacht die Arbeitsabläufe im Krankhaus und steigert die Produktivität dadurch um bis zu 30 Prozent. Dot führt das Bedienpersonal mit Bildern und Texten Schritt für Schritt auch durch komplexe Untersuchungen.

Kindgerechte Oberflächenspule[1], 2011



Virtueller Flug durch den Darm, ca. 2006

3-Tesla-System MAGNETOM Skyra, 2009

Knieuntersuchung mit MAGNETOM Aera, 2009

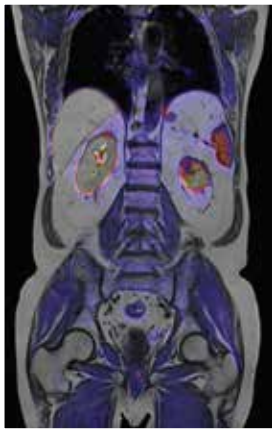
Dabei lassen sich alle Einstellungen mit wenigen Mausklicks an den jeweiligen Patienten anpassen. Diese Anpassung ist beispielsweise nötig, weil jeder Patient den Atem unterschiedlich lange anhalten kann.

Mit Tim 4G steigert Siemens die Bildqualität nochmals deutlich. Die Matrix-Spulen enthalten noch mehr Spulenelemente und Empfangskanäle, was eine höhere Auflösung ermöglicht und das Signal-zu-Rausch-Verhältnis weiter verbessert. Manche der Spulen sind jetzt kabellos und damit leichter und schneller zu handhaben. Auf dem neuen mobilen MRT-Patiententisch können körperlich beeinträchtigte, bettlägerige oder adipöse Patienten außerhalb des MRT-Untersuchungsraums vorbereitet und anschließend zur Untersuchung in den Untersuchungsraum gefahren werden. Der Tisch trägt, auch wenn er geschoben wird, ein Gewicht von bis zu 250 Kilogramm. Die Patienten profitieren von der 70 Zentimeter weiten Magnetöffnung von MAGNETOM Aera und MAGNETOM Skyra – bereits zu dieser Zeit bei vielen MRT-Systemen von Siemens Standard.

Völlig neue Einblicke in den menschlichen Körper ermöglicht ein weiterer technologischer Durchbruch von Siemens im Jahr 2010: Das System Biograph mMR vereint Magnetresonanztomographie und Positronen-Emissions-Tomographie, kurz PET. Die beiden Verfahren haben unterschiedliche Stärken und liefern dem Arzt wichtige und sich ergänzende Informationen über Erkrankungen. Während die MRT millimetergenaue Bilder von Organen und Weichteilen im Körperinneren liefert, lässt sich mit der molekularen Bildgebung der Stoffwechsel in den Zellen organspezifisch detailliert abbilden. Soll mit MRT und PET beispielsweise der Erfolg einer Chemotherapie beurteilt werden, kann der Arzt in nur einer Untersuchung erkennen, ob ein Tumor geschrumpft ist und sein Stoffwechsel nachgelassen hat. Bisher waren dazu zwei getrennte Untersuchungen nötig, und die Bilder mussten anschließend überlagert werden.

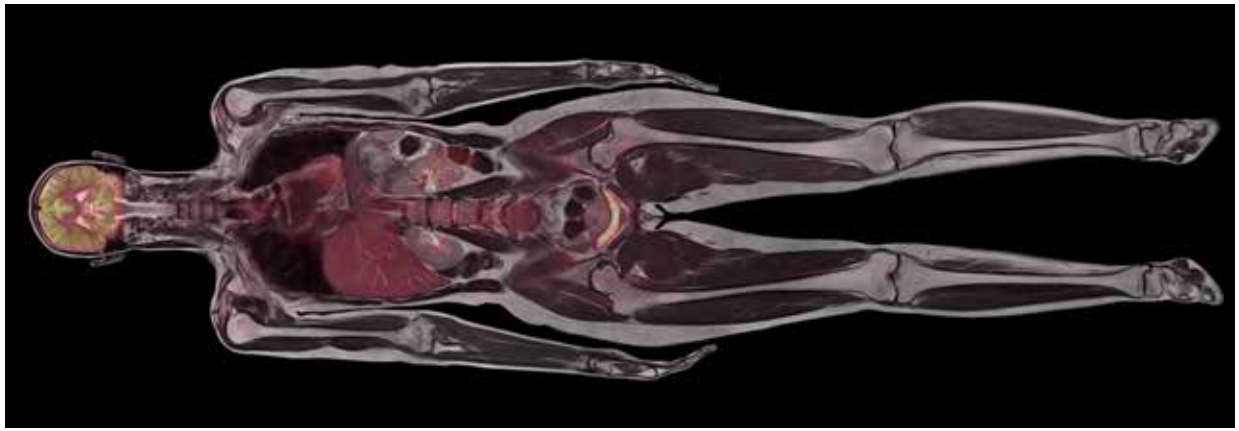
Auch für die Forschung eröffnet Siemens mit solch revolutionären Entwicklungen neue Tore. Am Forschungszentrum Jülich arbeiten Wissenschaftler an neuen Möglichkeiten zur Diagnose und Therapie von Hirnerkrankungen wie Alzheimer und Parkinson. Dabei hilft ihnen ein weltweit einzigartiges Großgerät, das Siemens in Zusammenarbeit mit den Jülicher Wissenschaftlern entwickelt hat: Ein Magnetresonanztomograph mit der gewaltigen Feldstärke von 9,4 Tesla, der ebenfalls mit einem Positronen-Emissions-Tomographen kombiniert ist. 9,4 Tesla – das ist fast 200.000 Mal stärker als das Magnetfeld der Erde. Mit diesem Ultrahochleistungssystem können die Forscher selbst kleinste Strukturveränderungen im Gehirn genau erkennen und gleichzeitig Stoffwechselvorgänge beobachten. In zahlreichen weiteren Projekten auf der ganzen Welt arbeiten Siemens und Wissenschaftler eng zusammen, um weitere Fortschritte bei der Entwicklung von Hochleistungsmagneten (derzeit bis 11,7 Tesla) für die Forschung zu machen. Davon profitieren die Siemens-Ingenieure auch bei der Entwicklung von klinischen MRT-Systemen mit niedrigerer Feldstärke, da sie die Erfahrung aus dieser Arbeit am Rande des technisch Möglichen mit einfließen lassen.

Auf dem Weg von der Grundlagenforschung in der Holzhütte zum Weltmarktführer in der Magnetresonanztomographie erhält Siemens zahlreiche Auszeichnungen für bahnbrechende Fortschritte und Innovationen. Darunter sind Preise wie „Product Innovation Award 2003“ von Frost & Sullivan, „Best Innovator 2004“ in der Kategorie Organisation und Kultur der Unternehmensberatung A.T. Kearney und der Zeitschrift Wirtschaftswoche und der „Innovationspreis der deutschen Wirtschaft“ für die Entwicklung der Tim-Technologie.



Klinische Aufnahme mit dem Biograph mMR (TU München), 2011

Zwei in einem: der Biograph mMR



Morphologische und funktionelle Einblicke in den menschlichen Körper: Ganzkörperaufnahme mit dem Biograph mMR, 2010

Untersuchungsvorbereitung Biograph mMR, 2011

Im November 2010 stellt Siemens eine weltweit einzigartige Kombination von zwei der modernsten Technologien der klinischen Bildgebung vor: Der Biograph mMR ist das erste Gerät, das die Vorteile der Magnetresonanztomographie und der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) in einem System vereint. Diese Innovation eröffnet neue Möglichkeiten in Medizin und Forschung. Erstmals können Ärzte die Lage der Organe im Körper, ihre Funktion sowie den Stoffwechsel in einem Bild sehen. Die Diagnose wird noch sicherer und viele Krankheiten können sehr früh erkannt werden, denn häufig gehen sie mit Veränderungen im Zellstoffwechsel einher. Strukturveränderungen des Gewebes folgen diesen Stoffwechseländerungen mitunter deutlich später.

Wie die Magnetresonanztomographie ist auch die Positronen-Emissions-Tomographie schon lange im medizinischen Alltag etabliert – für bestimmte Diagnosen musste der Patient jedoch mit beiden Verfahren getrennt untersucht werden. Anschließend wurden die Bilder überlagert und somit die Untersuchungsergebnisse kombiniert. Der Biograph mMR kombiniert beide Verfahren in nur einem Untersuchungsdurchgang. Neben den Vorteilen für den Arzt bei der Diagnose profitiert auch der Patient: Statt zwei Untersuchungen, die über eine Stunde dauern können, kann nun der ganze Körper des Patienten in rund 30 Minuten gescannt werden. Er muss nicht mehr in verschiedenen Räumen für mehrere Untersuchungen vorbereitet werden. Die erhöhte Diagnosesicherheit ermöglicht zudem individuellere Therapieplanung und erleichtert die Nachsorge. Die Kombination aus MRT und PET ist besonders aussagekräftig in der Krebsdiagnose, bei Untersuchungen des Nervensystems und des Herzens.

Um mit der Positronen-Emissions-Tomographie den Stoffwechsel in den Gewebezellen sichtbar zu machen, wird dem Patienten ein sogenannter „Tracer" in die Blutbahn gespritzt. Dabei handelt es sich meist um eine Art Traubenzucker, der leicht radioaktiv markiert ist. Der Tracer verteilt sich in den Zellen und nimmt am Stoffwechsel teil. Nach kurzer Zeit zerfällt der Tracer und sendet Positronen aus; das sind winzige Elementarteilchen in den Atomen. Der Biograph mMR kann die genaue Lage dieser Positronen messen und damit den Energieverbrauch der Zellen sichtbar machen. So lassen sich beispielsweise Tumorzellen aufspüren, denn sie verbrauchen mehr von dem markierten Traubenzucker als gesunde Zellen.

Fertigung in Erlangen, 2013

Joinville, Brasilien, 2013

Alles unter einem Dach

Erlangen, Oxford, Shenzhen – mit diesen drei Standorten rund um den Globus verfügt Siemens über alle Technologien und Kompetenzen, um modernste Magnetresonanztomographen komplett „unter einem Dach" zu bauen. Sie sind nahtlos miteinander vernetzt und arbeiten in Forschung und Entwicklung eng zusammen. Durch fortwährende Investitionen entstehen zahlreiche Innovationen, mit denen die Produktfamilie ausgebaut und an die Bedürfnisse der unterschiedlichen Märkte angepasst wird. An allen Standorten wird der hohe Qualitätsstandard in Entwicklung und Fertigung ergänzt durch Beratungs- und Serviceleistungen für Kunden aus aller Welt. Seit August 2012 unterstützt eine weitere Fertigungsstätte den weltweiten Vertrieb der MAGNETOM-Familie: In der südbrasilianischen Stadt Joinville baut Siemens Healthcare in einer 6.000 Quadratmeter großen Fabrik Systeme für die medizinische Bildgebung, darunter etwa 300 Magnetresonanztomographen pro Jahr.

Erlangen, ca. 2013

Oxford, 2012

Shenzhen, 2012

Erlangen, Deutschland

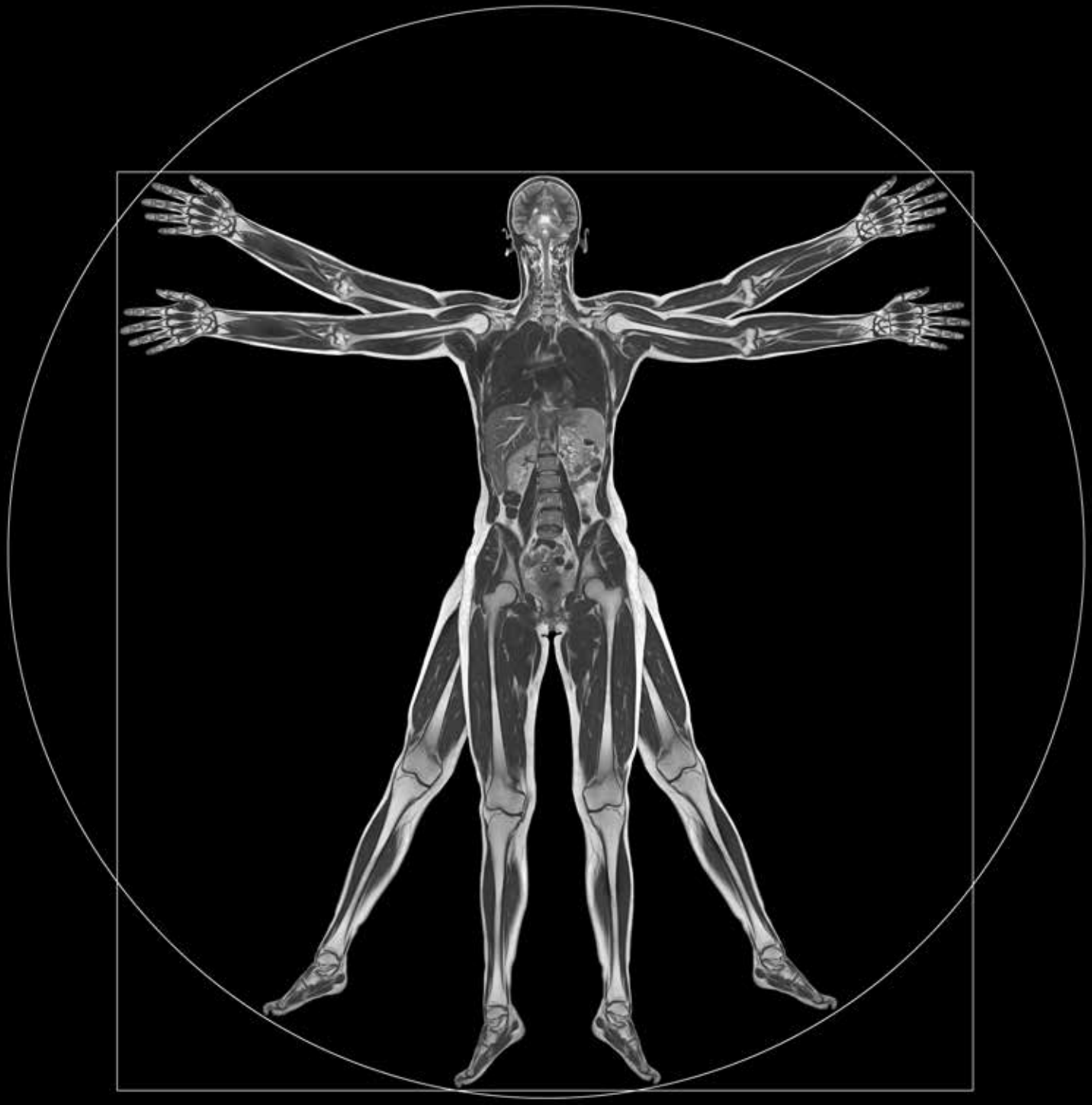
Der Geburtsort der Magnetresonanztomographie bei Siemens. Am Hauptsitz von Siemens Healthcare in Erlangen stand die Holzhütte, in der Siemens-Ingenieure an den Grundlagen der Bildgebung mit Magnetresonanz geforscht haben – heute steht dort der modernste Produktionsstandort für MRT-Systeme weltweit. Die Einrichtung wurde 1999 erbaut und seitdem regelmäßig erweitert. Sie vereint Produktion, Forschung, Entwicklung, Marketing und Logistik auf einem Gelände. Tausende MRT-Systeme sind hier gebaut und an Orte auf der ganzen Welt verschickt worden. Im Forschungslabor betreibt Siemens fast 30 voll funktionsfähige MRT-Systeme. Über 10.000 Besucher und Kunden jährlich informieren sich hier über die Magnetresonanztomographie bei Siemens, in Führungen durch die Produktion oder bei Vorführungen der MRT-Bildgebung.

Oxford, Großbritannien

Das Herzstück der MRT-Systeme von Siemens kommt aus Oxford. Schon die ersten Prototypen des Unternehmens arbeiten mit Magneten der Firma Oxford Instruments. Daraus entwickelt sich schnell eine enge Zusammenarbeit, und die Oxforder Fabrik wächst: Im Jahre 1982 können dort knapp 50 Magnete pro Jahr hergestellt werden, zwei Jahre später sind es bereits 300 Magnete. 1989 erwirbt Siemens die Mehrheit an Oxford Magnet Technology, seit 2003 gehört die Magnetfertigung des Unternehmens vollständig zu Siemens. Heute baut Siemens Magnet Technology (SMT) in Oxford jährlich rund 1.500 Magnete für MRT-Systeme. Mehr als ein Drittel der weltweit in Krankenhäusern installierten Magnetresonanztomographen arbeitet mit Magneten von SMT. Das Unternehmen kann auf zahlreiche Innovationen zurückblicken, unter anderem den weltweit ersten supraleitenden Ganzkörpermagneten aus dem Jahr 1980, den ersten aktiv geschirmten Magneten 1986 und den kürzesten 1,5-Tesla-Magneten im Jahre 2000.

Shenzhen, China

Im Jahre 1998 beginnen chinesische Wissenschaftler in Shenzhen mit der Arbeit an MRT-Systemen. Sie entwickeln ein Einsteigermodell und arbeiten anschließend mit Siemens zusammen, um auch Systeme für höhere Marktsegmente konstruieren zu können. Aus dieser Kooperation entsteht im Lauf der Jahre der High-Tech-Standort Siemens Shenzhen Magnetic Resonance Ltd. (SSMR). Als Teil des globalen Siemens-Entwicklungsnetzwerks werden in Shenzhen unter anderem MRT-Systeme gebaut, die sich besonders gut für den Einstieg in die Magnetresonanztomografie eignen. Zusammen mit Erlangen und Oxford entwickelt das Team in Shenzhen im Jahre 2008 das MAGNETOM ESSENZA. Es ist eine günstige Alternative zu anderen 1,5-Tesla-Systemen, ohne Abstriche bei der Qualität. Die Forscher in Shenzhen konzentrieren sich vor allem darauf, einem noch breiteren Kundenkreis Zugang zu modernster MRT-Technologie zu ermöglichen.



Die wichtigsten Magnetresonanztomographen der Siemens-Geschichte

MAGNETOM, 1983

MAGNETOM Impact, 1991

MAGNETOM P8, 1991

MAGNETOM Open, 1993

(1983) MAGNETOM

Der erste kommerzielle Magnetresonanztomograph von Siemens. Anfangs werden Geräte mit einem supraleitenden 0,35-Tesla-Ganzkörpermagneten installiert. Kurze Zeit später folgen das MAGNETOM M mit 0,5 Tesla und das MAGNETOM H mit 1,5 Tesla Feldstärke.

(1986) MAGNETOM 4 Tesla

Siemens installiert das erste MRT-System mit 4-Tesla-Ganzkörpermagnet. Damit wird vor allem an neuen Diagnose- und Bildgebungsmöglichkeiten geforscht.

(1989) MAGNETOM 63 SP

Das erste MR-System, in dem alle 3D-Aufnahme- und Nachbearbeitungstechniken voll integriert sind. Unter dem Namen MAGNETOM 42 SP erscheint eine ähnliche Ausführung mit aktiv abgeschirmtem 1,0-Tesla-Magneten.

(1991) MAGNETOM Impact

Das erste MAGNETOM mit PC-ähnlicher Benutzeroberfläche. Durch eine neue aktive Magnetabschirmung benötigt das 1-Tesla-System nur noch rund 40 Quadratmeter Platz. Der Heliumverbrauch ist auf maximal zwei Füllungen pro Jahr reduziert.

(1991) MAGNETOM P8

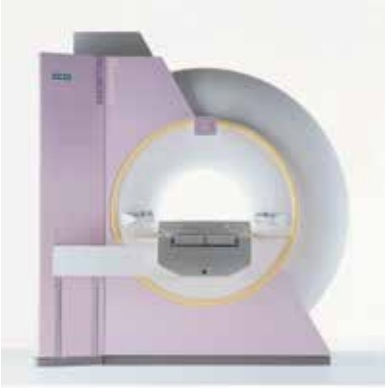
Das erste MRT-System mit 0,2-Tesla-Ganzkörper-Permanentmagnet. Es benötigt nur 25 Quadratmeter Installationsfläche und ermöglicht bereits Angiographie-Untersuchungen.

(1993) MAGNETOM Open

Das erste zu drei Seiten offene MRT-System auf dem Markt. Das 0,2-Tesla-System macht Untersuchungen auch bei sehr ängstlichen oder klaustrophobischen Patienten möglich.

MAGNETOM Vision, 1993

MAGNETOM Symphony, 1997



MAGNETOM Harmony, 1997

MAGNETOM Allegra, 1999

MAGNETOM Sonata, 2000

(1993) MAGNETOM Vision

Die neue Spulentechnologie des 1,5-Tesla-Systems beschleunigt die Berechnung des Untersuchungsbildes. Ein neues Bildgebungsverfahren ermöglicht genauere Untersuchungen der Hirnaktivität und eignet sich besonders für die Schlaganfalldiagnostik.

(1996) MAGNETOM Open Viva

Das neue Design des MAGNETOM Open arbeitet weiterhin mit einem 0,2-Tesla-Magneten, neue Technik ermöglicht jedoch erheblich schnellere Untersuchungen.

(1997) MAGNETOM Symphony

Neue Spulentechnologie verbessert die Bildqualität des 1,5-Tesla-Systems nochmals deutlich. Gleichzeitig verbessert Siemens Patienten- und Bedienfreundlichkeit. Eine Ausführung mit 1 Tesla erscheint unter dem Namen MAGNETOM Harmony.

(1999) MAGNETOM Allegra

Das erste speziell für Kopfuntersuchungen entwickelte MRT-System mit 3 Tesla Feldstärke. Es wird unter anderem zur Diagnose von Hirnkrankheiten wie Epilepsie eingesetzt.

(2000) MAGNETOM Sonata

Das 1,5-Tesla-System verfügt über besonders leistungsfähige Gradienten. Es wird hauptsächlich zur Untersuchung des Herzens und des Nervensystems eingesetzt.

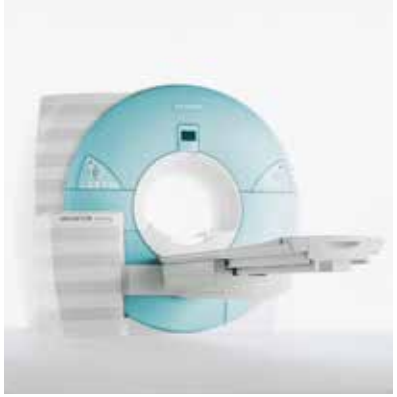
(2000) MAGNETOM Rhapsody

Das weltweit erste offene MRT-System mit 1 Tesla Feldstärke. Das Gerät ist in weiten Teilen eine Kombination der Technik von MAGNETOM Harmony und MAGNETOM Open viva.

MAGNETOM Rhapsody, 2000

MAGNETOM Concerto, 2000

MAGNETOM Trio, 2001



MAGNETOM Avanto, 2003

MAGNETOM C!, 2004

(2000) MAGNETOM Concerto

Eine Weiterentwicklung des MAGNETOM Open viva. Das 0,2-Tesla-System hat die leistungsstärksten Gradientenspulen aller zu dieser Zeit erhältlichen MRT-Systeme mit niedriger Feldstärke.

(2001) MAGNETOM Trio

Das erste klinische 3-Tesla-Ganzkörper-System arbeitet mit der *syngo*-Software, die für die Arbeitsabläufe in Kliniken und Arztpraxen optimiert ist.

(2003) MAGNETOM Avanto

Das erste System mit Tim-Technologie. Zusätzlich zum neuen Spulenkonzept ist dieses 1,5-Tesla-Gerät mit Techniken ausgestattet, die das Betriebsgeräusch um bis zu 97 Prozent reduzieren.

(2004) MAGNETOM C!

Der kompakte C-förmige Permanentmagnet des 0,35-Tesla-Systems benötigt kein flüssiges Helium. Durch die niedrigen Betriebskosten ist das MAGNETOM C! vor allem für ländliche Krankenhäuser geeignet.

MAGNETOM Espree, 2004

MAGNETOM 7T, 2005 (Bild von 2010)

MAGNETOM Verio, 2008

(2004) MAGNETOM Espree

Der weltweit erste Magnetresonanztomograph mit 70 Zentimeter großer Magnetöffnung. Dadurch ist das 1,5-Tesla-System besonders für adipöse oder klaustrophobisch veranlagte Patienten komfortabel.

(2005) MAGNETOM 7T²

Das Hochleistungssystem für Wissenschaft und Forschung. Der drei Meter lange Magnet wiegt 32 Tonnen, wird mit 1.750 Litern flüssigem Helium gekühlt und benötigt trotzdem nur 40 Quadratmeter Installationsfläche.

(2007) MAGNETOM ESSENZA

Siemens hat dieses 1,5-Tesla-System speziell als MRT-Einstiegssystem für Krankenhäuser und Arztpraxen mit hohen Patientenzahlen und kleineren Budgets entwickelt. Neben den geringen Anschaffungskosten sind die Installationskosten für dieses leichte und kurze System um bis zu 25 Prozent geringer.

(2007) MAGNETOM Verio

Das erste MRT-System der Welt, in dem 3-Tesla-Feldstärke und eine 70 Zentimeter große Magnetöffnung vereint sind. Es ist 4,7 Tonnen leichter als das Vorgängersystem mit 3 Tesla. Flüssiges Helium muss in der Regel nur noch einmal in 10 Jahren nachgefüllt werden.

(2009) MAGNETOM Aera

Weltweit erstes 1,5-Tesla-System, das die 4. Generation der Tim-Technologie, eine 70 Zentimeter große Magnetöffnung und das optimierte Untersuchungsverfahren Dot vereint. Durch Tim 4G ist kein gesonderter Computerraum mehr nötig.

(2009) MAGNETOM Skyra

Das erste 3-Tesla-System mit der 4. Generation der Tim-Technologie, 70 Zentimeter Magnetöffnung und Dot-Verfahren. Als kürzestes 3-Tesla-Gerät auf dem Markt benötigt es nicht mehr Platz als die meisten konventionellen 1,5 -Tesla-Systeme.

MAGNETOM Aera, 2009

MAGNETOM Skyra, 2009

Biograph mMR, 2010

MAGNETOM Prisma, 2012

(2010) Biograph mMR

Eine Revolution in der diagnostischen Bildgebung. Der Biograph mMR ist das erste Gerät, das die Magnetresonanztomographie und die Positronen-Emissions-Tomographie vollständig in einem System vereint.

(2012) MAGNETOM Prisma

Dieses 3-Tesla-System basiert auf der Technik des MAGNETOM Skyra und verfügt über Gradienten, deren Leistungsfähigkeit bei kommerziellen Systemen weltweit einzigartig ist. Das MAGNETOM Trio kann mit der Technik des MAGNETOM Prisma aufgerüstet werden.

Vorstände des Geschäftsbereichs Magnetresonanz

1982–1985	Edgar Tschunt (Entwicklung MR)
1986–1989	Erich Reinhardt
1990–1992	Lothar Koob
1992–1994	Tom Miller
1994–2000	Hermann Requardt
2001–2006	Heinrich Kolem
2006–2011	Walter Märzendorfer
Seit 2011	Bernd Ohnesorge

Impressum

Herausgeber
Siemens AG
Healthcare
Henkestr. 127
D-91052 Erlangen

Autor
Ingo Zenger

Redaktionelle Mitarbeit
Siemens MedArchiv Erlangen
Siemens Healthcare –
Business Unit Magnetresonanz

Layout
Andrea tom Felde, Siemens AG,
Henkestr. 127, 91052 Erlangen

Produktion
Norbert Moser, Siemens AG,
Henkestr. 127, 91052 Erlangen

© **2014** by Siemens Aktiengesellschaft
München und Berlin.
Alle Rechte vorbehalten.

Auflage
2000

Quellennachweis
Die vorliegende Arbeit basiert wesentlich auf
Quellen aus den Beständen des Siemens MedArchivs
Erlangen (SMA) und Zeitzeugenberichten.

Abbildungsnachweis
© Alle Bildmotive:
Siemens MedArchiv Erlangen
Siemens Healthcare – Business Unit Magnetresonanz

[1] Die Sicherheit von Kindern unter zwei Jahren während des Bildgebungsverfahrens kann nicht gewährleistet werden. Es liegt in der Verantwortung des Arztes, die Vorteile einer MR-Untersuchung gegenüber anderen bildgebenden Verfahren zu bewerten.

[2] Das Produkt ist in der Entwicklungsphase und deshalb noch nicht käuflich zu erwerben. Die zukünftige Verfügbarkeit kann nicht garantiert werden. Dieses Forschungssystem ist für Patientenuntersuchungen weder freigegeben, zugelassen noch nach entsprechender Rechtsprechung lizensiert. Dieses Forschungssystem trägt keine Kennzeichnung gemäß Medizinproduktegesetz und darf somit ausschließlich bei Volontären und für Patientenuntersuchungen entsprechend dem anzuwendenden Gesetz im Rahmen einer klinischen Studie verwendet werden.

Global Siemens Headquarters
Siemens AG
Wittelsbacherplatz 2
80333 Muenchen
Germany

Global Siemens Healthcare Headquarters
Siemens AG
Healthcare
Henkestraße 127
91052 Erlangen
Germany
Phone: +49 9131 84-0
www.siemens.com/healthcare

Bestell-Nr. A91MR-100-66 | Gedruckt in Deutschland | CC MR 2073 11142.0 | © 11.2014, Siemens AG

siemens.com/medhistory