

Siemens Healthineers Historical Institute

## Die Geschichte der Röntgentechnik bei Siemens Healthineers





**Siemens Healthineers Historical Institute**

**Die Geschichte der Röntgentechnik  
bei Siemens Healthineers**

## Inhalt

„So, nun kann der Teufel losgehen!“	4
Der Kampf gegen den Krebs	20
Monsieur Tan und das menschliche Gehirn	32
Foto, Film und Röntgentechnik	44
Mit 2 PS zum Röntgenbild	52
Die verrückte Idee eines Gentlemans und andere „ziemlich geniale Konstruktionen“	62
Licht und Schatten	76
Künstliche Schatten und „wunderschöne“ Katheter	86
Eine Herzensangelegenheit	100
So früh wie irgend möglich	110
Eine Perle der Chirurgie	120
Lernen für die Zukunft	134





# Einleitung

Die Zukunft kommt oft schneller als man denkt. Als der deutsche Science-Fiction-Autor Kurd Laßwitz im Jahre 1874 in einem utopischen Roman davon träumt, lebende Menschen mithilfe von Technik durchsichtig zu machen, datiert er diese Erfindung auf das 39. Jahrhundert. Auch der schwäbische Arzt Ludwig Hopf lässt sein medizinisches Märchen *Elektra* aus dem Jahre 1892 in der aus damaliger Sicht fernen Zukunft spielen, Ende des 20. Jahrhunderts. Der Held des Märchens, ein junger Landarzt, der über neue Hilfsmittel zur Diagnose von Krankheiten nachdenkt, seufzt auf einem nächtlichen Spaziergang verzweifelt:

*„Ach, wenn es doch ein Mittel gäbe, den Menschen durchsichtig zu machen wie eine Qualle!“*

Mit einem „magischen Licht“ aus einem „Leuchtapparat“ geht sein Wunsch im Märchen schließlich in Erfüllung. Der Arzt sieht mit staunendem Auge das

Innere seiner Patienten. Schnell verbreitet sich die Kunde vom magischen Licht „im ganzen Lande und durch die Berichte der Zeitungen und Telegraphen bald in die ganze Welt.“ Rund drei Jahre nach der Veröffentlichung beginnt das Märchen mit teilweise erstaunlicher Übereinstimmung wahr zu werden: Der Würzburger Physikprofessor Wilhelm Conrad Röntgen entdeckt am Abend des 8. November 1895 „eine neue Art von Strahlen“ und löst auf der ganzen Welt Aufbruchstimmung und Euphorie aus.

Eines der ersten Bücher über die Anwendung der Röntgenstrahlen in der Medizin erinnert an die durchsichtigen Patienten im Märchen *Elektra* und schließt mit den Worten: „Wenn die Technik so fortschreitet, Verbesserungen der bisherigen Hilfsmittel zu erdenken, so sind wir von dem in dem medizinischen Märchen geschilderten quallenartigen Zustand kaum noch entfernt und seine Phantasiegebilde werden zur Wahrheit.“ Wie sehr die Technik in den folgenden 125 Jahren fortschreiten sollte, konnte wohl keiner der frühen Röntgenpioniere vorhersehen. Heute ist die Röntgentechnik weit mehr als eine Methode, den Menschen *durchsichtig* zu machen wie eine Qualle. Aus der Entwicklung der

Technik sind im Laufe der Jahre unzählige neue, hilfreiche und oft faszinierende Möglichkeiten zur Diagnose und Therapie von Krankheiten und Verletzungen hervorgegangen. Dieses Buch erzählt von vielen beeindruckenden Persönlichkeiten, die mit ihren Erfindungen zum Fortschritt beigetragen haben: durch ihre genialen Einfälle, durch erstaunliche Entdeckungen oder sogar mit der ein oder anderen „verrückten Idee“. Im Mittelpunkt stehen dabei die Meilensteine, mit denen Siemens Healthineers die Geschichte der Röntgentechnik vorangetrieben und geprägt hat.

Genaugenommen hat die Pionierzeit der Röntgentechnik nie geendet. Noch heute arbeiten unsere Ingenieure zusammen mit Medizinern und Wissenschaftlern auf der ganzen Welt mit dem gleichen Elan wie die Röntgenpioniere des Jahres 1896 an der Verbesserung der Technik. Die Geschichte wird weitergeschrieben – und wir stehen dabei, wie Sie im Laufe der folgenden zwölf Kapitel erfahren werden, abermals an der Schwelle zu einem neuen Zeitalter in der Medizintechnik.

**Viel Freude beim Lesen!**  
**Siemens Healthineers Historical Institute**

Röntgen sitzt Modell für eine Statue –  
in der Hand eine der kleineren Varianten der  
ersten medizinischen Röntgenröhre in der  
Geschichte von Siemens Healthineers

Quelle: Deutsches Röntgen-Museum



# „So, nun kann der Teufel losgehen!“

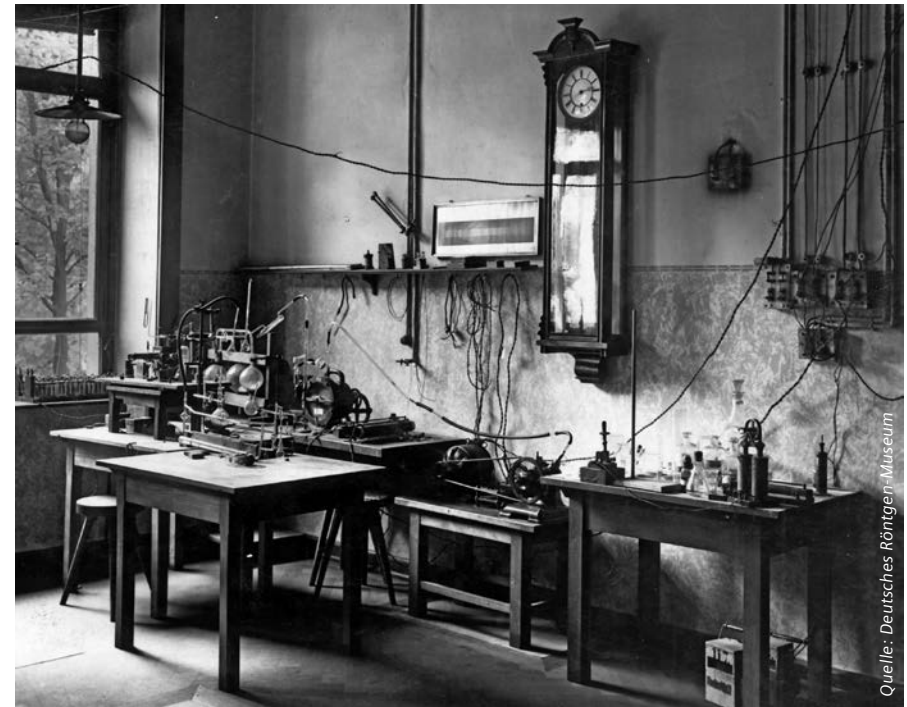
## Wie die Entdeckung der Röntgenstrahlen die Welt veränderte

Das 19. Jahrhundert ist die große Zeit der wissenschaftlichen Sensationen. Nie zuvor in der Geschichte wird so viel entdeckt und erfunden, gemessen und kartographiert. Beinahe täglich berichten die Zeitungen von erstaunlichen Erkenntnissen und neuartigen elektrischen Apparaten. Wissenschaftler erforschen die Elektrizität und den Magnetismus; Ingenieure bauen die ersten Fahrräder, Schreibmaschinen und Luftschiffe. Gegen Ende des Jahrhunderts fahren in den Städten erste motorisierte Straßenbahnen, elektrische Laternen beleuchten Straßen und Gassen, die Menschen telegraphieren Nachrichten, lassen sich fotografieren und gehen ins Kinematographentheater – oder, wie wir heute abgekürzt sagen: ins Kino. In einer solchen Zeit lassen sich die Menschen – so sollte man meinen – von keiner weiteren Neuigkeit allzu sehr verblüffen. Doch im Jahr der ersten Filmvorführung, 1895, entdeckt der Würzburger Physikprofessor Wilhelm Conrad Röntgen ein Phänomen, das so sonderbar ist, dass zunächst niemand so recht daran glauben kann. Die Londoner Zeitung *Standard*, die einen der ersten Berichte zu Röntgens Entdeckung druckt, schließt ihren Artikel mit den Worten: „Die Presse versichert ihren Lesern, dass es sich bei der Entdeckung weder um einen Witz noch um Humbug handelt, sondern um die ernste Arbeit eines ernsthaften deutschen Professors.“

Die Nachricht über Röntgens Entdeckung, die sich ab 5. Januar 1896 auf der ganzen Welt verbreitet, muss

für die Zeitgenossen tatsächlich unglaublich klingen. Die Tagesblätter berichten, dem Würzburger Professor sei mit einer neuen Art „Licht“ gelungen, „Metallgewichte in einer geschlossenen Holzschachtel sowie eine menschliche Hand zu fotografieren, wobei sich nur die Knochen zeigen, während das Fleisch unsichtbar ist.“ Nach damaligem Stand der Physik eine aberwitzige Behauptung! Viele Wissenschaftler reagieren mit Kopfschütteln, andere tun die Nachricht als Scherz eines „Spaßvogels“ ab. Selbst Röntgens guter Freund, der Berliner Physikprofessor Otto Lummer, scheint sich zunächst sehr über seinen Kollegen zu wundern: „Der Röntgen war doch sonst immer ein vernünftiger Mensch, und Fastnacht ist auch noch nicht.“ Der Grund für die Zweifel vieler Wissenschaftler ist offensichtlich: Die ersten Berichte konzentrieren sich auf die Wirkung „des unbekannt

Lichts, welches Körper durchdringt wie das Sonnenlicht die Glasscheibe.“ Wie ein solches Licht entstehen könne, wird bestenfalls vage angedeutet. Wie soll es möglich sein, das Innere von Körpern zu fotografieren? Was genau hat Wilhelm Conrad Röntgen in seinem Würzburger Labor entdeckt?



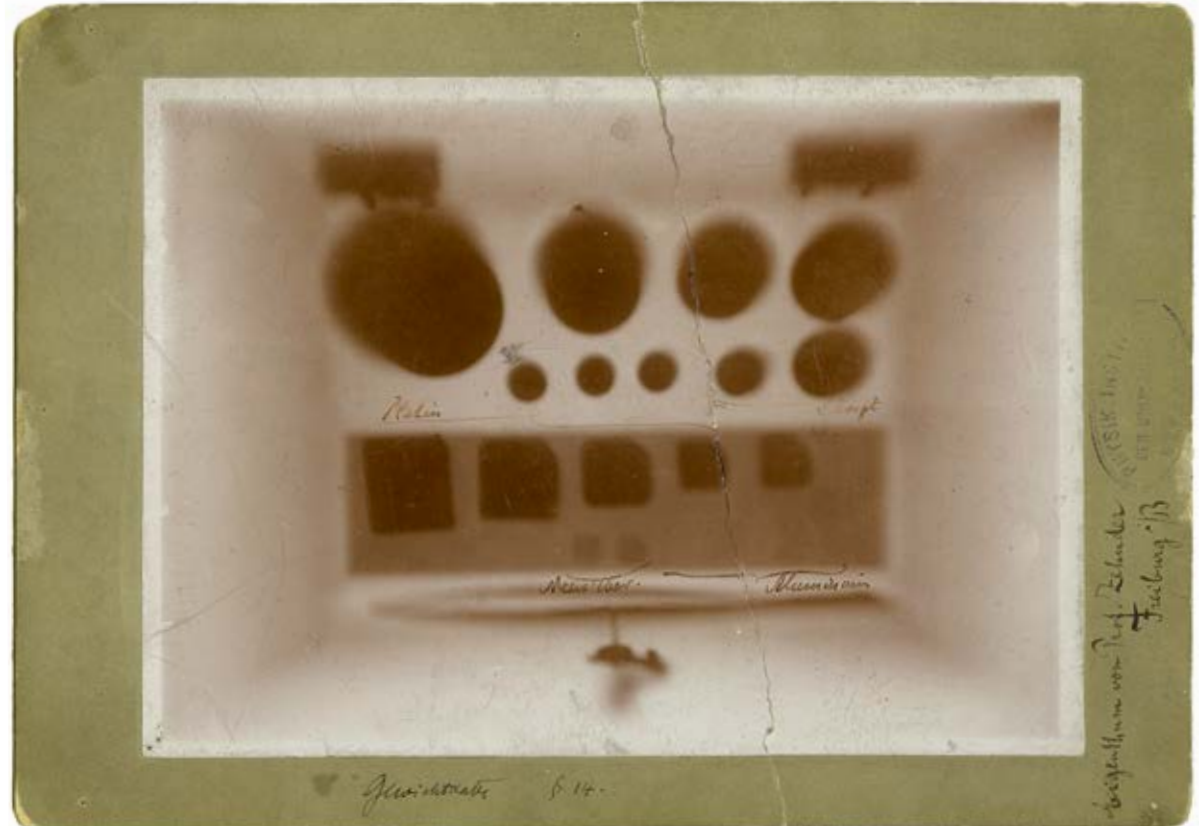
Der Ort der Entdeckung der X-Strahlen: Röntgens Labor an der Universität Würzburg

Quelle: Deutsches Röntgen-Museum

## Ein scheinbar belangloses Phänomen

Am 8. November 1895, „zu später Abendstunde, in der sich keine dienstbaren Geister mehr im Laboratorium befanden“, bereitet Wilhelm Conrad Röntgen eines seiner Experimente vor. Wie viele Physiker dieser Tage interessiert sich Röntgen für einen relativ unspektakulären, aber überaus beliebten Forschungsgegenstand: Gase beginnen zu leuchten, wenn sie mit elektrischem Strom in Kontakt kommen. Die Leitfähigkeit verschiedener Gase lässt sich mit einem verhältnismäßig einfachen Versuchsaufbau untersuchen: Erzeugt wird die Gasentladung in einer Glasröhre, in die zwei Elektroden eingeschmolzen sind. Liegt elektrische Spannung an den Elektroden an, entsteht ein Strahl aus Elektronen, der sogenannter Kathodenstrahl, der sich mit hoher Geschwindigkeit von einer Elektrode zur anderen bewegt. Die benötigte elektrische Spannung wird mithilfe eines Funkeninduktors generiert, bei dem es sich praktisch um einen großen und schweren Vorgänger der heutigen Zündspulen in Autos mit Ottomotor handelt. Beobachten lassen sich die Kathodenstrahlen schließlich mit einem Leuchtschirm, der zu dieser Zeit aus Bariumplatincyankristallen besteht, die möglichst gleichmäßig über einen Karton gestrichen sind.

Röntgen dunkelt sein Labor ab und wickelt die Glasröhre in schwarzes Papier, um ungestört vom Licht aus dem Inneren der Röhre zu beobachten, wie die Kathodenstrahlen auf dem Leuchtschirm wirken. Er schaltet den Funkeninduktor ein, der Strom schießt durch die Röhre – und sein Blick fällt auf ein nebensächliches, scheinbar belangloses Phänomen: Ein Leuchtschirm, genauer gesagt, ein mit Leuchtschirmkristallen bestrichenes Blättchen, das zufällig neben der lichtdicht verpackten Röhre auf einem Tisch liegt, beginnt in der Dunkelheit des Labors grün zu leuchten. Röntgen prüft das um die Röhre gewickelte



Das „Schattenbild“ eines Gewichtssatzes im Inneren eines Kästchens

schwarze Papier auf Risse und schickt erneut Strom durch die Röhre – wieder leuchtet das Blättchen in hellem Grün. Was dann geschieht, fasst Röntgen später in den berühmten Worten zusammen: „Ich dachte nicht, sondern ich untersuchte.“ Zunächst erhöht er den Abstand zwischen Röhre und Kristallblättchen; doch die unbekannte, unsichtbare Strahlung wirkt auch in einigen Metern Entfernung

unverändert. Selbst Holz, Papierhefte und ein rund 1.000 Seiten dickes Buch können die wunderlichen Strahlen nicht aufhalten, Platin und Blei hingegen schon. Diese Beobachtung bringt Röntgen auf eine Idee: Er hält seine Hand in die Strahlen und macht die wohl aufregendste Entdeckung seines Lebens: Auf dem Leuchtschirm sieht er die Schatten seiner Handknochen!



## „Der Röntgen ist wohl verrückt geworden“

Wilhelm Conrad Röntgen glaubt, „das Opfer einer Täuschung zu sein.“ Wieder und wieder überprüft er seine Beobachtungen, bis er schließlich „die Fotografie zu Hilfe nahm, und der Versuch gelang.“ Überzeugt von der Wirklichkeit seiner „erstaunlichen“ Entdeckung, zieht er sich zurück – und wird in den folgenden sieben Wochen kaum noch gesehen. Niemand weiß, was im Labor des Professors vor sich geht. Seine Assistenten stehen vor verschlossenen Türen; seine Frau Bertha durchlebt, wie sie später erzählt, eine „schreckliche Zeit.“ Röntgen kommt zu spät und schlecht gelaunt zum Essen, spricht dabei kaum noch und rennt sofort danach zurück ins Labor. Bald lässt er sogar sein Bett in sein Arbeitszimmer bringen, und seine Frau bekommt ihn manchmal tagelang nicht zu Gesicht. Bertha erhält auf ihre Fragen, was denn los sei, zunächst keine Antwort. Erst auf ihr Drängen hin deutet Röntgen an, er tue etwas, „von dem die Leute, wenn sie es erfahren, sagen würden, der Röntgen ist wohl verrückt geworden.“ Was in diesen Wochen hinter Röntgens verschlossener Labortüre vorgeht, hätte er seinen Zeitgenossen in der Tat wohl nur schwerlich glaubhaft machen können: Röntgen „durchleuchtet“ eine Holzspule und macht den darin versteckten Draht auf einer Fotografie sichtbar, er liest im Inneren einer verschlossenen Metallbüchse die Himmelsrichtung auf einem Kompass ab, und – um ein besonders merkwürdiges seiner zahlreichen Experimente zu nennen – er blickt durch eine geschlossene Tür in den Nebenraum seines Labors, indem er dort einen Leuchtschirm aufstellt. Wilhelm Conrad Röntgen erforscht die Eigenschaften der unbekannt Strahlen akribisch. Er prüft die Durchlässigkeit von Steinpulver, Zink, Aluminium und allerlei anderen Substanzen, sucht nach Metallen, von denen sich die Strahlen ablenken oder aufhalten lassen, und beobachtet ihre Geschwindigkeit in verschiedenen Stoffen.

Wilhelm Conrad Röntgen  
im Jahr 1900

Quelle: Deutsches  
Röntgen-Museum



# Über eine neue Art von Strahlen

von W. C. Röntgen.

(Vorträge u. Mittheilungen)

1. Lässt man durch ein Litter'sches Vacuumröhre, oder einen genügend evacuirten Crookes'schen, Crooke'schen oder ähnlichen Apparat die Entladungen eines grösseren Ruhmkorff's gehen, und bedeckt ~~den~~ <sup>die Röhre</sup> ~~entladene~~ Apparat mit einem dünnereug antiependen Metall aus dünnem schwarzen Carton, so sieht man in dem vollständig verdunkelten Zimmer einen in die Nähe des Apparats gebracht, mit Bariumplatinocyanid angestrichenen Papierschirm bei jeder Entladung hell aufleuchten. Fluoresciren gleichgültig ob die angestrichene oder die andere Seite des Schirmes dem Entladung'apparat zugewendet ist. Die Fluorescenz ist noch in 2 m Entfernung vom Apparat bemerkbar.

Man überzeugt sich leicht, dass die Ursache der Fluorescenz vom Leuchten des Entladung'apparates aus von keiner andern Stelle der Leitung ausgeht.

Röntgens handgeschriebene erste Seite des Manuskripts zur Abhandlung *Über eine neue Art von Strahlen*

Quelle: Deutsches Röntgen-Museum

Röntgen hält die Ergebnisse seiner Experimente in einer zehneitigen, in klaren und selbst für den Laien verständlichen Worten geschriebenen Abhandlung fest, mit dem Titel: *Über eine neue Art von Strahlen*. Für diese neue Art von Strahlen möchte er „der Kürze halber, und zwar zur Unterscheidung von anderen Strahlen den Namen ‚X-Strahlen‘ gebrauchen.“ Das X steht in der Wissenschaft für das Unbekannte; denn obwohl Röntgen bereits in dieser ersten Abhandlung die Wirkungen der X-Strahlen detailliert



Quelle: Deutsches Röntgen-Museum

Das aufsehenerregendste der ersten Röntgenbilder: Bertha Röntgens Handknochen mit Ehering

beschreibt, ist ihre Natur noch ein großes Rätsel. Handelt es sich um elektromagnetische Wellen, wie sie der Physiker Heinrich Hertz wenige Jahre zuvor erstmals nachgewiesen hat? Sind die X-Strahlen tatsächlich mit dem sichtbaren Licht verwandt? Oder bestehen sie, wie die Kathodenstrahlen im Inneren der Röhre, aus einem Strom von Elektronen? Die Antworten auf diese Fragen sollten noch einige Jahre auf sich warten lassen.

Ende Dezember 1895, nach sieben Wochen unentwegter Arbeit, ohne einer Menschenseele von den X-Strahlen zu erzählen, beschließt Wilhelm Conrad Röntgen, seine Entdeckung zu veröffentlichen. Er legt seiner Abhandlung einige X-Strahlen-Aufnahmen bei, die als sichtbarer Beweis für den epochalen Inhalt des Textes dienen sollen. Das aufsehenerregendste dieser „Schattenbilder“ – wie Röntgen die Aufnahmen in Anlehnung an die Lichtbilder der Fotografie nennt – entsteht am 22. Dezember 1895. Röntgen bittet Bertha, ihre Hand auf eine Fotoplatte zu legen, „durchleuchtet“ sie 15 Minuten lang mit X-Strahlen und nimmt damit eines der bekanntesten Fotos der Welt auf: Bertha Röntgens Handknochen mit dem Ehering, der um ihren Finger zu schweben scheint. Wilhelm Conrad Röntgen ist sich völlig darüber im Klaren, was seine Abhandlung zusammen mit den Schattenbildern auslösen wird. Als er das Manuskript am 28. Dezember an den Sekretär der Physikalisch-Medizinischen Gesellschaft der Universität Würzburg zur Veröffentlichung übergibt, sagt er zu seiner mit Glück und Stolz erfüllten Frau: „So, nun kann der Teufel losgehen.“

## Der Teufel geht los

Was in den ersten Monaten nach der Bekanntmachung geschieht, ist bis dahin einzigartig in der Geschichte der Wissenschaft. Nie zuvor hat sich eine Nachricht

so schnell auf der ganzen Welt verbreitet. Der erste Artikel über die Entdeckung der X-Strahlen erscheint am 5. Januar 1896 in der österreichischen Zeitung *Die Presse*. Einen Tag später erreicht die Nachricht London, von dort wird sie nach Nordamerika telegraphiert, und wenige Tage später sind die Zeitungen rund um den Globus voller Berichte über die unglaublichen Zauberstrahlen. „Ich erkannte aus den Berichten“, schreibt Röntgen einige Jahre später, „meine eigene Arbeit nicht wieder.“ Dennoch habe sich vor allem der erste Artikel aus Österreich zur ausgezeichneten „Reklametrompete“ entwickelt. Die anfängliche Skepsis der Wissenschaftler schwindet schnell – aus einem einfachen Grund: In fast allen Physiklaboren dieser Zeit stehen Funkeninduktoren, Kathodenstrahlröhren und Leuchtschirme; so lassen sich Röntgens Experimente ohne großen Aufwand nachstellen und bestätigen. Bereits Mitte Januar 1896 befindet sich die Welt im „Röntgenfieber“, oder wie der allgemeine Trubel im amerikanischen Sprachraum genannt wird, in „Röntgenmania“. Alles Denkbare wird durchleuchtet: Geldbörsen, Mumien, Möbel – und vor allem der menschliche Körper. Zunächst sind es Ärzte, die ihre Patienten in die Physiklabore bringen, um die X-Strahlen als Hilfsmittel bei der Diagnose zu nutzen. Doch schon bald werden die Schattenbilder zum öffentlichen Spektakel. Auf Jahrmärkten und privaten Feiern entstehen unzählige Aufnahmen von lebenden Händen; namhafte Spielzeughersteller bieten sogar sehr einfache Röntgenapparate speziell für Klassen- oder Kinderzimmer an.

## Operngläser ohne X-Strahlen

Die allgemeine Aufregung, vor allem die Tatsache, dass die X-Strahlen zunächst als neue Möglichkeit zur Fotografie missverstanden werden, führt zu einigen skurrilen Befürchtungen und komischen



Die Röntgenstrahlen wecken bei einigen Menschen skurrile Erwartungen – wie auch diese Postkarte aus dem Jahre 1901 zeigt

Begebenheiten. Bereits wenige Wochen nach Bekanntwerden der Entdeckung bietet einen Londoner Firma „X-Strahlen-sichere Unterwäsche“ an, um die Privatsphäre der Menschen vor den



„alles durchdringenden Strahlen“ zu schützen. Am 19. Februar 1896 bringt ein amerikanischer Abgeordneter im Staate New Jersey einen Gesetzesvorschlag ein, „nach dem der Gebrauch von X-Strahlen in Operngläsern im Theater verboten werden soll.“ Eine New Yorker Zeitung berichtet ernsthaft, „dass im College of Physicians and Surgeons, New York, die Röntgenstrahlen benutzt werden, um anatomische Zeichnungen direkt in das Gehirn der Studenten zu projizieren.“ Der Eindruck der anatomischen Einzelheiten, der auf diese Weise vermittelt werde, sei weit nachhaltiger als bei den herkömmlichen Lehrmethoden. Die Mediziner und Physiker dieser Tage haben ähnlich merkwürdige Anekdoten zu erzählen. So betraten zum Beispiel „zwei ältliche Damen einen Raum“, in dem ein X-Strahlen-Apparat stand, „setzten sich feierlich und baten, die Türe zu schließen. Nachdem dies geschehen war, sagten sie, sie möchten gegenseitig ihre Knochen sehen.“ Auch ein „junges Dienstmädchen kam und frug vertraulich“, ob es denn vielleicht möglich sei, durch ihren Verlobten hindurchzusehen, „ohne dass er es bemerke, um festzustellen, ob er im Inneren gesund ist.“ Die Hektik und der Rummel um die X-Strahlen sollten noch einige Monate so weitergehen – doch ihr Entdecker zeigt sich davon wenig begeistert.

## Der große Schweiger

Wilhelm Conrad Röntgen wünscht sich bereits am 19. Januar 1896 in einem Gespräch mit einer Münchner Tageszeitung, die *Sensation*, die rund um seine Entdeckung in der Presse entstanden sei, möge sich legen. „Der große Schweiger“, wie einer seiner Biographen ihn nennt, steht nicht gerne im Mittelpunkt und arbeitet am liebsten im Stillen. Röntgen hat nur zweimal öffentlich von seiner Entdeckung gesprochen: Beim ersten Vortrag am

13. Januar 1896 auf Einladung Kaiser Wilhelms II. im „rasch provisorisch zum Laboratorium umgewandelten Sternensaal des königlichen Schlosses“ wird Röntgen laut Zeitungsbericht „schon durch das verständnisvolle Interesse seines erlauchten Zuhörers reich belohnt.“ Zusätzlich wird ihm „äußere Anerkennung dadurch zu Teil, dass Seine Majestät ihm selbst den Kronenorden 2. Klasse überreichte.“ Die erste der zahlreichen Ehrungen, die Röntgen in den kommenden Jahren erhalten sollte. Die zweite Anerkennung ist sprachlicher Natur, und er erhält sie – allem Anschein etwas widerwillig – bei seinem zweiten und letzten Vortrag, dem einzigen vor großem Publikum.

Am 23. Januar 1896 betritt Röntgen unter tosendem Applaus den Hörsaal des Physikalischen Institutes der Universität Würzburg. Die Bänke sind bis zum letzten Platz besetzt; die Anwesenden warten, wie ein Zeitzeuge später erzählt, „in tiefer Erregung und Begeisterung“ auf den Beginn „dieser Demonstration von außerordentlicher Wichtigkeit.“ Zunächst bedankt sich Röntgen in schlichten und bescheidenen Worten für das Interesse an seiner Entdeckung; dann bemerkt er, dass er es für seine Pflicht halte, öffentlich über seine Arbeit zu reden. Er erzählt von seinen Versuchen mit Kathodenstrahlröhren am Abend des 8. November 1895, „wobei ich dann durch Zufall meine Entdeckung machte“. Röntgen führt einige Experimente vor, durchleuchtet dabei Holz, Papier, Blech und seine eigene Hand, anschließend reicht er einige X-Strahlen-Bilder herum. Am Ende seines Vortrags bittet er seinen Freund, den berühmten Anatomen Geheimrat Albrecht von Kölliker, dessen Hand mit den X-Strahlen fotografieren zu dürfen. „Als die wohlgelungene Fotografie herumgezeigt wurde, brach brausender Beifall los“, erinnert sich einer der Anwesenden später. „Von Kölliker hielt in tiefer Erregung eine zu Herzen gehende Ansprache“,

in der er vorschlägt, die X-Strahlen in Zukunft „Röntgensche Strahlen“ zu nennen. „Der Vorschlag wurde von der Versammlung unter erneuter Ovation für Röntgen angenommen.“ Wilhelm Conrad Röntgen bevorzugt und verwendet weiterhin den Begriff X-Strahlen – doch die Bezeichnung Röntgenstrahlung setzt sich zeitweise sogar international durch und ist noch heute im deutschsprachigen Raum der gängige Begriff.

## Ulkereien und eine Reise nach Schweden

Auf die zahlreichen Ehrungen und Auszeichnungen der folgenden Jahre scheint Wilhelm Conrad Röntgen tatsächlich keinen gesteigerten Wert zu legen. So kann er beispielsweise nur mit List dazu gebracht werden, für ein Denkmal auf der Potsdamer Brücke in Berlin Modell zu sitzen. Er weigert sich beharrlich, bis ein Vertrauter ihm sagt: „Auf die Brücke kommen Sie doch! Wenn Sie uns nicht den Gefallen tun, dem Künstler eine Sitzung zu gewähren, so wird das Denkmal eben schlecht werden. Das wollen Sie aber doch gewiss nicht.“ Bei festlichen Anlässen trägt er, gemäß damaliger Sitte, seine Orden an der Brust – allerdings legt er sie dabei, wie seine Haushälterin Käthe Fuchs sich später erinnert, hin und wieder falsch herum an: „Die anderen Herren haben ihn dann geulkt, es gab ja ganz genaue Vorschriften.“ Als Röntgen im Jahre 1901 den Nobelpreis für Physik erhalten soll, schickt er ein Telegramm nach Schweden und fragt, ob es ihm jemand übelnehmen würde, wenn er nicht käme. Das Nobelpreiskomitee teilt Röntgen mit, dass es wohl besser wäre, zu kommen. Am 7. Dezember 1901 macht sich Röntgen auf die damals lange und beschwerliche Reise nach Stockholm. Die erste Etappe, die Bahnfahrt von München nach Berlin, dauert etwa zwölf Stunden – denn Züge fahren zu dieser Zeit mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von rund 40 Stundenkilometern.



KONGLIGA SVENSKA  
VETENSKAPS-AKADEMIEN

har vid sitt sammanträde den 12 Nov.  
1901 i enlighet med föreskrifterna i det af

**ALFRED NOBEL**

den 27 November 1895 upprättade testa-  
ments beslutat att tilldelas det pris som  
denna är bortgifves 'åt den som inom fy-  
sikens område har gjort den viktigaste  
upptäckt eller uppfinning' till

**WILHELM CONRAD**  
**RÖNTGEN**

såsom ett erkännande af den utomordent-  
liga förtjenst han inlagt genom upptäckten

af de egendomliga ställar, som sedermera  
är uppkallats efter honom.

Stockholm den 10 December 1901

*A. Öhner*  
Kgl. Vet. Akad. Præses

*Chr. Ansellius*  
Kgl. Vet. Akad. Secretarius



Am 10. Dezember 1901 erhält Röntgen den ersten je verliehenen Nobelpreis für Physik

Nach einer weiteren Bahnfahrt auf die Insel Rügen reist Röntgen per Schiff – oder wie er an Bertha schreibt, per „Nusschale“, die wild hin und her geschleudert wird – weiter nach Malmö. Am 10. Dezember, dem Todestag Alfred Nobels, nimmt Wilhelm Conrad Röntgen in Stockholm den ersten je vergebenen Nobelpreis für Physik entgegen. Nach der Zeremonie wird er kaum noch gesehen – und selbst dem eigentlich in den Statuten festgehaltenen obligatorischen Vortrag des Preisträgers kann Röntgen erfolgreich entgehen.

## Wie ein Zaubermittel aus einer anderen Welt

Der Nobelpreis „soll denen zugeteilt werden“, schreibt der schwedische Erfinder und Industrielle Alfred Nobel in seinem Testament, „die im verflossenen Jahr der Menschheit den größten Nutzen geleistet haben.“ Wie unermesslich nützlich die X-Strahlen für die Naturwissenschaften tatsächlich noch werden würden, sollte sich erst im Laufe der folgenden Jahrzehnte herausstellen. Denn in zahlreichen Disziplinen – etwa in Physik und Chemie, in Biologie und Astronomie – können wir heute mithilfe von Röntgenstrahlen Dinge sichtbar machen, die ohne dieses Hilfsmittel noch immer im Vorborgenen liegen würden: den Aufbau der Atome, die Struktur unserer Gene, die Umgebung von schwarzen Löchern im Zentrum von Galaxien – ein Ende der Entdeckungen ist noch immer nicht in Sicht. In der Medizin hingegen ist der Wert der X-Strahlen sofort offensichtlich: Noch im Januar 1896 beginnen erste Ärzte, sie bei bestimmten Untersuchungen zur Hilfe zu nehmen. Bei vielen Medizinern löst der vorher noch undenkbar Blick in den Körper ihrer Patienten geradezu Euphorie aus. „Die Röntgenstrahlen“, schreibt der Militärarzt Ernst Sehrwald, „umgibt fast der Nimbus eines Zaubermittels, das eine gütige

Hand aus einer ganz anderen fremden Welt zu uns herüberreichet.“

Der alte Traum vom „gläsernen Patienten“ ist mit den Röntgenstrahlen wahr geworden. Praktisch von einem Tag auf den anderen laufen viele Diagnosen völlig anders ab. Eine Schussverletzung, zum Beispiel, konnte durch die bisherige Untersuchungsmethode zusätzlich etwas unangenehm werden: Der Arzt steckte seinen Finger oder eine Sonde in die Wunde, um die Stelle zu suchen, in der die Kugel steckengeblieben war. Ähnlich unerfreulich für den Patienten dürfte die Diagnose eines Knochenbruchs gewesen sein. Mediziner hatten keine andere Möglichkeit, als die betroffene Stelle zu betasten und zu bewegen, um Ort und Art der Fraktur ungefähr zu erraten. Bei anderen medizinischen Fragen waren im Idealfall Spiegel und Lichter hilfreich, die durch Körperöffnungen so nah wie möglich an die zu untersuchende Stelle herangeführt wurden. Doch viele Fälle wären ohne die X-Strahlen wohl nie gelöst worden, wie das folgende Beispiel eines Kindes zeigt, das kurz nach Röntgens Entdeckung mit stundenlangen Hustenanfällen ins Krankenhaus eingeliefert wurde.

Im Oktober 1896 nennt ein österreichisches Ärztefachblatt die Untersuchung dieses Kindes als Beispiel für die Bedeutung der Röntgenstrahlen in der Inneren Medizin: Ein zehnjähriger Knabe verschluckt einen Tapeziernagel und leidet sofort danach an Atemnot. Der herbeigerufene Arzt tastet die Speiseröhre des Jungen mit einem Schlauch ab, stößt dabei jedoch auf keinen Widerstand. Da der Nagel anscheinend bereits in den Magen gerutscht ist, empfiehlt der Arzt die Einnahme größerer Mengen Kartoffelbrei. Der Junge fühlt sich einige Tage lang gut, dann wird er mit starkem Husten in die Klinik gebracht. Während seiner bis zu eineinhalb Stunden langen Hustenanfälle ist hin und wieder ein Rasseln zu hören, das irgendwo aus seinem Brustkorb zu

kommen scheint. Mit der Lunge des Knaben ist laut Befund alles in Ordnung. „Der Kranke wurde nunmehr röntgenisiert“, einmal von vorne, ein zweites Mal von rechts nach links, „und nun sah man, dass sich der Fremdkörper zwischen der sechsten und siebten Rippe in der Nähe der Wirbelsäule befand.“ Bei einer weiteren Röntgenaufnahme während eines Hustenanfalles kann der Arzt des Jungen sogar erkennen, „dass der Nagel mit der Kuppe abwärts und der Spitze nach aufwärts sitzt, sowie dass er auf und ab tanzte.“ Verglichen mit anderen Fällen ist dieser tanzende Tapeziernagel noch relativ unspektakulär. Im Laufe der Jahre entstehen Röntgenaufnahmen von verschluckten Fröschen, Zahnbürsten und sogar Essgabeln.

Bereits im Frühjahr 1896 erscheinen täglich neue Berichte über wichtige Diagnosen, neue Forschungen und Ideen für die Zukunft. Einige Pioniere der Radiologie arbeiten daran, Organe wie den Magen und den Darm mit Röntgenstrahlen sichtbar zu machen – mit manchmal abenteuerlich anmutenden Vorschlägen, wie dem, einen dünnen Metalldraht durch die Speiseröhre zu führen, ihn als eine Art Röntgenplatte an die Umrisse des Magens zu legen und dadurch seine Größe abzubilden. Die „Ärzte der Lichtheilkunde“ – wie die Radiologen bald genannt werden – stehen bei ihren Arbeiten jedoch vor technischen Schwierigkeiten: „Für den Anfänger ist die richtige Behandlung der Röhren Gegenstand manchen Kopferbrechens“, schreibt der Röntgenpionier Heinrich Albers-Schönberg. „Nicht selten passiert es, dass die Röhre durch verkehrten Funkenüberschlag geschädigt, das heißt durchgeschlagen wird.“ Gelegentlich zerplatzen die Röhren „mit lautem Knall unter Zerstäuben von außerordentlich kleinen Glasteilen nach allen Richtungen.“ Albers-Schönberg schlägt daher vor, das Gesicht des Patienten mit einem Tuch abzudecken, „um bei etwaigen Röhrenzertrümmerungen die Augen zu schonen.“ Erschwerend



Quelle: Medizinische Universität Wien

Röntgenaufnahme einer verschluckten Gabel

hinzu kommt die Tatsache, dass die Kathodenstrahlröhren auf die Erforschung von Gasen ausgelegt sind. Mit diesen Röhren lassen sich entweder gar keine Röntgenstrahlen erzeugen, oder der Anwender braucht großes Geschick, ausreichende Kenntnisse in Physik oder die Hilfe des Zufalls. Doch in Erlangen und Berlin wird bereits im Januar 1896 an Abhilfe gearbeitet.

### **Raunen, Staunen und heimliches Bangen**

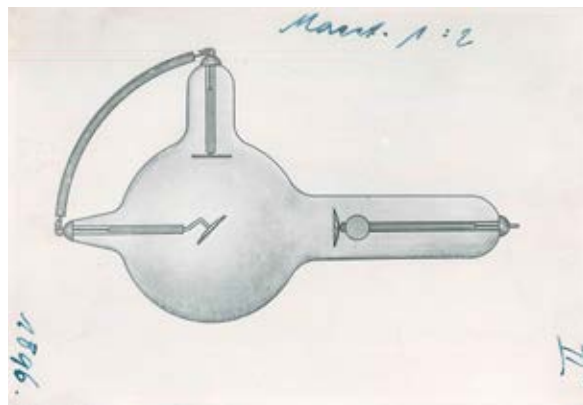
Siemens & Halske und Reiniger, Gebbert & Schall (RGS) – die beiden ältesten Wurzeln von Siemens Healthineers – sind zu dieser Zeit Konkurrenten. Siemens & Halske stellt seit der Gründung der Firma im Jahre 1847 elektromedizinische Apparate her, mit denen sich beispielsweise Schmerzen behandeln lassen; RGS, gegründet im Jahre 1886, hat sich im 450 Kilometer entfernten Erlangen ganz auf Medizintechnik spezialisiert und baut unter anderem Reizstromapparate, Lichtbäder und elektrische Zahnbohrer. Bis 1925, dem Jahr, in dem RGS und die Medizintechnik von Siemens fusionieren, sollten sich die beiden Firmen ein Wettrennen um die fortschrittlichste Technik liefern – und dieses Rennen dreht sich ab 1896 hauptsächlich um die Weiterentwicklung der Röntgentechnik.

Max Gebbert, der Inhaber von Reiniger, Gebbert & Schall, schickt drei Tage nach Bekanntwerden der Entdeckung einen seiner Mitarbeiter nach Würzburg. Der Ingenieur Robert Fischer soll Wilhelm Conrad Röntgen aufsuchen und mit ihm sprechen. „Röntgen hat aber Herrn Fischer nicht empfangen, wie er überhaupt alle Besuche ablehnte“, verrät eine der Akten im Siemens Healthineers MedArchiv. Stattdessen habe er Robert Fischer an seinen Gehilfen verwiesen. „Dieser zeigte Herrn Fischer die sehr bescheidene Apparatur und zwar in Funktion.“ Nach Fischers Bericht wendet sich Max Gebbert



mit Bitte um Unterstützung an Geheimrat Eilhard Wiedemann, einem Physiker der Universität Erlangen, der bereits Erfahrung mit Kathodenstrahlröhren gesammelt hat. Wiedemann empfiehlt einige Versuchsanordnungen und schlägt Gebbert vor, seinen jungen Assistenten bei RGS einzustellen, den Starkstromingenieur Josef Rosenthal.

In der Pionierzeit der medizinischen Röntgentechnik bei Reiniger, Gebbert & Schall „ging ein Raunen und Staunen durch die Arbeiterreihen“, schreibt der Mechaniker Alexander Erdmann in seinen Erinnerungen an seine Zeit bei RGS. „Die Firma griff dieses Gebiet gleich ganz energisch auf und versuchte gebrauchsfertige Apparate und Einrichtungen herzustellen.“ Auf die Kosten sei es dabei gar nicht angekommen. „Manchmal habe ich mit heimlichem Bangen zugesehen wie Kupferspulen, die viele hundert Mark kosteten, ins Altmetall wanderten, da sie die Erwartungen nicht erfüllten, die man in sie gesetzt hatte.“ Im Mittelpunkt dieser aufwendigen Forschungen steht Josef Rosenthal, der am grundlegenden Aufbau des Röntgenapparats arbeitet.



Originalskizze der ersten Röntgenröhre von RGS aus dem Jahre 1896. Röntgen findet diese Röhre „in der That sehr gut“



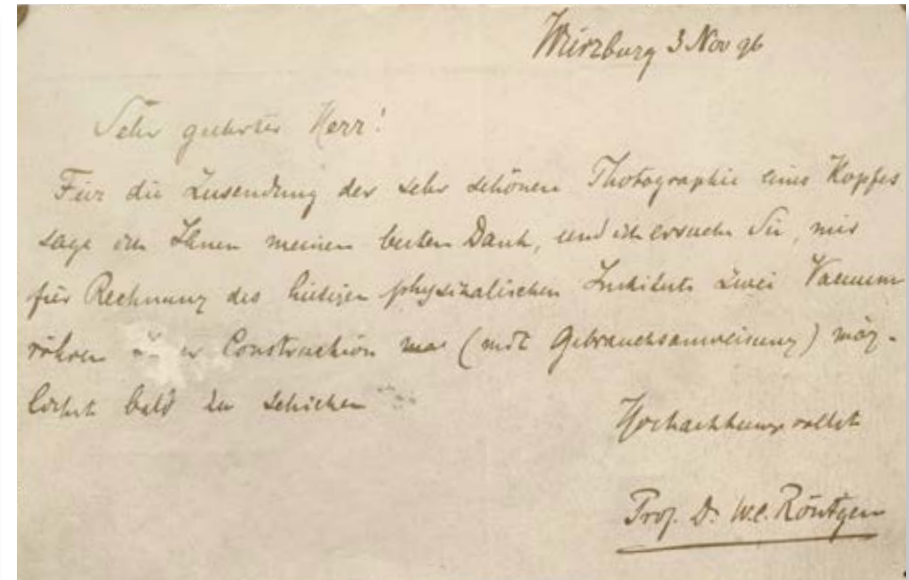
Diese Aufnahme des Kopfes eines 16-jährigen Mädchens schickt Josef Rosenthal im Oktober 1896 an Wilhelm Conrad Röntgen

„Meine ersten Versuche stellte ich mit den in physikalischen Laboratorien verwendeten Kathodenstrahlröhren an“, erinnert sich Rosenthal später. „Da man sich damals noch keine Vorstellung über das Wesen der Röntgenstrahlen machen konnte, probierte man alles Mögliche; so versuchte man zum Beispiel, ob nicht durch Überlastung des Glühfadens einer gewöhnlichen Glühlampe die geheimnisvollen

Strahlen erzeugt werden könnten, und manche Glühlampe wurde zu diesem Zweck durchgebrannt – natürlich vergebens.“ Schon bald erkennt Rosenthal, „dass zur Erzielung guter Röntgenbilder das Wichtigste eine besonders gut geeignete Röhre ist, und es gelang mir schon im Jahre 1896, mit solchen hervorragend schöne Röntgenbilder herzustellen.“ Mit dieser Röntgenröhre, die speziell für den medizinischen



Die wohl schönste Postkarte der Firmengeschichte



Einsatz konzipiert wurde, bildet Josef Rosenthal den Kopf eines lebenden 16-jährigen Mädchens ab und schickt die Aufnahme an Wilhelm Conrad Röntgen nach Würzburg. Wenige Tage später erhält RGS die wohl schönste Postkarte der Firmengeschichte.

### „Ihre Röhren sind in der That sehr gut“

„Sehr geehrter Herr!“, schreibt Röntgen am 3. November 1896. „Für die Zusendung der sehr schönen Photographie eines Kopfes sage ich Ihnen meinen besten Dank, und ich ersuche Sie, mir für Rechnung des hiesigen Physikalischen Institutes zwei Vakuumröhren Ihrer Konstruktion (mit Gebrauchsanweisung) möglichst bald zu schicken. Hochachtungsvollst Prof. Dr. W.C. Röntgen.“ Unverzüglich schickt Rosenthal zwei Röhren nach Würzburg und erhält rund drei Wochen danach erneut Post, diesmal etwas ausführlicher, in Briefform: „Ihre Röhren sind in der

That sehr gut“, leitet Röntgen das Schreiben ein. Die Kosten übersteigen jedoch Röntgens zu dieser Zeit knappes Budget. „Ich möchte mir deshalb die Frage erlauben, ob Sie mir die Röhren nicht zu 20 Mark statt zu 30 Mark liefern könnten.“ Dieser Vorschlag sei für RGS wohl akzeptabel, da es sich um einen Ausnahmefall handle, „und Ihnen vielleicht weitere Bestellungen von meiner Seite angenehm sein könnten. Falls Sie auf meinen Vorschlag eingehen, bitte ich Sie, mir für die zwei bereits verbrauchten Röhren vier andere gleicher Qualität und derer zwei kleinere und zwei größere zu schicken.“ Der Vorschlag scheint für Reiniger, Gebbert & Schall, auch wenn sich das heute in den Archiven nicht mehr nachweisen lässt, selbstverständlich akzeptabel gewesen zu sein – denn Wilhelm Conrad Röntgen hält eine dieser kleineren RGS-Röhren in der Hand, als er für das Denkmal auf der Potsdamer Brücke Modell sitzt (Bild Seite 4).



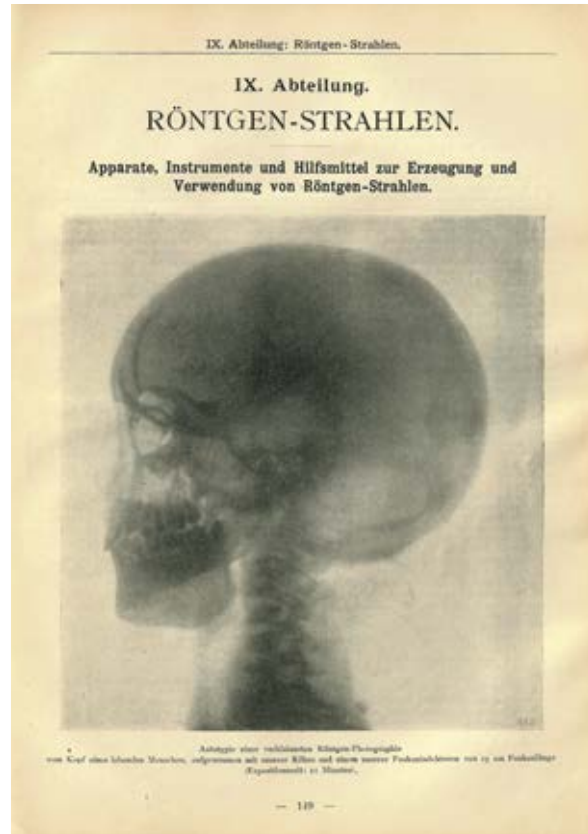
Quelle: Deutsches Röntgen-Museum

Die Röntgen-Statue auf der Potsdamer Brücke. Während des Zweiten Weltkriegs wird die Statue eingeschmolzen. Der Kopf befindet sich heute als Büste in der Berliner Charité

RGS wirbt ab 1897 als weltweit erste Firma in einem Katalog für „komplette Einrichtungen von Röntgeninstrumentarien“, mit allem, was zu dieser Zeit dazu gehört: Funkeninduktor, Akkumulator zur Stromversorgung, ein 1,75 Meter hohes kräftiges Stativ auf Rollen, ein solide konstruierter eiserner Tisch und die „ausprobierte, gute Vakuumröhre, zum Induktor passend.“ Der Verkauf dieser Röntgenapparate entwickelt sich schnell zum großen Erfolg. RGS beschäftigt im Jahre 1898 dreimal mehr Mitarbeiter als vor

der Entdeckung der Röntgenstrahlen. Auch die nur wenige Jahre alte Fabrik muss erweitert werden, um die hohe Nachfrage zu befriedigen. Zu dieser Zeit besitzt die Firma jedoch noch keine eigene Glasbläserei. Die Röhren werden nach den Konstruktionsplänen von RGS von der Firma Emil Gundelach in Gehlberg hergestellt, in der Nähe des heutigen Siemens Healthineers Röntgenwerks in Thüringen, wo die Glasbläser auf eine jahrhundertlange Tradition zurückblicken.

Der Firmenkatalog von Reiniger, Gebbert & Schall des Jahres 1897





Die RGS-Mitarbeiter Siff, Immelen, Horn und Schnitzler mit unserer ersten medizinischen Röntgenröhre, aufgenommen wahrscheinlich Ende 1896 oder Anfang 1897



## Unendlich viel Neues zu entdecken

Über die Entwicklung der ersten Röntgenröhre von Siemens & Halske ist weit weniger bekannt. Mit den historischen Quellen lässt sich heute belegen, dass die Grundlagenforschung im Berliner Laboratorium bereits drei Wochen nach Bekanntwerden der Entdeckung beginnt. Bei den ersten Versuchen treten die gleichen Probleme auf wie in wahrscheinlich allen zeitgenössischen Physikalaboren rund um den Globus: Zum einen verlieren die Röhren sehr schnell ihre Leistung, wenn das Vakuum im Inneren sich verändert; zum anderen „ereignet es sich leider nur allzu oft, dass die Röhren vom Funken durchgeschlagen und daher unbrauchbar wurden.“ Die Versuche hätten jedoch bewiesen, „dass auf diesem Gebiete noch unendlich viel Neues zu entdecken und das Verfahren erheblich zu vereinfachen ist.“ Die Ingenieure von Siemens & Halske konzentrieren sich bei der Entwicklung ihrer ersten Röntgenanlage allem Anschein nach hauptsächlich darauf, diese technischen Mängel zu beseitigen. Bereits am 5. Februar 1896 wird „mit überraschend günstigem Erfolge eine ganz andere Anordnung getroffen, mit der die Gefahr des Durchschlagens fast völlig beseitigt ist.“

Etwa sechs Wochen später, am 24. März 1896, meldet Siemens & Halske eine auch optisch außergewöhnliche Röhre zum Patent an. Die „Röntgenlampe“, wie sie später zum Verkaufsstart in der Werbeschrift genannt wird, ist eine Röhre mit regulierbarem Vakuum. Das heißt, die Röntgenlampe lässt sich so einstellen, dass während des Gebrauchs stets „der für die Entstehung von Röntgenstrahlen günstigste Luftdruck herrscht.“ Einige Redakteure der Elektrotechnischen Zeitschrift haben noch während dieser grundlegenden Arbeiten „selber die Gelegenheit, in dem Laboratorium von Siemens & Halske die an das Kabelnetz der elektrischen Kraftstation

angeschlossene Anordnung im Betrieb zu sehen.“ Es erscheine wahrscheinlich, dass der „eingeschlagene Weg bei weiterer Ausbildung zu einer praktischen Lösung der Aufgabe, eine für Krankenhäuser und Ärzte geeignete Anordnung zu schaffen, führen wird.“ Das Unternehmen verfolgt diesen Weg weiter und bringt im Januar 1897 zunächst die Röntgenlampe auf den Markt, vier Monate danach – und damit wenige Wochen nach der Entwicklung der späteren Erlanger Kollegen – folgt der erste komplette Röntgenapparat von Siemens & Halske.



## Bewunderung und Freude

Röntgens Entdeckung hat die Welt innerhalb kürzester Zeit verändert. Allein im Jahre 1896 erscheinen 1044 wissenschaftliche Publikationen über die X-Strahlen und die Möglichkeiten, sie in Wissenschaft und Medizin zu nutzen. Unzählige weitere Entdeckungen sind direkte Folge der Erforschung der Röntgenstrahlen, etwa die Erkenntnisse Henri Becquerels und Marie Curies zur Radioaktivität. Wilhelm Conrad Röntgen erhält bis zu seinem Tod im Jahre 1923 mehr als 80 Auszeichnungen verschiedenster Art. Nicht unerwähnt sollte jedoch bleiben, dass zu seinen Lebzeiten und manchmal sogar noch heute behauptet wird, er sei nicht der eigentliche Entdecker der X-Strahlen. Tatsächlich haben – wie sich kurz nach Röntgens Veröffentlichung herausstellt – mehrere Wissenschaftler vor ihm die Phänomene dieser Strahlen beobachtet; keiner von ihnen hat sie jedoch als beachtenswert erkannt oder gar erforscht. Röntgens unbestreitbares Verdienst besteht darin, genau das getan zu haben.

Die Röntgentechnik ist bereits im Jahre 1905, wie die Delegierten des ersten Deutschen Röntgenkongresses bemerken, „in allen Spezialfächern der Menschenheilkunde ein unersetzliches Hilfsmittel.“ Auch Wilhelm Conrad Röntgen zeigt sich von den Entwicklungen begeistert. Die Teilnehmer des Röntgenkongresses lässt er per Depesche wissen, „dass ich mit Bewunderung und Freude erfüllt bin, über das was die Arbeit anderer aus der Entdeckung der Röntgenstrahlen gemacht hat.“ Die zahlreichen Fortschritte und Anwendungsmöglichkeiten der ersten zehn Jahre sind in der Tat erstaunlich – doch die Entwicklung hat damit gerade erst begonnen ...

Die optisch außergewöhnliche „Röntgenlampe“ von Siemens & Halske in einer Werbeschrift vom Januar 1897



Der erste in Serie produzierte  
Röntgenapparat von Siemens & Halske, 1897



Operation zur Entfernung der Brust unter der Leitung des amerikanischen Chirurgen David Hayes Agnew vor Studenten und Kollegen. Gemälde „The Agnew Clinic“ von Thomas Eakins, 1889

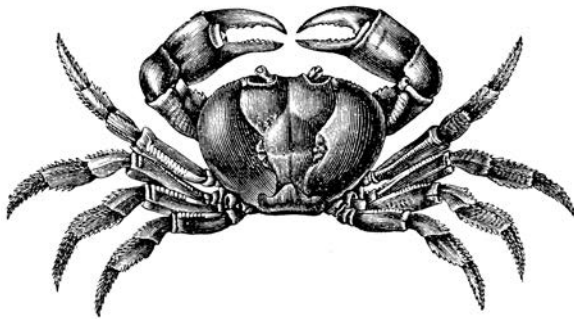
Quelle: Getty images



# Der Kampf gegen den Krebs

## Wie die Röntgenstrahlen zu einem Mittel der Therapie wurden

Im Jahr 1930 wird ein Papyrus aus dem 16. Jahrhundert v. Chr. entschlüsselt. Darin beschreibt der berühmte altägyptische Arzt Imhotep medizinische Fallgeschichten, Diagnosen und Therapien. Fall Nr. 45 liest sich so: „Auffällige Knoten in der Brust, hart, ohne Überwärmung, die sich nach und nach unter der Haut ausbreiten“. Es handelt sich um die erste Beschreibung einer Krebserkrankung überhaupt. Zur möglichen Therapie dieser Erkrankung vermerkt Imhotep nur kurz und knapp: „Keine.“ Auch der berühmte Arzt Hippokrates untersucht verschiedene Geschwulste in den Organen des Menschen. Ihn erinnern die Tumoren an eingegrabene Krabben im Sand und damit gibt er dieser berüchtigten Krankheit den Namen: Karkinos – Krebs.



Schwarze Landkrabben, *Gecarcinus Ruricola*

Quelle: Getty images

Doch was ist Krebs und wie entsteht er? Rudolf Virchow ist Mitte des 19. Jahrhunderts als Erster auf dem richtigen Weg: Krebs ist eine Erkrankung, die entsteht, wenn krankhaft veränderte Zellen sich unkontrolliert vermehren. Da Zellen wiederum aus anderen Zellen entstehen, liegt der Ursprung letztlich in einer einzigen Zelle. Die unkontrollierte und rasche Vermehrung dieser Zelle bildet schließlich den Tumor, das, was wir heute unter Krebs verstehen. Virchow wusste freilich noch nichts über das entscheidende Innenleben der Zelle, die DNA. Diese ist nicht nur verantwortlich für die Spezialisierung der einzelnen Zellen und ihrer Funktion im Gesamtorganismus, sondern bei jeder Zellteilung wird die DNA auch kopiert. Dabei schleichen sich jedoch immer wieder Fehler ein, sogenannte Mutationen. Diese werden entweder repariert oder führen zum vorzeitigen Zelltod und haben damit keine weiteren Auswirkungen. Betrifft diese Mutation jedoch den Wachstumskomplex einer Zelle und verschafft ihr Wachstumsvorteile, beginnt sich die Zelle ohne Rücksicht auf den Gesamtorganismus zu teilen und zu vermehren. Krebserkrankungen sind also Krankheiten, die durch die Mutation kritischer Gene verursacht werden. Bei den vielen Billionen von Malen in denen der Körper die DNA im Laufe eines Lebens dupliziert, ist es ein Wunder, dass es nicht zu mehr Mutationen kommt, aber tatsächlich liegt die Fehlerquote bei Eins zu einer Milliarde. Dennoch schlüpfen immer wieder Mutationen durch die Maschen des

körpereigenen Kontrollsystems und damit wird deutlich: bereits ohne jeglichen Einfluss von außen kann im Körper Krebs entstehen. Kommen aber die bekannten Risikofaktoren hinzu, wie bestimmte Gifte oder Viren, Strahlung oder Vererbung, dann erhöht sich die Wahrscheinlichkeit an Krebs zu erkranken signifikant. So erkranken starke Raucher zehnmal häufiger an Lungenkrebs als Nichtraucher. Allerdings muss selbst eine Person, die einem oder all diesen Risiken ausgesetzt ist, nicht zwangsläufig an Krebs erkranken.

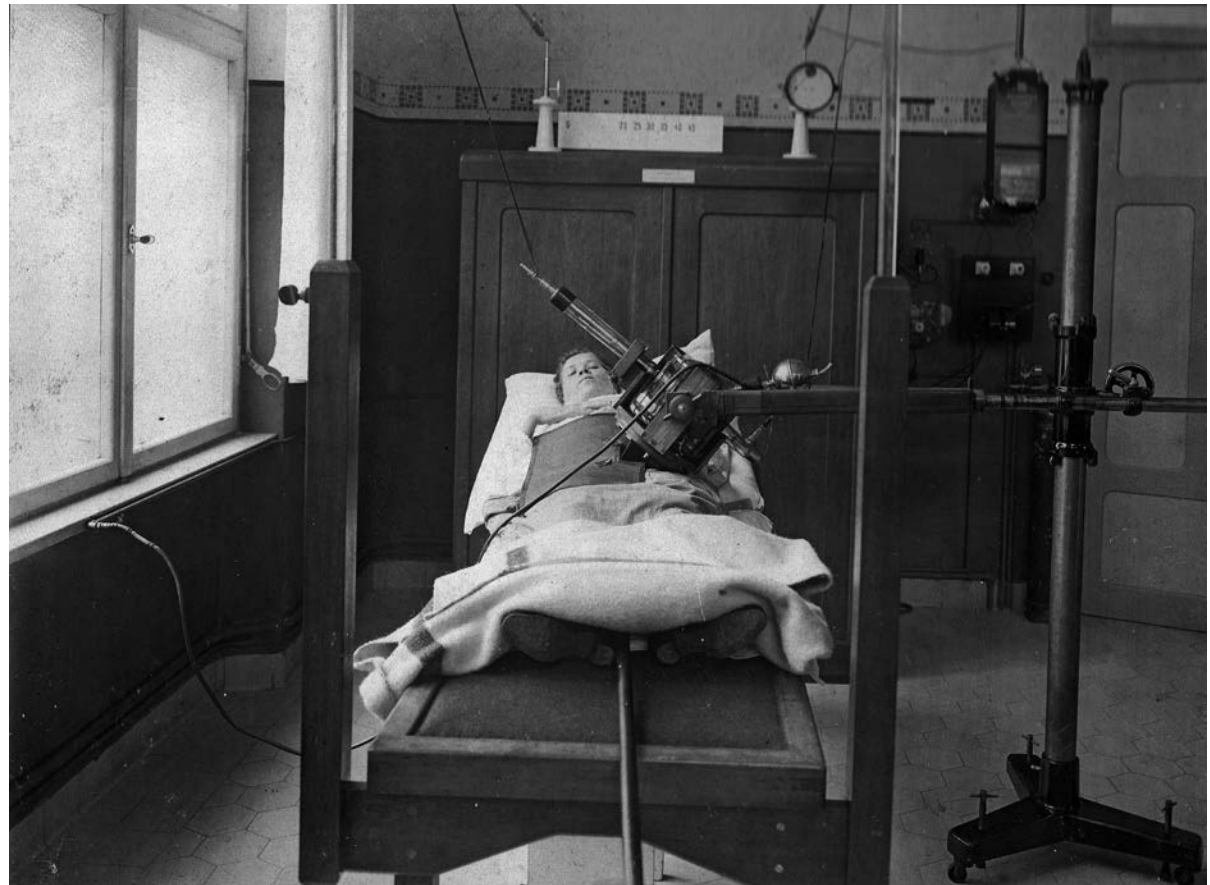
Krebs, mit Ausnahme von Leukämie, beginnt in der Regel als lokale Krankheit, die sich erst in einem späteren Stadium ausweitet, bis sie den ganzen Körper erfasst, also eine systemische Krankheit wird. Dazwischen liegt ein Zeitfenster, indem der Krebs noch örtlich bekämpft werden kann. Die Chirurgie ist hier lange Zeit die einzige Möglichkeit. Mit der Entwicklung der modernen Medizin Mitte des 19. Jahrhunderts trauen sich immer mehr Ärzte, Geschwulste operativ zu entfernen. Doch gesundes und krankes Gewebe sind mit bloßem Auge nicht sicher zu unterscheiden. So neigt man im 19. Jahrhundert zu immer radikaleren Operationen, die auch großzügig gesundes Gewebe ausschneiden, um sicher zu gehen, dass der Krebs vollständig entfernt wird. Leider führt dies nur in wenigen Fällen zu einer dauerhaften Genesung und kommt für die Patienten oft einer Verstümmelung gleich.



## Experimente und Erfolge

Die Entdeckung der Röntgenstrahlen im Jahr 1895 sorgt für eine Revolution in der Medizin. Der Blick in den menschlichen Körper verheißt dabei zuerst einmal für die Diagnose ungeahnte Möglichkeiten. Aber bereits drei Wochen nach Röntgens Entdeckung schreibt der ungarische Pathologe Endre Högyes: „Es gibt keinen Zweifel, dass die chemisch wirksamen Strahlen auch biologisch aktiv sind und eines Tages eine therapeutische Rolle in der Medizin haben werden.“ Und so probieren von der neuen Technologie begeisterte Forscher die Strahlen auch für Therapiezwecke aus. Einer der ersten ist der Arzt Leopold Freund. Bereits 1896 behandelt er am Wiener Allgemeinen Krankenhaus ein Mädchen mit krankhafter Rückenbehaarung in therapeutischer Absicht. Noch bedeutsamer sind die Versuche des 21-jährigen Medizinstudenten Emil Grubbe aus Chicago. Grubbe arbeitet in einer Fabrik, die Röntgenröhren herstellt, dabei beobachtet er, dass den Arbeitern, die den Röntgenstrahlen ausgesetzt waren, die Nägel ausfallen und sie wunde Hautstellen bekommen. Auch an sich selbst bemerkt er diese Phänomene bei seinen Experimenten. Die von ihm beobachtete Zerstörung von biologischem Gewebe überträgt er auf Tumore. Eine ältere Frau mit Brustkrebs bestrahlt er 1898 in geradezu abenteuerlicher Weise; zum Schutz des gesunden Gewebes umkleidet er die Haut mit Stanniolpapier. Nach 18-tägiger Behandlung stellt sich zunehmend ein Effekt ein, der Tumor schrumpft. „Es war die erste dokumentierte lokale Reaktion in der Geschichte der Strahlentherapie [gegen Krebs]“. Die Berichte von den ersten Therapieversuchen werden in der medizinischen Fachwelt mit Begeisterung aufgenommen und geben Anlass zu großem Optimismus, obwohl man in vielerlei Hinsicht noch im Dunkeln tappt. So weiß man nicht, wie viel Strahlung eine Röntgenröhre aussendet und wie man die Strahlung über-

Bestrahlung eines Portio-Carcinoms mit dem Symmetrie-Apparat, 1918



haupt genau messen kann, hat also keine Ahnung von der Dosis. Vor allem aber weiß man nicht, wie die Strahlen auf die Zellen wirken und wie viel Strahlung notwendig ist, um Tumoren zu zerstören. Genau das ist aber entscheidend. Heute wissen wir, dass Röntgenstrahlen oder andere ionisierende Strahlen die DNA in den Zellen verändern können, bei ausreichend hoher Strahlenbelastung kommt es zu irreparablen Schäden und die Zelle stirbt. Dies macht die

Röntgenstrahlen überhaupt erst zur Waffe in der Krebstherapie. Gleichzeitig macht es diese auch zur Bedrohung, denn damit kann sowohl gesundes Gewebe zerstört als auch Krebs ausgelöst werden.

Die frühen Röntgenröhren bzw. -apparate sind für den Gebrauch zur Therapie aus heutiger Sicht denkbar ungeeignet: „Ein Röntgenstrahl zur Krebstherapie muss vor allem drei Anforderungen erfüllen:

Er sollte scharf fokussierbar sein, eine hohe mittlere Strahlungsenergie und einen möglichst geringen Anteil von Strahlung mit niedriger Energie haben.“ Diese Anforderungen kann die Technik damals nicht erfüllen. Deshalb werden in Zusammenarbeit zwischen Ärzten und Ingenieuren zunehmend auch Geräte entwickelt, die sich besser für Therapiezwecke eignen. Der erste große Schritt ist die von William Coolidge 1913 entwickelte Röhre, die höhere Spannungen und damit härtere Strahlung erzeugt, die tiefer in den Körper eindringen kann. Friedrich Dessauer einer der Pioniere der Strahlentherapie hält dies in seinen Erinnerungen für den entscheidenden ersten Schritt. Der von ihm entwickelte Reformapparat ist für die Tiefentherapie gedacht und schon 1913 in sechs deutschen Frauenkliniken im Einsatz. Aber auch Reiniger, Gebbert & Schall (RGS) in Erlangen stellen mit dem Symmetrie-Apparat ein erfolgreiches Röntgengerät speziell zur Tiefentherapie vor. „Dabei ist die Ausbeute dieser harten Strahlung so groß, daß sie ... von keiner anderen Apparatur erreicht wird.“ schreibt begeistert ein Oberarzt aus der Münchner Frauenklinik 1918.

Angesichts der oft stundenlangen Bestrahlungssitzungen rückt der Strahlenschutz – mehr noch als bei der Diagnostik – ins Zentrum der Betrachtungen. Der Siemens Bestrahlungskasten von 1922 ist das erste Gerät von Siemens, das das Bedienpersonal und den Patienten zuverlässig vor den Gefahren des Röntgentiefentherapiebetriebes wie Strahlung, aber auch Hochspannung schützt. Dies machte die Behandlung einfacher und weniger unangenehm. Gleichzeitig sind dafür sehr leistungsfähige und stabile Röhren und Apparate erforderlich. Hinter dem Bestrahlungskasten stehen die Stabilivolt- und Multivoltanlagen. Diese liefern gleichmäßigen Strom, haben ein gutes Wirkspektrum, haben also weniger

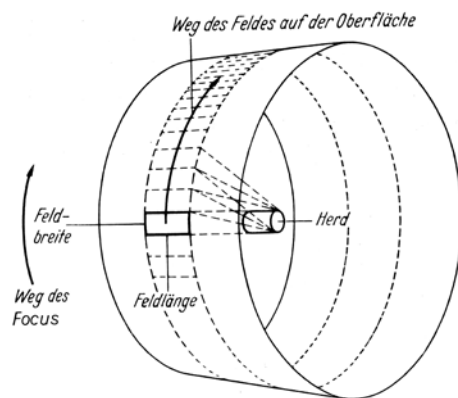
Bestrahlungskasten  
betrieben mit einer  
Multivolt-Anlage, 1927



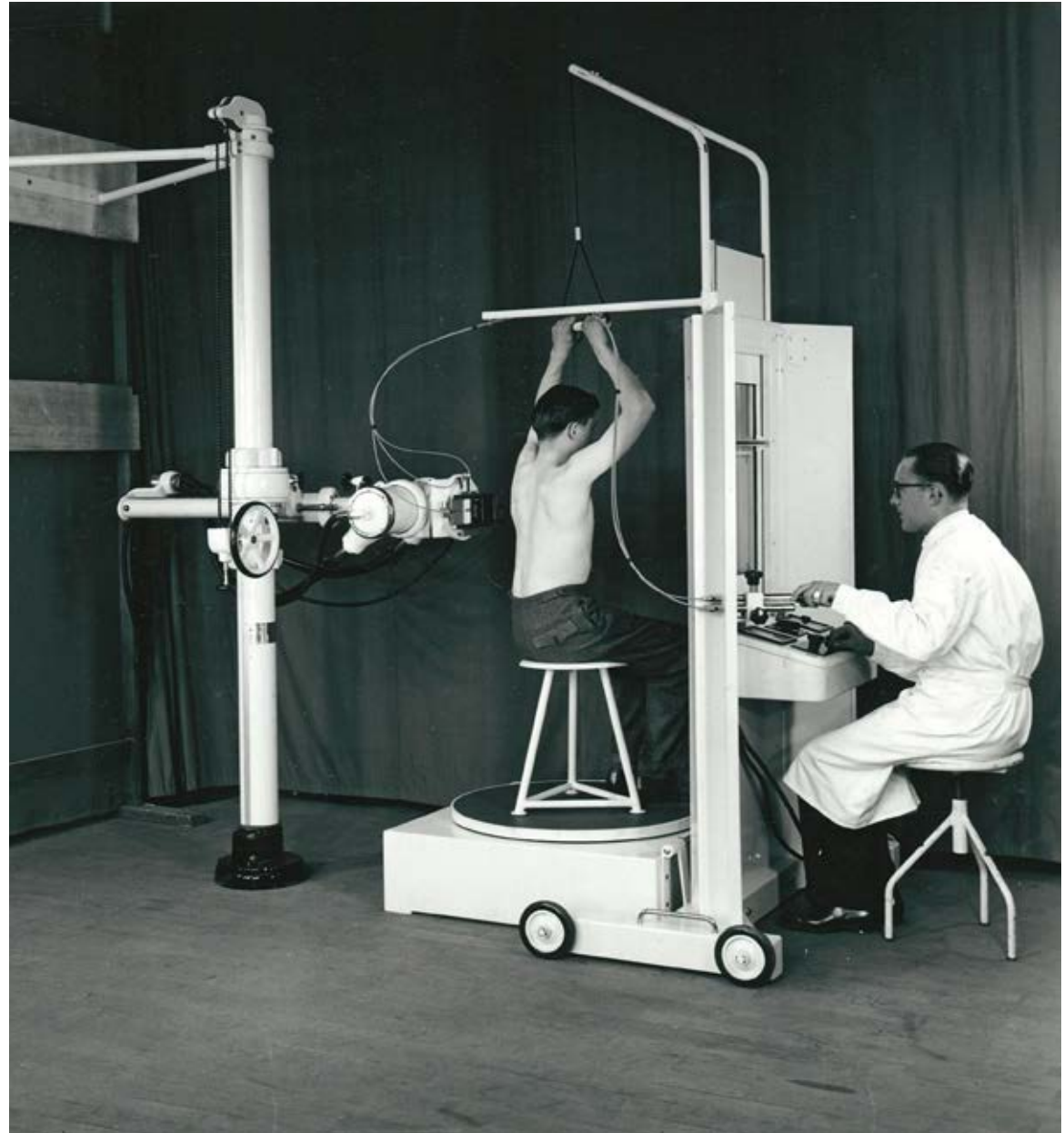


weiche Strahlung, die schädlich für die Haut ist, sind für den Dauerbetrieb ausgelegt und verkürzen die Bestrahlungszeiten. Damit können es sich auch kleinere Krankenhäuser jenseits der Universitäten leisten, Bestrahlungsabteilungen einzurichten. Die Strahlentherapie wird somit für mehr Patienten zugänglich.

In den 1920er Jahren bestätigt sich mehr und mehr, was man bereits vermutete, dass sich schnell teilende Zellen wesentlich empfindlicher auf Strahlung reagieren. Da dies vor allem auch auf Krebszellen zutrifft, ist damit eine Möglichkeit gegeben, gesunde von kranken Zellen zu unterscheiden. So geht man dazu über, statt hoher Einzeldosen, den Patienten in mehreren Sitzungen mit geringeren Dosen (Prinzip der Fraktionierung) zu behandeln, um so dem gesunden Gewebe die Möglichkeit zu geben, sich zu regenerieren. Mit gleicher Zielsetzung wird bereits Anfang des 20. Jahrhunderts die Mehrfeldbestrahlung entwickelt; der Tumor wird von verschiedenen Seiten bestrahlt, dabei konzentriert sich die Dosis im Tumor und umliegendes Gewebe wird geschont.



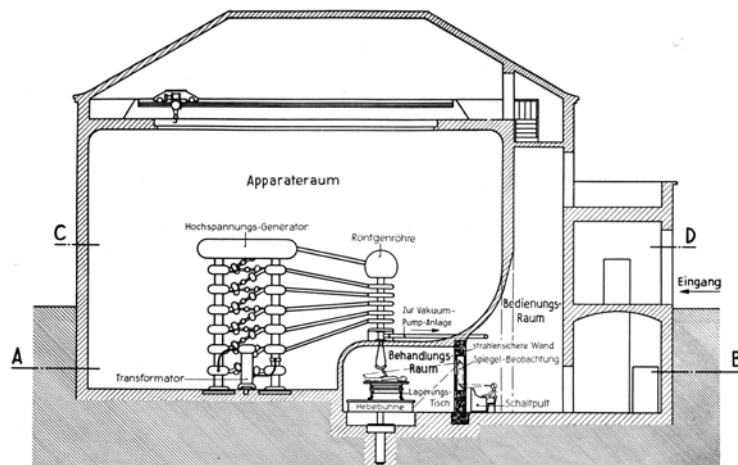
Prinzip der Rotationsbestrahlung



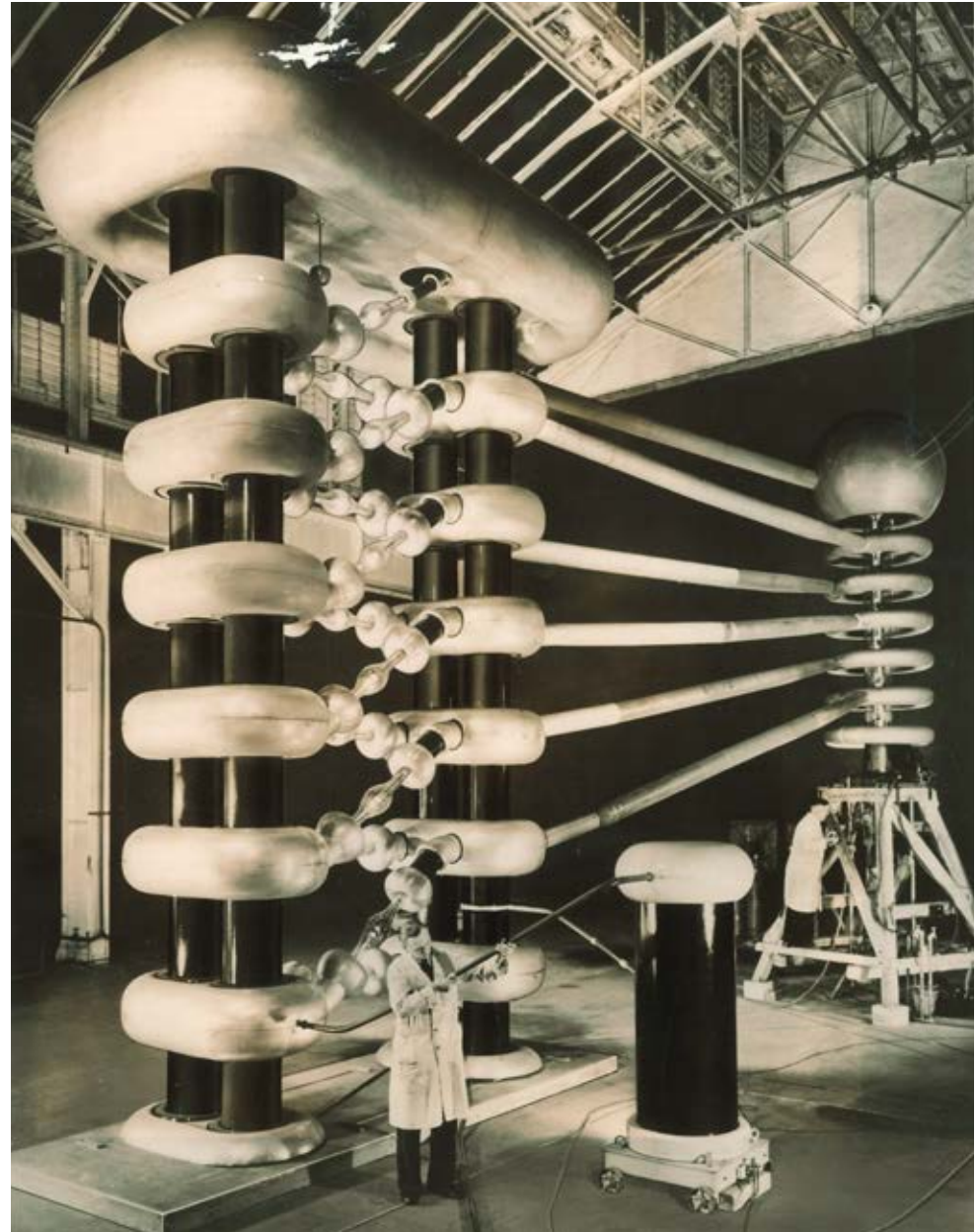
Rotationsbestrahlung, 1952

## In die Tiefe

Trotz der großen Fortschritte auf dem Gebiet der Strahlentherapie stößt man letztlich mit den herkömmlichen Röntgenapparaten Mitte der dreißiger Jahre auch an seine Grenzen. Nach wie vor ist es nicht möglich, eine genügend harte Strahlung zu erzeugen, um auch Tumoren im Körperinneren erfolgreich behandeln zu können. Um dies zu erreichen, benötigt man ultraharte Röntgenstrahlen. Dabei sind nicht nur Hochleistungsröhren notwendig, sondern diese müssen auch mit sehr hohen Spannungen betrieben werden. Die Anlagen, um solche Spannungen erzeugen zu können, sind riesig. So wird für das Krankenhaus in Hamburg-Barmbek Ende der dreißiger Jahre eine 1-Millionen-Volt Anlage gebaut. Diese monströse Maschine fordert ein eigenes Gebäude, wird jedoch angesichts des Krieges nicht in Betrieb genommen. Erfolgversprechender erweist sich schließlich ein anderer Weg.



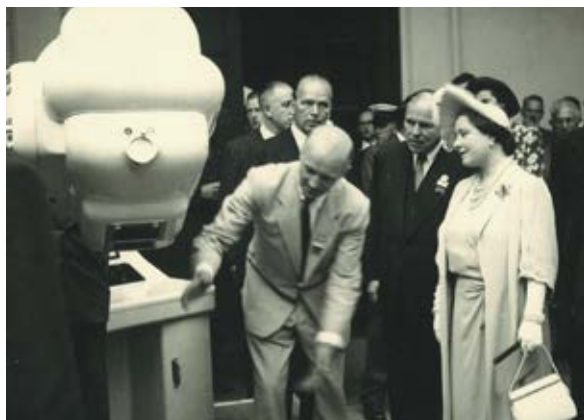
Schnittzeichnung der 1-Million-Volt-Anlage für Hamburg-Barmbek, 1939



Mitarbeiter an der 1-Million-Volt-Anlage für Hamburg-Barmbek, 1939

Seit den dreißiger Jahren experimentieren Forscher in den USA und in Deutschland mit Elektronenschleunigern. Elektronen werden mittels eines Elektromagneten auf eine Kreisbahn gelenkt und hier beschleunigt. Diese Methode erscheint hervorragend dazu geeignet, sehr harte Röntgenstrahlen zu erzeugen, indem man diese hochenergetischen Teilchen plötzlich abbremst und die freiwerdende Energie in Form von ultraharten Strahlen nutzt. Gleichzeitig kann aber auch mit den beschleunigten Elektronen bestrahlt werden. Bei den Siemens-Reiniger-Werken in Erlangen leitet dazu der Ingenieur Konrad Gund seit Anfang der vierziger Jahre die Entwicklung, die durch den Krieg verzögert wird. So wird der Kreisbeschleuniger Betatron erst 1950 auf dem Internationalen Röntgenkongress in London vorgestellt. Mit dieser Elektronenschleuder und ihren Nachfolgemodellen mit noch höherer Leistung wird es möglich, fast jeden Tumor im Körper mit ausreichender Röntgenstrahlung zu erreichen.

Zur gleichen Zeit forscht das 1948 gegründete US-amerikanische Unternehmen Varian in Kalifornien



Queen Elizabeth (Queen Mum) betrachtet das Betatron auf dem Internationalen Röntgenkongress in London, 1950

an der Umsetzung eines Konzepts, das sich schließlich als optimale Technologie für die Strahlentherapie erweisen sollte: die Erzeugung präziser und energiereicher Strahlen durch Linearbeschleuniger (kurz: LINAC, abgeleitet von den englischen Wörtern: linear accelerator). Anfang der 1950er Jahre arbeiten Varian und die Universität Stanford gemeinsam an einem knapp 70 Meter langen Linearbeschleuniger, der in der Teilchenphysik zur Erforschung von Atomen eingesetzt werden soll. Der Stanford-Professor und Radiologe Henry Kaplan wird durch diesen LINAC zu einem Vorschlag inspiriert, der die Erfindung der modernen Strahlentherapie einläutet: er will einen medizinischen Linearbeschleuniger speziell für die Krebstherapie entwickeln. 1960, nach insgesamt rund neun Jahren Entwicklung und klinischer Tests, liefert Varian die ersten Modelle des „Clinac 6“ an das UCLA (University of California Los Angeles) Medical Center und an Henry Kaplan an der Stanford University. Bei diesem medizinischen Linearbeschleuniger erreicht der von einem Klystron erzeugte Therapiestrahl mit einer Energie von 6 Millionen Volt auch sehr tief liegende Tumoren. Außerdem handelt es



Mit dem Clinac 6 revolutioniert Varian die Strahlentherapie, um 1960

sich bei dem Clinac 6 um das erste System in der Geschichte der Strahlentherapie, bei welchem sich die Strahlenquelle um 360 Grad um den Patienten drehen lässt.

Mit dem Mevatron bringt auch Siemens 1975 seinen ersten Linearbeschleuniger auf den Markt. Die Linearbeschleuniger lösen – mit zunehmender Betriebssicherheit und angesichts der größeren Strahlenausbeute und der besseren Qualität der Strahlung – in den folgenden zwei Jahrzehnten schließlich die Kreisbeschleuniger ebenso wie andere Bestrahlungsformen in der Radioonkologie, also der medizinischen Strahlentherapie, ab. Damit hat sich die Strahlentherapie endgültig neben der Chirurgie als zweite Therapiesäule etabliert.

Zur dritten Möglichkeit der Therapie von Krebs entwickelt sich in den 1950er Jahren die Chemotherapie. 1948 wird von Sidney Farber, Professor für Pathologie am Boston Children's Hospital, der Grundstein gelegt. Die ersten Versuche mit einem Medikament gegen Leukämie sind vielversprechend. Jedoch ist es noch begleitet von starken Nebenwirkungen und der Krebs kehrt nach kurzer Zeit zurück. Dennoch wird in den folgenden Jahrzehnten an immer neuen Chemotherapeutika und ihrer richtigen Dosierung und Kombination geforscht.

## Präzision

Mit dem Linearbeschleuniger kann jeder Tumor erreicht werden, egal wie tief er im Körper liegt. Mit Messungen an Modellen und Berechnungen kann man näherungsweise abschätzen, wie viel Strahlung ihr Ziel genau erreicht. Schwieriger jedoch ist es, die genaue Lage und Ausdehnung des Tumors zu bestimmen. Dies ist mit zweidimensionalen Röntgenbildern kaum möglich. Bei der Planung der





MEVATRON 6 , 1975

Bestrahlungsfelder orientiert man sich am Wissen aus Anatomielehrbüchern und den Knochen in der Umgebung des Tumors. Die Computertomographie revolutioniert die Diagnostik und eröffnet der Strahlentherapie ganz neue Möglichkeiten. Mit der genaueren Bestimmung von Lage und Ausdehnung des Tumors, kann auch die Bestrahlungsplanung auf die Daten des CTs zurückgreifen. Dazu muss der Patient bei den Bestrahlungen exakt so positioniert werden, wie zum Zeitpunkt der Aufnahme. Dies wird durch verschiedene Maßnahmen sichergestellt, wie Markierungen auf der Haut oder spezielle Bestrahlungsmasken. Nun erst kann die Bestrahlungsdosis

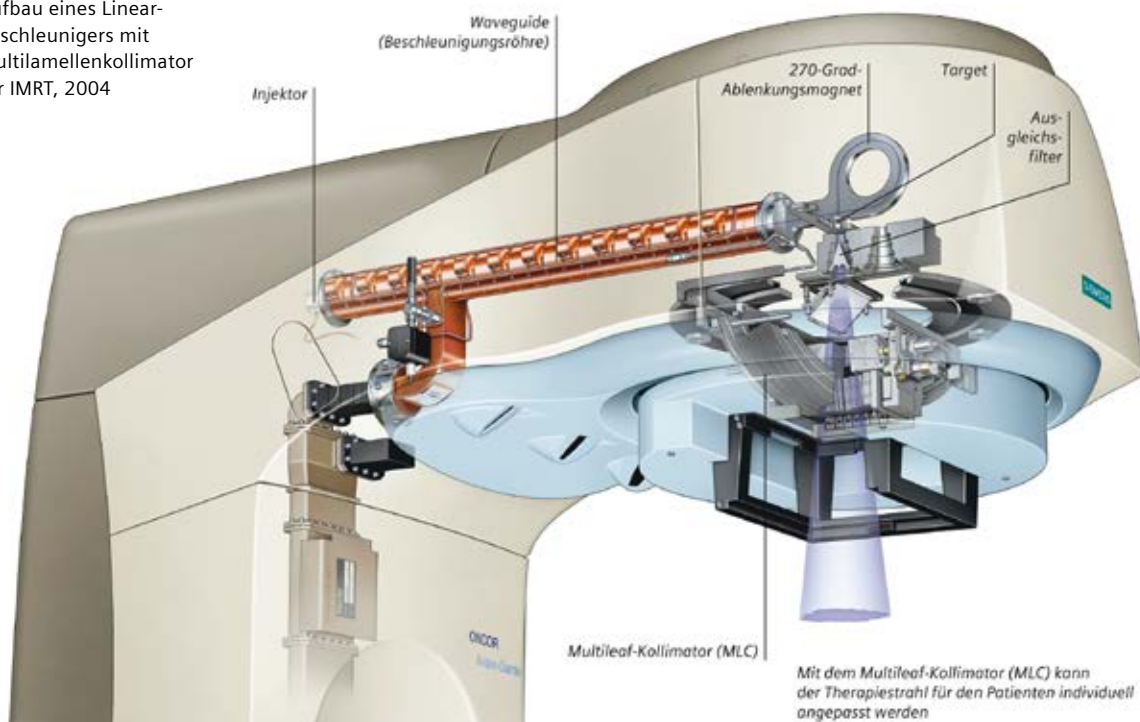
auf das Zielvolumen – heißt, den Tumor – abgestimmt und berechnet werden, kann die Grenzlinie zwischen gesundem und krankem Gewebe noch enger gezogen werden, um das gesunde Gewebe möglichst zu schonen. Aber mehr noch, mit der CT-Untersuchung kann nun individuell berechnet werden, wie sich die Strahlung im Körper jedes einzelnen Patienten genau verhält, was noch exaktere Bestrahlungsfelder und Dosisverteilungen ermöglicht. Moderne Computer und spezielle Software für Linearbeschleuniger unterstützen hier die Ärzte bei den komplexen Berechnungen.

Mit der Verfeinerung der Computertomographie und der Entwicklung der Magnetresonanztomographie (MRT) und dann vor allem der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) kann man den Tumor in all seinen Verästelungen, Ausbuchtungen und Einkerbungen sichtbar machen. Um solchen komplexen Gebilden zu Leibe zu rücken, bedarf es auch eines immer feineren Werkzeuges. In den 1990er Jahren entwickelt sich hierzu die intensitätsmodulierte Strahlentherapie (IMRT), sie ermöglicht anhand spezieller Software und eines Multilamellenkollimators (MLC) – dieser formt den Röntgenstrahl – eine fast exakte Nachformung des Tumors mit Röntgenstrahlen. Es entsteht eine Skulptur aus Röntgenlicht, zusammengesetzt aus vielen einzelnen Strahlensegmenten mit unterschiedlichen Dosisverteilungen, die der Form des tatsächlichen Tumors sehr nahe kommt und eine präzise Bestrahlung erlaubt.

Die Multilamellenkollimatoren kommen ab den 1990er Jahren zunehmend in der Strahlentherapie zum Einsatz. Während man die MLC zunächst als Zusatz zu den Linearbeschleunigern kaufen kann, ist bei der Produktreihe Clinac® EX, die Varian 1997 auf den Markt bringt, der MLC bereits fest im System integriert. Siemens nutzt ebenfalls die IMRT-Technologie und führt im gleichen Jahr den Linearbeschleuniger PRIMUS ein, von dem bereits im ersten Jahr über hundert Anlagen verkauft werden

Durch die immer präziseren bildgebenden Verfahren, ist eine immer genauere Fokussierung auf den Tumor möglich. Dadurch ist es jedoch, umso wichtiger, die Positionierung des Patienten bei bzw. unmittelbar vor der Bestrahlung zu kontrollieren. Um dies zu gewährleisten, werden Hybrid-Systeme entwickelt, die Linearbeschleuniger und CT-Scanner miteinander kombinieren. Das Siemens PRIMATOM-System ist ab 2002 eines der ersten Hybridsysteme auf dem Markt.

Aufbau eines Linearbeschleunigers mit Multilamellenkollimator für IMRT, 2004



Die bildgeführte Strahlentherapie (IGRT) entwickelt sich zum neuen Standard. Varian führt mit dem Dynamic Targeting™ IGRT bei seinen Systemen ebenfalls ein Verfahren zur bildgesteuerten Strahlentherapie ein. Da sich der Tumor und seine Umgebung aber auch während der Bestrahlungen ändert, braucht es Systeme, die eine sofortige Kontrolle und nötigenfalls Dosisanpassung während der Behandlung ermöglichen. Das TrueBeam® System von Varian aus dem Jahr 2010 setzt in dieser Hinsicht Maßstäbe. Es beinhaltet zahlreiche technische Neuerungen wie die dynamische Synchronisierung von Bildgebung, Patientenpositionierung und Bestrahlung.

Die Entwicklung im Bereich der Strahlentherapie wird maßgeblich von Varian vorangetrieben, einem Unternehmen, das seit 2021 Teil von Siemens Healthineers ist. Das neueste Strahlentherapiesystem Halcyon™ vereinfacht und verbessert viele Abläufe der bildgeführten intensitätsmodulierten Strahlentherapie. Dieses System soll hochwertige Krebsbehandlungen weltweit einfacher verfügbar machen.

Höhepunkt im Ringen um Präzision bei Bestrahlungen ist aber schließlich die Entwicklung der Partikeltherapie. In Zusammenarbeit mit der Gesellschaft für Schwerionenforschung wurde an der Universität Heidelberg ab 2001 die erste Anlage in Deutschland geplant und von 2004 bis 2009 gebaut. Sie wird für Forschungszwecke und für die Behandlungen von Patienten im Rahmen klinischer Studien betrieben. Zur Behandlung kommen Patienten mit speziellen schwer behandelbaren Tumoren infrage. Zum Beispiel weil die Tumoren unempfindlich auf herkömmliche Röntgenstrahlung reagieren oder aber von extrem strahlenempfindlichem Gewebe umgeben sind. Bei der Partikeltherapie werden keine Elektronen, sondern Protonen- oder Schwerionen-Teilchen in einem Beschleuniger – freilich um ein Vielfaches größer als der Ring eines Betatrons – bis auf 75 Prozent der



Lichtgeschwindigkeit gebracht. Der große Vorteil bei der Bestrahlung mit diesen Teilchen ist ihr sogenanntes inverses Bestrahlungsprofil. Das bedeutet, sie geben ihre Energie erst in der Tiefe des Körpers ab und entfalten gezielt im Tumor zerstörende





Gantry im Heidelberger  
Ionenstrahl-Zentrum, 2012

Quelle: Universitätsklinikum Heidelberg

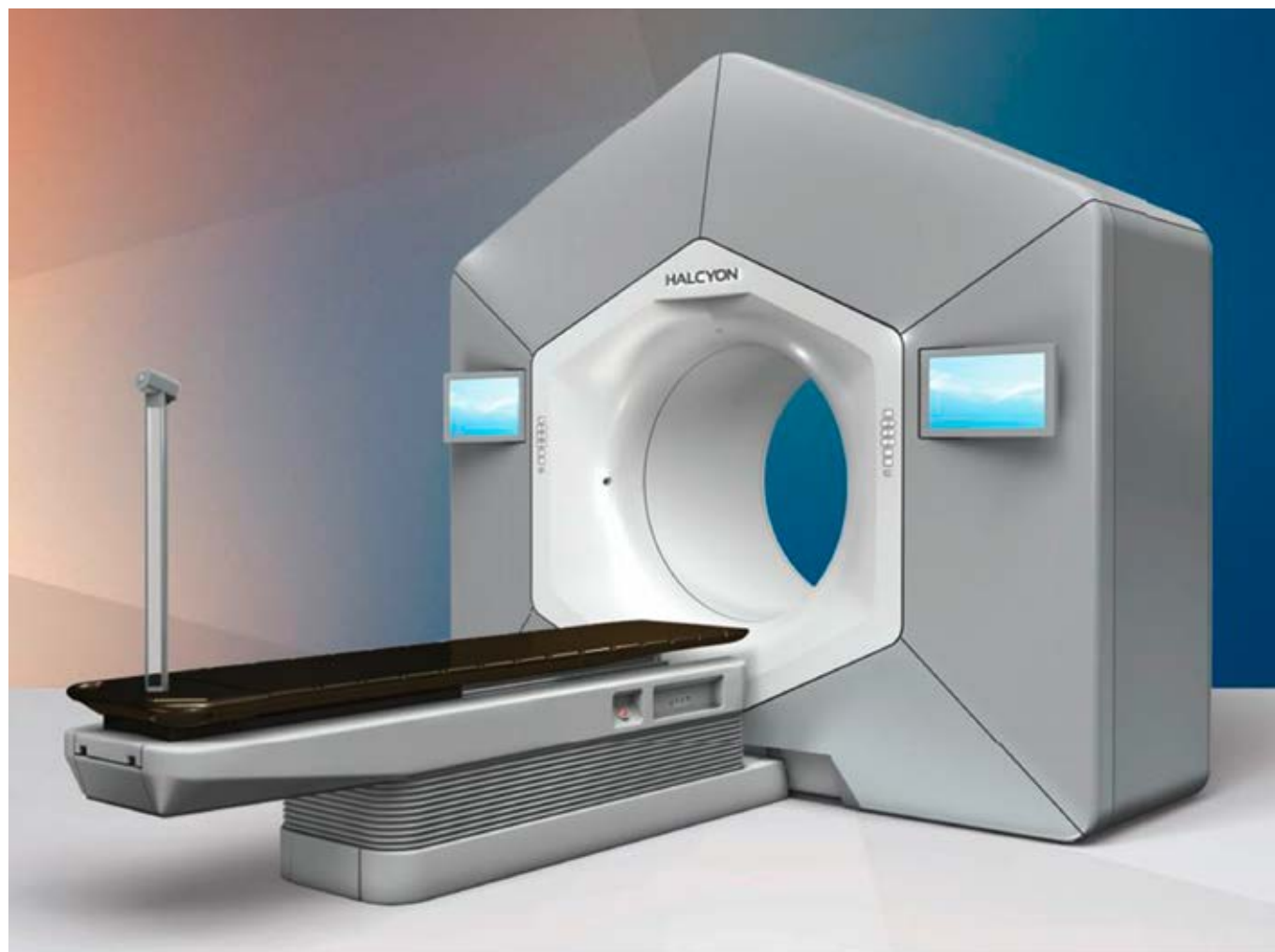
Behandlungsraum ProBeam 360, 2021



Wirkung. Gerade bei schwierig gelagerten Tumoren eröffnet diese Therapieform neue Chancen. Die technischen Herausforderungen sind dabei aber immens. Die gesamte Anlage in Heidelberg umfasst über 5.000 Quadratmeter, allein die Gantry zur Steuerung des Ionenstrahls wiegt 670 Tonnen. Der vernichtende Strahl erreicht dabei sein nur wenige Millimeter großes Ziel mit der Sicherheit von höchstens einem Millimeter Abweichung. Eine Form der Partikeltherapie ist die Protonentherapie. Varian installiert sein erstes Komplettsystem ProBeam™ für Protonentherapie am Scripps Proton Therapy Center in San Diego im Jahr 2014.

## Vorsorge und Risiko

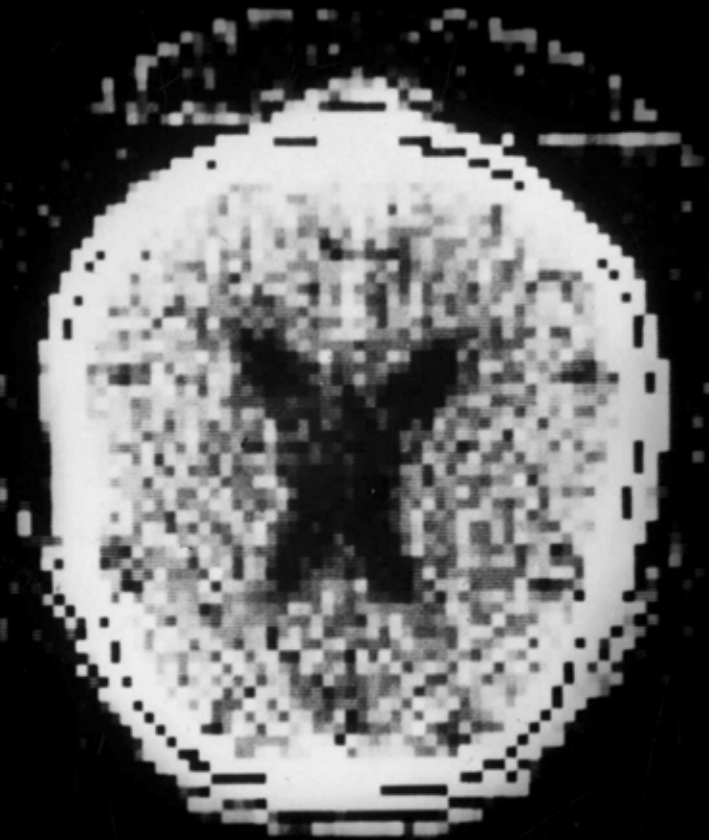
Trotz dieser Entwicklungen sind die Erfolgsaussichten Krebs zu heilen, dann am besten, wenn er früh erkannt wird. Deswegen kommen Vorsorgeuntersuchungen und Screenings hier eine besondere Bedeutung zu. So wird die regelmäßige Darmkrebsvorsorge ab dem 50. Lebensjahr, die Hautkrebsvorsorge bereits ab dem 35. Lebensjahr in Deutschland empfohlen. Als Screening-Programm hat sich mittlerweile vor allem die Mammographie für Frauen zwischen 50 bis 70 Jahren etabliert. Hier bietet Siemens Healthineers mit der Mammomat-Familie seit 1972 die passenden Röntgensysteme. Für eine der häufigsten Krebsarten, den Lungenkrebs, ist ein Screening-Programm mit einer gering dosierten CT-Untersuchung im Gespräch. Eine Studie aus den USA konnte zum Beispiel dazu nachweisen, dass bei Risikopatienten die Sterblichkeit durch Lungenkrebs um 20 Prozent gesenkt werden konnte. Wie in der Medizin generell, werden auch in der Onkologie Therapien zunehmend personalisiert. So kann man mehr und mehr ermitteln, welche Patienten ein Risiko haben, an bestimmten Krebsarten zu erkranken oder welche Medikamente individuell besser wirken.



Strahlentherapiesystem Halcyon™, 2017

In Zukunft werden Daten aus dem Labor kombiniert mit den Daten aus der Bildgebung eine immer präziser auf den jeweiligen Patienten abgestimmte Therapie und eine ständige Kontrolle des Therapieerfolges ermöglichen.

Zwischen 1974 und 1983 ist die Qualität der Gehirnaufnahmen enorm gestiegen



# Monsieur Tan und das menschliche Gehirn

## Die Neuroradiologie – vor und nach der Erfindung der Computertomographie

Das menschliche Gehirn besteht aus Wasser und Erde – vermutet der griechische Philosoph und Naturforscher Aristoteles, als er sich vor rund 2.400 Jahren Gedanken über die rätselhaften Organe und Körperteile der Menschen macht. Die etwa 1,4 Kiloschwere, gliedrige Masse in unserem Kopf habe nur eine einzige Aufgabe: das heiße Blut aus unseren Herzen zu kühlen. Seine Schlüsse zieht Aristoteles unter anderem aus der Beobachtung, dass das Gehirn der „kälteste“ und „blutloseste“ Körperteil sei. Zudem bedeute eine Verletzung des Herzens den sofortigen Tod, während ein geschädigtes Gehirn oft weniger gravierende Folgen habe und sogar heilen könne. Der griechische Arzt Galenos von Pergamon, deutsch Galen, widerspricht Aristoteles etwa 500 Jahre später. Galen untersucht Hunde und Schafe, ohne eine Kühlfunktion des Gehirns zu finden. Er überträgt seine zahlreichen Beobachtungen an Tieren auf den Menschen und bekommt die Gelegenheit, verwundete römische Gladiatoren zu untersuchen. Galen studiert, wie sich Hiebe und Schnitte auf das Gehirn der Gladiatoren auswirken, erkennt die feinen Blutgefäße des Gehirns und beschreibt – allerdings nicht korrekt – erstmals das zentrale Nervensystem. Die Nerven seien hohl wie ein Kanalsystem, so dass der luftige Lebensgeist fließen und all unsere körperlichen und geistigen Funktionen steuern könne. Galens Theorie wird zum Dogma und bleibt rund 1.700 Jahre lang nahezu unverändert die gängige Lehrmeinung.

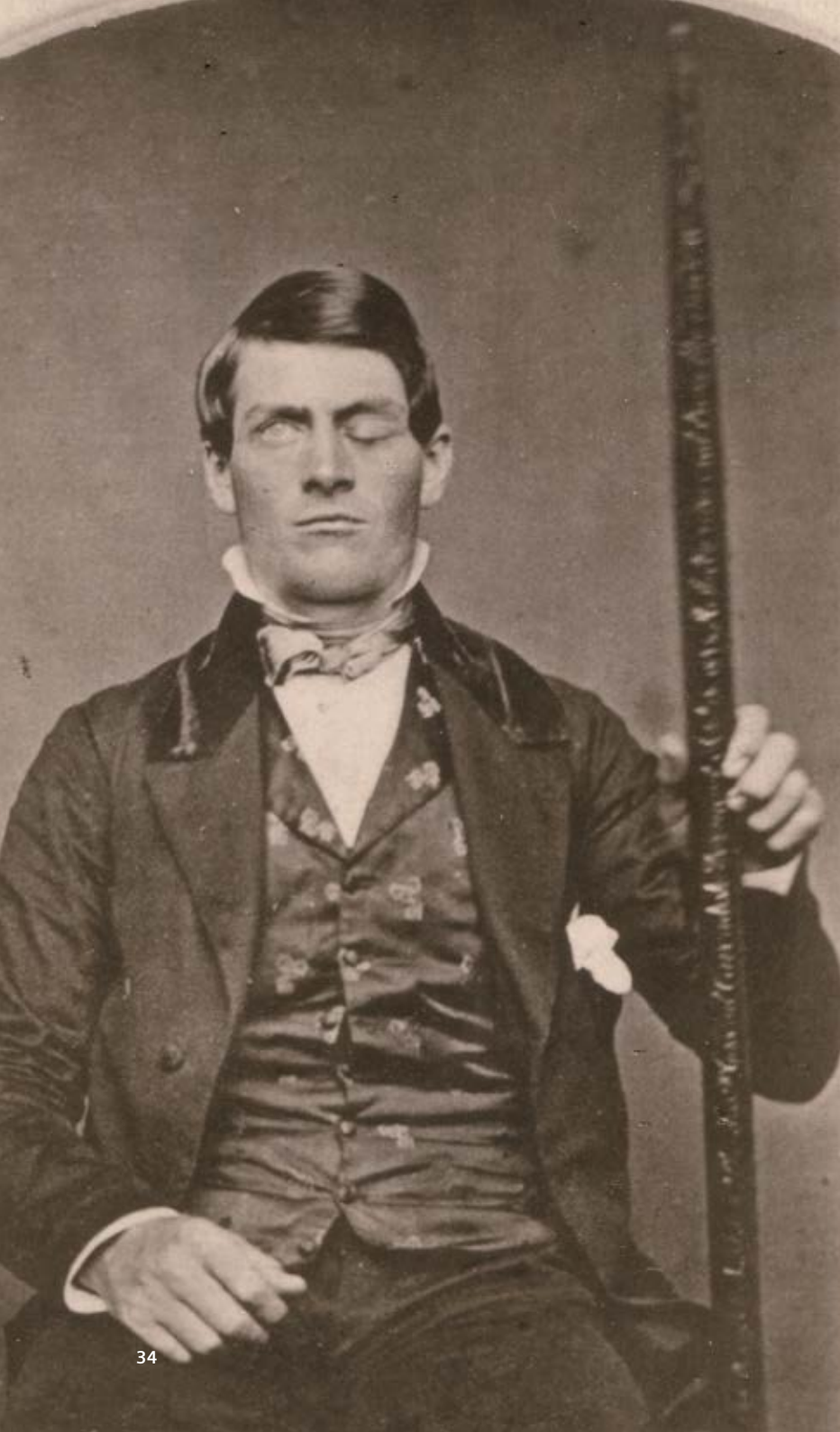
Die Geschichte der modernen Neurologie beginnt Mitte des 19. Jahrhunderts. Zu dieser Zeit – also wenige Jahrzehnte vor der Entdeckung der Röntgenstrahlen im Jahre 1895 – haben die Mediziner noch keine technische Möglichkeit, in die Köpfe lebender Menschen hineinzublicken. Manchmal jedoch lässt sich von den Symptomen der Patienten und der späteren Obduktion darauf schließen, wie bestimmte Veränderungen und Verletzungen des Nervensystems mit den Leiden zusammenhängen. Die beiden folgenden Beispiele für diese Zusammenhänge gehören zu den denkwürdigsten Fällen in der Geschichte der Medizin: der erste, „Monsieur Tan“, weil er zur Entdeckung eines wichtigen Teils des Sprachzentrums im Gehirn geführt hat; der zweite, der Unfall des Phineas Gage, weil er auf spektakuläre Weise zeigt, wie die Funktion unseres Gehirns unseren Charakter und sogar unsere Moral beeinflusst.

### „Tan-tan“

Als Louis Victor Leborgne 1840 im Alter von 30 Jahren in ein Pariser Krankenhaus eingeliefert wird, ist er geistesgegenwärtig und bei klarem Verstand. Leborgne scheint alle Fragen der Ärzte zu verstehen; zur Antwort gibt er jedoch stets nur eine Silbe – „tan“ – die er rhythmisch und gestenreich wiederholt, meist doppelt und in unterschiedlichen Tonlagen. Der Fall des „Monsieur Tan“, wie Leborgne bald im ganzen Krankenhaus genannt wird, spricht sich schnell

herum – doch niemand kann ihm helfen. 21 Jahre später, die Ursache der Sprachstörung ist noch immer ungeklärt, stirbt Louis Victor Leborgne an einer anderen Krankheit. Sein behandelnder Arzt, Pierre Paul Broca, obduziert Leborgne und entdeckt im vorderen Teil der linken Gehirnhälfte eine Veränderung der Gehirnstruktur. Broca schließt daraus, dass dieser Teil des Gehirns für die Fähigkeit zu sprechen essenziell sein müsse.

Diese Region in der Großhirnrinde ist, wie wir heute dank der modernen bildgebenden Verfahren wissen, tatsächlich ein wichtiges Areal des Sprachzentrums. Unter anderem ist dieser Teil des Gehirns – das sogenannte Broca-Areal – zuständig für die Sprachmotorik, die Lautbildung und die Grammatik. Durch die Krankengeschichte des „Monsieur Tan“ ist der Zusammenhang zwischen einer Sprachstörung und einer Gewebeschädigung im linken Stirnlappen erstmals nachgewiesen. Dass auch andere Gehirnregionen bestimmte Funktionen steuern, offenbart die beinahe unglaubliche Geschichte eines amerikanischen Eisenbahn-Arbeiters, der auf wundersame Weise einen Sprengstoffunfall überlebt – mit unerwarteten Konsequenzen für seine Freunde und Kollegen.



## „Doktor, hier gibt es ordentlich was zu tun für Sie.“

Am 13. September 1848 soll der 25-jährige Vorarbeiter Phineas Gage beim Bau einer neuen Eisenbahnstrecke im US-Bundesstaat Vermont einige Felsen sprengen. Sein Assistent bohrt Löcher in das Gestein, befüllt sie mit Schießpulver und bedeckt das Pulver mit Sand, damit es sich nicht ungewollt entzündet. Phineas Gage schlägt dieses Gemisch mit seinem schweren, mehr als einen Meter langen und drei Zentimeter dicken Stopfeisen tiefer in die Felsen. Eigentlich Routine. Doch am späten Nachmittag zieht irgendetwas Gages Blick auf sich. Als er sich wieder umdreht, schlägt er – noch bevor sein Assistent Sand auf das Schießpulver schütten kann – erneut in ein Bohrloch. Das Pulver explodiert, das sechs Kilo schwere Stopfeisen schießt in Gages linke Wange, durchquert Auge, Frontalhirn und Schädeldecke und landet rund 25 Meter hinter ihm auf dem steinigen Boden. Phineas Gage ist einige Minuten bewusstlos, dann steht er auf und lässt sich auf einem Ochsenkarren in sein Hotel fahren. Er setzt sich auf der Veranda in einen Stuhl, wartet knapp 30 Minuten lang auf seinen Arzt und begrüßt ihn mit den Worten: „Doktor, hier gibt es ordentlich was zu tun für Sie.“

Phineas Gage verliert bei diesem Unfall sein linkes Auge, sein Frontalhirn ist praktisch nicht mehr vorhanden – doch bereits wenige Monate später scheint er wieder vollkommen gesund zu sein. Er kann sprechen und intellektuelle Aufgaben lösen wie vor dem Unfall, sein Gedächtnis funktioniert und auch seine Bewegungen lassen keinerlei Einschränkungen erkennen. Allerdings stellen seine Freunde und Kollegen schon bald fest: Gage ist „nicht mehr Gage“. Aus dem freundlichen, gewissenhaften und fleißigen Mann ist ein kindischer, vulgärer, zu Wutausbrüchen neigender, völlig unzuverlässiger Zeitgenosse geworden. Die Zerstörung seines Frontalhirns hat seinen Charakter von Grund auf verändert. Phineas Gages Symptome – heute fallen sie unter die Bezeichnung Frontalhirnsyndrom – lassen die Neurologen dieser Tage darauf schließen, dass die vorderen Teile des Stirnhirns unter anderem an der Impulskontrolle und an der Verhaltensplanung beteiligt sein müssen. Fälle wie Gage und „Monsieur Tan“ sind lange Zeit die einzige Möglichkeit, das Gehirn und seine Funktionen ein wenig besser zu verstehen – und daran sollte auch die Entdeckung der Röntgenstrahlen zunächst nichts ändern. Denn die Röntgenpioniere stehen vor einem scheinbar unüberwindbaren Problem: Das weiche, geleeartige Gehirn lässt sich auch mit X-Strahlen nicht ohne weiteres sichtbar machen.

Phineas Gage mit dem Stopfeisen, das im September 1848 seinen Kopf durchquert hat und 25 Meter hinter ihm gelandet ist





Quelle: Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen, Band 2, 1898/1899

Zwei Röntgenaufnahmen aus dem Jahre 1898, mit denen der Sitz einer Kugel im Kopf eines Patienten möglichst genau bestimmt werden soll

## X-Strahlen und ein Stück Ziegenleder

Wilhelm Conrad Röntgen entdeckt die X-Strahlen, wie er die unbekannte Art von Strahlen nennt, am 8. November 1895. Ab Mitte Januar entstehen rund um den Globus unzählige Aufnahmen von lebenden Händen, auf denen die Knochen bereits relativ scharf und ihre Strukturen deutlich zu erkennen sind. Zur gleichen Zeit arbeiten erste Mediziner daran, auch Organe wie den Magen und den Darm mithilfe der Röntgenstrahlen sichtbar zu machen. Mit einer Aufnahmezeit von einer Stunde entstehen erste Abbildungen des Schädels, auf denen sich beispielsweise nach einer Schussverletzung grob einschätzen lässt, wo im Inneren des Kopfes die Kugel steckt.

Einer der ersten Neurologen, der über solche Schädelaufnahmen berichtet, hält es jedoch für „sehr wahrscheinlich, dass hier die Methode ihr Ende haben wird.“

Auch zwei Jahrzehnte und etwa 200 versuchte Methoden später ist noch keine geeignete Technik gefunden, mit der sich Fremdkörper im Gehirn genau lokalisieren lassen. „Die Aufnahmen des Schädels bilden einen Teil der Röntgenographie, welcher zu den schwierigsten gehört“, schreibt der Röntgenpionier Heinrich Albers-Schönberg im Jahre 1913. Die Knochen des menschlichen Kopfes seien zu dick, um die Röntgenstrahlen in genügender Menge

durchzulassen. Dennoch „halte ich es durchaus nicht für unmöglich, dass wir bei einer besser ausgebildeten Technik im Laufe der Zeit dahin kommen werden, dass das Röntgenverfahren in der Lokalisation der Tumoren eine Rolle spielt.“ Bei der Suche nach geeigneten Verfahren sollen die Patienten so gut wie möglich geschützt werden, die Röntgenaufnahmen des Kopfes dauern zu dieser Zeit noch immer mehrere Minuten. „Um namentlich bei wiederholten Aufnahmen einem eventuellen Haarausfall vorzubeugen“, erklärt Albers-Schönberg seinen Studenten, „lege ich zwischen Kopf und Röntgengerät ein Stück Ziegenleder. Dies beeinträchtigt das Bild nicht und gibt genügend Schutz.“

## Luft im Kopf

Josef Rosenthal, der 1896 die Entwicklung der ersten medizinischen Röntgenröhre in der Geschichte von Siemens Healthineers geleitet hat, berichtet 1918 im *Lehrbuch der Röntgenkunde* von zunehmend erfolgreichen Diagnosen der Neurologen. Unter anderem sei bei einem 35-jährigen Mann als Ursache für seine Epilepsie eine in der Knochenhaut des Schädels steckende Nähnadel gefunden worden. Im Kopf eines anderen Patienten, der bis zur Röntgenuntersuchung als Simulant gegolten habe, sei es gelungen, ein Stück einer Messerklinge als Auslöser für seine Beschwerden nachzuweisen. Bei Verletzungen des Rückenmarks sind die Röntgenstrahlen bereits zu dieser Zeit „ein ganz außerordentlich wertvolles, nahezu unentbehrliches Hilfsmittel“ für die Neurologen. Mithilfe der Röntgenbilder „konnte manchem Unfallverletzten, dem niemand seine Beschwerden geglaubt hatte, zu seinem Recht verholfen werden.“

Selbst einige Gehirntumoren lassen sich in der Zeit um 1920 bereits aufspüren, jedoch hauptsächlich mit zwei verschiedenen, für den Patienten entweder wenig hilfreichen oder sehr schmerzhaften Methoden: Mit der ersten Methode können zu einem sehr späten Zeitpunkt des Krankheitsverlaufs, wenn der Tumor bereits so groß ist, dass der Druck im Kopf das Schädelinnere verformt, die dadurch entstehenden Dellen auf dem Röntgenbild sichtbar gemacht werden. Die zweite Methode, die sogenannte Pneumoenzephalographie, ist, wie der Radiologe J. W. Pierson 1925 erklärt, „gefährlich und kompliziert.“ Dabei wird dem Patienten an der Lendenwirbelsäule Gehirn-Rückenmark-Flüssigkeit – umgangssprachlich Gehirnwasser – entnommen und im gleichen Maße durch Luft, Gas oder Jodöl ersetzt. Auf der anschließenden Röntgenaufnahme hebt sich die Luft relativ deutlich vom Gehirngewebe ab. So lassen sich neben



Quelle: Max Cohn, Atlas der Röntgenstereoskopie, 1931

Darstellung der Hohlräume  
im Gehirn mithilfe von Jodöl, 1931

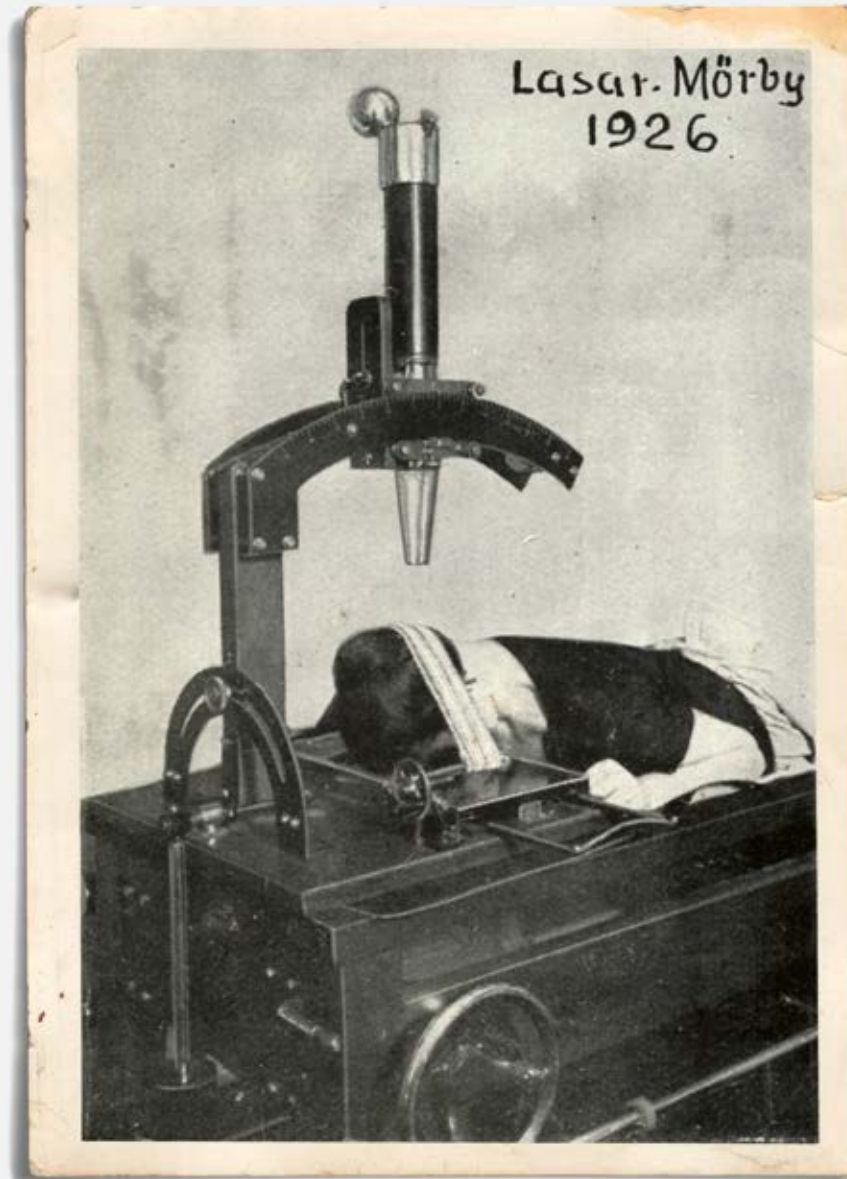
Tumoren beispielweise Schwellungen, unter bestimmten Voraussetzungen sogar Gehirnblutungen sichtbar machen und beurteilen. Die Nebenwirkungen sind jedoch beträchtlich. Abgesehen von tagelangem Erbrechen und schweren Kopfschmerzen kann es nach der Pneumoenzephalographie zu Krampf-

anfällen oder gar Gehirnentzündungen kommen. „Für sie spricht aber“, schließt J. W. Pierson, „dass sie in kompetenten Händen nicht im Entferntesten so gefährlich sein sollte wie eine neurochirurgische Öffnung des Schädels.“

## Im Orbit des Gehirns

Die Pneumoencephalographie bleibt trotz der schmerzhaften Prozedur und der vielen Nebenwirkungen noch mehrere Jahrzehnte das wichtigste Hilfsmittel bei der Lokalisierung von Gehirntumoren. Einer ihrer versiertesten Anwender, der schwedische Neuroradiologe Erik Lysholm, arbeitet als Professor für Neuroradiologie am Karolinska-Institut in Stockholm auch an der Darstellung von Gehirn-erkrankungen mithilfe von Röntgenkontrastmitteln. Lysholm entwickelt ab Mitte der 1920er Jahre zusammen mit der Firma Elema-Schönander – die später unter dem Namen Siemens-Eléma die Geschichte von Siemens Healthineers um zahlreiche Erfindungen bereichern wird – das sogenannte Lysholm-Schädelgerät. Nicht zuletzt wegen der Entwicklung dieses Apparats gilt Erik Lysholm heute als Begründer der Präzisionsneuroradiologie. Das Schädelaufnahmegerät wird innerhalb kurzer Zeit weltberühmt, bleibt jahrzehntelang Standard bei schwierigen Gehirnuntersuchungen und dient als Grundlage vieler weiterer Entwicklungen. Der Qualitätssprung im Vergleich zu älteren Aufnahmeverfahren ist gewaltig – aus heutiger Sicht hat das Gerät jedoch eine bedeutende Schwachstelle: die Güte des Ergebnisbildes hängt davon ab, wie sich der Patient während der Untersuchung verhält.

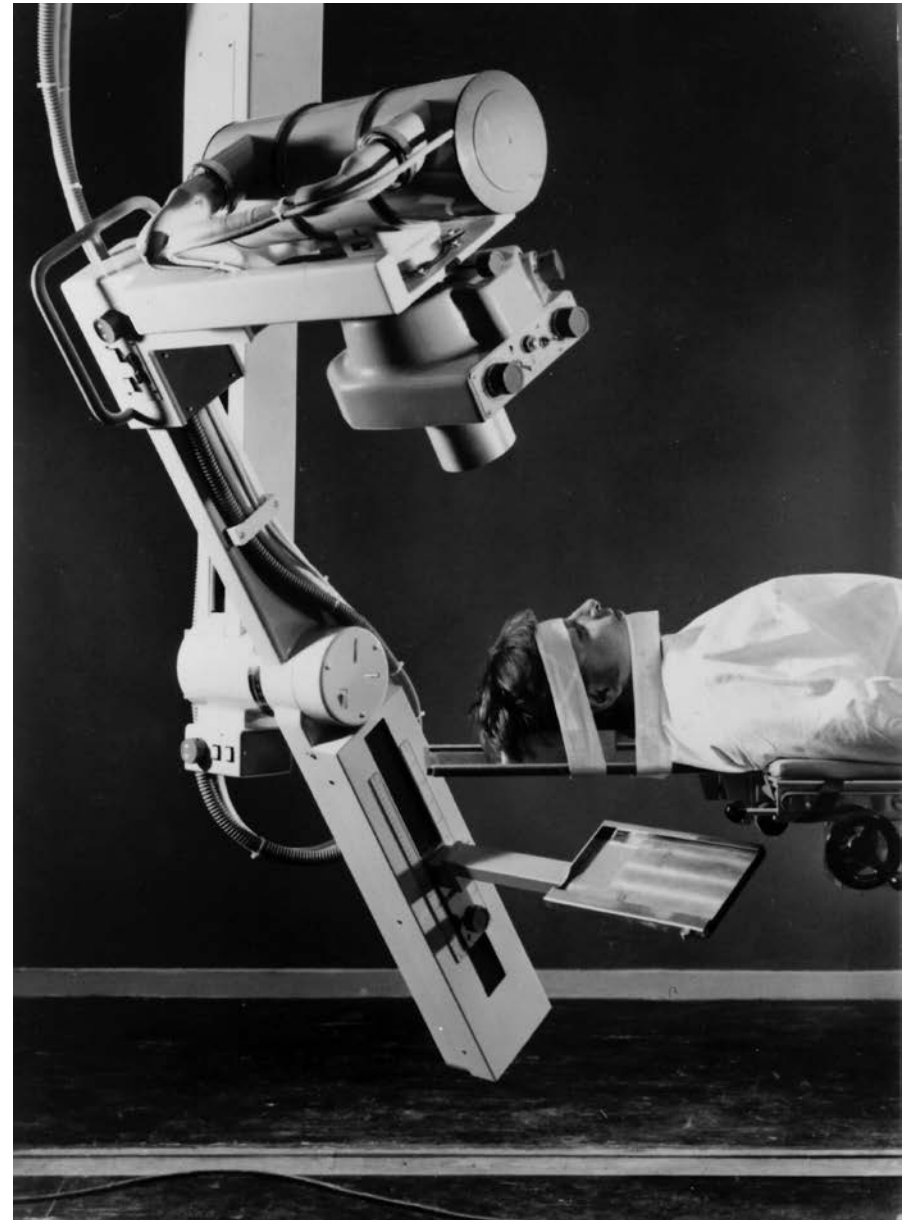
Bei allen bis Ende der 1960er Jahre entwickelten neuroradiologischen Röntgengeräten, die auf die Aufnahmetechnik des Lysholm-Schädelgeräts bauen, muss der Kopf des Patienten so nah wie möglich an den Röntgenfilm herangebracht werden. Während der Untersuchung nimmt der Patient dazu mitunter ziemlich unbequeme Körperhaltungen ein. Beispielsweise sind bestimmte seitliche Aufnahmen nur möglich, wenn er die Halswirbelsäule extrem dreht und sich dabei selbst mit der Hand abstützt; andere setzen voraus, dass er den Kopf so weit wie möglich



Das erste Modell des Lysholm-Schädelgeräts ist die Grundlage zahlreicher weiterer Entwicklungen



Untersuchung mit einem Lysholm-Schädelgerät im Jahre 1956

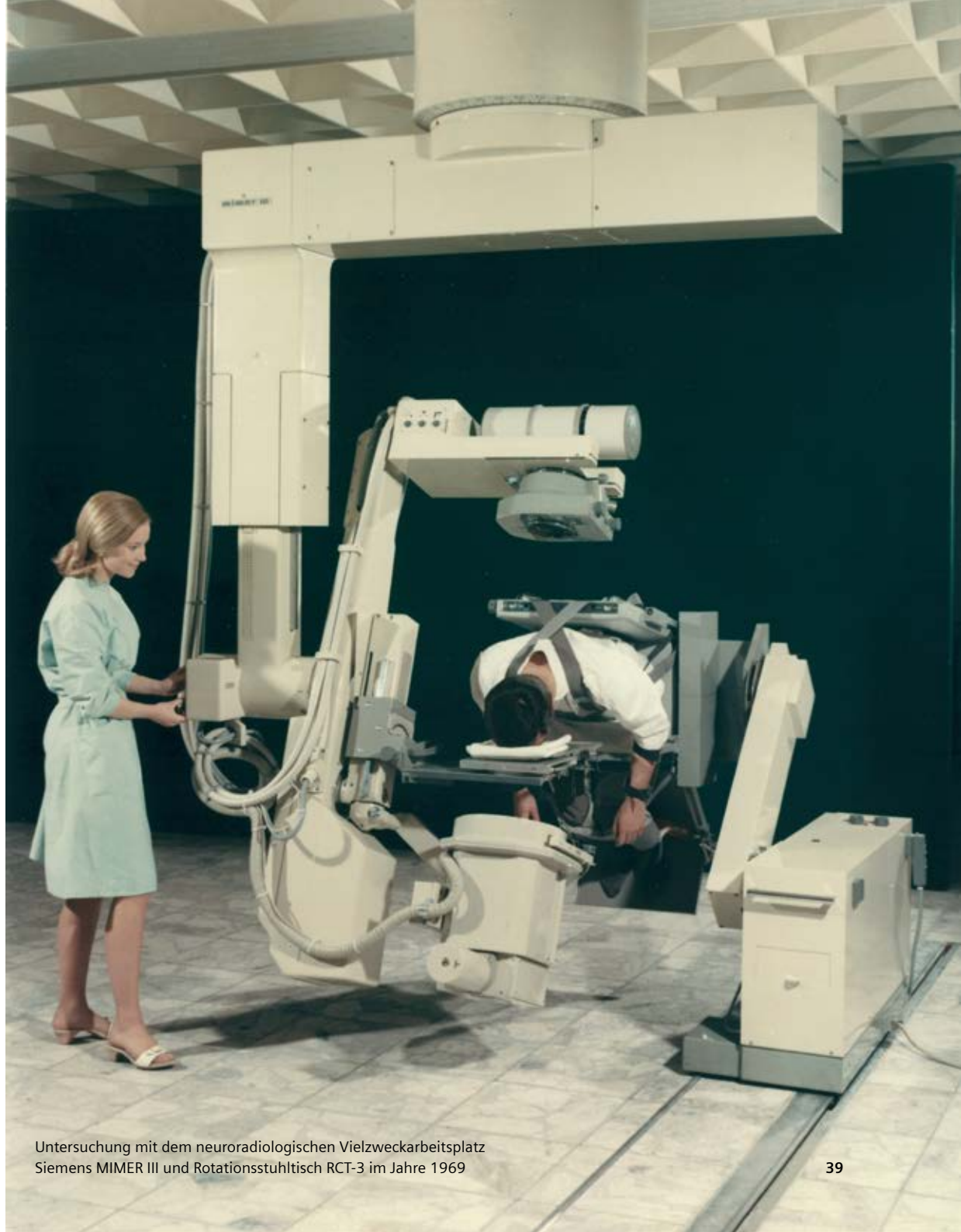


Der an der Decke montierte Arm des Orbix lässt sich frei um den Kopf des Patienten bewegen



nach hinten beugt. Patienten mit bestimmten Krankheiten und viele Kinder sind damit von der Untersuchung ausgeschlossen. Erst mit den von Grund auf neuentwickelten Röntgengeräten der frühen 1970er Jahre werden die Aufnahmen deutlich komfortabler. Beim Siemens Orbix – entwickelt unter anderem in Zusammenarbeit von Siemens-Elema mit Erik Lindgren, dem Nachfolger von Erik Lysholm in Stockholm – liegt der Patient bei jeder Untersuchung auf dem Rücken. Der an der Decke montierte Arm lässt sich frei um 360 Grad um den Patienten drehen. Der Kopf ruht bequem auf einer Stütze, der Nacken liegt stabil auf einer Schaumstoffunterlage. Heute sind solche Komfortvorrichtungen eine Selbstverständlichkeit, im Jahre 1970 zählen sie zu den Innovationen.

Zwar ist die Pneumoencephalographie Anfang der 1970er Jahre noch immer das wichtigste Hilfsmittel zur Lokalisation von Gehirntumoren; die Röntgengeräte sind jedoch mittlerweile auf einem bemerkenswert hohen technischen Niveau. Mit dem sogenannten neuroradiologischen Vielzweckarbeitsplatz Siemens MIMER III inklusive Rotationsstuhltisch RCT-3, zum Beispiel, laufen die viele Aufnahmen zur Pneumoencephalographie automatisch ab, ohne dass das Personal eingreifen muss, das Innere von Gefäßen lässt sich als Angiographie darstellen und auch zur Myelographie (das ist die Abbildung der Wirbelsäule mithilfe von Kontrastmitteln) lässt sich der MIMER III einrichten. Der Radiologe stellt das Röntgengerät nun nicht mehr, wie früher, grob nach Auge und mit einer Kurbel ein, sondern wesentlich genauer per Lichtkreuz und mithilfe von Elektromotoren. Die ausgereiften Spezialfunktionen zur Pneumoencephalographie im MIMER III entwickelt Siemens nicht weiter – denn eine völlig neuartige, unerwartete Erfindung sollte die schmerzhafte Prozedur bald überflüssig machen: die Computertomographie.



Untersuchung mit dem neuroradiologischen Vielzweckarbeitsplatz Siemens MIMER III und Rotationsstuhltisch RCT-3 im Jahre 1969



## Das Gehirn in Scheiben

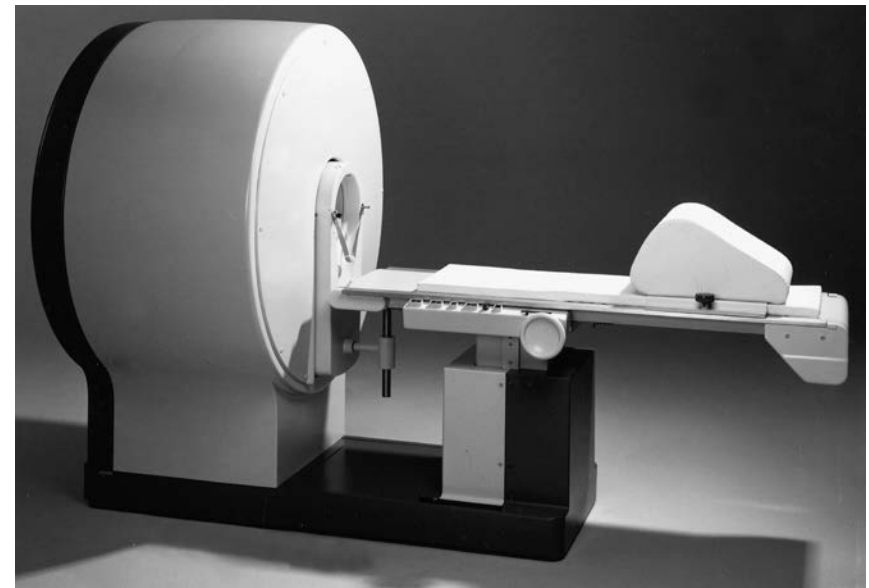
Die Computertomographie (CT) macht nicht nur die Pneumoencephalographie überflüssig, sie entfernt auch eine Einschränkung der bisherigen Röntgengeräte, die den Neurologen bis dahin die Diagnose erschwert hat: Apparate wie das Lysholm-Schädelgerät oder der Orbix nehmen den Patienten aus einer Richtung auf. Dabei entstehen zweidimensionale Röntgenbilder, auf denen Gehirn und Nerven so abgebildet sind, wie das Röntgengerät sie aus eben jener Richtung „sieht“. Auf solchen zweidimensionalen Röntgenbildern lässt sich beispielsweise nur schwer erkennen, ob ein Tumor im hinteren oder im vorderen Teil des Gehirns liegt, wie groß die Geschwulst ist und wie sie sich im Laufe der Therapie verändert. Zudem wird das Innere des Körpers auf herkömmlichen Röntgenbildern überlagert dargestellt, das heißt, Abbildungen des Gehirns sind von den Schädelknochen beeinflusst. Tomographie-Systeme hingegen erzeugen überlagerungsfreie Schnittbilder, als wären einzelne Schichten – wie die Scheiben eines Brotes – aus dem Körper entnommen. In den frühen 1970er Jahren ist die Computertechnik leistungsfähig genug, um aus mehreren Aufnahmen aus verschiedenen Richtungen Schnittbilder zu berechnen. Bei einer CT-Untersuchung liegt der Patient auf dem Tisch des Scanners und wird in die ringförmige Öffnung gefahren. Diese von Laien oft als „Röhre“ bezeichnete Öffnung heißt in der Fachsprache Gantry. Darin befindet sich das rotierende Mess-System mit Röntgenröhre und gegenüberliegendem Detektor. Die Röntgenstrahlen durchqueren den Patienten und treffen auf den Detektor, der die Messwerte umwandelt und zur Berechnung an einen Computer weiterleitet.

Der Prototyp des ersten CT-Scanners in der Geschichte von Siemens Healthineers: Das SIRETOM im Jahre 1974

## Heerscharen von Bewunderern

Siemens beginnt im Jahre 1972 mit der Entwicklung eines Prototyps, der Computertomographie-Aufnahmen des Gehirns erzeugen kann. Bereits zwei Jahre später können erste Testläufe mit dem auf den Namen SIRETOM getauften Schädelscanner in klinischer Umgebung stattfinden. In Zusammenarbeit mit dem Neurologen Hans Hacker und seinem Team werden ab Juni 1974 in der Abteilung für Neuro-radiologie am Klinikum der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität in Frankfurt am Main etwa 1.750 Patienten gescannt. Diesen ersten Testlauf mit dem SIRETOM verfolgen zahlreiche Mediziner und Medizintechniker mit großem Interesse. Es „wurden Heerscharen von Besuchern nach Frankfurt gebracht, darunter auch Mitbewerber, die sowohl die Rechenzeit wie auch den Bedienkomfort und die Bildwiedergabe bewunderten“, erinnert sich Friedrich Gudden, der damalige Leiter der CT-Entwicklung bei Siemens in Erlangen. „Das SIRETOM war zum damaligen Zeitpunkt allen Geräten, die auf dem Markt waren, weit überlegen.“ Auch Hans Hacker ist von der neuen Technik überzeugt. Zusammenfassend schreibt er in einem Bericht, dass die Computertomographie „in Zukunft eines der wichtigsten Verfahren bei der Untersuchung von Hirnerkrankungen sein wird und das SIRETOM als zuverlässiges und leicht bedienbares Gerät für diese Untersuchungsart angesehen werden kann.“

Zwischen unseren heutigen Computertomographen und dem SIRETOM liegen technisch gesehen Welten, dennoch sind bereits die ersten Schädelscanner der 1970er Jahre ein riesiger Fortschritt zu allen Röntgengeräten, die den Neurologen vorher zur Verfügung standen. Erstmals können aussagekräftige Bilder aus dem Gehirn aufgenommen werden, ohne dass der Patient danach mehrere Tage im Krankenhaus verbringen muss. Mit dem Siemens SIRETOM können Patienten ambulant und völlig schmerzlos untersucht werden. Das System stellt Tumoren, Zysten, Blutungen und selbst Verkalkungen ohne Kontrastmittel dar. Eine Untersuchung mit dem Siemens SIRETOM dauert inklusive Patientenlagerung höchstens dreißig Minuten; der Scan selbst ist – je nach medizinischer Fragestellung – innerhalb von vier bis neun Minuten abgeschlossen.



Serienmodell des ersten Siemens-CT-Scanners SIRETOM, 1975



## Neuroradiologie 2.0

Die Computertomographie verändert die Neuro-radiologie von Grund auf, innerhalb kürzester Zeit wird sie zur bevorzugten Methode bei Untersuchungen des Gehirngewebes. Bereits zwei Jahre nach dem SIRETOM stellt Siemens seinen ersten Ganzkörper-CT vor, das SOMATOM. Nun können die Neurologen auch Schnittbilder des Rückenmarks und anderer Strukturen des Nervensystems bei ihren Diagnosen zu Hilfe nehmen. Die Qualität der

Abbildung steigt dabei innerhalb weniger Jahre enorm, wie ein Blick auf die beiden Gehirnaufnahmen auf Seite 32 zeigt. Das linke Bild stammt aus dem Jahre 1974, das rechte ist mit dem SOMATOM des Jahres 1983 aufgenommen. Zwar kann der Arzt bereits auf dem älteren Bild größere Tumoren oder Blutungen erkennen und lokalisieren, doch neun Jahre später sind sogar Details des Gehirns und die Sehnerven deutlich sichtbar.

## Zurück auf den Fußballplatz

Heute sind die Bilder aus dem lebenden menschlichen Gehirn eine Selbstverständlichkeit. Mit modernen bildgebenden Verfahren lässt sich der Mensch beim Denken und Fühlen beobachten, Störungen können sehr genau erkannt und Veränderungen wie Tumoren millimetergenau lokalisiert werden. Mithilfe der Röntgenstrahlen machen moderne Angiographie-Systeme wie das ARTIS icono auch Regionen nahe der Schädeldecke und Schädelbasis fast ohne Bildstörungen sichtbar. Gerade bei solchen neurologischen Notsituationen wie Hirnblutungen und Schlaganfällen kann der Faktor Zeit über die Folgen entscheiden, wie der Fall des deutschen Amateurfußballers Sebastian zeigt. Nachdem der 30-Jährige bei einem Waldlauf zusammengebrochen ist, führen die Ärzte in einer nur 23 Minuten dauernden Intervention über seine Leiste einen Katheter in sein Gehirn und entfernen dort die Ursache für seinen Zusammenbruch, ein Blutgerinnsel – eine Woche später steht Sebastian wieder auf dem Fußballplatz.

Solche schnellen und präzisen Eingriffe werden in der Neurologie (und auch in anderen Disziplinen wie der Kardiologie) immer wichtiger. Die Therapie soll zunehmend speziell auf den jeweiligen Patienten abgestimmt sein. Das Zusammenspiel von exakter Bildgebung und hochpräziser Robotertechnik, unterstützt durch die zunehmende Digitalisierung und Künstliche Intelligenz, wird die Therapien in den nächsten Jahren weiter verbessern.



3D Angiographie des  
Gefäßsystems im Gehirn

Courtesy: Prof. Dr. René Chapot,  
Alfried Krupp Krankenhaus Essen



Das Angiographie-System ARTIS icono macht auch Regionen nahe der Schädeldecke und Schädelbasis fast ohne Bildstörungen sichtbar, 2019







# Foto, Film und Röntgentechnik

## Wie kommt die dritte Dimension ins Röntgenbild?

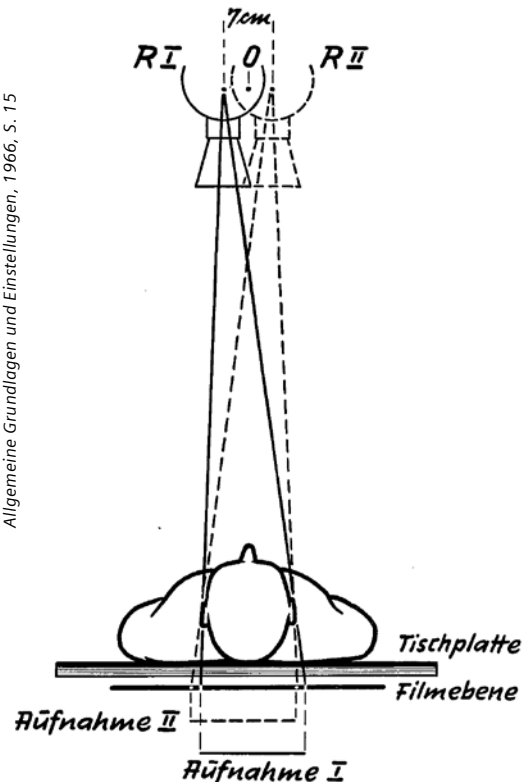
1851 findet die erste Weltausstellung in London statt. Eine neuartige Technik sorgt beim Publikum für Furore – die Stereoskopie. Sie ermöglicht es, Fotos dreidimensional zu betrachten. Schnell tritt sie ihren Siegeszug an. Zahlreiche Fotografen ziehen fortan um die Welt und halten mit Stereokameras Schnappschüsse von exotischen Reisezielen und imposanten Bauwerken fest. Ausgerüstet mit einem Stereoskop war es nun Jedermann möglich, vom gemütlichen Sessel aus ferne Länder zu bereisen. Um 1900 ist die Stereoskopie bereits ein populäres Massenmedium. Kein Wunder also, dass schon kurz nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen auch mit Stereoringen experimentiert wird.

Ausgangspunkt für die Forschungen ist die Tatsache, dass Röntgenbilder täuschen können. Denn in einem normalen Röntgenbild werden alle Strukturen des durchleuchteten Körperbereichs auf einer Ebene abgebildet. Was tiefer im Körper liegt, wird durch davor Liegendes verdeckt. Bei Verdacht auf Lungentuberkulose beispielsweise kann ein Schatten auf der Lunge ein wichtiger Hinweis sein. Auf einem Röntgenbild werden jedoch Teile der Lunge von den Rippen verdeckt und es lässt sich nicht eindeutig erkennen, ob ein Schatten vor oder auf der Lunge liegt. Durch den Einbezug der Stereoskopie in die Röntgentechnik, können Röntgenaufnahmen einen räumlichen Eindruck vom Körperinneren vermitteln.

Zeitgenössische Lithografie der Weltausstellung in London 1851

Das Verfahren der Röntgen-Stereoskopie besteht aus zwei Teilen. Im ersten Schritt werden zwei Röntgenbilder des gleichen Körperteils aus leicht unterschiedlichen Perspektiven hintereinander aufgenommen.

Quelle: Janker, Robert: Röntgen-Aufnahmetechnik. Teil I. Allgemeine Grundlagen und Einstellungen, 1966, S. 15



Röhreneinstellung für stereoskopische Röntgenaufnahmen

Bei der Einstellung der Röntgenröhre geht man von dem durchschnittlichen Augenabstand des Menschen von 7 Zentimetern aus. Es gibt einen Nullpunkt, der der Nasenwurzel entspricht. Von diesem Punkt aus bewegt man die Röntgenröhre auf einer Ebene zuerst 3,5 Zentimeter auf die eine und anschließend 3,5 Zentimeter auf die andere Seite.



Stereobildpaar eines Bronchogrammes einer gesunden Lunge, 1958

Im zweiten Schritt müssen die beiden Aufnahmen des sogenannten Stereobildpaares den Augen so präsentiert werden, dass das Gehirn sie zu einem dreidimensionalen Bild verarbeiten kann. Hierfür gibt es verschiedene Betrachtungstechniken, wie zum Beispiel das Side-by-Side-Verfahren. Dabei wird das Stereobildpaar nebeneinander positioniert. Mittels

Quelle: Schneider, W.E.J. / Kallenberg, A.: Die Bronchostereographie, in: RÖFo, Bd. 88, 1958, S. 159

eines Stereoskops oder einer Stereobrille wird der Blick so gelenkt, dass beide Bilder zu einem dreidimensionalen Bild verschmelzen.

Obwohl die Stereoskopie neue Chancen unter anderem für die Diagnose von Tuberkulose oder die Lokalisation von Fremdkörpern eröffnet, gehen ihr die meisten Radiologen aus dem Weg. Denn was auf den ersten Blick recht simpel wirkt, stellt in der Praxis Arzt und Patient vor gewisse Herausforderungen. Schon bei der Röntgenaufnahme gilt es, diverse Hürden zu überwinden. Ein besonders heikler Moment ist das Umstellen der Röhre und das Auswechseln der Fotoplatte. Dieser Vorgang ist nicht nur umständlich und zeitraubend, sondern verlangt vom Arzt auch exakte Genauigkeit. Der Patient muss dabei die ganze Zeit absolut stillhalten und darf seine Position nicht um einen Zentimeter verändern. Bedenkt man, dass die Aufnahmezeit um 1900 mehrere Minuten

betragen hat, so lässt sich gut nachvollziehen, wie schwierig das war. Ebenfalls eine knifflige Angelegenheit ist die stereoskopische Betrachtung der Röntgenbilder. Zwar ist eine große Auswahl an herkömmlichen Stereoskopen im Handel erhältlich, doch diese sind auf normale Fotos und nicht auf großformatige Röntgenbilder ausgelegt. Daher muss man die Röntgenbilder erst auf fotografischem Wege verkleinern, womit natürlich auch ein Qualitätsverlust der Aufnahme einhergeht.

Ab 1900 versuchen sowohl Reiniger, Gebbert und Schall als auch Siemens & Halske mit speziellen Apparaten und Hilfsmitteln diese Hürden zu überwinden und das Stereoverfahren zu erleichtern. Neben Stereoröntgenröhren mit zwei Brennflecken, speziellen Kassetten und Stativen, übernimmt ab 1909 sogar ein Apparat nach Dr. Franz M. Groedel die Rolle des Arztes. Einmal eingeschaltet, führt er wie von

Zauberhand die einzelnen Handgriffe automatisch aus und erstellt beispielsweise eine stereoskopische Thoraxaufnahme in 1–2 Sekunden. Die Lösung für die Betrachtung von stereoskopischen Röntgenbildern in Originalgröße bietet das Prismenstereoskop nach Dr. Walter, das 1903 vorgestellt wird und bei Reiniger, Gebbert & Schall erhältlich ist.

In den 1920er Jahren inspiriert eine weitere Technik aus dem Foto- und Filmbereich die Entwickler bei Siemens. 1922 kommt im New Yorker Selwyn Kino erstmals das von Laurens Hammond erfundene „Televue-System“ zum Einsatz – ein Vorläufer der heutigen Shuttertechnik, die wir zum Beispiel von unseren modernen 3D-Fernsehern kennen. Gezeigt wird der 3D-Film „The Man From M.A.R.S.“. Synchronisierte Sichtapparate, die an der Armlehne jedes Kinossessels angebracht sind, sorgen für ein dreidimensionales Kinoerlebnis.



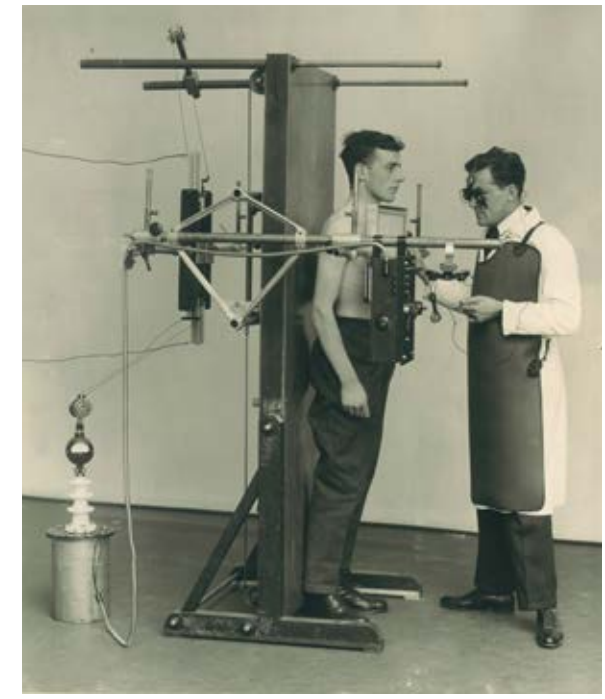
Televue-System, 1922



Stereo-Apparat nach Dr. Franz M. Groedel

Ausgehend vom Shutterverfahren bringen Siemens-Reiniger-Veifa 1927 eine Stereodurchleuchtungseinrichtung auf den Markt. Das Gerät ist mit zwei Röhren ausgestattet, die abwechselnd auf einem Leuchtschirm ein Bewegtbild mit leicht verschobener Perspektive erzeugen. Das Kernstück der Einrichtung – eine sogenannte Shutterbrille – sorgt für den 3D-Effekt. Sie dunkelt synchron zu den Aufnahmen je ein Auge ab, sodass nur das entsprechende Bild zum passenden Auge durchgelassen wird.

Stereoaufnahmegerät von Siemens-Reiniger-Veifa, 1927



Prismenstereoskop nach Dr. Walter von Reiniger, Gebbert & Schall, Katalog 1905



## Schicht für Schicht zum 3D-Bild

Bis in die 1980er Jahre hinein ist die Stereoskopie die einzige Möglichkeit, um die dritte Dimension ins Röntgenbild zu bringen. Dass der Arzt im Jahr 2020 beispielsweise das Herz eines Patienten als 3D-Projektion in seinen Händen halten kann, hätte man sich damals sicherlich nicht träumen lassen. Ein entscheidender Wendepunkt in der 3D-Bildgebung ist die einsetzende Computerisierung in den 1970er Jahren. Aufbauend darauf entsteht ein neues bildgebendes Verfahren - die Computertomographie (CT). Mit einem Computertomographen wird der Körper von allen Seiten mit Röntgenstrahlen durchleuchtet. Ein Detektor misst die ankommende Strahlung und übermittelt die Daten an den Computer, der daraus überlagerungsfreie Schnittbilder vom Körper berechnet.

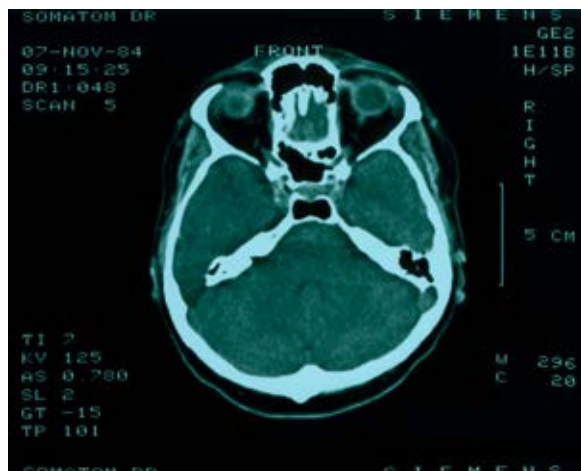
Neben normalen Schichtbildern bietet dieses Verfahren erstmals auch die Möglichkeit, 3D-Rekonstruktionen anzufertigen. Doch anfangs ist die Technik noch nicht ausgereift genug und die Computer sind viel zu langsam. Denn um aus einzelnen Schnittbildern ein dreidimensionales Bild rekonstruieren zu können, müssen sehr dünne, ohne Lücken aufeinander folgende Schichten innerhalb kurzer Zeit in hoher Bildqualität aufgenommen werden. Anschließend werden die gewonnenen Bilddaten von speziellen Computerprogrammen verarbeitet und digital zu dreidimensionalen Bildern von anatomischen Strukturen wie Knochen, Organen, Haut und Blut modelliert.

Mitte der 1980er Jahre stellt Siemens die neue Software 3D-Display vor, ein Programm zur dreidimensionalen Oberflächendarstellung. In Kombination mit dem CT-Scanner SOMATOM DR

können nun neben Schnittbildern und klassischen Röntgenbildern als Überblicksaufnahmen auch 3D-Rekonstruktionen mit nur einem Gerät angefertigt werden. Während in einem Schnittbild jeweils nur eine schmale Körperschicht zu sehen ist, liefert die 3D-Rekonstruktion einen Überblick über die anatomischen Gegebenheiten. Das erleichtert etwa die Operationsplanung oder die Beurteilung einer Fraktur.

Während die frühen 3D-Bilder nur einfache Oberflächenstrukturen abbilden konnten, ist es heute möglich, sogar feine Details wie winzige Stents im Blutgefäß in Farbe darzustellen. Trotz dieses enormen technischen Fortschrittes haben konventionelle 3D-Rekonstruktion noch ihre Grenzen. Die Bilder wirken künstlich und man kann nur schwer einschätzen, wie nah zum Beispiel ein Blutgefäß am Knochen verläuft. Denn es fehlt ein entscheidender Faktor – Licht! Doch wie bringt man Licht ins Dunkel?

Schnittbild, Überblicksaufnahme und 3D-Rekonstruktion aufgenommen mit dem SOMATOM DR, 1984/1986





Quelle: MUSC Medical Center / Charleston, USA, 2016

Ein Computertomogramm zur Überprüfung der Platzierung des Stents in der thorakalen Aorta. Zu sehen ist nicht die Wand des Blutgefäßes, sondern der darin befindliche gitternetzartige Stent und das hindurchströmende Blut



Fotorealistische Darstellung des Computertomogramms durch die Bearbeitung mit Cinematic Rendering

## Eine virtuelle Reise in den Körper

Ein Quantensprung ist die neue Visualisierungstechnologie Cinematic Rendering – sie führt die 3D-Bildgebung in eine neue Ära. Auf Basis von Bilddaten entstehen mit diesem Verfahren fotorealistische Bilder des Körperinneren. Plötzlich werden Details wie Abstände oder auch Tiefenstrukturen sichtbar, die bislang nicht dargestellt werden konnten.

Gollum gab den Anstoß für die Entwicklung. Das computeranimierte Fabelwesen aus der Film-Trilogie „Herr der Ringe“ inspirierte die Entwickler bei Siemens Healthineers. Sie fragten sich, wie es möglich ist, dass Gollum inmitten der menschlichen Schauspieler so täuschend echt aussieht, obwohl er erst nachträglich in die Szenen eingefügt wurde. Hinter Gollum steckt eine Technik namens „Bildbasierte Beleuchtungsberechnung“. Dieses Know-how der Filmindustrie macht sich das Forscher-Team um Klaus Engel von Siemens Healthineers zunutze und entwickelt daraus eine Technologie für die fotorealistische Darstellung von klinischen Bildern.

Doch wie funktioniert diese neue Technik? Die Grundlage sind medizinische Daten aus bildgebenden Verfahren. Anhand dieser Daten wird am Computer mit abstrakten Algorithmen berechnet, wie es aussehen würde, wenn Licht ins Körperinnere fallen würde. Im Rechenprozess werden diverse Fragen berücksichtigt. Wie würde das Licht das Gewebe durchdringen und an der Oberfläche gespiegelt werden? Wo sind Schatten zu sehen?

## Anatomiesaal der Zukunft

Cinematic Rendering eröffnet völlig neue Möglichkeiten in der Medizin. Das Verfahren revolutioniert die medizinische Ausbildung, denn erstmals kann die Anatomie am lebenden Menschen gelehrt werden. Schon heute erhalten die Besucher im weltweit einzigartigen „Deep Space 8K“ im Ars Electronica Center Linz einen Eindruck davon, wie der Anatomiesaal der Zukunft aussehen könnte. Vor den Augen des Publikums entstehen mit Cinematic Rendering dreidimensionale Körperwelten. Mit einem Spielkonsolen-Controller steuert Prof. Fellner den Weg durch den Körper und vermittelt die Anatomie. Prof. Franz Fellner ist der Leiter

des Zentralen Radiologie Instituts am Kepler Universitätsklinikum Linz. Als einer der ersten Anwender machte er die Visualisierungstechnik für die Anatomie-Ausbildung nutzbar.

Neben der medizinischen Ausbildung erleichtert Cinematic Rendering auch die Patientenkommunikation. Wenn Arzt und Patient zusammensitzen, um den Befund oder eine bevorstehende Operation zu besprechen, werden meist die Ergebnisbilder aus den vorhergehenden Untersuchungen herangezogen. Diese sind für den Patienten jedoch kaum verständlich. Die fotorealistische Darstellung klinischer Bilder erleichtert hingegen das Verständnis für die Vorgänge im Körper und den anstehenden Eingriff.

## Cinematic Rendering für die Chirurgie

Basierend auf einer Evaluationsstudie am Universitätsklinikum Erlangen birgt das Verfahren für den klinischen Alltag einen echten Mehrwert, denn es kann die Diagnose bestimmter Krankheiten und die Operationsplanung erleichtern. Die Bilder sind so plastisch, dass sie dem Chirurgen bereits vor dem Eingriff eine genaue Vorstellung von den individuellen anatomischen Strukturen des Patienten vermitteln können, die er während der Operation vorfinden wird. Noch befindet sich die Anwendung in der Entwicklungsphase und wird in enger Zusammenarbeit mit ausgewählten Ärzten und Kliniken erprobt. Unsere Entwickler arbeiten währenddessen Hand in Hand mit Medizinern aus aller Welt zusammen. Feedback wird eingeholt, Detailfragen werden erörtert und gemeinsam wird überlegt, wie man das Verfahren zum Beispiel im Hinblick auf bessere Operationsergebnisse weiterentwickeln kann.

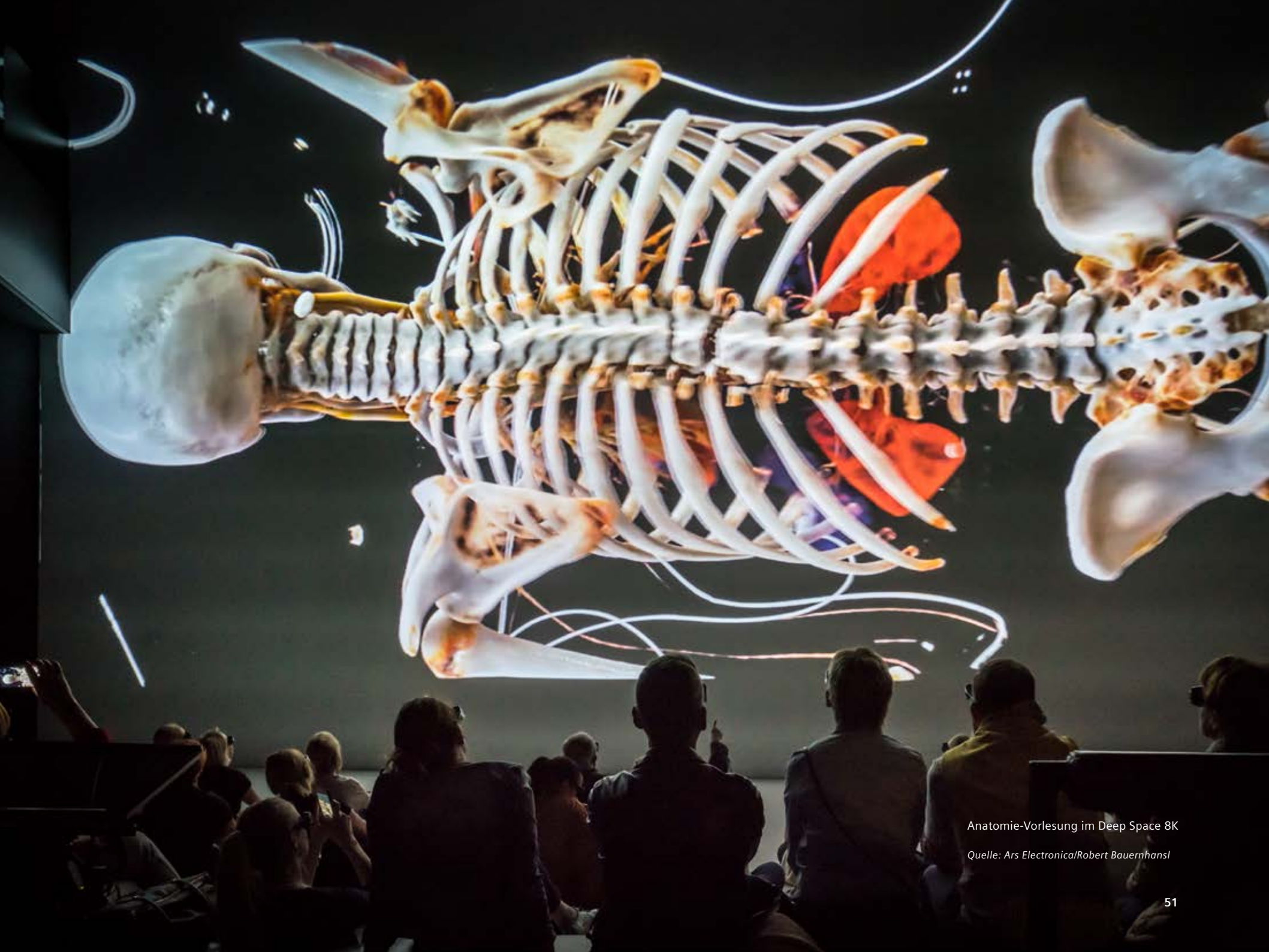
Zukunftsmusik? Eine Gruppe Mediziner verschiedener Fachrichtungen steht zusammen, in ihrer Mitte schwebt das fotorealistische Hologramm eines Brustkorbes. Gemeinsam bereiten sie eine komplexe Operation am Herzen vor. Der federführende Kardiologe gibt ein paar kurze Sprachbefehle und zoomt so in das Hologramm hinein. Bald sind nur noch das Herz und die Herzkranzgefäße zu sehen. Das Ärzteteam diskutiert die Wahl der richtigen Operationsmethode. Immer wieder drehen sie mit ein paar Handbewegungen die dreidimensionale Ansicht und tauchen schließlich virtuell in die Kammern des Herzens ein. Reale Welt und virtuelle Realität verschmelzen miteinander.

Dieses scheinbare Zukunfts-Szenario könnte Realität werden, indem zwei Technologien zusammenfinden: Cinematic Rendering und die Microsoft HoloLens 2. Siemens Healthineers bietet die 3D-Visualisierungstechnologie als App\* für die Mixed-Reality-Brille an. Dadurch kann die Abstimmung multidisziplinären Ärzteteams erleichtert werden.



*\*Cinematic Reality für Apple Vision Pro ist ein Prototyp. Es befindet sich in der Entwicklung und ist nicht im Handel erhältlich. Die zukünftige Verfügbarkeit kann nicht garantiert werden.*





Anatomie-Vorlesung im Deep Space 8K

Quelle: Ars Electronica/Robert Bauernhansl



Ein Einsatzgebiet von mobilen Geräten  
ist die Zahnmedizin. Die Werbeaufnahme  
von 1952 zeigt die Röntgenkugel mit  
dem spitz zulaufenden Dentaltubus

# Mit 2 PS zum Röntgenbild

## Wie das Röntgen mobil wurde

Wie viele Pferde benötigt man, um ein Röntgenbild herzustellen? Nein, das ist nicht der Anfang eines Kalauers, sondern eine durchaus ernsthafte Frage. Die Antwort lautet zwei, wobei nur der Einsatz „besonders eingeübter Tiere“ ratsam ist. Das bedeutet jedoch nicht, dass jeder Radiologe in seiner Praxis Pferde halten muss. Aber vielleicht beginnen wir die Geschichte besser von vorn.

Schon bald nach Röntgens Veröffentlichung *Über eine neue Art von Strahlen* ist eines völlig klar: Die X-Strahlen, wie Röntgen selbst sie nennt, revolutionieren die medizinische Diagnostik. Zum ersten Mal ist es möglich, in den menschlichen Körper zu blicken, ohne diesen chirurgisch zu öffnen. Knochenbrüche können nun diagnostiziert werden, ohne den Bruch betasten und bewegen zu müssen; Fremdkörper können zielsicher lokalisiert werden, ohne dass der Arzt mit dem Finger oder einer Sonde in der Wunde danach suchen muss – beides äußerst schmerzhaftes Verfahren. Es ist daher nicht weiter verwunderlich, dass sich ein Berufszweig, bei dem diese Art von Verletzungen häufig vorkommen kann, schon frühzeitig für die neue Technik interessiert: das Militär. Bereits am 4. Februar 1896 berichtet die *Münchener medizinische Wochenschrift*, dass das verantwortliche Ministerium in Berlin untersuchen wolle „ob die Röntgen'sche Erfindung für kriegs-chirurgische Zwecke dienstbar zu machen und zum Nutzen kranker und verwundeter Soldaten zu verwerten sein wird.“

Schnell folgen die ersten Anwendungen in diesem Bereich. Das Bild der Knochen kann, wie schon von Wilhelm Conrad Röntgen selbst beschrieben, direkt auf einem Leuchtschirm betrachtet, oder auf einer fotografischen Platte festgehalten werden. Gerade in der Anfangszeit der militärischen Radiologie ist die Untersuchung mit dem Leuchtschirm die bevorzugte Methode. Zwar sind Aufnahmen auf fotografischen Platten detailreicher und das Röntgenbild steht dauerhaft zur Verfügung, aber die langen Aufnahmezeiten – teilweise 20 bis 30 Minuten pro Röntgenbild, manchmal mehr – und die notwendige Entwicklung der Bilder machen diese Methode für den Praxisalltag im Lazarett zu zeitaufwendig. Dagegen ist beim Leuchtschirm das Bild sofort verfügbar, auch wenn dieses nicht dauerhaft festgehalten werden kann.

Die ersten Röntgeneinrichtungen, die vom Militär genutzt werden, unterscheiden sich kaum von denen, die in Krankenhäusern und Arztpraxen zum Einsatz kommen. Der englische Militärarzt Walter Beevor etwa wählt hierfür eine Einrichtung, die exakt der Röntgenanlage des St. Thomas' Hospital in London entspricht. Diese lässt er in Holzkisten verstauen, von denen jede etwa 100 Pfund wiegt und (von einer Stange hängend) von jeweils zwei Personen getragen werden muss. Eine Herausforderung besteht also darin, die Röntgeneinrichtungen so zu verpacken, dass sie sowohl Wind und Wetter standhalten, als auch heil und schnell am gewünschten Einsatzort ankommen. Deshalb stellen Firmen wie zum Beispiel

Siemens & Halske (S&H) in Berlin bald komplette Röntgeneinrichtungen auf Transportwagen her. Im Katalog von 1901 bewirbt S&H eine fahrbare Einrichtung zur Untersuchung mit Röntgenstrahlen für militärische Zwecke. Die Einrichtung besteht aus zwei Wagen, die von zwei Pferden (nein, noch nicht die Pferde der Eingangsfrage!) gezogen werden können. Die fahrbare Einrichtung ist mit einem kompletten Röntgeninstrumentarium ausgestattet, wobei Induktor und Unterbrecher in schweren Kästen aus Eichenholz montiert sind, um sie vor Beschädigung zu schützen.



Röntgenwagen der preußischen Armee, Hergestellt von Siemens & Halske, um 1904



Die verlässliche Versorgung mit Strom ist eine besondere Schwierigkeit in der Frühzeit mobiler Anlagen. Besonders bei der militärischen Verwendung von Röntengeräten kann sich der Arzt nicht darauf verlassen, dass es vor Ort ein gut funktionierendes Stromnetz gibt. Neben einer herkömmlichen Stromleitung stehen den Medizinern grundsätzlich zwei Stromquellen zur Verfügung: Zum einen Akkumulatoren (heute ist die Kurzform *Akku* gebräuchlicher), aber diese müssen nach den Aufnahmen immer wieder aufgeladen werden; zum anderen Dynamomaschinen, für die jedoch immer ein geeigneter Antrieb bereitstehen muss. Ob beim Aufladen der Akkumulatoren oder beim Antrieb der Dynamomaschinen, zunächst ist – notgedrungen – einige Kreativität gefordert. Vom Tandem-Fahrrad bis hin zur Maschinerie einer Mehlmühle, die Bandbreite der eingesetzten Mittel zur Stromerzeugung ist groß. Mehr und mehr setzt sich auch eine andere Technologie durch: „Die zunehmende Verwendung von Automobilfahrzeugen im Heere, deren Motoren sich gleichzeitig recht gut zum Betrieb von Dynamomaschinen eignen, dürfte zur weiteren Vermehrung und besseren Unterbringung der Röntgenstationen beitragen, und wir können uns nach unseren eigenen Erfahrungen wohl vorstellen, dass ein mittlerer Kraftwagen, der zugleich der schnelleren



Die aus dem Röntgenwagen entnommene Röntgeneinrichtung vor dem Untersuchungszelt

Beförderung des Sanitätspersonals dienen könnte, einen kompletten Röntgenapparat mit eigener Elektrizitätsquelle mit sich führt.“ Der Autor dieses Textes aus einem Lehrbuch der Röntgentechnik aus dem Jahr 1903 vertraut daher zuversichtlich darauf, dass die Fahrzeugproduzenten zur Vernunft kommen: „Sobald die Automobilindustrie in der Herstellung von Sportwagen keine Befriedigung mehr findet, wird sie sich der Konstruktion wirklich praktischer Gebrauchswagen zuwenden und auch jene unsere Forderung mit Leichtigkeit erfüllen.“

Doch auch weiterhin kommen nicht-motorisierte Varianten des Antriebs zum Einsatz. 1907 bringt Siemens & Halske eine Variante eines sogenannten Göpeldynamos auf den Markt und richtet sich damit vor allem an „alle Landärzte und solche Betriebe, die weitab von einem Elektrizitätswerk liegen“ und deswegen bei ihrer Arbeit keine Röntgeneinrichtungen betreiben können. Die Dynamomaschine wird dabei von zwei Pferden oder anderen Zugtieren angetrieben und liefert den Strom für eine Röntgenanlage und andere für die Behandlung notwendige Apparate. Mit dem Dynamo kann auch ein Akkumulator aufgeladen werden. Dieser kann als Stromquelle dienen, wenn die Röntgenuntersuchung unabhängig vom Dynamo erfolgen soll. „Die transportablen



Der Göpeldynamo von Siemens & Halske im Einsatz, 1907

Einrichtungen haben noch den Vorteil, dass sie nicht nur allein in der Wohnung des Arztes, sondern auch bei schwer zu transportierenden Patienten in deren Wohnung verwendbar sind.“ Heutzutage werden Röntgenapparate nicht mehr zu den Patienten nach Hause gebracht. Trotzdem sind hier zwei Ziele angesprochen, die Medizintechnikfirmen auch heute noch stets vor Augen haben: Die Untersuchung muss für die Patienten so angenehm wie möglich sein und auch den Menschen zugänglich gemacht werden, die selbst nicht mobil sind. Denn eine sichere Diagnose ist für den Behandlungserfolg unerlässlich.

Für schwierige Untersuchungen, wie zum Beispiel Aufnahmen bewegter Organe wie Herz und Magen, aber auch bei Aufnahmen des Brustkorbs stark übergewichtiger Patienten sind die transportablen Geräte anfangs nicht leistungsfähig genug. In diesen Fällen wäre eine längere Belichtungszeit notwendig, die zur Folge hätte, dass das Bild durch die Bewegung unscharf und der Patient einer unnötig hohen Strahlendosis ausgesetzt würde. Aber die vergleichsweise günstigen und kompakten transportablen Röntgeneinrichtungen ermöglichen es, dass Ärzte auch außerhalb von Krankenhäusern nicht auf das Diagnosemittel Röntgenstrahlen verzichten müssen. „Die selbstverständlich notwendige Aneignung gewisser technischer Fertigkeiten [...] dürfte doch kein unüberwindliches Hindernis für den Arzt sein, vorausgesetzt, dass nicht schon mit dem Abgang von der Universität sein Wissensdurst und Wissensdrang befriedigt ist“, heißt es in einem anderen Lehrbuch. Doch auch ältere Semester werden ermuntert, die Röntgentechnik für ihren Praxisalltag zu nutzen. „Und wer immer Lust und Liebe, ein wenig Talent und ernsten Willen zum Lernen auch in vorgerückteren Jahren besitzt, soll sich dieses Hilfsmittels, das uns heute billig und gut angeboten wird, nicht entschlagen.“

## Wie eine Konservenbüchse

Relativ lange Zeit sind auch mobile Röntgeneinrichtungen wie etwa die Einrichtung nach Dr. Redeker oder die Kleinröntgenanlage Nanos noch recht unhandlich. Den Grundstein für wirklich kompakte Röntgenapparate legt der Amerikaner Harry F. Waite mit einem Patent, das er 1919 in den USA anmeldet. Seine Idee: Den Hochspannungstransformator und Röntgenröhre zusammen in einem Strahlenschutzgehäuse unterzubringen – ein sogenannter Einkessel- bzw. Eintankgenerator. Dieses Prinzip steckt hinter einem äußerst erfolgreichen Produkt in der Firmengeschichte von Siemens Healthineers: der Siemens-Röntgenkugel. Bei diesem Röntgenapparat sind Hochspannungstransformator und Röntgenröhre unter Öl in einer silbernen Metallkugel angeordnet und quasi „wie der Inhalt einer Konservenbüchse gegen die Außenluft hermetisch abgeschlossen“. Die Kugel ist strahlungs- und spannungssicher, schützt also Ärzte und Patienten gleichermaßen. Sie kann an einer herkömmlichen Steckdose angeschlossen werden; und ihre kompakte Bauart macht sie zu einem äußerst flexibel einsetzbaren Apparat: Die Röntgenkugel wiegt gerade einmal 12 Kilo und hat einen Durchmesser von 22 Zentimetern – das entspricht etwa der Größe eines Fußballes.

Und ähnlich wie ein Fußball zeichnet sich auch die Röntgenkugel durch eine gewisse Strapazierfähigkeit aus. Zwar werden sie nicht mit Füßen getreten, aber es kommt immer wieder vor, dass Röntgenkugeln aus Tischhöhe auf den Fußboden fallen oder gar über Treppen rollen, ohne dass sie – abgesehen von ein paar Beulen und Dellen – beschädigt oder in ihrer Funktionsfähigkeit beeinträchtigt wären. Entsprechend zuversichtlich äußern sich die Siemens-Reiniger-Werke über ihr Produkt: „Eine Röntgenkugel



Durchleuchtung mit der Einrichtung nach Dr. Redeker, 1933



Transport des Nanos in einer Limousine, 1932.  
In Zusammengelegtem Zustand besteht der Nanos aus 2 Gepäckstücken von jeweils 28 Kilogramm Gewicht.



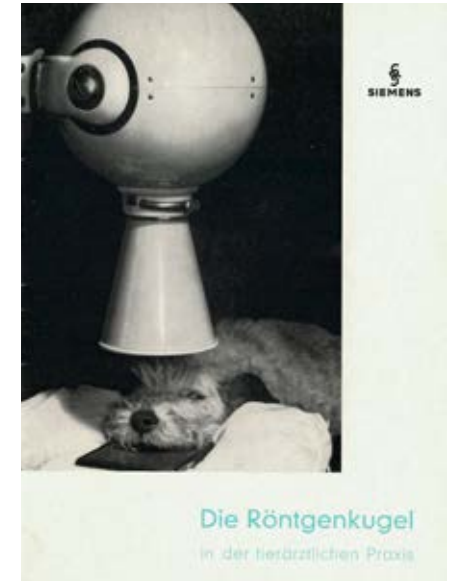
Die tausendste Röntgenkugel, November 1935



Bei den olympischen Winterspielen 1936 in Garmisch-Partenkirchen kommt die Siemens-Röntgenkugel werbewirksam zum Einsatz



Röntgenkugel für die Zahnmedizin, 1960



Mobile Geräte eignen sich ebenfalls hervorragend für die Tiermedizin

könnte ohne jegliche Gefahr wochenlang unter Wasser liegen; wenn man sie wieder herausnimmt und abtrocknet, ist sie wieder betriebsfähig.“ Und tatsächlich beweist ein besonderes Abenteuer zweier Röntgenkugeln die Widerstandsfähigkeit der Geräte. Die zwei Kugeln gehören dem schwedischen Roten Kreuz und sind in Afrika im Einsatz. Dort fallen sie Plünderern zum Opfer, die sie jedoch auf ihrer Flucht wieder wegwerfen; vermutlich damit sie ohne unnötigen Ballast schneller vorankommen. Deswegen liegen die beiden Röntgenkugeln – während der Regenzeit – wochenlang im Morast. Doch sie werden gefunden und gelangen über Umwege wieder zu ihrem ursprünglichen Besitzer.

Die Kugeln sind verschmutzt und verbeult und sehen „nicht so schön aus, wie es sich für einen Apparat im ärztlichen Untersuchungszimmer gehört.“ Aber eine gründliche Überprüfung durch die Siemens-Reiniger-Werke zeigt, dass die Geräte vollkommen funktionstüchtig und sicher sind! Zur Demonstration der Unverwüstlichkeit wird eine dieser Kugeln sogar im firmeneigenen Ausstellungsraum in Berlin den Interessenten zur Ansicht und zur Prüfung der Funktionsfähigkeit zur Verfügung gestellt.

Durch ihre Bauweise ist die Röntgenkugel für alle Klimazonen geeignet, ohne dass für eine gleichbleibende Qualität der Ergebnisse besondere Vorkehrungen getroffen werden müssten.

Es überrascht daher nicht, dass sich die Röntgenkugel schnell zum weltweiten Verkaufsschlager entwickelt. Die erste an den Kunden gelieferte Kugel geht am 29. September 1934 über das Röntgenprüffeld und wird an das Landeskrankenhaus im thüringischen Rudolstadt geliefert; kurz vor Weihnachten des folgenden Jahres geht bereits die tausendste Röntgenkugel über das Prüffeld; knapp vier Jahre nach der ersten Auslieferung wird die fünftausendste Röntgenkugel nach Buenos Aires geliefert. Und im gleichen rasanten Tempo geht es weiter: Bis zum Ende des Jahres 1950 – etwas mehr als 15 Jahre nach ihrer Markteinführung – werden 23.309 Röntgenkugeln weltweit verkauft. Bis zum Produktionsende 1974 kommen noch viele tausend Exemplare dazu.



Untersuchung mit der  
Röntgenkugel, 1965



## Reihenbilder aus Rio



Dieser Bus ist eine „fahrende Röntgenklinik“. Er ist unter anderem mit dem Röntgengerät Orthoskop der Siemens-Reiniger-Werke und einer kompletten Dunkelkammer ausgestattet und in den 1930er Jahren auf den Philippinen im Einsatz

In vielen Bereichen der Medizin spielt die Röntgentechnik eine wichtige Rolle. Doch gewinnt sie Mitte des 20. Jahrhunderts besonders im Kampf gegen eine Krankheit an Bedeutung: Tuberkulose. Seit tausenden von Jahren begleitet die Tuberkulose – auch *Schwindsucht* oder *weiße Pest* genannt – die Menschen. Einer der ältesten Belege ist ein 9.000 Jahre altes Skelett, in dem der Erreger nachgewiesen werden konnte. Auch heute rangiert die Tuberkulose immer noch unter den zehn häufigsten Todesursachen. Laut Schätzung der Weltgesundheitsorganisation (WHO) waren im Jahr 2018 ungefähr ein Viertel der Weltbevölkerung mit dem Erreger infiziert. Davon erkrankten ca. 10 Millionen von denen 1,2 Millionen starben. Das heimtückische an der Krankheit ist, dass die betroffenen Personen häufig sehr lange keinerlei Symptome zeigen und

zunächst gar nichts von ihrer Ansteckung wissen. Auch nach Ausbruch der Erkrankung können die Symptome recht schwach ausgeprägt sein, sodass die betroffenen Personen keine ärztliche Hilfe in Anspruch nehmen und so die Krankheit weiter verbreitet wird. Deshalb ist die Früherkennung der Tuberkulose wichtig.

Auch nachdem Robert Koch (1843-1910) im Jahr 1882 den Auslöser der Krankheit, das *Mycobacterium tuberculosis*, identifiziert hat, beschränkt sich die Diagnose der Tuberkulose lange Zeit auf Abhören und Abklopfen der Patienten. In den 1920er Jahren ist die Röntgentechnik so weit, dass sie als zuverlässiges – und wichtigstes – Diagnosemittel zur Feststellung von Tuberkulose verwendet werden kann. Allerdings sind Röntgenaufnahmen großer Bevölkerungsgruppen, die für die effektive Eindämmung der Tuberkulose nötig wären, zu teuer. Den Fortschritt bringt ein neues Verfahren, dass sich Ende der

1930er Jahre durchsetzt: das Schirmbildverfahren. Dabei wird kein klassisches Röntgenbild hergestellt, sondern das Bild des Leuchtschirms bei der Untersuchung in kleinerem Format mit einem Fotoapparat abfotografiert. Dadurch wird die Untersuchung günstiger und schneller, sodass nun in kürzerer Zeit eine größere Anzahl von Personen untersucht werden kann. Das erste brauchbare Schirmbildgerät entwickelt der Arzt Manoel de Abreu mit der brasilianischen Tochterfirma der Siemens-Reiniger-Werke, Casa Lohner in Rio de Janeiro. 1936 eröffnet in Brasilien die erste Reihenuntersuchungsstelle, die mit dem Schirmbildgerät ausgestattet ist, ihren Betrieb. Das Gerät wird zum Siemens-Röntgen-Reihenbildner nach de Abreu-Holfelder weiterentwickelt, der in Deutschland ab 1938 zum Einsatz kommt. Im Rahmen der Reihenuntersuchungen geht man verstärkt dazu über, Röntgengeräte in Bussen zu installieren. Dadurch kann das Untersuchungs-



zimmer beispielsweise direkt in Betriebe oder zu Schulen gebracht werden und die Untersuchung größerer Bevölkerungsgruppen wird zusätzlich erleichtert. Bis 1988 werden in Deutschland Reihenuntersuchungen durchgeführt. Unter anderem mit ihrer Hilfe konnte die Tuberkulose in den Industriestaaten eingedämmt werden.

Schirmbildgerät Seriomat für die Reihenuntersuchung. Werbeaufnahme von 1968



## Die zweckmäßige Anordnung der Schirmbildeinrichtung im Omnibus

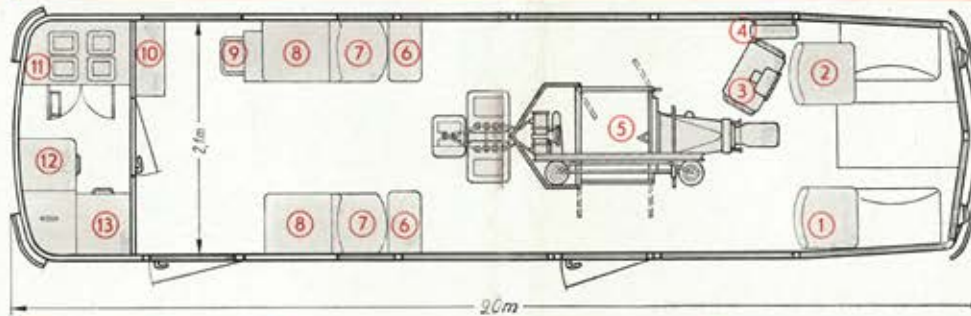


**Bild oben:** Blick durch den hinteren Wageneingang. Rechts: Kartei- und Aktenschrank mit angebautem Waschbecken, Links: Behälter für den Belichtungsautomaten „IONTOMAT“.

**Bild unten:** Dunkelkammer. Rechts: Tanks für Entwickler- und Fixierbad. An der geöffneten Schranktür hängt der Abtropfkasten für die nassen Filme. Links: Schrank mit Schubfächern für Dunkelkammerzubehör.



Bild oben: Seitenansicht des Omnibus bei geöffneten Türen  
Bild unten: Maßskizze des Omnibus im Grundriß



**Bild oben:** Blick durch den vorderen Wageneingang auf die Kabine des „SERIOMAT“.

**Bild unten Mitte:** Blick von hinten nach vorn auf den im Mittelteil des Omnibus stehenden „SERIOMAT“.

**Bild unten:** Der im vorderen Teil des Omnibus stehende Schalttisch mit Belichtungsautomat „IONTOMAT“. Oben links: Schalttafel mit Sicherungselementen für die gesamte elektrische Anlage.



### Maßskizze:

- ① Beifahrersitz
- ② Fahrersitz
- ③ Schalttisch
- ④ Schalttafel
- ⑤ Schirmbildgerät „SERIOMAT“
- ⑥ Klapptische
- ⑦ Sitze für Personal



### Maßskizze:

- ⑧ Kleider- u. Karteischrank
- ⑨ Waschbecken
- ⑩ Behälter für „IONTOMAT“
- ⑪ Dunkelkammer mit Entwickler- und Fixierbad
- ⑫ Schrank für Dunkelkammerzubehör
- ⑬ Filmtrockenschrank





## Schichten auf Rädern

Natürlich werden auch weiterhin mobile Röntengeräte für den Einsatz im Operationssaal oder am Krankenbett gebraucht. 1982 bringt Siemens das Mobilett auf den Markt. Mit seinem Gewicht von 230 Kilo kann es zwar nicht mit kleinen Apparaten wie etwa der Röntgenkugel mithalten, aber es ist dennoch ein Leichtgewicht: Das Mobilett wiegt über 100 Kilo weniger als vergleichbare Apparate des Wettbewerbs. Es ist leicht beweglich und dabei ebenso leistungsfähig wie stationäre Apparate. Mobilett und das ebenfalls in den 1980er Jahren eingeführte Polymobil bilden den Anfang von zwei Produktserien, die heute noch zum Portfolio von Siemens Healthineers gehören.

Ein Bereich für die mobile Anwendung für Röntgenstrahlen wurde bisher noch nicht angesprochen:

die Computertomographie. Aber wie macht man einen Computertomographen, der etwa 2 Tonnen wiegt, beweglich? Man macht sich das Prinzip zunutze, dass sich bereits bei Röntgenbussen bewährt hat. Nur wird der Computertomograph nicht in einem Bus, sondern in einem Lkw installiert. Diese Methode wird im Vereinigten Königreich bei der Früherkennung von Lungenkrebs eingesetzt. Wie bei vielen Krankheiten hängt der Behandlungserfolg bei Lungenkrebs davon ab, die Krankheit möglichst frühzeitig zu erkennen. Das Screening Programm, das in Zusammenarbeit von Siemens Healthineers und Cobalt Imaging entwickelt wurde, untersucht Personen, die Risikofaktoren für Lungenkrebs ausgesetzt sind. Ähnlich wie bei den Röntgenbussen liegt auch hier der Vorteil in der Tatsache, dass durch den mobilen Einsatz Menschen erreicht werden können, die weitab von Krankenhäusern wohnen.

Doch es geht noch mobiler: Im Dezember 2019 stellt Siemens Healthineers auf dem weltweit wichtigsten radiologischen Kongress, dem RSNA in Chicago, seinen neuen, fahrbaren Kopfscanner SOMATOM On.site\* vor. Damit ist es möglich, bei Intensivpatienten Untersuchungen direkt am Patientenbett durchzuführen. So entfällt der zeit- und personalaufwendige Transport des Patienten von der Intensivstation in die Radiologie.

Es war ein langer Weg vom Beginn des mobilen Röntgen mit einer Stromerzeugung durch Pferde bis hin zu einem mobilen Schädel-CT Scanner, der ans Patientenbett in der Intensivstation gerollt wird. Und die spannende Entwicklung der mobilen Röntgentechnik ist mit Sicherheit noch nicht zu Ende.

*\* Somatom On.site ist nicht in allen Ländern kommerziell verfügbar, und seine zukünftige Verfügbarkeit kann nicht garantiert werden.*



Das Mobilett, Werbeaufnahme von 1983



Polymobil, 1985



Auch das Polymobil wird in der Tiermedizin angewandt. Werbeaufnahme von 1985



Der mobile Kopf-CT-Scanner SOMATOM On.site, 2019.



Das Vorserienmodell des SIRETOM im Jahre 1975



# Die verrückte Idee eines Gentlemans und andere „ziemlich geniale Konstruktionen“

## Die Geschichte der Computertomographie

London, im Herbst 1971: Ein Radiologe und ein Ingenieur hüpfen – wie einer der beiden später erzählt – vor Freude „auf und ab wie zwei Fußballspieler beim Siegtor“. Die beiden halten ein völlig neuartiges Röntgenbild in der Hand: eine sogenannte Tomographie, die ein Gehirn in bisher ungekannter Qualität abbildet. Der Radiologe, James Ambrose, sieht das Gehirn seiner 41-jährigen Patientin auf diesem Bild „viel detaillierter als wir erwartet hatten.“ Er erkennt deutlich die Hirnrinde, die mit Hirnwasser gefüllten Hohlräume und sogar die weiße Substanz. Der Ingenieur, Godfrey Hounsfield, hat diese neuartige Röntgentechnik beinahe im Alleingang entwickelt. Mit dem Prototyp seiner „3D-Röntgenmaschine“ leitet Hounsfield die Entwicklung einer Technik ein, die heute zu den wichtigsten der medizinischen Bildgebung gehört: die Computertomographie.

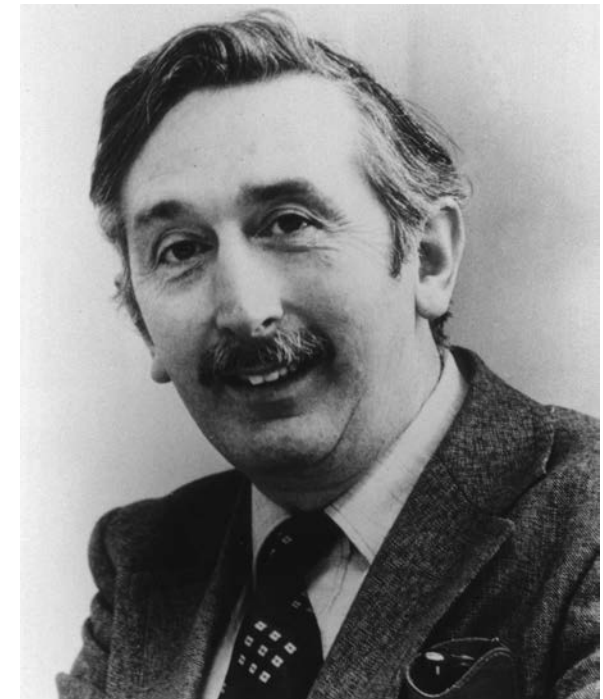
Die Erfindung der Computertomographie gilt als der Beginn der modernen Röntgentechnik. Doch worin liegt der große Unterschied zu einer klassischen Röntgenaufnahme? Warum können Tomographien für Mediziner so hilfreich sein, dass viele von ihnen bereits kurz nach der Entdeckung der X-Strahlen davon träumen? Herkömmliche Röntgengeräte nehmen den Patienten aus einer Richtung auf. Dabei entstehen zweidimensionale Bilder, auf denen die hinteren Körperstrukturen von den vorderen „überlagert“ werden: die Lunge, zum Beispiel, wird

von den Strukturen der Rippen teilweise verdeckt. Tomographien – zu Deutsch: Schnittbilder – bilden das Körperinnere überlagerungsfrei in dünnen Schichten ab. Der Arzt kann die Anatomie des Patienten betrachten, als wären einzelne dünne Scheiben aus dem Körper entnommen.

### Von der Pyramide zur Aufschnittmaschine

„Stell dir vor, dass bestimmte Strahlen der Sonne eine Pyramide durchdringen.“ Mit einem Gedankenspiel, auf einem Spaziergang Godfrey Hounsfields mit seinem Freund Roger Voles Mitte der 1960er Jahre, beginnt die Geschichte der Computertomographie. „Wenn wir außerhalb der Pyramide, auf der sonnenabgewandten Seite, einen Detektor aufstellen und ihn bewegen, jeden Tag ein Stückchen, dann könnten wir die gesamte Pyramide nach unentdeckten Kammern absuchen.“ Diese Idee sollte Hounsfield nicht mehr loslassen. Schon bald wird aus der Pyramide eine „Box“, in der er nicht nur Kammern, sondern den gesamten Inhalt sichtbar machen will. Er erkennt, dass das Untersuchungsobjekt über 180 Grad abgetastet werden muss, um dreidimensionale Daten zu sammeln. Hounsfield vereinfacht die Berechnung der Messwerte, indem er die dreidimensionalen Daten in mehrere Schichten aufteilen will, „so als würde man das Objekt in einer Aufschnittmaschine schneiden.“ Bis ins Jahr 1967 bleiben

Godfrey Hounsfields Ideen jedoch Gedankenspiele, interessante Rätsel aus reiner wissenschaftlicher Neugier – dann beendet sein Arbeitgeber, die Elektronik- und Schallplattenfirma EMI, überraschend sein aktuelles Projekt.



Sir Godfrey Hounsfield, der Erfinder der Computertomographie

## Die Beatles-Legende und Wunder mit sehr wenig Geld

Die Legende besagt, Godfrey Hounsfield habe sein neues Projekt frei wählen können; ihm seien bei der Entwicklung des ersten Computertomographen enorme Geldmengen zur Verfügung gestanden, die EMI durch den Erfolg der Beatles eingenommen habe. Das Gegenteil ist der Fall. Hounsfield muss in der Anfangszeit um die Finanzierung seines Projekts kämpfen; denn EMI hat zunächst keinerlei Ambitionen, in den Markt für Medizintechnik einzusteigen. Er erwirbt, nach mehrmonatiger Überzeugungsarbeit, das Vertrauen seiner Vorgesetzten – obwohl einer von ihnen, wohl in positivem Sinne, von einer „verrückten Idee“ spricht. Hounsfield erhält Budget zum Bau eines Prototyps: genau ein Viertel der Summe, die er beantragt hat. Damit vollbringt er, in den Worten des damaligen EMI-Forschungsleiters William E. Ingham, „Wunder mit sehr wenig Geld.“

Um zu sparen, improvisieren Godfrey Hounsfield und sein kleines Entwicklerteam an allen Ecken und Enden. Als Grundgerüst des Laborprototyps nutzen sie eine alte Drehbank; als Datenspeicher leihen sie sich eine Lochstreifenmaschine, mit der sie die Messwerte auf Papierstreifen festhalten – pro Scan mit 28.800 Löchern auf 60 Meter langen Streifen. „Niemand zuvor“, erinnert sich Stephen Bates, der Software-Ingenieur des Teams, „und auch niemals danach war ich an einem Projekt beteiligt, bei dem so viele Abkürzungen genommen oder so viele scheinbar ungeeignete Ausrüstungsgegenstände verwendet wurden.“ Trotz aller Hürden setzen sie Hounsfields Ideen innerhalb eines Jahres in einen funktionierenden Scanner um. Anfang 1969 entsteht, mit einer Aufnahmezeit von neun Tagen, die erste Computertomographie der Geschichte:

eine Abbildung einiger Laborutensilien aus Kunststoff. Wenige Monate später – mit mehr Budget von EMI, mit Unterstützung vom britischen Gesundheitsministerium und dadurch mit besser geeigneten Bauteilen – verkürzen sie die Aufnahmezeit zunächst auf rund neun Stunden, einige Monate später sogar auf rund fünf Minuten.

## Aus Zweiflern werden Gläubige

Der erste klinische Prototyp, den das Team am 1. Oktober 1971 im Atkinson Morley's Hospital in Wimbledon in der Abteilung James Ambroses installiert, sieht heutigen CT-Scanner bereits sehr ähnlich. Was jedoch noch fehlt – im System und



Der Prototyp des ersten Computertomographen verändert die weitere Entwicklung der Röntgentechnik

in der gesamten Klinik – ist ein Computer zur Bildberechnung. Die im Gehirn der ersten Patientin gemessenen Daten werden auf einem Magnetband gespeichert und mit dem Auto in ein etwa 20 Kilometer entferntes EMI-Labor gefahren. Zwei Tage später halten Hounsfield und Ambrose das Ergebnisbild in der Hand, hüpfen vor Freude auf und ab, beginnen mit weiteren Studien und veröffentlichen ihre Ergebnisse am 20. April 1972 auf einem Londoner Radiologie-Kongress – und lösen damit die größte Sensation in der medizinischen Röntgentechnik seit der Entdeckung der X-Strahlen aus.

„Alle Zweifler unter den Medizinern und alle Zweifler in der Firma waren plötzlich Gläubige“, erinnert sich William E. Ingham später. Praktisch von einem Tag auf den anderen verändert die Computertomographie die weitere Entwicklung der medizinischen Röntgentechnik. Godfrey Hounsfields Erfindung macht das bis dahin gängige, oft sehr schmerzhaft und belastende Verfahren der Neuroradiologie völlig überflüssig: die Pneumoenzephalographie. Dabei wurde dem Patienten durch die Lenden Gehirnwasser entnommen und durch Luft ersetzt, damit Veränderungen im Gehirn mithilfe der Röntgenstrahlen sichtbar gemacht werden konnten. Mehrtägige Klinikaufenthalte und Nebenwirkungen – von tagelangem Erbrechen bis hin zu Krampfanfällen oder Gehirnhautentzündungen – waren bei der Pneumoenzephalographie die Regel. Mit der Computertomographie hingegen kann der Patient ambulant und völlig schmerzlos untersucht werden, und sie ist bereits mit dem ersten Prototyp von EMI deutlich kontrastreicher und präziser.

Mit den beeindruckenden Bildern bricht ein regelrechtes „CT-Fieber“ aus. Nicht nur medizinische Fachblätter, auch fast alle britischen Zeitungen und Magazine – zunächst *The Times*, danach unter anderem *der Guardian*, *der Daily Telegraph* und

die BBC – berichten ihrem Publikum von Godfrey Hounsfields Erfindung und den neuartigen Röntgenbildern. Neben EMI steigen 17 weitere Unternehmen in die Entwicklung von CT-Scannern ein. Die Weiterentwicklung der Computertomographie verläuft von Anfang an außergewöhnlich rasant, mit einigen enormen technischen Sprüngen. Erstaunlicherweise hat Godfrey Hounsfield bereits im Oktober 1968 zahlreiche Erfindungen der folgenden 40 Jahre richtig vorhergesehen; manche davon, wie die Entwicklung der Mehrschicht-CTs im Jahre 1998, sogar bis in die technischen Details. Einige der Meilensteine, mit denen Siemens Healthineers im Laufe der Jahre die Computertomographie prägen sollte, waren jedoch unvorhersehbar – denn sie basieren auf völlig neuen Ansätzen oder sogar auf scheinbar äußerst kuriosen Ideen.

### Riesige Begeisterung bei Siemens

Die Geschichte der Computertomographie bei Siemens Healthineers beginnt mit einer Reise nach London. Der Entwicklungsleiter der Siemens-Medizintechnik, Oskar Dünisch, und der Leiter der Siemens-Röntgenentwicklung, Friedrich Gudden, besuchen im Sommer 1972 das Forschungslabor von EMI, um über die weitere Entwicklung der Computertomographie zu beraten. Der Besuch „war sehr aufschlussreich“, schreibt Gudden in seinen Lebenserinnerungen. „Ausgezeichnetes Essen und Godfrey Hounsfield, der Erfinder der Computertomographie, kam persönlich dazu. Er machte einen sehr guten Eindruck auf mich, ruhig und unprätentiös, ein echter British Gentleman. Und was er erzählte, war faszinierend, so zum Beispiel, dass am Anfang die Messwerterfassung für ein Bild neun Tage dauerte.“

In der Grundlagenforschung bei Siemens in Erlangen wird noch 1972 eine eigene CT-Entwicklungsabteilung eingerichtet. Das Ziel: ein leistungsfähiger

Prototyp, der auf die Arbeitsabläufe in Kliniken und Arztpraxen optimiert ist. Die Männer der ersten Stunde sind Friedrich Gudden, Gerhard Linke, Karlheinz Pauli, Benedikt Steinle und Reiner Liebethuth. Steinle beispielsweise entwickelt ein Verfahren zur Bildrekonstruktion, das später von allen anderen Firmen verwendet wird; Liebethuth führt die flimmerfreie Bildwiedergabe am Fernsehschirm ein. Das Team wächst und wird von anderen Siemens-Teams unterstützt. „Unvergesslich“ findet Gudden die riesige Begeisterung unserer [...] wesentlich verstärkten Entwicklung.“ An jedem Tag wird bis tief in die Nacht gearbeitet. Häufig fährt Gudden die Mitarbeiter, die auf öffentliche Verkehrsmittel angewiesen sind, nach Mitternacht persönlich nach Hause. Die Begeisterung greift sogar auf die Mitarbeiter des amerikanischen Computerherstellers DEC über, von dem der Rechner des Scanners stammt. Fachleute des Service-Teams helfen den Siemens-Technikern bei der Beseitigung von Bildfehlern, und „sie freuten sich mit uns an den laufend besser werdenden Bildern.“



Eine der ersten Gehirnabbildungen mit dem Prototyp des Siemens SIRETOM, 1974





Prototyp des SIRETOM, 1974

Bei den ersten Arbeiten können die Techniker und Ingenieure von Siemens auf ihre Erfahrung mit Röntgentechnik bauen. Viele Komponenten sind bereits entwickelt und müssen lediglich an das neue Ziel angepasst werden. So erweist sich etwa eine Therapieröntgenröhre für besonders geeignet als Strahlenquelle im Computertomographen. Von Grund auf neu entwickelt werden unter anderem der Detektor und ein neues System, das die Berechnungen des Computers in digitale Bilder umwandelt und auf einem Monitor mit 44 Zentimetern Bilddiagonale darstellt. Ein zweiter, in das Bedienpult eingebauter Bildschirm ermöglicht die Aufnahme von Polaroidfotos mit einer fest verbauten Kamera. Wahlweise lassen sich die Untersuchungsergebnisse auch mit einem Bandspeichergerät aufzeichnen.

### **Weinen oder Lachen – je nach Charakter**

In der ersten Hälfte des Jahres 1974 sind die Vorarbeiten abgeschlossen, erste Probeläufe möglich, der Prototyp getauft: Der erste Computertomograph von Siemens trägt den Namen SIRETOM. Möglichst bald sollen Testläufe in klinischer Umgebung stattfinden. Dazu beginnt Siemens eine enge Zusammenarbeit mit Professor Hans Hacker und seinem Team in der Abteilung für Neuroradiologie am Klinikum der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität in Frankfurt am Main. Mit dem Prototyp des SIRETOM werden zwischen Juni 1974 und Februar 1975 rund 1.750 Patienten untersucht. Mediziner und Techniker verfolgen den Testlauf mit großem Interesse. Es „wurden Heerscharen von Besuchern nach Frankfurt gebracht, darunter auch Mitbewerber, die sowohl die Rechenzeit, wie auch den Bedienkomfort und die Bildwiedergabe bewunderten“, erzählt Friedrich Gudden einige Jahre später. Dieses Gerät sei zum damaligen Zeitpunkt allen Geräten, die auf dem Markt waren, weit überlegen gewesen. Doch noch war es der einzige Prototyp, von der Serienproduktion

weit entfernt. „Wenn wir damals hätten liefern können, wären beliebig viele verkauft worden. Fragten die amerikanischen Ärzte nach der Lieferzeit und hörten unsere Antwort, so haben sie je nach Charakter geweint oder gelacht.“

Auch Hans Hacker ist von der neuen Technik überzeugt. Zusammenfassend schreibt er in einem Bericht, dass die Computertomographie „in Zukunft eines der wichtigsten Verfahren bei der Untersuchung von Hirnerkrankungen sein wird und das SIRETOM als zuverlässiges und leicht bedienbares Gerät für diese Untersuchungsart angesehen werden kann.“ Im Laufe des Jahres 1975 stellt Siemens den Scanner auf dem European Congress of Radiology (ECR) in Edinburgh und auf dem Kongress der Radiological Society of North America (RSNA) in Chicago der Fachwelt vor – und am 1. Dezember 1975 wird Professor Hackers Prototyp abgebaut und er erhält das erste Serienmodell des Schädelscanners Siemens SIRETOM.

## Alle zehn Jahre wieder

Die bisher rund fünfzigjährige Geschichte der Computertomographie lässt sich relativ genau in Dekaden einteilen: Etwa alle zehn Jahre führen riesige technische Sprünge zu neuen Anwendungsmöglichkeiten und noch detailreicheren Bildern. Jeder dieser technischen Meilensteine wird in den folgenden Jahren ausgereizt – oft bis an die Grenzen der Physik – dann bringt die nächste große Erfindung erneuten Schub und eröffnet neue Wege zu weiteren Verbesserungen. Die Ingenieure bewegen sich von Anfang an am Rande des technisch Möglichen.

Bereits der Schritt vom Schädelscanner zum Ganzkörper-CT setzt die Entwicklung einer völlig neuen Mechanik voraus. Im SIRETOM drehen sich die



Die Vorstellung des SIRETOM auf dem ECR in Edinburgh, 1975

Röntgenröhre und der gegenüberliegende Detektor in 179 kleinen Schritten um den Kopf des Patienten, eine Gehirnaufnahme dauert damit knapp fünf Minuten. Im ersten Ganzkörper-CT in der Geschichte von Siemens Healthineers, dem SOMATOM aus dem Jahre 1977, drehen sich Röhre und Detektor in einem Schwung um 360 Grad um den Patienten, die Abbildung einer beliebigen Körperregion dauert

nur noch vier Sekunden. Durch diese Mechanik entwickeln die Komponenten im System jedoch immense Fliehkräfte. Da die Röntgenröhre und der Detektor über Kabel an die Energieversorgung und den Computer zur Bildberechnung angeschlossen sind, können sie nicht kontinuierlich um den Patienten rotieren. Sie werden in eine Richtung beschleunigt, nach der 360-Grad-Drehung

abgebremst und danach in die entgegengesetzte Richtung beschleunigt. Um die Scan-Zeiten weiter zu verkürzen und damit die Bildqualität zu erhöhen, arbeiten die Ingenieure in den 1980er Jahren an den unterschiedlichsten Lösungen.

Die Technik, die Siemens im Jahre 1987 mit dem SOMATOM Plus einführt, wird noch heute in den meisten CT-Scannern verwendet: Anstatt mit Kabeln werden die drehenden Komponenten über

Schleifringe mit Strom versorgt. Das Abbremsen nach jeder Umdrehung ist nicht mehr nötig, das System kann nun kontinuierlich rotieren und ohne Unterbrechung Daten sammeln. Damit ist das SOMATOM Plus das erste System einer neuen CT-Generation, mit einer Geschwindigkeit von einer Sekunde pro 360-Grad-Drehung der schnellste CT-Scanner seiner Zeit, und die Grundlage für eine der größten Innovationen in der Geschichte der Computertomographie: die Spiral-CT.

## Eine scheinbar äußerst kuriose Idee

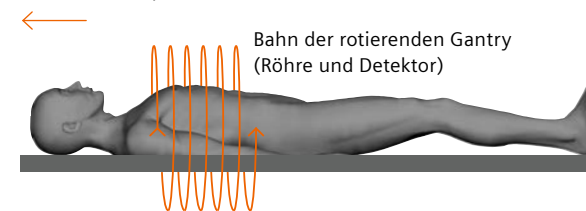
Die Spiral-CT macht genau das, was bisher in der Computertomographie vermieden werden sollte: sie bewegt den Patienten im Scanner. Bei herkömmlichen CT-Systemen steht der Patiententisch während der Aufnahme still, die Röntgenröhre und der Detektor umkreisen den Patienten und nehmen eine Schicht auf. Nach jeder Aufnahme bewegt sich der Tisch einige Millimeter in die ringförmige Öffnung des Scanners (die sogenannte Gantry), dann wird die nächste Schicht aufgenommen. Wenn sich der Patient während der Untersuchung bewegt, können die einzelnen Schichtaufnahmen am Ende so verschoben sein, dass Bildfehler die Diagnose erschweren oder sogar unmöglich machen. Bei der Spiral-CT soll der Patient kontinuierlich durch die Gantry bewegt werden, die Röntgenstrahlen tasten den Körper dabei spiralförmig ab. Die Fachwelt reagiert zunächst skeptisch, denn theoretisch müssten die Bilder dadurch verwaschen und unbrauchbar werden. Kritiker bezeichnen die Spiral-CT sogar als „eine Methode zur Erzeugung von Bildfehlern in der CT.“



Der erste ersten Ganzkörper-CT in der Geschichte von Siemens Healthineers, der SOMATOM im Jahre 1977

## Spiral-CT

Richtung des kontinuierlichen Patiententransports



Die Spiral-CT bewegt den Patienten während des Scanvorgangs



Der erste Computertomograph einer neuen Generation, das SOMATOM Plus, 1987



Eine „ziemlich geniale Konstruktion“,  
das SOMATOM AR, 1994



Bei Siemens beginnt ein Team um den Physiker Willi A. Kalender im Jahre 1988 mit der Umsetzung der scheinbar äußerst kuriosen Idee, denn die Spiral-CT verspricht einen enormen Leistungsschub, wenn das Problem der Bewegungsunschärfe gelöst werden kann. Die Lösung liegt in der Mathematik. Die Software zur Bildberechnung muss um komplizierte Algorithmen erweitert werden, die den Tischvorschub in die Messwerte einrechnen. 1989 bauen Kalender und sein Team einen Prototyp, bei dem auch viele andere Systemkomponenten deutlich leistungsfähiger sind als in herkömmlichen Systemen, denn die Steuerung der Abläufe ist in der Spiral-CT sehr viel komplizierter. Bereits ein Jahr später, nach zahlreichen klinischen Tests, bringt Siemens den ersten Spiral-CT-Scanner der Welt auf den Markt: das SOMATOM Plus-S. Das System scannt bis zu 30 Zentimeter lückenlos in einem Anlauf, beispielsweise bei der Abbildung eines kompletten Organs. Mit der SPIRAL-CT sind Bewegungen im Körper des Patienten kein Thema mehr.

### **Stauende Ingenieure**

Normalerweise werden Neuerungen von oben eingeführt, das heißt, sie werden für High-End-Systeme entwickelt und wandern schließlich mit der Zeit in die Geräte der niedrigeren Preisklassen. Ein Siemens-Team, bestehend aus ehemaligen Ultraschall-Ingenieuren und erfahrenen CT-Ingenieuren, dreht Anfang der 1990er Jahre den Spieß um. Das SOMATOM AR ist ein Einstiegsgerät, in dem etliche technische Neuerungen erstmals verwirklicht sind. Unter anderem kostet das außergewöhnlich kompakte SOMATOM AR nur noch ein Drittel der bisherigen Einstiegsysteme, es lässt sich innerhalb von nur zwei Tagen installieren und benötigt so wenig Energie, dass eine gewöhnliche Steckdose zur Versorgung ausreicht. Die Kommunikationsschnittstelle des CT-Scanners ist so leistungsfähig, dass sie innerhalb



der Medizintechnik von Siemens zum Standard wird. Das SOMATOM AR ist zudem das erste Gerät mit vorgefertigten Leitungen statt der bisher üblichen Kabelbäume. Mögliche Fehlerquellen sind dadurch drastisch reduziert. Das Gerät ist ein voller Erfolg. Siemens baut etwa dreimal mehr SOMATOM AR als geplant. Sogar knapp ein Vierteljahrhundert später, im Jahre 2014, entdecken Siemens-Mitarbeiter ein SOMATOM AR Baujahr 1992 in China, das noch immer tadellos läuft und 15 bis 20 Patienten pro Tag scannt.

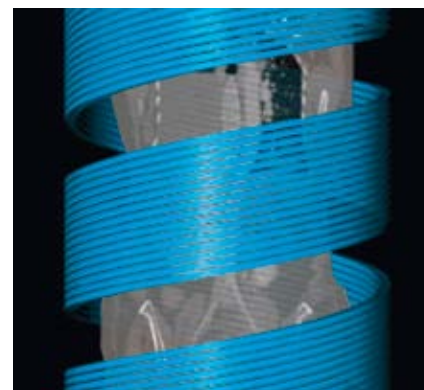
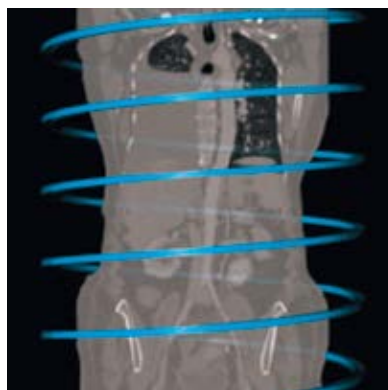
Laut System-Ingenieur Andres Sommer wird die kompakte Bauweise des SOMATOM AR unter anderem möglich durch eine „ziemlich geniale Konstruktion der Kippfüße.“ Erstmals ist der gesamte Kippmechanismus, mit dem sich der Scanner für bestimmte Untersuchungen neigen lässt, innerhalb der Verkleidung untergebracht. Doch beinahe wäre es nicht dazu gekommen: „Als wir das Gerät zum ersten Mal aufgebaut hatten und die Kippung benutzten, lag ein sehr schwerer Kollege, rund 160 Kilogramm, auf dem Tisch“, erzählt Andres Sommer. „Mit zunehmender Kippung wurde er in der 60 Zentimeter großen Öffnung mehr und mehr gequetscht. Wir waren allgemein ratlos, ob wir das Gerät so bauen sollten.“ Das Team machte sich zunächst an andere Aufgaben. Nach einer Weile stand das Thema Kippung wieder auf dem Programm, und der schwere Kollege lag wieder als Testmodell in der Gantry. Die Ingenieure staunten, denn plötzlich „gab es keinerlei Probleme mit der Kippung. Alles war okay und alle zufrieden. Was wir vollkommen übersehen hatten: Der Kollege hatte inzwischen 30 Kilogramm abgespeckt und erfüllte damit die Voraussetzungen für den Tisch.“

## Angekommen in der Zukunft

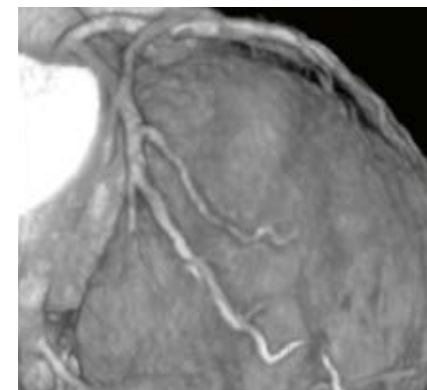
Godfrey Hounsfield hatte 1968 vorhergesagt, dass, um die Leistung der Computertomographie deutlich zu verbessern, sogenannte Mehrschicht-Detektoren „eine in der Zukunft mögliche Lösung“ seien. Genau 30 Jahre später ist die Technik so weit. Herkömmliche Detektoren nehmen pro Umdrehung eine Schicht auf. Die Mehrschicht-CT hingegen teilt den Detektor in mehrere Zeilen, die die Signale der Röntgenröhre voneinander unabhängig verarbeiten. Im SOMATOM Volume Zoom dreht sich die Gantry zweimal pro Sekunde um den Patienten und nimmt dabei vier Schichten gleichzeitig auf. Die Detektoren von Siemens sind zudem so aufgeteilt, dass die Zeilen innen sehr schmal sind und zu den Rändern hin breiter werden. Der Arzt kann somit wählen zwischen einer schnellen Aufnahme großer Körperteile oder einem detaillierten Scan kleinerer Regionen – die Auflösung des Bildes ist damit im Jahre 1998 bis zu achtmal höher als im Jahr davor.

Diese Leistungsexplosion hebt die Computertomographie abermals auf eine neue Stufe, in mehrerlei

Hinsicht: Unter anderem nutzen Ärzte, bei bestimmten Untersuchungen, nun zunehmend dreidimensionalen Abbildungen des Körperinneren statt einzelner Schichtbilder. Bisher wurden Gefäßuntersuchungen invasiv vorgenommen, meist mithilfe von Kathetern. Mit den Mehrschicht-Detektoren beginnt die Zeit der routinemäßigen Gefäßabbildungen mit CT-Scannern. Historisch besonders bedeutend ist die erste Darstellung von Herzkranzgefäßen mit dem SOMATOM Volume Zoom im Klinikum Großhadern in München. Im Jahre 1999 dauert diese erste Abbildung zwar noch rund 40 Sekunden, doch Siemens erkennt das Potential und treibt die Herz-CT zusammen mit klinischen Partnern voran. Bereits im Jahre 2001 kann das SOMATOM Sensation 16 mithilfe der Spezialsoftware HeartView CT sogar Engstellen und Ablagerungen in den Herzkranzgefäßen sichtbar machen und wurde 2002 für den Deutschen Zukunftspreis nominiert. Mit Systemen wie dem SOMATOM Sensation 64 mit 64-Zeilen-Detektor werden die Abbildungen des Herzens immer detaillierter; dann führt eine so einfache wie geniale Idee zu einem CT-Scanner, der schneller ist als jeder Herzschlag: das SOMATOM Definition.



Herkömmliche Detektoren und Mehrschicht-CT im Vergleich



Die erste CT-Abbildung von Herzkranzgefäßen dauert im Jahre 1999 noch rund 40 Sekunden

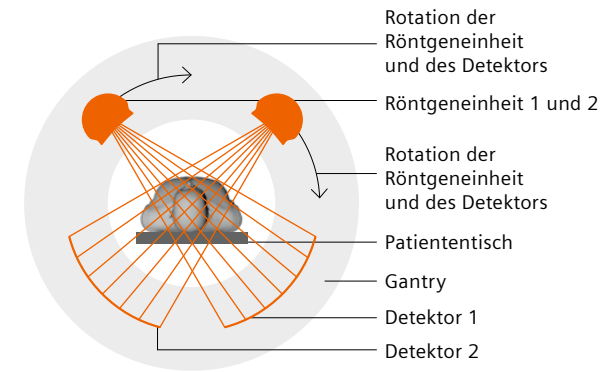


## Wie ein Mercedes auf einem Kaffeetisch

Das SOMATOM Definition ist das weltweit erste System, in dem zwei Röntgenröhren und zwei Detektoren um den Patienten kreisen. Mit dieser Dual Source CT genannten Technik hat Siemens im Jahre 2005 die Leistung von High-End-CTs mit einem Schlag verdoppelt und gleichzeitig die Strahlendosis nahezu halbiert: Das SOMATOM Definition setzt völlig neue Maßstäbe in Scangeschwindigkeit, Bildauflösung und vor allem bei der für die Herz-CT besonders bedeutenden zeitlichen Auflösung der Bilder. Bisher mussten Patienten mit hoher Herzfrequenz vor der Untersuchung Betablocker einnehmen,

die den Ruhepuls für den Scan senken. Mit Dual Source CT ist der Scanner erstmals so schnell, dass solche Arzneimittel nicht mehr nötig sind. Der Grund dafür liegt im Aufnahmeverfahren: Ein CT-Scanner mit einer Röntgenröhre und einem Detektor sammelt die Daten während einer 180-Grad-Rotation der Gantry; das SOMATOM Definition mit Dual Source benötigt dafür lediglich eine 90-Grad-Drehung. Dabei drehen sich die beiden Röntgenröhren und die beiden Detektoren in 0,33 Sekunden komplett um den Patienten, die Aufnahme eines Herzens dauert nur noch 0,083 Sekunden und ist damit schneller als ein Herzschlag.

## Funktionsweise der Dual Source CT



Welche enormen Kräfte dabei im Inneren eines CT-Scanners wirken, lässt sich am High-End-System SOMATOM Force aus dem Jahre 2013 anschaulich zeigen. Das von einem 600-köpfigen Team fünf Jahre lang entwickelte System geht an die Grenze des technisch Möglichen: Die 1,4 Tonnen schwere Gantry des Dual Source CTs rotiert viermal in der Sekunde um den Patienten. Das ist etwa so, als würde ein E-Klasse-Mercedes mit der dreifachen Beschleunigungskraft eines Kampffjets auf einem kleinen runden Kaffeetisch kreisen. Der Patient bewegt sich auf dem Tisch des SOMATOM Force mit bis zu 73,7 Zentimeter pro Sekunde durch die Gantry; der komplette Oberkörper eines Erwachsenen kann in unter einer Sekunde gescannt werden.

Der High-End-Scanner SOMATOM Force



Abbildung verschiedener Körperebenen eines 59-jährigen Mannes, aufgenommen mit dem weltweit ersten CT-Scanner mit zwei Röntgenröhren und zwei Detektoren, 2006

## Weit übertroffene Erwartungen

Rund 50 Jahre nach Godfrey Hounsfields „verrückter Idee“ können Mediziner mit CT-Scannern die Anatomie ihrer Patienten bis ins kleinste Detail sichtbar machen, mit dem SOMATOM Force sogar bis zu 0,24 Millimeter kleine Strukturen. Bei bestimmten Untersuchungen, beispielweise in der Krebsdiagnostik oder der Kardiologie, wird die Computertomographie mit Verfahren aus der Nuklearmedizin, der sogenannten molekularen Bildgebung kombiniert: SPECT und PET erzeugen dreidimensionale Schnittbilder, die den Stoffwechsel akkurat abbilden. Wo genau im Körper der Stoffwechsel abläuft, ist auf diesen Bildern jedoch nicht oder nur ungenau zu sehen. In den Anfangsjahren der PET saßen Mediziner deshalb oft lange Zeit vor Bildschirmen und verglichen die nuklearmedizinischen Aufnahmen mit Computertomographien des Patienten, beispielsweise um zu sehen, wo genau der Stoffwechsel einer Metastase abläuft. Etwa seit der Jahrtausendwende sind die Stärken der Computertomographie mit denen der SPECT oder der PET in Hybridsystemen kombiniert.

Der erste PET/CT in der Geschichte von Siemens Healthineers, der BIOGRAPH, wurde vom *Time Magazine* zur Erfindung des Jahres 2000 gekürt; zahlreiche Kliniken haben das System sofort nach Beginn der Serienfertigung in ihre Praxis übernommen. Die Kombination mit der Computertomographie steigert die Aussagekraft der PET immens. Die PET/CT gehört zu den bildgebenden Verfahren, die sich in der Geschichte der Medizintechnik am schnellsten verbreiteten. Große Kliniken und Gesundheitszentren haben ab dem Jahre 2002 die PET-Scanner durch die PET/CT-Hybriden ersetzt, seit 2006 werden keine reinen PET-Systeme mehr verkauft.

## Jedes Röntgenquant zählt

Ende der 2010er Jahre hat die Computertomographie ein Niveau erreicht, auf dem sich die Leistung herkömmlicher Systeme kaum noch steigern lässt. Das technische Potenzial ist aus physikalischen Gründen praktisch ausgeschöpft. Die Bildqualität kann mit der konventionellen Technik nicht mehr nennenswert verbessert, die Dosis nicht weiter reduziert werden. In der Vergangenheit hat Siemens Healthineers solche physikalischen Grenzen mit Hilfe von Erfindungen wie Spiral-CT oder Dual Source CT umgangen – und auch der nächste große Fortschritt kann nur mit einem völlig neuen Ansatz gelingen.

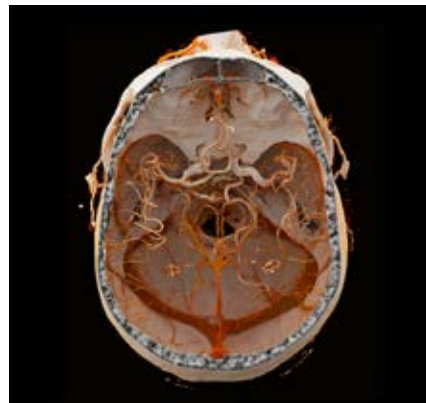
Bereits 2001 hat ein Team der Grundlagenforschung von Siemens Healthineers mit der Arbeit an einer CT-Technologie für die Zukunft begonnen. Ein bestimmtes neuartiges Detektormaterial hat das Potenzial, die Computertomographie mit einem Schlag auf eine neue Stufe zu heben: Kristalle aus Cadmiumtellurid, die die Röntgenquanten ohne

Informationsverlust direkt in elektrische Signale umwandeln. Diese sogenannten quantenzählenden Detektoren „zählen“ jedes einzelne Röntgenquant, das den Körper einer Patientin oder eines Patienten durchdringt, und messen gleichzeitig die Energie jedes einzelnen Quants. In den folgenden 20 Jahren entwickelt das stetig wachsende Projekt-Team zahlreiche neue Technologien und meldet mehr als 500 Patente zur quantenzählenden Computertomographie an. Im Herbst 2021 ist der weltweit erste quantenzählende Computertomograph schließlich bereit für den klinischen Einsatz: Siemens Healthineers präsentiert NAEOTOM Alpha am 16. November 2021 der Öffentlichkeit. Zahlreiche Fachleute sprechen von einer Neuerung der Computertomographie. In den Erfahrungsberichten der ersten Anwenderinnen und Anwender fallen Wörter wie „wirklich unglaublich“ und „Quantensprung“, die quantenzählende Technologie werde „die Computertomographie in ein neues Zeitalter der Medizin katapultieren.“

Zwei Jahre nach der Vorstellung des NAEOTOM Alpha sind bereits mehr als 500.000 Menschen mit der Photon-counting CT gescannt worden – eine Zahl, die laut Siemens Healthineers in den kommenden zehn Jahren auf eine Milliarde ansteigen soll. „Die Zukunft liegt im Photon-counting“, sagt Philipp Fischer, der Leiter des Geschäftsgebiets Computertomographie bei Siemens Healthineers. „Wir sind bereit, in einen breiten Markt vorzudringen, den nächsten Schritt zu gehen und das Leben von Millionen Patientinnen und Patienten positiv zu beeinflussen.“ Auf dem Kongress der Radiological Society of North America (RSNA) 2024 stellt Siemens Healthineers die NAEOTOM Alpha-Klasse vor, mit der das Unternehmen die Photon-counting-Technologie für mehr Ärztinnen und Ärzte sowie Patientinnen und Patienten zugänglich machen möchte. „Mit der NAEOTOM Alpha Klasse machen wir einen bedeutenden Schritt nach vorn, um unser Photon-counting-CT-Portfolio weiter auszubauen“, betont Philipp Fischer. „Wir glauben, dass bis 2040 jedes CT ein quantenzählendes CT sein wird.“



Das Herzstück des quantenzählenden Detektors ist die speziell für die Anforderungen der Computertomographie gezüchtete kristalline Verbindung Cadmiumtellurid.



Aufgenommen mit NAEOTOM Alpha, 2022\*.  
Mit freundlicher Genehmigung des Erasmus Medical Center, Rotterdam, Niederlande



Die Vorstellung der NAEOTOM Alpha-Klasse auf dem Kongress der Radiological Society of North America 2024.

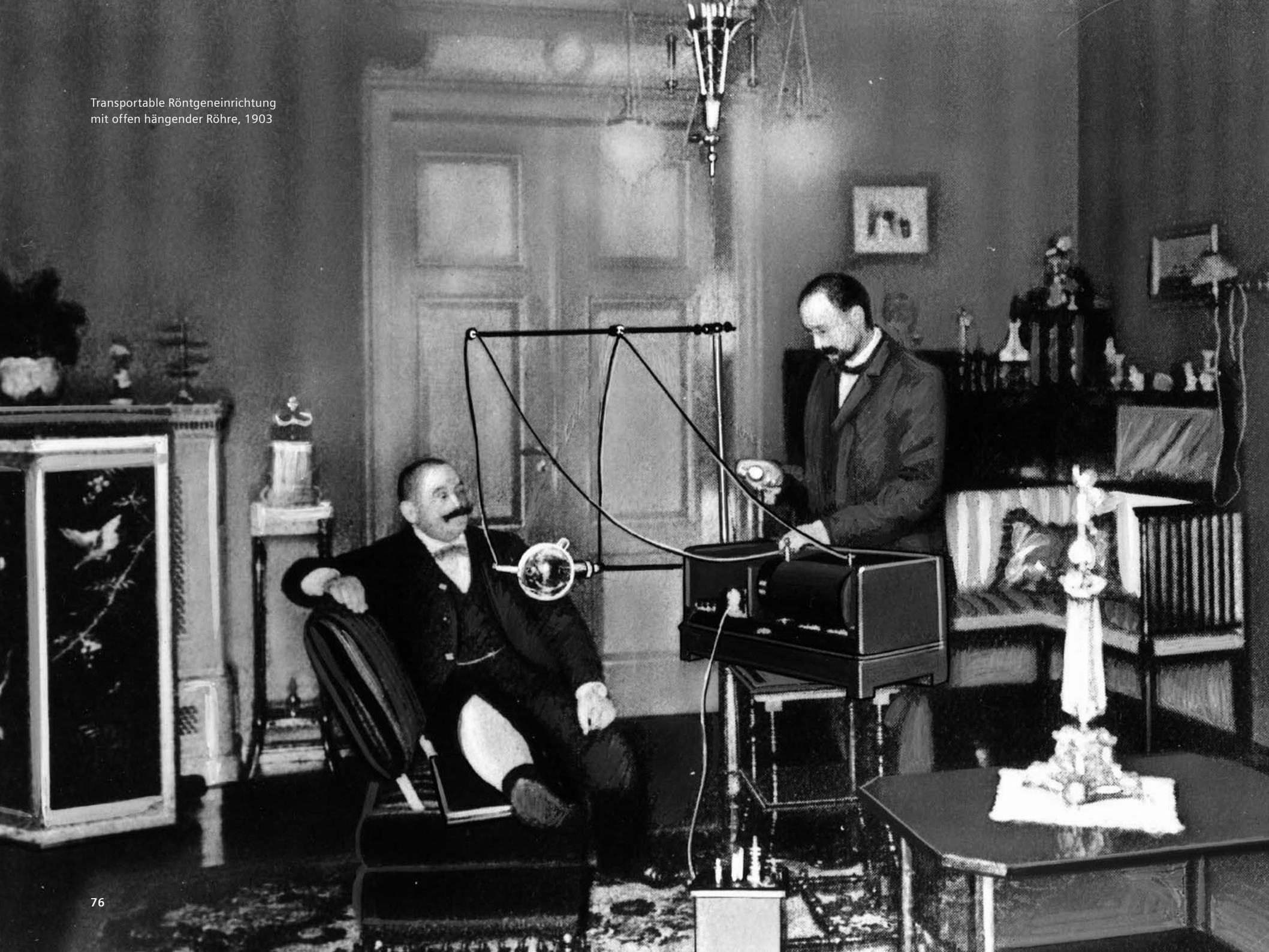
*\*Cinematic VRT wird für Kommunikations-, Bildungs- und Publikationszwecke empfohlen und ist nicht für diagnostische Zwecke gedacht.*



Im November 2021 präsentiert Siemens Healthineers den weltweit ersten quantenzählenden Computertomographen: NAEOTOM Alpha.



Transportable Röntgeneinrichtung  
mit offen hängender Röhre, 1903



# Licht und Schatten

## Wie man gelernt hat, die Gefahren der Röntgenstrahlen zu bannen

2010 röntgt der niederländische Radiologe Gerrit Kemerink an der Universitätsklinik in Maastricht eine Hand. Dies ist an sich nichts Ungewöhnliches, wäre es nicht die Hand eines Verstorbenen und würde er dazu nicht eine Röntgenapparatur aus dem Jahr 1896 benutzen. In einem abgedunkelten Raum nimmt er die Aufnahmen vor, die „überraschend gut“ ausfallen. Anatomische Details sind klar erkennbar. Jedoch ergeben seine Messungen an dem historischen Apparat eine 1.500-mal höhere Strahlendosis (74 mSv) als bei der Vergleichsaufnahme an einem modernen Röntgengerät. Mit bereits einer einzigen Aufnahme wird damals das 74-fache der heute für Normalpersonen empfohlenen maximalen Jahresdosis erreicht. Damit wird klar, die frühen Anwender und Patienten setzen sich sehr hohen Dosen in kurzer Zeit aus. Es war ein langer Weg bis zu unserem heutigen Wissen um die Röntgenstrahlen und ihrer verantwortungsbewussten Anwendung.

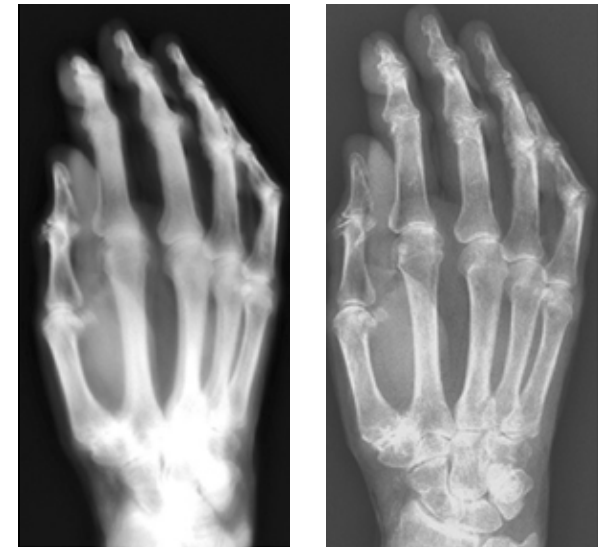
### Die Schattenseiten

Die Euphorie unmittelbar nach Bekanntwerden von Röntgens Entdeckung ist groß. Viele Physiker, Techniker und Ärzte weltweit beginnen mit Röntgenstrahlen zu experimentieren. Dabei ist ihr Umgang mit der Strahlung völlig unbedarft, denn man ahnt noch nichts von deren Schattenseiten. Vor allem in der Medizin nutzt man die Strahlen als diagnostisches Mittel, um Krankheiten auf die Spur zu kommen. Dabei ähneln die Untersuchungen nur entfernt dem, was wir heute kennen. Viele Arztpraxen der

Jahrhundertwende versprühen eher die Atmosphäre eines Wohnzimmers. Der Patient begibt sich in die Untersuchungsposition, der Arzt schaltet das Röntgengerät mit der in ihrer Halterung offen hängenden Röntgenröhre ein, und die Strahlen erfüllen den gesamten Raum. Während der Aufnahme, die Minuten bis Stunden dauern kann, sind Arzt und Patient völlig ungeschützt den Strahlen ausgesetzt.

So kommt es bald zu ersten Berichten von Nebeneffekten der X-Strahlen wie Haarausfall oder Sonnenbrand. Im Frühjahr 1896 schreibt die *Deutsche Medizinische Wochenschrift*: „Es dürfte noch nicht allgemein bekannt sein, dass die so viel besprochenen X-Strahlen die Eigenschaft besitzen, ähnlich den Sonnenstrahlen, die Haut zu verbrennen.“ Diese Hautreaktionen werden zuerst nicht ernst genommen, man hält die Strahlen sogar für ein ideales Mittel um unerwünschte Haare zu entfernen.

Ein Jahr später berichtet das *British medical Journal* von weiteren unerwünschten Wirkungen. Von erheblichen Reizungen der Augen ist da die Rede, ja bei längerer Bestrahlungszeit auch von Erbrechen und Kopfschmerzen. Ähnliche Berichte häufen sich in den Jahren nach der Entdeckung der X-Strahlen. Nicht zuletzt erweisen sich die Hautschädigungen als viel problematischer als zunächst angenommen. Die sogenannte Röntgendermatitis der Haut, die vor allem an den Händen auftritt, ist bei Ärzten, Krankenschwestern und Röntgentechnikern in der Frühzeit sehr verbreitet.



Vergleich der beiden Handaufnahmen aus dem Experiment von Gerrit Kemerink. Links mit dem Apparat von 1896, rechts mit einem modernen Röntgenapparat von 2010

Quelle: Prof. Gerrit Kemerink, Department of Radiology, Maastricht University Medical Center





Frühe Röntgenshädigungen an den Händen des RGS-Mitarbeiters Otto Schreiber.  
Er war zum Zeitpunkt der Aufnahme 28 Jahre alt, 1910



Otto Schreiber, 1916



Friedrich Dessauer mit  
Schutzbrille, um 1950

Diese Krankheit ist chronisch, verläuft in Schüben und ist für die Betroffenen sehr schmerzhaft. Der berühmte Röntgenpionier Albers-Schönberg schreibt hierzu 1903: „Eine eigentliche Therapie, welche diese krankhaften Zustände zu beseitigen imstande wäre, gibt es nicht.“

### „Ich fürchte mich“

Zwischen 1900 und 1910 tritt langsam ein Wandel ein, denn der anfangs sorglose Umgang mit den Strahlen fordert nun erste Opfer. Aus den Hautschädigungen entwickelt sich oft Krebs. 1904 erregt der Tod von Clarence Dally großes Aufsehen in der jungen Forschungsgemeinschaft der Röntgenologen. Er ist als Mitarbeiter von Thomas Edison mit der Erforschung der Röntgenstrahlen beauftragt. Entsetzt vom Leid seines Assistenten stellt Edison jede weitere Arbeit mit den Strahlen ein und verweigert bis zu seinem Lebensende 1931 jede Röntgenuntersuchung, dazu befragt sagt er: „Reden Sie mir nicht von den Röntgenstrahlen ... Ich fürchte mich vor ihnen.“ Dally gilt als erstes Strahlenopfer der USA, sein Fall findet weltweit Beachtung und ein großes mediales Echo.

Ein ähnliches Schicksal erleidet der Röntgenfotograf Otto Schreiber. Er ist seit 1907 bei Reiniger, Gebbert & Schall (RGS) in Erlangen, einer der Vorgängerfirmen von Siemens Healthineers, beschäftigt und verantwortlich für die Verbesserung der Aufnahmetechnik. Dabei setzt er vor allem seine Hände häufig der Strahlung aus. 1909 treten die ersten Strahlenschäden auf, bis 1924 verliert er beide Arme, 1925 stirbt er mit 43 Jahren an den Folgen der Strahlenversuche. Erinnerung sei auch an den Gründer der Veifa-Werke – ebenfalls eine der Vorgängerfirmen - Friedrich Dessauer, der sich bei seinen frühen Forschungen erhebliche Strahlenschäden zuzieht und sich im Laufe seines Lebens über 120 Operationen unterziehen muss.

Es ließen sich etliche weitere Namen hier anfügen. Viele dieser Röntgenpioniere arbeiten trotz ihrer Erkrankungen weiter, nehmen weitere Schädigungen in Kauf und akzeptieren ihr Schicksal als notwendiges Übel im Dienste der Medizin.

1936 wird vor dem Krankenhaus St. Georg in Hamburg ein Denkmal für die Strahlenopfer eingeweiht. Da nicht alle Namen dort Platz finden, wird ein Buch angelegt und herausgegeben in dem alle Opfer verzeichnet sind. Albers-Schönberg, Dally, Schreiber und Dessauer – sie alle stehen in diesem *Ehrenbuch der Radiologen aller Nationen*. Dabei ist der Zeitpunkt kein Zufall. Mitte der 1930er Jahre hatte sich die Radiologie als Fachdisziplin in der Medizin etabliert, die „dunklen“ ersten Jahre der Röntgenopfer lagen gleichsam hinter ihr. Das Risiko für die Anwender der Röntgenstrahlen an deren direkten Folgen zu sterben, war bis 1935 auf nahezu null gesunken. Dies hat vor allem mit dem Bewusstseinswandel und den umfangreichen Schutzmaßnahmen zu tun, die ab 1900 zunehmend ergriffen werden.

### Schutz vor den Strahlen

Zuerst versucht man mit der nötigen strahlensicheren Bekleidung nachzuhelfen, zuvorderst mit Schutzhandschuhen und Schutzschürzen aus Bleigummi oder Leder, schließlich auch mit einem Gesichtsschutz, ja sogar eine spezielle Abdeckung des Bartes wird angeboten. Es werden ganze Strahlenschutzanzüge von Ärzten zusammengestellt. Diese erinnern an Ritterrüstungen und wirken auf die Patienten unheimlich. So berichtet Albers-Schönberg von seinem Schutzhelm aus Pappe und Blei: „Da ängstliche Patienten, wie Kinder, eventuell vor dem ungewohnten Anblick erschrecken werden, setzt man ihn erst im letzten Augenblick auf, wenn das Untersuchungszimmer bereits verdunkelt ist.“



Strahlenschutzanzug, der an eine Ritterrüstung erinnert, 1912

Diverses Röntgenzubehör zum Strahlenschutz von Reiniger, Gebbert & Schall:  
 Strahlenschutzkanzeln, Strahlenschutzwände, Schutzschürzen und  
 Handschuhe, Schutzkasten für die Röhre, Bleiglasbrille etc., 1905–1910



Schutzkassens.  
 9684560.



Schutzkassens.  
 9684561.



Schutzwand  
 9684565.



Schutzwand  
 f. Photo-Diagnostikm. 9684601. nach Dr. Giedel III. 9684607.



Schutzwand



Schutzkasten 9684510. Halboffenes Schutz.  
 9684571. am Stativ.



Bleiglasblende  
 9684506 m. Stativ.



Schutzschürze  
 9684592.



Schutzhandschuhe 9684592.



Bleiglasbrille 9684593.



Bariumschirm  
 m. Schutzgriffen 9684596.



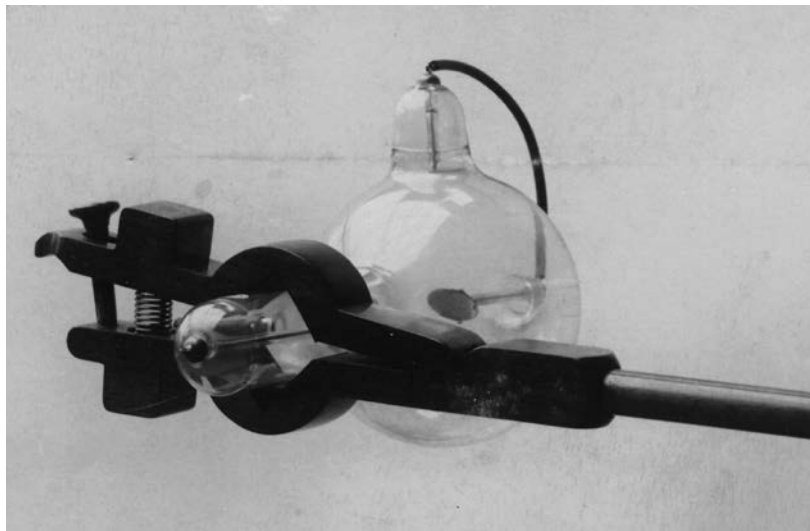
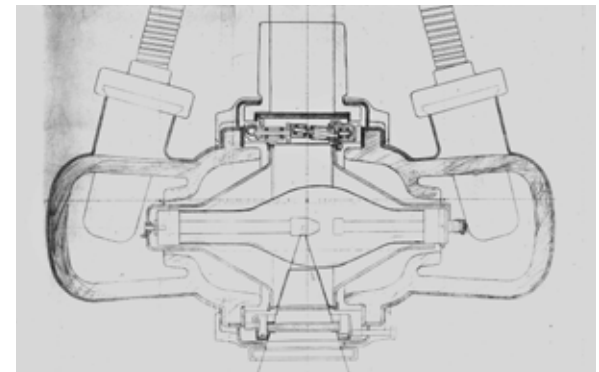
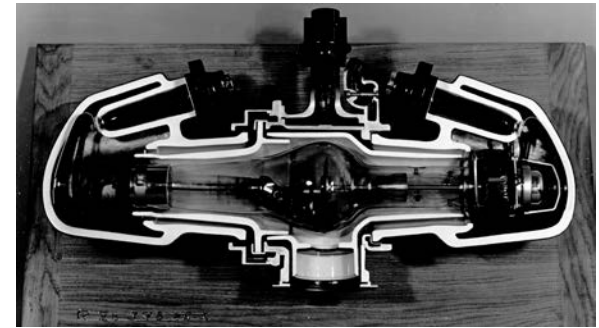
Handmodell 9684635.  
 n. Dr. Schilling.



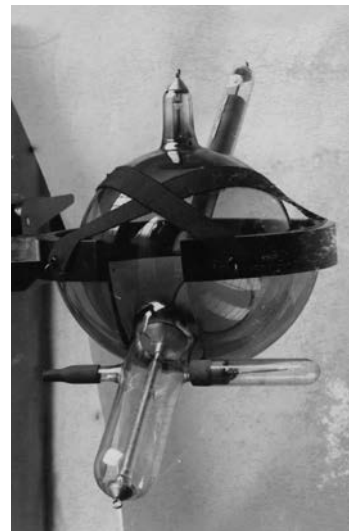
Die Industrie bietet außerdem mobile Röntgenschutzwände mit Bleiglasfenstern oder Schutzkanzeln an. Dahinter beziehungsweise darin kann sich der Arzt oder die Krankenschwester ebenfalls vor den Strahlen schützen. Auch die offenen Röhren werden nach und nach ummantelt und mit Blenden versehen, um nur den gebündelten Strahlenkegel heraustreten zu lassen.

Viele dieser Maßnahmen sind heute so aktuell wie damals. Noch immer tragen Patient oder Arzt Schutzschürzen, und während der Aufnahme verlässt das Bedienpersonal normalerweise den Röntgenraum, der mittlerweile als separates Zimmer von Arbeitsplätzen und Aufenthaltsräumen baulich getrennt ist. Die Röhre hängt nicht mehr offen im Raum, sondern ist strahlensicher in einem Gehäuse verpackt und lässt über eine Blende nur noch für den Bruchteil

einer Sekunde genau so viel Strahlung heraus, wie für die jeweilige Aufnahme benötigt wird. Direkte Strahlenschäden wie Verbrennungen, kommen dadurch praktisch nicht mehr vor. Überhaupt ist die drastische Verkürzung der Aufnahmedauer ein zentraler Punkt im Strahlenschutz. Dies liegt in den ersten Jahren vor allem an der besseren Aufnahmetechnik, wie empfindlicheren fotografischen Schichten und dem Übergang von Fotoplaten zu Filmen und schließlich Filmkassetten unter dem Einsatz von Verstärkerfolien. Auch die höhere Leistungsfähigkeit der Röhren und der Generatoren trägt zum Rückgang der Aufnahmezeiten bei. So sinkt die durchschnittliche Aufnahmezeit für eine Hand von 15 bis 20 Minuten 1896 auf 0,25 bis 0,5 Sekunden im Jahr 1913. Heute werden dafür nur noch ein paar Millisekunden benötigt.



Röntgenröhre offen in der Halterung, 1898



Ab 1900 geht man verstärkt dazu über, die Röhren zu ummanteln, zuerst aber meist unvollständig. Halbrunder Bleiglasschutz mit Röntgenröhre, 1905

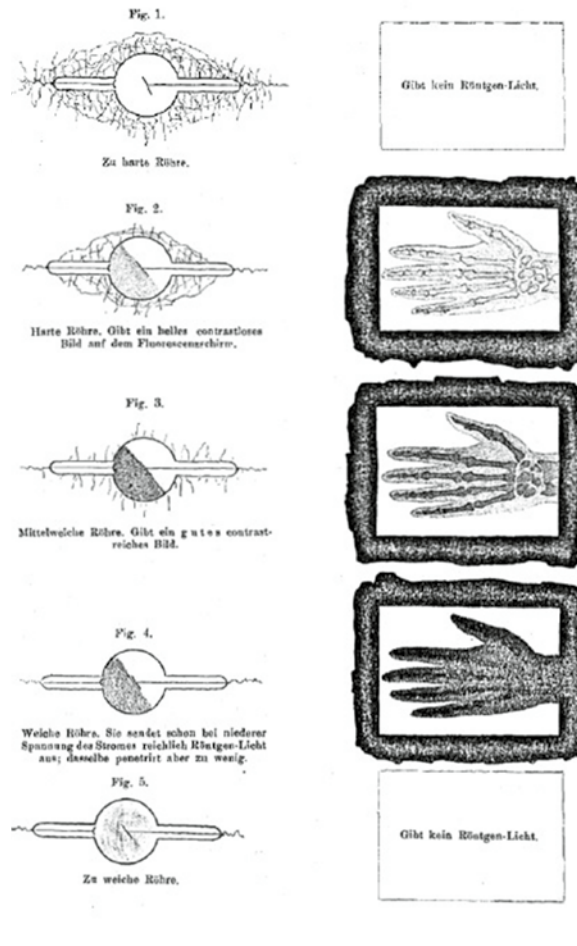
Vollständigen Strahlenschutz gewähren die Tutohauben, die die Röntgenröhre umschließen, sie lassen nur den Nutzstrahl austreten, Schnitt und Zeichnung 1935 und 1937

## Geschärftes Bewusstsein

Neben den technischen Möglichkeiten des Strahlenschutzes muss auch das Bewusstsein im Umgang mit den Röntgenstrahlen geschärft werden. Dies geschieht in den ersten Jahrzehnten vor allem durch die Radiologen selbst. Der Strahlentherapeut Victor Blum beschreibt 1908 erstmals das heute noch gültige ALARA-Prinzip („as low as reasonably achievable/so gering wie vernünftigerweise erreichbar“): „Wir haben es uns zur Regel gemacht, die minimalste Dosis wirksamen Röntgenlichtes anzuwenden, die gerade hinreicht, bei einem gewöhnlichen Menschen den gewünschten Erfolg zu zeitigen.“ Auch auf dem ersten deutschen Röntgenkongress 1905 ist der Strahlenschutz eines der zentralen Themen. So wird empfohlen Patienten nicht zu häufig hintereinander zu röntgen und eine Aufnahmedauer von vier Minuten nicht zu überschreiten. Auch heute in diesem Zusammenhang kurios anmutende hygienische Maßnahmen werden empfohlen, wie das regelmäßige Waschen der Hände oder ausgiebiges Lüften.

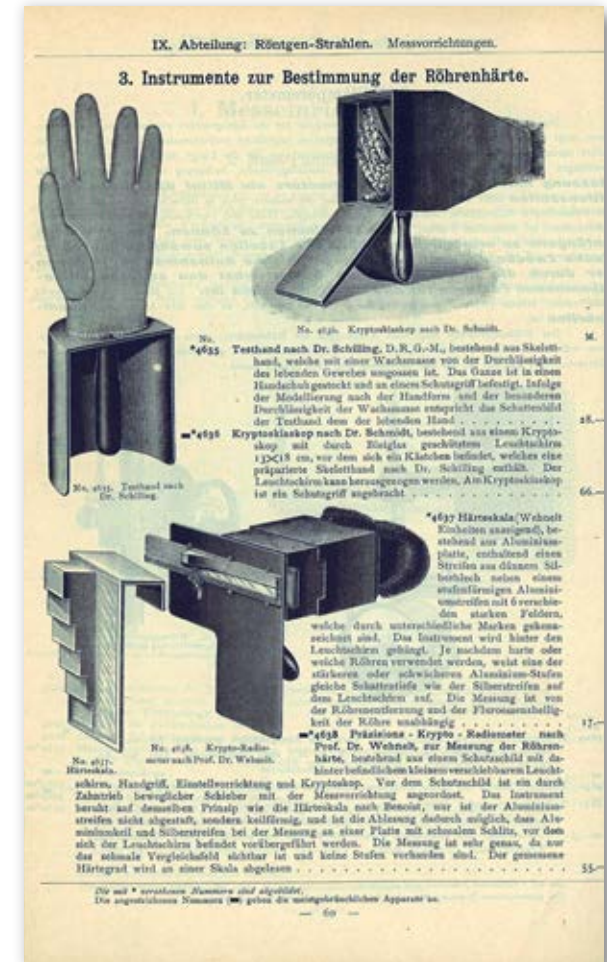
## Die Dosis macht das Gift

Der Wunsch, die Strahlung aus der Röntgenröhre in irgendeiner Form messen zu können, besteht letztlich seit Bekanntwerden der Röntgenstrahlen. Für die Ärzte ist die Bestimmung von Art und Menge, also der Strahlenhärte und der Strahlenintensität, sofort als entscheidend erkannt worden. Zur Messung der Strahlenhärte, die für die Bildqualität entscheidend ist, greift man im ärztlichen Alltag anfangs gerne auf seine eigene Hand zurück, macht also eine Testaufnahme davon. Dies erklärt, warum die Röntgenschäden bei den Ärzten vor allem zuerst an den Händen auftreten. Ab 1905 gibt es mit der Testhand nach Theodor Schilling eine Möglichkeit, diese Aufnahmen anhand eines Phantoms – eine in Wachs eingegossene Skeletthand mit einem Lederüberzug – vorzunehmen.



Skala nach Kienböck zur Einschätzung der Strahlenhärte anhand einer Testaufnahme, 1900

Ab 1900 entwickelt sich angetrieben von verschiedenen Ärzten und Physikern eine Fülle von Messinstrumenten mit jeweils eigenen Skalen und Methoden. Viele dieser Instrumente prüfen die



Unterschiedliche Messinstrumente zur Bestimmung der Strahlenhärte, darunter die Testhand nach Dr. Schilling und das Kryptoradiometer nach Wehnelt, RGS-Katalog 1907

Durchdringungsfähigkeit verschieden dicker Metallplättchen. Es gibt bis Anfang der 1920er Jahre über sechs Methoden und Skalen um die Härte zu bestimmen.

Ähnlich verhält es sich mit der Bestimmung der Strahlenintensität oder Strahlenmenge, wie sie vor allem in der beginnenden Strahlentherapie notwendig ist. Hier sprechen wir nun von dem, was wir heute als „Dosis“ verstehen, der Dosis an Strahlung, die erforderlich ist, um bestimmte Effekte zu erreichen bzw. die nicht erreicht werden darf, um Schäden zu vermeiden. Auch hier war es zu Beginn der eigene Körper, der als „Dosismesser“ dient, nämlich die Rötung der Haut. Allerdings war die so genannte Hauterythemdosis eine eher ungenaue Messeinheit, da Hautreaktionen an verschiedenen Menschen nur bedingt miteinander vergleichbar sind. Die frühen Instrumente zur Dosismessung, die dann entwickelt werden, basieren



Messung der Strahlenintensität (Dosis) mit dem Quantimeter nach Kienböck, 1905

meist auf der Färbung oder Schwärzung bestimmter fotoempfindlicher Materialien durch die Röntgenstrahlen. Filmdosimeter, wie sie oft von Personen, die beruflich strahlenexponiert, also einer Strahlenbelastung ausgesetzt sind, getragen werden, basieren immer noch auf diesem Prinzip.

Die Fähigkeit der Röntgenstrahlen Luft zu ionisieren, wird schließlich zur Grundlage für die Bestimmung der Dosis. Gemessen wird dies in einer Ionisationskammer. Mit dem Lonto-Quantimeter von 1922 bringt RGS ein Gerät zur Ionendosis-Messung auf den Markt. 1924 wird in Deutschland und 1928 auf dem zweiten „International Congress of Radiology“ die Ionendosis mit der Einheit „Röntgen (r)“ festgelegt.

Sie ist wie folgt definiert: Eine Dosis von 1 Röntgen erzeugt pro Kubikzentimeter Luft etwa 2 Milliarden Ionenpaare. Endlich hat man eine physikalisch verlässliche Einheit, um zu messen, wie viel Dosis ein Röntgenstrahler aussendet, und kann versuchen, diese Dosis bei gleichbleibendem oder sogar besserem Ergebnis zu reduzieren. Heute wird als vergleichende Dosiseinheit die sogenannte effektive Dosis angegeben, sie wird in Millisievert (mSv) gemessen. Aktuell ist die effektive Dosis zum Schutz von Einzelpersonen der Bevölkerung gesetzlich auf 1 Millisievert (mSv) im Kalenderjahr beschränkt, bei beruflich strahlenexponierten Personen beträgt der Grenzwert 20 mSv pro Jahr.



Bedienraum mit der Workstation Sensis Vibe. An der Brusttasche der Frau ist ein Filmdosimeter befestigt, um zu messen, ob Sie sich bei der Arbeit einer Strahlenbelastung aussetzt, 2011



## Mögliche Spätfolgen

Nachdem bereits ab den 1930er Jahren direkte bzw. deterministische Strahlenschäden so gut wie nicht mehr vorkommen, nimmt man nach dem Zweiten Weltkrieg vor allem die stochastischen Strahlenschäden, also die möglichen Spätfolgen einer Strahlenexposition, wie Krebserkrankungen in den Blick. Dies hat damit zu tun, dass man sich im gerade begonnenen Atomzeitalter stärker mit den Folgen ionisierender Strahlen, zu denen die Röntgenstrahlen ebenso gehören, beschäftigt. Der amerikanische Biologe Hermann Muller weist bereits 1927 nach, dass mit steigender Strahlendosis auch die Mutationsrate



Poster zum Strahlenschutz aus dem Jahr 1947. Im Atomzeitalter trat der Strahlenschutz nochmal verstärkt ins Bewusstsein

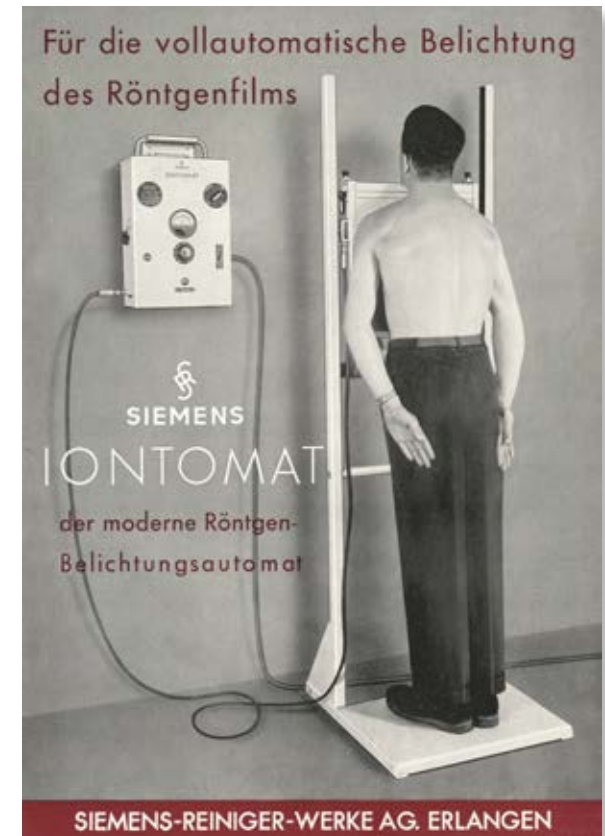
der Gene – hier allerdings von Tauflieden – steigt, ein erster Hinweis auf mögliche genetische Folgeschäden. Er erhält für diese Erkenntnis 1946 den Nobelpreis für Medizin.

Die Studien über die überlebenden Opfer der Atombombenabwürfe von Hiroshima und Nagasaki bilden die entscheidende wissenschaftliche Grundlage. Die Untersuchungen legen einen linearen Zusammenhang ohne Schwellenwert zwischen Dosis und Risiko nahe. Dies bedeutet, dass schon bei geringen Dosen eine Wahrscheinlichkeit besteht, später an Krebs zu erkranken. Diese Ansicht wird auch heute noch von der Mehrheit der Wissenschaftler vertreten und ist bis heute Ansporn, die Dosis weiter zu reduzieren.

## So gering wie möglich

Viele technische Verbesserungen der Röntgenapparate in den letzten 124 Jahren führen zu einer Verkürzung der Aufnahmezeiten und einer Reduzierung der Strahlendosis – von besserer Aufnahme-technik bis hin zu leistungsfähigeren Röntgenröhren.

Mit der digitalen Technik ab den 1970/80er Jahren eröffnen sich ganz neue Möglichkeiten, die Dosis bedeutend weiter zu senken. Der Prozess zur technischen Weiterentwicklung ist noch nicht zu Ende. Hierzu schreibt 2018 ergänzend der Radiologe Dr. Dominik Zinsser vom Universitätsklinikum Tübingen: „Zugleich geht der Trend zu einer zunehmenden Überwachung und Optimierung der am Patienten angewandten Strahlendosis. Die Herausforderung an die Radiologie besteht darin, die sich bietenden Möglichkeiten in die klinische Routine zu überführen“. Eine Dosisreduktion kann also nur zu einem bestimmten Grad über technische Neuerungen erreicht werden, ein großer Teil der Verantwortung, Dosis einzusparen, liegt damals wie heute auf der Seite der Anwender. Allerdings ist zu betonen, dass

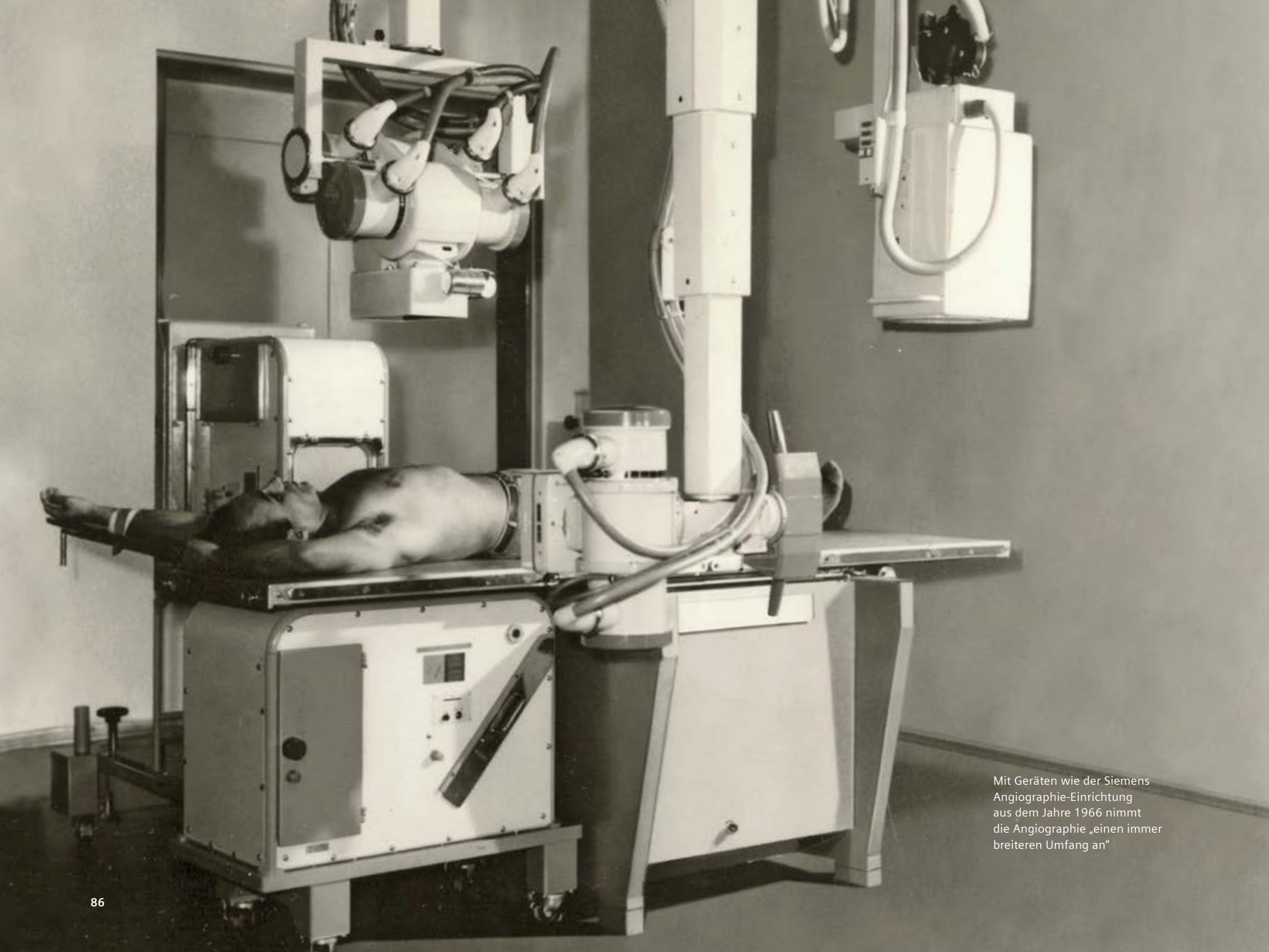


Ein Beispiel für die Fortschritte in der Aufnahmetechnik ist die Belichtungsautomatik IONTOMAT. Diese schaltet automatisch ab, wenn die Röntgenaufnahme ausreichende Qualität erreicht hat und spart damit Dosis ein, 1949

die Dosisreduktion an sich kein Selbstzweck ist: Eine vermeintlich schonende Low-dose-Untersuchung, die aufgrund einer zu gering gewählten Dosis keine ausreichende Bildqualität liefert, schadet dem Patienten, ohne ihm zu nutzen, weil sie bei ausreichend höherer Dosis wiederholt werden müsste. Normalerweise aber überwiegen die Vorteile einer radiologischen Untersuchung die Risiken der Strahlenexposition bei Weitem.

Überwachungssoftware an modernen Computertomographen hilft die Untersuchung zu optimieren um die Strahlendosis so niedrig wie möglich zu halten, 2017





Mit Geräten wie der Siemens Angiographie-Einrichtung aus dem Jahre 1966 nimmt die Angiographie „einen immer breiteren Umfang an“



# Künstliche Schatten und „wunderschöne“ Katheter

Wie sich aus dem Wunsch eines ehemaligen Außenministers die moderne Angiographie entwickelte



António Egas Moniz, Nobelpreisfoto aus dem Jahre 1949

Als der portugiesische Neurologe António Egas Moniz im Jahre 1949 den Nobelpreis für Medizin in den Händen hält, liegt seine ungewöhnliche und bewegte Berufslaufbahn bereits hinter ihm. Er gilt als brillanter und vielseitig talentierter Mann, der unter anderem als Literat, Politiker und Mediziner Großes geleistet hat. In zeitgenössischen Zeitungen ist der Name António Egas Moniz in den verschiedensten Ressorts zu finden: Nach dem Ersten Weltkrieg leitet Moniz als Außenminister die portugiesische Delegation bei der Friedenskonferenz von Versailles. Einige Jahre später gelingt ihm der Durchbruch bei der Entwicklung einer Methode, mit der sich Gefäße wie Arterien und Venen auf einem Röntgenbild darstellen lassen, der sogenannten Angiographie. Anschließend begründet er die Psychochirurgie, indem er im Gehirn seiner Patienten bestimmte Nervenbahnen durchtrennt, um sie von Psychosen oder starker Unruhe zu befreien. Wenig später sorgt er erneut für Schlagzeilen, als ein schizophrener Patient ihn mit acht Kugeln niederschießt. António Egas Moniz' psychochirurgische Operationsmethode, die Leukotomie, bringt ihm den Nobelpreis ein. Doch nicht nur die leidenschaftlichen Kritiker dieser Methode wundern sich über diese

Entscheidung. Selbst Moniz' langjähriger Forschungspartner Pedro Manuel de Almeida Lima ist überrascht, „dass ihm der Nobelpreis nicht für die Entdeckung der Angiographie gegeben wurde, sondern für die erste Erarbeitung eines chirurgischen Eingriffs zur Behandlung gewisser psychischer Erkrankungen“.

Aus heutiger Sicht lässt sich sagen: Die Leukotomie zählte bis in die 1960er Jahre zu den Standardverfahren bei der Behandlung schizophrener oder schwer depressiver Patienten; dann wurde sie von neuartigen Psychopharmaka und wesentlich präziseren Methoden vollständig verdrängt. Die Angiographie hingegen ist noch heute – auch dank der zahlreichen, seit den 1950er Jahren entwickelten Spezialsysteme – ein wichtiges Hilfsmittel zur Diagnose und Therapie von Gefäßkrankheiten. Doch wie genau lassen sich Arterien, Venen und andere „hohle“ Gefäße mithilfe von Röntgenstrahlen sichtbar machen? Das Grundprinzip ist relativ simpel und lange vor António Egas Moniz' Durchbruch bekannt. Als er im Jahre 1924 mit seinen Forschungen beginnt, kann er auf die Arbeiten zahlreicher anderer Röntgenpioniere bauen.

## Von Hengsten und kulinarischen Kontrastmitteln

Bereits im März 1896, also rund zwei Monate nach der Nachricht von der Entdeckung der X-Strahlen, berichtet die *Deutsche medizinische Wochenschrift*: „Man konnte in den letzten Wochen kaum einen der Vortragssäle unserer wissenschaftlichen Vereine betreten, ohne mit einer neuen Serie von Röntgen'schen Photographien bekannt zu werden.“ Unter den zahllosen Röntgenbildern sei eines „besonders zu erwähnen, das Bild einer mit Teichmann'scher Masse injizierten Leichenhand.“ Diese sogenannte Teichmann'sche Masse – eine Mischung aus Kalk, Petroleum und Zinnober – ist die erste Umsetzung des Grundprinzips der Angiographie: Die Hohlräume des Körpers lassen sich sichtbar machen, indem der Mediziner ein Mittel injiziert, das sich auf dem Röntgenbild entweder als dunklere oder als hellere Schatten vom umliegenden Gewebe abhebt. Das Bild der Leichenhand, aufgenommen am 17. Januar 1896 in Wien, geht als erstes Angiogramm der Welt in die Geschichte der Medizin ein. Von der Praxis ist die Methode jedoch noch weit entfernt: Kalk, Petroleum und Zinnober sind bei lebenden Menschen als Kontrastmittel völlig ungeeignet und die Aufnahme dauert mit zeitgenössischer Technik rund 57 Minuten.

Viele Mediziner beginnen sofort mit der Suche nach geeigneten Kontrastmitteln, andere forschen an alternativen Methoden zur Darstellung von Organen und Gefäßen. Eine Idee, die in der Zukunft noch wichtig werden sollte, haben mehrere Ärzte voneinander unabhängig erstmals eingesetzt: sie nutzen Katheter, um die Hohlräume des Körpers sichtbar zu machen. So schlägt etwa der Internist Georg Rosenfeld im Jahre 1897 vor, zur Untersuchung des Magens eine Sonde in die Speiseröhre einzuführen,



Das erste Angiogramm der Welt, aufgenommen am 17. Januar 1896 in Wien

„wie sie in der Veterinärmedizin zum Katheterisieren von Hengsten benutzt wird. Solche Sonden sind sehr biegsam, sie sind etwa 110 Zentimeter lang und für die X-Strahlen undurchdringlich.“

Eine so einfache wie geniale Idee macht ab 1903 die Umrisse des Magens auf Röntgenbildern sichtbar. Hermann Rieder, Professor für Physikalische Therapie

in einem Münchner Krankenhaus, lässt seine Patienten vor der Untersuchung 400 Gramm Kartoffelbrei, Mehl und Milch essen, die mit 30 Gramm Wismut vermischt sind. Das Wismut absorbiert die X-Strahlen, der Magen wirft auf dem Röntgenbild einen dunklen Schatten und hebt sich deutlich vom umliegenden Gewebe ab. Die „Kontrastmahlzeit“ ist weitaus schonender als alle anderen bis dahin erforschten Methoden.

Einen ähnlichen Ansatz wählt der Röntgenpionier Friedrich Dessauer, der zu den Gründervätern von Siemens Healthineers zählt. Er entwickelt verschiedene Methoden zur Abbildung der Speiseröhre und ihrer Funktionsstörungen. Zur Diagnose von Verengungen lässt Dessauer, wie er im Jahre 1905 schreibt, „den Patienten das weiche Innere eines Brötchens in der Weise essen, dass bei ihm nach seiner Erfahrung das Gefühl des Steckenbleibens auftritt.“ Danach schluckt der Patient eine mit Wismut gefüllte Kapsel, die „von dem vorausgeschickten Brötchenklos aufgehalten“ wird. Auf dem Röntgenbild lässt sich dadurch die Verengung der Speiseröhre – für damalige Verhältnisse – ziemlich genau lokalisieren.

Viele Pioniere sehen – trotz der Erfolge der Anfangszeit in den Jahren um 1900 – nur geringes Potential für weitere Fortschritte. „Die Resultate werden wohl auch in Zukunft nicht viel bessere werden“, schreibt beispielsweise Hermann Gocht, der Verfasser des weltweit ersten Röntgenlehrbuchs. Aus damaliger Sicht hat Gocht völlig recht. Das Problem liegt nicht in den Kontrastmitteln; deren Entwicklung macht deutliche Fortschritte – vielmehr kann die Röntgentechnik die hohen Anforderungen bei der Abbildung von Gefäßen nicht erfüllen. Die riesigen technischen Sprünge, die schon noch folgen sollten, kann niemand vorhersehen.

Die Röntgentechnik entwickelt sich rasant, unabhängig von den Anforderungen spezieller Verfahren, wie der Angiographie. Die beiden Hauptkomponenten – die Röntgenröhre und die Stromerzeuger – machen schnell große Leistungssprünge und arbeiten wesentlich stabiler und zuverlässiger. Geräte wie der Blitzapparat, entwickelt im Jahre 1909 von Friedrich Dessauer, ermöglichen so schnelle Röntgenaufnahmen, dass sogar die Konturen des Herzens auf dem Bild deutlich zu sehen sind. Mit der sogenannten

Röntgenkinematographie lassen sich ab Mitte der 1910er Jahre mehrere Röntgenbilder pro Sekunde aufnehmen. Mit neuen Untersuchungsmethoden, beispielsweise mit der vom französischen Neuro-radiologen Jean Athanase Sicard entwickelten Myelographie, lässt sich ab 1923 die Größe und Lage von Tumoren in der Wirbelsäule abschätzen. Dazu wird dem Patienten eine ölige Jodlösung als Kontrastmittel in den Rückenmarkskanal injiziert und anschließend ein Röntgenbild aufgenommen. Solche und ähnliche Entwicklungen kommen António Egas Moniz zugute, als er 1924 mit seinen Arbeiten beginnt.

### **Ein Wunsch geht in Erfüllung**

Im Alter von 51 Jahren, nach dem Ende seiner politischen Karriere, will António Egas Moniz eine neue Methode finden, mit der sich die Entfernung von Gehirntumoren möglichst genau planen lässt. Moniz und sein „steter und fleißiger Mitarbeiter“ Pedro Manuel de Almeida Lima suchen zunächst nach geeigneten „schattengebenden Substanzen“, also nach Kontrastmitteln, die für lebende Patienten unschädlich sind. Sie lernen, wie sie Nebenwirkungen der Kontrastmittelgabe „fast ganz vermeiden“ können, indem sie es langsam, über eineinhalb Minuten, in die Halsschlagader des Patienten injizieren. Es sollte jedoch noch bis zum neunten Patienten dauern, bis tatsächlich die richtige Vorgehensweise ohne Nebenwirkungen gefunden ist. Dieser neunte Patient, ein „zwanzigjähriger Mann mit großem Hypophysentumor“, ist der erste lebende Mensch, dessen Gehirnarterien mithilfe von Röntgentechnik dargestellt werden.

António Egas Moniz spricht zu diesem Zeitpunkt noch nicht von Angiographie, denn die Vorsilbe „Angio“ ist vom griechischen Wort „aggeion“ abgeleitet und steht ganz allgemein für „Gefäß“

beziehungsweise „Blutgefäß“. Genaugenommen führen Moniz und sein Team eine „zerebrale Arteriographie“ durch, das heißt, sie machen die Arterien im Zerebrum (lateinisch für Großhirn) ihres Patienten sichtbar. Am 28. Juni 1927 injizieren sie dem jungen Mann ein wasserlösliches, zu 25 Prozent aus Natriumjodid bestehendes Kontrastmittel. Auf dem Röntgenbild können sie dadurch sehen, wie Arterien die Hauptschlagader „an einer Stelle verließen, welche viel weiter nach vorn gelegen ist als normalerweise, was mit den Störungen, die der große Tumor des Kranken am vorderen Teil des Hirnkreislaufes verursachen musste, im Einklang stand.“ Nie zuvor in der Geschichte der Medizin konnte die Lage eines Gehirntumors – ohne den Schädel des Patienten zu öffnen – genauer diagnostiziert werden. „Endlich“, erzählt Moniz später, „war unser Wunsch in Erfüllung gegangen: Die zerebrale Arteriographie war Tatsache geworden.“

### **Ein zirkusreifer Selbstversuch**

„Eine ungewöhnliche Tatsache in der Medizingeschichte ist,“ schreibt einer der wichtigsten Psychopathologen des 20. Jahrhunderts, Henrique João Barahona-Fernandes, „dass die Angiographie sofort die beste internationale Akzeptanz erlangte, insbesondere in Europa und später in Nordamerika, und sie begann im weiten Stil praktiziert zu werden.“ Durch Moniz' Forschungen – und dank der zahlreichen Mediziner, die seine Methode von da an stetig verbessern – lassen sich Ende der 1920er Jahre Strukturen auf dem Röntgenbild erkennen, die ohne Kontrastmittel verschwommen oder gar unsichtbar wären.

Zunächst steht die Neurologie im Mittelpunkt der Forschung. Das erste Spezialgerät für Kontrastmitteluntersuchungen in der Geschichte von Siemens Healthineers, das Lysholm-Schädelgerät, wird innerhalb kurzer Zeit weltberühmt und bleibt



drei Jahrzehnte lang Standard bei Angiographien des Gehirns. Den Grundstein der modernen Koronarangiografie – also der Untersuchung der Herzkranzgefäße mithilfe von Kontrastmitteln und X-Strahlen – legt der junge deutsche Mediziner Werner Forßmann mit einem aufsehenerregenden Selbstversuch. Im Jahre 1929 schiebt er sich, heimlich und entgegen dem Rat seines Klinikleiters, einen Gummischlauch von der rechten Armvene in die rechte Herzkammer. Zunächst schadet er damit seiner Reputation als Kardiologe und zieht sich den Unmut des berühmten Chirurgen Ferdinand Sauerbruch zu: „Mit solchen Kunststücken habilitiert man sich in einem Zirkus und nicht an einer anständigen deutschen Klinik.“ Doch 27 Jahre später erhält Werner Forßmann den Nobelpreis für Medizin; unter anderem, weil er nachweist, dass Kontrastmittel gefahrlos bei Untersuchungen des Herzens angewendet werden können.

Weniger aufsehenerregend – doch ebenso wichtig für die moderne Angiographie – sind die Forschungen des schwedischen Radiologen Sven-Ivar Seldinger. Anfang der 1950er Jahre entwickelt Seldinger eine Methode, mit der sich Katheter wesentlich sicherer punktieren lassen. Als Punktion, lateinisch von *punctio*, „das Stechen“, wird in der Medizin das gezielte Setzen von spitzen Instrumenten wie Kathetern und Nadeln bezeichnet. Bei der Seldinger-Technik öffnet der Mediziner, beispielsweise am Arm oder Hals des Patienten, mithilfe einer Kanüle eine sogenannte Gefäßschleuse. Über diese Schleuse wird ein dünner Stahldraht mit vielen Windungen, die ihn sehr flexibel machen, als Führungsdraht eingeführt, durch den sich der Katheter zum Ziel schieben lässt. Sven-Ivar Seldinger ist mit seiner Erfindung sogar in die Umgangssprache vieler Mediziner eingegangen: Das Wechseln von Kathetern wird noch heute oft „umseldingern“ genannt.

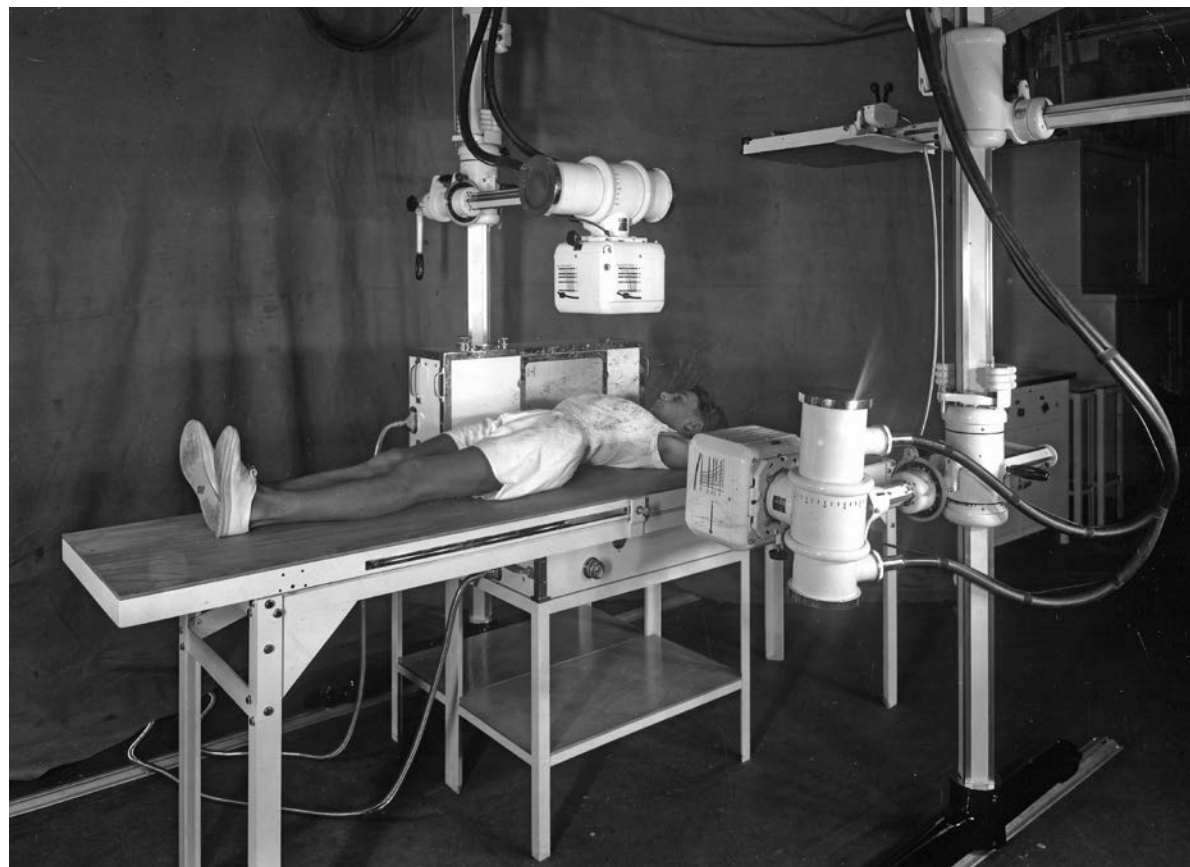
Eine der ersten Angiographie-Aufnahmen aus zwei Richtungen mit einer Siemens-Einrichtung aus dem Jahre 1952

## Eingespielte Teams und automatische Apparaturen

„Entscheidend [bei der Anwendung der Angiographie] ist eine hinreichende Übung und Erfahrung und ein eingespieltes Arbeitsteam aus Arzt, Schwester und Röntgenassistentin“, schreibt der deutsche Neurochirurg Wilhelm Tönnis im Jahre 1959 in seinem noch heute erhältlichen Lehrbuch. „Damit lassen sich auch unter primitiven Bedingungen brauchbare Ergebnisse erzielen.“ Wer jedoch bestimmte Therapien

plane, „wird auf eine automatische Apparatur nicht verzichten können.“ Tönnis meint damit eine bestimmte Art Technik – die Serienangiographie – und eben diese setzt sich im Laufe der 1950er Jahre zunehmend in der klinischen Praxis durch.

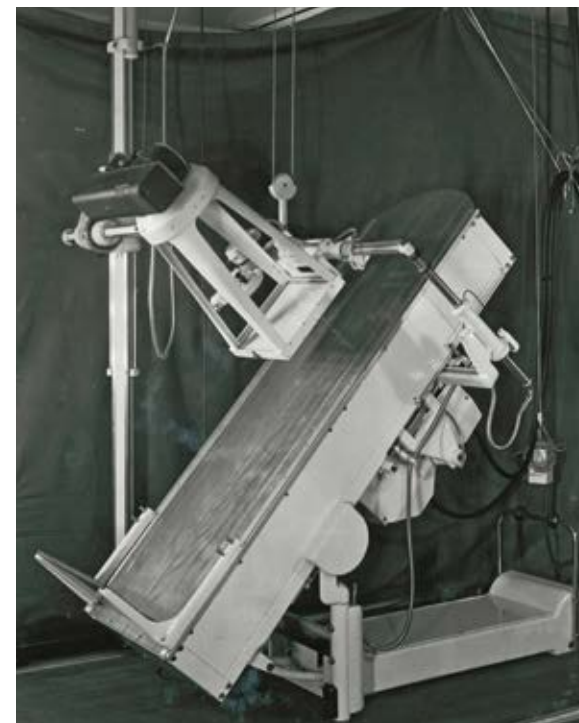
Bereits António Egas Moniz hat erkannt, dass bei der Angiographie schnelle Aufnahmen mehrerer Röntgenbilder hintereinander nötig sind. Dadurch kann der Arzt beispielsweise beobachten, wo die Durchblutung gehemmt ist und welche Ursache



dieser Störung zugrunde liegt. Bei der Entwicklung seines ersten auf diese Anforderungen optimierten Geräts, dem Angiograph, arbeitet Siemens mit Robert Janker zusammen, einem der bekanntesten Radiologen seiner Zeit. Janker wird für seine Pionierarbeiten im Laufe der Jahre unter anderem mit dem Großen Bundesverdienstkreuz und zahlreichen Wissenschaftspreisen wie der Röntgen-Plakette ausgezeichnet. Siemens setzt im Angiograph Jankers Idee um, die Röntgenbilder auf Rollfilm zu speichern, so dass sich bis zu fünf Bilder pro Sekunde in einem

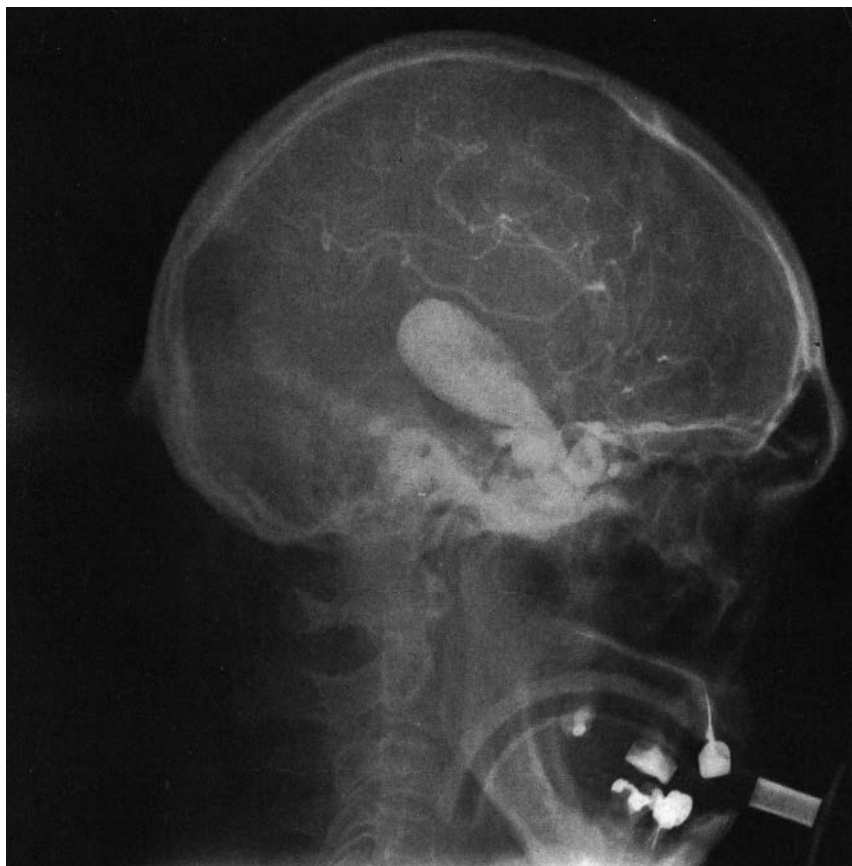
verdunkelten Raum bei Rotlicht aufnehmen lassen. Der Siemens Angiograph schaltet die Beleuchtung des Raumes automatisch aus, nimmt die Serienangiographien auf und schaltet das Licht wieder an. Der Arzt kann am Gerät unter anderem die Magenfunktion darstellen, die Speiseröhre beim Schlucken beobachten oder einen Katheter zum Herz führen.

„Die Angiographie hat eine Flut von neuen Erkenntnissen gebracht und neue Operationen ermöglicht“, erinnert sich der damalige Entwicklungsleiter der Siemens-Medizintechnik, Oskar Dünisch, an die Zeit zwischen 1950 und 1980. „Dabei wurde die Röntgentechnik einen gewaltigen Schritt voran gebracht.“ In diesen Jahren werden extrem aufwendige Anlagen entwickelt, mit denen sich sogar die besonders schnellen Organbewegungen kleiner Kinder darstellen lassen. Durch die „außerordentlich komplizierte technische Ausführung“ wird die Anzahl der Bilder pro Sekunde deutlich erhöht, von 12 Aufnahmen in den 1950er Jahren auf bis zu 150 Aufnahmen in den 1970er Jahren. Als die Angiographie mit der Zeit „einen immer



Der Angiograph, entwickelt von Siemens in Zusammenarbeit mit einem der bekanntesten Radiologen seiner Zeit

breiteren Umfang annahm“, erzählt Dünisch, „hat sie die Diagnostik um mindestens 30 Prozent erweitert.“ Die Anlagen ähneln im grundlegenden Aufbau bereits unseren heutigen Systemen. Der charakteristische C-Bogen, an dessen Enden sich Röntgenröhre und Röntgenfilm gegenüber liegen, entwickelt sich ab Ende der 1960er Jahre zum Standard.

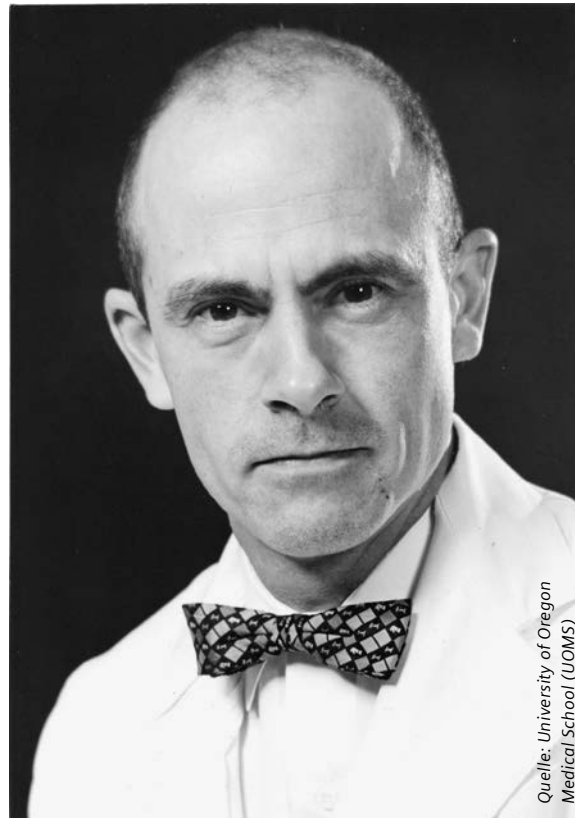


Angiographie der Gehirnarterien aus dem Jahre 1968

## Der Klempner der Blutgefäße

Wenn ein Mediziner keine Katheter zur Hand hat, dann kann er sie sich auch selbst bauen, beispielsweise aus Gitarrensaiten, dem Tachokabel eines Volkswagen, oder einem Telefonkabel, das er in einem Mülleimer findet – denkt sich der amerikanische Radiologe Charles Dotter im Jahre 1963, als er für seine Forschungen neue Katheter braucht. Dotter leiht sich bei einem Besuch auf dem Kongress der Radiological Society of North America eine Lötlampe, geht auf sein Hotelzimmer und wird am nächsten Morgen mit zehn „wunderschönen“ Kathetern gesehen. Charles Dotters Liebe zum Handwerk ist wohl auch der Grund für sein Motto: „Was ein Klempner mit Rohren tut, können wir mit Blutgefäßen machen.“

Doch was tut ein Klempner, das nach Dotters Meinung auch ein Radiologe tun kann? Und was hat diese Tätigkeit mit der Angiographie zu tun? Charles Dotter umreißt damit, „grob vereinfacht, natürlich“, was er im Jahre 1963 durch Zufall entdeckt hat. Bis dahin lassen sich verengte Gefäße nur mithilfe von Skalpell, Nadel und Faden therapieren. Vor einer solchen offenen Operation wird der Patient in Narkose versetzt, danach muss er mehrere Tage im Krankenhaus verbringen. Charles Dotters zufällige Entdeckung und seine anschließenden Forschungen sollten die Gefäßtherapie von Grund auf verändern: Als er bei einem Patienten mit verengter Nierenarterie eine Angiographie durchführen will, entfernt er mit dem Katheter zufällig die Blockade. Das Blut kann, wie deutlich auf den Röntgenbildern zu sehen ist, wieder ungehindert fließen. Von nun an widmet Dotter seine gesamte Karriere der „Katheter-Therapie“ und dem Ziel, Menschen wann immer möglich mit dem Katheter statt mit dem Skalpell zu behandeln.



Charles Dotter, der Vater der interventionellen Radiologie

Die erste reguläre Patientin der Katheter-Therapie ist eine 82-jährige Frau namens Laura Shaw. Der linke Fuß der Dame schmerzt seit Wochen, das Gewebe ist schwarz und scheint von Tag zu Tag mehr zu schrumpfen. All ihre Ärzte raten zur Amputation – doch Laura Shaw weigert sich hartnäckig! Als schließlich auch Charles Dotter gebeten wird, die Frau zu untersuchen, erkennt er die Ursache ihres Leidens: Die Arterie des linken Oberschenkels ist



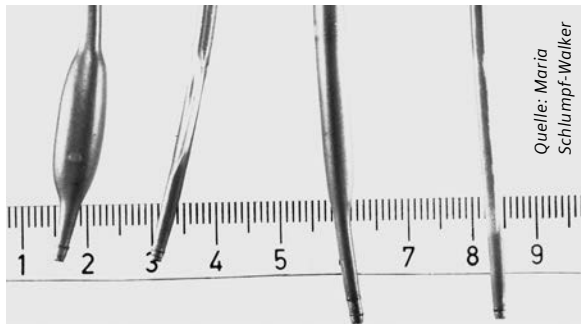
Die Basis der Katheter-Therapie: die Dotter-Katheter

beinahe vollständig verschlossen. Dotter beschließt, einen seiner selbstgebaute Katheter zu nutzen, um die Verengung in Laura Shaws Arterie zu beseitigen. Nach wenigen Minuten fließt das Blut wieder bis in die Zehen, der Fuß der Dame ist durchblutet und warm. Eine Woche später sind die Schmerzen verschwunden, und auch drei Jahre danach, kurz vor ihrem Tod, läuft Laura Shaw „noch immer auf meinen eigenen zwei Füßen.“



## Bastelabende am Küchentisch

Was haben ein Laserpointer und eine der meistverwendeten Operationsmethoden unserer Zeit gemeinsam? Beide wurden auf demselben Küchentisch erfunden. Ende der 1960er Jahre, zu einer Zeit, in der kaum jemand Dotters Methode anwendet, hört der deutsche Angiologe Andreas Grüntzig von der Katheter-Therapie – und die Grundidee lässt ihn von da an nicht mehr los. Auch Grüntzig möchte Durchblutungsstörungen ohne Operation behandeln. Nach seiner Arbeit am Kantonsspital Zürich fährt er nach Hause, um mit seiner Frau Michaela, seiner Laborassistentin Maria Schlumpf und deren Mann Walter in der heimischen Küche an neuen Methoden zu tüfteln. Bei einem ihrer vielen Experimente beschleunigen sie einen elastischen Draht mithilfe einer Bohrmaschine auf 3.000 Umdrehungen pro Minute, um Verengungen von Gefäßwänden dadurch zu weiten. Ihre Versuche, Blutgefäße mit Lasern zu behandeln, geben sie nach kurzer Zeit auf; doch Andreas Grüntzig braucht bei seinen Fachvorträgen nun keinen Zeigestock mehr. Maria Schlumpf erinnert sich später an die Abende im Jahre 1972, an denen die vier Tüftler überlegen, wie sich ein Katheter am besten an die Anatomie von Gefäßen anpassen lässt: „Ein Ballon – das war die Idee!“



Handgegebundene Becken- und Oberschenkelkatheter, 1975



Maria Schlumpf beim „Basteln“ in Grüntzigs Küche

„An den folgenden Abenden bastelten wir in Grüntzigs Küche mit verschiedenen schon vorhandenen Kathetern und Gummimaterialien.“ Wie ein Feuerwehrschauch soll sich der Ballon klein zusammenlegen lassen und unter starkem Wasserdruck seine Form behalten. „Nach Hunderten von Versuchen gelang es uns endlich, brauchbare, wurstförmige Ballonsegmente herzustellen“, erzählt Maria Schlumpf. „Das war der Durchbruch!“ In Handarbeit verkleben sie die beiden Enden der Ballone, umwickeln sie mit Nylonfaden und hängen sie zum

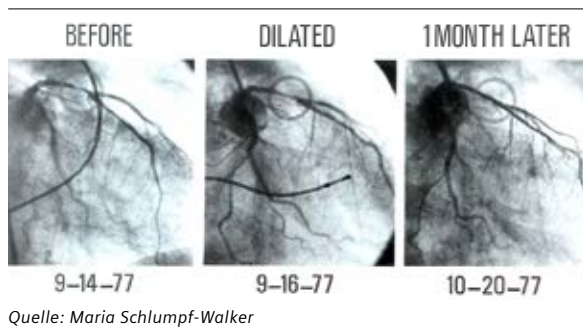
Trocknen in der Küche mit Wäscheklammern an einer Leine auf. „Jeden Abend bastelten wir nun zusammen mit Michaela und Walter Ballone in verschiedenen Längen und Durchmessern.“

Die „Basteleien“ aus der Küche in Zürich zählen zu den folgenreichsten Erfindungen in der Geschichte der Medizin und Medizintechnik. Anfang Februar 1974 nimmt Andreas Grüntzig eine Angiographie auf, um die Verengung der Beinarterie eines Patienten zu vermessen und einen passenden Ballonkatheter

Quelle: Maria Schlumpf-Walker



Andreas Grüntzig im Labor bei der Vorbereitung eines Katheters, 1980



Quelle: Maria Schlumpf-Walker

Klinische Bilder von Herzkranzgefäßen vor und nach der Operation

zu fertigen. Am 12. Februar 1974 weitet er die Verengung und zieht anschließend den Ballonkatheter problemlos aus der Arterie. Nach weiteren drei Jahren Forschung, am 16. September 1977, erspart er seinem stark herznarkosegefährdeten Patienten Dölf Bachmann eine Bypass-Operation. Der 38-jährige Versicherungsverkäufer Bachmann will unbedingt vermeiden, dass ihm der Brustkorb unter Vollnarkose geöffnet wird – und ihm gefällt der Gedanke, der erste mit einer neuen Methode behandelte Patient zu sein. Grüntzig führt den Katheter über den Oberschenkel in Bachmanns Herz, dehnt unter Röntgenkontrolle das um etwa 80 Prozent verengte Herzkranzgefäß und stellt den normalen Blutfluss wieder her. Diese erste sogenannte perkutane transluminale Koronarangioplastie (PTCA) bringt Andreas Grüntzig zusammen mit seinem Vorbild Charles Dotter eine Nominierung für den Medizinnobelpreis des Jahres 1976 ein – jedoch ohne die Auszeichnung zu erhalten, denn erst einige Jahre später lässt sich deutlich erkennen, wie wichtig ihre Pionierarbeiten noch werden sollten.

Die Gefäße beider Nieren, aufgenommen mit dem Siemens Angiotron und einem der ersten digitalen Verfahren zur Bildverbesserung, 1981



## Von der Randerscheinung zur ersten Wahl

Dotter, Grüntzig und zahlreiche andere Mediziner der 1960er und 1970er Jahre haben gezeigt, dass sich das Prinzip der Angiographie auch therapeutisch nutzen lässt. Aus ihren bahnbrechenden Arbeiten entwickelt sich schließlich die medizinische Disziplin, die wir heute interventionelle Radiologie nennen. Um die Radiologen des noch jungen Fachs zu unterstützen, entwickelt Siemens mehrere Spezialgeräte, bei denen sich erstmals der grundlegende Aufbau unserer heutigen Systeme abzeichnet. Während einer Herz-Angiographie mit dem Siemens Cardoskop U, zum Beispiel, dreht sich ab 1972 ein C-Bogen-ähnliches Aufnahmegerät um den ruhenden Patienten. In mehrerlei Hinsicht beginnt mit dem Siemens Angioskop aus dem Jahre 1977 die erste Generation unserer modernen Angiographie-Systeme im Operationssaal. Das Angioskop ist das erste Gerät mit einem C-Bogen, der sich, zu dieser Zeit noch per Hand, frei in jeder Richtung um den Patienten bewegen lässt.



Der C-Bogen des Angioskop lässt sich frei in jeder Richtung um den Patienten drehen, 1980



Anfang der 1980er Jahre ist die interventionelle Radiologie noch immer eher eine Randerscheinung, die von vielen Medizinern zurückhaltend aufgenommen wird – doch mit den nun folgenden großen Meilensteinen werden die sogenannten minimal-invasiven Therapien bei vielen Erkrankungen zur ersten Wahl. Bestimmte Gefäßverengungen lassen sich durch die Entwicklung des Stents Mitte der 1980er Jahre erfolgreicher, sicherer und dauerhaft therapieren. Die zweite Generation der Angiographie-Systeme arbeitet erstmals computergesteuert. Im Siemens Multiskop aus dem Jahre 1987 ist erstmals ein softwaregesteuerter Kollisionsschutz eingebaut, durch den Patient und Arzt geschützt sind, wenn der C-Bogen auf Knopfdruck die Untersuchungsposition einnimmt. Das Nachfolgemodell Multistar ist laut Werbebroschüre „perfekt für Angiographie und Intervention“. Das Herzstück des Siemens Multistar ist ein neuartiges, an der Decke montiertes Stativ, an dem sich erstmals zwei voneinander unabhängige C-Bögen mit „wanderndem Drehpunkt“ um den Patienten bewegen lassen.



Beim computergesteuerten Siemens Multiskop nimmt der C-Bogen auf Knopfdruck die Untersuchungsposition ein, 1986



Abbildung der Beinarterien im Jahre 1993



Auswertung von Aufnahmen mit dem Siemens Angiotron im Jahre 1983



## Therapie, heute und morgen

Kurz nach der Jahrtausendwende führt Siemens mit der neuen AXIOM-Artis-Familie schrittweise zahlreiche neue Technologien ein. Die neuen Festkörperdetektoren zum Beispiel wandeln die Röntgenstrahlen zum ersten Mal so effizient um, dass sie den analogen Röntgenfilmen mindestens ebenbürtig sind. Mit neun Millionen aktiven Pixeln – mehr als auf der Leinwand in einem modernen digitalen Kino – werden auch die feinsten Details auf dem Monitor sichtbar. Mit der Software *syngo* DynaCT lassen sich ab 2005 mit angiographischen C-Bogen-Systemen Schnittbilder erzeugen, ähnlich den Aufnahmen der Computertomographie. Dadurch stehen dem Arzt

direkt am Operationstisch dreidimensionale Bilder zur Verfügung, die ihm während des Eingriffs wichtige Informationen liefern können. Das weltweit erste Angiographie-System mit Industrierobotertechnik, das Artis zeego, geht bei der dreidimensionalen Bildgebung nochmals einen großen Schritt weiter. Während einer Biopsie etwa kann der Arzt den gesamten Bauchraum oder die Leber angiographisch sichtbar machen. Nach der minimal-invasiven Operation lässt sich das Artis zeego auf kleinstem Raum „parken“, was insbesondere in mehrfach genutzten Räumen, den sogenannten Hybrid-OPs, von großer Bedeutung ist.

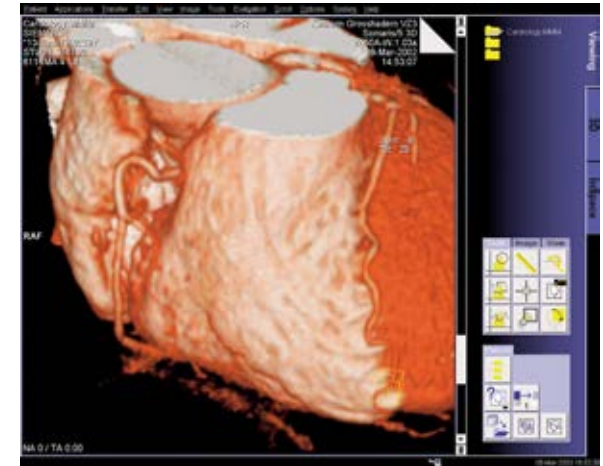
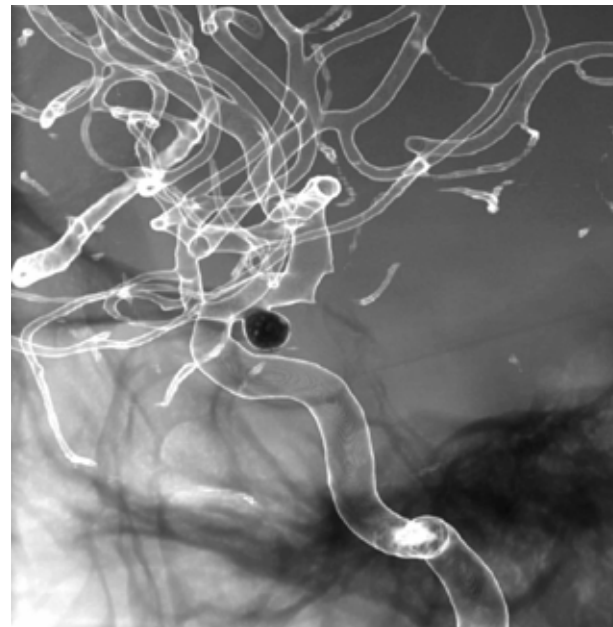
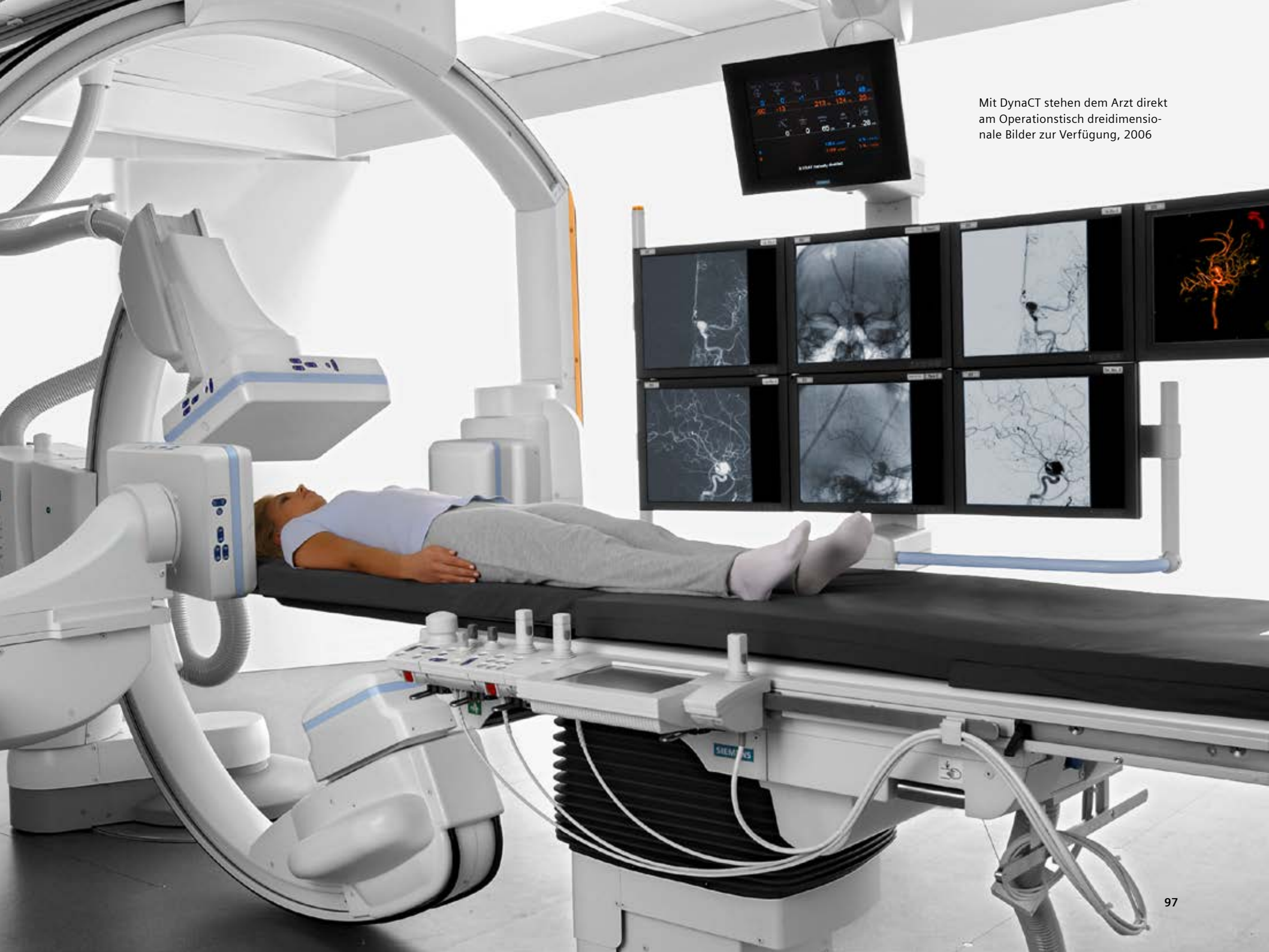


Abbildung des Herzens mit dem AXIOM Artis dBC, dem weltweit ersten System mit doppeltem C-Bogen, 2003



Links: Angiogramme eines 33-jährigen Patienten zeigen unter anderem die Arterien und Venen des Bauches und die Leberarterie, 2004

Rechts: Die Software *syngo* iPilot aus dem Jahre 2006 hilft dem Arzt beispielsweise bei der minimal-invasiven Therapie von Hirngefäßen



Mit DynaCT stehen dem Arzt direkt am Operationstisch dreidimensionale Bilder zur Verfügung, 2006



Die in Artis zeego integrierte Industrierobotertechnik ermöglicht dem Arzt, den C-Bogen beinahe beliebig um den Patienten herum zu positionieren, 2008



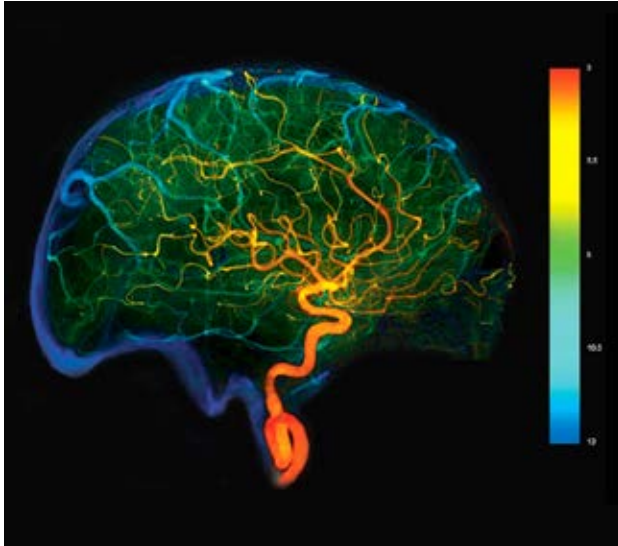
Im Arits Q und Q.zen steigert die neue Röntgenröhre im Jahre 2012 die Erkennbarkeit kleiner Gefäße um bis zu 70 Prozent gegenüber bisheriger Röhrentechnik

Die letzten zehn Jahre waren die bewegtesten in der Geschichte der Angiographie-Systeme von Siemens Healthineers. Eine beinahe unüberschaubare Zahl an Detailverbesserungen hat zu vielen neuen Anwendungsmöglichkeiten geführt. So lassen sich zum Beispiel seit 2014 mit den Weiterentwicklungen von *syngo* DynaCT erstmals zeitaufgelöste 3D-Bilder darstellen, das heißt, zusätzlich zur dreidimensionalen Aufnahme der Gefäße kann nun auch der Blutfluss am Monitor sichtbar dargestellt werden. Bei der Therapie von Herzkranzgefäßen unterstützen Software-Anwendungen wie Clearstent Live, mit dem sich das Öffnen des Stents beobachten und der Sitz

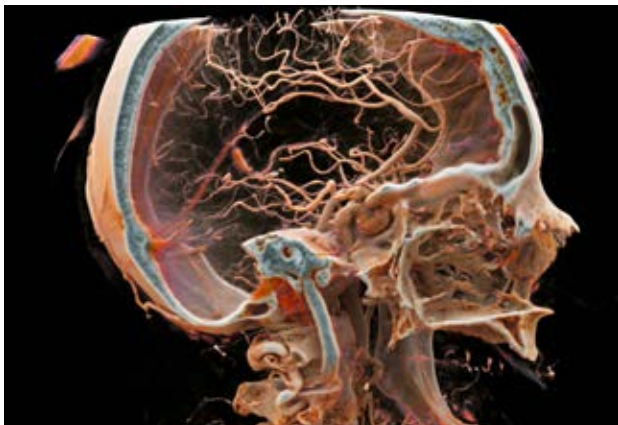
kontrollieren lässt. Beim technischen Fortschritt haben die Ingenieure alle Aspekte im Blick: Die Entwicklung des ARTIS pheno aus dem Jahre 2016 basiert auf einem neu eingeführten Hygiene-Konzept. Große geschlossene Oberflächen und möglichst wenige Spalten sorgen dafür, dass sich das System wesentlich leichter desinfizieren lässt als ältere Anlagen. Das ARTIS pheno – das erste Angiographie-System unter der Marke Siemens Healthineers – kann erstmals bis zu 280 Kilogramm schwere Patienten tragen und bei Bedarf so kippen, dass der Blutdruck stabilisiert oder das Atmen erleichtert wird.

Die „Therapie von morgen“ nimmt bereits Gestalt an. Minimal-invasive Behandlungen lassen sich mit unseren Systemen schon heute robotergestützt durchführen. Ärzte können mithilfe solcher Systeme und integrierter Bildgebung beispielsweise Führungskatheter, Führungsdrähte und Stents-Implantate präzise steuern, ohne direkt am Operationstisch zu stehen – von jedem Ort der Welt, an dem ein entsprechendes Kontrollmodul steht. Die Kombination von exakter Bildgebung und robotergestützten Eingriffen wird, metaphorisch gesprochen, sowohl die Augen als auch die Hände des Operateurs verbessern.





Die Software *syngo iFlow* macht seit 2009 sichtbar, wie sich das Kontrastmittel innerhalb der Gefäße ausbreitet, wo es zuerst ankommt und wo zuletzt



Cinematic-Rendering-Darstellung auf der Basis von Bilddaten einer Untersuchung mit einem Angiographie-System und der *syngo DynaCT*-Software, 2016

Quelle: Universitätsmedizin Göttingen, Prof. Dr. med. Michael Knauth/  
PD Dr. med. Marios Psychogios, Göttingen, Deutschland



Das robotergestützte Angiographie-System ARTIS pheno für den Einsatz in der minimal-invasiven Chirurgie, der interventionellen Radiologie sowie der interventionellen Kardiologie, 2016





Altägyptischer Papyrus mit einer Darstellung des Totengerichts, ca. 1250 v.Chr.



# Eine Herzensangelegenheit

## Die Untersuchung des Herzens mithilfe der Röntgentechnik

Das Herz – Sitz der Seele, Sinnbild der Liebe und Symbol des Lebens. Über Jahrtausende hinweg ist das Herz von einem Mythos umgeben. Schon im alten Ägypten wird das Herz als das Zentrum der Emotionen und des Verstandes gesehen. Es ist das einzige Organ, das bei der Einbalsamierung im Körper des Toten belassen wird. Man glaubt, dass es im Jenseits gewogen und über ein Leben nach dem Tod entscheiden würde. Auch im Christentum spielt das Herz eine wichtige Rolle. Im katholischen Glauben wird ein regelrechter Kult um das flammende Herz Jesu gesponnen, das zur Verkörperung der göttlichen Liebe zu den Menschen stilisiert wird. Mit der wissenschaftlichen Erforschung wird das Herz nach und nach entzaubert. Doch für die Mediziner bleibt es zunächst ein Mysterium. Denn bis Anfang des 20. Jahrhunderts ist es kaum möglich, das Herz des lebenden Menschen zu untersuchen.

Eine entscheidende Wende bringt die Entdeckung der Röntgenstrahlen. Damit hat man erstmals eine Möglichkeit, das Herz des lebenden Menschen im Körperinneren sichtbar zu machen. Allerdings muss man um das Jahr 1900 viel Geduld für eine Röntgenuntersuchung mitbringen, denn eine Röntgenaufnahme dauert mehrere Minuten. Der Patient muss in dieser Zeit bewegungslos ausharren, während sein Herz hunderte Male schlägt. Bei einer derart langen Aufnahmezeit sind Organe wie das Herz auf dem Röntgenbild nur als verschwommene Schatten wahrzunehmen.

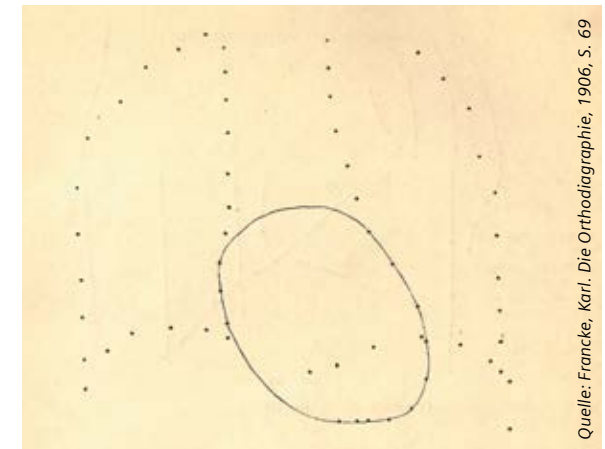
### Punkt für Punkt zum Ergebnis

Um dennoch Aufschluss über die Form, Größe und Lage des Herzens zu bekommen, entwickeln experimentierfreudige Röntgenpioniere wie Max Levy-Dorn Hilfsgeräte. 1905 bringt er zusammen mit Reiniger, Gebbert & Schall einen Orthodiagraphen auf den Markt. Das Gerät besteht aus drei Teilen: hinter dem Patienten befindet sich eine Röntgenröhre und vor ihm angebracht sind eine Bleiplatte und ein Leuchtschirm, auf dem Pauspapier befestigt ist. Bei der Untersuchung verschiebt der Arzt parallel

Röhre und Bleiplatte, sodass das Herz bis zum Rand abgedeckt ist. Dann wird diese Stelle auf dem Zeichenpapier mit einem Punkt markiert. Langsam umrundet er das gesamte Organ und überträgt so Punkt für Punkt die Organkonturen. Klinkt kompliziert? Ist es auch. Die Untersuchung ist sehr komplex und erfordert viel Erfahrung. Das Ergebnis ist eine maßstabsgetreue Abbildung des Herzens, die auf den ersten Blick einem Zahlenbild für Kinder gleicht.



Werbeanzeige für einen Orthodiagraphen von Reiniger, Gebbert & Schall, 1905

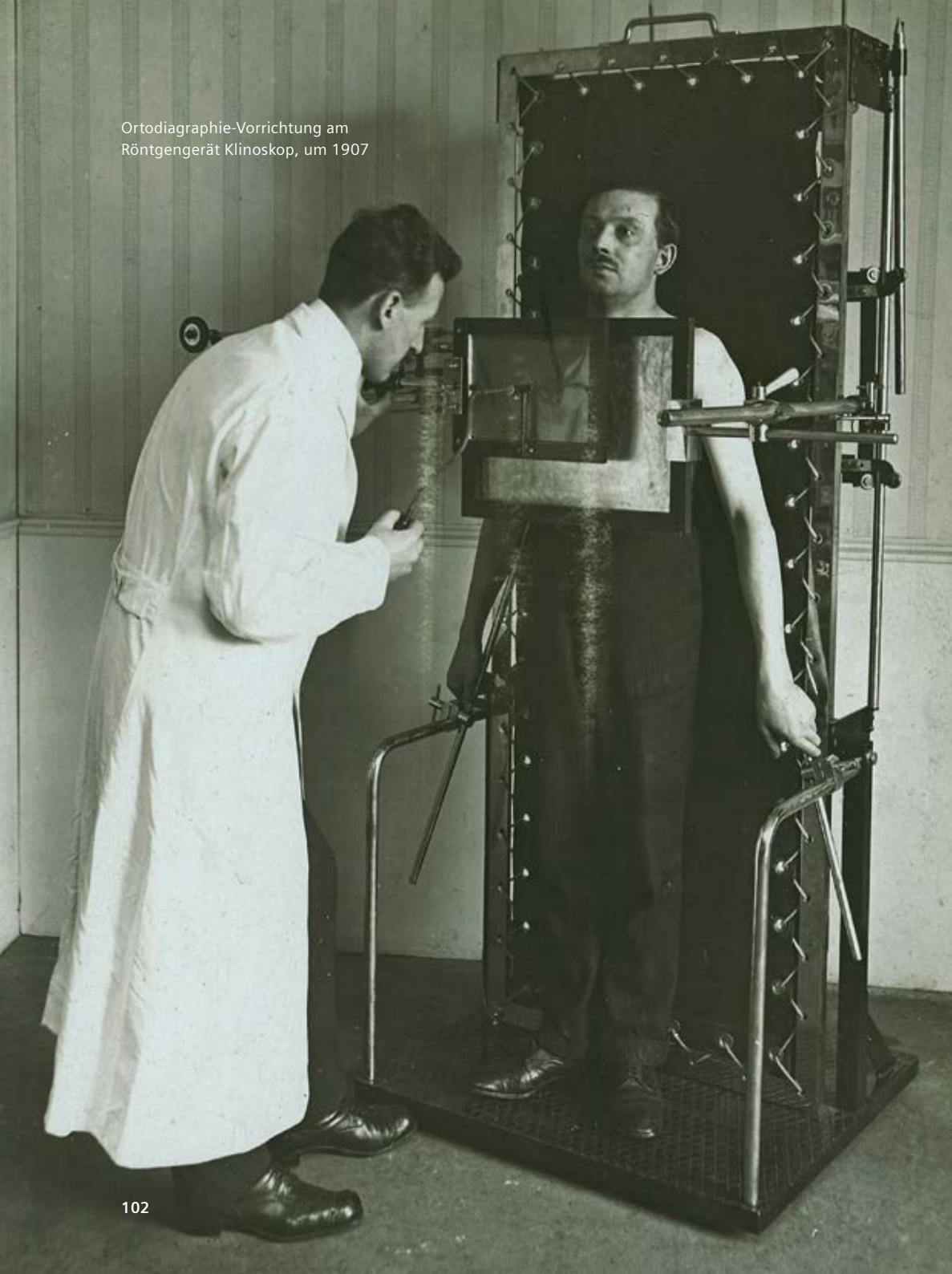


Orthodiagramm des Herzens eines gesunden Mannes, die unverbundenen Punkte stellen die Lungenflügel dar

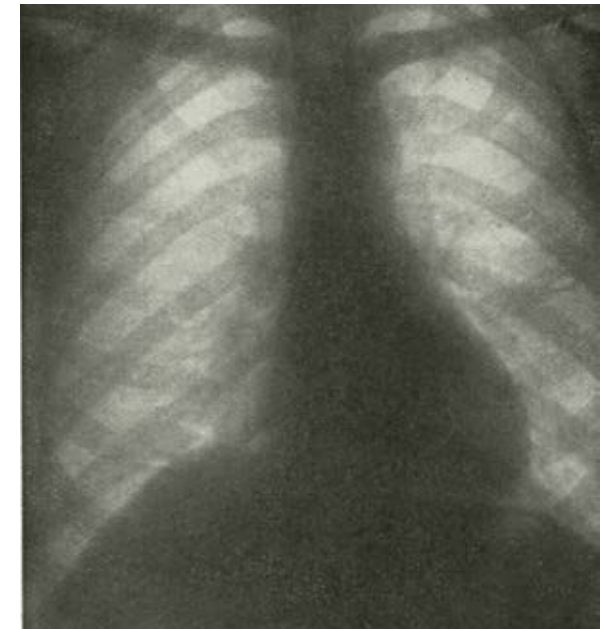
Quelle: Francke, Karl. Die Orthodiagraphie, 1906, S. 69



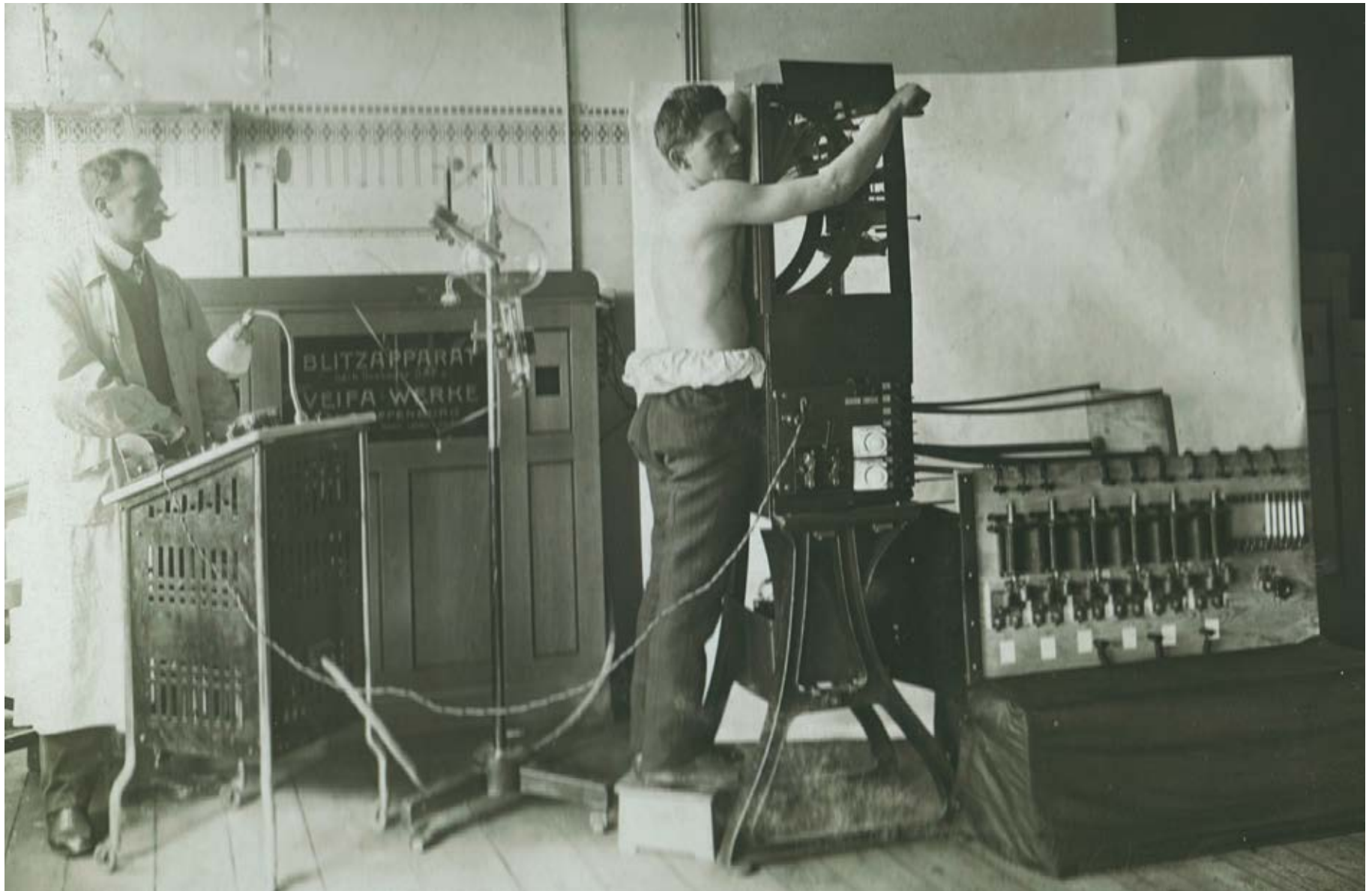
Ortodiagraphie-Vorrichtung am  
Röntgengerät Klinoskop, um 1907



Während die orthodiagrafische Untersuchung lange dauert, gelangt man ab 1909 dank einer neuer Konstruktion Friedrich Dessauers im wahrsten Sinne des Wortes blitzschnell zum Ergebnis: Der Strom des sogenannten Blitzapparates wird eingeschaltet, es kommt zu einer kleinen Explosion, die Röntgenröhre blitzt kurz auf – und dann ist die Aufnahme im Kasten. Wenig später hält der Arzt ein Röntgenbild in der Hand, auf dem die Konturen des Herzens scharf zu sehen sind. Was aus heutiger Sicht selbstverständlich klingt, war damals spektakulär. Der Blitzapparat ist das erste Röntgengerät, mit dem Ärzte innerhalb weniger Millisekunden Aufnahmen anfertigen konnten. Durch diese kurze Aufnahmezeit ist das Herz auf den Röntgenbildern erstmals deutlich zu erkennen.



Röntgenbild eines Brustkorbes aufgenommen mit dem Blitzapparat, das Herz ist darauf gut zu erkennen, um 1911

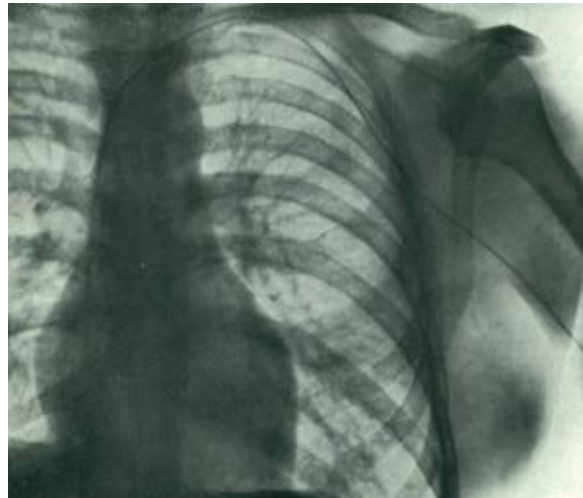


Röntgenaufnahme des Herzens mit dem Blitzapparat, um 1909

## Direkt ins Herz

Neben dem Röntgenbild sind das Abklopfen und Abhören des Herzens sowie die Elektrokardiographie zum Aufzeichnen der Herzimpulse lange Zeit die einzigen Möglichkeiten in der Herzdiagnostik. Doch diese Methoden reichen nicht aus, um eine umfassende Diagnose stellen zu können. Werner Forßmann ist sich dieser Unzulänglichkeiten in der Kardiologie bewusst und überlegt, wie man einen neuen Zugang zu dem Organ bekommen könnte. In ihm reift die Idee, dass man mit einem Katheter das Innere des Herzens und dessen Gefäße näher erkunden kann. Das Verfahren wurde jedoch bisher nie an einem lebenden Menschen ausprobiert.

Im Jahr 1929 ist Forßmann als Assistenzarzt an der Klinik in Eberswalde tätig. Erst vor kurzem hat er seine Approbation bekommen. Natürlich erlaubt man dem jungen und noch recht unerfahrenen Arzt nicht,

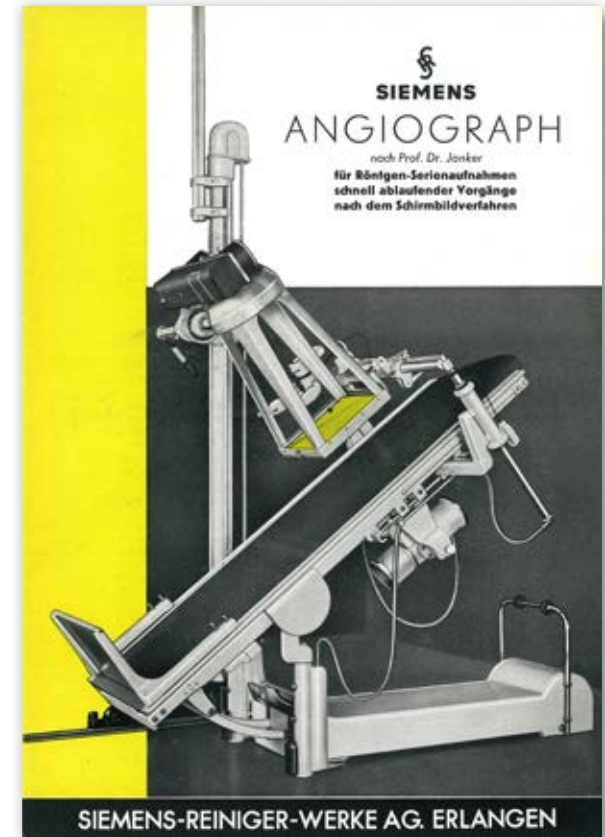


Röntgenbild zur Dokumentation der Herzkatheteruntersuchung, der Katheter reicht bis in die rechte Herz-Vorkammer

seine Überlegungen zur Herzuntersuchung in die Tat umzusetzen. Doch Forßmann ist so überzeugt von seiner Idee, dass er den Selbstversuch wagt. Während der Mittagspause schließt er sich heimlich in den kleinen Operationssaal des Krankenhauses ein. Beherzt öffnet er die Vene an seinem linken Arm und schiebt sich über diesen Zugang einen gut geölten Blasenkatheter bis in sein Herz. Es funktioniert komplikationsfrei. Nun braucht er noch den Beweis und bittet die Röntgenschwester, Aufnahmen seines Brustkorbes anzufertigen. Auf diesen Röntgenbildern ist der Gummischlauch, der bis in die rechte Herzvorkammer reicht, gut zu erkennen. Die Bilder werden zusammen mit einer Beschreibung seines Selbstversuchs im November 1929 in der Fachzeitschrift *Klinische Wochenschrift* veröffentlicht. Trotzdem glaubt außer ihm selbst zunächst niemand an den Erfolg dieser Untersuchungsmethode.

Erst ab den 1950er Jahren kommen Herzkatheteruntersuchungen gezielt zum Einsatz – zum Beispiel zur Untersuchung von Herzrhythmusstörungen sowie zu Messungen des Blutdruckes und der Sauerstoffsättigung in den Herzkammern. Außerdem können mit einem Katheter Kontrastmittel zur Sichtbarmachung der Herzkammern und Herzkranzgefäße gezielt eingeführt werden. Heute gehört die Herzkatheteruntersuchung zur gängigen Praxis und eine Vielzahl an kardiologischen Erkrankungen kann damit nicht nur diagnostiziert, sondern auch direkt behandelt werden.

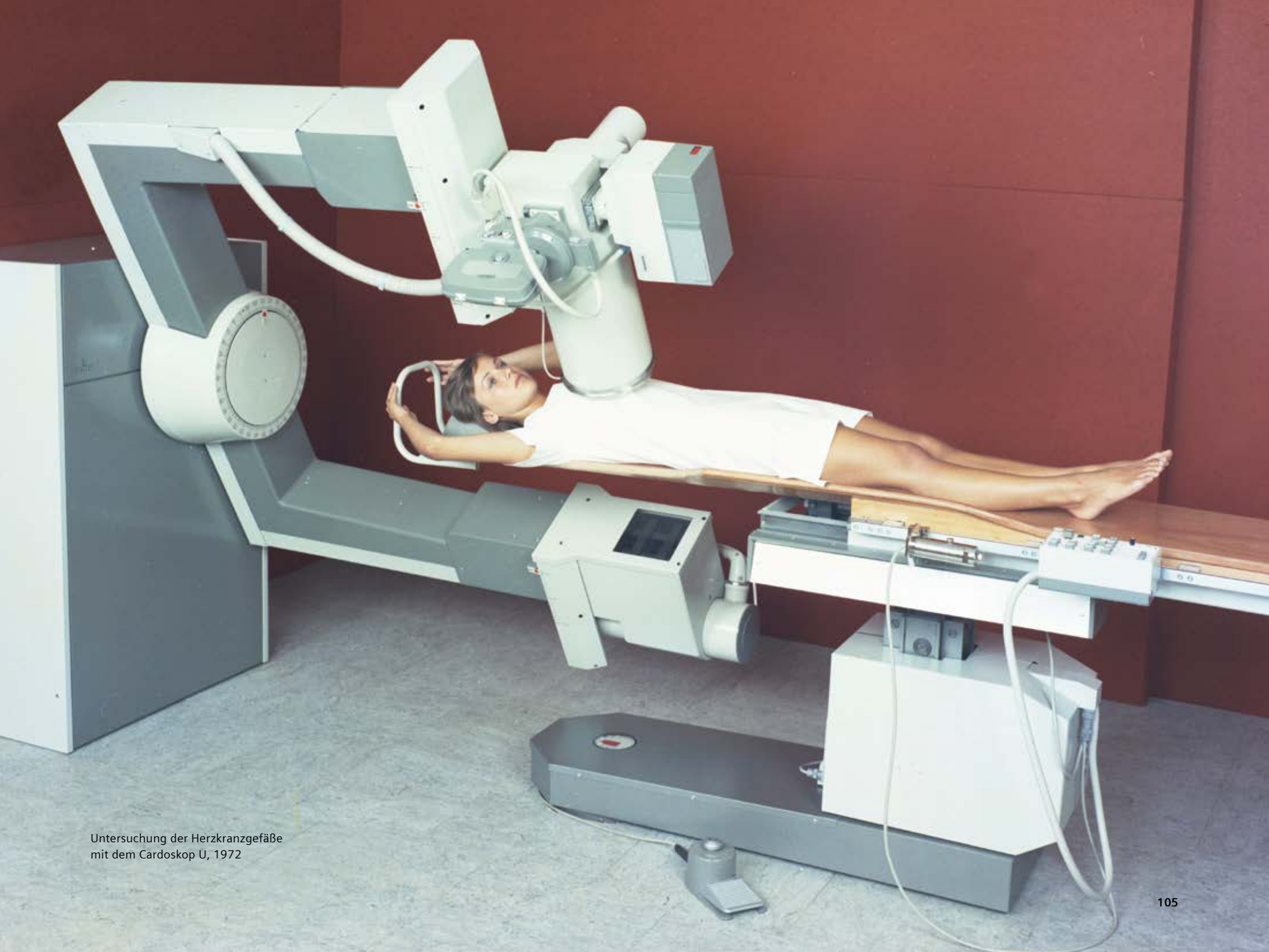
Damals wie heute ist eines dabei unverzichtbar – die Röntgenkontrolle. Bereits 1950 stellt Siemens mit dem Angiograph sein erstes System vor, das die Möglichkeit bietet, den Katheter auf seinem Weg durch die Blutgefäße bis ins Herz auf einem Leuchtschirm zu beobachten und den Durchlauf von Kontrastmittel durch die Gefäße zu dokumentieren. Dabei ist es wichtig, dass das Herz aus verschiedenen Positionen durchleuchtet wird. Allerdings gibt es einen Haken:



Produktbroschüre des Angiographen aus dem Jahr 1951

die Röntgenstrahler sind an einer bestimmten Stelle im Raum beispielsweise an der Decke fixiert. Also behilft man sich zunächst damit, den Patient zu drehen, obwohl er sich eigentlich während des Eingriffs in völliger Ruhe befinden soll. 1972 stellt Siemens mit dem Cardoskop U schließlich die Lösung für das Problem vor – einen Spezialarbeitsplatz für das Herzkatheterlabor, bei dem das Aufnahmesystem durch einen speziellen U-Bogenarm um den Patienten schwenkbar ist.





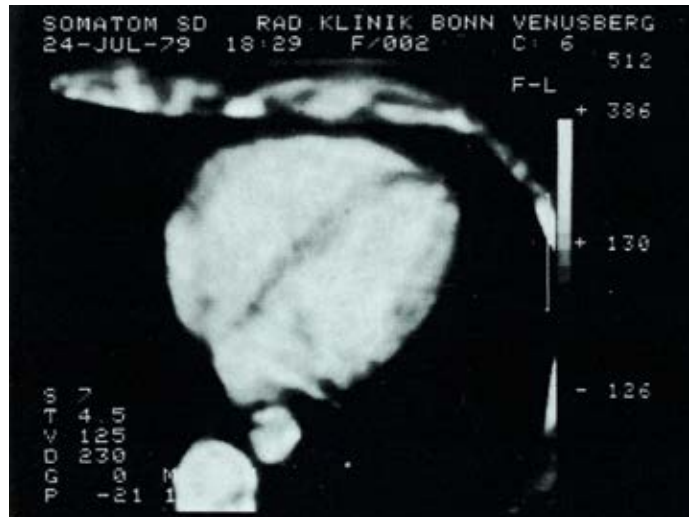
Untersuchung der Herzkranzgefäße  
mit dem Cardoskop U, 1972

## Immer in Bewegung

Völlige neue Darstellungsmöglichkeiten des Herzens ergeben sich in den 1970er Jahren durch die Computertomographie. Theoretisch könnte man das Herz nun ohne Überlagerungen in detailreichen Schichten und Schnitten darstellen. Allerdings muss auch bei diesem bildgebenden Verfahren die gleiche Hürde überwunden werden, die schon die Forscher um 1900 bei der klassischen Röntgentechnik vor eine große Herausforderung gestellt hat – unser Herz ist immer in Bewegung. Als unser wichtigster Muskel pumpt es unser Leben lang kontinuierlich Blut durch unseren Körper. Bei einem erwachsenen Menschen schlägt das Herz durchschnittlich 70-mal in der Minute, das sind über 100.000 Schläge pro Tag.

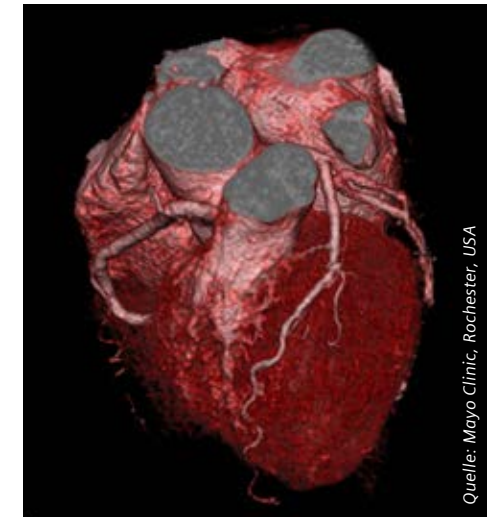
Der erste Ganzkörper-Computertomograph von Siemens, SOMATOM, braucht im Schnellscanmodus für das Abtasten einer 4 cm dünnen Körperschicht zweieinhalb Sekunden und sammelt dabei mehr als 92.000 Messwerte. Während die Röhre und der Detektor den Patienten einmal umrunden, schlägt das Herz etwa 3-mal. Das Ergebnis ist eine unscharfe Schichtaufnahme des Herzens.

1979 gelingt es unseren Entwicklern mit einem speziellen Cardio-CT-Zusatz für das SOMATOM 2 die Hürde der Herzbewegung zu überwinden. Während der Untersuchung misst ein EKG die Herzfunktion und synchronisiert den Computertomographen mit dem Herzschlag des Patienten. Der CT gibt nur dann einen Röntgenimpuls ab, wenn das Herz gerade nicht pumpt. So bleibt das Schichtbild weitgehend frei von Störeffekten. Für die gesamte Aufnahme des Herzens braucht das SOMATOM 2 circa 100 Sekunden.



EKG-getriggerte Herzaufnahme mit dem SOMATOM 2, 1979

Was aber, wenn der CT schneller als die Herzbewegung wäre? Das SOMATOM Definition liefert 2005 die Antwort. Ausgestattet mit der Dual-Source-Technik umkreisen zwei Röhren und zwei Detektoren den Patienten. Der Scanner ist so schnell, dass die komplette Aufnahme des bewegten Herzens nur 0,083 Sekunden dauert. Das Ergebnis sind qualitativ hochwertige Bilder mit großer Detailgenauigkeit. Beispielsweise lassen sich damit nicht nur die Herzkranzgefäße ansich, sondern auch feine Kalkablagerungen an den Gefäßwänden sowie Engstellen präzise darstellen.



Visualisierung der Koronararterien in der End-Systole mit dem SOMATOM Definition, 2006

## Auf die richtige Kombination kommt es an

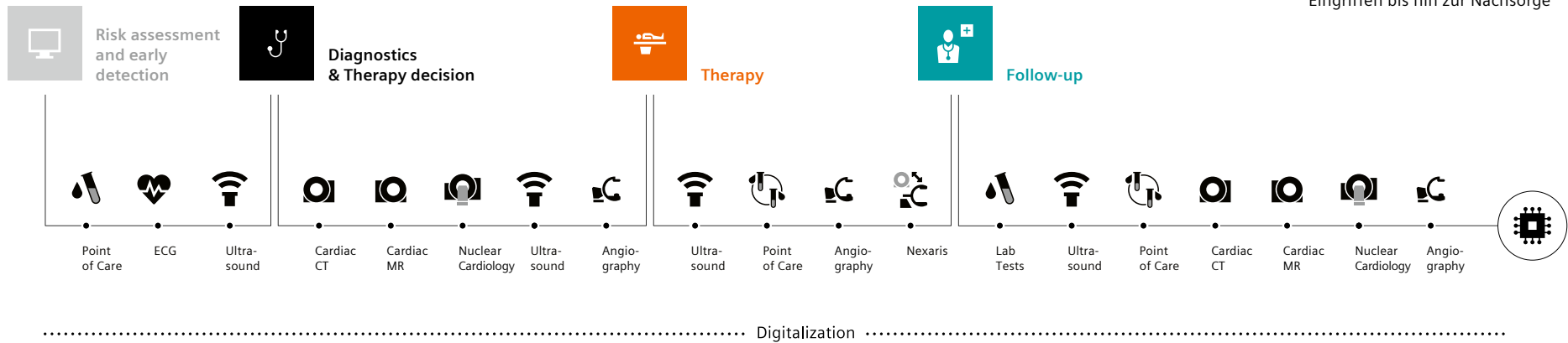
Vor knapp 125 Jahren war das Herz nur ein verschwommener Schatten auf einem Röntgenbild. Heute stellen moderne Computertomographen und Angiographie-Systeme seine Anatomie detailreich dar. Allerdings geben diese Bilder allein noch keinen exakten Aufschluss über die Funktion und Leistungsfähigkeit des Herzens. Deshalb stehen dem Kardiologen eine Reihe weiterer Untersuchungsmethoden zur Verfügung, um eine präzisere Diagnose stellen zu können und die Behandlung zu planen.

Probelauf des SOMATOM Definition  
mit einem Testkörper, 2006





Die klinischen Lösungen von Siemens Healthineers unterstützen den gesamten Therapieverlauf: von der ersten Diagnose über die Therapieplanung und Unterstützung bei operativen Eingriffen bis hin zur Nachsorge



Am Anfang der kardiologischen Diagnostik steht in der Regel die Überprüfung der Herzfunktion anhand der Aufzeichnung der Herzimpulse mit dem EKG und von Laborwerten. Auch die Echokardiographie, also die Anwendung von Ultraschall in der Herzdagnostik, ist eine Basis-Untersuchung in der Kardiologie. Sie ist einfach durchzuführen und liefert schnell Informationen beispielsweise über die Anatomie oder den Blutfluss des Herzens. Besonders die Beweglichkeit und Funktion der Herzklappen lässt sich damit gut sichtbar machen. Ergibt sich aus dem Herz-Echo weitere Fragestellungen oder ist der Befund nicht eindeutig, dann kann die Magnetresonanztomographie (MRT) wesentlich exaktere Informationen liefern. Neben rein anatomischen Darstellungen bietet die MRT

unter anderem die Möglichkeit zur funktionellen Beurteilung des Herzmuskels und der Herzklappen. Außerdem lässt sich mit diesem bildgebenden Verfahren gut das gesunde Gewebe des Herzmuskels von Narbengewebe unterscheiden.

Besteht der Verdacht auf eine Beeinträchtigung der Durchblutung des Herzens, kann eine Nuklearmedizinische Untersuchung Aufschluss geben. Bei der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) werden dem Patienten radioaktiv markierte Substanzen injiziert, wodurch Stoffwechselprozesse im Körper sichtbar gemacht werden können. Somit lassen sich zum Beispiel Durchblutungsstörungen des Herzmuskels darstellen. Mit diesem Verfahren erhält man eine exakte Aussage über die Stoffwechselaktivität,

allerdings ohne eine anatomische Darstellung. Deshalb kombiniert Siemens 2001 die PET mit der Computertomographie in einem Gerät – dem Biograph. Jede der genannten Untersuchungsmethoden weist Vorteile zur Beantwortung spezieller Fragestellungen auf. Erst durch die Kombination aus modernen bildgebenden Verfahren, Software-Applikationen und der Labordiagnostik können wir heute den gesamten Therapieverlauf des Patienten unterstützen: von der ersten Diagnose über die Therapieplanung und Unterstützung bei operativen Eingriffen bis hin zur Nachsorge.

## Unser digitaler Herz-Zwilling

Obwohl die moderne Medizin heute viele Möglichkeiten bietet, um Herzerkrankungen zu erkennen und zu behandeln, besteht immer auch eine gewisse Unsicherheit. Wird das Medikament anschlagen? Wird die geplante Operation den gewünschten Erfolg haben? Bislang können diese Fragen im Vorfeld nicht mit Gewissheit beantwortet werden. Denn jeder Patient ist anders und viele individuelle Faktoren haben Einfluss auf die Wirkung einer Therapie.

Was aber wäre, wenn wir einen digitalen Zwilling hätten, an dem man gefahrlos Eingriffe testen kann? Was sich wie Science Fiction anhört, ist dabei, Realität zu werden. Der digitale Zwilling ist eine Technologie, die die reale mit der digitalen Welt verbindet. Eine Vielzahl an individuellen Daten, die man bei der Untersuchung mithilfe der bildgebenden Verfahren, des EKG oder auch der Labordiagnostik gewonnen hat, bildet die Basis. Mithilfe von künstlicher Intelligenz (KI) wird aus der riesigen Datenmenge die Anatomie und Funktion des Herzens des Patienten modelliert. Anhand der individuellen Patientendaten werden künstliche neuronale Netzwerke trainiert, sodass der digitale Herz-Zwilling genau so arbeitet und reagiert, wie das Herz des Patienten.

Vereinfacht ausgedrückt, ist der digitale Zwilling des Herzens ein virtuelles Modell des Patienten, das möglichst exakt den Aufbau und die Funktion seines Herzens wiedergibt. An diesem Modell könnte beispielsweise ein Herzmedikament ausprobiert werden, um schon vor der wirklichen Einnahme zu sehen, ob es bei dem Patienten anschlagen wird oder nicht. Auch Herzkatheteruntersuchungen oder Herzoperationen könnten an dem digitalen Zwilling im Vorfeld des Eingriffs simuliert werden. Dadurch könnten Vorhersagen zu den Erfolgchancen des

geplanten Eingriffs getroffen werden. Indem man an dem digitalen Zwilling unterschiedliche Szenarien durchspielt, könnte man am Ende aus dem vielfältigen Angebot an Therapieoptionen letztlich genau diejenige auswählen, die perfekt auf den Patienten und sein Herz zugeschnitten ist. Bis uns unser digitaler Zwilling des gesamten Körpers ein Leben lang zu Arztbesuchen begleitet, ist es noch ein weiter Weg. Aktuell wird der Herz-Zwilling in Zusammenarbeit mit Universitätskliniken in Forschungsprojekten erprobt.

Dank des Fortschrittes in der Medizin und Technik ist unser Herz heute bis ins kleinste Detail erforscht.

Es hat seinen mystischen Charakter weitgehend verloren. Dennoch nimmt es einen zentralen Stellenwert ein. Es ist der Motor unseres Lebens und kein anderes Organ spüren wir so unmittelbar wie unser Herz. Es reagiert auf unsere Emotionen. Wir merken, wie das Herz rast, wenn wir gestresst sind und unter großem Druck stehen. Müssen wir einen herben Niederschlag oder schmerzlichen Verlust verkraften, spüren wir die Beklemmung in der Brust. Es gibt aber auch Momente, die unser Herz höherschlagen lassen: Wenn wir verliebt sind, dann flattert unser Herz wie ein Schmetterling – ein berauschendes Gefühl! Vielleicht ist gerade deshalb das Herz auch heute noch das Symbol für die Liebe.



Beim Digital-Gipfel in Nürnberg im Dezember 2018 stellen Aufsichtsratsvorsitzender Michael Sen und CEO Bernd Montag Bundeskanzlerin Angela Merkel und Bundeswirtschaftsminister Peter Altmaier den Digitalen Zwilling des Herzens vor.



Titelbild einer Kampagne aus dem Jahre 2014:  
"You can see more than meets the eye; Look closer ..."  
Bei der Brustkrebsvorsorge kommt es darauf an,  
jedes kleine Detail zu erkennen





# So früh wie irgend möglich

## Vom stiergroßen Röntgenapparat zum Spezialsystem für die Mammographie

Alle Geschichten aus der Pionierzeit der medizinischen Röntgentechnik erzählen von brillanten, oft sogar von faszinierenden Persönlichkeiten. Viele dieser Pioniere haben ihre Karriere dem Ziel gewidmet, das Potential der X-Strahlen weiter auszuschöpfen. Manchmal beginnen ihre Forschungen mit einer genialen Idee, manchmal mit einer bahnbrechenden Entdeckung – und manchmal, wie im Falle des Radiologen Philip Strax, mit einer persönlichen Angelegenheit im Leben des Wissenschaftlers. Strax betreibt als Allgemeinarzt eine kleine Praxis in Manhattan, als ihn und seine Familie eine schockierende Nachricht erreicht: Seine Ehefrau, Bertha Goldberg Strax, erkrankt an Brustkrebs und stirbt 1947 im Alter von 39 Jahren. Philip Strax beschließt, sein Berufsleben dem Ziel zu widmen, so viele Menschen wie möglich vor diesem Schock zu bewahren, besonders natürlich die Patientinnen.

Mit seinem leidenschaftlichen Einsatz hat Philip Strax im Laufe der folgenden vier Jahrzehnte die Brustkrebsvorsorge wesentlich geprägt. Bei seinem Forschungspartner Sam Shapiro und anderen Wissenschaftlern ruft Strax „den Drang hervor, ihn zu umarmen und ihm für seine Inspiration zu danken.“ Viele seiner Patientinnen sind so beeindruckt von seiner humorvollen und mitfühlenden Art, dass sie noch 30 Jahre nach ihrer Untersuchung von ihm sprechen. Strax betont in seinen zahlreichen Büchern und Aufsätzen zum Thema Brustkrebs immer wieder, welche Vorgehensweise für ihn bei der Diagnose die richtige sei: „Eine gute Untersuchung hat drei

Komponenten: das Mammogramm, eine klinische Untersuchung durch einen Mediziner oder eine speziell ausgebildete Krankenschwester, und eine Lektion in der Selbstuntersuchung der Brust.“ In Strax´ selbstgegründeten Vorsorgekliniken in New York stehen deshalb Mitte der 1960er Jahre „Maschinen, so groß wie ausgewachsene Stiere.“ Mit diesen klobigen und schwer bedienbaren Geräten lässt sich das Gewebe der Brust so abbilden, dass es – in den Worten eines zeitgenössischen Mediziners – auf Röntgenbildern wie „das Netz einer Spinne“ erscheint. Die sogenannte Mammographie (lateinisch mamma: die Brust) steckt zu dieser Zeit zwar noch in den Kinderschuhen; doch die Apparate und das Wissen, auf die Strax und seine Kollegen in den 1960er Jahren zurückgreifen können, haben bereits ein halbes Jahrhundert Entwicklung hinter sich – eine Entwicklung, die in mehrerlei Hinsicht außergewöhnlich ist in der Geschichte der Röntgentechnik.

### Eine neue Diagnosemethode?

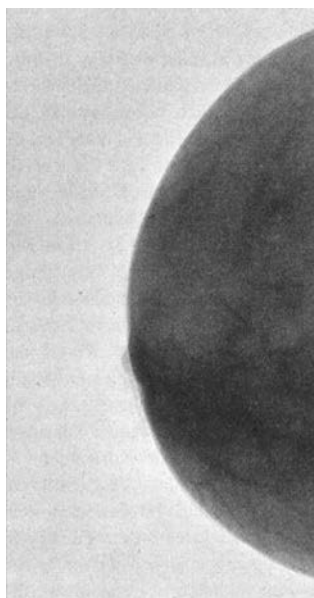
Ungewöhnlich an der Geschichte der Mammographie ist nicht nur die Tatsache, dass sie in dem Land, in dem sie erfunden wird, mehr als zwei Jahrzehnte lang völlig in Vergessenheit gerät. Erstaunlich ist auch, dass der Mann, der erstmals Brustkrankheiten mithilfe von Röntgenstrahlen untersucht, die Grundlagen der Diagnose bereits so umfassend erklärt, dass später nur noch wenig theoretisches Wissen hinzugefügt werden muss. Als der deutsche Chirurg Albert Salomon im Jahre 1913 mit seiner Arbeit beginnt, hat er jedoch

mit den technischen Einschränkungen seiner Zeit zu kämpfen. Die Röntgengeräte sind nicht darauf ausgelegt, das Brustgewebe seiner Patientinnen ohne erheblichen Aufwand abzubilden. Salomon kann deshalb lediglich entnommenes Brustgewebe für seine Forschungen nutzen. Er vergleicht das Gewebe mit den Röntgenbildern und erkennt unter anderem, wie sich krankes Gewebe ausbreitet und von gesundem unterscheiden lässt. Dass die Mammographie ein wichtiges Hilfsmittel zur Vorbereitung von Operationen werden wird, kann sich Albert Salomon wegen des hohen technischen Aufwands nicht vorstellen. Er betrachtet seine Arbeit nicht als neue Diagnosemethode, sondern als wissenschaftliche Erforschung des Brustkrebses. Weitere 14 Jahre sollten vergehen, bis ein anderer deutscher Chirurg die weltweit erste klinische Mammographie veröffentlicht.



Der erste Mediziner, der die X-Strahlen zur Untersuchung des Brustgewebes nutzt: Albert Salomon mit seiner Tochter, der Künstlerin Charlotte Salomon

Wann genau der Leipziger Chirurgie-Professor Otto Kleinschmidt diese erste bekannte Abbildung des Brustgewebes einer lebenden Patientin aufgenommen hat, lässt sich nicht mit Sicherheit sagen. Im Jahre der Veröffentlichung, 1927, blickt Kleinschmidt bereits auf mehrere Jahre Erfahrung mit der Mammographie zurück. Er beschreibt die Röntgenuntersuchung der Brust als „ein diagnostisches Hilfsmittel, das in manchen zweifelhaften Fällen in Gemeinschaft mit anderen Untersuchungsmethoden eine richtige Diagnose zu stellen erlaubt.“ Mit Gewissheit lässt sich sagen, dass die Methode an der Universitätsklinik Leipzig bis mindestens 1934 im klinischen Alltag genutzt wird. Dann verschwindet die Mammographie – möglicherweise in den Wirren des Nationalsozialismus – in Deutschland komplett von der Bildfläche. Ein knappes Viertel Jahrhundert später jedoch sollte die Technik zurückkehren, in vielen Details verfeinert und mit neuen diagnostischen Möglichkeiten.



Die erste bekannte Abbildung des Brustgewebes einer lebenden Patientin, veröffentlicht im Jahre 1927

Quelle: Zweifel, Paull/Payr, Erwin (Hg.): Die Klinik der bösartigen Geschwülste, S. 58

## Mammographie in der Mittagspause

Vor allem in Uruguay, Frankreich und den USA häufen sich ab Mitte der 1930er Jahre Berichte über verlässliche Diagnosen von Brustkrebs mithilfe von Röntgenstrahlen. In Montevideo erkennt der Radiologe Raoul Leborgne unter anderem, dass sich Brusttumoren großflächig ausbreiten können, ohne sich ertasten zu lassen. Charles Gros verbessert in Straßburg die Bildqualität, indem er Röntgenröhren auf die Darstellung weichen Gewebes optimiert. In Pennsylvania weist eine amerikanische Arbeitsgruppe um Jacob Gershon-Cohen und die Pathologin Helen Ingleby die Bedeutung der Mammographie für die Frühdiagnose nach und veröffentlicht das erste Standardwerk der Mammographie. Zahlreiche weitere Pioniere – besonders der Nuklearmediziner Stafford L. Warren und der Radiologe Robert Egan – schaffen mit ihren Erkenntnissen und Anforderungen an Mammographie-Geräte die Blaupause für den Aufbau unserer heutigen Systeme. Doch Anfang der 1960er Jahre ist die Mammographie noch immer eine aufwendige Fachdisziplin, die nur von wenigen, sehr erfahrenen Spezialisten praktiziert wird. Einer dieser Spezialisten ist Philip Strax, und er trägt mit seinem leidenschaftlichen Einsatz und einer vielbeachteten Studie dazu bei, der Mammographie zum Durchbruch in die klinische Praxis zu verhelfen.

Im Jahre 1963 sucht Strax zusammen mit dem Statistiker Sam Shapiro und dem Chirurgen Louis Venet nach der nützlichsten Methode, Brustkrebs so früh wie möglich zu erkennen, um radikale Operationen tunlichst zu vermeiden. Ihr zentrales Forschungsmittel – eine Reihenuntersuchung von rund 62.000 New Yorker Frauen – ist vom erste Tage an eine Art großes logistisches Abenteuer: Da die meisten Krankenhäuser der Stadt zu dieser Zeit im Norden liegen, wollen viele Frauen nicht den weiten Weg dorthin auf sich nehmen – doch Philip Strax



Philip Strax trägt wesentlich dazu bei, der Mammographie zum Durchbruch zu verhelfen

persönlich versucht sie mit Briefen und Telefonaten zur Teilnahme zu überreden. Venet und Strax statten einen Lieferwagen mit einem Röntgengerät aus, parken ihn in der Mitte Manhattans zwischen Eiswagen und Sandwichverkäufern, und untersuchen die Probandinnen dort während ihrer Mittagspause. Damit die teilnehmenden Kliniken jeden Tag mehrere Tausend Mammographien durchführen können, werden die Frauen von früh bis spät durch einen karussellähnlichen Bau mehrerer Umkleiden geschleust. Jede Station, jedes Betreten der Kabinen und jedes An- und Auskleiden sind bis auf die Minute getaktet. „Um den Durchsatz zu beschleunigen, wird auf Annehmlichkeiten wie Stühle und Spiegel verzichtet.“ Das Ergebnis dieser bis dahin größten Untersuchung zur Nützlichkeit der Mammographie: Bei mehreren Frauen sind Tumoren rechtzeitig erkannt und behandelt worden, so dass unter den Teilnehmerinnen der Reihenuntersuchungen fast 40 Prozent weniger an Brustkrebs gestorben sind als aus der Kontrollgruppe. Philip Strax schreibt voller Begeisterung: „Der Radiologe ist zum potentiellen Retter von Frauen – und ihren Brüsten – geworden.“

## Die Anerkennung im Gefolge

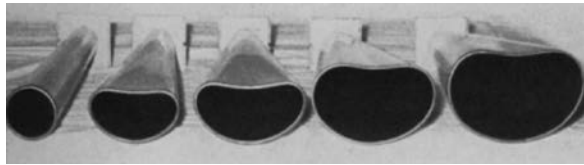
In der Zwischenzeit ist die Mammographie wieder in Deutschland angekommen. Im Jahre 1957 beginnt an der Universität Heidelberg eine großangelegte Studie, bei der zunächst die von Charles Gros in Straßburg entwickelte Technik übernommen wird. „Darauf aufbauend war eine selbstständige Entwicklung in den folgenden Jahren möglich“, erklärt Dietrich Buttenberg im Buch *Die Mammographie*, in dem er die Ergebnisse der Studie nach fünf Jahren Forschung veröffentlicht. „Durch eine Anzahl technischer Verbesserungen konnte der Mammographie der Weg für eine größere Verbreitung gesichert werden.“ Das Röntgengerät, das in der Universitäts-Frauenklinik Heidelberg zum Einsatz kommt, ist das Siemens Tridoros IV. Zwar handelt es sich beim Tridoros IV nicht um ein speziell für die Mammographie entwickeltes Gerät, die Heidelberger Mediziner und Siemens optimieren es jedoch gemeinsam auf die hohen Anforderungen an die Röntgentechnik bei der Abbildung von Brustgewebe. Erstmals wird an der Röntgenröhre ein Tubus angebracht, der zum einen die Röntgenstrahlen gezielt bündelt, zum anderen die Brust komprimiert, um die Strahlenbelastung zu senken und die Detailerkennbarkeit zu erhöhen. „Die Erfolge, die mit der Mammographie in den Kliniken der Universität Heidelberg erarbeitet wurden, sprechen für den großen Wert des Verfahrens“, stellt der Leiter der Heidelberger Klinik, Hans Runge, im Vorwort zum Buch über die Studie fest. „Ganz von selbst dürfte daher dem Buch eine große Verbreitung beschieden sein. Sie wird die Anerkennung und breitere Anwendung der Mammographie im Gefolge haben.“

Tatsächlich sollte die Heidelberger Studie, ähnlich wie Strax' Forschungen in New York, wesentlich zum Durchbruch der Mammographie beitragen. Doch die Suche nach der bestmöglichen Technik nimmt nun

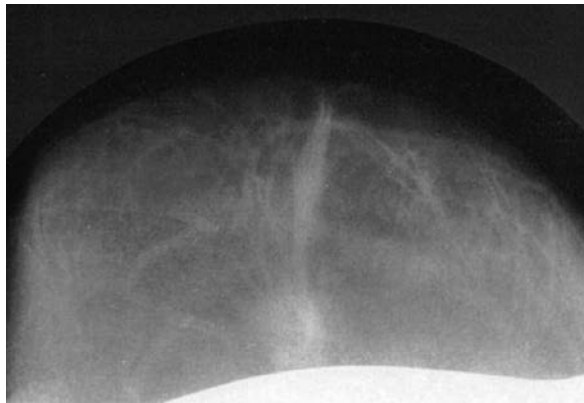


Das Siemens Tridoros IV mit Mammatubus, das erste auf die Anforderungen der Mammographie optimierte Röntgengerät in der Geschichte von Siemens Healthineers, 1962

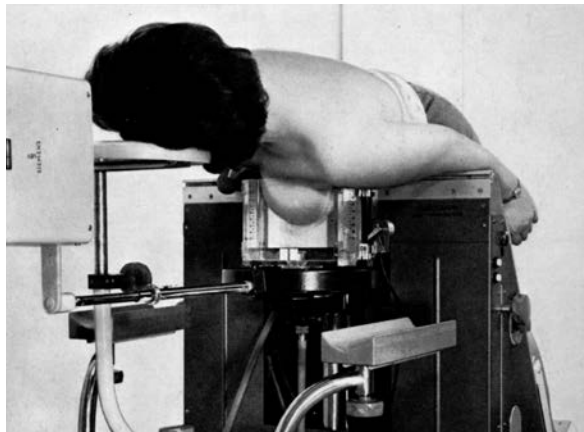




Für die fünfjährige Studie werden Mammatuben in verschiedenen Brustgrößen entwickelt, 1957



Im Jahre 1962 präsentiert die Universität Heidelberg die Ergebnisse der Studie zusammen mit zahlreichen klinischen Bildern



Der FLUIDOGRAPH setzt auf ein aus heutiger Sicht ungewöhnliches Konzept, 1964

erst richtig Fahrt auf. Wie lassen sich die feinen Details des Brustgewebes, die für die Frühdiagnose von Krebs so bedeutsam sind, am besten sichtbar machen? Wie sollte ein Röntgengerät aufgebaut sein, damit es für die Patientin komfortabel und für Mediziner leicht zu bedienen ist? In den 1960er Jahren entsteht ein aus heutiger Sicht außergewöhnliches Konzept: der vom österreichischen Radiologen Walter Dobretsberger erdachte und zusammen mit Siemens umgesetzte FLUIDOGRAPH. Die Patientin kniet während der Untersuchung auf dem FLUIDOGRAPH, den Oberkörper nach vorne gebeugt, die Brüste in mit Alkohol gefüllte Plexiglasbehälter getaucht. „Auf medizinisch-diagnostischem Gebiete liegt der Vorteil der Aufnahme vor allem in der Möglichkeit“, schreibt Dobretsberger im Jahre 1967, „das ganze Organ auf *einem* Bild übersichtlich darzustellen, und zwar in seiner natürlichen Struktur.“ Weiterverfolgt wird dieser Ansatz jedoch nicht; denn kurze Zeit später ist ein vielversprechendes neues Grundgerüst gefunden.

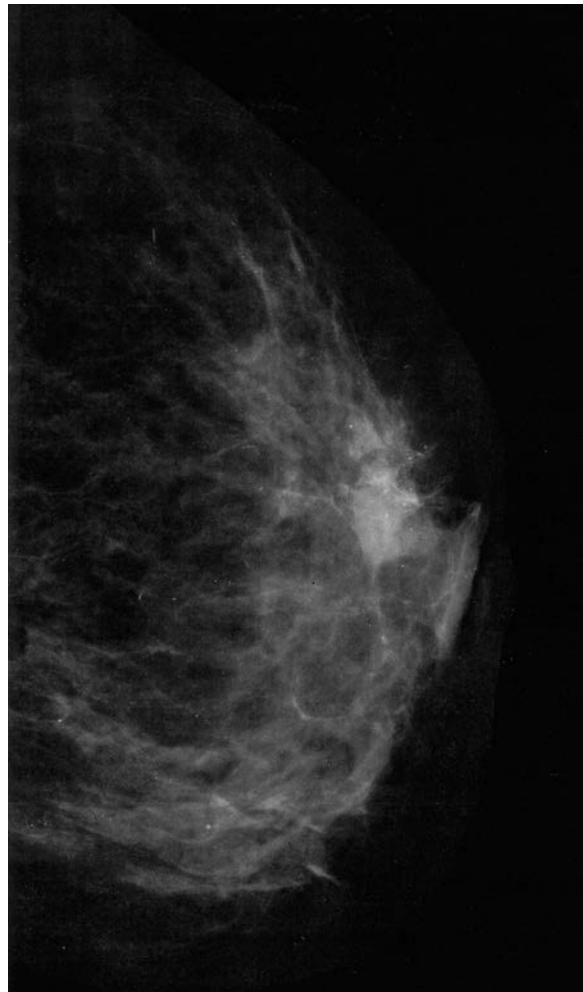
### Die neue Einheit

Als Siemens im Jahre 1971 das erste Spezialsystem für die Mammographie der Öffentlichkeit vorstellt, fassen die Entwickler den aktuellen Stand der immer noch jungen Diagnosemethode zusammen: Bisher erfordere die Handhabung der Geräte vom Untersucher großes Geschick und viel Geduld, außerdem stelle die Abbildung der weiblichen Brust außergewöhnliche Ansprüche an die Technik. Gleichzeitig sei aus den neuesten Studien ersichtlich, dass die Bedeutung von Mammauntersuchungen für die Krebsvorsorge in Zukunft weiter zunehmen werde. „Unter diesen Gesichtspunkten hielten wir es für erforderlich, für die Mammographie ein Spezialgerät zu entwickeln, das eine schnelle und einfache Bedienung ermöglicht und zugleich eine optimale

Aufnahmequalität ergibt.“ Beim Siemens MAMMOMAT sind keine mühsamen Einstellungen und Anpassungen des Röntgengeräts nötig, alles ist auf „eine schnelle und reibungslose Arbeitsweise optimiert.“ Röntgenröhre, Tubus und Röntgenfilm sind in der sogenannten Mammographie-Einheit fest miteinander verbunden, der Tubus lässt sich per Handkurbel einfach und schnell an die Anatomie jeder Patientin anpassen. Das wichtigste Merkmal eines Mammographiegerätes sei jedoch zweifellos die damit erzielbare Bildqualität. Mit einer auf die Brustdiagnostik optimierten Röntgenröhre macht der MAMMOMAT bis zu 0,1 Millimeter kleine Strukturen im Gewebe sichtbar. „Mit dem MAMMOMAT steht nunmehr ein Gerät zur Verfügung, das durch seine einfache Handhabung, vor allem aber wegen der erzielbaren hohen Aufnahmequalität und der geringen Strahlenbelastung der Patientin für die allgemein als dringlich erkannte Krebsvorsorgeuntersuchung geeignet ist.“

Anfang der 1970er Jahre sind die medizinische Forschung und die Spezialgeräte so ausgereift, dass die Mammographie von einer aufwendigen Einzeluntersuchung zur anerkannten klinischen Methode werden kann. Der wohl wichtigste Schritt, um die Beschränkungen der frühen Jahre zu überwinden, geht auf eine Entdeckung Charles Gros´ in Straßburg zurück: Weiche Röntgenstrahlen, die das weiche Gewebe der Brust deutlich sichtbar machen können, lassen sich am effizientesten mithilfe von Anoden aus dem Schwermetall Molybdän erzeugen. Der Siemens MAMMOMAT arbeitet mit einer stark weiterentwickelten Form dieser Röntgenröhren. Die Molybdän-Anode der Siemens-Röntgenröhre dreht sich, damit während der Untersuchung weniger Hitze entsteht. Die Röhre bleibt dadurch kälter, hält die Leistung länger und erzeugt zuverlässig homogene X-Strahlen. Zudem treten die Strahlen aus einem

dünn geschliffenen Fenster aus der Röhre – eine Grundvoraussetzung, um besonders weiche Röntgenstrahlen zu erzeugen. Die technischen Voraussetzungen sind geschaffen, das Grundgerüst der Mammographie-Systeme steht.



Mammographie eines Karzinoms in der linken Brust, aufgenommen mit dem MAMMOMAT im Jahre 1972



1971 vorgestellt, ab 1972 im klinischen Einsatz: die erste Generation des MAMMOMAT

Der MAMMOMAT B kann die Strukturen der Brust bei Bedarf stark vergrößert darstellen, 1984



Auf dieser Basis entwickelt Siemens im Laufe der 1980er und 1990er Jahre einige oft einzigartige Kombinationen neuer Technologien und Komfortverbesserungen. Die Rastertechnik im MAMMOMAT B beispielsweise wirkt sich ab 1981 in vielerlei Hinsicht auf die Qualität der Untersuchung aus: Streustrahlen werden im Raster erheblich reduziert, das Gewebe ist auf dem Röntgenbild nochmals wesentlich kontrastreicher und detaillierter zu erkennen. Bei Bedarf lassen sich Feinheiten in den Strukturen der Brust vergrößern; ein spezieller Biopsie-Zusatz ermöglicht die Entnahme von Gewebeproben während der Mammographie-Untersuchung. Die zunehmende Automatisierung der MAMMOMAT-Familie beeinflusst beinahe alle Eigenschaften der Systeme: Im MAMMOMAT 3000 ermittelt ab 1994 ein Mikroprozessor für jede Patientin automatisch die optimalen Parameter der Röntgenaufnahme. Die automatische Kompressionseinrichtung schaltet den Kompressionsvorgang ab, wenn eine weitere Verdichtung zu keiner besseren Bildqualität führen würde. Der Patientin bleiben unnötige Druckschmerzen erspart, der Arzt erhält trotzdem die bestmögliche Bildqualität.



1994 stellt Siemens die nächste Generation der Mammographie-Systeme vor: den MAMMOMAT 3000



## Turn your city pink!

Die Digitalisierung der Mammographie sollte nach der Jahrtausendwende zunächst nochmals zu einer deutlich höheren Qualität der Röntgenbilder führen. Die neue Generation digitaler Systeme – die mit dem MAMMOMAT Novation im Jahre 2003 beginnt – erzeugt die Bilder nicht mehr auf klassischen Röntgenfilmen. Die Röntgenstrahlen treffen im MAMMOMAT Novation auf einen Detektor, der die Messwerte in elektrische Signale umwandelt. Nach der Bildberechnung kann der Arzt im Beisein der Patientin den Befund direkt am Bildschirm erheben und bei Bedarf weitere Untersuchungen einleiten. Die Digitalisierung der Mammographie ist auch die Grundlage für völlig neue Möglichkeiten wie die Tomosynthese-Funktionen des MAMMOMAT Inspiration aus dem Jahre 2009. Die Tomosynthese unterscheidet sich von der herkömmlichen

Mammographie wie sich eine dreidimensionale Computertomographie vom klassischen Röntgenbild unterscheidet. In Systemen von Siemens Healthineers drehen sich die Röntgenröhre und der Detektor in einem 50-Grad-Bogen um die Brust und nehmen mit sehr niedriger Dosis 25 Einzelbilder auf. Der MAMMOMAT Inspiration errechnet aus den Rohdaten hochauflösende dreidimensionale Bilder der Brust, auf denen auch Tumoren zu erkennen sind, die bisher von überlappendem Gewebe verdeckt waren. In den 2010er Jahren zeigen Studien, dass mehr Tumoren entdeckt werden, wenn die Tomosynthese zusätzlich zur Mammographie eingesetzt wird. Die Zusammenarbeit mit Partnern und Kunden hilft Siemens Healthineers dabei, neue Softwareanwendungen zu entwickeln, um die Mammographie so individuell wie möglich an die jeweilige Patientin anzupassen.



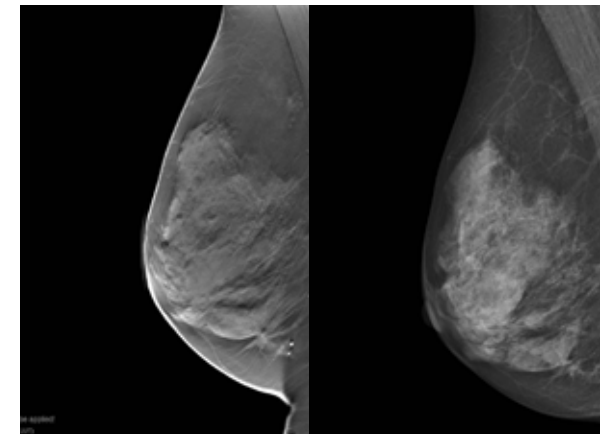
Ab 2012 ist der MAMMOMAT Inspiration Prime Edition mit einem neuen Algorithmus zu Bildkorrektur ausgestattet, der die Strahlendosis bei gleichbleibender Bildqualität um bis zu 30 Prozent senkt



Der MAMMOMAT Novation im Jahre 2003 – die Digitalisierung der Mammographie eröffnet viele neue Möglichkeiten



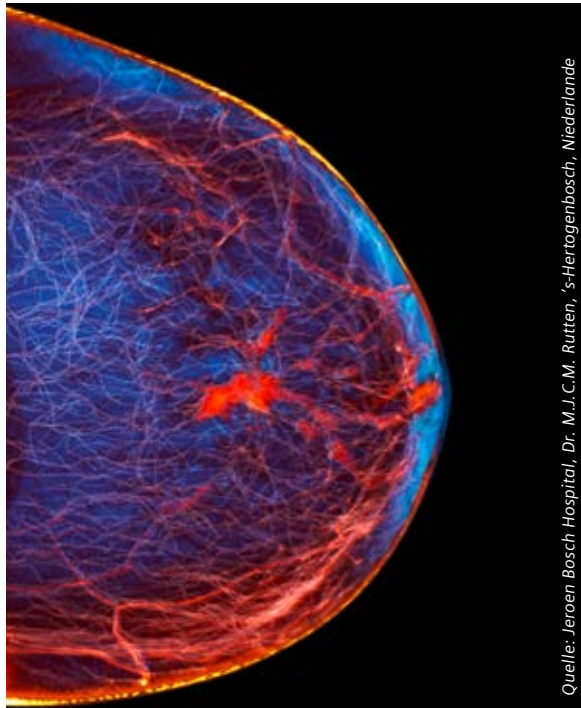
Der MAMMOMAT Inspiration ist das erste Mammographie-System von Siemens, das mit der 3D-Tomosynthese ausgestattet ist, 2009



Auf der dreidimensionalen Tomosynthese aus dem Jahre 2009 (links) sind Strukturen zu erkennen, die auf der zweidimensionalen Mammographie (rechts) verdeckt sind



Der Siemens Healthineers MAMMOMAT Revelation ist im Jahre 2017 das erste System, das die Brustdicke automatisch bestimmt



Quelle: Jeroen Bosch Hospital, Dr. M.J.C.M. Rutten, 's-Hertogenbosch, Niederlande

Etwa 45 Jahre nachdem Philip Strax Frauen während ihrer Mittagspause in einem Lieferwagen in Manhattan auf Brustkrebs untersucht hat, sind in mehreren Ländern rund um den Globus „Mammo-Mobile“ von Siemens unterwegs. Im Inneren dieser mobilen Mammographie-Einheiten befindet sich ein kleiner, voll funktionsfähiger Untersuchungsraum mit einem MAMMOMAT Inspiration. Mithilfe der Mammo-Mobile möchte Siemens im Jahre 2008 ermöglichen, dass sich interessierte Frauen in ländlicheren Gebieten über das Thema Brustkrebs informieren und auf Wunsch vor Ort untersuchen lassen können. Die Kampagne ist so erfolgreich, dass sich Siemens Healthineers bis heute jedes Jahr im Oktober – dem internationalen Monat der Brustkrebsvorsorge – mit zahlreichen Aktionen an der

Aufklärung beteiligt. In einer einjährigen, weltweiten Kampagne hat Siemens im Jahre 2011 zum Mitmachen aufgerufen. Unter dem Motto „Turn your city pink! – Farbe bekennen gegen Brustkrebs“ finden zwischen Oktober 2011 und Oktober 2012 zahlreiche öffentliche Aktionen statt. Die Farbe Pink gilt auf der ganzen Welt als Zeichen der Solidarität mit Brustkrebskranken. Die Teilnehmer der Aktion sind aufgerufen, das Motto der Kampagne so kreativ und öffentlichkeitswirksam wie möglich in ihrem persönlichen Umfeld umzusetzen. Im Laufe des Jahres entstehen in 76 Ländern tausende Fotos und Videos, die die zentrale Idee der Kampagne vermitteln sollen: Menschen weltweit dazu aufrufen, sich mit dem Thema Früherkennung zu beschäftigen und selbst aktiv zu werden.

Cinematic-Rendering-Darstellung auf der Basis von Tomosynthese-Daten aus dem Jahr 2016. Als rote Stelle in der Mitte ist ein Tumor im Gewebe der Brust zu erkennen



Im Jahre 2008 sind weltweit 34 „Mammo-Mobile“ rund um den Globus unterwegs, etwa in Dänemark, Polen und Georgien



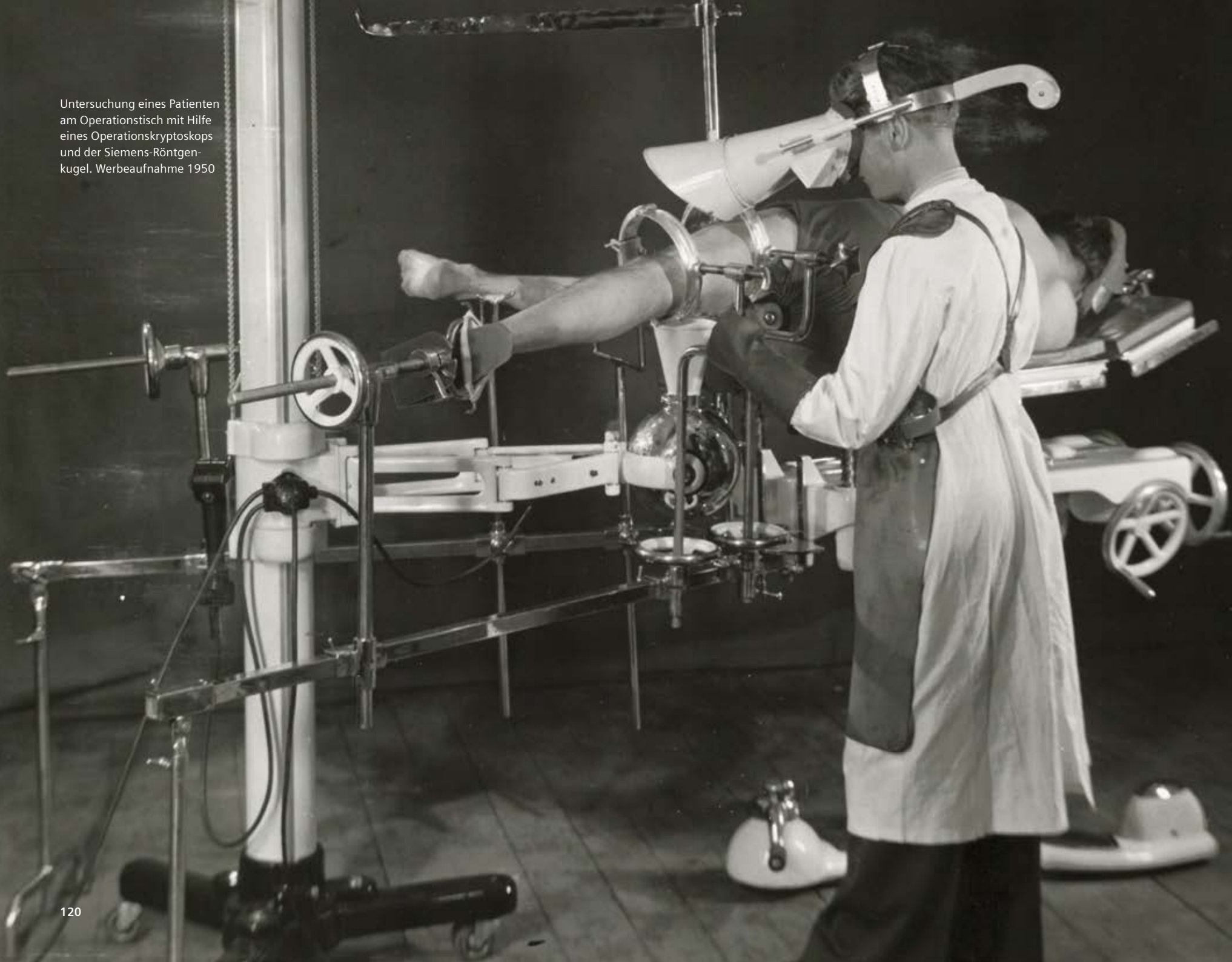
Collage nach einem Jahr Kampagne mit tausenden Teilnehmerfotos aus 76 Ländern



Farbe bekennen gegen Brustkrebs, 2011



Untersuchung eines Patienten am Operationstisch mit Hilfe eines Operationskryptoskops und der Siemens-Röntgenkugel. Werbeaufnahme 1950



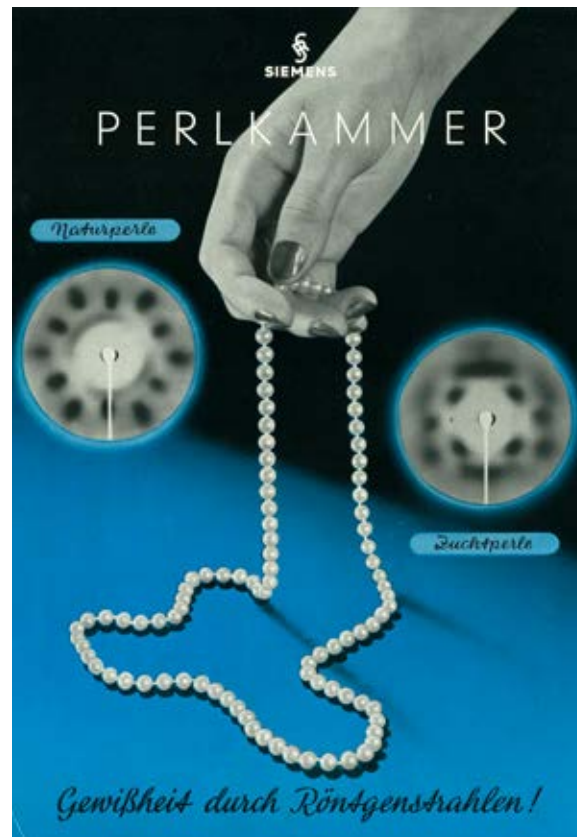
# Eine Perle der Chirurgie

## Röntgen im Operationssaal

### Geheimnisvolles Leuchten

Eine Zuchtperle und einen Wadenbeinbruch verbindet mehr, als man zunächst vermuten könnte. Zugegeben: Man kann zwar mit Sicherheit sagen, dass ein Wadenbeinbruch beim „Besitzer“ auf weniger Begeisterung stößt als eine Zuchtperle, aber eine Zuchtperle kann zumindest für Ernüchterung sorgen, vor allem wenn man sie zunächst für eine echte Naturperle gehalten hat. Beide verbindet jedoch, dass man sie von außen nicht ohne weiteres erkennen kann; in beiden Fällen können Röntgenstrahlen Gewissheit bringen; und für beide Fälle haben die Siemens-Reiniger-Werke (SRW), ein Vorläuferunternehmen von Siemens Healthineers, die passenden Geräte auf den Markt gebracht. Neben Röntgengeräten, die in der Medizin zum Einsatz kommen, stellen die SRW auch Materialprüfgeräte her. 1953 wird in einer Werbedruckschrift die Siemens Perlkammer präsentiert, mit deren Hilfe Naturperlen von Zuchtperlen unterschieden werden können. Eine Methode ist das sogenannte Fluoreszenzverfahren, bei dem der Kern der Zuchtperle – durch Röntgenstrahlen angeregt – ein fahlgrünes Licht aussendet.

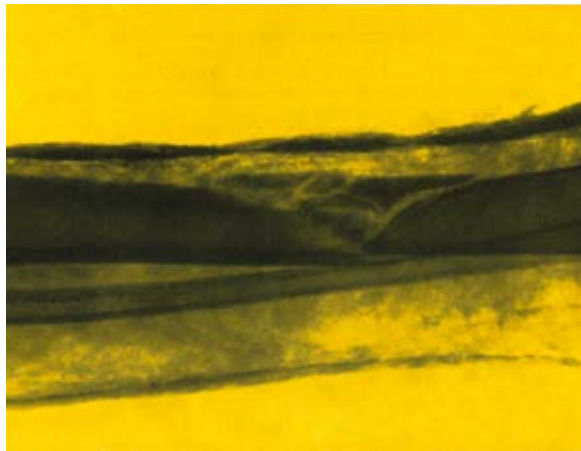
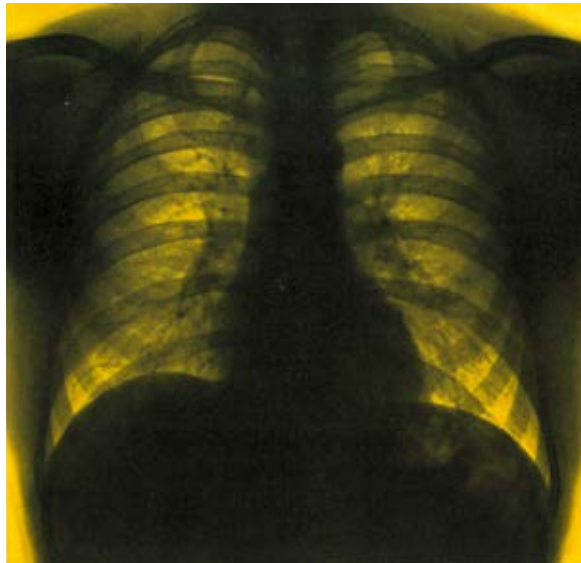
Die Fluoreszenz mit Hilfe von Röntgenstrahlen wird nicht nur in der Materialprüfung genutzt. Auch Mediziner setzen schon kurz nach Entdeckung der Röntgenstrahlen – neben der Aufnahme des Röntgenbildes auf einer Fotoplatte – die Fluoreszenz zur



Mit der Siemens Perlkammer können Natur- und Zuchtperlen auf zwei Arten unterschieden werden: anhand ihrer Kristallstruktur (wie auf der Abbildung zu sehen), oder durch das Fluoreszenzverfahren. Werbedroschüre 1953

Untersuchung des menschlichen Körpers ein: bei der sogenannten Durchleuchtung oder Fluoroskopie. Der erste, der diese Methode beschreibt, ist aber kein Arzt. Es ist Wilhelm Conrad Röntgen selbst, der ohne die Fluoreszenz seine bahnbrechende Entdeckung vielleicht gar nicht gemacht hätte. Bei einem Experiment leitet er am 8. November 1895 in einem völlig verdunkelten Raum Strom durch eine Gasentladungsröhre, die mit schwarzem Karton abgedeckt ist. Dabei leuchtet ein mit Bariumplatinocyanür bestrichenes Stück Papier, das in der Nähe der Röhre liegt, gelbgrün auf. Als er dieses Phänomen näher untersucht, merkt Röntgen, dass er etwas gänzlich Neuem auf der Spur ist. Er forscht weiter und beobachtet folgendes: Hält man die Hand zwischen die Röhre und einen Leuchtschirm aus Papier und Bariumplatinocyanür, „so sieht man die dunkleren Schatten der Handknochen in dem nur wenig dunklen Schattenbild der Hand.“ Für einen Bereich wird die Durchleuchtung besonders bedeutend: für das Röntgen im Operationssaal.

„Die wunderbare Entdeckung der Röntgen’schen Strahlen erweckte das Interesse der Mediziner und vor allem der Chirurgen in ganz besonderem Maße“, schreibt ein begeisterter Chirurg im Februar 1896. Er sieht den Anwendungsbereich vor allem bei der Lokalisation von Fremdkörpern und der Diagnose von Verletzungen und Erkrankungen von Knochen. Tatsächlich ersetzt die neue Technik die bisherigen – äußerst schmerzhaften – Untersuchungsmethoden,



Diese beiden Beispiele geben einen Eindruck davon, wie Durchleuchtungsbilder ausgesehen haben. Gewebe, das weniger Röntgenstrahlen absorbiert, das heißt quasi „verschluckt“, erscheint auf dem Leuchtschirm heller. Knochen beispielsweise, die eine hohe Absorption haben, erscheinen auf dem Leuchtschirm dunkel. Werbebroschüre für die Siemens-Röntgenkugel, 1951

wie das Abtasten und Bewegen des Bruches oder die Suche nach dem Fremdkörper in der Wunde mit Hilfe des Fingers oder einer Sonde. Dabei haben die beiden Methoden Aufnahme und Durchleuchtung jeweils ihre Vor- und Nachteile. Die Aufnahme auf einer Fotoplatte ist detailreicher als das Leuchtschirmbild und steht dauerhaft zur Verfügung. Allerdings ist es in der Frühzeit der Röntgentechnik mit den noch wenig ausgereiften Einrichtungen schwierig, hochwertige Aufnahmen herzustellen: Die Belichtungszeit kann mehrere Minuten dauern, in denen der Patient regungslos verharren muss; anschließend müssen die Aufnahmen noch entwickelt werden. Bei der Durchleuchtung steht das Bild sofort zur Verfügung, man kann den Körperteil aus verschiedenen Perspektiven und sogar Bewegungsabläufe betrachten. Wäre es daher nicht ideal, die Fluoroskopie nicht nur bei der Vorbereitung der Operationen, sondern auch währenddessen nutzen zu können?

### Kryptische Dunkelheit

Schon bald finden die ersten Versuche statt, die Röntgenstrahlen auch während einer Operation einzusetzen. 1897 etwa beschreibt der Frankfurter Arzt Gustav Spiess eine Operation, bei der er die Stirnhöhle eines Patienten durch die Nase öffnete und dabei den Bohrer „jeden Moment in seinen Bewegungen auf dem [Leucht-]Schirm“ verfolgte. Doch dabei handelt es sich um Ausnahmefälle. Bis sich die Verwendung von Röntgenstrahlen im Operationsaal vollständig durchsetzt, werden noch Jahrzehnte vergehen. Natürlich müssen die Röntengeräte leistungsfähiger, kleiner und vor allem sicherer werden. Aber auch spezielle Operationstische, die für Röntgenstrahlung durchlässig sind und somit Aufnahmen und Durchleuchtungen erst ermöglichen, müssen entwickelt werden. Hier ist in der Regel die Röntgenröhre fest unter dem Tisch

verbaut, während der Arzt den Patienten von oben mit Hilfe eines Leuchtschirms untersucht.

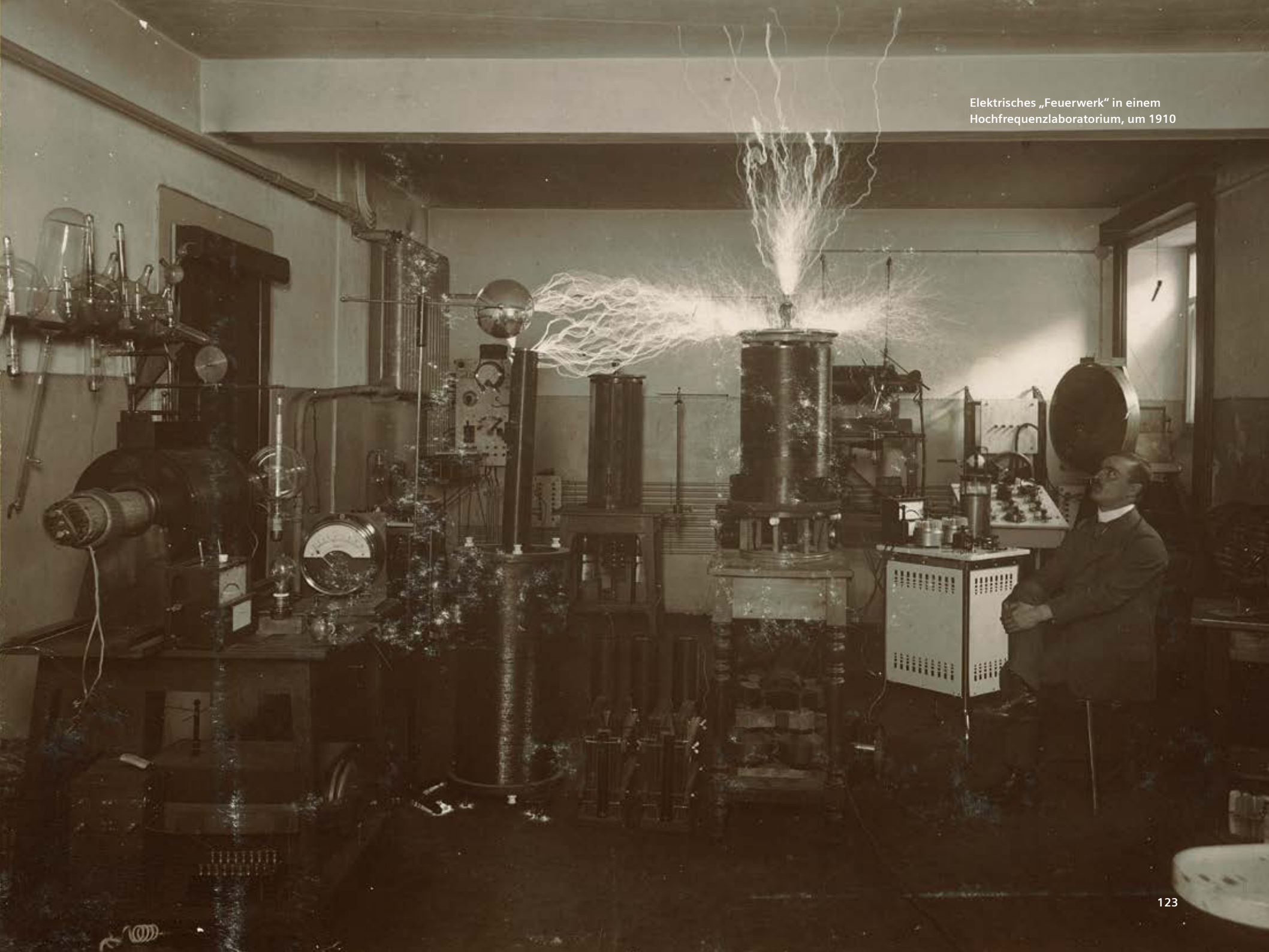
Die Aufklärung jedes Patienten vor einer Operation ist heute verpflichtend, denn jeder Eingriff ist mit gewissen Risiken verbunden. Explosionsgefahr gehört aber sicherlich nicht mehr dazu. In der Frühzeit der Röntgentechnik sieht das noch ganz anders aus. Die Hochspannungsleitungen der Röntengeräte laufen ohne Isolierung offen vom Hochspannungstransformator zur Röntgenröhre durch den Raum.



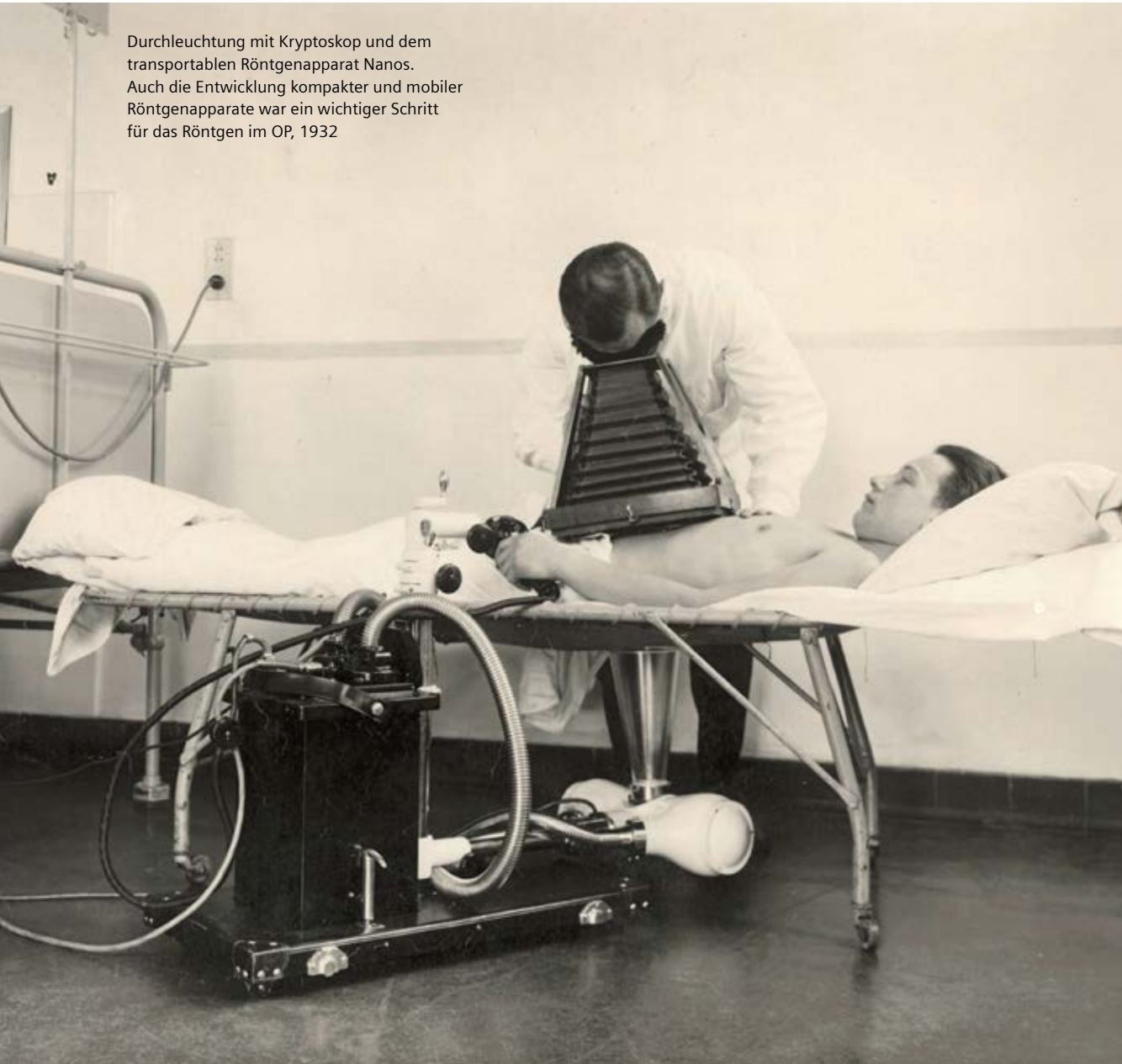
Das Bild dieser zahnärztlichen Röntgeneinrichtung aus dem Jahr 1909 zeigt deutlich, wie nahe Arzt und Patient den offenen Hochspannungsleitungen kommen



Elektrisches „Feuerwerk“ in einem Hochfrequenzlaboratorium, um 1910



Durchleuchtung mit Kryptoskop und dem transportablen Röntgenapparat Nanos. Auch die Entwicklung kompakter und mobiler Röntgenapparate war ein wichtiger Schritt für das Röntgen im OP, 1932



Das hat zur Folge, dass es zu unerwünschten Entladungen kommen kann. In Verbindung mit Äther, einem der gängigsten Narkosemittel der damaligen Zeit, kann das zu dramatischen Folgen führen.

„Äther ist im höchsten Grade feuergefährlich, weil seine Dämpfe, mit Luft gemischt, die heftigsten Explosionen verursachen können“, heißt es in einem *Ratgeber für die Vorbereitung chirurgischer Operationen und das Instrumentieren für Schwestern, Ärzte und Studierende* aus dem Jahr 1922. Deshalb sollte man Operationen möglichst weit von offenem Ofenfeuer entfernt durchführen und auch „keine brennenden Streichhölzer auf die Erde werfen.“ Somit können auch die Röntgengeräte nicht in Verbindung mit der Äthernarkose eingesetzt werden. Selbstverständlich besteht vor allem für das medizinische Personal auch das hohe Risiko, direkt mit der Hochspannung in Berührung zu kommen – besonders im verdunkelten Operationsaal. Erst mit der Einführung von verlässlichen Isolierungen Anfang der 1930er Jahre wird diese Gefahr beseitigt.

Aber warum soll man überhaupt den OP verdunkeln? Die Ursache hierfür ist ein Grundproblem der frühen Fluoroskopie: Die Leuchtkraft der Schirme ist nicht stark genug, um die Bilder darauf auch im hellen Raum erkennen zu können. Die Helligkeit der ersten Leuchtschirme aus Bariumplatincyänür wird oft mit einer vom Mond beschienenen Landschaft beschrieben. Zum Vergleich: Das Display eines durchschnittlichen Smartphones ist ungefähr 180-mal heller als ein solcher Leuchtschirm. Daher muss der Raum, in dem die Durchleuchtung stattfindet, vollkommen verdunkelt werden. Die Ärzte müssen sich vor jeder Durchleuchtung an die Dunkelheit gewöhnen (in der Fachsprache: adaptieren), um auch die feineren Strukturen im Leuchtschirmbild erkennen zu können – und das zwischen 15 und 45 Minuten lang (man spricht hier von der Adaptionszeit).



Schon früh kommt daher eine Erfindung zum Einsatz, die hier Abhilfe schaffen soll: „Das Kryptoskop hat den Zweck, Durchleuchtungen mit Röntgenstrahlen auch außerhalb einer Dunkelkammer vornehmen zu können. Dasselbe besteht aus einem pyramidenförmigen Kasten [...] welcher oben derartig ausgeschnitten und mit weichem Pelzwerk gepolstert ist, dass er sich beim Gebrauch dicht an die Augengegend des Schauenden anschließt und keine Strahlen des Tageslichtes in das Auge dringen lässt. An der unteren Seite ist das Kryptoskop durch einen Bariumplatincyanür-Schirm abgeschlossen.“ Mit dem Kryptoskop sind die Ärzte flexibler als mit einem fest installierten Leuchtschirm und die Verdunklung des Raumes ist für die Durchleuchtung nicht mehr

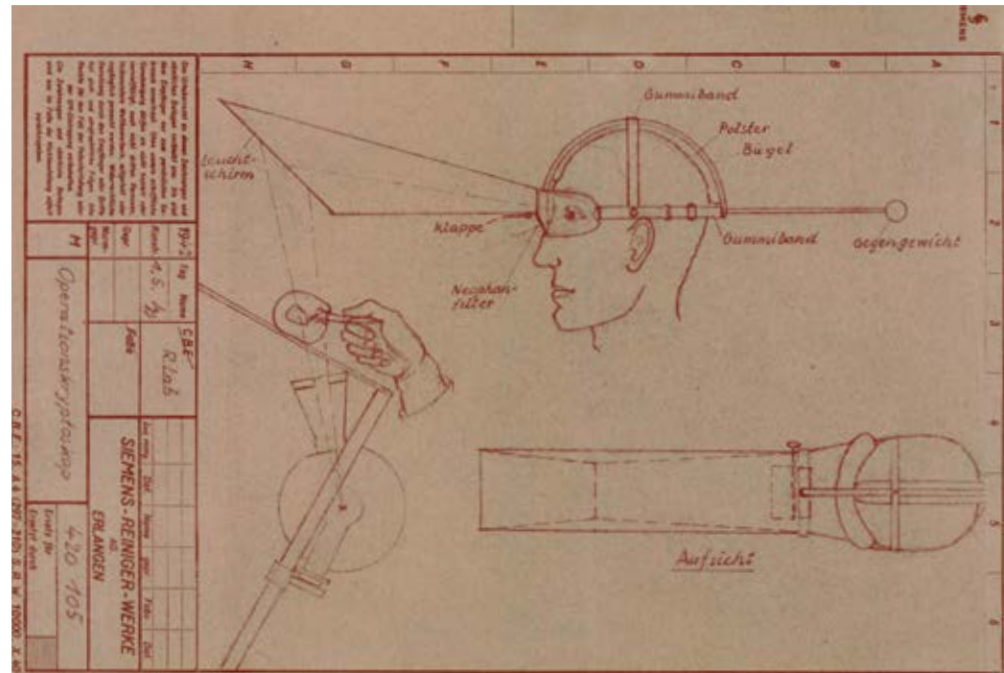
zwingend notwendig. Allerdings birgt die Durchleuchtung auch Gefahren. So sind Patienten und medizinisches Personal durch lange Durchleuchtungszeiten einer hohen Strahlenbelastung ausgesetzt. 1980 beschreibt ein Autor in der Siemseigenen Zeitschrift *Electromedica* die Untersuchung mit dem Kryptoskop als „eine Arbeitsmethode, bei der heute jedem Strahlenschutzverantwortlichen die Haare zu Berge stünden“. Obwohl es sich um ein vergleichsweise simples Hilfsgerät handelt und trotz der Risiken, die damit verbunden sind, spielt das Kryptoskop für das Röntgen im Operationsaal bis zur Mitte der 1950er Jahre eine wichtige Rolle. Erst dann erhalten die Ärzte beim Röntgen buchstäblich Verstärkung.



Kryptoskop, 1897



Untersuchung mit einem Stereoskop-Apparat. Die offenen Hochspannungsleitungen verlaufen dicht hinter dem Patienten, 1908



Konstruktionszeichnung für ein Operationskryptoskop, 1942





Operationskryptoskop, 1942

Vergleichbare Fußröntgengeräte sind vielleicht noch manchen Lesern bekannt. Auf dem Gehäuse mit Transformator und Röntgenröhre ist ein Betrachtungskasten aufgebracht, der den gleichen Zweck wie ein Kryptoskop erfüllt: Unabhängig vom Umgebungslicht kann anhand des Leuchtschirmbildes die Passform von Schuhen beurteilt werden – sogar von mehreren Personen gleichzeitig. Bis in die 1970er Jahre sind sie in deutschen Schuhgeschäften zu finden.

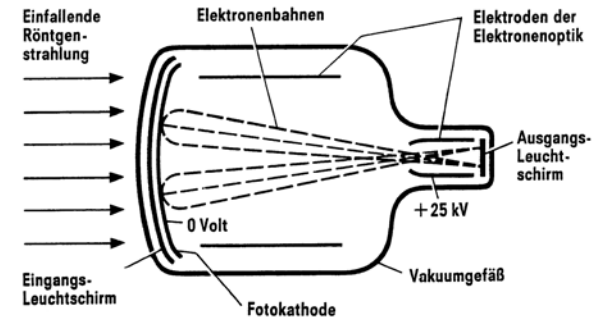
## Das „Maulwurf-dasein der Röntgenologen“

Obwohl schon zu jeder Zeit versucht wird, die Durchleuchtung zu verbessern – etwa durch die Verwendung anderer fluoreszierender Substanzen bei der Herstellung der Leuchtschirme – sind die Radiologen hier auch weiterhin zur Arbeit im Dunkeln verdammt. Schon in den 1930er Jahren wird daher vorgeschlagen, das Leuchtschirmbild elektronisch zu verstärken. Doch sollte es noch bis in die 1950er Jahre dauern, bis die elektronischen Röntgenbildverstärker marktreif sind. Vereinfacht ausgedrückt ist der Bildverstärker „rein äußerlich gesehen eine große Vakuumflasche, früher aus Glas, inzwischen [...] weitgehend durch Metall ersetzt“, wie Friedrich Gudden, Entwicklungsleiter für die Siemens-Röntgendiagnostik, 1981 in einem Interview erklärt. Die Röntgenstrahlen treffen dabei auf den Eingangsleuchtschirm und erzeugen (wie bei einer gewöhnlichen Durchleuchtung) ein Leuchtschirmbild. Mit dem Eingangsleuchtschirm ist eine Fotokathode verbunden. Trifft das Licht des Leuchtschirms auf die Fotokathode, werden Elektronen ausgesendet; je heller das Licht, desto mehr Elektronen sind es. Die Elektronen werden im Bildverstärker elektrisch beschleunigt und durch die Elektroden der Elektronenoptik auf den Ausgangsleuchtschirm fokussiert. Auf dem Ausgangsleuchtschirm entsteht so zwar ein kleineres, aber ein vielfach helleres Bild, das entweder über eine Optik betrachtet, oder mit einer Kamera aufgenommen werden kann. Schon in den 1950er Jahren ist das Ausgangsbild etwa 800- bis 1.000-mal, Anfang der 2000er Jahre sogar etwa 20.000-mal heller als das Bild des Eingangsleuchtschirms. Durch das hellere Bild muss der Operationssaal zunächst nur noch schwach, später gar nicht mehr abgedunkelt werden. Außerdem sind viel mehr Details im Bild zu erkennen. Somit wird die Durchleuchtungszeit stark verkürzt – und das bei etwa einem Drittel der vorher

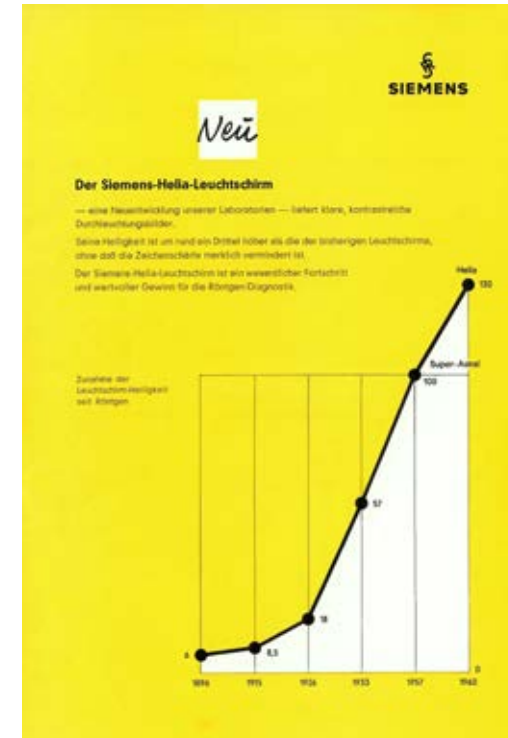
notwendigen Strahlendosis. Der Wegfall der Adaptionszeit und die schnellere Durchleuchtung begünstigen den Operationsablauf insgesamt: Die Einführung des Bildverstärkers reduziert die Operationszeit etwa um die Hälfte.

Trotz aller Vorteile ist jedoch anfangs noch gar nicht sicher, dass es sich beim elektronischen Bildverstärker um eine Erfolgsgeschichte handelt. „Rückschläge gab es beliebig viele und gibt es immer wieder“, stellt Gudden in dem Interview fest. Vor allem die Herstellung der Betrachtungsschirme erweist sich als schwierig. „Es kommt immer wieder einmal vor, dass aus irgendwelchen Gründen – kein Mensch weiß, ob es an der Mondkonstellation liegt oder am Wetter – die Ausbeute an Schirmen auf Null zurückgeht. Es kostet dann viel Mühe, um herauszubekommen, woran es liegt, zum Beispiel daran, dass in einem Reinigungsbad mal eine Fahrradkette gereinigt und das Reinigungsbad mit Öl verschmutzt worden ist. Aber bis man so etwas findet, vergehen unter Umständen viele Monate.“ Und auch die Kaufleute brauchen einen langen Atem: „Insgesamt hat es 10 Jahre gedauert, bis der Umsatz zum ersten Mal die Entwicklungskosten gedeckt hat, und es hat 15 Jahre gedauert, bis [...] die Bildverstärkerentwicklung Gewinn brachte.“

Rückblickend zeigt sich, dass „die Einführung des Bildverstärkers einen Wendepunkt in der Röntgentechnik bedeutet hat, mit dem“ – wie es Guddens Gesprächspartner ausdrückt – „das Maulwurf-dasein der Röntgenologen mit ihrer Arbeit im Dunkeln, langwieriger Adaption bei Arbeitsbeginn usw. ein Ende fand.“ Und auch der bereits erwähnte Autor in der *Electromedica* stellt fest, dass der Bildverstärker erst den Durchbruch für das Röntgen im Operationssaal brachte und so „das bei aller Nützlichkeit doch eher als unvermeidlich und lästig empfundene Hilfsmittel in ein voll integriertes, wertvolles Instrument für den Operateur“ verwandelte.



Schema des Aufbaus eines elektronischen Bildverstärkers



Entwicklung der Leuchtschirmhelligkeit von 1896 bis 1960. Werbebrochure für den Siemens-Helia-Leuchtschirm, 1961

## Mit dem Fernsehen sieht man besser

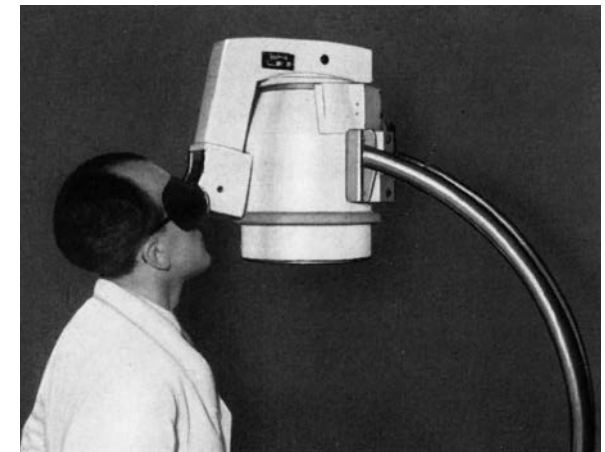
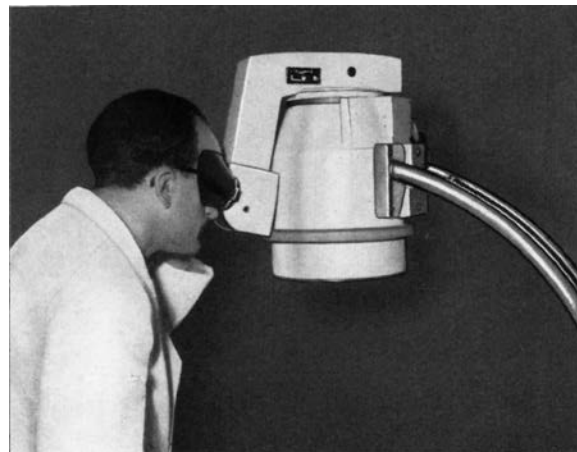
Die Vorteile der elektronischen Bildverstärkung sind sofort offensichtlich. Doch durch die Verbindung mit einer weiteren Technik kann der Nutzen des Bildverstärkers noch einmal gesteigert werden: Man geht dazu über, eine Fernsehkamera an den Bildverstärker anzuschließen. Hierbei wird das Ausgangsbild des Bildverstärkers von der Kamera in ein elektronisches Videosignal umgewandelt, das dann auf einem Fernsehbildschirm angezeigt werden kann. Damit sind die Ärzte nicht mehr an die Betrachtungsoptik gebunden, sondern können das Bild dort ansehen, wo es für sie am bequemsten ist. Außerdem können nun alle anwesenden Experten im OP das Röntgenbild gleichzeitig auswerten und so beispielsweise ohne Verzögerung das weitere Vorgehen besprechen. Das Bild kann auch an beliebig viele Geräte übermittelt werden, etwa zu anderen Experten in der Klinik oder in einen Hörsaal. Einer der wesentlichen Vorzüge des Röntgenfernsehens ist aber, dass das elektronische Videosignal der Fernsehkamera wiederum selbst elektronisch beeinflusst werden kann. Das bietet den Ärzten die Möglichkeit, die Helligkeit und den Kontrast des Fernsehbildes zu verändern. Damit können bestimmte Bereiche des Leuchtschirmbildes hervorgehoben oder ausgeblendet und so das Bild insgesamt noch einmal aussagekräftiger gemacht werden. Die Möglichkeit, das Fernsehbild zu speichern, ist ein weiterer wesentlicher Vorteil – gerade auch im Hinblick auf den Strahlenschutz. Das Röntgenbild kann nun beliebig lange angezeigt werden, doch muss im Gegensatz zu früher nicht mehr für die Dauer der Anzeige durchleuchtet werden. Medizinisches Personal und Patienten sind so noch besser vor der Röntgenstrahlung geschützt. Selbst Bewegungsabläufe lassen sich so darstellen. „Ich bin

überzeugt davon, dass in Zukunft das Speicherbild, insbesondere über den Digitalpeicher, eine ganz große Bedeutung gewinnen wird“, sagt Friedrich Gudden 1981. „Man hat das Bild mit hervorragender Bildqualität sofort da und der Umweg über den Film, die Entwicklungsmaschine, die Dunkelkammer, die Transporte usw. fallen fort.“

## Das C wird zum A und O im OP

Um den Ärzten die Arbeit im Operationssaal zu erleichtern, werden fahrbare Durchleuchtungseinheiten entwickelt, bei denen der Bildverstärker fest mit der Röntgenröhre verbunden ist. Aufgrund ihrer Form wird diese Verbindung C-Bogen genannt. Diese Bauweise hat den Vorteil, dass Bildverstärker und Röntgenröhre immer in der idealen Position zueinander sind. Durch die Möglichkeit, den C-Bogen in viele Richtungen

zu drehen und zu schwenken, können die Ärzte jederzeit die beste Position für die Untersuchung wählen. Siemens bringt seine erste Bildverstärker-Durchleuchtungseinheit mit C-Bogen 1957 auf den Markt. Zunächst ist die Betrachtungsoptik noch am Bildverstärker angebracht. Somit ist der Arzt bei der Betrachtung des Bildes immer an die Position des Bildverstärkers gebunden. Die Optik muss daher so gestaltet sein, dass die Bildbetrachtung möglichst angenehm und effektiv ist. „Die allseitig schwenkbare Betrachtungsoptik ist so berechnet, dass Brillenträgern ein Einblick auch mit Brille möglich ist, wobei die große anatomische Augenmaske störendes Licht fernhält.“ Doch auch die Körpergröße der Ärzte wird berücksichtigt. Die Betrachtungsoptik kann nach oben und unten hin schräggestellt werden und ist so – laut Werbebroschüre – für größere und kleinere Ärzte gleichermaßen geeignet.



SRW-Werbedruckschrift, 1957





Schematische Darstellung der Funktionsweise eines Bildverstärkers mit Betrachtungsoptik. SRW-Werbedruckschrift, 1958

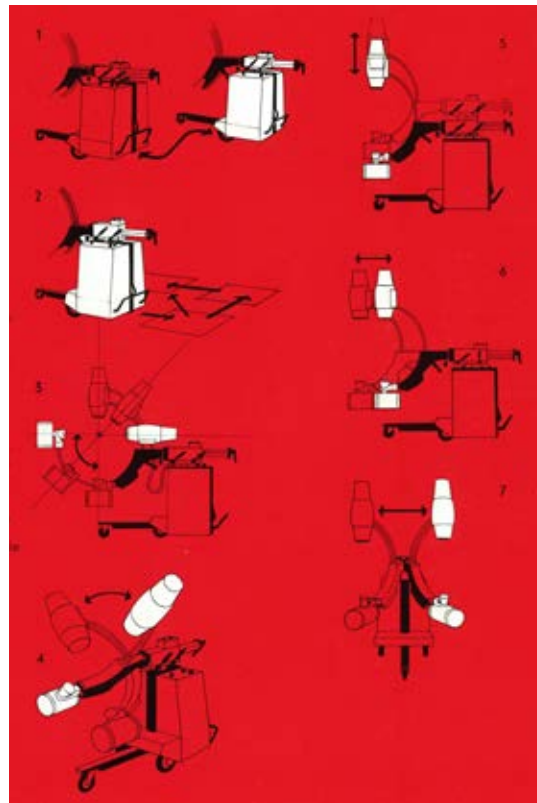


Die erste Bildverstärker-Durchleuchtungseinrichtung von Siemens, bestehend aus einem C-Bogen mit Bildverstärker und Röntgenröhre und dem fahrbaren Röntgenapparat Monodor, 1957

Mobile C-Bogen-Geräte haben den Vorteil, dass man sie in verschiedenen Räumen nutzen kann. Allerdings wird die Durchleuchtungseinheit durch den Transport sehr beansprucht. Deswegen werden bald auch C-Bogen-Geräte entwickelt, die fest an der Decke installiert werden; zunächst an einem Schienensystem, später mit einer punktförmigen Aufhängung. Diese deckenmontierten Geräte haben verschiedene Vorteile. Sie stehen jederzeit sofort zur Verfügung, benötigen weniger Platz am Operationstisch und durch die Deckenmontage entfallen die Kabelverbindungen am Boden zwischen den Bestandteilen der mobilen Geräte, die beim Operationsablauf störend sein können.

Die Grundform des C-Bogens – unabhängig davon ob mobil oder an der Decke montiert – ist so hervorragend für den Einsatz im OP geeignet, dass auch modernste Geräte heute noch diese Konstruktion verwenden. Die Technik, die dahintersteckt, entwickelt sich jedoch stetig weiter. 1965 bringen die Siemens-Reiniger-Werke das Siremobil als Nachfolger der ersten Bildverstärker-Durchleuchtungseinheit auf den Markt – und begründen damit eine Gerätefamilie, die über 40 Jahre lang Teil des Portfolios ist. Das Siremobil arbeitet bereits mit einer automatischen Dosisregelung. Hierbei wird die für die Untersuchung erforderliche Röntgendosis automatisch angepasst, um die

Bildhelligkeit konstant zu halten. Dadurch verkürzt sich die Durchleuchtungsdauer erheblich, und das bei gleichbleibender Bildqualität. Generell wird die Bildqualität stetig verbessert. Größere Bildverstärkerrohre ermöglichen den Ärzten, größere Untersuchungsbereiche darzustellen; die Auflösung der Bilder – und damit die Detailerkennbarkeit – wird immer höher. 1981 kommt das Siremobil 3 mit Siretron-Technik auf den Markt. Es ist das erste fahrbare C-Bogengerät für den OP von Siemens, das ein digitales Sofortbild bietet. Hilfsmittel wie ein Laserlichtkreuz am Siremobil 4 ermöglichen die exakte Positionierung von Geräten, wie zum Beispiel Bohrern,



Links: Das speziell für den Operationssaal konstruierte Arcoskop 100-OP mit Deckenmontage, 1980

Rechts: Wie beweglich das Siremobil ist, zeigt diese Grafik aus einer Werbebroschüre von 1965



Das Siremobil 4, 1987



auch ohne Röntgenstrahlung. Trotz aller technischen Fortschritte bleibt eine Sache lange Zeit gleich: Mit dem C-Bogen können nur herkömmliche zweidimensionale Bilder erzeugt werden. Für viele chirurgische Eingriffe sind solche Bilder aber nicht aussagekräftig genug, zum Beispiel wenn es darum geht, Schrauben bei chirurgischen Eingriffen präzise anzubringen. Mit dem Siremobil Iso-C 3D bringt Siemens ein Gerät auf den Markt, das hier Abhilfe schafft. Bei der Untersuchung wird der Körperteil, den der Arzt abbilden will, einmal mit Hilfe des Laserlichtkreuzes im sogenannten Isozentrum des C-Bogens positioniert. Beim eigentlichen Scan bewegt sich der C-Bogen um 190 Grad um das Isozentrum und nimmt 2D-Bilder auf – entweder 50 Bilder innerhalb einer Minute oder 100 Bilder in 2 Minuten. Daraus wird ein 3D-Bild errechnet, das unmittelbar nach dem Scan zur Verfügung steht.

Siremobil Iso-C 3D, 2002





Von ihrer Einführung Mitte der 1950er Jahre bis zur Jahrtausendwende gibt es in der Bildgebung mit C-Bogengeräten keine Alternative zu elektronischen Bildverstärkern. Erst zu dieser Zeit wird mit digitalen Detektoren die Bildqualität der herkömmlichen Bildverstärker erreicht. Im Jahr 2002 stellt Siemens mit dem AXIOM Artis dFC das erste C-Bogen-Gerät des Unternehmens vor, das mit einem dynamischen Flachbilddetektor ausgestattet ist. Diese Detektoren wandeln die Röntgenstrahlen in digitale Daten um, aus denen wiederum das Bildsystem ein digitales Bild errechnet. Das AXIOM Artis dFC ist zwar hauptsächlich für die Kardiologie entwickelt, aber es stellt einen Wendepunkt dar: Auch speziell für die Chirurgie konzipierte C-Bogen-Geräte arbeiten seither mehr und mehr mit digitalen Detektoren. Doch auch die bewährte Bildverstärkertechnik ist noch nicht aus den Operationssälen verschwunden.

Mit dem ARTIS pheno – bei seiner Einführung das einzige mit Robotertechnik ausgestattete C-Bogen-System auf dem Markt – beschreitet Siemens Healthineers neue Wege: Es erkennt zu jeder Zeit die Position des Operationstisches und orientiert sich bei allen Bewegungen an dieser. Dank der sogenannten Memory-Positionen kann das System den C-Bogen bei Bedarf schnell aus dem Operationsfeld fahren und den Chirurgen und dem OP-Team freien Zugang zum Patienten ermöglichen. Anschließend kann der C-Bogen wieder in die exakt gleiche Aufnahme position zurückfahren. So kann eine direkte Ergebniskontrolle noch während des Eingriffs stattfinden.

Präzise und detailreiche Bildgebung hilft nicht nur den Ärzten bei ihrer Arbeit, sondern kommt auch direkt den Patienten zugute. Denn sie ermöglicht erst minimalinvasive Eingriffe – das heißt Operationen, mit kleinstmöglicher Einwirkung auf den Patienten. Diese Art von Eingriff kam lange Zeit vor allem in der Herz-, Gefäß- und Neurochirurgie zum Einsatz, etwa beim

Implantieren sogenannter Stents, also Stützen, die Verengungen von Blutgefäßen beheben. Moderne Hybrid-OPs, die mit High-Tech-Geräten wie beispielsweise dem ARTIS pheno oder SOMATOM-Computertomographen ausgestattet sind, tragen dazu bei, dass auch andere Fachrichtungen – wie Orthopädie und Unfallchirurgie – mehr und mehr minimalinvasive Eingriffe durchführen können. Diese Art der Operation ist deutlich schonender, sodass sie besonders für die Behandlung älterer Patienten oder von Patienten mit Vorerkrankungen wichtig ist. Außerdem können durch minimalinvasive Eingriffe die Genesungszeit und die Dauer des Krankenhausaufenthalts



Das ARTIS pheno beim Einsatz im OP, 2016

deutlich reduziert werden. So können Patienten mit einer Beckenfraktur nach einer minimalinvasiven Schraubenfixierung schon einen Tag nach der Operation wieder unter Vollbelastung laufen. Dabei sind bei der Bildgebung Softwarelösungen nicht mehr wegzudenken. So errechnet beispielsweise *syngo DynaCT* innerhalb weniger Sekunden aus hunderten von Einzelbildern 3D-Bilder, ähnlich den Bildern von Computertomographen (CT). Besonders wichtige Bildinformationen aus den errechneten Bildern können beispielsweise während der Untersuchung mit den Durchleuchtungsbildern überlagert und so die Steuerung des Eingriffs noch präziser gemacht werden.

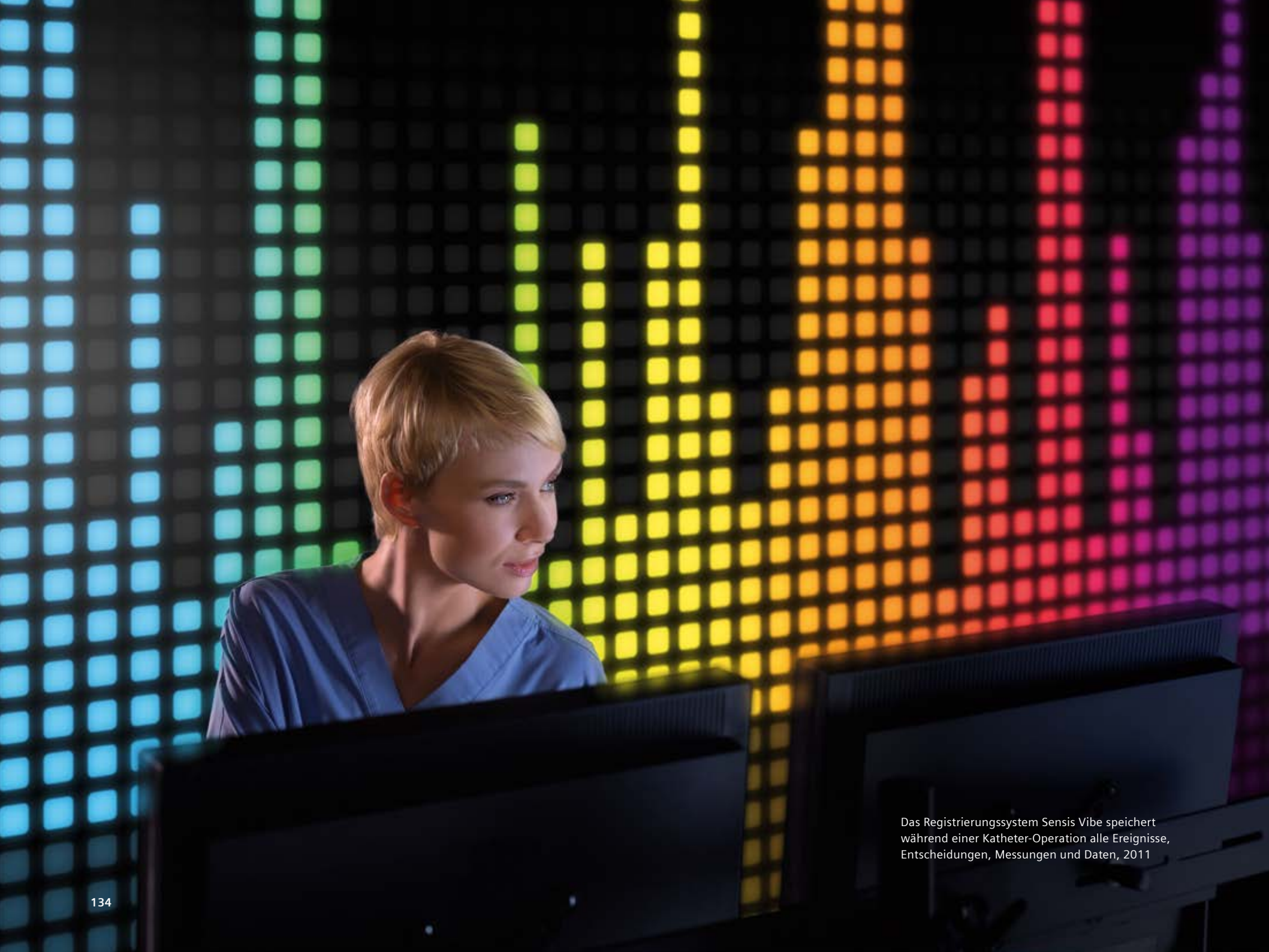
## Schichten auf Schienen

Als Leiter der Siemens-Röntgenentwicklung wird Friedrich Gudden 1981 auch zur noch relativ jungen Computertomographie befragt. Er berichtet unter anderem, „dass viele der uns bekannten Ärzte sagen, dass die Geräte zunehmend auch im Lungenbereich bei der Auffindung kleiner Tumoren und vielleicht später bei der Herzuntersuchung verwendbar sind“. Daran, dass die neue Technologie auch einmal für Untersuchungen im Operationssaal selbst und nicht nur bei der Vorbereitung von Eingriffen genutzt werden kann, ist zum damaligen Zeitpunkt noch nicht zu denken. Doch inzwischen ist auch das Wirklichkeit geworden. 2014 installiert Siemens im Universitätsklinikum Frankfurt einen Computertomographen auf Schienen. Mit diesem System kommt der Computertomograph zum Patienten und der Arzt kann im Schockraum beispielsweise Unfallpatienten untersuchen, ohne diese bewegen zu müssen. Dieses Prinzip wird heute auch im Operationssaal angewandt. Bei diesen CT-Systemen gleitet die Gantry – also der Teil, der landläufig oft als „Röhre“ bezeichnet wird – auf Schienen über den Patienten hinweg, ohne dass der Patient für den Scan bewegt beziehungsweise seine Liegeposition verändert werden müsste. Wird das System nicht gebraucht, kann es über die Schienen wieder in die Parkposition gefahren werden. Die Schienen selbst sind dabei so in den Boden eingelassen, dass sie kein Hindernis für Gerätewagen oder Betten darstellen.

Elektronische Bildverstärkung, robotergestützte C-Bogen-Systeme und Computertomographen – vom Nutzen dieser Errungenschaften hätten Chirurgen in der Frühzeit der Röntgentechnik vermutlich nicht einmal zu träumen gewagt. Diese Innovationen haben dazu beigetragen, dass die Bildgebung mit Hilfe von Röntgenstrahlen schon lange nicht mehr nur ein nützliches Hilfsmittel bei der Vorbereitung einer Operation ist, sondern die Arbeit von Chirurgen im OP maßgeblich unterstützt.



Die SOMATOM CT Sliding Gantry Systeme stehen auf bis zu 12 Meter langen Schienen, durch die sie je nach Bedarf an den Patienten herangefahren werden können, 2017



Das Registrierungssystem Sensis Vibe speichert während einer Katheter-Operation alle Ereignisse, Entscheidungen, Messungen und Daten, 2011



# Lernen für die Zukunft

## Vom Polaroid-Foto des Bildschirms zum digitalen Zwilling

Wenn man alle digitalen Daten, die bis ins Jahr 2020 im Gesundheitswesen angefallen sind, auf Tablets speichern würde: Wäre der Stapel niedriger oder höher als das Empire State Building? Auf den Tablets müsste eine schier unvorstellbare Datenmenge gespeichert werden. Eine gängige DVD hat eine Kapazität von 4,7 Gigabyte; die im Gesundheitswesen angehäuften Daten werden in Exabyte angegeben. Ein Exabyte ist eine Milliarde Gigabyte, eine Eins mit 18 Nullen. Laut Schätzungen würden sich alle Wörter, die je in der Geschichte der Menschheit gesprochen wurden, schriftlich auf etwa 5 Exabyte speichern lassen. Die Datenmenge, die bis Mitte 2020 im Gesundheitswesen entstanden ist, beträgt ungefähr 2.300 Exabyte – die übereinander gestapelten Tablets würden ein Drittel des Weges zum Mond einnehmen.

Jedes Jahr wächst die Datenmenge in der Medizin um 48 Prozent, schneller als in jedem anderen digitalen Umfeld. Allein mit den Systemen von Siemens Healthineers kommen pro Stunde rund 240.000 Patienten in Berührung. Der digitale Wandel wird enorme Veränderungen nach sich ziehen, in Diagnostik und Therapie. Bereits heute entlasten digitale Assistenten Radiologen bei der Beurteilung von Ergebnisbildern aus der Computertomographie und der Magnetresonanztomographie und helfen Ärzten bei der Entscheidungsfindung. In Zukunft werden immer leistungsfähigere Software-Anwendungen wie künstliche Intelligenzen die Flut an

medizinischen Daten schnell und präzise verarbeiten und klinische wie operative Entscheidungsprozesse unterstützen. Die Digitalisierung hat das Potential, die Medizin in ebenso großem Maße zu verändern wie die Entdeckung der Röntgenstrahlen. Ähnlich faszinierend wie die Prognosen für die Zukunft der digitalen Medizin- und Röntgentechnik ist ihre Geschichte. Mit welchen Erfindungen hat sie begonnen? Wo liegen die Besonderheiten der digitalen Radiologie im Vergleich zu anderen Technologien des Informationszeitalters? Und warum können wir heute beinahe fotorealistische Bilder aus dem Inneren des Körpers erzeugen?

### Pakete aus Nullen und Einsen

Die Geschichte der Digitalisierung der Medizintechnik beginnt nicht mit einer bestimmten Idee oder Erfindung. Die Wurzel aller späteren Entwicklungen, das digitale Bild, ist durch eine Kombination zahlreicher Errungenschaften aus den unterschiedlichsten Technikgebieten möglich geworden. Für die Raumfahrt zum Beispiel werden in den 1960er Jahren Verfahren entwickelt, mit denen sich Bilder schnell und verlustfrei über weite Strecken übertragen lassen. Die Bildinformationen werden in Pixel und Grauwerte eingeteilt, codiert und in vielen einzelnen Datenpaketen verschickt. Die sogenannte Bildmatrix enthält alle Informationen des Bildes in Form von Binärcode, ist also zusammengesetzt aus zwei Zeichen, etwa 0 und 1 oder Hi und Lo. Anhand dieser Bildmatrix lässt sich

das ursprüngliche Bild nach der Speicherung oder Übermittlung wieder zusammensetzen.

In der Nuklearmedizin und der Ultraschalldiagnostik entstehen bereits Ende der 1950er Jahre digitale Bilder, die zur Betrachtung an den fernseherähnlichen Bildschirmen jedoch wieder in analoge Signale umgewandelt werden müssen. Digital bezieht sich in diesem Zusammenhang auf die Verarbeitung der im Körper des Patienten gemessenen Werte. Am Schallkopf des Ultraschall-Systems zum Beispiel wird das (analoge) Echo aus dem Körper in elektrische Impulse umgewandelt und digital weiterverarbeitet.



Der Prototyp des SIRETOM mit Magnetspeicher und Polaroid-Aufsatz am Schaltpult, 1974

Das erste digitale Verfahren der Röntgentechnik, die Computertomographie, versetzt Anfang der 1970er Jahre die medizinische Fachwelt in Begeisterung. Digital speichern lassen sich die Ergebnisbilder bei CT-Scannern wie dem Siemens SIRETOM zu dieser Zeit jedoch ausschließlich auf Magnetbändern – die einfachste Möglichkeit, das Bild festzuhalten, bleibt vorerst eine Polaroid-Aufnahme des Bildschirms.

### Erste Schritte ins digitale Zeitalter

Die Computertomographie wird einige Jahre lang „das digitale Röntgen“ oder „die digitale Radiographie“ genannt, denn die klassischen Röntgenbilder entstehen zunächst weiterhin auf Filmfolien. Als sich im Laufe der 1980er Jahre erste zweidimensionale digitale Aufnahmetechniken durchsetzen, löst sich die Computertomographie im allgemeinen Sprachgebrauch schließlich vom Begriff des „digitalen Röntgens“. Die erste computergestützte zweidimensionale Röntgentechnik ist die Digitale Subtraktionsangiographie (DSA). In der Angiographie – also bei der Darstellung der Gefäße mithilfe von Kontrastmitteln – kann die DSA „störende“ Inhalte aus dem Röntgenbild entfernen (subtrahieren). Dazu wird zunächst ein Röntgenbild der Gefäße ohne Kontrastmittel aufgenommen, das sogenannte Maskenbild. Ein Computer subtrahiert diese digitale Maske von den folgenden Röntgenaufnahmen, auf denen zu sehen ist, wie sich das Kontrastmittel in den Gefäßen verteilt. Dadurch lassen sich alle Strukturen, die sich vom Maskenbild unterscheiden, weitgehend aus den Röntgenaufnahmen ausblenden. Übrig bleiben auf den DSA-Bildern vornehmlich die durchbluteten Gefäße.

Die grundlegenden Arbeiten zur Digitalen Subtraktionsangiographie stammen aus dem Jahre 1976 vom Kardiologen Paul Heintzen und seiner Arbeitsgruppe an der Universitäts-Kinderklinik Kiel. Weiterführende

Pionierarbeiten von Sol Nudelman, M. Paul Capp und Teams an den Universitäten von Arizona und Wisconsin führen dazu, dass die ersten medizinisch verwertbaren DSA-Bilder des Herzens zu einem der großen Themen auf den Röntgenkongressen des Jahres 1980 werden. Bereits ein Jahr später stellt Siemens sein erstes digitales Bildverarbeitungssystem für die DSA vor: Das Angiotron rechnet derart schnell, dass der Arzt mit 50 Bildern pro Sekunde am Monitor beobachten kann, wie sich das Kontrastmittel in den Gefäßen seines Patienten verteilt. Die DSA kommt ab 1982 in vielen Kliniken zum Einsatz und bleibt mehrere Jahre lang das meistverwendete digitale Verfahren der klassischen Röntgentechnik.



Werbeaufnahme zu einer der DSA-Lösungen von Siemens aus dem Jahre 1982

### Röntgenbilder durch den Wäscheschacht

Vor allem drei große Vorteile der DSA sorgen dafür, dass digitale Bildgebung als Ganzes ab 1982 immer mehr ins Zentrum der Forschungen rückt: Erstens, die Röntgenaufnahme muss nicht entwickelt werden, sondern erscheint sofort nach der Aufnahme auf einem Bildschirm. Zweitens, aus einem digitalen Röntgenbild lassen sich mithilfe von Bildverarbeitungsprogrammen Informationen gewinnen, die auf einem Röntgenfilm nicht sichtbar zu machen sind. Und drittens, in den Worten einer Siemens-internen zeitgenössischen Analyse, „stellt die leichte Übertragungsfähigkeit über Datenleitungen eine rasche Verfügbarkeit des Bildes sicher.“



Aufnahme und Auswertung einer DSA im Jahre 1984



Eine der ersten Installationen des Siemens PACS verbindet im Jahre 1988 mehrere Berliner Kliniken

Zu dieser Zeit allerdings nur theoretisch. Bis dahin existiert kein standardisiertes Netzwerk, das die digitalen Bilder erfassen und beispielsweise an mehrere Spezialisten in einem Krankenhaus zur Beurteilung weiterleiten kann. Die in den Kliniken von Tag zu Tag wachsende Bilderflut wird unter großem Personal- und Zeitaufwand verwaltet, archiviert und per Post oder Hauspost von Abteilung zu Abteilung transportiert. Diagnosen verzögern sich, weil die Untersuchungsbilder noch unterwegs sind. Vor allem an amerikanischen Universitäten wird jedoch bereits an Möglichkeiten geforscht, die medizinischen Bilder in einem digitalen Netzwerk zu vereinigen. Die Wissenschaftler suchen nach geeigneten Standards, vernetzen Bildschirme und verlegen Kabel durch Radiologie-Abteilungen. An der Cornell University in New York zum Beispiel werden Breitband-TV-Kabel über Wäscheschächte verlegt, um die verschiedenen Stockwerke der Radiologie miteinander zu vernetzen.

Im Jahre 1982, auf einer internationalen Konferenz in Los Angeles, einigen sich die Medizintechnikhersteller schließlich mit hunderten Radiologen und



Ergebnisbilder auf Röntgenfilm müssen aufwendig entwickelt und archiviert werden, 1960



akademischen Forschern auf einen gemeinsamen Standard für zukünftige medizinische Netzwerke: Im PACS (Picture Archiving and Communication System) sollen sich alle Bilder aus bildgebenden Verfahren vernetzen lassen; durch den etwas später etablierten DICOM-Standard (Digital Imaging and Communications in Medicine) auch mit Systemen verschiedener Hersteller. Siemens beginnt noch im gleichen Jahr mit der Entwicklung eines PACS, das krankenhausweit, regional oder sogar weltweit einsetzbar ist. Bis zur Serienreife sollten noch viele Jahre vergehen, doch bereits nach ersten Tests im Victoria General Hospital auf Vancouver Island kann das Siemens PACS immer weiter ausgebaut und mit neuen Technologien erweitert werden. 1988, lange bevor sich PACS allgemein in der Praxis etablieren, ist die Entwicklung von Siemens in zahlreichen Kliniken in Nordamerika, in Japan und in fünf europäischen Ländern im Einsatz.

## Die Zukunft beginnt

Im Mai 1992 wird im Donauespital in Wien die erste volldigitalisierte und vernetzte Radiologie der Welt in Betrieb genommen. Unter dem Produktnamen Sienet schließt Siemens alle bildgebenden Systeme wie Röntgengeräte, Computertomographen, Magnetresonanztomographen und Ultraschallsysteme des Krankenhauses über Glasfaserkabel zu einem großen Verbund zusammen. Das PACS kann pro Tag eine zu dieser Zeit enorme Datenmenge von bis zu 13 Gigabyte verarbeiten; das entspricht etwa dem Inhalt von 13.000 Büchern mit je 500 Seiten. Die Radiologen können von jedem Terminal im Krankenhaus ohne Wartezeit auf die Untersuchungsbilder zugreifen. Die Netzwerkgeschwindigkeit des Sienet liegt bereits im Jahre 1992 bei 100 Mbit/s, was mehr als viermal schneller ist als die durchschnittliche Downloadgeschwindigkeit der deutschen Internetanschlüsse im Jahre 2019.

Nach dem Pilotprojekt in Wien installiert Siemens weitere Sienet, unter anderem im Hammersmith Hospital in London und im Krankenhaus Viborg Sygheus in Dänemark, wo allein bis Januar 1993 rund 500.000 digitale Bilder erstellt werden. Zusammen mit der amerikanischen Firma Loral baut Siemens das weltweit größte PACS-Netz dieser Tage auf: Eine Vernetzung mehrerer amerikanischer Militärhospitäler, die in Texas beginnt und schrittweise ausgebaut wird. Die digitalen Bilder und Netzwerke sollten von nun an eine immer größere Rolle spielen. Auf die Arbeit der Mediziner wirkt sich die zunehmende Digitalisierung ebenso aus wie auf die Patienten. So gingen beispielsweise früher bei der Archivierung bis zu 15 Prozent der Aufnahmen durch falsches Einordnen verloren, was sich bei eventuellen Folgebehandlungen kritisch auswirken kann. Röntgenbilder auf Film, die nicht ausreichend belichtet und dadurch unbrauchbar für die Diagnose sind,

mussten wiederholt werden. Digitale Bilder hingegen können nachträglich verbessert und korrigiert werden. In der Zeit des Probelaufs von Sienet im Donauespital Wien – zwischen September 1991 bis zum Abschlussbericht im Mai 1992 – muss keine Röntgenaufnahme wegen Verlust oder ungenügender Abbildung ein zweites Mal angefertigt werden.

## Per Laser zum Röntgenbild

Anfang der 1990er Jahre hat Siemens bereits zahlreiche Hard- und Software-Entwicklungen in der Produktpalette, mit denen sich die Vorteile der Digitalisierung nutzen lassen. Sienet verbindet zu dieser Zeit unter anderem Computertomographen, Magnetresonanztomographen und Ultraschallgeräte mit digitalen Radiographie-Systemen wie dem POLYTRON 1000 und auf die Digitale Subtraktionsangiographie optimierte Geräte wie dem MULTISKOP.



Der Arbeitsplatz SIENET MagicView im Jahre 1996



Mit dem POLYTRON 1000 lassen sich ab 1988 alle digitalen Röntgenbilder auswerten

An Arbeitsplätzen mit bis zu acht Monitoren kann der Arzt beispielsweise wichtige Details vergrößern oder unwichtige ausblenden, Konturen betonen oder den Kontrast der Bilder verändern.

Einer der wichtigsten Meilensteine dieser Tage ist ein Aufnahmeverfahren, mit dem sich herkömmliche Röntgengeräte zu digitalen Systemen aufrüsten lassen: Beim Speicherfoliensystem Siemens Digiscan liegt statt des Röntgenfilms eine spezielle leuchtstoffbeschichtete Folie in der Aufnahmekassette des Röntgengeräts. Ein Laserstrahl tastet das Röntgenbild auf der Speicherfolie Punkt für Punkt ab, wandelt es in Lichtsignale um und überträgt es in Form von digitalen Daten zum Bildrechner. Die Speicherfolie ist wesentlich lichtempfindlicher als der Röntgenfilm, die Details der Aufnahme sind auch an schwach belichteten Stellen deutlich zu erkennen. Während beim klassischen Röntgen für jedes Bild ein eigener



Die Digiscan Workstation im Jahre 1992



Mit Digiscan lassen sich unter anderem wichtige Details des Röntgenbildes vergrößern und Konturen betonen

Beim Speicherfoliensystem Siemens Digiscan liegt statt des Röntgenfilms eine spezielle leuchtstoffbeschichtete Folie in der Aufnahmekassette des Röntgengeräts, 1992

Film nötig ist, reicht eine Digiscan-Speicherfolie für mehrere tausend Aufnahmen. Mit wenigen Mausklicks – was zu dieser Zeit noch sehr ungewöhnlich ist – wertet der Radiologe die Röntgenbilder aus, bearbeitet sie auf dem hochauflösenden Monitor und speichert die Untersuchungsergebnisse im PACS.





## Eine für alle

Die Digitalisierung der Medizintechnik bezieht sich nicht nur auf die Form, in der die Daten vorliegen; ebenso bedeutend bei der Entwicklung ist, wie sich die Daten und die Systeme am sinnvollsten für Mediziner und Patienten nutzen lassen. Mithilfe von Software lässt sich die bestmögliche Leistung aus der Hardware herausholen. Im Laufe der 1990er Jahre entwickeln die Ingenieure von Siemens zahlreiche Anwendungen, die die Grundlage der Digitalisierung moderner Systeme von Siemens Healthineers bilden. Das Spektrum reicht dabei von Programmen zur Optimierung der Strahlendosis bis hin zu Multimedia-Systemen, um dem Patienten die Untersuchung so komfortabel wie möglich zu machen. Beispielsweise errechnet die Software CARE (Combined Applications to Reduce Exposure) ab 1994 bei CT-Aufnahmen für jeden Patienten individuell die kleinstmögliche Dosis bei bestmöglicher Bildqualität. Abhängig von der Anatomie des Patienten kann CARE die Strahlendosis um mehr als 50 Prozent reduzieren, bei der Untersuchung von Kindern liegt die Einsparung bei bis zu 75 Prozent.

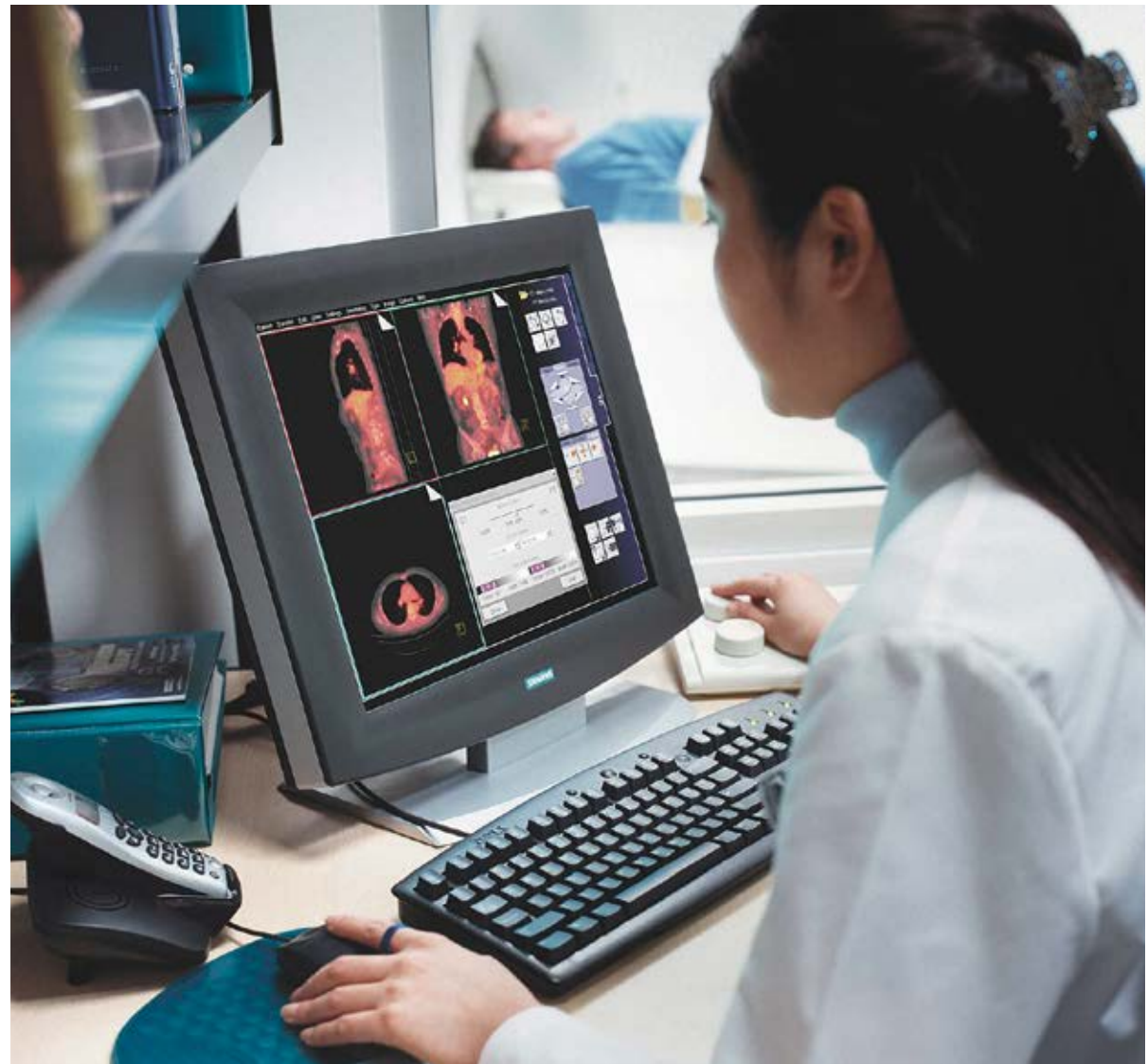
Softwareseitig sind die Fortschritte in den 1990er Jahren so riesig, dass sich die Siemens-Systeme zur Jahrtausendwende praktisch kaum noch mit denen des Jahres 1990 vergleichen lassen. Mit der Software *syngo* hat Siemens im Jahre 1999 als erster Medizintechnikerhersteller die Bedienung all seiner Systeme vereinheitlicht. Computer- und Magnetresonanztomographen oder andere bildgebende Systeme desselben Herstellers hatten bisher verschiedene Softwareoberflächen – und jede einzelne musste erst vom Bedienpersonal erlernt werden. Durch *syngo* standardisiert Siemens die Bedienung. Erwirbt eine



Klinik oder Arztpraxis ein neues Siemens-System, 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 CT-Befunde, Laborwerte oder Operationsberichte hat. Die abteilungsübergreifende Vernetzung beschleunigt die Arbeitsabläufe und der Arzt hat mehr Zeit für den Patienten.



Siemens vereinheitlicht 1999 mit der Software *syngo* als erster Medizintechnikhersteller die Bedienung all seiner Systeme



*syngo* im Jahre 2003, mit bereits deutlich weiterentwickelter Benutzeroberfläche

## Auf direktem Wege

Die Speicherfoliensysteme der 1990er Jahre sind ein Kompromiss und in gewissem Sinne auch ein Umweg, um die Vorteile der Digitalisierung auch in der klassischen Röntgentechnik zu nutzen. Sofortbilder sind mit den Speicherfolien jedoch nicht möglich, da der Laser die Folie Punkt für Punkt abtasten muss. Um die Jahrtausendwende ist die Technik schließlich soweit, dass Festkörperdetektoren oder Flachbilddetektoren genannte Röntgenkonverter den analogen Röntgenfilmen in der Aufnahmequalität mindestens ebenbürtig sind. Bei dieser sogenannten FD-Technologie treffen die Röntgenstrahlen am Detektor auf einen Szintillator, der die Signale in

sichtbares Licht umwandelt. Photodioden setzen dieses Licht in elektrischen Strom um, ein Wandler macht aus den analogen Signalen digitale Daten und leitet sie zur Auswertung an den Rechner weiter. Der Arzt kann die Bilder sofort nach der Aufnahme am Monitor betrachten und im Sienet speichern.

Zunächst bringt Siemens im Jahre 2000 die Röntengeräte Thorax FD, Vertex FD und Multix FD auf den Markt, die vor allem in der Lungen- und Skelettdiagnostik eingesetzt werden. Schnell folgen weitere voll-digitale Röntgensysteme wie das Universal-Röntgensystem AXIOM Aristos, das mit einer Auflösung von

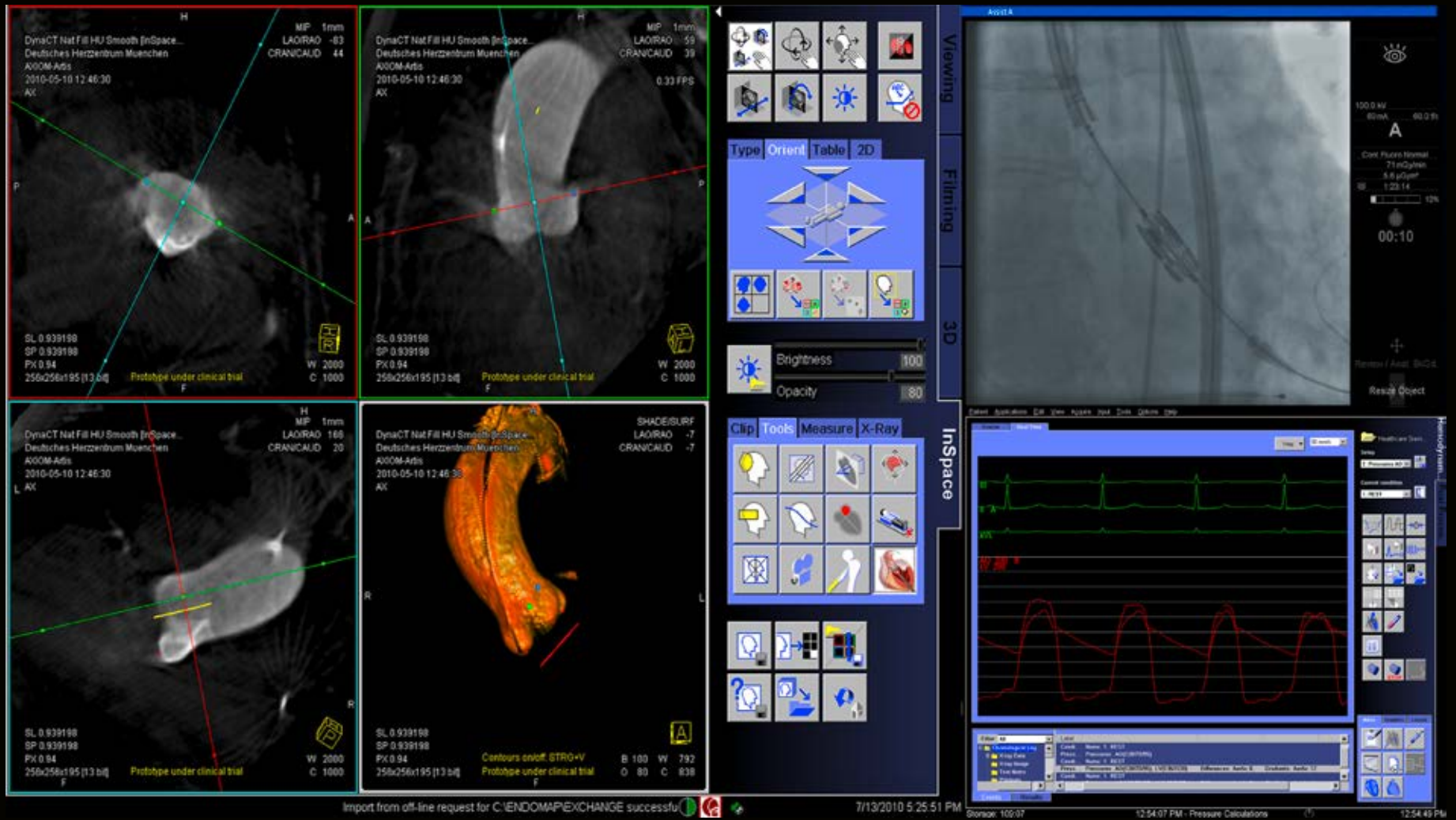
neun Millionen Pixeln mehr Bildpunkte darstellen kann als eine gängige Kinoleinwand des Jahres 2020. Auch in der Angiographie und der Kardiologie kommen seit Beginn des Jahrtausends zunehmend Flachdetektoren zum Einsatz. Die Anforderungen an den Detektor sind hier noch größer, da das System bewegte Bilder der Gefäße oder des schlagenden Herzens darstellen muss. Zudem muss der Detektor einerseits groß genug sein, damit er ganze Regionen wie den Brustkorb erfassen kann, andererseits so kompakt, dass der Arzt während des Eingriffs bestmöglichen Zugang zum Patienten hat. Für das Kardiologie-System AXIOM Artis dFC haben die Ingenieure von Siemens deshalb eine Spezialversion der FD-Technologie entwickelt: Der nur 30 mal 40 Zentimeter kleine Flachdetektor mit dem Namen AXIOM FDi ist unter anderem drehbar montiert und unempfindlich gegen Magnetfelder. Dadurch lässt sich das AXIOM Artis dFC mit speziellen Magneten kombinieren, mit deren Hilfe der Arzt den Katheter während der Intervention durch die Herzkranzgefäße führen kann. Die Flachdetektoren der angiographischen C-Bogen-Systeme ermöglichen im Zusammenspiel mit neuer Software zahlreiche neue Anwendungen: Mit syngo DynaCT etwa lassen sich ab 2005 am Operationstisch Schnittbilder erzeugen, ähnlich den dreidimensionalen Aufnahmen der Computertomographie.



Die FD-Technologie des AXIOM Aristos FX verringert die Strahlendosis für den Patienten und das Klinikpersonal, 2002



Der Flachdetektor des AXIOM Artis ermöglicht im Zusammenspiel mit neuer Software zahlreiche neue Anwendungen, 2004

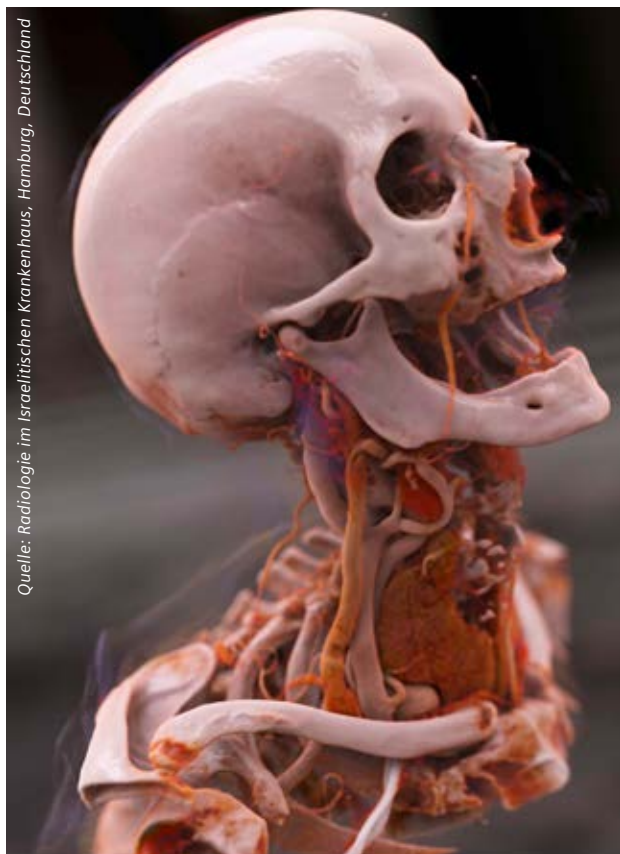


Mit syngo DynaCT lassen sich Schnittbilder direkt am Operationstisch erzeugen und beurteilen



## Körperkino

Was ausgeklügelte Software aus der richtigen Hardware herausholen kann, lässt sich eindrucksvoll an den Bildern des Cinematic Rendering\* zeigen. Wie der Name der Technologie bereits verrät, haben sich Klaus Engel und Robert Schneider, zwei der führenden Visualisierungsexperten von Siemens Healthineers, bei der Grundidee ihrer Erfindung an der Berechnung der Computereffekte



Quelle: Radiologie im Israelitischen Krankenhaus, Hamburg, Deutschland

Schilddrüse und Knochen der Kopf- und Halsregion, dargestellt mit Cinematic Rendering im Jahre 2015

in der Filmindustrie orientiert. Der Algorithmus der Software erzeugt aus dreidimensionalen Patientendaten fotorealistische Bilder der Anatomie, indem er die physikalischen Eigenschaften des Lichts in den Datensätzen des Patientenkörpers simuliert. Im Gegensatz zu den Effekten der Filmindustrie, bei denen an den animierten Charakteren nur die Reflexion des Lichts an der Oberfläche des Körpers berechnet werden, berücksichtigt der Algorithmus der Cinematic-Rendering-Technologie erheblich



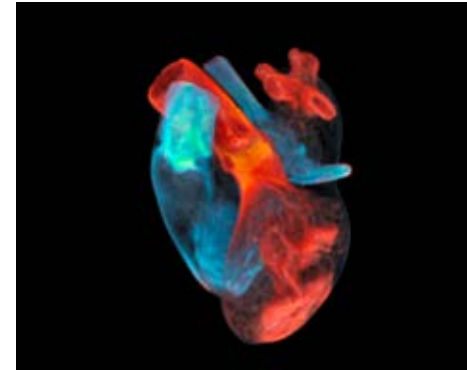
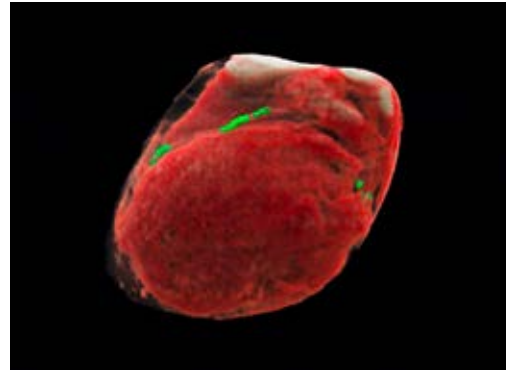
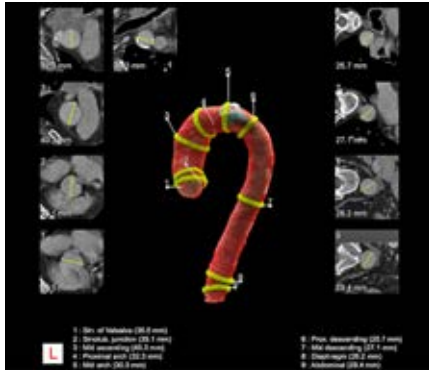
Quelle: Qilu Hospital, Shandong University, Jinan, P. R. China

Die weißen Kabel auf dieser Cinematic-Rendering-Aufnahme stammen von einem EKG, an das der Patient während des CT-Scans angeschlossen war

komplexere Faktoren wie die Streuung der Lichtteilchen im Gewebe. Das Licht breitet sich in den dreidimensionalen Datensätzen natürlich aus und wirft dabei realistische Schatten. Dieser realistische Schatteneffekt ist der Grund, warum die mit Cinematic Rendering berechneten Bilder so naturgetreu aussehen. Denn unser Auge ist darauf trainiert, die Struktur von Körpern durch feinste Schattierungen zu erkennen.

Cinematic-Rendering-Bilder können seit 2017 mit wenigen Mausklicks in der Software *syngo.via* auf Basis jeder Computertomographie oder Magnetresonanztomographie erstellt werden. Die unterschiedlichen Gewebearten lassen sich per Filterfunktion ausblenden, so dass beispielsweise bei der Untersuchung des Skeletts nur die Knochen auf dem Ergebnisbild zu sehen sind. Das Potential des Cinematic Rendering ist riesig: In mehreren Studien wird derzeit untersucht, welchen Mehrwert die Technologie in verschiedenen medizinischen Disziplinen bietet, unter anderem auch in der Forensik. Die fotorealistischen Bilder können etwa die Kommunikation zwischen Arzt und Patient erleichtern und Chirurgen dabei helfen, die Planung von Operationen zu verbessern. In der Lehre wird Cinematic Rendering bereits erfolgreich eingesetzt: Franz Fellner, der Leiter des Zentralen Radiologie Instituts am Kepler Universitätsklinikum Linz, hat die Technologie zusammen mit Klaus Engel und Robert Schneider weiter verfeinert. Seit 2015 nutzt Fellner die neuartigen Bilder, um Medizinstudenten auf einer riesigen Leinwand in Anatomie zu unterrichten. 2017 sind Engel, Schneider und Fellner als eines von drei Wissenschaftlerteams für den Deutschen Zukunftspreis nominiert, einer der höchsten deutschen Auszeichnungen für Technik und Innovation.

\*Cinematic Rendering wird zur Kommunikation und für Bildungsmaßnahmen empfohlen, ist jedoch nicht zu Diagnosezwecken zugelassen. Die Applikation befindet sich in der Entwicklungsphase. Die zukünftige Verfügbarkeit kann nicht garantiert werden.



Links: Der intelligente Software-Assistent AI-Rad Companion Chest CT misst unter anderem Abweichungen und vergleicht sie mit der Norm, 2019

Mitte: Auffälligkeiten werden vom AI-Rad Companion Chest CT automatisch markiert, 2019

Rechts: Der digitale Zwilling eines realen Patienten simuliert die Abläufe in seinem Herzen, 2018

## Die smarten Companions

125 Jahre nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen spielt Software eine immer wichtigere Rolle dabei, Diagnosen und Therapien weiter zu verbessern. Um die enorme Menge an digitalen Daten konstruktiv und hilfreich einzusetzen, entwickeln die Ingenieure von Siemens Healthineers derzeit zahlreiche neue Werkzeuge. Aus Big Data muss Smart Data werden. Intelligente Bildgebung heißt, mit den Möglichkeiten der Digitalisierung dem Anwender zu helfen, das bestmögliche aus den Systemen herausauszuholen. Im Siemens Healthineers Digital Ecosystem unterstützen heute Anwendungen wie *teampay myCare Companion* dabei, Patienten und Versorgungsteams zu vernetzen, indem beispielsweise Patienten mit chronischen Erkrankungen wie Herzinsuffizienz telemedizinisch betreut werden. Mithilfe von *syngo Virtual Cockpit* können sich zum Beispiel Spezialisten aus einer Klinik mit Siemens Healthineers Scannern an weiter entfernten Kliniken verbinden und ihre Kollegen fachlich unterstützen. Dadurch lassen sich beispielsweise speziellere Untersuchungen, die eine bestimmte Expertise des Anwenders erfordern, an allen Standorten des Gesundheitsversorgers durchführen; der

Patient muss keine weiten Strecken dafür zurücklegen. Dabei hilft auch der *myExam Companion*, eine intelligente Benutzerführung auf Basis von künstlicher Intelligenz (KI, engl.: artificial intelligence, AI). Als smarter Assistent hilft *myExam Companion* bei CT-Scans dem Anwender, die richtige Einstellung für das bestmögliche klinische Bild und die individuell richtige Dosis für jeden Patienten zu finden.

Solche künstlichen Intelligenzen lernen im wahrsten Sinne des Wortes für die Zukunft. Eine KI kann in riesigen und komplexen Datenmengen schnell und präzise Muster erkennen – vorausgesetzt, der Algorithmus hat anhand hochwertiger Trainingsdaten gelernt, wonach er suchen soll. Bereits heute unterstützen speziell trainierte künstliche Intelligenzen von Siemens Healthineers bei klinischen Entscheidungen. Der *AI-Rad Companion Chest CT* ist ein intelligenter Software-Assistent für die Radiologie, der Organe und potenziell krankhafte Veränderungen des Gewebes erkennen kann. Die Software unterscheidet auf Computertomographie-Aufnahmen des Brustkorbs Strukturen, hebt sie hervor und kennzeichnet Auffälligkeiten. Der *AI-Rad Companion Chest CT* wird den Radiologen nicht ersetzen, sondern ihm Routinetätig-

keiten abnehmen, so dass er mehr Zeit hat, sich um die schwierigen Diagnosen zu kümmern. Mit intelligenten Algorithmen ist Siemens Healthineers im Jahre 2019 die Simulation des Herzens eines realen Patienten gelungen. In einem gemeinsamen Forschungsprojekt mit dem Universitätsklinikum Heidelberg haben Kardiologen mithilfe von Daten aus der Bildgebung, aus der Labordiagnostik und mit EKG-Messungen einen digitalen Zwilling des Herzens eines realen Patienten erschaffen, um die Behandlung von Herzkrankheiten gezielt auf den einzelnen Patienten zuzuschneiden. Am digitalen Zwilling lassen sich beispielsweise bestimmte Medikamente oder Operationen im Vorfeld digital testen, um die Erfolgchancen zu bewerten. Digitale Zwillinge anderer Organe sind bereits in der Entwicklung; die Bedeutung von Algorithmen wird in der Bildgebung Schritt für Schritt wachsen. Doch bei all den technischen Fortschritten seit Wilhelm Conrad Röntgens Entdeckung der X-Strahlen sollten wir die künstliche Intelligenz als Möglichkeit betrachten, die menschlichen Fähigkeiten für eine bessere Entscheidungsfindung zu ergänzen. Ziel ist es, fundiertere und präzisere klinische Entscheidungen zu unterstützen und zugleich den Arbeitsumfang und menschliche Fehler zu reduzieren.

# Impressum

**Herausgeber**

Siemens Healthineers AG  
Siemensstr. 3  
91301 Forchheim  
Deutschland

**Autoren**

Stefan Dirnberger  
Katharina Schroll-Bakes  
Manuel Schusser  
Ingo Zenger

© Siemens Healthineers AG, 2025

Alle Rechte vorbehalten.





---

**Siemens Healthineers Headquarters**

Siemens Healthineers AG  
Siemensstr. 3  
91301 Forchheim, Germany  
Phone: +49 9191 18-0  
siemens-healthineers.com

**Siemens Healthineers  
Historical Institute**

Gebbertstr. 1  
91052 Erlangen, Deutschland  
Tel: +49 9131 84-5442  
medmuseum.siemens-healthineers.com