



Francesco Mascaro

BILDGEBENDE DIAGNOSTIK

Wie sichtbar wird,
was für das blosse
Auge unsichtbar ist





Francesco Mascaro

BILDGEBENDE DIAGNOSTIK

Wie sichtbar wird,
was für das blosse
Auge unsichtbar ist

© copyright 2021 by Carocci editore

Originalausgabe: *Diagnostica per immagini. Come vedere ciò che è invisibile a occhio nudo*
(Carocci, 2020)

Grafische Gestaltung von Ulderico Iorillo und Valentina Pochesci



05 Vorwort

07 ERSTER TEIL BILDGEBENDE DIAGNOSTIK

08 Einleitung

09 Die Entdeckung der Radioaktivität

12 Die bildgebende Diagnostik ist geboren

13 Die Strahlungen

24 Diagnostische Verfahren mit ionisierender Strahlung

31 Diagnostische Verfahren mit nichtionisierender Strahlung

39 Ein Exkurs in die Nuklearmedizin

41 Schlussfolgerungen und Ausblick

43 ZWEITER TEIL EIN STURZ MIT HAPPY END

57 Glossar



VORWORT

Was wissen wir über die Auswirkungen der wissenschaftlichen Forschung und der medizinischen Praxis auf unser tägliches Leben? Von welcher «Leidenschaft» und von welchen Motivationen werden die Forscher und die Angehörigen der Gesundheitsberufe angetrieben? Was wissen wir über ihren Beruf?

Die Gesellschaft ist in vielerlei Hinsicht bemüht, der Allgemeinheit die Wissenschaft und ihre Auswirkungen näherzubringen. Denken wir beispielsweise nur an die zahlreichen Broschüren, welche die Bedeutung eines gesunden Lebensstils und ganz allgemein das Wohlbefinden anpreisen. Die Schule trägt natürlich auch ihren Teil dazu bei, indem sie die Grundsätze der wissenschaftlichen Alphabetisierung lehrt und zu einer Reihe von Themen sensibilisiert, die den Aufbau einer wissenschaftlichen Kultur für unsere jungen Menschen fördert.

Das Projekt *Let's Science!* – realisiert durch die IBSA Foundation for Scientific Research in Zusammenarbeit mit dem *Dipartimento dell'educazione, della cultura e dello sport* des Kantons Tessin (DECS – Departement für Bildung, Kultur und Sport) – ist auf der Grundlage eben dieser Überlegungen entstanden. Durch die Partnerschaft konnten interessante Themenbereiche eruiert werden, die unter Einbeziehung der im Kanton tätigen Wissenschaftler in Angriff genommen wurden. Auf diese Weise begegneten sich zwei häufig weit voneinander entfernte Realitäten – die wissenschaftliche Forschung und die Schule –, wodurch der Dialog zwischen Fachkräften und Schülern, die an den thematischen Workshops teilnahmen, gefördert und die Sensibilität für dieses Thema und seine Kommunikation weiterentwickelt wurde.

Aber wie lautete der thematische Horizont des Projekts und welche Überlegungen führten zu bestimmten strategischen Entscheidungen? Die Wissenschaft und die Forschung, insbesondere in der Biomedizin und in den mit ihr verbundenen Fachbereichen, schreiten rasch voran und die kontinuierliche Erweiterung der Forschungsfelder verlangt ein ständiges Bestreben, immer auf dem neuesten Stand zu bleiben, um sowohl eine historische Perspektive zu wahren als auch um die nicht wenigen neuen Erkenntnisse zu begreifen. Über wissenschaftlich richtige Informationen in einer verständlichen Sprache

zu verfügen eröffnet den Jungen und Mädchen die Möglichkeit, sich allgemein als «schwierig» eingestuften Themen zu nähern und dafür zu begeistern.

So entstand die Reihe *Let's Science!*, die das Panorama der wissenschaftlichen Themen, die in der Schule vertieft werden können, erweitern soll. Die fachübergreifenden und direkt mit der Gesundheit und dem Wohlbefinden des Menschen verbundenen Themenbereiche werden innovativ präsentiert. So erscheint der wissenschaftliche Text in Begleitung einer Geschichte, die auf den Erfahrungen von kantonalen Mittelschulklassen beruht, die, mit Unterstützung ihrer Lehrer, originelle Drehbücher geschrieben haben, die anschliessend von Fachleuten aus dem Bereich in Comics eingebettet wurden.

Jetzt bleibt uns nur noch, den jungen Leser einzuladen, sich von den sicherlich begeisternden Forschungsfeldern von *Let's Science!*, die ihrerseits Gelegenheit für weitere Fragen und Einblicke bieten, überraschen zu lassen. Und wer weiss, vielleicht wird ja eine oder einer dieser Leserinnen und Leser eines Tages selbst einen grossen Beitrag dazu leisten, die Komplexität des Lebens und das empfindliche Gleichgewicht zu verstehen, das ein gesundes und glückliches Leben ermöglicht. Viel Spass beim Lesen!

SILVIA MISITI

Direktorin der IBSA Foundation for Scientific Research

NICOLÒ OSTERWALDER

Pädagogischer Berater der *Divisione scuola per le scienze naturali* (DECS)

Bildgebende Diagnostik

ERSTER TEIL

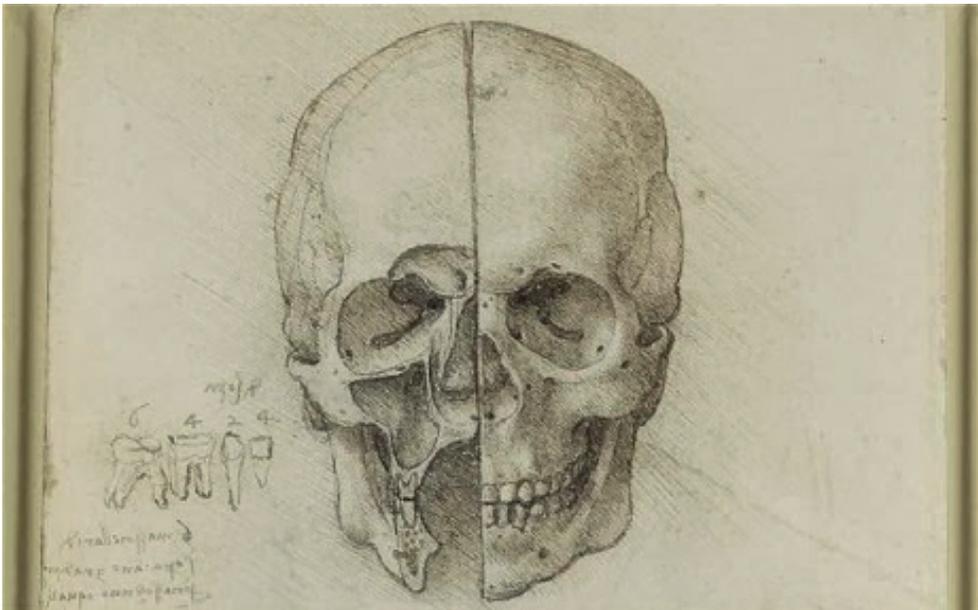


EINLEITUNG

Habt ihr euch jemals gefragt, wie es möglich ist, in das Innere unseres Körpers zu schauen und seine Funktionsweisen zu verstehen, ohne ihn dafür sezieren zu müssen? Bereits vor langer Zeit begannen die Wissenschaftler, die Anatomie und Physiologie des menschlichen Körpers systematisch zu studieren, um seine Struktur und Funktion zu verstehen. Hierfür wurde vor allem an Leichen geforscht (die erste medizinische Abhandlung über die Anatomie stammt aus dem Jahr 1270 und ist dem Gelehrten Guglielmo da Saliceto zu verdanken, der das *Liber in scientiae medichae* schrieb).

Lange Zeit war die einzige Möglichkeit, in das Innere des menschlichen Körpers zu schauen, die Autopsie und die anschliessende Reproduktion in Form von anatomischen Zeichnungen, deren Meister Leonardo da Vinci war. Der bekannte Künstler und Wissenschaftler, der als eines der grössten Genies der Menschheit gilt, widmete sich viele Jahre lang dem Studium des menschlichen Körpers [[Abbildung 1](#) ]. In Wirklichkeit fertigte jedoch schon vor ihm

 **Abbildung 1** Anatomische Schädelzeichnung von Leonardo da Vinci



fast alle Maler und Bildhauer anatomische Studien an, um sich künstlerisch zu verbessern und um die Struktur des menschlichen Körpers und die Bewegung der Muskeln möglichst realistisch wiederzugeben. Leonardo jedoch ging einen Schritt weiter, denn er war fasziniert von der «wunderbaren Maschine Mensch». Ihm verdanken wir die ersten anatomischen Zeichnungen des menschlichen Körpers von innen. Dank der vielen Sektionen, die er an Leichen durchführte, begann er, die inneren Organe, die Gelenke, die Funktionsweise des Blutkreislaufs, das Nervensystem, die menschliche Fortpflanzung usw. zu beschreiben und abzubilden.

Heute verfügen wir über die technologischen Mittel, mit denen wir in der Lage sind, den anatomischen Aufbau und die Funktionsweise (und Fehlfunktion) des lebenden Körpers zu beobachten, zu studieren und zu verstehen. Wie ihr euch alle vorstellen könnt, ist das ein riesiger Vorteil, mit dem wir Leben retten können.

In diesem Band werden wir uns gemeinsam anschauen, wie die Technologie hinter der modernen bildgebenden Diagnostik entstanden ist. Dazu lassen wir Entdeckungen, Geräte und Technologien, die die Geschichte des letzten Jahrhunderts geprägt haben, in chronologischer Reihenfolge noch einmal Revue passieren.

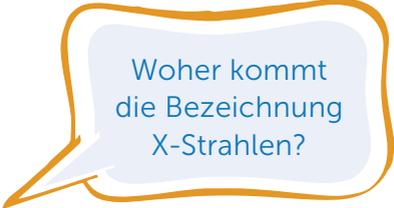


DIE ENTDECKUNG DER RADIOAKTIVITÄT

Mit der Entdeckung der Radioaktivität sollte sich alles ändern. Im Jahr 1895 informierte der Physikprofessor Wilhelm Conrad Röntgen mit seinem berühmten Artikel «Über eine neue Art von Strahlen» die ganze Welt über die Entdeckung der sogenannten X-Strahlen.

Er machte diese Entdeckung fast zufällig am Abend des 8. November 1895. Mehrere Wochen lang hatte sich Röntgen in sein Labor in Würzburg zurückgezogen, um Kathodenstrahlen zu studieren. Dabei experimentierte er mit einer Röhre, durch die er einen Elektronenstrahl schickte. Irgendwann bemerkte er, dass eine mit einer fluoreszierenden Substanz beschichtete Platte, die in geringer Entfernung von der Röhre platziert war, schwach zu leuchten begann. Er deckte

die Röhre mit dicken Bögen von schwarzer Pappe ab und arbeitete komplett im Dunkeln weiter, aber das Leuchten war immer noch zu sehen. Was auch immer es war, es war in der Lage, die Pappe zu durchdringen. Aber nicht nur das! Er bemerkte auch, dass er auf der Platte den Schatten seiner Knochen sehen konnte, als er seine Hand in den Strahl hielt. Nachdem er das Experiment mehrmals wiederholt hatte, um sicherzugehen, dass er sich nicht irrte, versuchte er, den mysteriösen Strahl zu unterbrechen, indem er verschiedene Materialien dazwischen hielt. Das einzige Material, das der Strahl nicht durchdrang, war Blei. Dann bat er seine Frau, ihre Hand ruhig auf die Platte zu legen. Er bestrahlte die Hand 15 Minuten lang direkt auf der Platte – und erhielt so das erste Röntgenbild der Geschichte: eine Aufnahme von der Hand seiner Frau, auf der die Knochen und ihr Ehering erkennbar waren [Abbildung 2 



Woher kommt die Bezeichnung X-Strahlen?

Am 28. Dezember 1895 übergab Röntgen den Bericht über seine Entdeckung an die Würzburger Physikalisch-Medizinische Gesellschaft und bat um eine schnelle Veröffentlichung. Die sensationelle Entdeckung wurde dank der grossen Prominenz, mit der die internationale Presse sie verbreitete innerhalb weniger Tage öffentlich bekannt.

1901 erhielt Röntgen den Nobelpreis für Physik «als Anerkennung des ausserordentlichen Verdienstes, das er sich durch die Entdeckung der nach ihm benannten Strahlen erworben hat». Und tatsächlich werden im deutschsprachigen Raum die X-Strahlen auch heute noch als *Röntgenstrahlen* bezeichnet.

Das Preisgeld für seinen Nobelpreis stiftete der grosse Physiker der Universität Würzburg, damit dort neue Forschungsprojekte finanziert werden konnten.

Im Jahr darauf, also 1896, entdeckte Antoine Henri Becquerel beim Experimentieren mit der Phosphoreszenz von Uransalzen die natürliche Radioaktivität. Er hatte bemerkt, dass manche Materialien auch ohne den Einfall von Licht Strahlung aussenden.

 **Abbildung 2** Röntgenaufnahme der linken Hand der Ehefrau von Wilhelm Conrad Röntgen



1898 gelang es Marie und Pierre Curie, aus Tonnen von Pechblende (ein Mineral, das natürliches Uran enthält) eine kleine Menge eines neuen Elements zu isolieren, das 330 Mal radioaktiver war als Uran. Das Element wurde zu Ehren von Marie Curies Heimat Polen Polonium genannt (ihr eigentlicher Name war Maria Skłodowska). Einige Monate später entdeckten die beiden mit Radium ein weiteres Element, das 900 Mal so radioaktiv wie Uran war. Marie erkannte, dass die Emission von Strahlung eine atomare Eigenschaft des Urans ist, und nannte das Phänomen **Radioaktivität**.

Gemeinsam mit Becquerel erhielten Marie und Pierre Curie 1903 den Nobelpreis für Physik für ihre Forschungen zur Radioaktivität, während das Ehepaar Curie 1911 einen zweiten Nobelpreis für die Entdeckung von Polonium und Radium erhielt.

DIE BILDGEBENDE DIAGNOSTIK IST GEBOREN

Auf diese Weise begann am Ende des 19. Jahrhunderts eine neue Ära in der Medizin. Im medizinischen Bereich hielten die ersten Anwendungen von Röntgenstrahlen Einzug. Einer der damaligen Pioniere war John Francis Hall-Edwards, ein britischer Arzt und leidenschaftlicher Fotograf. Er führte im Krankenhaus von Birmingham die Anwendung von Röntgenstrahlen ein, um Frakturen zu diagnostizieren, und war der erste, der während einer Operation mit Röntgenaufnahmen arbeitete und ein Röntgenbild von der Wirbelsäule machte.

In den folgenden Jahren wurden Röntgenstrahlen immer häufiger eingesetzt. Ein besonderes Beispiel sind die **Petites Curies**, mit mobiler Radiologie ausgestattete kleine Wagen, die im Ersten Weltkrieg den französischen Soldaten an der Front halfen. Insgesamt wurden darin mehr als eine Million radiologische Untersuchungen durchgeführt. Dieser erste Röntgendienst, der von Marie Curie gegründet und geleitet wurde, rettete vielen Soldaten das Leben.



Was waren die Petites Curies?

Marie Curie, eine aussergewöhnliche Frau: die erste Nobelpreisträgerin und bis heute die einzige Frau, die zwei Nobelpreise erhalten hat. Mit ihren herausragenden Forschungsarbeiten und Entdeckungen trug sie massgeblich zur Entwicklung und zur Weltgeschichte bei – eine wahre *Femme engagée*.

Endlich war es möglich, mit anderen Augen und Methoden in den menschlichen Körper zu schauen! Dank der ersten Röntgenaufnahmen wurde ein sich fortan im Wandel befindlicher Weg eingeschlagen, der es uns heute ermöglicht, unseren Körper durch die Entwicklung von Bildern von aussen zu erkunden. Bezeichnet wird diese Disziplin als **bildgebende Diagnostik** oder **biomedizinische Bildgebung**.

DIE STRAHLUNGEN

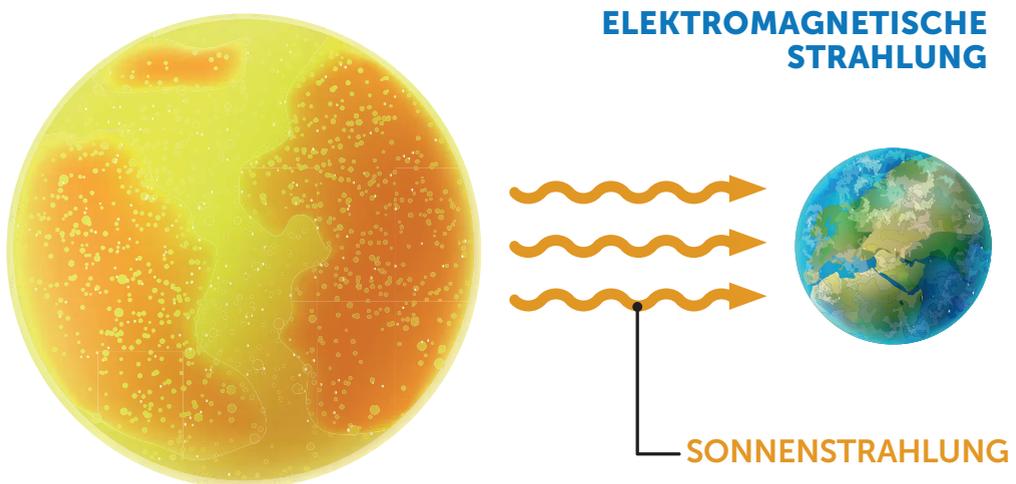
Bevor wir uns mit den bildgebenden Verfahren in der Radiologie befassen, müssen wir uns jedoch zunächst die Grundlagen der Strahlung, ihre Auswirkungen und Schutzmassnahmen anschauen.

Strahlung ist die Aussendung oder Übertragung von Energie in Form von Wellen oder Teilchen durch den Raum oder ein Material. Ein Beispiel für Strahlung ist die Sonne, die wir sehen und deren Licht und Wärme wir geniessen können. In Wirklichkeit wird dabei Energie von der Sonne zur Erde geschickt und wir stehen inmitten einer Strahlung [**Abbildung 3** ].

Im Allgemeinen liegt die in den bildgebenden Verfahren verwendete Strahlung im höchsten Frequenzbereich des **elektromagnetischen Spektrums**, das die Gesamtheit aller möglichen Frequenzen der elektromagnetischen Strahlung angibt. Die **hohe Lichtfrequenz** und die **kurze Wellenlänge** erfüllen die notwendigen Voraussetzungen für den Einsatz in der Diagnostik.

Die Energie wird von Teilchen transportiert, die **Photonen** heissen und sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegen. Die Energie dieser Photonen ist umgekehrt

 **Abbildung 3** Die Sonneneinstrahlung auf die Erde



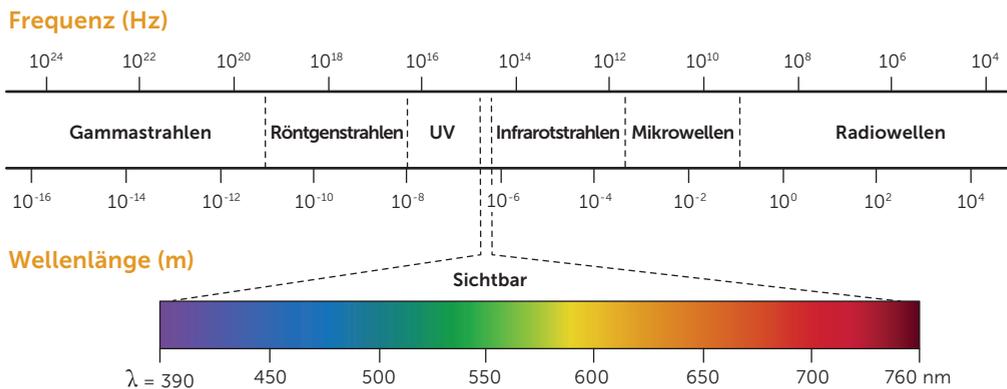
proportional zu ihrer Wellenlänge, d. h. je kürzer die Wellenlänge ist, desto grösser ist die Photonenenergie. Auch für die Frequenz kann eine Beziehung beschrieben werden: je grösser die Lichtfrequenz, desto grösser die Energie. Die Gleichung zur Berechnung der Energie eines Photons hat die folgende Formel: $E = (h \cdot c) / \lambda$, wobei **h** die Planck-Konstante, **c** die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum und **λ** die Wellenlänge des Photons ist. Die Tatsache, dass h und c Konstanten sind, erklärt, warum die Photonenenergie umgekehrt proportional zur Wellenlänge λ ist. Die Masseinheit der Photonenenergie ist das eV (Elektronenvolt), wobei ein J (Joule) $6,24 \times 10^{18}$ eV entspricht.

Sichtbare Strahlung wird in Form von **Licht** wahrgenommen. Dieser Teil des elektromagnetischen Spektrums liegt zwischen einer Wellenlänge von 760 nm (7×10^{-7} m) der Farbe Rot und 390 nm (4×10^{-7} m) der Farbe Violett. Die Strahlung, die in der bildgebenden Diagnostik verwendet wird, zum Beispiel für Röntgenaufnahmen und die Computertomographie, hat eine Wellenlänge von 10^{-10} m. Je kürzer die Wellenlänge, desto grösser die Frequenz und Energie [Abbildung 4].

Wenn die Energie der auf die Materie auftreffenden Strahlung ausreicht, um die Struktur der Atome oder Moleküle, mit denen sie in Kontakt kommt, zu verän-

Welche Strahlung ist für den Menschen gefährlich?

Abbildung 4 Das elektromagnetische Spektrum



dern, handelt es sich um die sogenannte **ionisierende** Strahlung. Reicht sie nicht aus, wird sie als **nichtionisierend** bezeichnet. Diese beiden wichtigen Prinzipien sind in der bildgebenden Diagnostik massgeblich für die Frage, ob eine Strahlung für den Menschen schädlich ist oder nicht.

Erinnert ihr euch an John Francis Hall-Edwards, der weiter oben schon einmal erwähnt wurde? Bei seinen bahnbrechenden Experimenten mit Röntgenstrahlen bedachte er diese Tatsache nicht: Die Strahlen schädigten die Zellen seines Körpers so stark, dass ihm der linke Arm und ein Teil der rechten Finger amputiert werden mussten. Deshalb sind für die Arbeit in diesen Bereichen viele Vorsichtsmassnahmen erforderlich, und auch die Patienten müssen ausreichend geschützt werden.

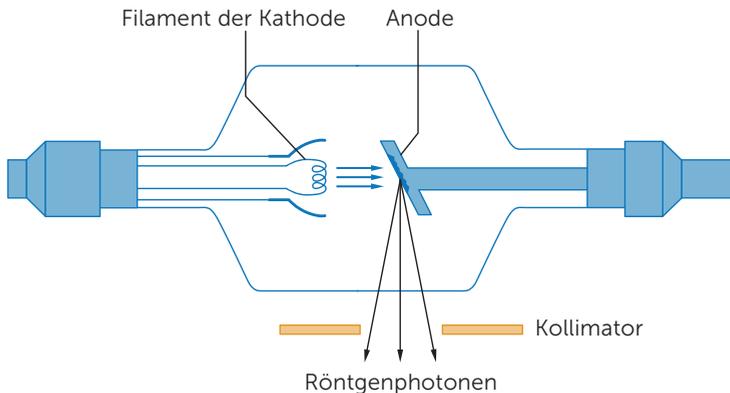
Andere Techniken, die zur Bildgebung verwendet werden, beruhen auf dem **Ultraschall**, zum Beispiel die Sonographie, und wieder andere, wie die Magnetresonanztomographie, basieren auf der Verwendung von **elektromagnetischen Feldern** und **Radiofrequenzen**. Die Sonographie und Magnetresonanztomographie sind für den Menschen unschädlich, denn dabei werden keine Atome oder biologischen Moleküle ionisiert. Sie werden daher auch bei Schwangeren und Kindern eingesetzt.

⊙ ERZEUGUNG VON RÖNTGENSTRAHLEN

Die am häufigsten in der bildgebenden Diagnostik verwendete ionisierende Strahlung ist die **Röntgenstrahlung**. Diese wird mit einer Röntgenröhre erzeugt, deren Prototyp die sogenannte Coolidge-Röhre war.

Die Röntgenröhre [**Abbildung 5** Kathode besteht aus einem Glühfaden, der, wenn er zum Glühen gebracht wird, Elektronen aus seiner Oberfläche freisetzt (zur Erinnerung: Elektronen sind negativ geladene Teilchen, deshalb wird die Kathode auch als negative Elektrode bezeichnet). Gleichzeitig wird eine Potentialdifferenz von in der Regel bis zu 140.000 V (Volt) angelegt, die es den Elektronen an der Kathode ermöglicht, in Richtung **Anode** zu beschleunigen (da die Anode positiv geladen ist, entsteht ein sehr starkes elektrisches Feld, entlang dessen sich die negativ geladenen Elektronen von der Kathode zur Anode bewegen) (siehe blaue Pfeile in **Abbildung 5**).

Abbildung 5 Aufbau einer Röntgenröhre



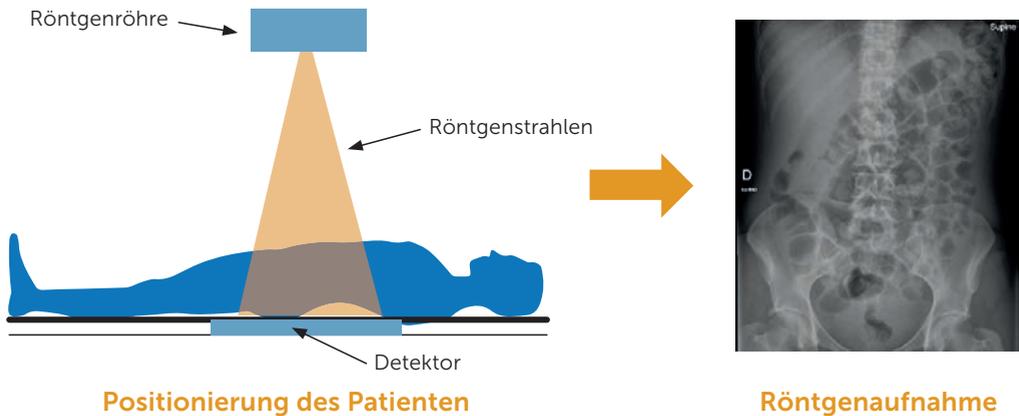
Die Anode besteht aus einer Metallscheibe oder -platte, die in der Regel aus Wolfram gefertigt ist (das gleiche Material, aus dem auch der Glühfaden von Glühlampen besteht). Wenn der von der Kathode kommende Elektronenstrahl auf die Anode trifft, wird mit etwa 99 % der Grossteil der kinetischen Energie der Elektronen als Wärme abgeführt. Das restliche 1 % wird dank einiger physikalischer Phänomene in Form von Röntgenstrahlen (Röntgenphotonen) abgegeben.

Die von der Röntgenröhre erzeugten Röntgenstrahlen können nun in Richtung des Patienten austreten: Der Grossteil davon wirkt auf die Gewebe des menschlichen Körpers, während ein kleiner Teil durch sie hindurchgeht, bis er einen geeigneten Detektor erreicht. Anschliessend werden die gesammelten Informationen durch die Erzeugung des Bildes verschlüsselt [**Abbildung 6** ].

Die wichtigsten Verfahren der bildgebenden Diagnostik, für die eine Röntgenröhre und damit die Erzeugung von Röntgenstrahlen erforderlich ist, sind:

- ⊙ konventionelle Radiologie;
- ⊙ Fluoroskopie oder Röntgendurchleuchtung;
- ⊙ Computertomographie (CT);
- ⊙ Mammographie.

Abbildung 6 Röntgenaufnahme des Unterleibes in Rückenlage



Da Röntgenstrahlen in der Lage sind, biologische Moleküle zu ionisieren, sind sie schädlich für die Zellen von Lebewesen. Daher ist es wichtig, ihre Auswirkungen zu kennen und zu wissen, wie diese begrenzt werden können.

Wie kann man sich vor Strahlung schützen?

Das gesamte vergangene Jahrhundert hindurch tauchten Fragen zu den Auswirkungen von Strahlung auf den Menschen auf. Auch heute noch gibt es viele offene Fragen, auf die die Wissenschaftswelt versucht, Antworten zu finden. Strahlenbiologie und Strahlenschutz sind zwei Disziplinen, die uns helfen, die Auswirkungen der Strahlung auf den Menschen zu verstehen und Schutzmassnahmen zu ergreifen, um ihre Schädlichkeit zu begrenzen.

☉ STRAHLENBIOLOGIE

Die Strahlenbiologie ist der Zweig der Biowissenschaften, der sich mit den Auswirkungen von Strahlung auf lebende Materie beschäftigt.

Schäden durch **Strahlung** an biologischen Geweben entstehen durch die Wechselwirkung mit der Zelle auf mikroskopischer Ebene. Insbesondere ist die Strahlung in der Lage, die nukleare Desoxyribonukleinsäure (DNA) (nDNA) zu schädigen und mehr oder weniger komplexe Veränderungen der beiden Stränge, aus denen sie besteht, herbeizuführen.

Grundsätzlich sind menschliche Zellen in der Lage, Schäden durch ionisierende Strahlung selbst zu reparieren. Ist der Schaden behoben, setzt die Zelle ihre Aktivitäten im menschlichen Körper fort. Schafft die Zelle es jedoch nicht, den Schaden zu reparieren, kann es zur **Apoptose** (programmierter Zelltod) kommen, einem biologischen Prozess, der den Menschen vor Schäden durch ionisierende Strahlung bewahrt.

Umgekehrt kann es bei einer zu starken Schädigung der zellulären DNA oder bei einer Fehlfunktion der Reparaturmechanismen zu Gewebeschäden und klinisch beobachtbaren Phänomenen wie Nekrosen kommen.

Und schliesslich kann eine fehlerhafte DNA-Reparatur an einer gesunden Zelle Mutationen verursachen, die zur Entstehung von Tumoren oder erblichen Anomalien führen können.

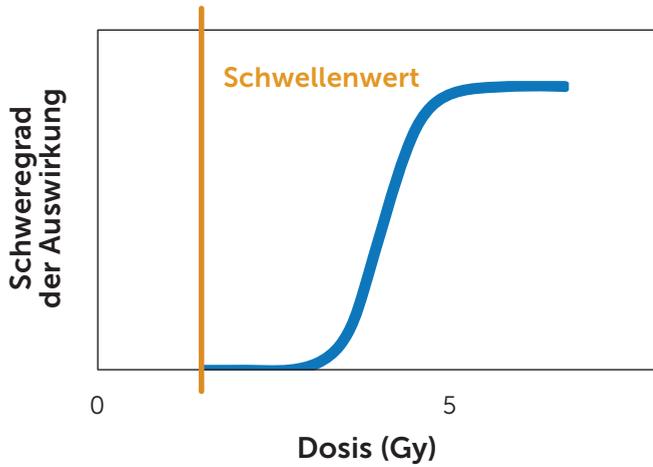
Die physikalische, chemische und biochemische Wechselwirkung von ionisierender Strahlung mit der DNA erfolgt im Bruchteil einer Sekunde, während die klinische Manifestation der Wirkung innerhalb von wenigen Minuten oder sogar erst Dutzenden von Jahren nach der Bestrahlung auftreten kann.

Man unterscheidet zwei Arten von Strahlungsauswirkungen auf den Menschen: die deterministischen Wirkungen und die stochastischen Wirkungen (auch probabilistische Wirkungen genannt).

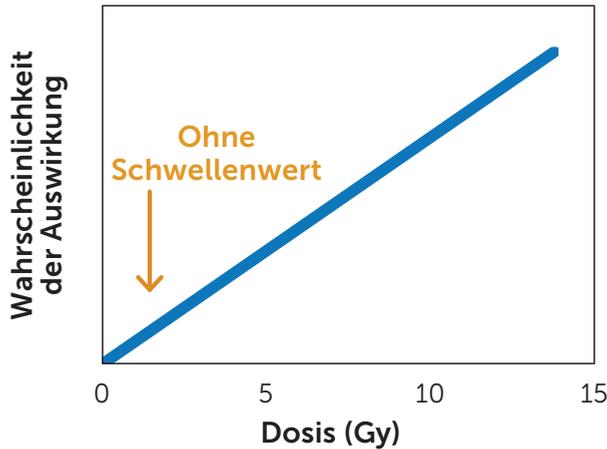
Die **deterministischen Wirkungen** treten in der Regel unmittelbar nach der Exposition mit ionisierender Strahlung auf, zeigen sich bei Überschreiten eines Schwellenwertes und führen zu Fehlfunktionen der Organe. Je höher die Dosis ist, die das Individuum aufnimmt, desto schwerwiegender ist die Schädigung. Zu diesen Schädigungen gehören Erytheme, Hautverbrennungen und Schäden, die Unfruchtbarkeit zur Folge haben [**Abbildung 7** ].

Stochastische oder probabilistische Wirkungen sind auf Mutationen auf zellulärer Ebene zurückzuführen. Für diese Wirkungen wurde kein Schwellenwert ermittelt; es wird angenommen, dass das Risiko, an Krebs zu erkranken, linear mit der Dosis ansteigt. Je höher die Dosis ionisierender Strahlung ist, der ein Mensch ausgesetzt ist, und je häufiger der Mensch dieser Dosis im Laufe seines Lebens ausgesetzt ist, desto grösser ist die Wahrscheinlichkeit, dass bei ihm Krebs entsteht oder dass es zu Fehlbildungen bei seinen Nachkommen kommt [**Abbildung 8** ].

 **Abbildung 7** Deterministische Wirkungen von Strahlung auf den Menschen

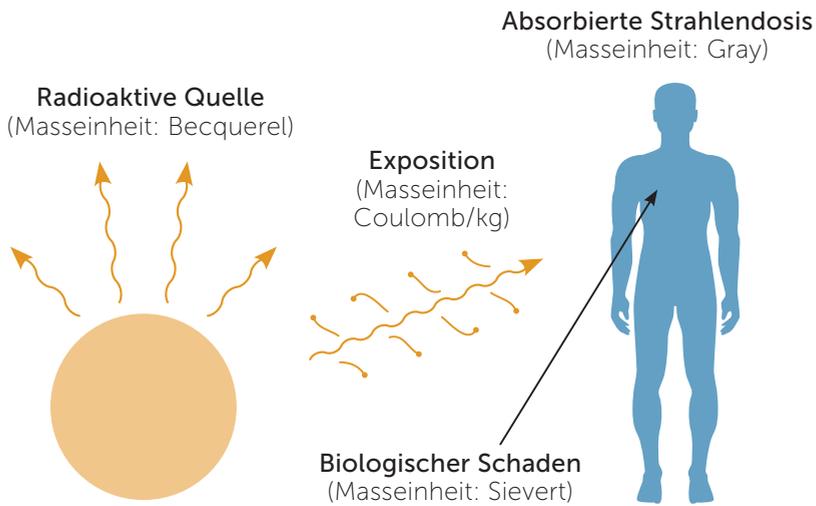


 **Abbildung 8** Stochastische Wirkungen von Strahlung auf den Menschen



Die Energie, die die Strahlung pro Masseneinheit an einer bestimmten Stelle im bestrahlten anatomischen Bereich abgibt, wird als **Energiedosis** bezeichnet. Im internationalen System wird die Aufnahme von 1 Joule Energie durch 1 kg Materie als **Gray** (Gy) bezeichnet [**Abbildung 9** ]. Das Risiko, Zellschäden zu verursachen, steigt mit der freigesetzten Energiemenge.

Abbildung 9 Masseinheit für die Radioaktivität



Der für Strahlung verwendete Risikoindikator ist die **effektive Dosis**, ausgedrückt in **Sievert** (Sv). Sie berücksichtigt die Art der Strahlung und die Art des bestrahlten Gewebes. Im Grunde ist das Sv somit ein Maß für die gesundheitlichen Auswirkungen von ionisierender Strahlung.

Habt ihr euch schon einmal gefragt, wie viele Untersuchungen mit ionisierender Strahlung (z. B. Röntgenaufnahmen, CT-Scans) wir im Laufe unseres Lebens durchführen dürfen? Dies ist eine berechtigte Frage, die in den Vorschriften, die für die Angehörigen der Gesundheitsberufe gelten, beantwortet wird. Die Verordnung u. a. von Untersuchungen mit ionisierender Strahlung liegt in der ärztlichen Verantwortung. Die Durchführung einer Untersuchung wird mit dem gesundheitlichen Nutzen für den Einzelnen im Verhältnis zu den biologischen Risiken durch ionisierende Strahlung abgewogen, d. h. es gilt der Rechtfertigungsgrundsatz. Es gibt also keine maximale Anzahl von Untersuchungen, die im Laufe des Lebens durchgeführt werden dürfen, sondern die Gründe, der Nutzen und die Risiken der jeweiligen Untersuchung müssen für jeden Einzelfall aufs Neue bewertet werden.

Wie kann das Risiko für den Menschen begrenzt werden? Zur Begrenzung der Risiken für Personen, die sich Untersuchungen mit ionisierender Strah-



Was ist das
ALARA-Prinzip?

lung unterziehen müssen, wird auch das Prinzip ALARA (*as low as reasonably achievable*) herangezogen. Im Bereich der bildgebenden Diagnostik ermöglicht das ALARA-Prinzip die Durchführung von Untersuchungen mit ionisierender Strahlung mit der Absicht, die Dosis (die Energie, die die Strahlung an einem bestimmten Punkt an die Masseneinheit abgibt), die eine Person erhält, so weit wie möglich zu reduzieren, ohne die Qualität des erzeugten Bildes und damit das diagnostische und in einigen Fällen interventionelle Ergebnis zu beeinträchtigen.

Eine der Herausforderungen, an denen die Organisationen arbeiten, ist die Einführung eines individuellen Dosimetriepasses, um die Dosis, die ein Mensch im Laufe seines Lebens bei medizinischen Anwendungen erhält, effektiv überwachen zu können.

Anhand der Dosis-Vergleichsskala sehen wir, dass Strahlung in der Natur vorkommt, je nach Region, in der man lebt, variiert, und sogar in einigen Lebensmitteln vorhanden ist. Normalerweise ist unser Körper in der Lage, wirksam auf Strahlung zu reagieren, indem er die Entstehung möglicher Schäden abwendet [Abbildung 10 

© **STRAHLENSCHUTZ**

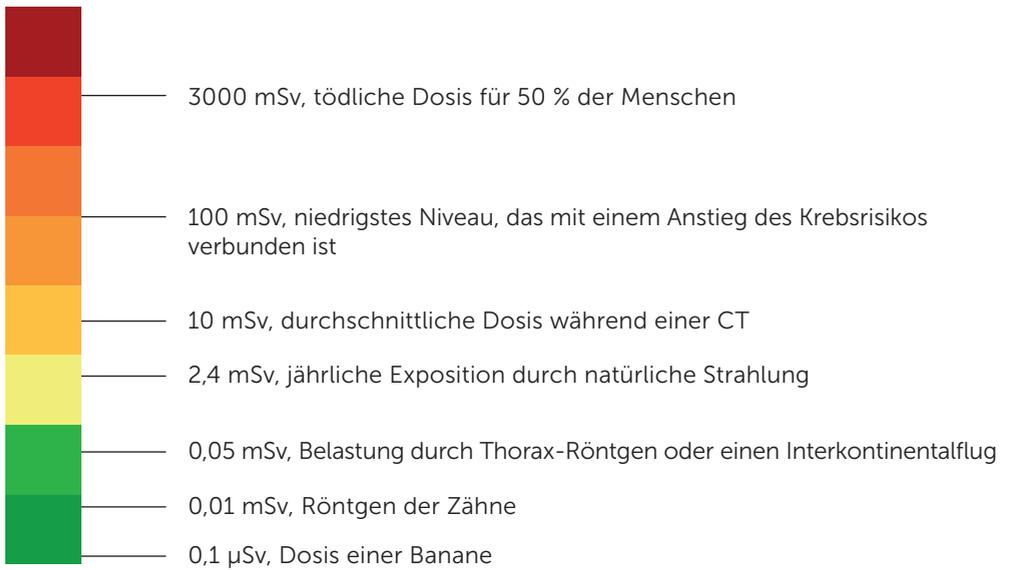
Der Strahlenschutz ist eine Disziplin, die als Teilgebiet der Strahlenbiologie entstanden ist und sich mit dem Schutz vor den schädlichen Auswirkungen ionisierender Strahlung auf den Einzelnen, seine Nachkommen, die Allgemeinbevölkerung und die Umwelt befasst [Abbildung 11 

Ziel ist, deterministische Effekte zu verhindern und die Wahrscheinlichkeit stochastischer Effekte auf ein akzeptables Mass zu begrenzen (Reduzierung des klinischen Risikos).

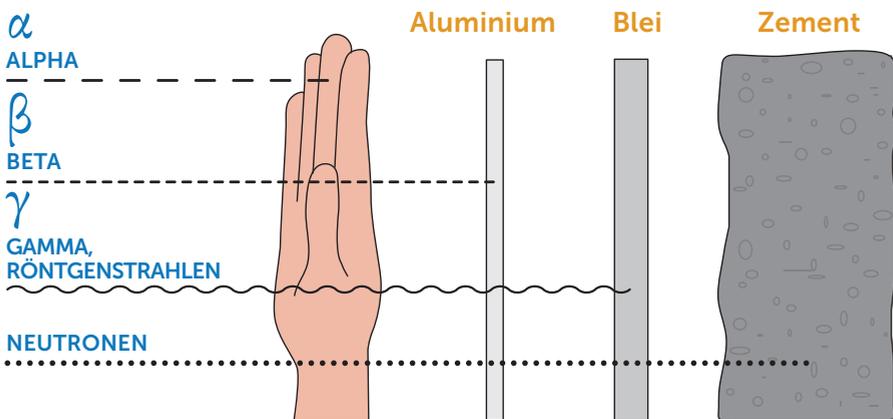
Die Grundprinzipien des Strahlenschutzes lassen sich unter der Abkürzung **ROB** zusammenfassen:

- R** Rechtfertigung der Aktivitäten mit Strahlung;
- O** Optimierung der Strahlenschutzmassnahmen;
- B** Begrenzung der Einzeldosis.

 **Abbildung 10** Vergleich der Dosen, ausgedrückt in Millisievert (mSv)



 **Abbildung 11** Durchdringungsvermögen der Arten von ionisierender Strahlung



Um den Menschen bei den bildgebenden Verfahren (Röntgen- und Gammastrahlen) vor ionisierender Strahlung zu schützen, wird Blei verwendet. Blei ist ein Element mit einer hohen Elektronendichte und hoher Stabilität und

zudem sehr formbar. Basierend auf diesen Eigenschaften funktionieren die in der Radiologie verwendeten Strahlenschutzgeräte [Abbildung 12 ].

Neben der Bleiabschirmung gibt es einige Grundregeln, um sich zu schützen bzw. die Wirkung der Strahlung zu begrenzen, zum Beispiel:

- ⊙ sich von der Strahlungsquelle entfernen, da die Intensität der Strahlung mit der Entfernung abnimmt (wichtig für Radiologieassistenten);
- ⊙ eine oder mehrere Abschirmvorrichtungen zwischen Quelle und Personen einfügen;
- ⊙ die Dauer der Strahlenexposition minimieren.

Personen, die – auch in anderen Bereichen als der Medizin – auf beruflicher Grundlage Strahlung ausgesetzt sind (z. B. Fliegen, unterirdische Ausgrabungen usw.), tragen ein persönliches **Dosimeter** bei sich, mit dem über einen bestimmten Zeitraum die Strahlung überwacht wird, die die effektive Gesamtdosis für den Körper darstellt. Die effektive Dosis, ausgedrückt in Sievert, ist ein Indikator für das biologische Risiko: Je höher die Dosis, desto grösser ist das potenzielle Risiko einer biologischen Schädigung. Diese Zahlen stellen eine Methode zur Kontrolle und Überprüfung der Sicherheit von Personen dar, die beruflich mit Strahlung umgehen müssen. Sie müssen in regelmäßigen Abständen bewertet und interpretiert werden, auch unter Berücksichtigung der geltenden gesetzlichen Grenzwerte.

 **Abbildung 12** Strahlenschutzgeräte

Ganzkörperschürze



Gonaden-Hüftrock



Halskrause zum Schilddrüsenchutz





DIAGNOSTISCHE VERFAHREN MIT IONISIERENDER STRAHLUNG

⊙ KONVENTIONELLE RADIOGRAPHIE

Die konventionelle Radiographie ist das bildgebende Verfahren, das als erstes entdeckt wurde und das am leichtesten verfügbar ist. Bei dieser Methode werden die von der Röntgenröhre erzeugten Röntgenstrahlen genutzt, indem sie auf den Patienten gerichtet werden. Röntgenbilder werden mit Hilfe eines Detektors und der anschließenden Verarbeitung der Informationen erzeugt. Vom Erzeugen der Röntgenstrahlen bis zur Anzeige des Bildes dauert es nicht einmal eine Sekunde.

Die herkömmliche Radiographie ist das am häufigsten verwendete bildgebende Verfahren zur Untersuchung der Gliedmassen, des Brustkorbs und seltener der Wirbelsäule und des Unterleibs. Diese Bereiche enthalten wichtige Strukturen mit Dichten, die sich von denen des angrenzenden Gewebes unterscheiden.

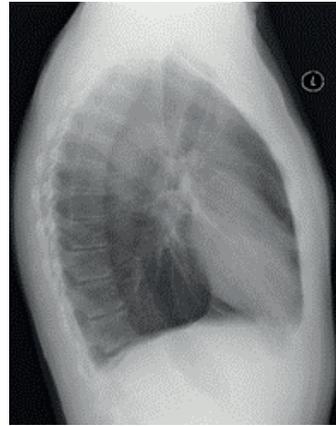
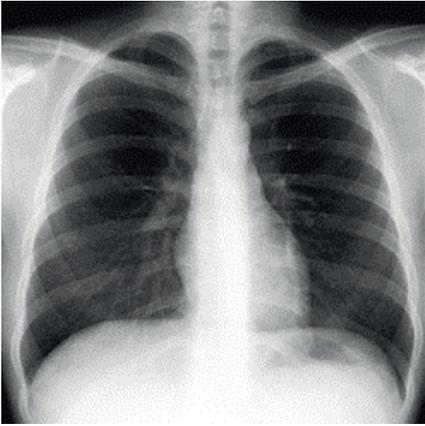
Die traditionelle Radiologie ist beispielsweise die erste Wahl für den Nachweis von:

- ⊙ Frakturen (Knochen sind dichter als das Weichteilgewebe, deshalb sind ihre Struktur und Verletzungen gut zu sehen);
- ⊙ Lungenentzündung (durch den starken Kontrast zwischen der in der Lunge vorhandenen Luft, die radiologisch schwarz erscheint, und der Flüssigkeit, die radiologisch weiss erscheint, kann eine eventuelle Erkrankung gut beurteilt werden);
- ⊙ Darmverschluss (etwaige Wasser- und Lufteinschlüsse, die durch Ansammlungen von Flüssigkeit und Gas entstehen, sind gut sichtbar).



Da sich die verschiedenen anatomischen Strukturen überlagern, sollten mindestens zwei Röntgenaufnahmen aus unterschiedlichen Winkeln angefertigt werden. Dadurch wird die zu durchleuchtende anatomische Struktur besser sichtbar [**Abbildung 13** ].

 **Abbildung 13** Beispiel für eine Röntgenaufnahme des Brustkorbs eines Patienten aus zwei verschiedenen Positionen



© FLUOROSKOPIE ODER RÖNTGENDURCHLEUCHTUNG

Die Fluoroskopie (oder Röntgendurchleuchtung) ist eine Technik zur Erzeugung von Aufnahmen der inneren Anatomie des Menschen in Echtzeit; bei dieser Methode werden Röntgenstrahlen verwendet [**Abbildung 14** ]. Sie ermöglicht eine dynamische Darstellung von Funktionsabläufen im Körper (z. B. vom Blutfluss in Gefäßen oder von der Verdauungstätigkeit im Magen). Ein wichtiges Einsatzgebiet der Fluoroskopie sind diagnostische und therapeutische Untersuchungen wie die Angiographie und die Verwendung bei verschiedenen Eingriffen im OP. Bei Letzteren werden die Aufnahmen zur Steuerung und Positionierung von Geräten im Körper des Patienten verwendet.

Im Angiographieraum werden bei Eingriffen in den Gefäßbezirken spezielle Instrumente wie Einführbestecke, Katheter, Führungsdrähte, Ballons und Stents verwendet [**Abbildung 15** ].

Abbildung 16 zeigt einen Ballon, der zur Erweiterung von Stenosen (Verengung eines Kanals, einer Öffnung, eines Hohlorgans oder Gefäßes) innerhalb der Blutgefäße verwendet wird. Ein solcher Ballon wurde auch für die Erweiterung des Abschnitts der Oberschenkelarterie verwendet, die in den vorherigen Bildern abgebildet ist.

 **Abbildung 14** Der Angiograph



 **Abbildung 15** Beispiele für die Angiographie der linken Oberschenkelarterie

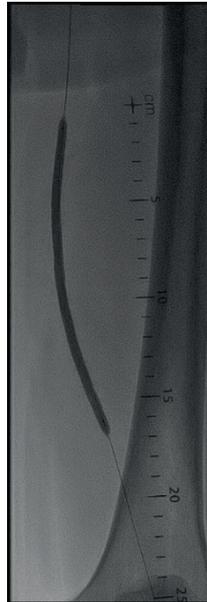
**Angiographie
der linken
Oberschenkelarterie**



**Erweiterung
mittels
Ballon**



**Erweiterung
mittels
Ballon**



Endergebnis



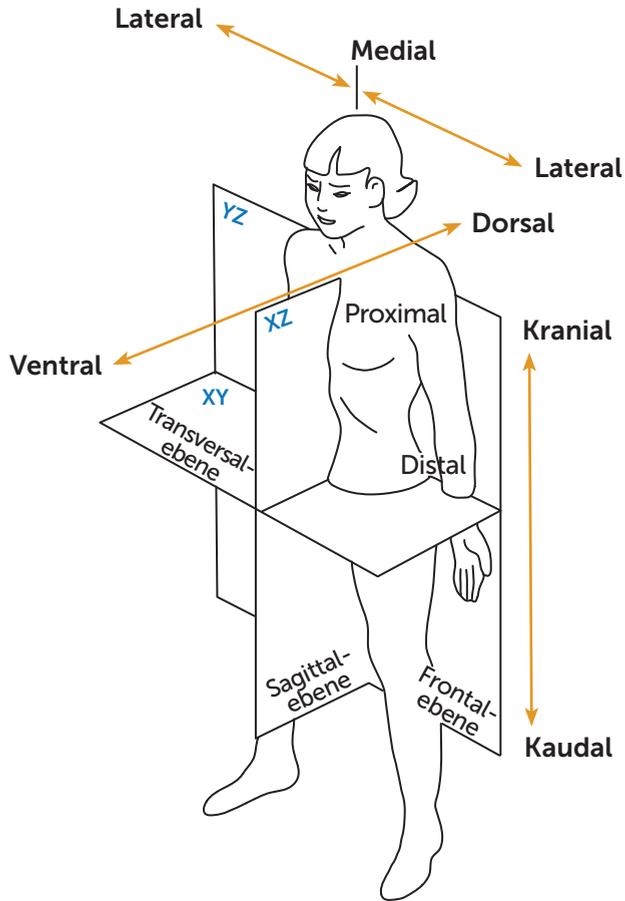


COMPUTERTOMOGRAPHIE (CT)

Beim CT-Scan, einer der wichtigsten Technologien in der diagnostischen Bildgebung, die weltweit immer mehr Verbreitung findet, wird ionisierende Strahlung, genauer gesagt Röntgenstrahlung verwendet. Entwickelt wurde diese Technik vom britischen Ingenieur Godfrey Hounsfield, der 1967 in den Forschungslabors von Electric and Musical Industries (EMI) im britischen Hayes das erste CT-Gerät baute – zeitgleich mit dem südafrikanischen Physiker Allan Cormack. Seine Forschungen zur Anwendung dieser Untersuchungsmethode brachten dem Wissenschaftler 1979 den Nobelpreis für Medizin ein. Er teilte sich den Preis mit Allan McLeod Cormack von der Tufts University in Massachusetts, der unabhängig von ihm eine ähnliche Technik entwickelt hatte. Der erste kommerzielle Computertomograph wurde 1971 im Atkinson Morley Hospital in London installiert und ermöglichte nur die Untersuchung von Schädelstrukturen. Diese Diagnosetechnik ist in der Lage, den menschlichen Körper in einer Transversal-, Frontal- und Sagittalebene darzustellen [**Abbildung 17** , wodurch Organe und Gefäßstrukturen sichtbar gemacht und untersucht werden können, um eventuelle Anomalien zu erkennen.

Dank der Abschwächung des Röntgenstrahls, der den Patienten durchdringt, werden die Dichteunterschiede der Gewebe im menschlichen Körper hervorgehoben und durch den Einsatz von leistungsstarken Computern werden digitale Bilder erzeugt. Die technologische, computertechnische und techni-

 **Abbildung 17** Achsen und Ebenen des menschlichen Körpers



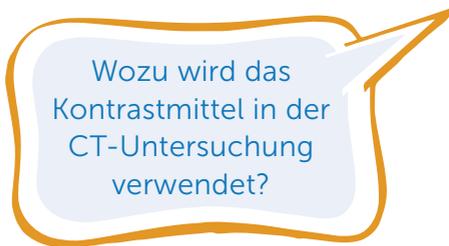
sche Entwicklung ermöglicht mittlerweile digitale Bilder und Rekonstruktionen von höherer Qualität und Komplexität. Dank der CT-Scans ist es heute möglich, den menschlichen Körper in seiner Gesamtheit zu untersuchen.

Die Hauptkomponenten eines Computertomographen sind:

- ⊙ die Gantry, ein kreisförmiges, rotierendes Teil, in dem sich die Röntgenröhre und der Detektor (Vermessungsgerät) befinden;
- ⊙ die Liege;
- ⊙ die Bedienkonsole und die Rechencomputer.

Abgestimmt mit der Drehung der Detektorröhre bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit auch die Liege, auf der der Patient liegt. Dadurch wird nur die betroffene anatomische Region bestrahlt und rundum von den Röntgenstrahlen durchdrungen [Abbildung 18 ].

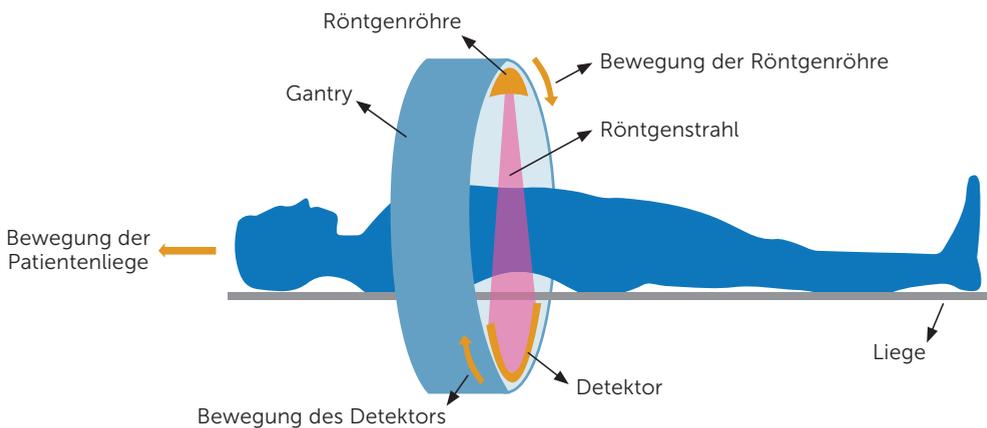
Der Detektor sammelt die Informationen, diese werden anschliessend von leistungsstarken Computern verarbeitet, die sie in Bilder umwandeln, die auf den Monitoren in der Bedienkonsole angezeigt werden. Von der Abgabe der Röntgenstrahlen bis zur Anzeige der Bilder vergehen nur wenige Sekunden. Die neueste Generation von Computertomographen kann Hunderte Bilder innerhalb weniger Sekunden erzeugen [Abbildung 19 ].



Für die Durchführung einer CT-Untersuchung muss mitunter eine jodhaltige Flüssigkeit verabreicht werden, das sogenannte jodhaltige Kontrastmittel, damit sich Arterien, Venen, Lymphknoten und Anomalien der Organe im Allgemeinen optisch unterscheiden lassen. Die Gabe

des **Kontrastmittels** erlaubt eine Rekonstruktion der gewonnenen Daten zu dreidimensionalen Bildern der bestrahlten Region und in manchen Fällen eine Abbildung der Funktion des bestrahlten Organs [Abbildung 20 ].

 **Abbildung 18** Die Hauptkomponenten eines Computertomographen



 **Abbildung 19** Beispiel eines CT-Scans vom Bauch



Transversalebene

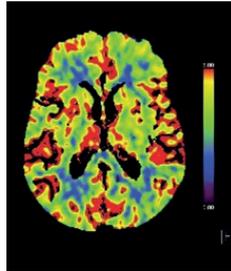
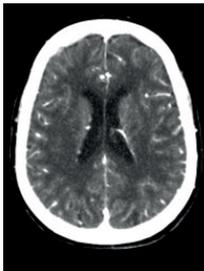


Frontalebene



Sagittalebene

 **Abbildung 20** Beispiel eines Gehirn-CT mit Kontrastmittel

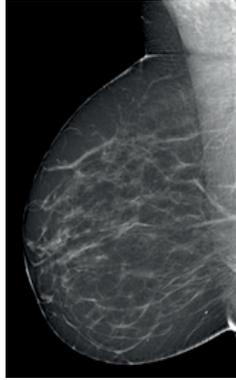


DIE MAMMOGRAPHIE

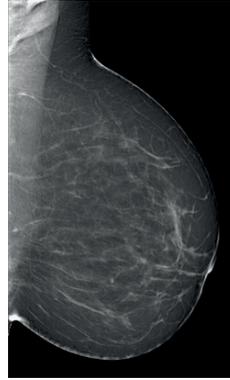
Die Mammographie ist eine Methode, die zur Aufnahme von Bildern der weiblichen Brust (und des männlichen Brustgewebes) verwendet wird. Sie nutzt Röntgenstrahlen und wird als Röntgenaufnahme der Brust eingesetzt [**Abbildung 21** ]. Die ersten Mammographien wurden 1930 von dem amerikanischen Radiologen Stafford L. Warren durchgeführt, der in New York Techniken und Studien weiterentwickelte, die seit 1913 von dem deutschen Chirurgen Albert Salomon durchgeführt worden waren. Dieser hatte an Gewebeproben gearbeitet, die aus der Entfernung der Brust von Frauen mit Brustkrebs gewonnen wurden (Mastektomie).

Abbildung 21 Die Mammographie

**Mammographie
der rechten Brust**



**Mammographie
der linken Brust**



Die Mammographie ist heute die diagnostische Untersuchung schlechthin und die erste Wahl zur Erkennung von Brustkrebs. In manchen Fällen wird zusätzlich zur Mammographie auch eine Ultraschalluntersuchung durchgeführt, um die gesamte anatomische Struktur besser sichtbar zu machen, vor allem bei Menschen mit einem dichten Brustgewebe.

In den letzten Jahren wurde auch die **Tomosynthese** entwickelt, bei der dreidimensionale (3D) Bilder der Brust entstehen und bei der der für Röntgenaufnahmen typische Effekt der Gewebeüberlappung reduziert bzw. ganz beseitigt wird. Diese Untersuchung wird in der Regel ergänzend zur Standard-Mammographie durchgeführt [**Abbildung 22** ].

DIAGNOSTISCHE VERFAHREN MIT NICHTIONISIERENDER STRAHLUNG

© **MAGNETRESONANZTOMOGRAPHIE (MRT)**

Die Magnetresonanztomographie (MRT) ist ein modernes bildgebendes Verfahren, das durch die Verwendung von Magnetfeldern und Radiofrequenzen Schicht-



bilder von allen Regionen des menschlichen Körpers erzeugt. Da die MRT nicht die gleichen Auswirkungen wie Untersuchungsverfahren mit ionisierender Strahlung hat, wird sie als Methode mit nichtionisierender Strahlung bezeichnet.

Vor der MRT-Untersuchung muss der Patient ein Formular ausfüllen, mit dem herausgefunden werden soll, ob diese Form der Untersuchung beim Patienten überhaupt möglich ist. Das starke Magnetfeld das bei der MRT entsteht, kann Metallgegenstände mit bestimmten Eigenschaften anziehen

und die Funktionalität bestimmter medizinischer Geräte verändern. Daher werden vor der MRT Informationen zu eventuellen Herzschrittmachern, Defibrillatoren, Herzklappen, Aneurysmenclips, Hör- und Dentalgeräten, Cochlea-Implantaten, Tätowierungen, Piercings, Permanent-Make-up sowie zu Erkrankungen wie Diabetes oder Glaukom erfragt. Liegt mindestens eine Kontraindikation vor, bricht das medizinisch-technische Personal die Untersuchung ab und bewertet im Einzelfall und gemeinsam mit anderen medizinischen Fachkräften die Durchführbarkeit der Untersuchung für den Patienten.

Warum dürfen sich während der Durchführung einer MRT keine Metallgegenstände am Körper befinden?

Jede Person, die den MRT-Raum betritt, muss dieses Formular ausfüllen.

Die physikalischen und mathematischen Prinzipien, die dieser Technik zugrunde liegen, sind äusserst komplex.

Fragen wir uns zunächst: Was ist eine Resonanz? Resonanz ist definiert als der Austausch von Energie zwischen zwei miteinander verbundenen Systemen.

Wenn wir z. B. zwei Stimmgabeln haben, die den gleichen Ton aussenden (sie schwingen also mit der gleichen Frequenz), und wir eine von ihnen in Schwingung versetzen (Stimmgabel 1), dann wird die zweite ebenfalls beginnen zu schwingen (Stimmgabel 2). Die Verbindung zwischen den beiden Systemen wird als Resonanzfrequenz bezeichnet [Abbildung 23 ].

Die zur bildgebenden Diagnostik eingesetzte MRT funktioniert nach dem gleichen Prinzip wie die Stimmgabel. In der Praxis wird, nachdem der Patient korrekt im Gerät positioniert wurde, durch einen **Magneten** ein grosses Magnetfeld erzeugt. Durch die anschliessende Anwendung von Hochfrequenzimpulsen, die von Antennen, den sogenannten **Spulen**, erzeugt werden, entstehen schliesslich die diagnostischen Bilder.

Bei der MRT werden die magnetischen Eigenschaften des Körpers genutzt, um detaillierte Bilder von jedem Teil des Körpers zu erzeugen. Verwendet werden insbesondere Wasserstoffkerne (bestehend aus einem einzelnen Proton), die in Wasser und Fett reichlich vorhanden sind. Wasserstoffkerne sind elektrisch geladene Materieteilchen, die um ihre eigene Achse rotieren. Durch diese Eigenschaft verhalten sie sich wie kleine Magnete; ihre Orientierung ist zufällig angeordnet.

 **Abbildung 23** Das Phänomen der Resonanz



Stimmgabel 1



Stimmgabel 2

Wenn der Körper des Patienten in das Magnetfeld der Maschine geschoben wird, orientieren sich die Wasserstoffkerne in Richtung oder gegen das Magnetfeld.

Um ein Resonanzsignal zu erzeugen, muss diese stabile Situation gestört werden. Wir tun dies, indem wir eine geeignete Radiowelle verwenden, die eine neue stabile Situation erzeugt, bis die Aussendung von Radiowellen gestoppt wird. Wird das Signal unterbrochen, geben die Wasserstoffkerne die gespeicherte Energie wieder als elektromagnetische Wellen ab, deren Eigenschaften von der Umgebung abhängig sind. Dadurch entsteht ein Resonanzrücksignal, das wir mit einer Antenne erfassen können. Das so empfangene Signal gibt Aufschluss über die Eigenschaften des untersuchten Gewebes. Mit speziellen mathematischen Instrumenten und leistungsfähigen Computern können wir nun das elektrische Signal in ein Bild umwandeln [Abbildung 24 ].

La combinazione tra le energie prodotte dal campo magnetico e gli impulsi a radiofrequenza generano i tipici rumori che contraddistinguono l'RM.

Die Kombination der vom Magnetfeld und den Radiofrequenzimpulsen erzeugten Energien erzeugt die typischen MRT-Geräusche.

Diese Technik eignet sich besonders für die Darstellung von flüssigkeitsreichen Organen und Geweben und wird häufig bei Untersuchungen des Nervensystems (Gehirn, Rückenmark), der inneren Organe, Gelenke und Blutgefäße eingesetzt [Abbildung 25 ].

Abbildung 24 Die Magnetresonanztomographie



 **Abbildung 25** Beispiele für eine Magnetresonanztomographie



**MRT des Knies,
Frontalebene**



**MRT der Lendenwirbelsäule,
Sagittalebene**

© **MAGNETFELDER IM VERGLEICH**

Die Masseinheit für die magnetische Induktion, auch magnetische Flussdichte genannt, ist nach dem Internationalen System das **Tesla** (T). Da diese Einheit jedoch sehr gross und somit eher nützlich ist, um enorme Magnetfelder wie die der Sterne anzugeben, wird heute häufig immer noch die Einheit des alten Systems, das **Gauss** (G) verwendet. Ein Tesla entspricht 10.000 Gauss. **Tabelle 1**  zeigt beispielhaft die Grösse einiger Magnetfelder.

Das Magnetfeld der Erde variiert von Ort zu Ort auf unserem Planeten und liegt zwischen 0,4 und 0,6 Gauss [**Abbildung 26** .

In der Regel werden bei den MRT-Untersuchungen des Menschen Magnetfelder von bis zu 30.000 Gauss verwendet, was 3 Tesla entspricht.

Das Magnetfeld einer Resonanz von 3 Tesla entspricht etwa dem 60.000-fachen des Erdmagnetfeldes. Und eben wegen dieses starken Magnetfeldes, das bei dem Verfahren entsteht, darf man keinerlei metallische Gegenstände am Körper tragen; diese würden ansonsten wie kleine Projektile vom Inneren der Maschine

 **Tabelle 1** Grössenordnungen einiger Magnetfelder

10^{-9} - 10^{-8} Gauss	Magnetfeld des menschlichen Gehirns
10^{-6} - 10^{-3} Gauss	Magnetfeld von Molekülwolken
0,25-0,60 Gauss	Magnetfeld der Erde auf ihrer Oberfläche
25 Gauss	Magnetfeld der Erde in ihrem Kern
50 Gauss	Kühlschrankschrankmagnet
100 Gauss	Magnet
1.500 Gauss	Inneres eines Sonnenflecks
10.000 bis 13.000 Gauss	Remanenz eines Neodym-Magneten (NIB)
16.000 bis 22.000 Gauss	Sättigung von hochpermeablen Eisenlegierungen, die in Transformatoren verwendet werden
3.000-70.000 Gauss	Magnetresonanzgeräte
10^{12} - 10^{13} Gauss	Oberfläche eines Neutronensterns
4×10^{13} Gauss	Schwelle der Quantenelektrodynamik
10^{15} Gauss	Magnetfeld einiger neu entstandener Magnetare
10^{17} Gauss	Maximaler gemessener Magnetismus eines Neutronensterns

angezogen. Ausserdem ist es wichtig, stets mit Hilfe eines Sicherheitsfragebogens den Gesundheitszustand des Patienten zu beurteilen.

ECHOGRAPHIE

Die Echographie (auch Sonographie oder umgangssprachlich Ultraschall) ist eine nicht-invasive diagnostische Untersuchung, die keine ionisierende Strahlung verwendet, sondern **Ultraschall**, d. h. hochfrequente, für das menschliche Ohr nicht hörbare Schallwellen von über 20.000 Hz, die sich im Körper ausbreiten.

Abbildung 26 Magnetfelder



0,4-0,6 gauss



30.000 gauss

Die Funktionsweise des Ultraschalls ist mit der folgenden Situation vergleichbar: Wir befinden uns an der höchsten Stelle eines Tals, schreien laut in Richtung einer Wand und beobachten das Phänomen des Echos – die von uns ausgesandte Schallwelle wird von der Wand reflektiert und zu unseren Ohren zurückgeworfen.

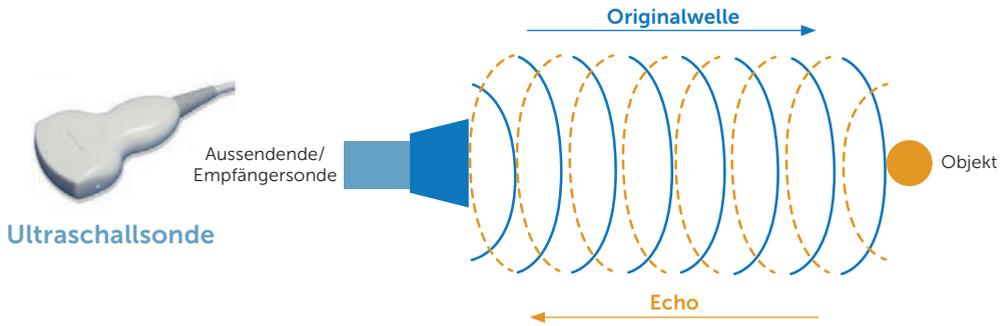
Bei diesem Verfahren zur Bilderzeugung nutzt man die Reflexion von Schallwellen, die von speziellen Sonden erzeugt werden, sowie die anschließende Detektion der Echos, die von der untersuchten Region zurückgeworfen werden, an diesen Sonden [**Abbildung 27** ]. Das Bild, das auf dem Monitor entsteht, zeigt einen kleinen Ausschnitt des Körperteils, auf dem die Sonde in diesem Moment aufliegt [**Abbildung 28** ].

Warum gibt es keine Kontraindikation für die Durchführung einer Ultraschalluntersuchung?

Der Einsatz von Ultraschall hat keinerlei Risiken und somit auch keine Kontraindikationen. Genau aus diesem Grund kann sie in jeder Lebensphase eines Menschen durchgeführt werden. So ist es z. B. üblich, während der Schwangerschaft Ultraschalluntersuchungen durchzuführen,

um das Wachstum des Fötus zu kontrollieren. Darüber hinaus werden bei dieser Methode Bilder in Echtzeit erzeugt und die erforderlichen Geräte können mühelos transportiert werden.

 **Figura 27** Principio di funzionamento dell'ecografia



 **Figura 28** Esempio di immagine ecografica

Ultraschall der linken Niere



Die anatomischen Regionen, die mit dieser Methode hauptsächlich untersucht werden, sind die Weichteile:

- ⊙ Bauch;
- ⊙ Harnwege;
- ⊙ Schilddrüse;
- ⊙ Herz und Blutgefäße;
- ⊙ Sehnen, Muskeln und Gelenke.



EIN EXKURS IN DIE NUKLEARMEDIZIN

Die Nuklearmedizin ist ein Zweig der Medizin, der radioaktive Substanzen, sogenannte **Radiopharmaka** verwendet, die aus einem radioaktiven Teil und einem pharmakologisch aktiven Teil bestehen. Sie können sowohl für diagnostische als auch für therapeutische Zwecke eingesetzt werden.

Konkret besteht das Radiopharmakon aus einem Carrier (Vektor), also einem Molekül mit biologischen Transportfunktionen, und dem daran gekoppelten radioaktiven Nuklid. Der Carrier ermöglicht den Transport des Radionuklids bis zum betroffenen Organ oder Apparat, während mit dem radioaktiven Nuklid durch den Einsatz einer geeigneten diagnostischen Technologie die Verteilung und Ablagerung des Radiopharmakons im Organismus verfolgt werden kann.

Dank der Verwendung spezieller Geräte wie der **Positronen-Emissions-Tomographie** (PET/CT) werden hochauflösende Bilder erzeugt, die aus der Fusion von molekularen Bildern (erzeugt durch die PET) mit radiologischen Bildern bestehen, die mit der tomographischen Technik (erzeugt durch die an die PET angeschlossene CT) generiert werden [**Abbildung 29** ].

Die am weitesten verbreiteten und beliebtesten Radiopharmaka in der Nuklearmedizin sind:

- ⊙ 18F-Fluordesoxyglucose (FDG);
- ⊙ 18F-PSMA (Akronym für «prostataspezifisches Membranantigen»);
- ⊙ 18F-Fluorethyltyrosin (FET);
- ⊙ 68Ga-Peptid (Gallium 68).

Die wichtigsten klinischen Anwendungen liegen in den Bereichen Onkologie, Kardiologie, Neurologie und Rheumatologie.

In der Onkologie können dank dieser Untersuchung die morphologischen, strukturellen und funktionellen Eigenschaften vieler Tumorerkrankungen beurteilt werden. Darüber hinaus kann man mit ihr herausfinden, wie ein Patient auf eine Therapie anspricht, und sie liefert nützliche Informationen über die Prognose und die biologische Aggressivität des Tumors.

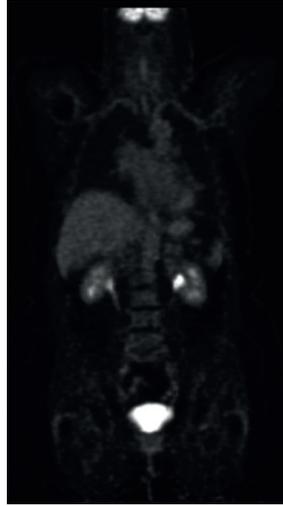
 **Abbildung 29** CT-, PET- und PET/CT-Fusionsbilder, die nach Gabe des Radiopharmakons 18F-Fluordesoxyglucose (FDG) aufgenommen wurden

CT-Aufnahme in Frontalebene



+

PET-Aufnahme



=

PET/CT-Aufnahme



ANGER-KAMERA ODER GAMMAKAMERA

Die am weitesten verbreitete Technologie in der Nuklearmedizin ist die Anger-Kamera, auch Gammakamera genannt. Der erste Prototyp wurde 1957 vom Ingenieur und Biophysiker Hal Oscar Anger in den Laboratorien der University of California in Berkeley entwickelt.

Sie wird für die Aufnahme von statischen, dynamischen und tomografischen Szintigraphien verwendet. Durch die Gabe des Radionuklids im Inneren des Patienten ist es möglich, repräsentative Bilder von dessen Verteilung und Ablagerung im Körper zu erhalten. Die Gammakamera emittiert also keine Strahlung, sie detektiert sie lediglich. Das dieser Technologie zugrunde liegende Detektionssystem ist in der Lage, die Einzelphotonen-Emissions-Computertomographie (SPECT) auszuführen. In der medizinisch-nuklearen Diagnostik werden die Radionuklide Technetium-99m, Jod-123 und Indium-111 aufgrund ihrer physikalischen und dosimetrischen Eigenschaften sowie ihrer einfachen Beschaffung und geringen Kosten am häufigsten verwendet [**Abbildung 30** ].

 **Abbildung 30** Ganzkörper-Knochenszintigraphie, durchgeführt mit Technetium-99m



SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Nach mehr als einem ganzen Jahrhundert sind wir am Ende der Entwicklung der bildgebenden Diagnostik in der Radiologie mit ihren technologischen, computertechnischen, technischen und biomedizinischen Veränderungen angekommen. Wir haben nun die Komplexität der Welt der bildgebenden Verfahren und die Vielfalt der Methoden verstanden, die es uns ermöglichen, die anatomischen Strukturen des menschlichen Körpers besser zu beurteilen. Die bildgebende Diagnostik ist daher heute ein sehr leistungsfähiges Werkzeug der Mediziner und erlaubt – durch die Zusammenarbeit von Radiologietechnikern, Radiologen, verschiedenen anderen Fachleuten des Gesundheitswesens und Ingenieuren – die Diagnose, Überwachung und Behandlung einer grossen Bandbreite von Erkrankungen.

Wir haben auch gelernt, dass in unserer Umgebung ionisierende und nichtionisierende Strahlung, die den besprochenen Diagnosetechniken zugrunde liegt, vorhanden ist, nämlich sowohl in der Natur (natürliche Radioaktivität, das Magnetfeld der Erde) als auch in anderen vom Menschen entwickelten Technologien wie dem Radio, in der Mikrowelle, in Lampen und alten Kathodenstrahlröhrenbildschirmen. Im diagnostischen Zusammenhang müssen wir bei der ionisierenden Strahlung immer auch die Gefahren dieser Techniken bedenken und die entsprechenden Vorsichtsmassnahmen treffen, um von ihnen profitieren zu können und gleichzeitig ihre unerwünschten Auswirkungen zu begrenzen.

Die kontinuierliche Entwicklung der bildgebenden Diagnostik lässt uns in eine Zukunft blicken, in der neue Technologien und immer fortschrittlichere Analysensysteme im Gesundheitsbereich präsenter sein werden.

Eine neue Grenze der Medizin stellt beispielsweise **Radiomics** dar, also die Anwendung von künstlicher Intelligenz auf die bildgebende Diagnostik: Bilder aus CT-, MRT- und PET-Scans werden in numerische Daten umgewandelt, die zusammen mit anderen Daten von leistungsstarken Rechnern analysiert werden. Dadurch erhält man nützliche Informationen zur Identifizierung von Genen, die die Entstehung von Krebs begünstigen können, zur Aggressivität einer bereits fortgeschrittenen Erkrankung sowie zur Diagnose, Therapie, Prognose und zum Ansprechen des Patienten auf die Behandlung.

Die Entwicklung der Technologie in der bildgebenden Diagnostik verdanken wir auch der Arbeit in den besten Forschungszentren der Welt. Ein Beispiel hierfür ist die Medipix-Technologie, die am CERN in Genf entwickelt wurde und bereits in einigen auf dem Markt befindlichen CT-Geräten eingesetzt wird. Diese Technologie ermöglicht die Unterscheidung und Klassifizierung der Biomoleküle in der untersuchten anatomischen Region und hilft dem medizinischen Fachpersonal, die Struktur von Anomalien besser zu verstehen.

Die zukünftige Herausforderung in der bildgebenden Diagnostik besteht also darin, alle Daten des Patienten zu integrieren und daraus Bilder zu liefern, die anschliessend mit anderen Informationen (Anamnese, kultureller Kontext, Labordaten usw.) zugunsten einer personalisierten, hochpräzisen medizinischen Versorgung angereichert werden.

Ein Sturz mit
Happy End

ZWEITER TEIL



TEXTE

Texte der Schüler der Klasse 3B der Sekundarschule Acquarossa:

Janis Bruschetti	Valentina Maroni	Alessia Poncioni
Clara Beatriz Castè	Clarissa Martinoli	Vito Ragazzi
Chiara Cavargna	Diana Morosi	Gioele Ratti
Clarissa Degiorgi	Nathan Ochsner	Edgard Solari
Giorgia Delfoc	Manuele Oncelli	Owen Taddei
Samuele Ferrari	Bruno Pedretti	Luca Tonelli
Timoteo Lucchini	Ana Luisa Pinto Paralta	Tristan Vanazzi

Unter der Koordination von:

Alessandro Borrello (Lehrer für Naturwissenschaften)

Teresa La Scala (Lehrerin für Italienisch)

Scuola Media Acquarossa

Via alle Scuole 10 - 6716 Acquarossa

Tessin - Schweiz

<https://acquarossa.sm.edu.ti.ch/>

ecs-sm.acquarossa@edu.ti.ch

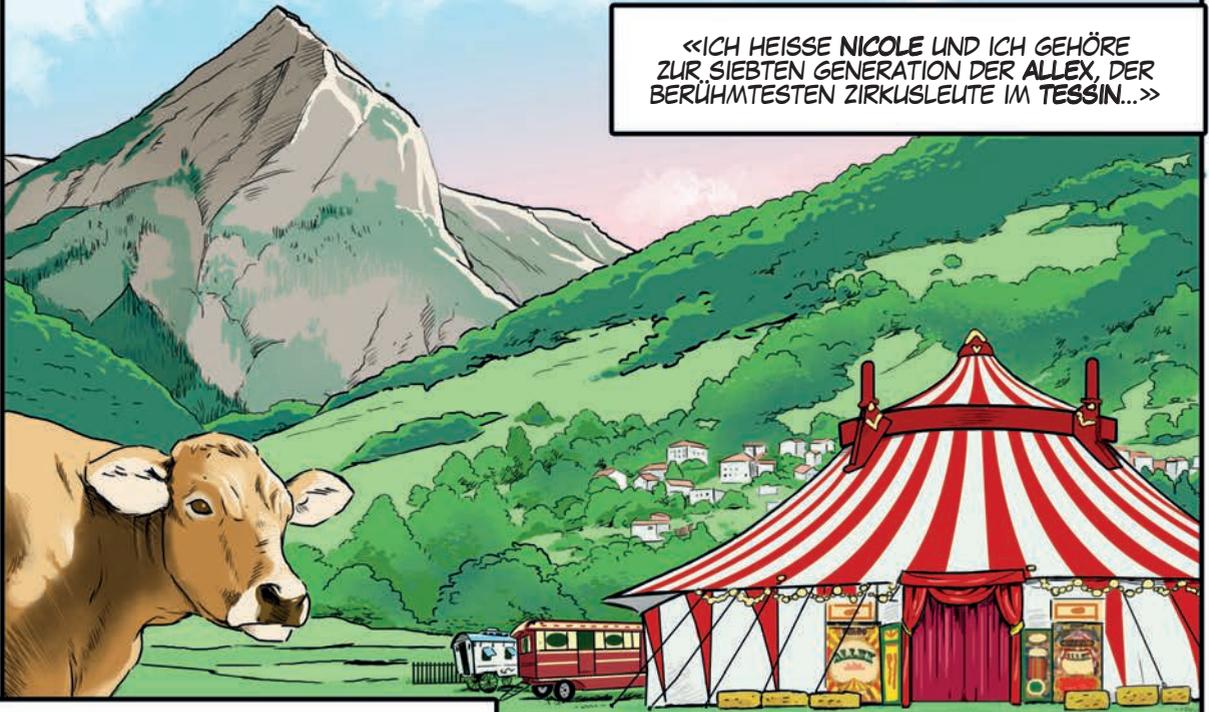
Direktor: Stefano Imelli

ZEICHNUNGEN

Zeichnungen von Alessandro Telve für die Scuola Romana dei Fumetti.

EIN STURZ MIT HAPPY END

«ICH HEISSE NICOLE UND ICH GEHÖRE ZUR SIEBTEN GENERATION DER ALLEX, DER BERÜHMTESTEN ZIRKUSLEUTE IM TESSIN...»



«HEUTE BEGINNT EINE REIHE VON VORSTELLUNGEN IN ACQUAROSSA, EINGEBETTET IN EINEM WUNDERSCHÖNEN TAL ZWISCHEN DEM FLUSS BRENNO UND DEM MONTE SOSTO. SCHON GESTERN SIND WIR MIT UNSEREN TIEREN HIERHERGEKOMMEN...»

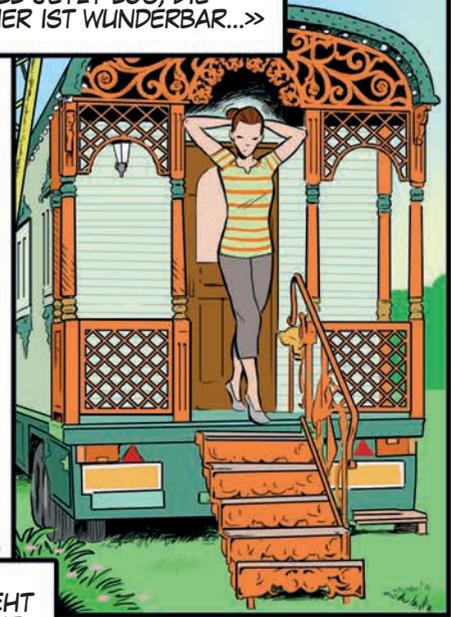
«...ICH HABE HEUTE NACHT WUNDERBAR GESCHLAFEN, IN DER EINSAMKEIT DER NATUR. UND HEUTE MORGEN WURDE ICH VOM GEZWITSCHER DER VÖGEL UND EINEM SONNENSTRAHL GEWECKT, DER AUF MEIN KOPFKISSEN FIEL...»



<<MEINE ELTERN SCHLAFEN NOCH,
DENN ES IST NOCH SEHR FRÜH. ABER
ICH BIN SCHON HELLWACH...>>



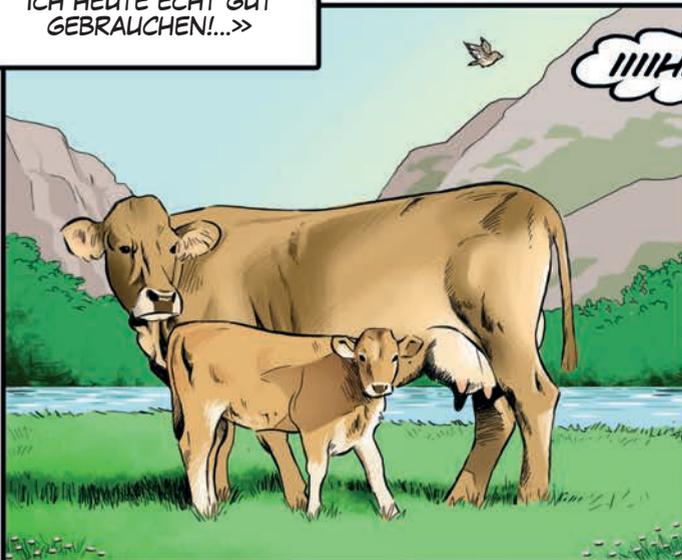
<<...ICH WILL JETZT LOS, DIE
LANDSCHAFT HIER IST WUNDERBAR...>>



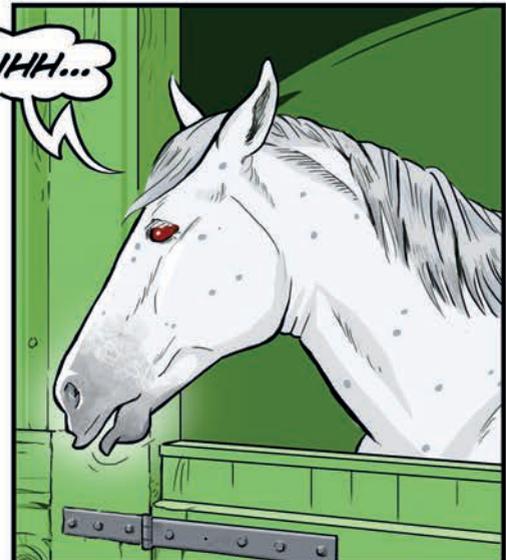
<<...UNSER ZELT MIT SEINEN ROTEN UND WEISSEN STREIFEN SIEHT
SO SCHÖN AUS AUF DER LEUCHTEND GRÜNEN WIESE, BEWACHT
VOM MONTE SOSTO WIE VON EINEM LIEBEN, ALTEN OPA...>>



<<DIESE RUHE... DIE KANN
ICH HEUTE ECHT GUT
GEBRAUCHEN!...>>



IIIIIIIIH...



«...DAS HIER IST MEIN PFERD... EIN WUNDERSCHÖNER KATALANE, MIT WEISSEM FELL UND EIN PAAR SCHWARZEN PUNKTEN...»

HALLO BERILLO!

«...SEINE AUGEN SIND FAST SCHON ROT, SIE SEHEN AUS WIE EDELSTEINE... DAHER KOMMT AUCH SEIN NAME!...»

«ICH GEHE ZURÜCK IN DEN WOHNWAGEN. MEINE ELTERN SIND AUFGEWACHT UND HABEN FRÜHSTÜCK GEMACHT...»

GUTEN MORGEN MAMA, GUTEN MORGEN PAPA!

BIST DU AUS DEM BETT GEFALLEN ODER SOWAS?

DU BIST IMMER FÜR EINEN SCHERZ ZU HABEN, PAPA!

ICH HINGEGEN HABE EIN BISSCHEN ANGST, WENN ICH EHRLICH BIN...

HEUTE ABEND WIRD MEIN KLEINES MÄDCHEN ZUM ERSTEN MAL AUFTRETEN!

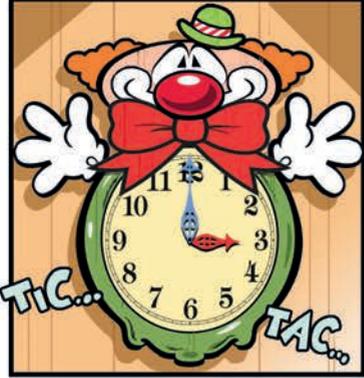
ICH BIN KEIN
KLEINES KIND
MEHR, MAMA!

LÄSST DU MICH
WENIGSTENS
FRÜHSTÜCKEN?

DU HAST RECHT,
LIEBES... ABER SCHAU,
DASS DU GLUT ISST!

UFF...

«ICH FINDE, DIE ZEIT VERGEHT VIEL ZU SCHNELL!
AUF JEDEN FALL HABE ICH SCHON MAL MEIN PAILLETTENKLEID
ANGEZOGEN, DAS ICH SO LIEBE!»



«...UND ICH TRAGE EIN AUFFÄLLIGES
MAKE-UP, SO WIE MAMA ES MIR
BEIGEBRACHT HAT...»

«...FERTIG, NOCH EIN BLICK IN DEN
SPIEGEL AN DER WOHNWAGENTÜR
UND LOS GEHT'S ZU DEN LETZTEN
VORBEREITUNGEN...»



ACHTUNG MIT
DEN SEILEN...

UND IHR...
STELLT DIE
ABSPERRUNGEN
RICHTIG AUF!...



GUT, BERILLO IST SCHON FERTIG...

KOMM, WIR MÜSSEN UNS BEEILEN!



ES IST SCHON ALLES BEREIT, GLEICH STEHEN WIR IN DER MANEGE!



<<DRAUSSEN WARTEN DIE BESUCHER IN EINER LANGEN SCHLANGE...>>



<<...DIE ANGST IST FÖRMILICH ZU GREIFEN...>>



CAROLINA, MEINE BEINE ZITTERN VOR AUFREGUNG...



NUR DIE RUHE... DU MACHST DAS TOLL, ALLES WIRD GUT!

DU HAST RECHT, ICH HABE VIEL TRAINIERT, ALSO KEIN GRUND, SICH SORGEN ZU MACHEN...



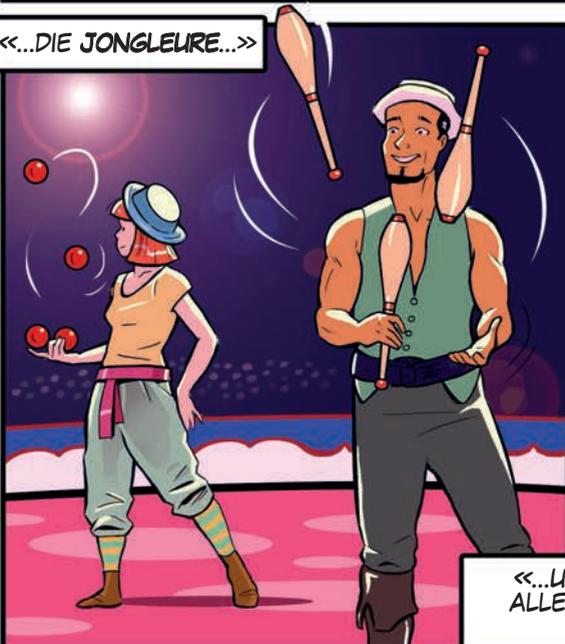
<<DIE SHOW BEGINNT FULMINANT MIT EINEM TOLLEN AUFTRITT DER CLOWNS...>>



<<...UND NUN DIE TRAPEZKÜNSTLER...>>



<<...DIE JONGLEURE...>>



<<...UND CAROLINA VERZAUBERT ALLE MIT IHREN KOMPLIZIERTEN KUNSTSTÜCKEN...>>



<<JETZT BIN ICH DRAN!>>

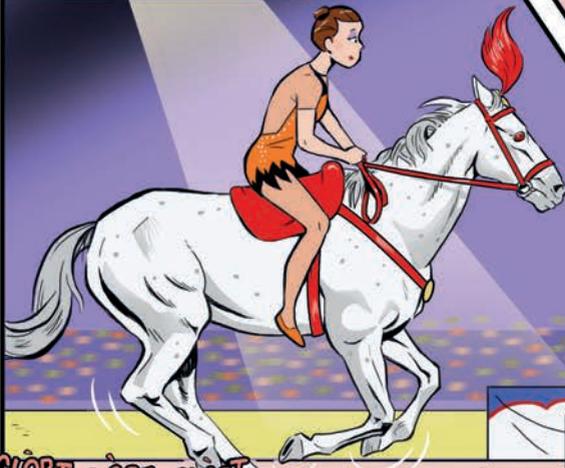


<<ICH GREIFE DIE ZÜGEL VON BERILLO... UND ZUSAMMEN BETRETEN WIR UNTER TOSENDEM BEIFALL DIE MANEGE...>>

CLAP CLAP
CLAP CLAP
CLAP

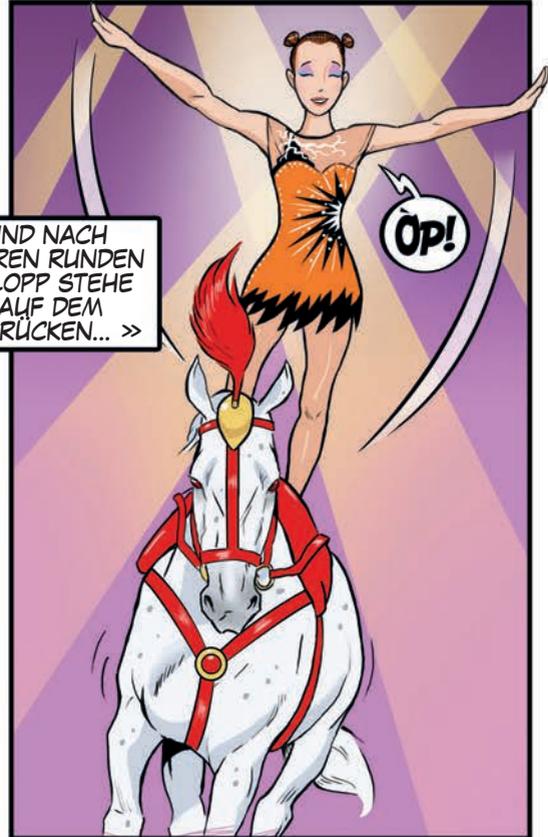


<<...DANN BEGINNE ICH MIT DER EIGENTLICHEN VORFÜHRUNG...>>



GLOPT. GLOPT. GLOPT.

<<...UND NACH MEHREREN RUNDEN IM GALOPP STEHE ICH AUF DEM PFERDERÜCKEN... >>

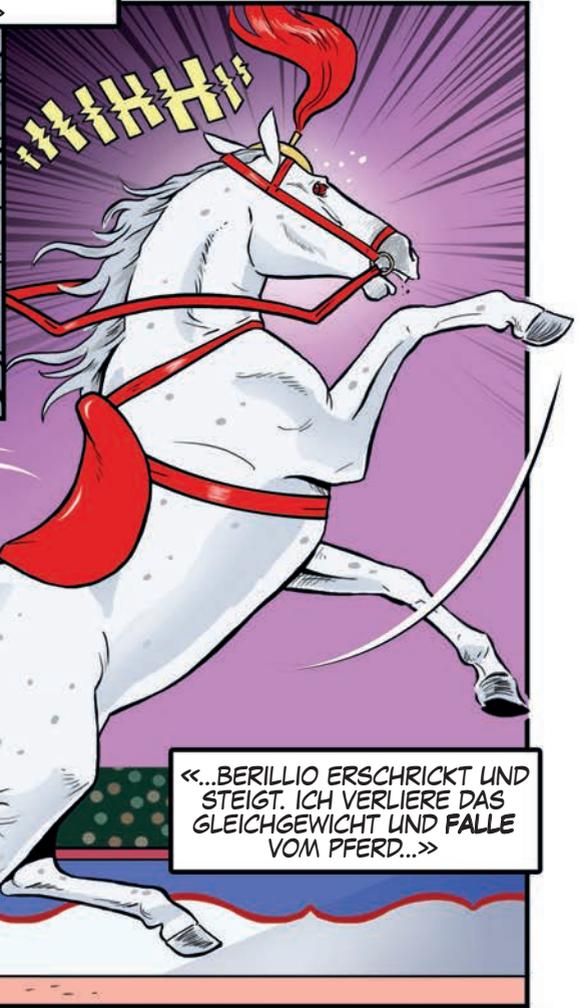
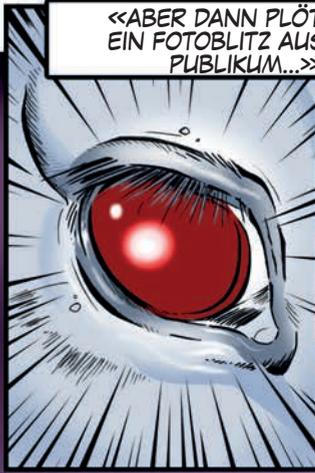


ÖP!



FLASH!

<<ABER DANN PLÖTZLICH EIN FOTOBLITZ AUS DEM PUBLIKUM...>>



AAH!

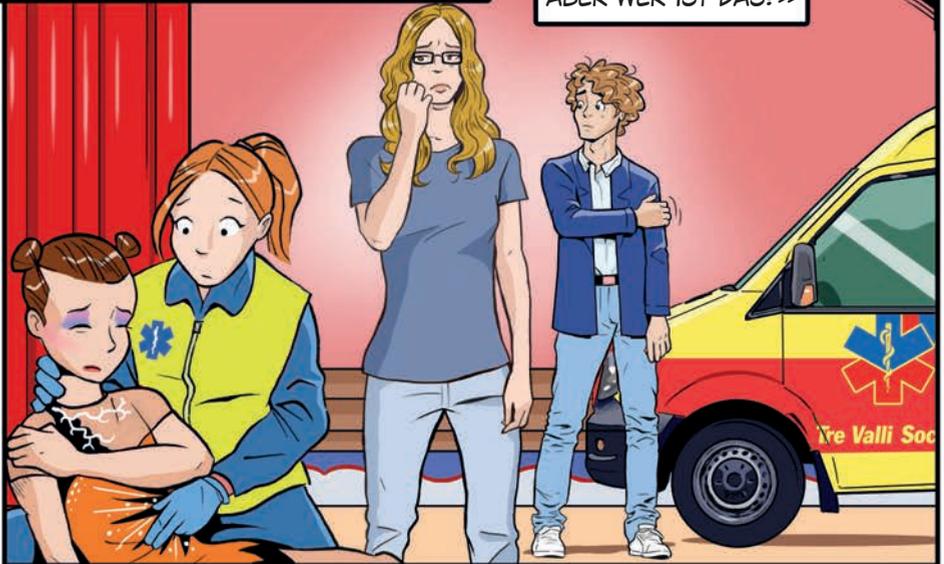


<<...BERILLIO ERSCHRICKT UND STEIGT. ICH VERLIERE DAS GLEICHGEWICHT UND FALLE VOM PFERD...>>

<<ICH VERLIERE DAS BEWUSSTSEIN. ALS ICH AUFWACHE, IST DER KRANKENWAGEN SCHON DA. MEINE RECHTE SCHULTER TUT HÖLLISCH WEH... NEBEN MIR SEHE ICH MEINE MUTTER UND...>>



<<...EINEN ECHT SÜSSEN TYPEN... ABER WER IST DAS?>>



TUT MIR LEID, TUT MIR LEID. BITTE
ENTSCULDIGE, ES TUT MIR WIRKLICH LEID. DU
SAHST SO SCHÖN AUS AUF DEINEM PFERD! DA
WOLLTE ICH EIN FOTO VON DIR MACHEN, ABER
ICH HABE NICHT GEMERKT, DASS DER BLITZ
EINGESCHALTET WAR...

KOMM, MÄDCHEN, WIR MÜSSEN LOS...
DU HAST DIR WAHRSCHEINLICH DIE
SCHULTER GEBROCHEN... DU MUSST INS
KRANKENHAUS...



«ER WAR WIRKLICH
VERZWEIFELT.. UND
FURCHTBAR SÜSS, MIT
BLONDEN LOCKEN UND ZWEI
GROSSEN REHAUGEN...»

«UND LOS GING'S MIT DEM
KRANKENWAGEN...»

«MAMA HAT DIE GANZE FAHRT ÜBER WIE EIN SCHLOSSHUND GEWEINT. ZUM GLÜCK WAR DAS
KRANKENHAUS GLEICH IN DER NÄHE. VON DER NOTAUFNAHME WURDE ICH IN DIE RADIOLOGIE
GEBRACHT... UND ICH MUSSTE EINEN ECHT SCHWEREN ROCK ANZIEHEN...»

HILFE, ICH KANN
MICH NICHT
BEWEGEN...

IST DER
AUS BLEI?

GANZ GENAU, ER SOLL
DICH VOR DER STRAHLUNG
SCHÜTZEN...



WIR MACHEN JETZT EINE MRT, DAMIT
SEHEN WIR DANN GENAU, OB DU NOCH
ANDERE FRAKTUREN HAST... DU MUSST ALLE
OHRRINGE, HALSKETTEN UND ARMBÄNDER
AUS METALL ABLEGEN!

«PLÖTZLICH BEWEGT SICH MEINE LIEGE,
UND ERST JETZT MERKE ICH, DASS ICH
GERADE IN EINE RIESIGE WASCHMASCHINE
GESCHOBEN WERDE...»

SPÄTER...

WAS IST DAS FÜR
EIN KOMPLIZIERTES
GERÄT?

DAS IST EIN
MAGNETTUNNEL.



DU MUSST KOPFHÖRER TRAGEN, WEIL ES SEHR LAUT WIRD. ABER STATTDEN WIRST DU SCHÖNE MUSIK HÖREN!

«AM EINGANG ZUR WASCHMASCHINE BEKOMME ICH PLATZANGST. ICH WEISS NICHT WIE, ABER EINE STIMME HINTER MIR HAT ES BEMERKT... DIESER RADIOLOGIEASSISTENT MUSS EIN NETTER KERL SEIN!»

ALLES OKAY?

NICHT WIRKLICH...

WIRD ES GEHEN?

«ICH MUSS ES SCHAFFEN... ICH MUSS MICH BEHERRSCHEN...»

WENN IRGENDETWAS SEIN SOLLTE, DRÜCKST DU DEN KNOPF, DEN DER RADIOLOGIEASSISTENT IN DEINE LINKE HAND GELEGT HAT

«UM RUHIG ZU BLEIBEN, SCHLIESSE ICH DIE AUGEN UND KONZENTRIERE MICH AUF DIE MUSIK. DIE MUSIK IST MERKWÜRDIG, PSYCHEDELISCH. ES KLINGT WIE PINK FLOYD, PAPAS LIEBLINGSBAND...»

«KOMISCH, ICH MERKE ERST JETZT, DASS ICH ETWAS IN DER HAND HALTE...»

«BIS VOR KURZEM HAT ER SIE AUF REISEN IMMER IM AUTO ANGEMACHT... UND ICH HABE DIE GANZE ZEIT GESCHLAFEN...»

«AUCH JETZT FÜHLE ICH MICH EIN BISSCHEN WIE IN EINEM AUTO. ABER ICH BIN ES JETZT, DIE AM STEUER SITZT. DIE STRASSE VOR MIR RAUSCHT IMMER SCHNELLER AN MIR VORBEI... ES FÜHLT SICH AN WIE EIN STRUDEL, DER MICH SCHLIESSLICH EINSAUGT...»



«ICH FALLE, IN EIN SCHWARZES LOCH, AUS DEM SICH ALLMÄHLICH RÖTLICHE FÄDEN LÖSEN UND WIE KLEINE STRÖME ZU FLIessen BEGINNEN...»

«...SIE FLIessen IN EINEM GEWIRR AUS WEISSLICHEN VERZWEIGUNGEN...!»

«ICH KOMME IMMER NÄHER AN EINE DAVON HERAN, ICH LAUFE DARAN ENTLANG...»

«...ABER PLÖTZLICH REISST SIE AUSEINANDER UND SPLITTER FLIEGEN UMHER. ICH SEHE AUCH ROTE UND BLAUE KUGELN, DIE HERUMWIRBELN...»

«DAZU GESELLEN SICH PULSIERENDE LICHTPUNKTE...»

«...DANN IST AUF EINMAL ALLES WEG. ÜBRIG BLEIBT DER ABGERISSENE AST, AUF DEM EINE ART GELBICHES, SCHWAMMIGES RAUMSCHIFF LANDET...»

WIR BRAUCHEN ZYTOKINE UND WACHSTUMSFAKTOREN, DIE UNS BEIM KNOCHENAUFBAU HELFEN!

«...HERAUS KOMMEN KLEINE GRÜNE MÄNNCHEN IN MECHANIKER-OVERALLS UND MIT MAURERWERKZEUGEN...»

«...UND SIE BASTELN AN DEM ABGESPLITTERTEN AST HERUM UND VERSUCHEN, IHN ZU REPARIEREN...»

NICOLE... NICOLE?
WIR SIND FERTIG!

ICH BIN EINGESCHLAFEN...
PINK FLOYD HAT ALSO IMMER NOCH
DIESE WIRKUNG AUF MICH!

SCHAUEN
WIR UNS DIE
ERGEBNISSE
AN!

DANK DER MRT GIBT ES KEINEN ZWEIFEL...
ES IST EINE KLEINE FRAKTUR IM RECHTEN
ARM, UND ES IST DIE EINZIGE. ALLES
ANDERE IST IN ORDNUNG. EINE NETTE
SCHIENE, UND DAS GANZE IST SCHNELL
WIEDER VERHEILT. ZUR SICHERHEIT
BEHALTEN WIR DICH NOCH EIN PAAR TAGE
ZUR BEOBACHTUNG
HIER...

EINE
ORANGEFARBENE
SCHIENE?

JA, MAMA! ICH WILL SIE
IN DER FARBE MEINES
BÜHNENKLEIDES, WEIL ICH DAS
JA NUN EINE ZEIT LANG NICHT
TRAGEN KANN!

GEHT ES
DIR GLUT?

JA, MIR
GEHT'S GLUT,
DANKE...

DAS KANN MAN
NICHT ANDERS
SAGEN. DU SIEHST
WIRKLICH GUT AUS!

«DER TYP MIT DEM FOTO IST SCHON
DIE GANZE ZEIT ÜBER HIER... ICH
SCHÄTZE, ER MEINT ES ERNST!»

SIEHT MAN
ETWA, DASS
ICH IHN MAG?

TELVE

ENDE



GLOSSAR

ALARA (as low as reasonably achievable) Prinzip, mit dem eine Reihe von Verfahren zur Untersuchung mit ionisierender Strahlung angewendet werden und dessen Ziel es ist, die Dosis, die ein Patient erhält, so weit wie möglich zu reduzieren, ohne die Qualität des erzeugten Bildes zu beeinträchtigen.

Anger-Kammer (Gamma-kammer) Geräte, die in der Nuklearmedizin zur Aufnahme von statischen, dynamischen und tomographischen Szintigraphien nach Gabe eines Radionuklids verwendet werden.

Angiographie Radiologische Untersuchung, bei der zu Diagnosezwecken durch die Injektion eines wasserlöslichen Kontrastmittels die Gefäße des menschlichen Körpers dargestellt werden.

Apoptose (Zelltod) Programmierter Zelltod. Ein grundlegender Mechanismus für die Aufrechterhaltung und korrekte Entwicklung der Körperzellen.

Computertomographie (CT) Die CT (auch CAT-Scan, von engl. *computer-assisted tomography*) ist ein diagnostisches Verfahren, bei dem mit Hilfe von ionisierender Strahlung (Röntgenstrahlen) detaillierte dreidimensionale Bilder von bestimmten anatomischen Bereichen des menschlichen Körpers entstehen.

Desoxyribonukleinsäure (DNA) Nukleinsäure, die die genetische Information enthält, die für die Entwicklung und das richtige Funktionieren der meisten lebenden Organismen notwendig ist.

Deterministische Wirkungen der Strahlung	Deterministische Wirkungen treten in der Regel sofort nach der Exposition mit ionisierender Strahlung auf. Oberhalb des Schwellenwertes ist die Schädigung umso grösser, je höher die Dosis ist, die eine Person aufnimmt.
Dosimeter	Mit dem Dosimeter wird für einen bestimmten Zeitraum die für die effektive Gesamtdosis für den Körper repräsentative Strahlung überwacht. Die in Sievert ausgedrückte effektive Dosis ist ein Indikator für das biologische Risiko.
Einzelphotonen-Emissions-Computertomographie (SPECT)	Die Einzelphotonen-Emissions-Computertomographie, besser bekannt unter dem Akronym SPECT, ist ein nuklearmedizinisches Bildgebungsverfahren, das ionisierende Strahlung, nämlich Gammastrahlen verwendet.
Elektromagnetisches Feld	Besteht aus der Kombination des elektrischen Feldes und des magnetischen Feldes und wird lokal durch eine beliebige zeitlich veränderliche Verteilung von elektrischer Ladung und elektrischem Strom erzeugt, die sich im Raum in Form von elektromagnetischen Wellen ausbreiten.
Elektromagnetisches Spektrum	Gesamtheit der Frequenzen von elektromagnetischen Wellen, die aufgrund ihrer Frequenz und Wellenlänge die Art der Strahlung bestimmen.
Fluoroskopie (Röntgendurchleuchtung)	Technik zur Erzeugung von Aufnahmen von der inneren Anatomie des Menschen in Echtzeit; bei dieser Methode werden Röntgenstrahlen verwendet.
Gauss (G)	Masseinheit für die magnetische Induktion. Nach dem Wissenschaftler Karl Friedrich Gauß (1777–1855) benannt.
Gray (Gy)	Masseinheit für die absorbierte Strahlendosis. Ein Gy entspricht der Aufnahme von 1 Joule Energie durch 1 Kilogramm Materie; $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$.
Ionisierende Strahlung	Elektromagnetische oder Korpuskularstrahlung mit ausreichender Energie, um die von ihr durchdrungene Materie zu «ionisieren».

Kontrastmittel Kontrastmittel sind Substanzen, die die Art und Weise verändern können, wie eine untersuchte Region in einer medizinischen Aufnahme erscheint.

Magnet Ein Körper, der durch seinen eigenen oder einen induzierten Magnetismus in der Lage ist, Objekte aus ferromagnetischem Material anzuziehen.

Mammographie Röntgenaufnahme der Brust, mit der auf potentiell vorhandene Tumoren kontrolliert wird.

Mastektomie Chirurgische Entfernung der Brust.

Nichtionisierende Strahlung Jede Art von elektromagnetischer Strahlung, die nicht genug Energie transportiert, um die von ihr durchdrungene Materie zu ionisieren.

Petites Curies Mit mobiler Radiologie ausgestattete Kleinwagen, die während des Ersten Weltkriegs für französische Soldaten an der Front eingesetzt wurden.

Photon Massenloses Teilchen ohne elektrische Ladung und mit ganzzahligem Spin; elementarer Bestandteil der elektromagnetischen Strahlung. Wird auch als Energiequantum bezeichnet.

Polonium Chemisches Element mit der Ordnungszahl 84; sein Symbol ist Po. Ein seltenes radioaktives Halbmetall.

Positronen-Emissions-Tomographie (PET/CT) Die Positronen-Emissions-Tomographie (PET, von engl. *Positron Emission Tomography*) ist ein nuklearmedizinisches Diagnoseverfahren zur Erzeugung von biowissenschaftlichen Bildern.

Radioaktivität Radioaktivität oder radioaktiver Zerfall umfasst die Gesamtheit von physikalisch-nuklearen Prozessen, durch die einige instabile oder radioaktive Atomkerne (Radionuklide) in einer bestimmten Zeitspanne, der sogenannten Zerfallszeit, zerfallen (transmutieren).

Radiofrequenz Eine Radiofrequenz, auch bekannt unter dem Akronym RF, bezeichnet im Allgemeinen ein hochfrequentes elektrisches Signal oder eine elektromagnetische Welle, die sich im Raum oder in einem Koaxialkabel ausbreitet.

Radiologie Die medizinische Radiologie ist der Zweig der Medizin, der sich mit der Erstellung und Interpretation von radiologischen Bildern zu diagnostischen oder therapeutischen Zwecken beschäftigt. Sie wird auch als diagnostische Radiologie oder Radiodiagnostik bezeichnet.

Radiomics Analyse von medizinischen Bildern mit dem Ziel, durch geeignete mathematische Methoden und den Einsatz von Computern quantitative Informationen zu erhalten. Diese Art der Informationen lassen sich durch einfache visuelle Beobachtung des Bedieners nicht erkennen.

Radionuklid Instabiles Nuklid, das unter Abgabe von Energie in Form von Strahlung zerfällt; von dieser Eigenschaft leitet sich sein Name ab. Radioisotope sind radioaktive Isotope, d. h. Radionuklide des gleichen chemischen Elements.

Radio-pharmakon Ein radioaktiver Stoff, der aus einem radioaktiven Teil und einem pharmakologisch aktiven Teil besteht. Radiopharmaka können sowohl zu diagnostischen als auch zu therapeutischen Zwecken eingesetzt werden.

Radium Chemisches Element mit der Ordnungszahl 88; sein Symbol ist Ra. Das Wort Radioaktivität leitet sich von dem Namen dieses Elements ab.

Resonanzsignal Die Impulse der Radiofrequenzwellen verändern die Ausrichtung der Atomkerne, die sich nach Beendigung der Impulse wieder nach der Achse des Magnetfeldes ausrichten. Dabei treten sie in Resonanz, d. h. sie senden ein sehr schwaches Signal aus, das sogenannte Resonanzsignal.

Röntgenröhre Vakuumglasröhre, die eine Hochspannungskathode und eine Hochspannungsanode enthält. Wird für die Erzeugung von Röntgenstrahlen verwendet.

Röntgenstrahlen Auch X-Strahlen genannt; hochenergetische elektromagnetische Strahlung. Werden hauptsächlich für medizinische Zwecke, in der biochemischen Analyse und zur Untersuchung der Struktur von Materialien eingesetzt.

Sievert (Sv) Masseinheit für die Äquivalentdosis und die effektive Strahlendosis. Das Sievert (Sv), das nach dem schwedischen Wissenschaftler Rolf Sievert benannt ist, ist ein repräsentatives Mass für die Auswirkungen und Schäden, die am Menschen entstehen.

Stenose Krankhafte Verengung eines Kanals, einer Öffnung, eines Hohlorgans oder eines Gefässes.

Stochastische Wirkungen der Strahlung Stochastische oder probabilistische Wirkungen sind auf Mutationen auf zellulärer Ebene zurückzuführen. Je höher die Dosis ionisierender Strahlung ist, der ein Mensch im Laufe seines Lebens ausgesetzt ist, desto grösser ist die Wahrscheinlichkeit von Krebs oder Fehlbildungen bei seinen Nachkommen.

Strahlenbiologie Zweig der Biowissenschaften, der sich mit den Auswirkungen von Strahlung auf lebende Materie beschäftigt.

Strahlenschutz Disziplin, die als Teilgebiet der Strahlenbiologie entstanden ist; befasst sich mit dem Schutz vor den schädlichen Auswirkungen ionisierender Strahlung auf den Menschen, seine Nachkommen, die Allgemeinbevölkerung und die Umwelt.

Tesla (T) Masseinheit des Internationalen Systems (SI). Dient zur Messung der magnetischen Induktion, d. h. der magnetischen Flussdichte.

Tomosynthese Technik, bei der dreidimensionale (3D) Bilder der Brust entstehen und bei der der für Röntgenaufnahmen typische Effekt der Gewebeüberlappung reduziert bzw. ganz beseitigt wird. Wird in der Regel ergänzend zur Standard-Mammographie durchgeführt.

Ultraschall Mechanische Schallwellen. Ultraschallfrequenzen sind für das menschliche Ohr nicht hörbar.

Wellenlänge In der Physik wird die Wellenlänge durch den Abstand zwischen zwei benachbarten Wellenbergen oder Wellentälern dargestellt; sie wird üblicherweise mit dem griechischen Buchstaben Lambda bezeichnet.



Viele, viele Jahrhunderte lang war die einzige Möglichkeit, in das Innere des menschlichen Körpers schauen zu können, ihn zu sezieren und eine Autopsie durchzuführen. Mit Hilfe bildgebender Verfahren ist es heute möglich, die Organe und Apparate des auch lebendigen Körpers von aussen zu sehen.

In diesem Band nimmt uns der Autor mit auf eine erstaunliche Reise und zeigt uns Entdeckungen, Geräte und Technologien, die die Geschichte der Medizin geprägt und revolutioniert haben. Das Bild, das dabei gezeichnet wird, gibt die ganze Komplexität dieser Welt in ständiger Entwicklung wieder und zeigt die grosse Vielfalt der Methoden, mit denen wir in der Lage sind, jede anatomische Struktur des menschlichen Körpers bis ins Detail zu bewerten und unzählige Krankheiten zu überwachen und folglich zu behandeln.

Francesco Mascaro, Institut Imaging
der italienischen Schweiz,
Regionalkrankenhaus, Bellinzona.

Dieses Buch beinhaltet den Comic:

Ein Sturz mit Happy End

Texte der Schüler der Klasse 3B
der Sekundarschule Acquarossa,
Tessin/Schweiz.

Zeichnungen von
Alessandro Telve
für die Scuola Romana dei Fumetti.