

MORITA

Morita – bildgebende Diagnostik

Technik mit Durchblick – bildgebende Diagnostik in der Zahnheilkunde

*Wir erkennen Gerechtigkeit und Wahrheit nicht aus eigener Kraft,
sondern weil wir durchlässig geworden sind für ihre Strahlen.*

Ralph Waldo Emerson (1803–1882), US-amerikanischer Geistlicher, Lehrer, Philosoph und Essayist

„... Der Würzburger Gelehrte kam, wie dies so häufig bei solchen sensationellen Entdeckungen geschieht, mit Hilfe des Zufalls auf seinen großen Fund. Er hatte eine Crook'sche Röhre mit Stoff umwickelt auf seinem Laboratoriumstische und ließ zu irgendeinem Zwecke einen sehr starken elektrischen Strom durch dieselbe gehen. Nach einiger Zeit bemerkte er, dass in einer gewissen Entfernung ein präpariertes Papier Linien zeigte, die bisher bei Einwirkung von Elektrizität nicht beobachtet wurden ...“

So berichtete die FZ am 8. Januar 1896 über die Entdeckung eines naturwissenschaftlichen Phänomens. Dass Conrad Röntgen mit der Entdeckung der nach ihm benannten Strahlen die Voraussetzungen für einen Meilenstein in der zahnärztlichen Diagnostik gesetzt hatte, war ihm wohl nicht sofort bewusst. Die damals praktizierenden Zahnärzte erkannten den Nutzen der fränkischen Erfindung sehr schnell. Bereits Ende Januar 1896 erblickte das erste Röntgenbild im Dienste der Zahnmedizin das Licht der Welt. Heute gehört die Röntgen-Diagnostik zum Praxisalltag. Dennoch verdient die zahnärztliche Radiologie deutlich mehr Aufmerksamkeit, als ihr gemeinhin zuteilwird. Nicht selten entscheidet die Qualität der Aufnahme über Erfolg oder Misserfolg der Behandlung. Neben der gängigen Untersuchungsmethode mittels Zahnfilm und Panoramaschichtaufnahme konnten in den letzten

zwölf Jahren weiterführende Techniken auf Basis der digitalen Volumentomografie in das diagnostische Spektrum integriert werden. Auch das Thema „Bildqualität“ war und ist Gegenstand der Forschung bei den Herstellern von modernen Röntgengeräten, denn die Bedeutung des Röntgenbildes für die Entscheidung des Zahnarztes über Krankheitsbild und Behandlung eines Patienten steigt weiter. Dreidimensionale Schichttechniken erweitern die Möglichkeiten bei der Erkennung kariöser Läsionen und in der parodontalen Diagnostik. Doch der Weg von den ersten einfachen Röhren zu Apparaturen auf Hightech-Standard war weit.

Vom Schattenbild zur Präzisionsaufnahme – die Geschichte der zahnärztlichen Radiologie

Ein Zufall war also der Grund für die Erforschung einer Strahlung, die sich später als Meilenstein für den technischen Fortschritt in der Medizin herausstellen sollte. An einem Novemberabend des Jahres 1895 führte Conrad Röntgen seine Frau in sein Laboratorium, um ihr seine Entdeckung zu zeigen. „Das wird die Leute veranlassen zu sagen, der Röntgen ist verrückt geworden“, orakelte er. Es heißt sogar, das erste Untersuchungsobjekt sei die Hand seiner Gattin gewesen. Trotz des Nachrichtenwerts der neuen Strahlen machte der Physiker selbst nie viel Aufhebens um seine Forschung. Er führte sie aber am 13. Januar 1896 auf Einladung dem deutschen Kaiserpaar und hohen Staatsbeamten in Berlin vor, was ihm einen Orden und noch mehr Publizität einbrachte. Tatsächlich war es gar nicht so unwahrscheinlich, dass die durchdringenden Strahlen relativ zeitnah auch von anderen Wissenschaftlern hätten entdeckt werden können, denn damals experimentierte jeder Physiker mit geschlossenen Röhren mit eingeschmolzenen Aluminiumdrähten. Es gab die Crook'schen, Geissler'schen und Hittorf'schen Röhren. Unter der Voraussetzung, dass bei den Versuchen auch entsprechend energiereiche Kathodenstrahlen im Spiel waren, hätte jeder von ihnen auch Röntgenstrahlung erzeugen können. Dies war wohl auch der Grund dafür, warum die Fachwelt Röntgens Versuche schnell nachvollziehen konnte.

Drähte, Röhren, Reflexionen – die ersten zahnärztlichen Röntgenapparate

Schon zwei Wochen nach Röntgens Entdeckung fertigte der Zahnarzt Dr. Friedrich Otto Walkhoff in Braunschweig die erste Röntgenaufnahme von Zähnen an (Abb. 1). Mit einer improvisierten Apparatur fotografierte er seine eigenen Zähne intraoral. Die Belichtungszeit betrug damals ungefähr 25 Minuten und das Ergebnis war eher ein Schattenbild ohne deutliche

Details. Heute liegt die Untersuchungsdauer bei Intraoralgeräten bei circa 0,1 Sekunden. Vielleicht hätte der Pionier auf den Selbstversuch verzichtet, wenn er zu diesem Zeitpunkt schon von den „Nebenwirkungen“ gewusst hätte. Denn dass Röntgens Erfindung leider auch negative Auswirkungen hat, sollte die Begeisterung über die diagnostische Wunderwaffe später etwas dämpfen. Den ersten Patienten, die einer hohen Strahlendosis ausgesetzt waren, fielen an den betroffenen Gesichtshälften die Haare aus oder sie erlitten Verbrennungen. Der Erfindungsreichtum bezüglich der Einsatzmöglichkeiten der Strahlen hatte zuvor seltsame Blüten getrieben. So stellten Schuhgeschäfte Röntgenapparate auf, um zu demonstrieren, dass der Schuh passt, oder gewiefte Anbieter vertrieben „röntgensichere“ Kleidung, die ihren Trägern Schutz vor neugierigen Blicken bieten sollte.

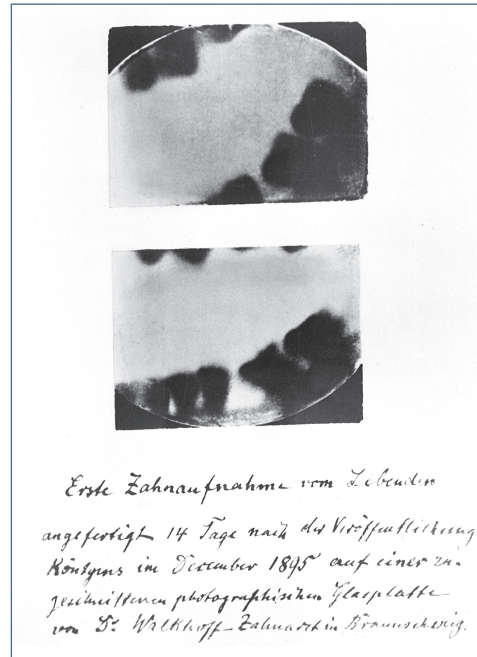


Abb. 1 Die erste radiologische Zahnaufnahme von Dr. Otto Walkhoff. Quelle: Deutsches Röntgen-Museum in Remscheid.

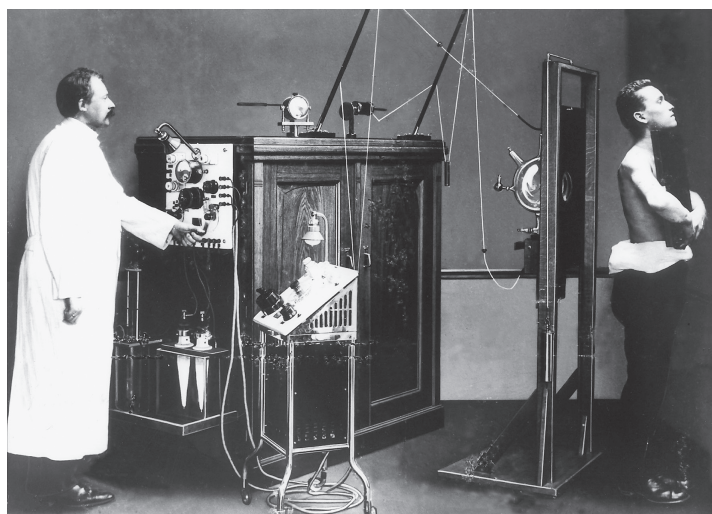


Abb. 2 Etwas sperrig – Röntgen-Technologie um 1906. Quelle: Deutsches Röntgen-Museum in Remscheid.

Im Laufe der Jahre wurden die abenteuerlichen Konstruktionen (Abb. 2) weiterentwickelt – und damit auch die Strahlenbelastung für den Patienten geringer. Auch die Expositionszeiten verkürzten sich. Nach den ersten Verbesserungen der Röntgen-Röhre durch Wolfgang König reduzierte sich die Bestrahlungszeit für Backenzähne auf fünf Minuten. Frontzähne konnten schon innerhalb von zwei Minuten durchleuchtet werden. Die Röhre des an der Uni Gießen lehrenden Physikers wurde für die nächsten 16 Jahre zum Standard.

Ein entscheidender Schritt in der zahnärztlichen Radiologie war der Entwurf des Physikers W. D. Coolidge. Er entwickelte um 1912 eine Röhrenart, die die Arbeit in der Medizin wesentlich vereinfachte. Eine erhitzte Wolfram-Kathode, die Elektronen abgab, machte es möglich, die Intensität der Strahlen durch die Stromstärke zu variieren. Anfang der 20er-Jahre erreichten Forscher durch Verfeinerungen dieser Konstruktion ein kleineres Bestrahlungsfeld und formten durch die Kombination von Röhre und Transformator eine kompakte Einheit. Bis zum Ende des zweiten Weltkriegs verringerte man außerdem den Fokus-Film-Abstand von 50 auf knapp 20 Zentimeter. Was der Industrie zum Vorteil gereichte, führte jedoch dazu, dass sich die Bildqualität zahnmedizinischer Aufnahmen verschlechterte. Seither hat sich der Fokus-Film-Abstand deshalb wieder vergrößert.



Abb. 3 Verblüffende Einblicke – Zahnrontgen zu Urgroßmutterns Zeiten. Quelle: Deutsches Röntgen-Museum in Remscheid.

Panoramaröntgen, digitale Technik und Volumentomografie – auf dem Weg in die Gegenwart

In den folgenden Jahrzehnten konstruierten die verschiedensten Anbieter Röntgengeräte mit Anwendungsmöglichkeiten für die Diagnostik in der Zahnarztpraxis. Zahnaufnahmen waren meist mit einem speziellen Tubus möglich. Oft kamen auch Streublenden zum Einsatz, die die Streustrahlung eindämmten. Geräte für den zahnmedizinischen Bereich erkannte man an den kegelförmigen Tuben auf den Röhren. Teilweise waren die Konstruktionen mit fahrbaren Säulenstativen oder Metallabschirmungen der Hochspannungskabel ausgestattet.

Auf der Suche nach Verbesserungen entstanden in den 50er-Jahren die ersten Panoramaaufnahmen. Röhre und Film bewegten sich innerhalb von ungefähr 20 Sekunden um den Kiefer des Patienten, was eine vollständige Darstellung von Ober- und Unterkiefer auf einem einzigen Bild ermöglichte. Damit konnte sich der behandelnde Arzt einen Gesamtüberblick über das Gebiss verschaffen. Aber auch für den Patienten brachte die neue Technik Vorteile. Bisher ließ sich der ganze Kiefer nur in vielen Einzelbildern ablichten, was eine extrem hohe Strahlenbelastung und einen entsprechend höheren Zeitaufwand mit sich brachte. Dafür zeigten Panoramaröntgenbilder den einzelnen Zahn nicht so detailgetreu wie Einzelbilder. Hier bestand Verbesserungsbedarf. Das japanische Unternehmen Morita brachte beispielsweise 1967 mit dem „PANEX-E“ eines der damals fortschrittlichsten Panoramaröntgengeräte auf den Markt, das Ende der 70er-Jahre noch durch eine elektronische Steuerung optimiert wurde.

Eine weitere wichtige Verbesserung der Diagnostik in der Zahnmedizin bot ab Ende der 80er-Jahre das digitale Röntgen. Dabei konkurrieren bis heute zwei unterschiedliche Systeme. Die eine Technik basiert auf den sogenannten Festkörper-Sensoren, die im Mund des Patienten die auftreffenden Röntgenstrahlen in ein elektronisches Signal umwandeln. Der Sensor ist mit dem Computer durch ein Kabel verbunden und das digitale Röntgenbild kann sofort am Monitor betrachtet werden. Die Alternative basiert auf Speicherfolien, die den Röntgenfilm ersetzen. Eine solche Folie wird im Mund des Patienten durch die Röntgenstrahlen belichtet. Anschließend tastet ein Scanner die Oberfläche der Folie mit einem Laser ab und wandelt diese in ein digitales Bild um. Im Gegensatz zu den althergebrachten Verfahren liegt der Vorteil der modernen Systeme auch hier in der deutlichen Reduktion der Strahlendosis. Darüber hinaus erhält der Zahnarzt wesentlich detailreichere und zuverlässigere Aufnahmen.

Mit dem Beginn des neuen Jahrtausends sollte eine weitere Innovation die zahnärztliche Diagnostik voranbringen. Digitale Volumentomografen ermöglichten nun durch dreidimensionale Darstellung exakte Aussagen über die Struktur des Kieferknochens und der

Zahnwurzeln eines Patienten. Die Technik basiert auf einer um 180 oder 360 Grad rotierbaren Röntgenröhre und einem Flatpanel-Detektor, über den die gemessene Strahlung mithilfe eines angeschlossenen Computers in Bilder umgewandelt wird. Röntgenröhre und Detektor rotieren um den fixierten Patienten. Dabei werden zahlreiche zweidimensionale Projektions-Einzelröntgenbilder erstellt, aus denen schließlich ein dreidimensionales Modell errechnet wird. So erhalten Zahnärzte Informationen, mit denen sie operative Eingriffe genau planen können. Seit der Einführung der modernen 3D-Bildgebung können Behandler in nur wenigen Augenblicken eine sichere Diagnose stellen. Zu den Pionieren auf diesem Gebiet gehörte wieder die Firma Morita. 2001 stellte das Unternehmen den „3D Accuitomo“ auf der Internationalen Dental-Schau (IDS) vor. Der digitale Volumentomograf zählte weltweit zu den ersten 3D-Geräten der Dentalbranche. Diese erste Generation der 3D Accuitomo-Geräte, die heute in der vierten Generation produziert werden, war noch mit einem sogenannten Bildverstärker ausgerüstet. Die neueren Volumentomografen wurden dann mit einem Flatpanel-Detektor ausgestattet.

Fortschritte in der Bildgebung bedeuteten in der Geschichte der zahnärztlichen Radiologie also immer auch mehr Sicherheit in der Diagnostik und erweiterte Anwendungsmöglichkeiten. Mit diesem Ziel vor Augen entwickeln Ingenieure und Naturwissenschaftler die vorhandene Technik auch heute noch weiter.

Unendliche Möglichkeiten – zahnärztliche Röntgenologie heute

Eine zahnärztliche Behandlung ist so gut wie die Diagnose, die den Entscheidungen über eine geeignete Therapie zugrunde liegt. Seitdem Zahnmediziner auf bildgebende Verfahren zurückgreifen können und nicht mehr „im Trüben fischen müssen“, ist für sie vieles leichter geworden. Heute kommt es deshalb in erster Linie auf Details an: Je mehr Feinheiten auf einem Bild sichtbar werden, desto exakter der Befund. Der Anteil der Praxen, die noch mit konventionellen, filmgebundenen Systemen arbeiten, nimmt stetig ab. Dafür erweitern dreidimensionale Darstellungen das Anwendungsgebiet für alle möglichen Indikationen. Die Bildqualität steigt, während die Strahlenbelastung für die Patienten sinkt. Ebenfalls ein wichtiger Punkt: Benutzerfreundlichkeit und Flexibilität für den Zahnarzt. Systemen mit modular-tigem Aufbau, die es dem Arzt ermöglichen, die Technik dem wachsenden Bedarf in seiner Praxis anzupassen, gehört die Zukunft.

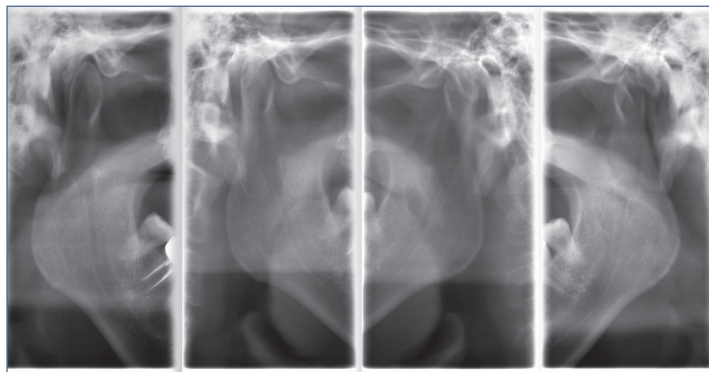
Bytes und Graustufen – Grundlagen der digitalen Radiologie

Die digitale Röntgentechnik entwickelt sich in rasanter Geschwindigkeit weiter und ist deshalb permanenten Modifikationen und Neuerungen unterworfen. Für den Anwender ist es nicht immer einfach, den Überblick über die technischen Lösungen zu behalten, die gerade auf dem Markt sind.

Generell versteht man unter digitalem Röntgen die Herstellung, Verarbeitung und Darstellung von Röntgenbildern mithilfe der Computertechnologie, wobei wahlweise Festkörpersensoren oder Speicherfolien zum Einsatz kommen. Der besondere Vorteil der digitalen Technik liegt in der schnellen und reibungslosen Verarbeitung auch großer Datenmengen. Dabei ist das Ende der Fahnenstange noch lange nicht erreicht. Die digitale Röntgentechnik eröffnet aber schon heute Alternativen, um zusätzliche Bildinformationen für den behandelnden Zahnarzt nutzbar zu machen. Dazu zählen zum Beispiel die zahlreichen Methoden der Nachbereitung und Aufbereitung von Ergebnissen, das sogenannte Post-processing. Digitale Daten liegen in Form von mathematisch zugänglichen Datenformaten vor. Das macht eine Verarbeitung überhaupt erst möglich und ist gleichzeitig der größte Unterschied zum Filmröntgen – denn der bereits entwickelte Film ist quasi fix und kann nicht weiter verarbeitet werden.

Grundsätzlich werden bei der digitalen Datenverarbeitung analoge Signale, in Form von wellenförmigen Schwingungen in ein binäres System übersetzt. Die Informationseinheit „Byte“, eine achtstellige Binärzahl, gibt Auskunft über die Speichertiefe digitaler Aufnahmen. Ein Byte Speichertiefe gilt bei typischen digitalen Aufnahmen in der Zahnarztpraxis, wie intraoralen oder Panoramaschichtaufnahmen als Standard. Computertomografen arbeiten jedoch mit 16 Bit, was zwei Bytes entspricht und auch die Graustufenaufklärung erhöht. Dies ist für die Darstellung wichtig.

Abb. 4 Digitales Röntgen auf höchstem Niveau: Vier separate Aufnahmen der Kiefergelenke auf einem Bild. Es werden jeweils zwei Rotationsbewegungen des rechten und linken Kondylengelenks in offener und geschlossener Stellung ausgeführt. Quelle: i-View Imaging Center der Kitasenju Radist Dental Clinic in Japan.



Der Goldstandard zur Betrachtung digitaler Aufnahmen ist der Monitor, wobei die Modelle heute ungefähr 256 Graustufen darstellen können. Die jeweils interessanten Graustufen können in das Grauwert-Fenster des Monitors verschoben werden, sodass dem Betrachter die Informationen sukzessive dargestellt werden – ein weiterer großer Vorteil der digitalen Aufnahmen gegenüber den filmbasierten Vorgängern, denn auf diesen erscheinen nur die auf dem Film nach der Entwicklung tatsächlich abgebildeten Graustufen. Das menschliche Auge vermag übrigens 60 bis 80 verschiedene Graustufen zu unterscheiden.

Entscheidend für die Qualität von Röntgenaufnahmen ist aber auch deren optische Auflösung. Hier geht es um die kleinsten Strukturen, die ein bildgebendes System gerade noch darstellen kann. Um diesen Faktor zu bestimmen, werden unter anderem Linienpaare (Lp) pro Millimeter (mm) gemessen – abgeleitet von einem Bleiliniennraster, das üblicherweise in Konstanz-Prüfkörper für digitale Röntgengeräte integriert ist. Intraorale Röntgenfilme waren mit Ergebnissen von deutlich mehr als 20 Lp/mm lange Zeit das Maß aller Dinge. Ein Mensch mit durchschnittlichem Sehvermögen kann im Vergleich dazu ohne Vergrößerungshilfe maximal 5 bis 10 Lp/mm wahrnehmen. Darüber hinausgehende Informationen wären auf filmbasierten Intraoralaufnahmen nur mithilfe einer Lupe zu sehen, was sich in der Praxis nicht durchgesetzt hat.

Zwei Alternativen, ein Ziel – digitale Bildempfänger

Digitales und filmbasiertes Röntgen unterscheidet sich vor allen Dingen durch die Funktion des Messgeräts, also des Bildempfängers. Beim herkömmlichen Film wird eine Redoxreaktion herbeigeführt, die im Ergebnis Silberbromid zu metallischem Silber reduziert. Die aktuellen digitalen Lösungen wandeln Röntgenstrahlung entweder direkt oder indirekt in Ladungen um. Während die erste Option auf Festkörpersensoren basiert, werden die Informationen bei der zweiten zunächst auf fluoreszierenden Folien analog zwischengespeichert (Speicherfolienradiografie), die sekundär digitalisiert werden. Der Zahnarzt hat die Qual der Wahl und muss entscheiden, welches der beiden Systeme am besten zu seiner Praxis passt. Angesichts der Flut von Informationen trifft er die Entscheidung nicht selten aus dem Bauch heraus.

Festkörpersensoren funktionieren durch Halbleiterelemente, die in einem regulären Raster angeordnet sind. Mithilfe des empfindlichen Halbleiters wird hochenergetische Röntgenstrahlung zunächst in sichtbares Licht umgewandelt. In der zahnärztlichen Radiologie kommen am häufigsten die auch in der Fotografie gebräuchlichen „Charge-coupled Device“-Sensoren (CCD-Sensoren) zum Einsatz. Unabhängig vom Sensortyp läuft das Messprinzip jedoch stets nach dem gleichen Schema ab: Photonenenergie wird proportional in

Ladungen umgewandelt und als Stromfluss abgeleitet. Jedes Halbleiterelement des Sensors arbeitet wie ein eigenes Messgerät und wird meist als quadratische Einheit innerhalb des Rasters angeordnet. Das Signal in Form der gezählten Photonen erscheint später auf dem Bildschirm Bildpunkt für Bildpunkt im selben Raster. Die einzelnen Elemente heißen „Pixel“. Von ihrer Größe, die im Schnitt bei 0,019 Millimeter liegt, hängt die optische Auflösung der Sensoren ab. Die Auflösung liegt jedoch bei allen modernen Festkörpersensoren in einem für die Diagnostik ausreichenden Bereich.

Das gilt auch für die aktuellen Speicherfoliensysteme, die sich als Konkurrent in der digitalen Radiologie etabliert haben. Auch hier wandeln Halbleiter die einfallenden Röntgenstrahlen in Lichtstrahlung um. Wie beispielsweise bei Verstärkerfolien kommt hier das physikalische Prinzip der Lumineszenz zum Tragen. Allerdings sind die Speicherfolien in der Lage, den Prozess der Lichtemission nach Einfall der Röntgenphotonen zeitlich stark zu verzögern. Dieser „Memory Effekt“ sorgt dafür, dass die Informationen der Röntgenquanten über einen Zeitraum von mehreren Stunden gespeichert werden. Ein Laserstrahl liest die Informationen später wieder aus, indem er die Folie abtastet. Hierbei senden die Atome einen Lichtblitz aus, der von den bereits beschriebenen CCD-Sensoren wiederum in elektrische Ladung und später vom Computer in ein digitales Signal umgewandelt wird. Im Gegensatz zu den Systemen mit Festkörpersensoren können die speicherfolienbasierten Lösungen störungsanfälliger sein. Dafür ist die Signalantwort der Speicherfolien aber über einen großen Expositionsbereich fast linear und damit sehr gut differenzierbar. Der Ausleseprozess durch den Laser ist dabei entscheidend für die Qualität der Speicherfolienaufnahme. Die neuen und wesentlich verbesserten Auslesetechniken mit einer Auflösung von mehr als 20 Lp/mm sorgen aber auch in diesem Sektor dafür, dass die beiden Alternativen digitalen Bildempfängers absolut vergleichbar sind.

Mit Übersicht – digitale Technik für modernes Panoramaröntgen

Oft kommt es in der bildgebenden Diagnostik auf Details an. Aber eine ganze Reihe von Indikationen in der Zahnheilkunde erfordert auch die Darstellung sämtlicher Zähne und Zahnanlagen. Solche Übersichtsbilder, auch Panoramaschichtaufnahmen genannt, sind zum Beispiel bei umfangreichen Zahnsanierungen, vor einem operativen Eingriff, im Rahmen einer Implantatversorgung oder bei einer kieferorthopädischen Behandlung elementar wichtig (Abb. 5). Aber auch für eine gründliche Eingangsuntersuchung ist eine Gesamtübersicht über Ober- und Unterkiefer unumgänglich. Die Strahlendosis einer digitalen Panoramaaufnahme ist dabei trotz des größeren Aufnahmebereichs nur unwesentlich höher als



Abb. 5 Standard-Panoramaaufnahme mit dem Veraviewepocs IC5 HD. Die breite, speziell konstruierte Bildschichtebene deckt alle möglichen Formvariationen des Zahnbogens ab, sodass detailreiche und scharfe Aufnahmen entstehen. Quelle: Kitasenju Radist Dental Clinic, i-View imaging Center, Japan.

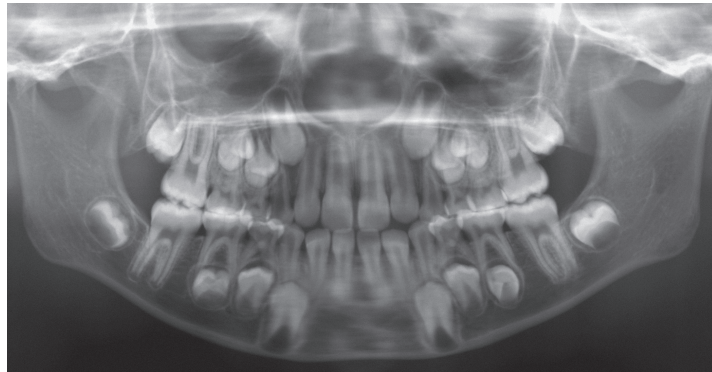
bei normal erstellten Zahnfilmen. Dafür ist die Auflösung der in Panoramatechnik hergestellten Bilder etwas geringer als bei intraoralen Aufnahmen. Das Schichtverfahren, bei dem die Ebenen vor und nach der Abbildungsebene verwischt werden, erlaubt nur eine Abbildung von sechs Linienpaaren pro Millimeter. Im Praxisalltag ist es deshalb von Vorteil, wenn dem Zahnarzt sowohl intra- als auch extraorale Technik zur Verfügung steht. Ideal ist ein digitales System, mit dem man die verschiedenen Aufnahmearten mit einer Technik ansehen kann. Die Hersteller von zahnärztlichen Röntengeräten haben sich bereits auf dieses Bedürfnis eingestellt. Orientiert an den Vorzügen der digitalen Technik bieten diese Geräte die unterschiedlichsten Panorama- und Fernröntgenprogramme.

Morita ist eine der Firmen, die auch im Bereich des Panoramaröntgens ständig nach praxisnahen Gerätelösungen suchen. Bei diesen Überlegungen spielen nicht nur Bildqualität und Schnelligkeit, sondern auch die Strahlenbelastung eine Rolle. So geschehen beim digitalen Röntgensystem Veraviewepocs 2D/3D. Der Zahnarzt hat die Möglichkeit, durch verschiedene Ausstattungs-Optionen genau die Variante zu wählen, die für seinen Anspruch und finanziellen Rahmen die passende Lösung bietet. Er kann also mit der klassischen 2D-Röntgenversion für Panorama-Aufnahmen starten, hält sich aber die Option offen, das System entsprechend aufzurüsten, wenn strategische Überlegungen ein Upgrade auf 3D-Aufnahmen nötig machen sollten.

Zur Untersuchung von Kindern oder Menschen mit schmalen Kiefern wird der Rotationsbereich des Arms verkürzt und die Strahlenbelastung dementsprechend weiter verringert (Abb. 6).

Wer darüber nachdenkt, ein digitales Panoramaröntgengerät für seine Praxis anzuschaffen, sollte darauf achten, dass es die technischen Voraussetzungen für hochwertige Aufnahmen erfüllt und die Prozedur des Röntgens für den Patienten so angenehm wie möglich macht. Das beginnt schon mit der Expositionszeit. Je kürzer die Zeit für die Aufnahme, desto

Abb. 6 Kinder-Panoramaaufnahme. Zur Untersuchung von Kindern oder Menschen mit schmalen Kiefern wird der Rotationsbereich des Arms verkürzt und die Strahlenbelastung dementsprechend weiter verringert. Quelle: Kitasenju Radist Dental Clinic, i-View imaging Center, Japan.



geringer ist die Strahlendosis, der der Patient ausgesetzt ist. Der Veraview IC5 HD von Morita benötigt gerade einmal 5,5 Sekunden für ein Bild und ist damit branchenweit das „schnellste“ Panoramaröntgengerät. Dadurch minimieren sich auch Artefakte durch Bewegung. Auch Zweitaufnahmen sind nicht mehr nötig. Anwenderfreundliche Technik, die es dem Arzt leichter macht, den Patienten zu positionieren, trägt ebenfalls zu gelungenen Bildern und somit zu einer genauen Diagnose bei. Der Zahnarzt ist auf die „Mitarbeit“ des Patienten bei der Aufnahme angewiesen. Ist dieser gestresst, muss die Prozedur schlimmstenfalls wiederholt werden. Sanfte, elektronisch gesteuerte Anlauf- und Stoppvorgänge durch einen Elektromotor können die Positionierung des Patienten erheblich vereinfachen. Die Geräte der neuen Generation, wie das Veraview IC5 HD, ermöglichen es außerdem, den Kopf durch Laserstrahlen perfekt für die Aufnahme auszurichten. Sie markieren die richtige Position für die Frankfurter Horizontalebene, die Mediansagittalebene und die Bildschichtebene.

Die Auflösung ist und bleibt ein Qualitätsmerkmal für die Aufnahme, wobei eine möglichst geringe Pixelgröße angestrebt wird. Die digitale Technik entwickelt sich stetig weiter. Eine verbesserte Belichtungsautomatik und automatische Aufnahmeoptimierungen sorgen für noch schärfere Abbildungen.

Räumlich betrachtet– Indikationen für die digitale Volumentomografie

Seitdem die digitale Volumentomografie (DVT) Ende der 90er-Jahre Einzug in die Zahnmedizin gehalten hat, hat sie sich in beeindruckendem Tempo weiterentwickelt.

Ein digitaler Volumentomograf verfügt über eine um 180 oder 360 Grad rotierbare Röntgenröhre und einen Flatpanel-Detektor, über den die gemessene Strahlung mithilfe eines angeschlossenen Computers in Bilder umgewandelt wird. Das Bild wird hergestellt, indem

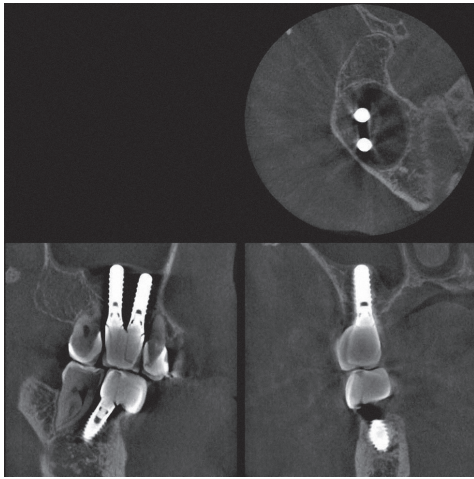


Abb. 7 Aufnahme mit dem Veraviewepocs 3D im Rahmen einer Implantation. Quelle: i-View Imaging Center der Kitasenju Radist Dental Clinic in Japan/ Röntgenabteilung des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universität Leipzig

die Röntgenröhre und der Detektor um den fixierten Patienten rotieren. Dabei erstellt der Tomograf sehr viele zweidimensionale Projektions-Einzelröntgenbilder und errechnet aus den gewonnenen Bildern ein dreidimensionales Modell. So können Schnittbilder in allen Raumebenen sowie dreidimensionale Ansichten hergestellt werden.

Im Praxisalltag eröffneten sich dadurch neue Perspektiven, denn die dreidimensionale Abbildung und die damit einhergehende noch detailgetreuere Darstellung von Zähnen und Knochen machen für den Zahnarzt Informationen sichtbar, die vorher verborgen blieben. Insbesondere bei Praxen, die sich auf die Implantologie spezialisiert haben, steht die DVT hoch im Kurs.

Generell würden für die klassische Implantatplanung auch Panoramaschichtaufnahmen oder Zahnfilme den Knochen und die anatomischen Strukturen ausreichend darstellen. Bei Schichtaufnahmen wird die relevante Anatomie jedoch je nach Bauart des Geräts um 25 bis 30 Prozent vergrößert abgebildet. Zur Messung der Verzerrung im Röntgenbild müssen Referenzkugeln benutzt werden. Gerade wenn das vertikale und horizontale Knochenlager dargestellt werden soll, sind Panoramaschichtaufnahmen keine optimale Grundlage für eine genaue Beurteilung der vorhandenen Substanz. So können Implantate falsch positioniert und dadurch sogar wichtige anatomische Strukturen verletzt werden.

Auch deshalb ist der Stellenwert der 3D-Bildgebung in der präimplantologischen Diagnostik gestiegen. Die DVT-Diagnostik stellt eine Vermessungsoption zur metrischen Analyse zur Verfügung. Weil die Darstellung der Schicht bereits metrisch kalibriert wurde, ist es im Gegensatz zur Panoramaschichtaufnahme nicht notwendig, eine Referenzkugel zu verwenden. Durch eine Messfunktion kann das Knochenangebot in horizontaler und vertikaler Ausrichtung bestimmt werden.

Der Implantologe kann damit das Knochenangebot genau evaluieren und entscheiden, ob noch Knochen aufgebaut werden muss, um eine erfolgreiche Implantation garantieren zu können. Für die Implantologie ist aber nicht nur wichtig, ob quantitativ noch genügend Kno-

chen vorhanden ist – auch die Qualität der Knochensubstanz ist von Bedeutung. Mit der DVT kann der Implantologe das Knochenangebot auch qualitativ bewerten. Damit ist eine bessere Planung der Vorgehensweise bei der Pilotbohrung möglich, denn die einzelnen Bohrertypen zeigen ein unterschiedliches Schneiderverhalten, das einen unterschiedlich hohen Kraftaufwand für die Aufarbeitung der äußeren Knochenschicht erforderlich macht. Dank der Darstellung der Knochendichte erhöht die DVT auch die intraoperative Sicherheit: Tiefen Präparationen in den weichen Knochenanteilen mit möglichen Verletzungen anatomischer Strukturen kann damit vorgebeugt werden.

In der dreidimensionalen Darstellung werden darüber hinaus feinste Risse oder der Verlauf von Wurzelkanälen sichtbar gemacht.

Damit spielt die Diagnostik durch DVT durchaus auch bei zahnerhaltenden Maßnahmen eine Rolle: Sie erleichtert beispielsweise komplizierte Wurzelbehandlungen.

Die Parodontologie ist ein weiteres Anwendungsfeld für die Diagnostik mit dreidimensionaler Bildgebung. Die Erfahrung hat gezeigt, dass die Aussagekraft des Zahnstatus im Rahmen der parodontalen Diagnostik eingeschränkt ist. Knöcherne Defekte werden durch intakte Kompakta oder Zahnwurzeln überlagert, dünne Knochenlamellen können allerdings bei ungünstiger Projektionsrichtung oder Überbelichtung überstrahlt werden. Oft übersieht oder unterschätzt der behandelnde Zahnarzt deshalb den vorhandenen Knochenabbau. Nur in 43,7 Prozent der Fälle können Beteiligungen im Bereich der Zahnwurzelgabelung röntgenologisch und klinisch übereinstimmend abgeklärt werden. Außerdem ist es schwierig, die oralen und die äußeren Flächen der Zähne zu beurteilen. Die Fehleinschätzung von Knochentaschen bezüglich ihrer Größe und Morphologie ist ein weiteres Manko. Dunkle Ablagerungen auf den Wurzeloberflächen werden ebenfalls nur in 50 Prozent aller Fälle erkannt.

Durch die digitale Volumentomografie DVT kann der Zahnarzt die parodontale Situation räumlich beurteilen und auswerten. So kann er beispielsweise Knochentaschen richtig bewerten oder einen Befall der Zahnwurzelgabelung klassifizieren.



Abb. 8 3D-Aufnahme mit dem Veraviewepocs 3D. Abgebildet wird eine kleine radikuläre Zyste an der mesiobukkalen Wurzel von 16 und Parodontitis apicalis chronica granulomatosa bei 15. Quelle: i-View Imaging Center der Kitasenju Radist Dental Clinic in Japan/Röntgenabteilung des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universität Leipzig

Die Vorteile der digitalen Volumentomografie in der Kieferchirurgie und der Traumatologie liegen auf der Hand. Fehlstellungen von Zahngruppen lassen sich dreidimensional ebenso besser beurteilen wie Verletzungen durch Gewalteinwirkung.

Spezialisten oder Alleskönner – moderne Volumentomografen

Die Auswahl von Geräten auf dem Markt, die dreidimensionale Abbildungen ermöglichen, kann man wegen ihrer unterschiedlichen Konzepte in zwei Kategorien einteilen: Sogenannte Dual-Use-Geräte sind Panoramageräte, die über eine zusätzliche 3D-Funktion verfügen. Dem gegenüber stehen Geräte, die speziell für die 3D-Technik entwickelt worden sind.

Der Vorteil von Dual-Use-Systemen besteht darin, dass sie auch ein konventionelles Panoramabild erzeugen können, das nach wie vor seine klinische Berechtigung hat. Gleichzeitig ermöglichen diese Geräte in einem bestimmten Umfang auch dreidimensionale Aufnahmen. Beim Veraviewepocs 2D/3D von Morita kann auf der Basis einer Panoramaaufnahme sofort eine 3D-Aufnahme hergestellt werden. Der Zahnarzt löst dafür im Vorfeld eine Panorama-Scout-Aufnahme aus und wählt auf dem Bildschirm aus, welcher Bereich dreidi-

mensional abgebildet werden soll. Mithilfe eines durch neuste Technik ermittelten Parallel- und Querschnitt-Aufnahmewinkels bestimmt das Gerät die anatomische Zahnbogenform. Der Röntgenstrahl kann sich so den unterschiedlichsten Kieferbögen parallel angleichen. Der Aufnahme-C-Arm fährt mit dem Röntgenstrahler automatisch in die optimale Position für die relevante 3D-Aufnahme. Den Veraviewepocs gibt es in zwei verschiedenen 3D-Versionen. Zum einen den 3De mit den Aufnahmeformaten 40 x 40 Millimeter und 40 x 80 Millimeter sowie den Veraviewepocs 3D, der die Formate 40 x 40 Millimeter und 80 x 80 Millimeter abdeckt (Abb. 9).

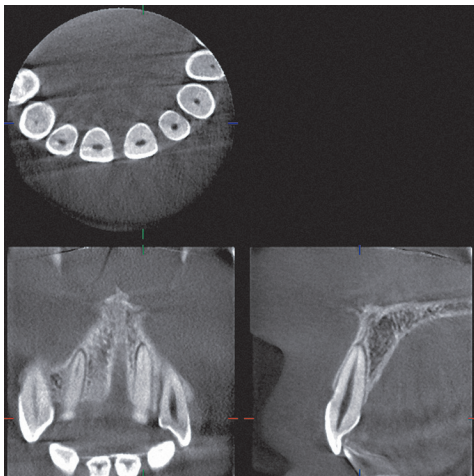


Abb. 9 Röntgenaufnahme mit dem Veraviewepocs 3D, 40 x 40 mm. Die ausgezeichnete Kontrastschärfe und die hohe Detailauflösung ermöglichen eine exakte Diagnose gerade in komplizierten klinischen Fällen. Quelle: i-View Imaging Center der Kitasenju Radist Dental Clinic in Japan/Röntgenabteilung des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universität Leipzig.

Dual-Use-Systeme bieten Zahnärzten verschiedene platzsparend angeordnete Funktionen auf technisch hohem Niveau.

Die Qualität der Aufnahmen überzeugt und für die Diagnostik von Zähnen sind sie gut geeignet. Der Veraviewepocs liefert beispielsweise ultrahoch aufgelöste Röntgenbilder mit einer visuellen Auflösung von zwei Linienpaaren pro Millimeter und einer Voxelgröße von 0,125 Millimetern.

Für Zahnärzte, die sich auf Implantologie spezialisiert haben oder häufig kieferchirurgische- oder kieferorthopädische Eingriffe vornehmen, ist die Anschaffung von speziell für die digitale Volumentomografie entwickelten Geräten interessant. Wegen der größeren Aufnahmeverolumina sind sie für diese Indikationen besonders gut geeignet. Daraus ergibt sich ein breites Anwendungsspektrum mit diagnostischen Vorteilen für oral- sowie mund-, kiefer- und gesichtschirurgische, aber auch kieferorthopädische Anwendungen. Strahlenhygienisch schneiden die Geräte mit großem Volumen ebenfalls gut ab.

Neben der Bildqualität, die immer ein Maßstab ist, können für den Zahnarzt auch andere Gesichtspunkte für die Auswahl eines Geräts relevant werden. Zum Beispiel die Benutzerfreundlichkeit. Wenn sich Datensätze einfach bearbeiten lassen oder ein unkomplizierter Austausch per Datenversand zu Kollegen möglich ist, erleichtert das den Praxisalltag und spart dem Zahnarzt Zeit. Hersteller wie Morita haben sich auf diese Bedürfnisse eingestellt und investieren deshalb auch in die Entwicklung einer vielfältig einsetzbaren Software. Ein Beispiel ist die i-Dixel-Software zum Veraviewepocs 3D. Sie lässt sich nahtlos in jede Netzwerkkumgebung integrieren. So kann der Arzt die Aufnahmen auf jedem im Praxisnetzwerk installierten Client Computer in der i-Dixel-Software betrachten. Außerdem kann er Patientendaten exportieren und dem überweisenden Kollegen mit einem integrierten Viewer zur Verfügung stellen.

Ein weiteres Beispiel für die modernen, speziell für die dreidimensionale Bildgebung entwickelten Geräte, ist der 3D-Accuitomo 170 von Morita (Abb. 10). Für die Operationsplanung in der Implantologie oder der Kieferchirurgie sind hochauflösende Bilder von höchster Priorität, insbesondere für eine bestmögliche Diagnostik des Knochengewebes im dento-maxillofazialen Bereich. Mit einer Auflösung von 0,08 Millimetern und neun frei wählbaren Aufnahme-Volumina von 170 bis 40 Millimetern setzten die Entwickler neue Maßstäbe. Scanzeiten von 18 Sekunden im Standard und 5,4 Sekunden im High-Speed-Modus und die damit einhergehende geringere Strahlendosis für den Patienten unterstreichen die Bedeutung der Strahlenhygiene bei der Weiterentwicklung neuer Volumentomografen.

Generell lässt sich sagen, dass die digitale Volumentomografie die konventionelle diagnostische Bildgebung nicht nur ideal ergänzt, sondern sie bis auf wenige Ausnahmen ersetzen kann. Sie ermöglicht eine präzise Diagnostik in der Implantologie, Chirurgie, Endodontie und Parodontologie, wobei keine Qualitätseinbußen bei der klinischen Auswertung entste-

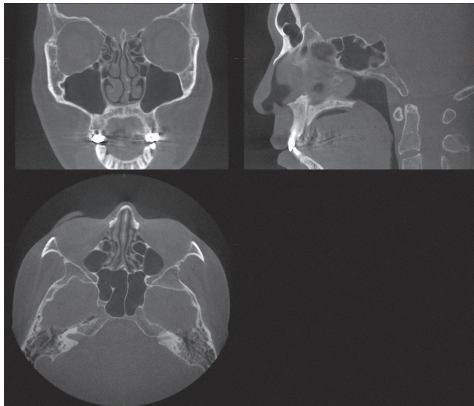


Abb. 10 Volumentomografie für Anspruchsvolle: Aufnahme des Bereichs der Nasennebenhöhlen mit dem 3D Accuitomo 80/170. Quelle: Kitasenju Radist Dental Clinic, i-View imaging Center, Japan.

hen. Darüber hinaus geht die DVT mit einer erheblich geringeren Strahlenbelastung einher als die Computertomografie.

Spannende Aussichten – die Zukunft der zahnärztlichen Radiologie

Modernste Technologien in der Bildgebung haben die diagnostischen Möglichkeiten in der Zahnmedizin entscheidend verbessert – und trotzdem sind längst noch nicht alle Möglichkeiten ausgeschöpft. So sind zum Beispiel weitere Verbesserungen der Bildqualität wahrscheinlich, denn neue Sensor-

technologien und fortschrittlichere Aufnahmemethoden werden ständig erprobt.

Auch gesundheitliche Aspekte spielen weiterhin eine große Rolle bei der Suche nach Verbesserungsmöglichkeiten. Immer im Blickpunkt: die Reduktion der Effektivdosis. Morita entwickelt zum Beispiel den „Dose Reduction Mode“ weiter. Die Strahlenbelastung für den Patienten reduziert sich dadurch um bis zu 40 Prozent. Das Herzstück dieser Technologie ist eine Belichtungsautomatik, die die Strahlendosis an die abzubildende Körperregion anpasst. Im Frontzahnbereich reicht eine geringere Dosis aus. Dadurch verbessert sich außerdem die Bildqualität. Weichteilgewebe wird besser dargestellt und die Artefaktdarstellung durch Zahnschmelz verringert sich.

Auch die teilweise schon heute genutzten Navigationssysteme könnten weiter optimiert werden. Durch Datenübertragung können die Operateure ihre Instrumente direkt am Bildschirm sehen. Ein Zahnarzt kann dann beispielsweise bei einer Implantation besser entscheiden, wie tief und in welchem Winkel er bohren muss. Darüber hinaus könnten durch die Volumendaten dreidimensionale Modelle erstellt werden, die es dem Chirurgen ermöglichen, eine Operation im Voraus zu planen und sogar zu üben. Diese Technik wäre also auch für die Lehre interessant.

Dies alles legt die Vermutung nahe, dass die 3D-Technik in Zukunft immer mehr zum Standard avancieren wird – zulasten der 2D-Modelle. Experten rechnen mit einer ähnlichen Entwicklung wie bei der Ablösung der herkömmlichen- durch die digitale Röntgentechnik. Insbesondere weil sich wegen der hohen Akzeptanz der 3D-Geräte in der Branche die

Anschaffungskosten weiter reduzieren werden. Heute teilen sich nicht selten Gemeinschaftspraxen ein 3D-Gerät, um die Kosten zu dämpfen. In Zukunft kann man für den gleichen Preis auch eine Erweiterung des Leistungsspektrums erwarten.

In jedem Fall werden Innovationen in der zahnärztlichen Radiologie auch in Zukunft dazu beitragen, Qualitätsstandards in der Diagnose und der Behandlung zu sichern.

Unsere Herausforderung für die Zukunft:

Entsprechend unserem Unternehmensclaim „Thinking ahead. Focused on life.“ setzen wir bei Morita alles daran, zuverlässigere und leistungsstärkere Produkte herzustellen und damit die Grenzen des Machbaren stetig zu verschieben. Wir möchten Zahnärzten auch in der Zukunft hervorragende Unterstützung für die Diagnostik und Behandlung bieten.