

Dreidimensionale Bildgebung in der Zahnheilkunde

Dr. Sebastian Bürklein, Dr. Christian Späth, Prof. Dr. Peter Jöhren

Nach der Einführung der digitalen Röntgenologie in den Achtzigerjahren des letzten Jahrhunderts wurden zunehmend mehr konventionelle, filmbasierte Röntgengeräte durch digitale ersetzt. Seither hat es eine Reihe von Neuerungen und Modifikationen im technischen Umfeld der digitalen Röntgentechnik gegeben. Diese machen es für den Anwender schwierig, einen Überblick über die aktuell auf dem Markt befindlichen, beziehungsweise in naher Zukunft zu erwartenden technischen Lösungen zu erhalten. Dieser Beitrag soll daher eine komprimierte Übersicht über den derzeitigen technischen Stand auf dem Gebiet der digitalen zahnärztlichen Röntgenologie geben.

Einführung

Bildgebende Verfahren sind für die Diagnostik und Therapieplanung in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde unverzichtbar geworden. Bei zahnärztlichen Röntgenaufnahmen werden in Abhängigkeit von der Lage des Röntgenfilms (analoge Technik) oder der Speicherfolie beziehungsweise des Sensors (digitales Röntgen) intra- und extraorale Aufnahmen unterschieden. Einzelzahnfilme in unterschiedlichen Projektionstechniken sowie Bissflügel- und Okklusalaufnahmen gehören zu den intraoralen Aufnahmen. Die hohe Zeichnungsschärfe der intraoralen Filme mit etwa 25 Linienpaaren/mm (Lp/mm) wird mit den digitalen Techniken noch nicht ganz erreicht. Der normalsichtige Mensch kann nach Pasler ohne Vergrößerungshilfe maximal 5 bis 10 Linienpaare pro Millimeter mit bloßem Auge erkennen^[1]. Damit ist die Ortsauflösung der digitalen Röntgenbilder gemeint, wobei sich ein Linienpaar aus einer transparenten und einer röntgenopaken Linie zusammensetzt. Nach

dem Nyquist-Theorem lassen sich nur Strukturen darstellen, die mindestens die doppelte Größe eines Pixels aufweisen. CCD-Sensoren (Charge Coupled Device) lösen mit bis zu 15 Lp/mm und CMOS-Sensoren (Complementary Metal Oxide Semiconductor) mit bis zu über 20 Lp/mm auf^[2]. Speicherfoliensysteme liegen dosisabhängig bei bis zu 15 Lp/mm. Die maximale Leistung der modernsten Speicherfolienscanner erreicht rein rechnerisch bis zu 45 Lp/mm (VistaScan, DÜRR DENTAL, D-Bietigheim-Bissingen)^[3, 4].

Das häufigste extraorale Röntgenverfahren ist die Panoramaschichtaufnahme (PSA). Seitdem 1949 das Panoramaschichtverfahren von Paatero in Finnland vorgestellt wurde und zehn Jahre später in Form des Orthopantomogramms (OPG) Einzug in die Röntgendiagnostik erhielt, ist dieses in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde ein fester Bestandteil geworden. Durch die Weiterentwicklung der Panoramaschicht-röntgengeräte und der Digitalisierung, basierend auf Speicherfolientechnik oder Festkörpersensoren, ist heute bei verbesserter Strahlenhygiene ein wesentlich größeres Spektrum von Aufnahmen möglich geworden: Die herkömmliche Panoramaschichtaufnahme, das Fernröntgen sowie verschiedene Schädelübersichtaufnahmen im posterior-anterioren Strahlengang, z. B. die Clementschisch- und die Nasennebenhöhlenaufnahme. Seit der Einführung der digitalen Volumentomografie (DVT), auch Cone-Beam-Volume-Tomography (CBVT) genannt, Ende der neunziger Jahre, die speziell für die Anforderungen in der modernen chirurgischen Zahnheilkunde entwickelt wurde, ist der Gang zum Radiologen nicht mehr zwingend notwendig. Bei Vorliegen entsprechender DVT-Fachkunde kann der Zahnarzt diese selbst anfertigen. Die Geräte arbeiten mit einem Kegelstrahl (Cone-Beam) sowie Halbleiter-Flachbilddetektoren und benötigen einen Rotationsscan von maximal 360° (Abb. 1). Einige Ge-

räte erlauben einen verkürzten Rotationscan (z. B. Planmeca ProMax 3D 194°, Planmeca, FI-Helsinki). Mit der entsprechenden Software ist eine Betrachtung in allen gewünschten Ebenen möglich. Dabei stehen dem Anwender verschiedene Werkzeuge zur Längen- und Winkelmessung sowie Bildoptimierungstools zur Kontrast- und Helligkeitseinstellung zur Verfügung. Mit dieser Technik sind Auflösungen von etwa 4 Lp/mm möglich, ein reguläres CT hat mit bis zu 2 Lp/mm eine geringere Auflösung. Die Rekonstruktionsdauer der gescannten Daten erfordert je nach Gerät zwischen unter einer Minute bis hin zu acht Minuten. Der Zeitaufwand wird von der gewählten Auflösung und dem Aufnahmevermögen (Field of View = FOV) bestimmt. Dementsprechend variieren auch die Datenvolumina von 50 MB bis hin zu über 1 GB. Teilweise werden Rohdaten und Bild- daten getrennt.

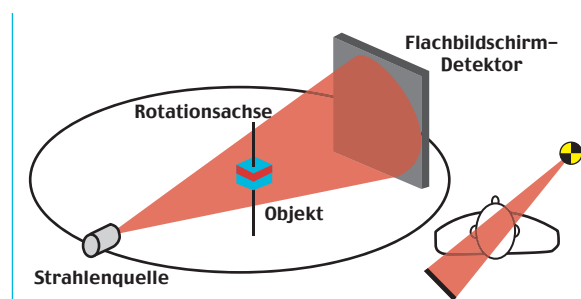


Abb. 1: Schematische Darstellung des Funktionsprinzips der Cone-Beam-Volume-Tomography (CBVT).

In der zahnärztlichen und chirurgischen Diagnostik wird das räumliche Erfassen von bestimmten Strukturen und Details nicht nur aus forensischen Gründen immer wichtiger. Mit einzelnen Aufnahmen in der zweiten Ebene, mit transversalen Schichtaufnahmen, mit einem Computertomogramm (CT) oder mit einem DVT lassen sich die zu untersuchenden Areale exakt darstellen und dreidimensional abschätzen (Abb. 2).

Rechtfertigende Indikationen

Das angewendete Röntgenverfahren sollte im Einklang mit Paragraph 2 der aktuellen Fassung der Röntgenverordnung (RöV) bei möglichst geringer Dosis den größten gesundheitlichen Nutzen für den Patienten aufweisen (ALARA-Prinzip = as low as reasonably achievable)^[5]:

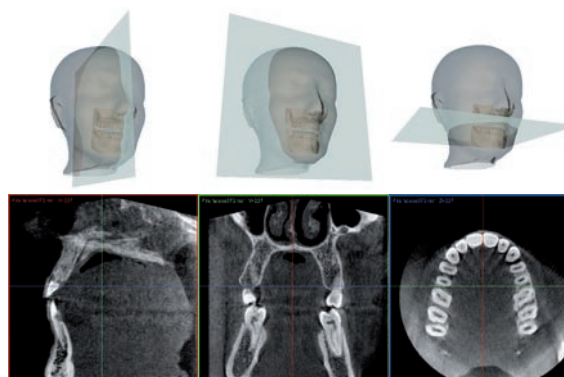


Abb. 2: Zeitsynchrone Darstellung in den relevanten Ebenen (sagittal, transversal, horizontal).

„§ 2a Rechtfertigung

(1) Strahlenexpositionen an Menschen müssen unter Abwägung ihres wirtschaftlichen, sozialen oder sonstigen Nutzens gegenüber der möglicherweise von ihnen ausgehenden gesundheitlichen Beeinträchtigung gerechtfertigt sein.

(2) Medizinische Strahlenexpositionen im Rahmen der Heilkunde, Zahnheilkunde oder der medizinischen Forschung müssen einen hinreichenden Nutzen erbringen, wobei ihr Gesamtpotenzial an diagnostischem oder therapeutischem Nutzen, einschließlich des unmittelbaren gesundheitlichen Nutzens für den Einzelnen und des Nutzens für die Gesellschaft, abzuwägen ist gegenüber der von der Strahlenexposition möglicherweise verursachten Schädigung des Einzelnen.

§ 2b Dosisbegrenzung

Wer eine Tätigkeit nach dieser Verordnung plant, ausübt oder ausüben lässt, ist verpflichtet, dafür zu sorgen, dass die Dosisgrenzwerte dieser Verordnung nicht überschritten werden.

§ 2c Vermeidung unnötiger Strahlenexposition und Dosisreduzierung

(1) Wer eine Tätigkeit nach dieser Verordnung plant, ausübt oder ausüben lässt, ist verpflichtet, jede unnötige Strahlenexposition von Mensch und Umwelt zu vermeiden.

(2) Der jeweilige Stand der Technik ist auch unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten.“

Demnach sind typische Indikationen für die dreidimensionale Bildgebung in der Zahnheilkunde:

- Präimplantologische Diagnostik zur Beurteilung eines begrenzten Kieferabschnittes bezüglich Höhe und Breite des Alveolarfortsatzes
- Kontrolle der Implantatposition
- KFO-Diagnostik
- Positionsfestlegung retinierter und verlagelter Zähne
- Transversale Darstellung von raumfordernden oder anderen pathologischen Prozessen im MKG-Bereich
- Parodontale Erkrankungen
- Kieferhöhlendiagnostik
- Kiefergelenkerkrankungen
- Traumatologie

Planung von Implantationen

Bei diesem Wahleingriff kann bei unkomplizierten Fällen mit ausreichendem Knochenangebot auf ein OPG mit Messkugel zurückgegriffen werden. Die Knochenbreite ist jedoch in der zweidimensionalen Aufnahme nicht zu erkennen und muss ggf. durch das Ausmessen der Schleimhautdicke bestimmt werden. Mit exakten Entfernungsmessungen und weiteren Tools ist beim DVT wegen der Isotropie des Voxels in allen drei Dimensionen eine Betrachtung in den gewünschten Winkeln möglich. Mit speziellen Programmen zur dreidimensionalen Implantatplanung kann die Lage der Implantate entsprechend der tatsächlichen Größe des echten Implantats ausgeführt werden. Im DICOM-Format ist es möglich, die 3D-Aufnahmen in jede beliebige Planungssoftware für Implantate, z. B. von Accurex (US-Swarthmore), Materialise (BE-Leuven) oder Nobel Biocare (CH-Glattbrugg), zu importieren. Das vorhandene Knochenangebot kann ideal ausgenutzt werden und der Behandler kennt bereits im Vorfeld die anatomischen Strukturen. Dies erleichtert ggf. notwendige Augmentationsmaßnahmen und senkt das operative Risiko, woraus kürzere und atraumatischere Operationen resultieren (Abb. 3 und 4)^[6]. Durch die Möglichkeit computergestützt hergestellte exakte Bohrschablonen und / oder computergestützte Navigationshilfen intraoperativ einzusetzen, ist die Umsetzung der OP-Planung weiter erleichtert worden.



Abb. 3: Fallbeispiel: OPG nach Implantation in regio 36 – das Implantat liegt auf der lingualen Seite des N. alveolaris inferior („lateral bypass“-Implantation).



Abb. 4: Koronaler und axialer Schnitt; die Implantation erfolgte lingual des N. alv. inf.

Kieferorthopädie

Für die kieferorthopädische Diagnostik kann ein DVT ebenfalls herangezogen werden, weil sich aus dem dreidimensionalen Datensatz auch seitliche Röntgenbilder generieren lassen. Durch das DICOM-Format ist es möglich, die Bilder in entsprechende Auswertungsprogramme zu importieren. Simulationen und Modell-Operationen sind im Vorfeld von Dysgnathie-Operationen leicht durchzuführen. Zusätzlich sind bei verlagerten oberen Eckzähnen, die in etwa 1 % bis 3 % aller kieferorthopädischen Fälle diagnostiziert werden, die benachbarten Strukturen mit dem DVT dreidimensional darstellbar und die Therapieziele können besser definiert werden. Fehlinterpretationen und falsche Therapiemaßnahmen oder unbefriedigende Behandlungsverläufe aufgrund schlechter Bildqualität lassen sich minimieren. Dies ist insbesondere im Hinblick auf mögliche Resorptionen im apikalen Bereich der angrenzenden Zähne wichtig, weil die Ausprägung der resorbierten Bereiche exakt bewertet werden kann, und daraus die therapeutische Konsequenz resultiert, dass ggf. auch ein stark angegriffener und nicht erhaltungswürdiger Zahn extrahiert werden muss. Des Weiteren kann durch die Neigung der Zahnachsen im Bezug auf die

Mittellinie die Wahrscheinlichkeit für eine Spontaneruption abgeleitet werden. Ist diese nahezu ausgeschlossen, sollte die chirurgische Freilegung und aktive kieferorthopädische Einordnung erfolgen^[7]. Die dreidimensionalen CBVT-Bilder zeigen die Inklination der Wurzeln, impaktierte und überzählige Zähne und ebenfalls die Dicke und Morphologie des Knochens zur Platzierung von Mini-Implantaten (Abb. 5 und 6). Außerdem ist durch die Nachbearbeitungsmöglichkeit das Weichgewebe dreidimensional darstellbar^[8].



Abb. 5: Fallbeispiel: OPG mit überzähliger Zahnanlage (Mesiodens) – Projektion auf regio 11 bis 13.



Abb. 6: Darstellung des Mesiodens coronal, sagittal und axial. Die Lage kann eindeutig mit den Beziehungen zu benachbarten Strukturen bestimmt werden.

Retinierte und verlagerte Zähne

Die Überlegenheit des DVT / CT gegenüber der PSA zur Bestimmung der Lagebeziehung des N. alveolaris inferior zu impaktierten und verlagerten Weis-

heitszähnen steht außer Frage (Abb. 7 und 8)^[9]. Die Weisheitszahnentfernung stellt den häufigsten chirurgischen dentoalveolären Eingriff dar mit den bekannten Risiken der möglichen Nervschädigung (N. alv. inf. und N. lingualis). Das Risiko reversibler Sensibilitätsstörung wird mit 0,4 % bis 13,4 % angegeben, dauerhafter Schäden mit 0,2 % bis 1 %. Hierbei ist das Risiko in Intubationsnarkose höher als bei der Behandlung mit einem Lokalanästhetikum^[10-12]. Ab dem 25. Lebensjahr steigt die Komplikationsrate^[13, 14]. Die erreichbare Risikominimierung muss bei der Wahl des diagnostischen Hilfsmittels in Betracht gezogen werden. Bei einer kürzlich durchgeführten Studie konnten bei 107 Patienten insgesamt 176 UK-Weisheitszähne mit

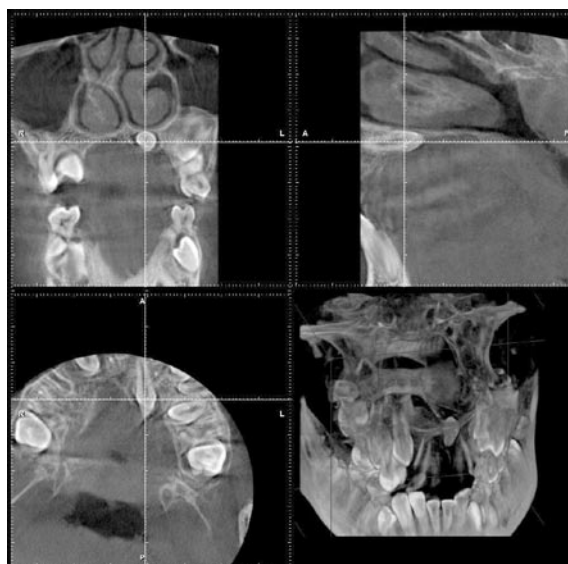


Abb. 7: Fallbeispiel: Abgelenkter Frontzahn mit Darstellung in den relevanten Ebenen coronal, sagittal und axial, zusätzlich die räumliche Darstellung. Die knöchernen Begrenzungen zum Nasenboden ist bereits resorbiert.

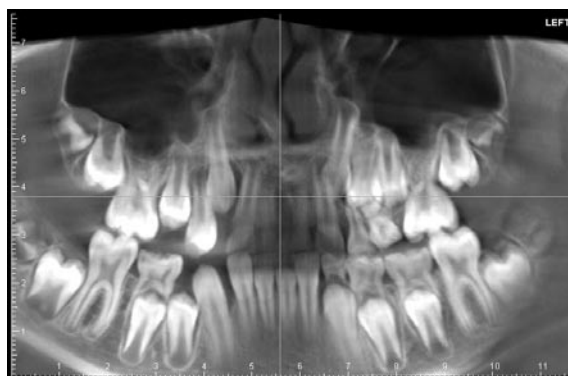


Abb. 8: OPG: Der verlagerte Zahn in regio 21 ist aufgrund der Lage außerhalb der Schicht schwer zu diagnostizieren und zu lokalisieren.

enger Lagebeziehung des N. alveolaris inferior nach präoperativer Diagnostik durch ein DVT ohne temporäre oder dauerhafte Nervschädigung operativ entfernt werden^[15]. Auch bei Implantationen ist so eine Reduktion des operativen Risikos um 50 % bis 60 % erreichbar^[16]. Des Weiteren gilt das DVT dem CT als überlegen, weil die Metallartefakte geringer und die Expositionszeiten kürzer sind^[17]. Holberg et al. weisen dem Dental-CT in Hinblick auf die Genauigkeit der Darstellung der Wurzeln und des umgebenden Knochens die bessere Darstellungsqualität zu^[18].

Raumfordernde Prozesse und andere pathologische Knochenläsionen

Für raumfordernde zystische Veränderungen im MKG-Bereich ist die Diagnostik in mindestens zwei Ebenen obligat. Oft werden Zysten in der Übersichtsaufnahme (OPG) als Zufallsbefund diagnostiziert. Sie imponieren als rundliche Aufhellungen, die glatt begrenzt sein und mehrere Kammern aufweisen können. Die begrenzende Knochenlamelle stellt sich als dünne Verschattungslinie dar. Die Differentialdiagnosen sind vielfältig und reichen von den odontogenen Zysten über die nicht odontogenen Zysten bis hin zu den so genannten Pseudozysten. Ist die Abgrenzung zum umgebenden Knochen schlecht möglich, so müssen Tumore, Sarkome, Metastasen und Plasmozytome berücksichtigt werden. Das verdrängende oder auch infiltrierende Wachstum macht eine genaue Abgrenzung zu wichtigen anatomischen Strukturen notwendig – und hierfür ist die dreidimensionale Bildgebung ideal geeignet. Weitere Möglichkeiten ergeben sich durch die Diagnostik der fibrösen Dysplasie und avaskulärer Knochennekrosen infolge von Bisphosphonat-Therapie^[19]. Das räumliche Bild erlaubt zusätzlich die Inspektion des umgebenden Knochens, sodass mögliche Sequester erkannt werden können. Betreffen die Infiltrationen auch das Weichgewebe, sollte dem CT aufgrund der besseren Weichteildarstellung der Vorzug gegeben werden.

Parodontologie

Parodontale Erkrankungen müssen in die Indikationsliste des DVT aufgenommen werden, weil sich im sonst üblichen Zahnstatus mit den Summationsauf-

nahmen die knöchernen Defekte nicht in ein-, zwei- oder dreiwandige Knochentaschen einteilen lassen. Die Visualisierung der zu erwartenden Situation eines operativen Eingriffs ist für den Behandler präoperativ leicht möglich. Die Defekte lassen sich eindeutig detektieren und quantifizieren (Abb. 9)^[20, 21].

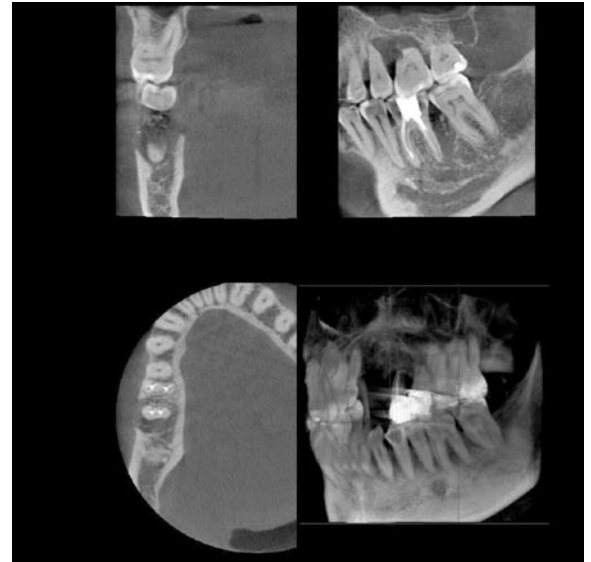


Abb. 9: Fallbeispiel: Der dreiwandige Defekt an der distalen Wurzel 46 ist gut sichtbar. Nach erfolgter Wurzelkanalbehandlung konnte eine GBR durchgeführt werden.

Kieferhöhlen- und Nasennebenhöhlendiagnostik

Die knöcherne Begrenzung der pneumatisierten Lumen der Kieferhöhlen macht diese im DVT gut sichtbar. Sind pathologische raumfordernde Prozesse vorhanden, werden diese als Verschattungen, welche die Lumina der Kieferhöhlen einengen können, dargestellt. Die Abgrenzung zur gesunden Kieferhöhle ist bei entzündlichen, traumatischen oder durch Neoplasien bedingten Strukturveränderungen leicht möglich, ebenso lassen sich Fremdkörper lokalisieren und identifizieren^[19].

Kiefergelenk

Resorptionen, hyperplastisches Wachstum oder andere Anomalien der Kondylen sowie morphologische Unterschiede beider Seiten können visualisiert werden^[8]. Auch Hilgers et al. unterstreichen die Eignung zur TMJ-Untersuchung mit einer exakten

und wirklichkeitsgetreuen Darstellung^[22]. Bei einer weitestgehend überlagerungsfreien DVT-Aufnahme entfallen die störenden Summationseffekte und die oft schwierige Positionierung des Patienten der klassischen PSA. Kleine Strukturveränderungen lassen sich in der Schichtaufnahme aufgrund der Schichtdicke nicht zuverlässig diagnostizieren, ebenso wie die angrenzenden Gewebe. Sollen Weichgewebestrukturen wie z. B. der Discus articularis detailliert untersucht werden, so muss auf die Magnetresonanztomografie (MRT) ausgewichen werden^[19].

Traumatologie

Frakturen im Bereich des Mund-, Kiefer- und Gesichtsbereichs lassen sich exakt im DVT/CT diagnostizieren und lokalisieren. Die knöchernen Strukturen können in allen Ebenen betrachtet werden, sodass immer die passende zweite Ebene vorhanden ist und der Patient nicht umgelagert werden muss. Das DVT wird in der Regel bei einem Patient infolge eines Traumas im Mund-, Kiefer- und Gesichtsbereich nicht als primäre Röntgendiagnostik Einzug erhalten, weil zum Ausschluss weiterer cranieller Schäden (Forensik) das CT mit seinen Möglichkeiten, unabhängig von der Detektorgröße den zu untersuchenden Bereich zu wählen, im Vorteil ist.

Kariesdiagnostik

Einige Autoren sehen in der Kariesdiagnostik eine weitere Anwendungsmöglichkeit der digitalen Volumetomografie. In einer aktuellen Studie wurde die Überlegenheit des DVT gegenüber der klassischen Bissflügelaufnahme hervorgehoben, mit einer Sensitivität von 80 % und einer Spezifität von 96 %. Wegen der Summationseffekte ist mit den Bissflügelaufnahmen nur in etwa einem Drittel der Fälle die richtige Identifikation der approximalen Läsion möglich gewesen^[23]. Auch bei okklusalen Läsionen konnte die Überlegenheit des DVT gegenüber herkömmlichen Röntgenaufnahmen dargelegt werden^[19].

Strahlenhygiene und kritische Betrachtung

Die Strahlendosisreduktion mit Werten von 40 % bis 70 % je nach Aufnahme durch die Ver-

wendung digitaler Röntgentechnik ist unbestritten^[24, 25]. Basierend auf Untersuchungen zur Strahlenexposition des Mittelgesichts lässt sich für eine PSA eine mittlere Energiedosis von 0,4 mGy bis 0,5 mGy errechnen^[26, 27]. Andere Studien ergaben Maximaldosen von 0,25 mGy, 0,61 mGy und 0,65 mGy^[28]. Bei einer transversalen Schichtaufnahme liegt die mittlere Energiedosis geringfügig über diesen Werten^[29]. Eine DVT liegt ungefähr um den Faktor 10 höher (5 mGy) und eine Mehrzeilen-Spiralcomputertomografie mit bereits adaptierten Expositionsparametern kommt auf eine Energiedosis von über 10 mGy. Jedoch haben neuere Studien ergeben, dass Niedrigdosis-CT mit 43 mA in der Strahlenbelastung im Bereich der DVT liegen^[30-34]. Beim CT kann bei entsprechender Fragestellung die Dosis im Vergleich zu einem Standard-CT um den Faktor 9 reduziert werden, ohne dass es zu Einbußen in der Aussagequalität kommt^[34, 35]. In Bezug auf die metrische Genauigkeit ist eine Reduzierung der Dosis um bis zu 76 % ohne Bedeutung^[31]. Ludlow et al. weisen aber darauf hin, dass die Strahlenexposition des Patienten auch von den verwendeten CT beziehungsweise DVT und insbesondere vom gewählten FOV und weiteren Einstellungsparametern abhängig ist^[36]. Weitere Studien sind notwendig, um diese beiden Systeme miteinander zu vergleichen, und festzustellen, welche Technik in welcher speziellen Fragestellung Vor- und / oder Nachteile aufweist. Dies gilt insbesondere in Hinblick auf die Strahlenhygiene bei hinreichender Genauigkeit in Bezug auf die Diagnostik sowie auch auf die entstehenden Kosten. Mittlerweile sind viele DVT auf dem Markt erhältlich. Diese unterscheiden sich in einigen Details (Scanzeit, FOV, Auflösungsvermögen etc.) von einander und der Anwender muss sich entscheiden, welches Gerät mit welchen Parametern am besten zu seinem Aufgabengebiet passt.

Dass das DVT als diagnostisches Hilfsmittel zur Kariesdiagnostik zur Diskussion steht, muss dem praktisch tätigen Zahnarzt zu denken geben. Bei den gängigen zur Verfügung stehenden Hilfsmitteln wie Bissflügelaufnahme, FOTI (Faseroptische Transillumination) und insbesondere dem klinischen Blick des erfahrenen Behandlers sollte eine solche Diagnostik im Sinne des Strahlenschutzes auf herkömmliche Art erfolgen.

	Grundfläche [m]	Mit Pan / Ceph	Sensortyp	Voxelgröße [mm]	Feldgröße (Zylinder) [cm]	Scanzeit [s]	gepulste Röntgenstrahlen
Planmeca ProMax 3D Planmeca (FI-Helsinki)	1,5x1,6	ja (separater Sensor)	Flachbild-Detektor	0,16	8x8 / 8x5 / 5x4	18	ja
3D Accuitomo J. Morita (D-Dietzenbach)	1,6x1,2	nein	Linien-detektor	0,125	4x4 bis 8x8	17	nein
i-Cat Imaging Sciences (US-Hatfield)	1,0x1,2	ja (aus Daten rekonstruiert)	Flachbild-Detektor	0,125 / 0,2 / 0,4	variabel 6x6 bis 16x22	10 / 20 / 40	ja
NewTom VG NewTom (D-Marburg)	1,25x1,5	ja (aus Daten rekonstruiert)	Flachbild-Detektor	0,16 / 0,32	16x15	20	ja
GALILEOS Sirona Dental Systems (D-Bensheim)	1,8x1,8	ja (aus Daten rekonstruiert)	Flachbild-Detektor	0,15-0,3	bis 15x15	14	ja
Picasso Trio Orangedental (D-Biberach)	2,1x1,8	ja (separater Sensor)	Flachbild-Detektor	0,2	12x7	15 bis 24	ja
Iluma Kodak (D-Stuttgart)	1,1x1,4	ja (aus Daten rekonstruiert)	Flachbild-Detektor	0,09 / 0,2 / 0,3 / 0,4	bis 19x24	20	ja
3D eXam KaVo Dental (D-Biberach)	1,16x1,22	ja (aus Daten rekonstruiert)	Flachbild-Detektor	0,125 / 0,3 / 0,4	8x8 / 16x13 / 23x17	5, 8,5 bis 24 (high)	ja
Veraview-epocs 3D J. Morita (D-Dietzenbach)	1,3x1,5	ja (im Gerät integriert)	Flachbild-Detektor	0,125-0,2	4x4 / 4x8 / 8x8	9,4	ja
SCANORA 3D SOREDEX (D-Schutterwald)	1,5x1,1	ja (im Gerät integriert)	Flachbild-Detektor	0,15 / 0,2	6x6 bis 7,5x14,5	10 bis 20	ja
SkyView MyRay (I-Imola)	1,5x2,4	ja (aus Daten rekonstruiert)	Flachbild-Detektor	0,14 / 0,2	7x7 / 11x11	10 / 15 / 20	ja
CB MercuRay Hitachi (D-Wiesbaden)	2,0x1,9	ja (aus Daten rekonstruiert)	Linien-detektor	0,1 / 0,4	5x5 bis 19x19	10	nein

Tabelle 1: Vergleich aktueller Volumentomografen

Technik	Effektive Dosis (µSv)	Risiko eines tödlichen Krebs (pro Million)	Literatur
Intraorale Aufnahme	1-8,3	0,02-0,6	37, 38, 16, 39
Anteriore Maxilla okklusal	8	0,4	16
Panorama	3,85-30	0,21-1,9	26, 16, 40, 41, 42
Laterale Kephalemetrie	3	0,34	39, 43, 44, 29
TSA	1-189	1-14	45, 16,40, 25, 46
CT UK	364-1202	18,2-88	45, 47, 25
CT OK	100-3324	8-242	45, 47, 25

Tabelle 2: Effektive Dosis und Risiko des stochastischen Effekts.

Effektive Ortsdosis in mSv	OPG	DVT	CT (normal) 94 mA	CT (reduziert) 60 mA	CT (niedrig) 43-47 mA
Augenlinse	0,1	1,5	2,3	1,15	0,75
Schilddrüse	0,1	0,9	4,06	2,54	1,03
Literatur	30, 48, 33, 1	49, 33	30, 34, 31, 33	30, 34, 31, 33	30, 34, 31, 33

Tabelle 3: Effektive Ortsdosen im Vergleich.

Im Rahmen zunehmender Implantationszahlen ist auch ein Anstieg der durchgeführten CT zu verzeichnen – eine Entwicklung, die vor allem aufgrund der rechtfertigenden Indikation der novellierten Röntgenverordnung kritisch hinterfragt werden muss. Neben der bedeutenden Strahlenbelastung verursacht das CT zudem höhere Kosten bei teilweise fraglicher Indikation. Die digitale TSA mit ihren Möglichkeiten der einfach durchzuführenden Abstands- und Winkelmessung kann zumindest in einigen Fällen eine Alternative zum DVT beziehungsweise CT darstellen. Die Art der präoperativen Aufnahme sollte abhängig von der Zahl der zu inserierenden Implantate sowie von der Fragestellung, ob größere augmentative Verfahren zur Anwendung kommen müssen, gewählt werden. In einem solchen Fall wird das CT empfohlen^[50]. In vielen anderen Fällen kann die TSA einen hohen Informationsgehalt und eine präoperative Planungssicherheit mit einer deutlich geringeren Strahlenbelastung kombinieren.

Risiken und forensische Aspekte der implantologischen Behandlung

Von Sonderfällen abgesehen, gliedert sich das Patientengut eines Zahnarztes in Kassenpatienten und Privatpatienten. Im Bereich der implantologischen Behandlung ist bislang fast jeder Patient Privatpatient. Der Behandlungsvertrag zwischen Zahnarzt und Privatpatient ist ein Dienstvertrag. Jeder zahnmedizinische und operative Eingriff stellt nach der Rechtsprechung eine Verletzung von Körper oder Gesundheit dar. Diese verpflichtet den Zahnarzt, wenn sie rechtswidrig und schuldhaft geschieht, nach den §§ 823, 847, 249 ff. BGB zum Ersatz eines daraus entstehenden Schadens. Die §§ 823 ff. BGB regeln das Recht der unerlaubten Handlung (Deliktsrecht). Die zahnmedizinische Behandlung ist zulässig, wenn folgende drei Voraussetzungen erfüllt sind: Indikation, Aufklärung, Einwilligung.



Medizinprodukte
aus Hochleistungskeramik

Premiumwerkstoffe und
modernste Fertigungstechnologien

Dentaltechnik

- > CAD/CAM-Rohlinge
- > Abutments
- > Implantate

Pharmazeutische Industrie

- > Kolben, Buchsen
- > Förderschnecken

Chirurgie

- > Implantate

Qualitätsmanagement-

system nach
DIN EN ISO 13485:2003
für Medizinprodukte



- > **Hersteller: 2,8 Mio. eingegliederte Einheiten**
- > **Abgesicherte biokompatible Qualität**
- > **Konstante Schrumpfungsfaktoren**
- > **Voreingefärbt, ohne Festigkeitsverlust**
- > **Höchste Beständigkeit, großspannige Gerüste**



DOCERAM[®]
MEDICAL CERAMICS



Made in Germany

Certified Company

DIN EN ISO 9001:2000

MOESCHTER GROUP

Hesslingsweg 65 – 67
D - 44309 Dortmund
Phone: +49 (0) 231/92 56 68 0
www.doceram-medical.com

IDS Köln
(H 11.2/K 058)

> **“Gesund durch Keramik”**
perfekte Technik - perfektes Aussehen!

Jede indizierte und Heilzwecken dienende Behandlung ist rechtlich nur zulässig, nachdem der Patient in die Behandlung eingewilligt hat. Die Einwilligung des Patienten ist wiederum nur wirksam, wenn er vor dem Eingriff über die mit dem Eingriff verbundenen Risiken aufgeklärt worden ist. Fehlt es an der Aufklärung, dann hat der Patient nach neuerer Rechtsprechung selbst dann Anspruch auf Schmerzensgeld, wenn der Eingriff vital indiziert war, lege artis durchgeführt und durch den Eingriff

dem Patienten kein Schaden zugefügt wurde. Dies verdeutlicht, dass die Aufklärung des Patienten mit dem Selbstschutz des Behandlers einhergeht und insbesondere die präoperative Diagnostik zunehmend an Bedeutung gewinnt. Die dreidimensionale bildgebende Diagnostik im Einklang mit der Röntgen spielt dabei eine besondere Rolle. ■

Die Literaturliste kann bei der Redaktion angefordert werden.

Dr. Sebastian Bürklein
Bochum, Deutschland



- 2003 Approbation
- 2005 Promotion
- 2003-2006 Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Poliklinik für Zahnerhaltung des Universitätsklinikums Münster
- seit 2006 Weiterbildungsassistent für Oralchirurgie an der Zahnklinik Bochum, Prof. Dr. Jöhren

Kontakt: info@zahnbehandlungsangst.com

Dr. Christian Späth
Bochum, Deutschland



- 2000-2005 Studium der Zahnheilkunde in Greifswald und Helsinki
- 2005 Approbation
- 2006-2007 Vorbereitungsassistent in Düsseldorf und Bochum
- seit 2007 Weiterbildungsassistent für Oralchirurgie an der Zahnklinik Bochum, Prof. Dr. Jöhren
- 2008 Promotion

Prof. Dr. Peter Jöhren
Bochum, Deutschland



- 1989 Approbation und Promotion
- 1989-1992 Weiterbildung Oralchirurgie in der MKG-Chirurgie, Knappschaftskrankenhaus Recklinghausen
- 1993 Oberarzt in Witten/Herdecke, Abteilung für zahnärztliche Chirurgie
- 1996 Ltd. Oberarzt der Zahnklinik Witten/Herdecke
- 1997 Leiter der Klinischen Administration der Zahnklinik Witten/Herdecke
- 2000 Habilitation
- 2001 Gründung der Zahnklinik Bochum der Augusta-Kranken-Anstalt und des Therapiezentrum für Zahnbehandlungsangst in Kooperation mit der Universität Wuppertal / Vorsitzender des Arbeitskreises für Psychologie und Psychosomatik der DGZMK
- 2004 Beirat der Akademie für Praxis und Wissenschaft