

Unterlagen zum

Kurs Aktualisierung der

Fachkunde im Strahlenschutz gemäß § 18a RÖV

für Zahnärzte

von

Prof. Dr. Uwe J. Rother

Digitale Volumentomographie Praxis

Bramfelder Chaussee 484

22175 Hamburg

eMail: rother-dvtp@alice.de

- Stand 03.06.10 -

Inhalt

1. Einleitung

2. Neue Entwicklungen der Bildgebenden Diagnostik in der Zahnheilkunde und Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie unter besonderer Berücksichtigung des Strahlenschutzes
 - 2.1 Aufnahmeverfahren
 - 2.2 Röntgenfilm, Filmverarbeitung
 - 2.3 Digitale Technik

3. Die Strahlenexposition und Wechselbeziehung ionisierende Strahlung/Materie

4. Die novellierte Röntgenverordnung und ihre praktische Bedeutung

5. Das System der Qualitätssicherung in der Bildgebenden Diagnostik der Zahnheilkunde und Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie

1. Einleitung

Das Wissen im Umgang mit ionisierender Strahlung hat sich seit der letzten Röntgenverordnung (1988) wesentlich erhöht, so dass ihre Novellierung (01.07.2002) unumgänglich wurde. Hinzu kam, dass EURATOM-Richtlinien wie z. B. die Grundnorm 96/26 von 1996 oder die sogenannte Patientenschutz-Richtlinie 97/43 von 1997 berücksichtigt und in die nationale Gesetzgebung integriert werden mussten.

Trotz der Entwicklung bildgebender Verfahren ohne ionisierende Strahlung (Sonographie, Magnetresonanztomographie) steht die konventionelle und digitale Röntgendiagnostik im Vergleich zu den anderen klinischen Anwendungsgebieten ionisierender Strahlung in der Medizin – der Nuklearmedizin und Strahlentherapie – klar an der Spitze (Verhältnis etwa 100: 1: 1).

Die Bildgebende Diagnostik der Zahnheilkunde und Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie kann heute durch ihre beachtlichen gerätetechnischen Entwicklungen, durch die Maßnahmen der Qualitätssicherung gemäß § 16 RöV und durch die gute Verknüpfung von klinischer Forschung und industrieller Produktion zu den modernen Applikationsbereichen ionisierender Strahlung gerechnet werden, der dazu überschaubar und zukunftsorientiert ist. Durch eine Zahl von über 23 Millionen Aufnahmen im Jahr, die in der Zahnheilkunde angefertigt werden, ergibt sich eine hohe Verantwortung der Behandler gegenüber Patienten und Personal, die sie in einer strengen rechtfertigenden Indikation, in der exakten Durchführung der Aufnahmen und einer kompetenten Befundableitung widerspiegeln muss. Es sind relativ kleine Dosen, mit denen wir in der Regel in der Zahnheilkunde arbeiten. Die Besonderheit besteht aber darin, dass man im Strahlenschutz heute davon ausgeht, dass zwischen dem Risiko einer Strahlenexposition und der applizierten Strahlendosis eine lineare Dosis-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellenwert besteht.

Mit der Kursdurchführung zur Aktualisierung der Fachkunde im Strahlenschutz möchten wir einmal den gesetzlichen Anforderungen gerecht werden und zum anderen das Interesse und Engagement hinsichtlich der optimalen Anwendung ionisierender Strahlung in der Zahnheilkunde und Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie weiter verbessern.

2. Neue Entwicklungen der Bildgebenden Diagnostik in der Zahnheilkunde und Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie unter besonderer Berücksichtigung des Strahlenschutzes

2.1 Aufnahmeverfahren

Im diagnostischen Konzept der Bildgebenden Diagnostik werden heute Basis-, befundbezogene- und weiterführende Untersuchungen unterschieden (Tab.1).

Während die Basisuntersuchung eine Übersichtsdarstellung der Organ- und Funktionseinheit zum Ziel hat, werden mit befundbezogenen Untersuchungen die gezielte Abklärung einer konkreten Fragestellung (resultierend aus der klinischen Untersuchung oder einem durch die Basisuntersuchung erkannten unklaren Befund) angestrebt.

Weiterführende Untersuchungen erfolgen mit Geräten der Allgemeinen Bildgebenden Diagnostik, die nicht durch Zahnärzte oder spezielle diagnostische Einrichtungen der Zahnheilkunde betrieben werden.

Tab. 1: Untersuchungsverfahren der Bildgebenden Diagnostik in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde und Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie

A. Basisuntersuchungen

- Panoramaschichtaufnahme (PSA)
- Röntgenstatus (Serie von intraoralen Einzelaufnahmen)

B. Befundbezogene Untersuchungen

- Zahnfilm (Paralleltechnik)
- (Zahnfilm Halbwinkeltechnik)
- Bissflügelaufnahme
- Endodontische Aufnahmetechnik (EndoRay II)
- Okklusalaufnahme
- Transversale Panoramaschichtaufnahme (TSA)
- Digitale Volumetomographie
- Schädelaufnahmen

C. Weiterführende Untersuchungen

- Ultraschall
- Magnetresonanztomographie (MRT)

- Computertomographie (CT)
- Angiographie

Mit den modernen Panoramageräten werden heute sowohl die Basisuntersuchung als auch (über Zusatzprogramme) befundbezogene Untersuchungen (z. B. die TSA) realisiert. Das Verfahren arbeitet nach dem Schichtprinzip, wobei von besonderer Bedeutung die röhrennahe Primärschlitzblende und die filmnahe Sekundärschlitzblende sind (das Panoramanschichtaufnahmeverfahren wird deshalb auch als Schlitzblendentechnik bezeichnet). Mit der Primärschlitzblende wird ein schmales Nutzstrahlenbündel erzielt, während die Sekundärblende das zu belichtende Filmareal freigibt und Streustrahlung in Richtung Film abfängt. Mit der Panoramanschichtaufnahme (PSA) wird für jedes Darstellungsareal ein Schichtwinkel von 8-13° erreicht, womit die Dicke der Abbildungsschicht größer als 0,8 cm und deshalb die PSA-Technik als Zonographie zu bezeichnen ist.

Im Frontzahnbereich beträgt die Schichtdicke etwa 0,9 cm und im Seitenzahnggebiet etwa 2,8 cm. Der Strahler ist bei der PSA um ca. 7° caudo-cranial zur Horizontalebene ausgerichtet (bei der Abbildung dichter Wischschaten der jeweiligen Gegenseite gut erkennbar, die dann immer etwas höher projiziert werden).

Die intraoralen Aufnahmen haben gegenüber der PSA ein wesentlich höheres Auflösungsvermögen und besitzen im befundbezogenen Einsatz einen hohen Stellenwert. Um eine möglichst größenrichtige Darstellung von Zahn, Zahnhalteapparat und umgebender Struktur bei geringster Strahlenexposition zu erreichen, ist heute die **Paralleltechnik** die uneingeschränkte Methode der Wahl.

Die Aufnahmen im Frontzahnggebiet werden im Film-Hochformat und die des Seitenzahnggebietes im Querformat angefertigt. Um die apicalen und periapicalen Abschnitte ausreichend abbilden zu können, sind der bestückte Filmhalter im Bereich der tiefsten Gaumenwölbung, bzw. in den Mundboden parallel zur Zahnachse einzubringen. In schwierigen Situationen (z. B. Würger) kann der Filmhalter auch auf die Zunge gesetzt werden.

Durch den Einsatz eines zusätzlichen Blendeneinschubes kann die Aufnahmequalität verbessert und die Strahlenexposition reduziert werden. Der Blendeneinschub wird lediglich in die Tubusöffnung eingesteckt. Das dann exponierte

Areal ist auf die Filmgröße 2x3, bzw. 3x4 cm abgestimmt. Mit dem Blendeneinschub ist ein exaktes Zentrieren erforderlich.

Die *Halbwinkeltechnik* sollte heute nur noch in Ausnahmefällen eingesetzt werden (z. B. Unmöglichkeit der Positionierung eines Filmhalters, Überempfindlichkeit des Patienten). Die Vorteile der Paralleltechnik gegenüber der Halbwinkeltechnik sind:

- Keine Probleme beim Einstellen des Strahlers, deshalb weniger Fehlbelichtungen
- Unbedeutende Vergrößerung und Verzeichnung
- Wegen des Halters kaum Risiko, den Film zu verbiegen
- Vermeidung der Strahlenexposition des Haltefingers
- Verbesserung der hygienischen Bedingungen

Die **Bissflügelaufnahme**, die bei der Erkennung

- kariöser Läsionen (incl. Sekundärkaries und Kariesrezidiv) sowie deren Ausdehnung in Richtung Pulpa,
- der Therapiekontrolle restaurativer Maßnahmen,
- der Erfassung von Veränderungen des marginalen Parodontiums

einen unverändert hohen Stellenwert besitzt, wird heute mit einem Haltersystem und Visierring angefertigt. Auch für die digitale Aufnahmetechnik steht eine entsprechende Halterlösung zur Verfügung! Für die Darstellung des gesamten Seitenzahngebietes sind zwei Aufnahmen im Format von 3x4 cm erforderlich. Das im Handel erhältliche Spezial-Bissflügel-Format von 2,5x5,5 cm hat sich nicht bewährt. Die Randpartien des Darstellungsareals werden nicht ausreichend orthoradial projiziert und so kommt es zu einer verzerrten Abbildung, die keine ausreichende diagnostische Sicherheit gewährleistet.

Mit der **endodontischen Aufnahmetechnik** können Messungen am Zahn und Wurzelkanalsystem sowie Kontrollen der Kanalaufbereitung vorgenommen werden. Messungen dieser Art sind lediglich von orientierendem Wert und haben keinen Anspruch auf absolute Exaktheit, da eine räumliche Struktur auf einer zweidimensionalen Unterlage vermessen wird. Da jedoch die räumlichen Ausdehnungen gering sind und unter der Voraussetzung exakter Aufnahmebedingungen sind die Messungen reproduzierbar und für eine korrekte endodontische Versorgung brauchbar und hilfreich.

Die endodontische Aufnahmetechnik orientiert sich grundlegend an den Darstellungsprinzipien der Paralleltechnik und ist unter Kofferdambedingungen durchführbar.

Durch eine stegförmige Konstruktion der Aufbissfläche des EndoRay II -Halters (U-förmige Aussparung) können die Wurzelkanalinstrumente für die Röntgenaufnahme im Kanalsystem des Zahnes belassen werden. Beim EndoRay II-Halter wird die Verbindung Visierringstab und Stegkonstruktion über einen Steckkontakt hergestellt.

Durch den hohen Anspruch an Diagnostik, Therapieplanung und Nachsorge (z. B. in der Implantologie, der Beurteilung von zystischen oder anderen Raumforderungen, bei der Beurteilung von Zahnverlagerungen und –retentionen, in der Traumatologie, beim Auffinden und Lokalisieren von Fremdkörpern u.v.a.m.) stehen alle Zahnärzte und Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgen zunehmend vor der Notwendigkeit des Einsatzes der bildgebenden Diagnostik in mindestens 2 Ebenen.

Realisiert wird die Forderung der räumlichen Darstellung von Zahn, Zahnhalteapparat, Kiefer- und angrenzende Strukturen durch die **klassische Okklusalaufnahme** (Aufbissaufnahme), wobei hier einige wichtige Besonderheiten (Oberkiefer!) zu bedenken sind, durch die TSA und durch die für die Zahnheilkunde neuartige Technik der dentalen Volumetomographie (DVT).

Mit der Größe 5x7 cm ist die **Okklusalaufnahme** das größte intraorale Aufnahmeformat. Dem Anspruch – Darstellung einer zweiten Ebene – wird allerdings nur die Projektion Okklusalaufnahme Unterkiefer axial gerecht. Der Zentralstrahl verläuft in axialer Richtung von caudal nach cranial. Zahn- sowie Knochenstrukturen werden ineinander projiziert und die vestibuläre und linguale Knochenbegrenzung kann gesondert betrachtet werden. In Kombination mit der PSA oder einer anderen intraoralen Aufnahme kann auf diese Weise eine räumliche Betrachtung erfolgen. **Die Okklusalaufnahmen besitzen im Vergleich mit dem Film-Folien-System der PSA eine deutlich höhere Auflösung und bessere Zeichenschärfe.**

Die Darstellung Okklusalaufnahme Unterkiefer Halbwinkel stellt keine echte 2. Ebene dar, sondern erfüllt die Anforderung der Erfassung eines größeren Unterkieferabschnittes (im Vergleich mit den intraoralen Aufnahmen) unter den Bedingungen einer sehr guten Auflösung. Vorzugsweise findet diese Projektion Einsatz bei der Erfassung und Darstellung feiner Frakturlinien.

Ein weiteres bedeutungsvolles Verfahren im Unterkieferbereich ist die

Mundbodenübersicht. Der Zentralstrahl verläuft von caudal nach cranial durch das Zentrum des Mundbodens. Die Aufnahme dient der Darstellung kontrastgebender Strukturen (Speichelsteine, Fremdkörper) im Mundboden. Bei der Mundbodenübersicht muss bedacht werden (Gefahr der Überbelichtung), dass die Belichtungsparameter dem Weichteil-Objektumfang angepasst sind (Belichtungszeit um die Hälfte gegenüber der klassischen Okklusalaufnahme reduzieren).

Eine besondere Situation besteht im Oberkiefer:

Eine echte 2. Ebene kann mit den Okklusalaufnahmeverfahren im Oberkiefer nicht realisiert werden. Sie wäre nur möglich mit einem axialen cranio-caudal ausgerichteten Verlauf des Zentralstrahls. Das Leistungsvermögen der intraoralen Diagnostik-Einrichtungen ist aber in der Regel für einen so massiven Knochenumfang (Stirnbein, Schädelbasis, Siebbein, Oberkiefer) nicht ausgelegt. So verbleibt lediglich die Okklusalaufnahme Oberkiefer Halbwinkel. Der Zentralstrahl verläuft in einem Winkel von ca. 60° zur Okklusionsebene mit dem Aufbissfilm durch den Alveolarfortsatz (im Front- oder Seitenzahnggebiet). Die Aufnahme besitzt in der Traumatologie und zur Lokalisation von Zahnverlagerungen und –retentionen einen hohen Stellenwert. Für die räumliche Betrachtung stellt sie aber lediglich eine Kompromisslösung dar.

Die modernen Panoramageräte verfügen heute über eine Reihe von Zusatzprogrammen.

Eines der wichtigsten ist die **Transversale Schichtaufnahmetechnik (TSA).**

Mit der TSA wird dem Anliegen der räumlichen Darstellung von Alveolarfortsatz und Kieferstrukturen in besonderer Weise Rechnung getragen. Es werden transversale Kieferschichten in vestibulo-lingualer bzw. vestibulo-palatinaler Richtung realisiert.

Mit den Fragestellungen

- Beurteilung des Knochenangebotes (Alveolarfortsatz)
- Kontrolle der Implantatversorgung
- Weisheitszahn – Lage und Beziehung
- Positionierung verlagelter und retinierter Zähne
- Beurteilung der Ausdehnung raumfordernder Veränderungen

werden heute 3 TSA-Möglichkeiten von verschiedenen Herstellern angeboten:

1. Panoramaartiges Darstellungsprinzip

Hier liegt der Drehpunkt der Bewegung von Strahler und Bildaufzeichnungsebene außerhalb der darzustellenden Schicht und wird die Schicht-Darstellung durch eine unterschiedliche Geschwindigkeit der Abläufe der beiden System-Hauptbestandteile erreicht

2. Lineares Tomographie-Darstellungsprinzip

Hier liegt der Drehpunkt in der darzustellenden Schicht und bewegen sich Strahler und Bildaufzeichnungsebene synchron gegeneinander um diesen Drehpunkt.

Es wäre korrekter nicht von Tomographie, sondern von Zonographie zu sprechen, denn der realisierte Schichtwinkel beträgt lediglich ca. 8-13° (in den Prospektmaterialien der Hersteller wird leider der Tomographie-Begriff genutzt).

3. Flächenförmiges Tomographie-Darstellungsprinzip

Das Verfahren entspricht dem unter 2. beschriebenen Darstellungsprinzip (Drehpunkt in der darzustellenden Schicht). Statt der linearen Ablaufbahn wird jetzt eine flächenförmige Spiral-Bahn genutzt, wobei der Verwischungseffekt der vor und hinter der darzustellenden Schicht liegenden Strukturen deutlich verbessert wird. Da der Schichtwinkel bei dem flächenförmigen Darstellungsprinzip ebenfalls ca. 8-13° beträgt, sollte auch hier besser von flächenförmiger Zonographie gesprochen werden.

Bezüglich der qualitativen Bewertung des Verwischungseffektes der Verfahren ist von einer umgekehrten Reihenfolge (3 nach 1) auszugehen.

Eine völlig neuartige Entwicklung der Bildgebenden Diagnostik in der Zahnheilkunde sowie Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie stellt die **dentale Volumetomographie (DVT)** dar. Die DVT löst heute die Computertomographie (CT) in unserem Fachgebiet weitestgehend ab. Die Vorteile der DVT sind:

- Fachspezifische Anwendung der modernen Schnittbilddiagnostik durch Mund-Kiefer-Gesichtschirurgen und Zahnärzte, die über die entsprechende Sachkunde verfügen. Bei der DVT handelt es sich um ein eigenes Verfahren der Zahnheilkunde.
- Räumliche Rekonstruktionen in allen Ebenen.
- Geringere Strahlenexposition als bei der CT.
- Deutlich weniger Artefakte als bei der CT.

Die DVT arbeitet im Hochkontrastbereich, d.h. im Knochenbereich und benötigt deshalb eine andere Strahlenqualität (ca. 110 kV, 5-15 mAs) als die CT (Knochen- u. Weichteildarstellung, 130 kV, 90 mAs). Aus diesem Sachverhalt resultiert die geringere Strahlenexposition durch die DVT.

Die wichtigsten rechtfertigenden Indikationen für die DVT sind gemäß § 25 der Röntgenverordnung:

- Implantatplanung (Knochenangebot, Mandibularkanal, Augmentation, Implantatswahl, präzise Übertragung der Planung auf den Op-Situs z.B. Bohrschablone, Vermeidung von Komplikationen ggf. Komplikationsmanagement, Verlaufskontrollen).
- Verlagerte Weisheitszähne im Unterkiefer und ihre Beziehung zum Mandibularkanal.
- Darstellung und Beurteilung des Wurzelkanalsystems.
- Erfassung periapikaler entzündlicher Veränderungen und ihre Beziehungen zu den Nachbarstrukturen.
- Verkalkungen (z.B. Speichelsteine).
- Erkennung und Beurteilung der Ausdehnung gutartiger und bösartiger Veränderungen.
- Zahnverlagerungen, Anomalien, Dysgnathien.
- Fremdkörper.
- Traumatologie.

Mit der 2009 veröffentlichten Leitlinie (DGZMK) „Dentale Volumentomographie“ haben sich alle Fachgebiete der Zahnheilkunde zu diesem neuen Schnittbildverfahren bekannt und ihre jeweiligen rechtfertigenden Indikationen darin aufgelistet. Entsprechend der wissenschaftlich-technischen Entwicklung wird diese Leitlinie etwa im 2-Jahres-Rhythmus aktualisiert und präzisiert werden müssen.

Es sind bereits eine Vielzahl von Geräten auf dem Markt (manche Hersteller bieten bereits mehrere Gerätevarianten an).

Bei der Gerätespezifik sind folgende Parameter zu bedenken:

1. Rotation. Eine Vielzahl von Herstellern realisieren einen Umlauf von 360°, anderen genügen 210 und 191°. Wichtig wäre festzuhalten, dass von DVT erst bei einem Umlauf von 190° gesprochen werden kann.
2. Field of View (FOV). Die dargestellte Feldgröße ist für die tägliche Arbeit von großer Bedeutung. Gegenwärtig sind folgende Gerätevarianten im Angebot:

- A. Geräte mit einem kleinen FOV (unter 8x8x8 cm)
- B. Geräte mit einem mittleren FOV (unter 15x15x15 cm)
- C. Geräte mit einem großen FOV (ab 15x15x15 cm)

Bei den Geräten unter A wird etwa ein Quadrant abgebildet. Die B-Geräte erfassen etwa einen Kiefer und die C-Geräte stellen Unterkiefer und Mittelgesicht bis zur Schädelbasis dar.

Eine interessante Variante wird mit dem **Stitching-Verfahren** (stitching-verknüpfen) angeboten. Um eine gesamte Einzelkiefer (Ober- oder Unterkiefer)-Darstellung zu erreichen, ist bei den A-Geräten (kleine Felder) ein dreimaliger Umlauf erforderlich und werden die Daten verknüpft, so dass eine größere Felddarstellung möglich ist. Das Verfahren ist technisch machbar, muss aber als Kompromisslösung angesehen werden, da sich jetzt die Strahlenexposition erhöht.

3. Panoramaschichtaufnahme, Fernröntgen

DVT-Geräte können primär im Hochkontrastbereich lediglich eine **panoramaartige** Aufnahme (nur Knochendarstellung) erstellen. Dabei handelt es sich um eine orientierende, aber nicht vollwertige Panoramaaufnahme. Erst wenn das Schlitzblendenverfahren integriert ist, können ordnungsgemäße Panoramaaufnahmen (mit einer vertretbaren Strahlenexposition) angefertigt und abgerechnet werden. Der Länderausschuss Röntgenverordnung (LA RöV) nimmt dazu mit einem Beschluss im Mai 2009 wie folgt Stellung:

„Die Erstellung eines 3-D Datensatzes mittels eines DVT-Gerätes zur ausschließlichen Anfertigung einer Panoramaschichtaufnahme als alternatives Verfahren zur Herstellung einer 2-D Panoramaschichtaufnahme mit einem Panoramaschichtgerät ist nach dem heutigen Stand der Technik nicht zulässig.“

Eine ähnliche Situation ergibt sich für die Fernröntgenaufnahme. Auch hier muss ein Cephalostat und die entsprechende Aufnahmetechnik installiert sein, um in einer Kombinationsvariante ordnungsgemäße (und auch hier unter dem Gesichtspunkt die Strahlenexposition vertretbare) Aufnahmen herzustellen. Zu empfehlen ist dabei das One-shot-Prinzip.

2.2 Röntgenfilm, Filmverarbeitung

Ein Röntgenfilm ist doppelseitig begossen. Auf einer Filmunterlage (Polyester) ist zu beiden Seiten aufgetragen - eine Haftschrift (Gelatine und Kunststoff), jeweils eine Emulsionsschicht (Silberbromid und Gelatine) und nach außen abschließend eine Schutzschicht (gehärtete Gelatine oder ein Harz).

Durch die doppelseitige Beschichtung des Röntgenfilms kann die Filmempfindlichkeit erhöht, eine optimale Schwärzung relativ leicht erreicht und die Filmverarbeitungszeit kurz gehalten werden.

In der Zahnheilkunde zu unterscheiden sind:

- Intraorale (folienlose) und
- Extraorale (Folien-)Filme

Die **intraoralen folienlosen** Filme werden ausschließlich durch Röntgenstrahlen geschwärzt. Sie besitzen einen hohen Silbergehalt (ca. 25 g Silber/m² im Vergleich zu ca. 10 g Silber/m² Film bei Folien-Filmen).

Folienlose Filme sind charakterisiert durch eine sehr gute Auflösung (wesentlich höher als die von Film-Folien-Kombinationen), besitzen aber den Nachteil der Notwendigkeit einer höheren Dosis. Dieser Nachteil der höheren Dosis wird durch den Vorteil der besseren Darstellung feiner Strukturen (z. B. Parodontalspalt) ausgeglichen.

Die internationale Standardisierungs-Organisation (ISO) hat mit ihrer Norm 3665 die Empfindlichkeitsklassen intraoraler Filme festgelegt (Tab. 2).

Tab. 2 Empfindlichkeitsklassen intraoraler Filme (ISO-Norm 3665, die Pfeile in der Tabelle verweisen auf die steigende Empfindlichkeit von D nach F)

Film	Empfindlichkeit	Fabrikat
D	↓	Kodak Ultraspeed
E	↓	Kodak Ektaspeed plus Agfa Dentus M2 ^{comfort}
F	↓	Kodak Insight

Mit dem Kodak-Insight-Film gibt es heute erstmals in der Zahnheilkunde überhaupt einen Film der Empfindlichkeitsklasse F. Diese sehr hohe Empfindlichkeit des Filmes wird über die sog. T-Grain-Grundstruktur und durch chemische Zusätze zur Emulsionsschicht (Sensibilisatoren) erreicht.

Es ist aber auch festzustellen, dass durch die größeren Silberbromid-Flächen die Auflösung leidet. Mit der Entwicklung des F-Filmes scheint die Filmindustrie ihre Möglichkeiten ausgeschöpft zu haben.

Bei den **extraoralen (Folien-)Filmen** führt das Aufleuchten der Folien (Fluoreszenz) zur Belichtung des Röntgenfilms (daher auch der Begriff „Verstärkerfolie“).

Die modernen Kassetten bestehen aus Kunststoff und haben zur Realisierung eines festen Andruckes der Folien an den Film und zum festen Verschluss der Kassette einen Magnetandruck. Als Leuchtstoffe finden in den Folien heute Seltene Erden (Lanthanide) Anwendung. In der Zahnheilkunde wird aufgrund der Darstellung feiner Strukturen, die grüne Lichtemission bevorzugt (z. B. Gadoliniumoxisulfid dotiert mit Terbium).

Es ist unbedingt darauf zu achten, dass bei einer grün emittierenden Folie auch ein grünempfindlicher Film zum Einsatz kommt.

Die Folien sind regelmäßig zu säubern, um Staub und Fremdkörper zu entfernen. Schmutzpartikel sind auf dem entwickelten Film erkennbar und können die Befundableitung beeinträchtigen.

Die **Filmverarbeitung** geschieht heute vorzugsweise mit vollautomatischen Entwicklungsmaschinen. **Dabei wird unter dem Begriff „Filmverarbeitung“ der gesamte Prozess verstanden, der das nicht sichtbare (latente) Bild des belichteten Films in ein sichtbares (bleibendes) Bild verwandelt.**

Die vollautomatische Maschinenentwicklung besitzt die Vorteile

- eines relativ zügig zur Verfügung stehenden (getrockneten) Bildes und
- der Qualitätskonstanz

Trotzdem stellen vollautomatische Entwicklungsmaschinen Kompromisslösungen dar. Um Platz zu sparen, wird auf die Zwischenwässerung verzichtet und muss die Trocknung (30-45°) in der Konstruktion untergebracht werden. Diese Situation ist nicht ohne Auswirkung auf die Teil-Bäder (wärmere Bäder).

Die Filmentwicklung ist häufig Ursache fehlerhafter Aufnahmen (vgl. auch 5. Das System der Qualitätssicherung in der Bildgebenden Diagnostik der Zahnheilkunde und Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie).

Um den Dosisbedarf für die Aufnahmen so klein wie möglich zu halten und eine möglichst optimale Bildqualität zu erreichen, ist ein sehr sorgsamer und verantwortungsbewusster Umgang mit den Entwicklungsautomaten erforderlich.

2.3 Digitale Technik

Digitale Röntgenbilder können erzielt werden durch Digitalisierung analoger (konventioneller) Röntgenbilder oder über die primäre Sensortechnik.

Die Methode der Wahl ist heute die primäre Sensortechnik, mit der – ohne dem Intermedium konventionelles Röntgenbild oder Durchleuchtung – unmittelbar digitale Bilder erstellt werden.

Die Ansprüche, die aus fachlicher Sicht an die digitale Technik zu stellen sind, liegen in der Gewährleistung, dass

- alle konventionellen Untersuchungsverfahren der Bildgebenden Diagnostik in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde und Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie (vgl. Tab. 1, S. 4) auch digital möglich sind
- eine mindestens gleichwertige Bildinformation im Vergleich mit der konventionellen Aufnahmetechnik erreicht wird,
- eine Reduzierung der Strahlenexposition erfolgt
- eine ausgewogene Kosten-Nutzen-Relation besteht.

Die grundsätzlichen Verfahren, die heute in unserem Fachgebiet zum Einsatz kommen, sind die

- indirekte Radiographie
- direkte Radiographie und
- Lumineszenz-Radiographie

Im allgemeinen Sprachgebrauch üblich für die indirekte und direkte Radiographie ist der Begriff Kabelsensoren und für die Lumineszenz-Radiographie der Begriff Speicherfolien-System.

In einem fortgeschritteneren Entwicklungsstadium ist bei den gegenwärtigen Kabelsensoren die kabellose Übertragung zu erwarten.

Indirekte Radiographie

Die indirekte Radiographie bezieht diese Bezeichnung aus dem Funktionsprinzip des Verfahrens. Bei dem hier zur Anwendung kommenden Sensor wird über eine Leuchtfolie (ähnlich dem Film-Folien-System in der Panorama-Kassette) zunächst Licht erzeugt (Leuchtstoff bei den modernen Sensoren: Cäsiumjodid).

Das entstandene Licht wird im CCD-Sensor (charge coupled device) oder den moderneren CMOS-Sensoren (complementary metal-oxid semiconductor) durch Fotodioden (Siliziumelemente) in elektrische Signale umgewandelt (ADC - Analog to Digital Converter, Analog-Digital-Wandler).

Der wesentliche Unterschied zwischen einem CCD und CMOS-Sensor besteht darin, dass bei der CCD-Technologie der ADC sich nicht auf dem Chip befindet. Beim CMOS-Sensor ist der ADC auf dem Chip untergebracht. Dadurch ist die aktive Pixel-Oberfläche eines CMOS-Sensors kleiner als bei einem CCD-Sensor.

Eine Weiterentwicklung im Hinblick auf die Auflösung stellt der CMOS-APS-Sensor dar (die Buchstaben APS stehen für Activ-Pixel-Sensor). Jeder Messpunkt ist mit einem ADC direkt verbunden. Umso größer die Anzahl der ausgemessenen Pixel und umso kleiner ihre flächenmäßige Ausdehnung ist, umso besser wird die Auflösung (die über dargestellte Linienpaare/mm ermittelt wird).

Direkte Radiographie

Bei der direkten Radiographie wird – ohne dem (indirekten) Zwischenschritt der Lichtentstehung – die Röntgenstrahlung über einen HD-(high density) Sensor direkt umgewandelt. Dieses eigentlich konzeptionell beeindruckendste Verfahren bereitet jedoch noch Probleme bei der technischen Umsetzung und findet deshalb bislang ein insgesamt nur eingeschränktes Interesse. Allerdings sind in letzter Zeit klare Bestrebungen der Industrie zu erkennen, die direkte Radiographie weiter zu entwickeln und neue Lösungen anzubieten.

Lumineszenz-Radiographie

Das Herzstück der Lumineszenz-Radiographie ist die Speicherplatte, die – wie ein Röntgenfilm – in der Lage ist, die auftreffende Röntgenstrahlung in Form eines latenten Bildes zu speichern. Für das Auslesen der Speicherplatten ist ein Lesegerät erforderlich. In diesem Gerät wird dann die Speicherplatte zeilenförmig mit einem Laserstrahl abgetastet und ausgelesen. Bei diesem Vorgang kehren die Elektronen der Atome, die

vorher bei Auftreffen der Röntgenstrahlen auf eine höhere Schale und damit in einen angeregten Zustand versetzt wurden, unter Lichtemission wieder in ihren Grundzustand zurück. Dieses Licht wird dann wieder in elektrische Signale umgewandelt, digitalisiert und über ein Monitorbild zur Darstellung gebracht.

In den letzten Jahren wurden mehrere neue Leseinheiten auf den Markt gebracht, die dazu beigetragen haben, die Lumineszenz-Radiographie bezüglich der Auflösung auf eine gleiche Entwicklungsstufe wie die indirekte Radiographie zu bringen.

Beim Einsatz digitaler Aufnahmeverfahren ist unbedingt auf die Verwendung von Sensorhaltern unter den Bedingungen der Paralleltechnik zu achten.

Wird dieser Grundsatz missachtet, sind qualitative Unzufriedenheiten vorprogrammiert. Es ist auch erforderlich, dass bei der Kaufentscheidung für eines der erläuterten intraoralen digitalen Verfahren immer die individuelle Schwerpunkttätigkeit des Zahnarztes und Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgen Berücksichtigung finden sollte.

Bei Überweisungen, der Zustellung des entsprechenden Untersuchungsmaterials für die Qualitätssicherung gemäß § 16 RöV an die Zahnärztliche Stelle, zum Informationsaustausch mit Kollegen oder sonstigen Gründen sollte der Datenaustausch auf elektronischem Weg erfolgen. Die Papier-**Drucker** können die plastische Betrachtungs-Qualität z. B. des Filmes nicht erreichen, so dass ihre Anwendung äußerst begrenzt ist. Drucker, die filmbasiert arbeiten (und relativ teuer sind) erfüllen die Qualitätsanforderungen und sind für die Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde und Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie sehr interessant, der Durchbruch zu einer Breitenanwendung ist allerdings zum gegenwärtigen Zeitpunkt vorrangig aus Kostengründen noch nicht erreicht.

Auch die dentale Volumetomographie ist selbstverständlich zu den Verfahren der digitalen Technik zu rechnen, sie wurde bereits unter 2.1 beschrieben.

Fragen:

- Welche Vorteile bringt die Anwendung der Paralleltechnik gegenüber der Halbwinkeltechnik?
- Nennen Sie eine zusätzliche Möglichkeit bei der Durchführung der Paralleltechnik, mit der die Strahlenexposition reduziert und die Bildqualität verbessert werden kann.
- Welche Empfindlichkeitsklasse intraoraler Röntgenfilme benötigt die geringste Strahlenexposition (nach ISO-Norm 3665)?
- Warum ist der Röntgenfilm doppelseitig begossen?
- Welcher Leuchtstoff wird bei Verstärkerfolien genutzt?
- Mit welchen befundbezogenen Untersuchungen in der bildgebenden Diagnostik der Zahnheilkunde und Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie ergeben sich Möglichkeiten der räumlichen Betrachtung?
- Nach welchem Grundprinzip der Schichttechnik arbeitet die TSA und wie groß ist etwa der realisierte Schichtwinkel?
- Was wird unter einem latenten Bild verstanden?
- Nennen Sie die grundsätzlichen Formen der digitalen Radiographie?
- Wo sehen Sie die Vorteile der digitalen Technik gegenüber den konventionellen Aufnahmeverfahren?
- Welches neuartige bildgebende Verfahren in der Zahnheilkunde und Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie arbeitet mit einer Hochkontrast-Knochenauflösung?
- Nennen Sie mindestens 5 rechtfertigende Indikationen für die DVT.

3. Strahlenexposition und Wechselbeziehung ionisierende Strahlung/Materie

Die Strahlenexposition des Menschen resultiert aus natürlichen und zivilisatorischen Quellen. Während sich die natürliche Strahlenexposition aus der terrestrischen, inneren (Aufnahme von Radionukliden über die Nahrung und Atmung) und kosmischen Strahlung rekrutiert, sind es bei der zivilisatorischen Strahlenexposition die Anwendung ionisierender Strahlen in der Medizin, dann durch Kleinquellen in Industrie, Forschung sowie im Haushalt, kerntechnische Anlagen und sogar der Unfall von Tschernobyl (26.04.86) ist in manchen Gebieten Europas noch immer nachweisbar. Insgesamt kann man von einer Gesamtbelastung der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland von ca. 4,2 mSv pro Jahr ausgehen.

Die Medizin bildet den Hauptanteil der zivilisatorischen Strahlenexposition. Die klinischen Anwendungsgebiete Bildgebende Diagnostik, Strahlentherapie und Nuklearmedizin stehen dabei in einem Verhältnis von 100:1:1. In Deutschland kommen im Jahr etwa 1.655 Untersuchungen auf 1.000 Personen (gesamte Bildgebende Diagnostik). In der Zahnheilkunde werden pro Jahr ca. 23,5 Mio. Röntgenaufnahmen angefertigt. Damit nimmt Deutschland in Europa eine Spitzenposition ein (Norwegen 1.541 Untersuchungen auf 1000 Personen im Jahr) und wird weltweit nur von Japan übertroffen (die USA liegen bei 1.364 Untersuchungen). Die Aufnahmen des Zahn- und Zahnhalteapparates sind – organbezogen – die häufigsten der Bildgebenden Diagnostik überhaupt (vor den Extremitäten- und Thoraxuntersuchungen). Der Anteil der Zahnheilkunde an der Gesamtexposition der Bevölkerung ist – auch unter Berücksichtigung der steigenden DVT-Zahlen relativ – gering.

Die genannten Zahlen belegen zum einen den hohen Stellenwert der Bildgebenden Diagnostik in den allgemein medizinischen und zahnmedizinischen Betreuungskonzepten. **Zum anderen verdeutlichen sie die Notwendigkeit, den Einsatz der Untersuchungen mit ionisierender Strahlung stets zu hinterfragen (rechtfertigende Indikation), ihren Einsatz unter optimalen Bedingungen zu sichern (Qualitätssicherung) und die Kenntnisse zu den technischen Entwicklungen sowie zu den diagnostischen Einsatzmöglichkeiten zum Nutzen der Patienten kontinuierlich anzupassen und zu verbessern (Aktualisierungskurse Fachkunde im Strahlenschutz).**

Die Wechselbeziehung der ionisierenden Strahlung mit der Materie ist gekennzeichnet durch komplexe physikalisch-chemische Prozesse.

Die Energieübertragung führt zur **Erwärmung**, zur **Anregung** und zur **Ionisation**.

Die **Erwärmung** hat Konsistenz-Veränderungen, eine Volumenzunahme (Oedeme) zur Folge, beeinflusst physiologische Reaktionen und kann pathophysiologische Vorgänge auslösen.

Bei der **Anregung** resultiert ein kurzzeitig instabiler Atomzustand, indem Elektronen von einer inneren auf eine äußere Schale gehoben werden. Diese Situation besteht nur für den Zeitraum der Energiezufuhr, danach springen die Elektronen zurück, so dass die stabile Ausgangssituation des Atoms wieder erreicht wird.

Bei der **Ionisation** wird ein Elektron aus dem Atomverband definitiv herausgeschlagen.

Diese Fähigkeit hat zur Bezeichnung ionisierende Strahlung geführt, die als Überbegriff für alle Strahlenarten dient, die solche Vorgänge auslösen können.

Eine für den Strahlenschutz wichtige Wechselbeziehung ionisierender Strahlung mit der Materie ist die **Streuung** bzw. die **Streustrahlung**. Bei der **klassischen Streuung** kommt es zu einer Richtungsänderung der Strahlung, nicht aber zu einem Energieverlust.

Höhere Energien können eine sog. **Compton-Streuung** auslösen (A. H. Compton, 1892-1962, amerikanischer Physiker). Dabei wird – wie bei der Ionisation – ein Elektron aus dem Atomverband herausgeschlagen (Compton-Elektron). Es verbleibt eine abgeschwächte und richtungsveränderte (gestreute) Reststrahlung.

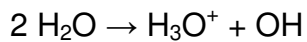
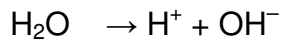
Die biologische Wirkung ionisierender Strahlung auf den Organismus ist in Abhängigkeit von der Art der ionisierenden Strahlung (z. B. α -, β -, γ - und Röntgenstrahlung), vom allgemeinen Zustand des Individuums, von der Strahlenempfindlichkeit der betroffenen Organe (bzw. Organsysteme) sowie der räumlichen und zeitlichen Dosisverteilung.

Prinzipiell zu unterscheiden sind die **direkte** und die **indirekte Strahlenwirkung**.

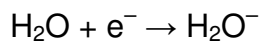
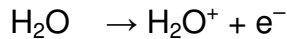
Die **direkte Strahlenwirkung** ist als sog. Treffertheorie (Dessauer, 1926) bekannt und erklärt die Veränderungen unmittelbar am Ort des Auftreffens der Strahlung.

Nicht erklärt werden können mit der Treffertheorie die Vorgänge „auf Distanz“, die sich im gesamten Körper manifestieren. Die Erklärungen dieser Vorgänge werden durch die **indirekten Strahlenwirkungen** erbracht. Durch die Einwirkung ionisierender Strahlung kann es zur Radiolyse des Wassers kommen. Dabei entstehen freie, diffusible Radikale des Wassers, die sehr reaktionsfreudig sind:

z. B.:



(H_3O^+ = Hydronium, stark sauer)



Als Folge der Reaktionen mit den Radikalen können Enzyme blockiert, die Aminosäure- und Protein-Synthese gehemmt bzw. verhindert und komplexe Funktionsstörungen ausgelöst werden.

Die Auswirkungen der direkten und indirekten Strahlenwirkungen werden an **molekularen und zellulären Strukturen** deutlich.

Die wichtigste kritische **molekulare Struktur** ist die Desoxyribonucleinsäure (DNS), die Bestandteil des Zellkerns ist. Die als Doppelspirale vorliegende DNS (Watson-Crick-Modell) besteht aus Phosphorsäureestern mit Zuckern (Desoxyribose). Die Stränge der Doppelspirale sind über Basenbrücken (Guanin mit Cytosin, Adenin mit Thymin) strickleiterartig verbunden.

Nach Einwirkung ionisierender Strahlung und Auslösung der komplexen biologischen Wirkungsmechanismen sind folgende schädigende Effekte an der DNS möglich:

- Einzelstrangbrüche
- Doppelstrangbrüche
- Schädigung an den Basen
- Vernetzung verschiedener Moleküle
- Zerstörung der Wasserstoffbindungen
- Denaturierungen

An den **zellulären Strukturen** wird z. B. die **Membran** betroffen. Es kommt dabei zu einer Veränderung der Permeabilität. Dadurch kann der Schutz der Zelle und der Energiehaushalt entscheidend gestört sein.

Von hoher Bedeutung sind Strahlenwirkungen am **Zentriol (Zentralkörperchen)**. Das Zentriol steuert die Spindelbildung im Rahmen der Zellteilung. Bei Einwirkung ionisierender Strahlung wird verhindert, dass das Zentriol zu den Zellpolen wandert. In der Folge entstehen atypische Spindeln. Bei weiter laufender Teilung können dann Zellen mit inadäquatem Chromosomenbesatz resultieren.

Am **Zellkern** sind folgende Strahlenreaktionen zu beobachten:

- Aufhellung der Kernstruktur durch Veränderungen an den Chromosomen
- Schrumpfung des Kerns (Kernpyknose)
- Kernzerfall (Karyorrhexis)

Bei der **Zellteilung** tritt eine erhöhte Strahlenempfindlichkeit während der eigentlichen 4 Teilungsphasen auf (Pro-, Meta-, Ana- und Telephase). Vor allem in der Zeit der Bereitstellung der DNS-Bausteine ist die Empfindlichkeit besonders ausgeprägt. In der Ruhephase zwischen den Teilungen (Interphase) geht die Strahlenempfindlichkeit zurück. In einer Veröffentlichung vom 29.04.03 (Zeitschrift PNAS, „Evidence for a lack of DNA doublestrang break repair in human cells exposed to very low x-ray doses“) haben zwei Wissenschaftler der Universität Homburg (Rothkamm und Löbrich) Doppelstrangbrüche bei Niedrigdosen (1 mGy) beschrieben. Das sind Dosisbereiche, in denen die Bildgebende Diagnostik der Zahnheilkunde aktiv ist und so hat dieser Artikel für entsprechende Aufmerksamkeit und Unruhe gesorgt. Der renommierte Strahlenbiologe Jung (Hamburg) hat dazu in einer Stellungnahme (30.07.03) erklärt, dass es sich um Schäden an ruhenden Zellen außerhalb der Zellteilungsaktivität handelt und dass bei einsetzender Zellteilung diese geschädigten Zellen eliminiert werden. Ähnlich haben sich dann auch die Autoren selbst in einer späteren Presseerklärung geäußert. Eine Neueinschätzung des Strahlenrisikos wäre deshalb auf Basis der genannten Publikation nicht erforderlich.

Fragen:

- Aus welchem Bereich der zivilisatorischen Strahlenexposition kommt die für die Gesamtbevölkerung höchste Belastung?
- Welche allgemeinen Wirkungseffekte sind Ihnen nach Strahlenexposition des Organismus bekannt?
- Was ist Streustrahlung?
- Wovon ist die biologische Wirkung ionisierender Strahlung auf den Organismus abhängig?
- Mit welchen prinzipiellen Strahlenwirkungen ist zu rechnen?
- Nennen und erläutern Sie den entscheidenden strahlenbiologischen Vorgang im Rahmen der indirekten Strahlenwirkung?
- Welche Schäden können durch ionisierende Strahlung an der DNS gesetzt werden?
- Nennen Sie Beispiele von Schäden ionisierender Strahlung an den zellulären Strukturen des Organismus

4. Die novellierte Röntgenverordnung und ihre praktische Bedeutung

Die novellierte Röntgenverordnung (RöV) ist Ausdruck des wesentlich gewachsenen Wissensumfanges im Umgang mit ionisierender Strahlung. Sie war notwendig geworden durch die EURATOM-Richtlinie 96/26 über die Grundnormen des Strahlenschutzes (1996) sowie durch die EURATOM-Patientenschutz-Richtlinie 97/43 (1997).

Der Bundesrat hat dem von der Bundesregierung vorgelegten Entwurf zur Änderung der RöV am 26.04.2002 zugestimmt, so dass die Verordnung am 21.06.02 im Bundesgesetzblatt verkündet und am 01.07.2002 in Kraft treten konnte. Die novellierte RöV wurde an die vorher in Kraft getretene Strahlenschutzverordnung (Juni 2001) angepasst und sie wurde auch mit dem Medizinproduktegesetz in Einklang gebracht. Es muss darauf hingewiesen werden, dass die RöV nicht grundsätzlich neu gefasst wurde, sondern dass mit ihr den aktuellen Anforderungen entsprochen wurde. Die Veränderungen und Erweiterungen haben allerdings in einzelnen Punkten eine sehr hohe Relevanz für die tägliche Arbeit in der Zahnheilkunde und Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. Zur Umsetzung und Durchführung der RöV sind folgende Richtlinien von Bedeutung:

- Fachkunde und Kenntnisse im Strahlenschutz bei dem Betrieb von Röntgeneinrichtungen in der Heilkunde und Zahnheilkunde
- Richtlinie zur Durchführung der Qualitätssicherung bei Röntgeneinrichtungen zur Untersuchung und Behandlung von Menschen nach RöV (QS-RL)
- Richtlinie für die technische Prüfung von Röntgeneinrichtungen und genehmigungsbedürftigen Störstrahlern, Sachverständigen-Richtlinie (SV-RL)
- Ärztliche und Zahnärztliche Stellen nach Röntgenverordnung (§17a) und Strahlenschutzverordnung (§ 83)
- Aufzeichnungen nach Röntgenverordnung (§ 18, § 27, § 28 und § 36)

Eigentlich hätte die RöV 2009 novelliert werden müssen. Bundestagswahl und andere bedeutende Events haben bezüglich der RöV-Neufassung eine aufschiebende Wirkung, so dass die am 01.07.2002 in Kraft getretene Verordnung weiter Gültigkeit hat.

Das internationale wissenschaftliche Gremium, das die Erkenntnisse um die Wirkung sowie den effektiven Schutz vor ionisierender Strahlung zusammenträgt und veröffentlicht, ist die bereits seit 1928 tätige Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP, International Commission on Radiological Protection). Die Empfehlungen der ICRP

besitzen keine verpflichtende oder gesetzliche Bedeutung. Sie sind aber durch die hohe fachliche Kompetenz ihrer Mitarbeiter weltweit anerkannt. Die internationale und nationale Verknüpfung des Strahlenschutzes ist am Charakter der Festlegungen der jeweiligen Gremien erkennbar:

- Empfehlung – Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP)
- Richtlinie (Gesetz) – EURATOM
- Gesetz – nationale Regierungen (Atomgesetz, Röntgenverordnung)

Im nationalen Rahmen ist der Strahlenschutz wie folgt organisiert:

Bundesregierung

- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Landesregierung

- Oberste Landesbehörde
 - z. B. - Behörde für Umwelt und Gesundheit
 - Sozialministerium
 - Ministerium für Umwelt und Naturschutz
- Genehmigungs- und Aufsichtsbehörde
 - z. B. - Amt für Arbeitsschutz
 - Gewerbeaufsichtsamt
- Landesrechtliche Vertretung
 - Zahnärztekammer (Zahnärztliche Stelle)
 - ggfs. Ärztekammer (Ärztliche Stelle)
- Mess- und Prüfstellen
 - z. B. - Messstelle für Strahlenschutz
 - Landesanstalt für Personendosimetrie

Mit der novellierten Röntgenverordnung verfolgt der Gesetzgeber folgende Zielstellungen:

1. Rechtfertigung der Strahlenexposition
2. Optimierung der Bedingungen
3. Begrenzung der Strahlenexposition
4. Aktualisierung des Kenntnisstandes der Anwender durch kontinuierliche Fortbildung

Nachfolgend werden die für die Zahnheilkunde und Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie wesentlichen, praktischen Inhalte der novellierten Röntgenverordnung dargestellt:

Abschnitt 1

§ 1, Anwendungsbereich

Die RöV gilt für Röntgeneinrichtungen und Störstrahler, in denen Röntgenstrahlung mit einer Grenzenergie von mindestens 5 Kiloelektronvolt durch beschleunigte Elektronen erzeugt werden kann und bei denen die Beschleunigung der Elektronen auf eine Energie von 1 Megaelektronvolt begrenzt ist.

Als Störstrahler sind Geräte zu verstehen, die Röntgenstrahlen erzeugen, ohne dass sie zu diesem Zweck konstruiert und betrieben werden – z. B. Elektronenmikroskope, elektronische Schweißgeräte).

Abschnitt 2

Überwachungsvorschriften

Betrieb von Röntgeneinrichtungen

§ 3, Genehmigungsbedürftiger Betrieb von Röntgeneinrichtungen

Der § 3 kommt zur Anwendung, wenn Röntgeneinheiten ohne Bauartzulassung zur Anwendung kommen sollen. Eine solche Situation stellt in der Zahnheilkunde und Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie eine Ausnahme dar.

§ 4, Anzeigebedürftiger Betrieb von Röntgeneinrichtungen

Eine Genehmigung nach § 3 bedarf nicht, wer eine Röntgeneinrichtung betreibt, deren Röntgenstrahler

- bauartzugelassen ist oder
- deren Hersteller unter den Anwendungsbereich des Medizinproduktegesetzes (mit CE-Kennzeichnung) fällt

Die Inbetriebnahme einer Röntgeneinrichtung ist der zuständigen Behörde 2 Wochen vorher anzuzeigen. Der Anzeige ist beizufügen:

- Prüfbericht des Sachverständigen (u. a. mit Bestätigung der Bauartzulassung der Röntgeneinheit)
- Approbationsurkunde
- Fachkundebescheinigung
- Zulassung als Zahnarzt, ggfs. als Arzt

Es wird deutlich, dass der Sachverständige im Konzept des genehmigungs- und anzeigebedürftigen Betriebs von Röntgeneinrichtungen einen besonderen Stellenwert einnimmt. Dem trägt der neu in die RöV eingebrachte § 4a Rechnung.

§ 4a, Sachverständige

Die zuständige Landesbehörde bestimmt Sachverständige für die technische Prüfung von Röntgeneinrichtungen. Als Sachverständiger darf nur bestimmt werden, wer unabhängig ist von Personen, die an der Herstellung, am Vertrieb oder an der Instandhaltung von Röntgeneinrichtungen beteiligt ist.

Für das komplexe System der Qualitätssicherung, das durch mehrere Paragraphen der RöV geregelt wird, sind 4 Säulen von besonderer Bedeutung:

1. Abnahmeprüfung (wird vom Hersteller durchgeführt, es resultiert aus dieser Prüfung das Referenzbild)
2. Sachverständigenprüfung
3. Konstanzprüfungen
4. Tätigkeit der Zahnärztlichen/Ärztlichen Stelle

Bauartzulassung

§ 8, Verfahren der Bauartzulassung

(Für Erzeugnisse im Sinne des Medizinproduktegesetzes, dem im Regelfall neue medizinische und zahnmedizinische Röntgeneinrichtungen unterliegen, gilt dieser Paragraph nicht).

Die Bauart von Röntgenstrahlern kann auf Antrag des Herstellers zugelassen werden, wenn die entsprechenden Prüfvoraussetzungen erfüllt sind. Die Zulassungsbehörde hat vor ihrer Entscheidung auf Kosten des Herstellers eine Bauartprüfung durch die Physikalisch-Technische Bundesanstalt zu veranlassen.

Die Bauartzulassung ist auf höchstens 10 Jahre zu befristen. Diese Frist kann auf Antrag verlängert werden.

§ 10, Zulassungsschein

Wird die Bauart zugelassen, so hat die Zulassungsbehörde einen Zulassungsschein zu erteilen. Der Zulassungsschein enthält die technischen Daten, Beschränkungen, Auflagen und Befristungen.

Abschnitt 3

Vorschriften für den Betrieb

Allgemeine Vorschriften

§ 13, Strahlenschutzverantwortliche und Strahlenschutzbeauftragte

Der **Strahlenschutzverantwortliche** ist für den reibungslosen Betriebsablauf, für die Erfüllung der organisatorischen, personellen sowie materiellen Rahmenbedingungen verantwortlich. Er hat sicherzustellen, dass der Schutz des Einzelnen und der Allgemeinheit vor Strahlenschäden an Leib, Leben, Gesundheit, aber auch an Sachgütern gewährleistet ist.

Strahlenschutzverantwortlicher ist eine Festlegung Kraft Gesetzes, es ist dafür keine Fachkunde erforderlich.

Handelt es sich um einen Zahnarzt/Arzt, der Eigentümer ist, so ist er Strahlenschutzverantwortlicher. Wenn er über die Fachkunde verfügt, braucht er keinen Strahlenschutzbeauftragten zu benennen.

Für eine Gemeinschaftspraxis gilt, dass alle Eigentümer den Strahlenschutzverantwortlichen darstellen.

Bei einer Praxisgemeinschaft ist nur der Zahnarzt/Arzt Strahlenschutzverantwortlicher, der die Röntgeneinrichtung betreibt.

In größeren Einrichtungen (z. B. Universitätskliniken und Großpraxen) ist es erforderlich, **Strahlenschutzbeauftragte** zu bestellen. Als Strahlenschutzbeauftragte können nur Personen bestellt werden, die über die Fachkunde im Strahlenschutz verfügen.

Strahlenschutzbeauftragte werden durch den Strahlenschutzverantwortlichen ernannt. Er hat dafür Sorge zu tragen, dass die Schutzvorschriften eingehalten werden, jede Strahlenexposition von Menschen so gering wie möglich zu halten ist und jede unnötige Exposition vermieden wird.

§ 16, Qualitätssicherung bei Röntgeneinrichtungen zur Untersuchung von Menschen

Dieser Paragraph wird gesondert unter Punkt 5 „Das System der Qualitätssicherung in der Bildgebenden Diagnostik der Zahnheilkunde und Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie“ behandelt.

§ 17a, Qualitätssicherung durch ärztliche - und zahnärztliche Stellen

Zur Qualitätssicherung der Anwendung von Röntgenstrahlen am Menschen bestimmt die zuständige Behörde ärztliche und zahnärztliche Stellen.

Die zahnärztliche Stelle hat dem Strahlenschutzverantwortlichen Maßnahmen zur Optimierung der medizinischen Strahlenanwendung vorzuschlagen, insbesondere zur Verbesserung der Bildqualität, zur Herabsetzung der Strahlenexposition oder zu sonstigen qualitätsverbessernden Maßnahmen und nachzuprüfen, ob und wie weit die Vorschläge umgesetzt werden.

Der Betrieb einer Röntgeneinrichtung zur Anwendung von Röntgenstrahlen am Menschen in der Zahnheilkunde ist bei einer von der zuständigen Behörde bestimmten zahnärztlichen/ärztlichen Stelle unverzüglich anzumelden.

§ 18, Sonstige Pflichten beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen

- Durch eine entsprechend qualifizierte Person sind die beschäftigenden Personen in die sachgerechte Handhabung des Betriebes der Röntgeneinrichtung anhand einer deutschsprachigen Gebrauchsanweisung einzuweisen.
- Für jede Röntgeneinrichtung zur Anwendung von Röntgenstrahlen am Menschen sind **schriftliche Arbeitsanweisungen** für die an dieser Einrichtung vorgenommenen Untersuchungen zu erstellen.

Die Arbeitsanweisungen sind für die dort tätigen Personen zur jederzeitigen Einsicht bereitzuhalten und auf Anforderung den zuständigen Stellen zu übersenden.

§ 18a, Erforderliche Fachkunde und Kenntnisse im Strahlenschutz

Fachkunde im Strahlenschutz (2 Bereiche):

Sachkunde – beinhaltet theoretisches Wissen und praktische Erfahrung in der Anwendung von Röntgenstrahlung auf Menschen in dem jeweiligen Anwendungsgebiet

Kurse im Strahlenschutz – vermitteln theoretisches Wissen und Gesetzeskunde

- Die erforderliche Fachkunde im Strahlenschutz wird mit Bestehen der Abschlussprüfung einer staatlichen oder staatlich anerkannten Berufsausbildung erworben, wenn die zuständige Behörde zuvor festgestellt hat, dass in dieser Ausbildung die für jeweiligen Anwendungsbereich geeignete Ausbildung und praktische Erfahrung im Strahlenschutz sowie das entsprechende theoretische Wissen vermittelt wird (trifft für die Zahnheilkunde umfassend zu, nicht aber für die Allgemeinmedizin).
- Die Fachkunde im Strahlenschutz muss mindestens alle 5 Jahre durch eine erfolgreiche Teilnahme an einem von der zuständigen Stelle anerkannten Kurs aktualisiert werden.
- Auch die Qualifikation Kenntnisse im Strahlenschutz muss im 5-Jahres-Rhythmus aktualisiert werden.

§ 19, Strahlenschutzbereiche

Zu unterscheiden sind

- **Der Kontrollbereich**

In einem Radius von 1,50 m um den Strahler ist hier im Kalenderjahr eine effektive Dosis von mehr als 6 mSv möglich.

Kontrollbereiche sind abzugrenzen und deutlich zu kennzeichnen (mindestens) mit den Werten

Kein Zutritt – Röntgen

- **Überwachungsbereich**

unmittelbar an den Kontrollbereich angrenzend. Es sind mehr als 1 mSv effektive Dosis im Kalenderjahr möglich

§ 22, Zutritt zu Strahlenschutzbereichen

1. Einer Person darf der Zutritt zum Überwachungsbereich nur erlaubt werden, wenn
 - a. sie untersucht werden soll
 - b. sie die Röntgeneinrichtung bedient
 - c. bei Auszubildenden oder Studierenden dies zur Erreichung ihres Ausbildungszieles erforderlich ist
2. Zum Kontrollbereich darf der Zutritt einer Person nur erlaubt werden, wenn
 - a. sie untersucht werden soll
 - b. sie zur Durchführung der Untersuchung tätig werden muss
 - c. bei Auszubildenden oder Studierenden dies zur Erreichung ihres Ausbildungszieles erforderlich ist
 - d. bei schwangeren Frauen, die nach 2a und 2c den Kontrollbereich betreten dürfen, dies der fachkundige Strahlenschutzverantwortliche oder der Strahlenschutzbeauftragte ausdrücklich gestattet hat.

§ 23, Rechtfertigende Indikation

- Röntgenstrahlung darf unmittelbar am Menschen nur angewendet werden, wenn der Zahnarzt/Arzt hierfür die
rechtfertigende Indikation
gestellt hat. Damit wird die Feststellung des Zahnarztes/Arztes gefordert, dass der gesundheitliche Nutzen der Anwendung ionisierender Strahlung das Strahlenrisiko überwiegt.
- Die Patienten sind über frühere Röntgenuntersuchungen (im Fachgebiet) zu befragen, die dann – ggf. – anzufordern sind.
- Frauen im gebärfähigen Alter sind zu befragen, ob eine Schwangerschaft besteht oder bestehen könnte.

§ 24, Berechtigte Personen

Fachkunde im Strahlenschutz	Kenntnisse im Strahlenschutz
<ul style="list-style-type: none">• Approbierte Zahnärzte- Intraorale Röntgendiagnostik, PSA, Fernröntgenaufnahmen- Schädelübersichtsaufnahmen und Spezialprojektionen- Digitale Volumetomographie• Approbierte Ärzte- Gesamtgebiet Röntgendiagnostik- Teilgebiet Röntgendiagnostik• MTRA (technische Durchführung, lt. MTA-Gesetz vom 02.08.93 / Änderung 27.04.2002 (Art. 23))	<ul style="list-style-type: none">• Zahnarzhelferinnen • Personen mit einer abgeschlossenen sonstigen medizinischen Ausbildung • Personen in beruflicher Ausbildung, wenn sie unter ständiger Aufsicht und Verantwortung tätig sind (z. B. Studenten nach Abschluss des Grundkurses oder Ärzte in Facharztausbildung)

§ 25, Anwendungsgrundsätze

Körperbereiche, die bei der vorgesehenen Anwendung von Röntgenstrahlen nicht von der Nutzstrahlung getroffen werden, sind vor einer Strahlenexposition so weit wie möglich zu schützen. Es eignen sich Patientenschutzschürzen mit einem Bleigleichwert von mindestens 0,4 mm.

Begleitpersonen sind durch Patientenschutzschürzen mit mindestens 0,35 mm Bleigleichwert zu schützen.

Als weiteres Strahlenschutzmittel gibt es für intraorale Aufnahmen den Strahlenschutzschild mit einem Bleigleichwert von mindestens 0,4 mm und maximal 0,55 mm.

§ 28, Aufzeichnungspflichten, Röntgenpass, Archivierung

Eine nahezu logische Schlussfolgerung zu § 23 stellt der § 28 dar:

- So sind die Ergebnisse der **Befragung** gemäß § 23 (frühere Röntgenuntersuchungen, Schwangerschaft) ebenso aufzuzeichnen wie die **rechtfertigende Indikation**.
- Außerdem sind zu registrieren:
 - Der Zeitpunkt und die Art der Anwendung ionisierender Strahlung
 - Die Belichtungsdaten
 - Der erhobene Röntgenbefund
- In den Praxen und Kliniken sind Röntgenpässe bereitzuhalten und anzubieten.
- Röntgenbilder (analog oder digital) sowohl die Aufzeichnungen sind 10 Jahre aufzubewahren.
Für Patienten, die das 18. Lebensjahr noch nicht vollendet haben, sind die Aufnahmen bis zum 28. Lebensjahr aufzubewahren.

§ 36, Unterweisung

Personen, denen der Zutritt zum Kontrollbereich gestattet ist, sind vor dem erstmaligen Zutritt zu unterweisen in die

- Arbeitsmethoden
- Arbeitsanweisungen
- Mögliche Gefahren
- Anzuwendende Sicherheits- und Schutzmaßnahmen
- Anzeigen und Genehmigungen

Die Unterweisung (früher Belehrung) ist mindestens einmal im Jahr zu wiederholen.

Fragen:

- Nennen Sie die Genehmigungs- und Aufsichtsbehörde im Strahlenschutz
- Welche Unterlagen sind einer Anzeige zur Inbetriebnahme einer Röntgeneinrichtung beizufügen?
- Wie lang ist eine Bauartzulassung befristet?
- Aus welchen Teilbereichen setzt sich die Fachkunde im Strahlenschutz zusammen?
- Wer benötigt die Fachkunde im Strahlenschutz?
- Charakterisieren Sie das Aufgabenfeld eines Strahlenschutzbeauftragten
- Wie groß ist der Radius des Kontrollbereiches einer intraoralen Röntgeneinheit?
- Welche Strahlenschutzmittel kommen in der Zahnheilkunde zur Anwendung?
- Nennen Sie die Bleigleichwerte der Strahlenschutzmittel in der Zahnheilkunde
- Welche Sachverhalte sind gemäß § 28 RöV aufzuzeichnen?
- Über welchen Zeitraum sind Röntgenbilder aufzubewahren?
- Welche Inhalte umfasst die Unterweisung gemäß § 36 RöV?

5. Das System der Qualitätssicherung in der Bildgebenden Diagnostik der Zahnheilkunde und Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie

In dem komplexen System der Qualitätssicherung (Abnahmeprüfung, Sachverständigenprüfung, Konstanzprüfungen, Tätigkeit der zahnärztlichen/ärztlichen Stelle, ist die Säule **der Konstanzprüfungen** dadurch gekennzeichnet, dass sie vom Zahnarzt/Arzt und seinem Team durchgeführt werden.

Mit den Konstanzprüfungen werden im Vergleich zur Abnahmeprüfung Eigenschaften mit Bezug auf die Strahlenexposition verglichen und dokumentiert.

Es ist zweckmäßig, die Ergebnisse der Konstanzprüfungen in ein Formblatt einzutragen, um eine gute Übersicht zu erhalten und bei Abweichungen unverzüglich reagieren zu können.

Die Konstanzprüfungen werden nach DIN 6868, Teil 5, Konstanzprüfung in der zahnärztlichen Röntgenaufnahmetechnik durchgeführt.

Prinzipiell zu unterscheiden sind Konstanzprüfungen für Verfahren

- Mit konventioneller (analoger) Bildaufzeichnung und
- Mit digitaler Bildaufzeichnung

Die Unterlagen zu den Konstanzprüfungen sind zwei Jahre aufzubewahren und auf Anforderung der zuständigen Zahnärztlichen/Ärztlichen Stelle oder der Aufsichtsbehörde zugänglich zu machen.

Verfahren mit konventioneller Bildaufzeichnung

Als Konstanzprüfungen sind durchzuführen:

- Prüfung der Filmverarbeitung (wöchentlich)
- Prüfung der Röntgeneinrichtung (monatlich bzw. alle 3 Monate)
- Prüfung der Dunkelkammerbeleuchtung

Prüfung der Filmverarbeitung

Es ist gewissenhaft darauf zu achten, dass Film und Prüfmittel identisch mit der Abnahmeprüfung sind.

Benötigt werden zum Prüfkörper und zum Formblatt ein quecksilberfreies Thermometer mit Skaleneinteilung, so dass 0,2 °C ablesbar sind. Die Messgenauigkeit muss bei 0,3 °C liegen.

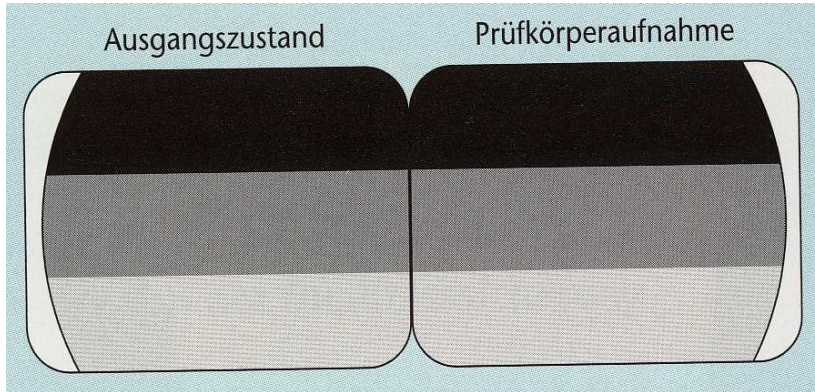
Bei manueller Filmverarbeitung ist zusätzlich ein Kurzzeitwecker mit Signalton erforderlich, damit die Entwicklungszeit genau festgestellt werden kann.

Schritte zur Prüfung der Filmverarbeitung:

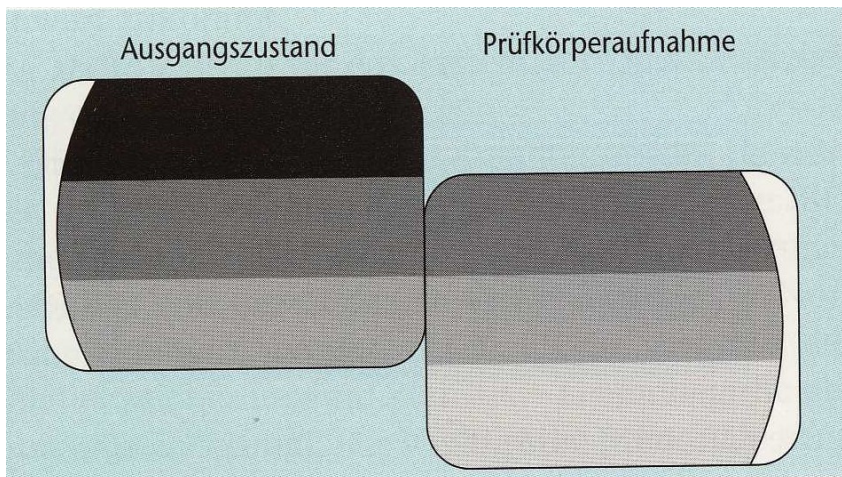
- Es ist die Temperatur des Entwicklers zu messen. Sie darf nicht mehr als $\pm 0,5$ °C von den Messwerten der Abnahmeprüfung abweichen. Um eine Temperaturkonstanz zu gewährleisten, ist für alle Filmverarbeitungseinrichtungen eine regelbare Heizung erforderlich.
- Aus einer Entwicklungstabelle ist für das jeweilige Filmmaterial die entsprechende Entwicklungsdauer ablesbar. Sollten die Verarbeitungsbäder neu angesetzt worden sein, empfiehlt sich, die Konstanzprüfung zur Filmverarbeitung erst nach drei Tagen durchzuführen, um einen homogenen Vermischungs- und Wirkungseffekt der Chemikalien zu gewährleisten.
- Die Prüfaufnahme ist in gleicher Weise anzufertigen wie bei der Abnahmeprüfung (identische Position des Films im Prüfkörper, identische Belichtungs- und Entwicklungsparameter).

Auswertung. Der Prüffilm, der nach Exposition entwickelt worden ist, wird mit dem Referenzbild der Abnahmeprüfung verglichen (Abb. 1).

Abb. 1 Beispiele eines visuellen Vergleichs der aktuellen Prüfkörperaufnahme mit dem Film des Ausgangszustandes
Konstanzprüfung der Filmverarbeitung



Optimale Situation



Die Konstanzprüfung der Filmverarbeitung liegt an der unteren Grenze (1 Stufe verschoben)

Die zugelassene Abweichung bei der Zahnfilm- und Panoramaaufnahme beträgt maximal eine Stufe. Die Dichte der mittleren Stufe des Referenzbildes sollte $1,2 \pm 0,2$ betragen. Bei der Kontrolle durch die Zahnärztlichen/Ärztlichen Stellen werden neben der visuellen Auswertung vielfach auch Densitometer genutzt, so dass die optische Dichte direkt ausgemessen und im Prüfprotokoll vermerkt werden kann. (Durch diesen Auswertungsmodus wird der subjektive Bewertungsfaktor weitestgehend ausgeschlossen.)

Bei der PSA werden Referenz- und Prüffilm 3 cm vom Rand eingeschnitten und an diesen Stellen miteinander verglichen.

Prüfung der Röntgeneinrichtung

Zusätzlich zum Prüfkörper und zum Formblatt ist ein Lineal (Messband) mit Millimetereinteilung erforderlich. Es sind die entsprechenden Prüfvoraussetzungen wie bei der Abnahmeprüfung zu gewährleisten, um einen direkten Qualitätsvergleich zu ermöglichen.

Die Prüfung der Röntgeneinrichtung ist monatlich festgelegt. Allerdings können gemäß § 16 RöV durch die zuständige Behörde Abweichungen (bis drei Monate) festgelegt werden.

Sollte nur eine zahnärztliche Röntgeneinrichtung in der Praxis vorhanden sein, können Filmverarbeitungs- und Gerätekonstanzprüfung gleichzeitig durchgeführt werden. In den folgenden Abschnitten sind die Schritte der Durchführung zur Prüfung der Röntgeneinrichtung beschrieben.

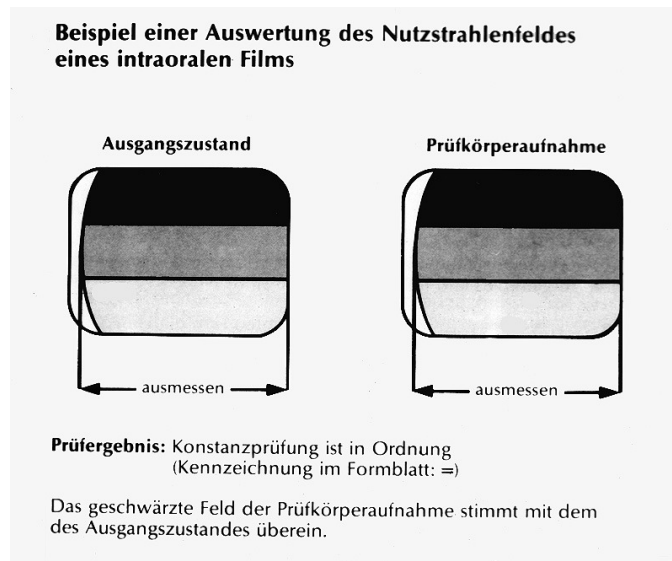
Zahnärztliche Röntgeneinrichtung für intraorale Aufnahmen:

- Es ist der gleiche Filmtyp wie bei der Abnahmeprüfung zu verwenden.
- Es ist auf die genaue Positionierung des Films im Prüfkörper zu achten. Nur auf diese Weise gelingen die exakte Bestimmung des Nutzstrahlenfeldes und der Vergleich zur Abnahmeprüfung.
- Der Tubus wird mit den Markierungen des Prüfkörpers in Übereinstimmung gebracht.

Auswertung:

- Nutzstrahlenfeld: Es wird die Distanz der Schwärzung des Films vom Punkt der größten Ausdehnung (Höhe mittlere Stufe) bis zur Basis verglichen mit der Aufnahme der Abnahmeprüfung (Abb. 2).
- Dichte: Abweichung maximal ein Stufe im Vergleich mit der Abnahmeprüfung möglich (vgl. Prüfung der Filmverarbeitung). Im Ausgangszustand (Referenzbild) sollte die Dichte der mittleren Stufe $1,2 \pm 0,2$ betragen.

Abb. 2



Panoramaröntgeneinrichtung. Die Kopfhalterung am Gerät ist ganz zu öffnen bzw. sind die Angaben des Herstellers zu beachten. Kinnstütze und Aufbissstück werden entfernt. Der Prüfkörper wird in der Mitte der Sekundärblende mindestens 2 cm oberhalb des unteren Randes angebracht.

Die Aufnahmen werden mit der gleichen Film-Folien-Kombination wie bei der Abnahmeprüfung angefertigt.

Auswertung:

- Nutzstrahlenfeld: Am Bildrand der Röntgenaufnahme muss ein umlaufender unbelichteter Rand erkennbar sein (vgl. Abb.).
- Dichte: Die Differenz zwischen der Dichte des Prüffilms und der Dichte des Films bei der Abnahmeprüfung darf maximal 1 Stufe betragen (Dichte der mittleren Stufe $1,2 \pm 0,2$).

Fernröntgeneinrichtung:

- Der Cephalostat wird ausgeschwenkt.
- Die Weichteilfilterung ist auf „Minimum“ einzustellen.
- Es ist die gleiche Film-Folien-Kombination wie bei der Abnahmeprüfung zu nutzen.
- Der Prüfkörper wird in der Bildebene (an der Filmkassette) in gleicher räumlicher Orientierung wie bei der Abnahmeprüfung angebracht.

Auswertung:

- Nutzstrahlenfeld: Am Bildrand der Fernröntgenaufnahme muss ein umlaufend unbelichteter Rand sichtbar sein.
- Dichte: Die Differenz zwischen der Dichte des Prüffilms und der Dichte des Films der Abnahmeprüfung darf maximal eine Stufe betragen (Dichte der mittleren Stufe $1,2 \pm 0,2$).

Prüfung der Dunkelkammerbeleuchtung

Die Prüfung ist mit allen in der Praxis/Röntgenabteilung zur Anwendung kommenden Filmtypen durchzuführen.

Die Prüfung erfolgt jährlich bzw. nach jedem Eingriff in die Beleuchtungs- und Verdunkelungsvorrichtung.

Schritte zur Prüfung der Dunkelkammerbeleuchtung:

Dunkelkammer: Der Prüffilm wird im Prüfkörper exponiert. In der Dunkelkammer wird der Prüffilm der Verpackung bzw. der Kassette entnommen, zur Hälfte mit einem Karton (oder einem entsprechenden Alternativmaterial) abgedeckt und eine Minute der Dunkelkammerbeleuchtung ausgesetzt. Danach wird der Prüffilm entwickelt.

Auswertung:

Dichteunterschiede zwischen der abgedeckten und der freien Filmfläche bzw. zwischen den Filmen vor und nach kompletter Verdunkelung belegen eine unerwünschte Helligkeit, deren Ursachen zu ermitteln und abzustellen sind.

Verfahren mit digitaler Bildaufzeichnung

Intraorale Aufnahmetechnik

Der zur Anwendung kommende Prüfkörper muss der DIN 6868, Teil 5, Konstanzprüfung in der zahnärztlichen Röntgenaufnahmetechnik entsprechen. Bei den Konstanzprüfungen für Untersuchungsverfahren mit digitaler Bildaufzeichnung werden monatlich folgende Eigenschaften kontrolliert

- Hochkontrast
- Niedrigkontrast
- Nutzstrahlenfeld

Hochkontrastauflösung

Der Sensor bzw. die Speicherplatte wird in den Prüfkörper eingeschoben, der Tubus dem Prüfkörper normgerecht aufgesetzt und die Aufnahme exponiert.

Im Prüfkörper befindet sich eine Platte aus Plexiglas mit eingelassenen dünnen Bleifäden in variierenden Abständen (Lücken). Als Linienpaar (Lp) werden ein Bleistrich und eine Lücke verstanden. Die Anzahl der Linien und Lücken pro Millimeter wird als *Ortsfrequenz* bezeichnet.

Die Mindestanforderung für die Hochkontrastauflösung beträgt bei der digitalen intraoralen Aufnahmetechnik 5 Lp/mm. Mit der Prüfkörperaufnahme müssen bei der Ortsfrequenz 5,0 einwandfrei drei Linien und zwei Lücken dazwischen abgebildet sein.

Bei der Auswertung kann die Bildnachbearbeitung zum Einsatz gebracht werden. Das Ergebnis wird in ein Formblatt eingetragen.

Niedrigkontrast

Mit der im Prüfkörper exponierten Aufnahme sind vier Bohrungen (1, 1,5, 2 und 2,5 mm) zu erkennen. Die Mindestanforderung an die Niedrigkontrastauflösung bedeutet die Erkennbarkeit der 1 mm starken Bohrung als dunklen runden Punkt.

Nutzstrahlenfeld

Im Prüfprogramm ist die Messfunktion aufzurufen und eine konstante Messlinie zu wählen (im Vergleich zur Abnahmeprüfung, z. B. eine Linie in der Mitte des Strahlenfeldes vom Hochkontrastphantom bis zum Feldrand). Der Messwert wird mit der Abnahmeprüfung verglichen; zulässig sind Differenzen von ± 2 mm. Sollte am Feldrand eine Doppelkontur erkennbar sein, ist die innere Begrenzung für die Messfunktion auszuwählen.

PSA, Fernröntgen

Bei der PSA und der Fernröntgenaufnahme werden ebenfalls die Hochkontrastauflösung, der Niedrigkontrast und das Nutzstrahlenfeld geprüft.

Als Hochkontrastauflösung werden 2,5 Lp/mm gefordert. Bei der Niedrigkontrast-Erfassung muss mindestens die Bohrung 1,5 mm erkennbar sein.

Bei den meisten Prüfkörpern ist das Analysefeld relativ klein am unteren Bildrand dargestellt.

Es muss stets gezoomt werden.

Fragen:

- Welche 4 Hauptsäulen gehören zum Gesamtsystem der Qualitätssicherung?
- Welches Gremium ist durch die zuständige Behörde mit der Kontrolle der Qualitätssicherung beauftragt?
- Welche Sachverhalte sind Gegenstand von Konstanzprüfungen und in welchen Zeitabständen werden sie durchgeführt?
- Welche Prüfungen erfolgen bei der Filmverarbeitung?
- Wie wird das Nutzstrahlenfeld bei der Panoramaaufnahme erkannt?
- Wie wird ein zu helles Dunkelkammerlicht mit der entsprechenden Konstanzprüfung nachgewiesen?
- Welche qualitativen Eigenschaften werden bei der digitalen Bildaufzeichnung geprüft?
- Wie viele Linienpaare müssen bei der Hochkontrastauflösung von intraoralen Aufnahmen differenziert werden?
- Wie wird eine zu steile Einstellung bei intraoralen Aufnahmen erkannt?
- Welche Kriterien verdeutlichen eine Ventralneigung bei Panoramaaufnahmen?