

Aus der Abteilung für Röntgendiagnostik
der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Universitätskrankenhaus Eppendorf
(Prof. Dr. med. habil. U. Rother)

**DER EINSATZ VON FILM/FOLIEN - KOMBINATIONEN UNTERSCHIEDLICHER
SYSTEMEMPfindlichkeit BEI PANORAMASCHICHTAUFNAHMEN**

UNTERSUCHUNG MIT DER PANORAMASCHICHTAUFNAHME AM PATIENTEN MIT
KODAK T MAT L UND AGFA DENTUS ORTHOLUX

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
dem Fachbereich der Medizin der Universität Hamburg vorgelegt von
Dorte Gregersen
aus Flensburg
Hamburg, 2001

Angenommen vom Fachbereich Medizin
Der Universität Hamburg am: *5. Februar 2002*

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs
Medizin der Universität Hamburg

Dekan: *Prof. Dr. C. Wagner*

Referent: *Prof. Dr. U. Rothe*

Korreferent: _____

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. Problemstellung	3
2. Einleitung	4 - 21
2.1. Das Wirkungsprinzip von Film/Folien-Kombinationen	4 - 13
2.2. Kriterien der Bildqualität	14 - 17
2.3. Einsatz von Film-Folien-Kombinationen unterschiedlicher Systemempfindlichkeit in der bildgebenden Diagnostik der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde	18 - 21
3. Material und Methode	22 - 33
3.1. Die verwendeten Film/Folien-Kombinationen	24
3.2. Untersuchungsmodell und Ablauf	25 - 28
3.3. Das ROC Konzept	29 - 30
3.4. Statistik	31 - 33
4. Ergebnisse der Untersuchung zum klinische Einsatz von Film-Folien-Kombinationen unterschiedlicher Systemempfindlichkeit	34 - 69
4.1. Odds Ratio	34 - 38
4.2. Kreuztabellen	39 - 70
5. Zusammenfassung	71 - 73
6. Diskussion	74 - 80
7. Glossar	81
8. Literaturverzeichnis	82 - 86
9. Danksagung	87
10. Lebenslauf	88
11. Erklärung	89

1. PROBLEMSTELLUNG

Es ist das Ziel der bildgebenden Diagnostik, Aufnahmen von hoher Qualität und optimalen Informationsgehalt bei einer möglichst niedrigen Strahlenexposition für den Patienten anzufertigen. Das Streben nach Dosisreduzierung in der Radiologie hat zur Entwicklung von höher verstärkenden Folien und empfindlicheren Filmen geführt. Allerdings geht die zunehmende Empfindlichkeit des Film/Folien-Systems mit einer steigenden Unschärfe einher. Auch kann die Dosis nicht ohne entsprechende Auswirkungen auf die Aufnahme beliebig reduziert werden.

In den Leitlinien der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik wurde 1995 auf der Basis theoretischer Gesichtspunkte für die Röntgenuntersuchung des Schädels bei Kindern der Einsatz von 400er Verstärkerfolien vorgeschlagen. Für die Untersuchung Erwachsener wurde das bewährte 200er System belassen. Es ist zu überlegen, ob in Zukunft eine generelle Anwendung der 400er Folie auch für Erwachsene vorgeschrieben werden könnte [Düker, Bernard, 2000].

Einige Anwender sehen hierin eine Möglichkeit für einen besseren Strahlenschutz bei befriedigender Bildqualität, wenn man sich der Produkte der modernen Technologie bedient. Von anderer Seite wird allerdings befürchtet, dass der gewohnte und erforderliche Qualitätsstandard nicht mehr gegeben ist und so negative Auswirkungen auf die Diagnosesicherheit nicht vermieden werden können [Braun, 1998].

Wenn durch die Anwendung eines höher empfindlichen Film/Folien-Systems eine mangelhafte Detailerkennbarkeit entsteht und relevante Bildpunkte nicht mehr befriedigend dargestellt werden, sind oft weitere Aufnahmen, wie z.B. ein zusätzlicher Zahnfilm nötig. Dadurch verliert die anfänglich bezweckte Dosisersparung ihren Sinn.

Es ergibt sich daher die Frage, ob es in der Praxis erstrebenswert ist, sich generell vom Gebrauch der bewährten Folien der Empfindlichkeitsklasse 200 zu entfernen. Ziel dieser Dissertation ist es, zu untersuchen, ob und in welchem Umfang die Verwendung von zwei modernen Film/Folien-Kombinationen der Empfindlichkeitsklasse 400 zu einer vergleichbaren Bildqualität führt wie die der Empfindlichkeitsklasse 200 oder 250. Außerdem wurde beleuchtet, wie sich veränderte mA-Werte auf die Qualität der Aufnahmen beider Empfindlichkeitsklassen auswirken.

2. EINLEITUNG

Zu den Wechselwirkungen der Röntgenstrahlen mit Materie gehört die Lumineszenz- oder Fluoreszenzwirkung, also die Eigenschaft der Röntgenstrahlen, bestimmte Stoffe zum Leuchten zu bringen. Sie entsteht durch die Anregung entsprechender Atome und bewirkt die Emission sichtbaren Lichts, welches wie die Röntgenstrahlen den Röntgenfilm schwärzt. Man spricht von einer Verstärkung der photochemischen Wirkung der Röntgenstrahlung [Kaufmann, Moser, Sauer, 1996]. Dieses Prinzip wurde bei der Entwicklung der Verstärkerfolien genutzt. Durch die verstärkende Wirkung der Folien sind weniger Dosis und Belichtungsdauer für die gleiche Filmschwärzung erforderlich. Nur 3% der Filmschwärzung geschieht durch die Röntgenstrahlen. Die restlichen 97% sind auf das Licht der Verstärkerfolien zurückzuführen.

2.1. DAS WIRKUNGSPRINZIP VON FILM-FOLIEN-KOMBINATIONEN

Im Gegensatz zu folienlosen Röntgenaufnahmen, bei der die Strahlung direkt auf die Filmemulsion trifft, entsteht bei Film/Folien-Systemen das erste Bild auf der Folie. Erst dann wird die Filmemulsion belichtet und es kommt zu einer photochemischen Reaktion und zur Filmschwärzung [Pasler, 1995]. Genau genommen handelt es sich um einen Kopiervorgang des von der Folie aufgezeichneten und verstärkten Strahlenbildes auf den Film [Braun, 1998].

Film/Folien-Kombinationen streuen Licht und besitzen deshalb eine geringere Auflösung als folienlose Filme. Kein Detail, das größer ist als die Kristalle kann genau größengerecht und scharf abgebildet werden. Deshalb wird die Grenze der Wiedergabefähigkeit durch die Korngröße bzw. Schichtdicke in Film und Folie bestimmt [Laubenberger, 1994]. Je dicker die Leuchtstoffschicht der Folie ist, je mehr Licht kann sie erzeugen und desto größer ist ihr Verstärkungsfaktor und die Empfindlichkeit des Film/Folien-Systems. Es erhöht sich jedoch auch die Unschärfe der Abbildung, denn das an den Leuchtstoffkristallen erzeugte Licht ist kein scharfer Lichtstrahl, sondern ein Lichtkegel. Der Lichtkegel ist um so breiter, je größer das einzelne Leuchtstoffkristall ist und je länger sein Weg durch die Schicht bis zum Film ist. Auf der Filmemulsion erscheint kein Punkt sondern ein diffuser Kreis mit kleinerem oder größerem Durchmesser. Auch findet bei Film/Folien-Kombinationen eine Überkreuzbelichtung der beiden Emulsionsschichten statt (Cross-over-Effekt), was zu weiteren Unschärfen führt [Pasler, 1995].

Die praktische Bedeutung dieses als **Folienunschärfe** bezeichneten Vorgangs ist, dass es zu einer leichten Objektvergrößerung durch Bildung eines Unschärferandes kommt. Die Detailerkennbarkeit der Aufnahme wird dadurch schlechter [Hoxter, Schenz, 1991].

- GESCHICHTLICHER ÜBERBLICK

Bei der Absorption von Röntgenstrahlen entsteht, wie allgemein bekannt, die charakteristische elektromagnetische Wellenstrahlung eines Stoffes [Kaufmann, Moser, Sauer, 1996].

Anhand des Emissionsspektrums ihres Leuchtstoffes werden die Folien als **Blau-, Grün-, Blau-Grün-** (Zweibanden-Leuchtstoff) oder **UV-leuchtend** eingeordnet.

Bereits 1896, ein Jahr nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen durch W.C. Röntgen, schlägt Thomas Eddinson das Blauleuchtende **Kalziumwolframat** (CaWO_4) als Fluoreszenzsubstanz für die Röntgenanwendung vor. Kurz darauf kommen die ersten Verstärkerfolien und Kassetten auf den Markt. Die Probleme der ersten Folien sind die große Unschärfe, die sie durch die Struktur ihrer Leuchtstoffe erzeugen und das störende Nachleuchten. Kalziumwolframat erweist sich als der am besten geeignete Leuchtstoff und wird bis zu Beginn der 70er Jahre fast ausschließlich in Verstärkerfolien verwendet. Erst dann wird er durch die Entdeckung der Stoffe auf Basis **Seltener Erden** (SE) verdrängt [Hell, 1992].

SE ist ein Sammelbegriff für Elemente der 3. Nebengruppe des Periodensystems mit den Ordnungszahlen 57 bis 71. Sie werden als Lanthanide bezeichnet. Es besteht eine chemische Verwandtschaft mit dem Aluminiumoxid (der Tonerde), daher die Bezeichnung "Erde". Das anfangs sehr kostspielige Verfahren ihrer Gewinnung gab ihnen den Zusatz "Selten" [Degenhardt, 1982]. Die Kristalle der SE sind kleiner und enger angeordnet und ermöglichen die Anfertigung dickerer Folien.

Heute wird überwiegend das Blauleuchtende Terbiumaktivierte **Lanthanoxybromid** (LaOBr:Tb) und das Grünleuchtende **Gadoliniumoxysulfid** ($\text{GdO}_2\text{S:Tb}$) benutzt. Ihr Vorteil gegenüber den CaWO_4 -Folien die größere **Röntgenstrahlabsorption** und der dadurch höhere **Wirkungsgrad**. Aus diesen beiden ergibt sich ein erhöhter **Verstärkungsfaktor** [Volkman, 1995]. Der Wirkungsgrad ist ein Maß dafür, wie viel der absorbierten Strahlen in Licht umgewandelt wird. SE-Folien zeichnen sich im Vergleich zum CaWO_4 durch einen geringeren Dosisbedarf und bessere Zeichenschärfe aus.

Zeitgleich finden Fortschritte in der industriellen Weiterentwicklung der Röntgenfilme statt.

Dr. Max Levy, ein Ingenieur aus Berlin, hat bereits 1897 ein Konzept für die Verwendung eines doppelseitig begossenen Röntgenfilms erdacht, der von beiden Seiten von einer Verstärkerfolie belichtet wird. Um 1915 beginnt die Produktion dieser Filme. Die ersten Zahnaufnahmen werden allerdings ohne heute bekannte Abschirmung und mit langen Belichtungszeiten auf einer einseitig beschichteten Glasplatte angefertigt. Erste flexible einseitig beschichtete Filme kommen schon um 1900 auf den Markt [Hell, 1992].

Heutige Filme sind doppeltbeschichtet und mittlerweile so hochempfindlich, dass nur noch ein Bruchteil der früher erforderlichen Dosis für die gleiche Filmschwärzung erforderlich ist. Dieses ist in erster Linie bedingt durch den veränderten Aufbau der Emulsionsschicht. Ältere Filme enthalten konventionelle Kristalle (Würfel und Oktaeder) in dreidimensionalen Formen. Moderne Kristalle sind im Allgemeinen flach. Ihre Dicke entspricht weniger als 1/10 ihres Durchmessers und die Struktur ist tafel- ("T-Grain"-Technik) oder plättchenförmig. Bedingt durch die größere Oberfläche verfügen sie über eine größere Lichtabsorptionsfähigkeit. In Verbindung mit angelagerten Sensibilisierungsfarbstoffen treten weniger Photonen durch die Emulsion. Dadurch reduziert sich der "Cross-over-Effekt", was zu einer Verminderung der Bildunschärfe führt [Sanner, 1995, Volkmann, 1995].

Moderne Filme zeichnen sich neben einer sehr hohen Eigenempfindlichkeit durch große Schärfe und Kontrast sowie ein geringes Bildrauschen aus [Braun, 1998].

Die klassischen Folien-Filme sind nur UV- oder Blaulicht-empfindlich. Der Weiterentwicklung der Verstärkerfolien entsprechend, werden auch **orthochromatische** (grünempfindliche) und **panchromatische** Filme (empfindlich für das gesamte sichtbare Spektrum und UV-Licht) produziert [Volkmann, 1998].

- DIE VERSTÄRKERFOLIEN

Die in der medizinischen und zahnmedizinischen Röntgendiagnostik verwendeten Verstärkerfolien haben einen mehrschichtigen Aufbau und bestehen aus:

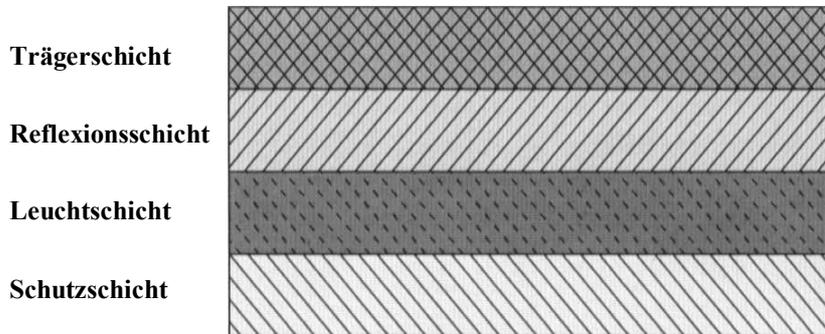


Abb.1: Schema des Aufbaus einer Verstärkerfolie

Sie sind Bestandteil der lichtdichten Metall- oder Kunststoffkassetten und kleiden ihre Vorder- und Rückwand aus (**Vorder-** und **Hinterfolie**). Zwischen den beiden Folien in der Kassette wird der Film eingelegt. Die Hinterfolie ist meist dicker (mehrverstärkend), da auf sie weniger Röntgenstrahlung einfällt als auf die vordere Folie. Dadurch wird gewährleistet, dass sie gleich viel Licht wie die Vorderfolie emittiert, so dass die jeweils vordere und hintere Film-Emulsion gleich stark belichtet wird [Pasler, 1995].

Die **Trägerschicht** (Rückschicht) besteht aus Polyester [Rother, 2001].

Die **Zwischenschicht** kann reflektierende oder absorbierende Eigenschaften haben. Die Reflexionsschicht (enthält Titanoxid) verstärkt den Anteil der Lichtphotonen, die auf die Filmschicht auftreffen. Das Fluoreszenzlicht würde sich sonst isotrop (nach allen Seiten hin) ausbreiten und nur teilweise die Filmschicht erreichen. Sehr feinzeichnende Folien enthalten entweder keine Zwischenschicht oder eine Absorberschicht. Diese absorbiert das entstehende Streulicht und macht die Folie geringfügig weniger empfindlich, was die Bildschärfe erhöht [Sanner, 1995, Rother 2001].

Die **Leuchtschicht** enthält die 5-10 μ m (CaWO_4) kleinen Leuchtstoffkristalle in einem Bindemittel (Kunststoffklarlack). Die Schichtdicke beträgt 0,1-0,5 mm [Laubenberger, 1994]. Die Dicke der Schicht variiert je nach Folientyp. Auch gibt es Unterschiede in Art, Menge und Struktur der Leuchtstoffkristalle. All diese Faktoren haben, wie bereits beschrieben, einen Einfluss auf den Grad der Empfindlichkeit und Unschärfe der Folie.

Die **Schutzschicht** ist aus hartem, durchsichtigem Klarlack. Sie schützt die Leuchtschicht vor mechanischer Beschädigung und verbessert die Gleitfähigkeit beim Filmwechsel. Sie ist antistatisch, damit elektrische Aufladungen (Blitzfiguren) der Leuchtschicht vermieden werden.

- DER FILM

Der doppeltbeschichtete Röntgenfilm hat folgenden Aufbau:

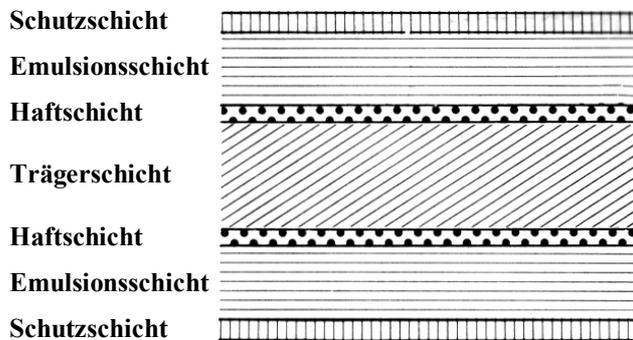


Abb.2: Schema des Aufbaus eines Folienfilms

Die **Schutzschicht** besteht aus stark gehärteter Gelatine und schützt die Emulsionsschicht vor äußeren Einwirkungen.

In der **Emulsionsschicht** liegen die 0,2-1,5 μm kleinen Silberbromid-Moleküle (AgBr) in Stäbchen- oder Plättchenform eingebettet in Gelatine. Die Größe und die Strukturdichte der Kristalle in der Emulsionsschicht kann wie die Schichtdicke je nach Filmtyp variieren. Die Schichtdicke einer PSA beträgt ca. 5 μm . Ein erhöhter Silbergehalt und eine zunehmende Schichtdicke erhöhen die Empfindlichkeit aber auch die **Filmunschärfe** [Hausdörfer, 1993]. Der Silberbromid-Anteil von Folienfilmen ist weitaus geringer als der eines folienlosen Films. Dieser wird ausschließlich durch Röntgenstrahlen geschwärzt und benötigt deswegen eine höhere Dosis. Um die Empfindlichkeit zu erhöhen, beträgt der Silbergehalt eines folienlosen Films ca. 25 g/m^2 . Im Vergleich dazu enthält der Folienfilm nur ca. 10 g/m^2 [Rother, 2001].

Die **Haftschicht** besteht aus Gelatine oder Kunststoff und sorgt für die Haftung von Emulsions- und Trägerschicht.

Die **Trägerschicht** (oder Filmunterlage) ist aus Polyester. Sie ist nicht entflammbar [Rother, 2001].

- SYSTEMEMPFFINDLICHKEIT

Im Allgemeinen versteht man unter der Empfindlichkeit eines beliebigen Systems, das Verhältnis der Wirkung zu ihrer Ursache [Sanner, 1995]. Bei der Verwendung von Verstärkerfolien werden Film und Folie nicht getrennt, sondern zusammen betrachtet. Es muss stets von einer Systemempfindlichkeit ausgegangen werden [Rother, 2001].

Die Empfindlichkeit eines Röntgenfilms

Sie wird durch die Lichtmenge bestimmt, die benötigt wird, um den Film zu schwärzen. Abhängig ist sie von seiner Sensibilisierung, die durch den Filmtyp vorgegeben ist. Der Schwärzungsgrad einer Aufnahme wird jedoch auch beeinflusst von der Filmlagerung und Verarbeitung, also durch Chemikalien, Temperatur und Dunkelkammerlicht. Außerdem spielt die Strahlenqualität und die Objektdichte eine Rolle.

Die Empfindlichkeit eines Röntgenfilmes wird durch den S-Wert beschrieben. Dieser wird durch die Strahlendosis bestimmt, die zum Erreichen einer bestimmten Filmschwärzung führt.

Der Verlauf der **Schwärzungs- oder Dichtekurve** eines Films beschreibt, wie dieser die Belichtung in optische Dichte umsetzt. Die Dichtekurve zeigt die Beziehung zwischen der am Film wirksamen Dosis und den daraus resultierenden Schwärzungsgrad auf [Laubenberger, 1994]. Mit zunehmender Belichtung nimmt die Schwärzung zunächst langsam, dann jedoch überproportional zu. Jeder Film hat einen optimalen Belichtungsbereich, in dem eine kontrastreiche Abbildung des Strahlenreliefs erfolgt [Rahn, 1989]. Die **Gradation** eines Filmes entspricht dem Tangens des Anstiegswinkels des geradlinigen Anteils der Dichtekurve.

Der **steile** Film mit der hohen Gradation ist empfindlicher und hat einen größeren Schwärzungsumfang (höhere Dichte) als der **flache** Film. Der Nachteil der steilen Filme ist der enge Belichtungsspielraum und damit die große Gefahr der Fehlbelichtung. Der Vorteil jedoch ist der bessere Kontrast [Volkman, 1998].

Die Schwärzungskurve von Film/Folien-Kombinationen erreicht schon im unteren Bereich ihren endgültigen Anstiegswinkel. Beim folienlosen Film verläuft sie flacher und erreicht diesen erst bei höherer Schwärzung [Hausdörfer, 1993].

Die Empfindlichkeit einer Verstärkerfolie

Im Allgemeinen wird die Empfindlichkeit einer Folie als Emmissionsintensität (Zahl der Photonen der jeweiligen Energie) ausgedrückt, die von einer gegebenen Röntgenstrahlintensität angeregt wird. Der bestimmende Wert der Empfindlichkeit einer Folie ist die **Leuchtdichte** [Laubenberger, 1994].

Der **Verstärkungsfaktor (VF)** gibt an, wie stark sich die Empfindlichkeit eines Films mit einer Folie erhöht. Es wird unterschieden zwischen effektiven (**VF_{eff}**) und relativen Verstärkungsfaktor (**VF_{rel}**). Der zuletzt genannte wird im Allgemeinen angegeben. Wird der VF von Folien verglichen, muss dieses stets im selben Spannungsgang geschehen, da sich die Absorption der Folien mit der unterschiedlichen Strahlenenergie ändert.

Der VF_{eff} ist der Quotient der Strahlendosis, der für eine bestimmte Schwärzung mit und ohne Folie benötigt wird. Ein VF_{eff} = 10 bedeutet, dass bei der Verwendung einer Folie nur 1/10 der Dosis für die gleiche Filmschwärzung benötigt wird.

Der Bezugswert des VF_{rel} dagegen ist die Schwärzung, die im Vergleich mit einer **Universalfolie** entsteht (VF_{rel} = 1). Bei der Verwendung einer höher verstärkenden Folie, ist für die gleiche Schwärzung eine geringere Dosis im Vergleich zu einer Universalfolie nötig. Der VF_{rel} ist dann kleiner als 1. Der VF_{rel} ist größer als 1 wenn eine im Vergleich höhere Dosis durch eine gering verstärkende Folie erforderlich ist [Sanner, 1995].

Die Empfindlichkeit eines Film-Folien-Systems

Der Zusammenhang zwischen dem Emissionsspektrum der Folie und der spektralen Empfindlichkeit des Films ist komplex. Wird von einem Empfindlichkeitswert gesprochen, bezieht sich dieser deshalb auf das Film/Folien-System bei definierter Verarbeitung.

Man beschreibt die Empfindlichkeit einer Film/Folien-Kombination als Kehrwert der Belichtung, die erforderlich ist, um eine bestimmte Dichte auf dem Film zu erzeugen. Daraus ergibt sich der **S-Wert** nach DIN 6867-1, der vom Hersteller gegeben wird. Aus ihm lässt sich der Dosisbedarf berechnen. Zur groben Orientierung wird häufig nur auf die **Empfindlichkeitsklasse** verwiesen [Volkman, 1998].

Für die Darstellung verschiedener Organe mit unterschiedlichen diagnostischen Merkmalen im Röntgenbild, benötigt man unterschiedliche Film/Folien-Systeme. Die Einteilung erfolgt in verschiedene **Empfindlichkeitsklassen**, die hier aufgeführt sind. Die Empfindlichkeit verdoppelt, bzw. halbiert sich dabei je Klasse [Langkau-Götzen, 1998, Rother 2001]:

- Die sehr feinzeichnenden **50er** Folien werden heute kaum noch verwendet. Ihr Einsatzbereich ist die Mammographie. Sie zeichnen sich durch sehr hohe Detailerkennbarkeit, geringe Empfindlichkeit und minimales Rauschen aus.
- Normalverstärkende **100er** Folien, die auch als **Universalfolien** bezeichnet werden (bezogen auf den Verstärkungsfaktor von CaWo₄ bei 70 kV) haben sich bei Aufnahmen der Lunge bewährt.
- Die hochverstärkenden **200er** Folien sind die gebräuchlichsten in der Zahn- Mund- und Kieferheilkunde und finden in der allgemeinen Röntgendiagnostik Verwendung als Standardfolie für Objekte normaler Dicke, z.B. Extremitätenaufnahmen. Die Detailerkennbarkeit dieser Folien ist hoch. Dies ist die höchste Empfindlichkeitsklasse der CaWo₄-Folien.
- Die Detailerkennbarkeit der höchstverstärkenden **400er** Folien ist noch gut. Das Rauschen dieser Folien ist als deutlich zu bezeichnen. Sie werden im Allgemeinen bei Aufnahmen mit extremen Objektkontrasten und als Standardfolie für die Darstellung bewegter Innerer Organe (Thorax, Magen-Darm) eingesetzt. Des Weiteren werden sie zur Dosisreduktion bei Serienaufnahmen in der Angiographie und allgemein in der Pädiatrie und bei Schwangeren verwendet.
- Letzteres ist auch der Anwendungsbereich der extrem empfindlichen **800er** Folien. Diese werden auch bei sehr dicken Objektteilen und für Aufnahmen in Gonadennähe eingesetzt. Von den erwähnten Folientypen haben sie die geringste Auflösung und zeichnen sich durch eine verminderte Detailerkennbarkeit und maximales Rauschen aus.

- STRAHLENEXPOSITION

Wie bereits beschrieben, ist es mit modernen Film/Folien-Systemen möglich, mit weniger Dosis, die gleiche Filmschwärzung zu erreichen.

Unter dem Begriff **Dosis** versteht im Allgemeinen, die pro Masseneinheit absorbierte Strahlenenergie. Man bezeichnet diese auch als **Energiedosis (D)**. Die Einheit ist **Gray (Gy)** und entspricht einer Energieabsorption von 1 Joule/Kg. Die **Äquivalenzdosis (H_T)** hingegen beschreibt die unterschiedliche biologische Wirksamkeit verschiedener Strahlenarten. Ihre Einheit ist Sievert. Da sie nur die absorbierte Strahlenenergie jeweils eines Körperabschnitts erfasst, wird sie auch als **Organdosis** bezeichnet. Das Gesundheitsrisiko nach einer Ganzkörperbestrahlung erfasst wiederum die **effektive Dosis (H_E)**. Sie berücksichtigt zusätzlich die unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit einzelner Organe und Gewebe wie Keimdrüsen, Schilddrüse oder rotes Knochenmark (Gewebewichtungsfaktoren).

Im praktischen Strahlenschutz werden die allgemein gut messbaren Größen **Ortsdosis**, **Personen-** und **Körperdosis** bestimmt. Letztere Größe wird mit Hilfe der Filmdosimetrie u.a. bei Personen ermittelt, die sich im Kontrollbereich einer Röntgeneinrichtung aufhalten müssen.

Auch kleine und kleinste Strahlendosen stellen ein Risiko für die Gesundheit eines Menschen dar. Für die stochastische Wirkung von Strahlen besteht kein Schwellenwert. Deshalb ist es von außerordentlicher Wichtigkeit, dass die Strahlenbelastung durch eine Röntgenaufnahme so weit wie möglich begrenzt wird. Die nachfolgende Tabelle quantifiziert die Strahlenexposition eines Patienten durch die Anfertigung eines Zahnfilms bzw. einer PSA [Rother, 2001]:

Konventionell	Röntgeneinheit: Oralix U3 DC, 60kV, 10mA / Gesamtfilterung: 2,5mm Al				
Film	Hautoberfläche	Augenlinse [mGy]	Schilddrüse	Gonaden [μGy]	
				Mann	Frau
				Mit Bleischürze	
Kodak Ektaspeed Plus	1,56	0,11	0,024	0,037	0,006
Kodak Insight	1,25	0,09	0,019	0,030	0,005
PSA	Röntgeneinheit: Orthophos, 71kV, 15mA, 14 s Umlaufzeit / Gesamtfilterung: 2,5mm Al R				
Film: KODAK T MAT L Folie: KODAK LANEX MEDIUM	0,56 (höchster Wert)	0,015	0,53	0,047	-

Tabelle 1: Strahlenexposition durch Untersuchung mit der konventionellen Aufnahmetechnik und einer PSA.

Die Höhe der Dosis bei der Anfertigung einer Röntgenaufnahme hängt von der **Strahlenqualität** (spektrale Zusammensetzung) der Röntgenstrahlung ab. Diese wird von der Röhrenstromstärke (mA) und Expositionszeit, sowie von der Röhrenspannung (kV) und der Filterung bestimmt. Darüber hinaus entscheiden der Focus-Objekt-Abstand, die Blendenöffnung und die Aufnahmetechnik über ihre Größe [Volkman, 1997].

Die **Stromstärke (mA)** an der Heizspirale reguliert die Anzahl der entstehenden Elektronen an der Kathode. Sie bestimmt die Menge, der pro Zeiteinheit (in Sekunden) erzeugten Röntgenstrahlen. Das Produkt aus mA x s steuert die **Filmschwärzung**. Durch Erhöhung der Stromstärke kann die Belichtungszeit und damit die für die Filmschwärzung erforderliche Dosis gesenkt werden [Pasler, 1995]. Bei der PSA-Aufnahmetechnik jedoch ist die Belichtungszeit durch den Umlauf (ca. 14 s.) konstant. Eine Dosisreduktion wird im Wesentlichen durch eine Verringerung der Stromstärke (mA) erreicht.

Die **Spannung (kV)** bestimmt die Fluggeschwindigkeit der Elektronen von der Kathode zur Anode und beeinflusst den **Strahlenkontrast**. Mit steigender Spannung erhöht sich die Kurzwelligkeit der Strahlung. Es gelangen mehr Röntgenstrahlen auf den Film, da weniger Strahlung vom Objekt absorbiert wird [Pasler, 1995]. Die dadurch bedingte verstärkte Filmschwärzung bewirkt jedoch einen Kontrastverlust [Freyschmidt, 1981, Kuhn, 1992]. Neben der Röhrenspannung ist der Strahlenkontrast auch von der Dicke und Dichte des durchstrahlten Objekts abhängig.

Niedrige Spannungswerte erzeugen mehr weiche, kontrastreichere Strahlung, die jedoch stärker vom Patienten absorbiert wird. Des Weiteren bewirken sie eine geringere Filmschwärzung. Dieses kann durch eine höhere Stromstärke bzw. Belichtungszeit ausgeglichen werden, was wiederum die Dosis erhöht.

Eine hohe Qualität bezüglich der Bildauflösung oder Detailerkennbarkeit geht daher immer mit einem relativ hohen Dosisaufwand einher [Braun, 1998].

Auch die Verstärkerwirkung der Folien ist kV-abhängig, da die Lichterzeugung der Folie proportional von der absorbierten Strahlenmenge abhängt. Die Absorption nimmt mit höherer Spannung kontinuierlich zu [Volkman, 1998]. Dieses wird auch als **Spannungs- oder Energiegang** der Folien bezeichnet.

2.2. KRITERIEN DER BILDQUALITÄT

Die Bildqualität einer Aufnahme ist durch ihr Detailreichtum in ihrer Gesamtheit auf den ersten Blick kaum fassbar. Im Allgemeinen wird unter der Qualität einer Aufnahme die Detailerkennbarkeit eines optimal geschwärzten Röntgenbildes verstanden. Die Bildqualität ist definitionsgemäß die dem Betrachter durch ein Bild vermittelte optimale Information abzüglich einer bestimmten Frage [Sanner, 1995].

Im Klinikalltag ist eine prinzipielle Voraussetzung für eine Beurteilung der Bildqualität eines Röntgenbildes und den Erstellen des Befundes wichtig, dass ein möglichst hoher Informationswert aus der Aufnahme erhältlich ist. Diese setzt die gute Abbildung aller bildrelevanten Details voraus. Dabei ist es sehr schwer anhand von medizinischen Röntgenaufnahmen zu sagen, ob sie für eine bestimmte Fragestellung als optimal anzusehen sind. Dies gilt bereits für die Darstellung normaler anatomischer Einzelheiten und daher insbesondere für charakteristische Veränderungen durch pathologische Prozesse [Stieve, Widenmann, 1967].

- **SUBJEKTIVE EINFLÜSSE BEI DER BILDBETRACHTUNG**

Ein Bilddetail erscheint subjektiv umso kontrastreicher, je größer der objektive Kontrast ist. Die Beurteilung der visuell subjektiven Bildqualität hängt grundsätzlich von persönlichen und physiologischen Voraussetzungen des Betrachters und den Betrachtungsumständen ab. Sehkraft (Adaptionsfähigkeit des Auges), Erfahrungshintergrund, Konzentrationsvermögen und die Anforderungen des Befundenen an den diagnostischen Bereich beeinflussen die Wertung. Daneben spielen äußere Gegebenheiten (Umgebungshelligkeit, Betrachtungszeit, verwendete Hilfsmittel wie Leuchtschirm oder Lupe) eine Rolle. Auch Größe, Form und Lage der einzelnen Bildelemente sind von Bedeutung [Dalicho, 1967, Mangold, 1995].

- **ZEICHENSCHÄRFE UND KONTRAST**

Bei der Betrachtung eines Röntgenbildes und der Beurteilung seiner Qualität, sind im allgemeinen Schwärzungsgrad, Kontrast und Detailerkennbarkeit mit dem bloßen Auge beurteilbar. Die Detailerkennbarkeit umschreibt direkt das Ausmaß der Erkennbarkeit eines Details auf dem Röntgenbild. Sie ist eng verknüpft mit den Begriffen Zeichenschärfe, Unschärfe und dem Auflösungsvermögen. Diese hängen voneinander ab, werden aber unterschiedlich definiert und sind ohne technische Hilfsmittel kaum zu bestimmen.

Der Begriff der **Zeichenschärfe** stammt aus der Anfangszeit der Optik. Die Qualität einer Aufnahme wurde daran gemessen, ob 2 nebeneinander liegende Punkte noch als solche wahrgenommen werden können [Kamm, 1998]. Im Allgemeinen versteht man darunter die Art der Schwärzungsbegrenzung (Kontrastübergang) benachbarter Bildteile. Sind die Begrenzungen scharf und ohne Übergang, so spricht man von einer guten Zeichenschärfe. **Unschärfen** sind am Film also als Kontrastübergangszonen zu werten. Je größer die Unschärfe, je breiter ist die Kontrastübergangszone [Laubenberger, 1994].

Für die **Gesamtunschärfe** U_{ges} eines Film-Folien-Systems gilt:

$$U_{ges} = \sqrt{U_{fol}^2 + U_{geo}^2 + U_{bew}^2}$$

Sie ist abhängig von der Folienunschärfe U_{fol} , der Geometrischen Unschärfe U_{geo} und der Bewegungsunschärfe. Die **Gesamtunschärfe** ist dann klein, wenn alle Einzelfaktoren klein und möglichst gleich sind [Hoxter, Schenz, 1991]. Auf die Ursache der Folien- und Filmunschärfe wurde bereits im Punkt 2.1 eingegangen. Eine Umschreibung der verwendeten Begriffe und weiterer Unschärfe erzeugender Faktoren kann dem Glossar entnommen werden.

Unter **Auflösungsvermögen** wird die visuelle Trennung benachbarter Objekte verstanden. Das Auflösungsvermögen einer Folie verschlechtert sich in der Regel mit steigenden Verstärkungsfaktor durch die zunehmende Folienunschärfe [Goretzki, 1987, Kuhn, 1992].

Unter **Kontrast** versteht man im Allgemeinen den Schwärzungsunterschied einer Aufnahme [Volkman, 1998] bzw. das Abheben benachbarter Bildpunkte voneinander. Der Kontrast beschreibt Dosis-, Helligkeits- oder Intensitätsunterschiede in einem Bild. Ohne Kontrast ist eine Struktur von ihrer Umgebung nicht zu unterscheiden. Es wird unterschieden zwischen dem **subjektiven** und dem **objektiven** Kontrast. Eine weitere Definition für den objektiven Kontrast ist die **Modulation**. Sie wird für die Beschreibung technischer Systeme (als Schwächungsunterschied) verwendet [Mangold 1995, Kamm, 1998]. Der Kontrast wird im Bezug zum Ort der Messung unterteilt in **Film-, Strahlen- und Objektkontrast**.

Eine Kontraststeigerung kann durch die Wahl einer niedrigen Röhrenspannung oder Verwendung eines steilen Films erzielt werden. Dem Ziel, auf der Aufnahme einen möglichst hohen Kontrast zu erzielen, sind Grenzen gesetzt, da der Kontrast zum einen in Relation zur Patientendosis zu sehen ist, zum anderen durch eine zu starke Detailkontrastierung, der darstellbare Objektumfang zu gering werden kann [Mangold, 1995].

Über den Kontrast (und Empfindlichkeit) eines Films kann die Dichtekurve Auskunft geben. Mit zunehmender Belichtung nimmt die Schwärzung zunächst langsam, dann jedoch überproportional zu. Die Steigung der Kurve im geradlinigen Teil wird Gamma genannt. In diesem Bereich fällt der maximale Kontrast. Jeder Film hat einen optimalen Belichtungsbereich, in dem eine kontrastreiche Abbildung des Strahlenreliefs erfolgt [Rahn, 1989]. Die **Gradation** eines Filmes, die dem Tangens des Anstiegswinkels des geradlinigen Anteils der Dichtekurve entspricht, bestimmt den Kontrastfaktor [Laubenberger, 1994]. Der **steile** Film mit der hohen Gradation ist empfindlicher und hat einen größeren Schwärzungsumfang (höhere Dichte) und als der **flache** Film. Der Nachteil der steilen Filme ist der enge Belichtungsspielraum und damit die große Gefahr der Fehlbelichtung [Volkman, 1998].

- **OBJEKTIVE ODER HALBOBJEKTIVEN MESSMETHODEN**

In einigen Fragestellungen ist es notwendig Zahlenwerte für den Vergleich einzelner Röntgenaufnahmesysteme heranzuziehen, um die Bildqualität zu objektivieren. So hängt der Informationswert eines Röntgenbildes vom Auflösungsvermögen des gesamten bildgebenden Systems und seiner Komponenten ab. Auch beeinflussen Störsignale wie das Rauschen seine Qualität. Zur Ermittlung dieser Faktoren dienen physikalischer Messmethoden wie die photometrische oder visuelle Auswertung von Testobjekt-Aufnahmen. Die objektiven Verfahren beruhen auf der Messung einer physikalisch exakt definierten Größe am Röntgenbild wie die Schwärzungskurve, MÜF oder Rauschen. Bei den halbobjektiven Messverfahren wird ein objektives Maß der Auswertung mit dem Auge unterworfen [Mangold, 1995].

Das Auflösungsvermögen

wird häufig mit Hilfe eines Punkt-, Linien- oder Kantenbildes oder mit kontrastreichen Bleistrichrastern gemessen. Ermittelt wird genauer das **visuelle Auflösungsvermögen** (Ortsauflösung in mm) einer Röntgenaufnahme unter standardisierten Prüfbedingungen (DIN 6868) [Kamm, 1998]. Dafür werden Röntgenbilder von Objektdetails eines Bleistrichrasters angefertigt und ausgewertet. Dieses ist eine Testplatte aus Plexiglasscheiben auf die dünne Bleifolien mit unterschiedlich breit gestanzten Lücken aufgelegt sind. Es ergibt sich ein Muster von je einem schwarzen (Luft) und einem weißen Streifen (Blei), die als Linienpaar bezeichnet werden. Die messbare Abweichung der Röntgenbilddetails von den vorgegebenen Objektdetails lassen Aussagen über die Qualität des Übertragungssystems zu. Ein Mikrophotometer ermöglicht die Auswertung der Helligkeits- oder Schwärzungsbilder [Langkau-Götzen, 1998]. Das Auflösungsvermögen wird als Ortsfrequenz in Linienpaaren pro mm angegeben. Sie ent-

spricht dem definierten Ablauf einer sich periodisch fortsetzenden Hell-Dunkel-Schwingung in einem Bild. Die Ortsfrequenz ist umso größer, je kleiner Breite und Querschnitt eines Objektes dargestellt werden.

Genauere Zahlenwerte ergibt die Messung der **Modulationsübertragungsfunktion** (MÜF oder MTF), die auch zur Ermittlung des Auflösungsvermögens dient. Diese geschieht durch das Abtasten der verschiedenen Strichgruppen des Bleistrichrasters mit einem Mikrodensitometer. Für jede Ortsfrequenz wird der prozentuale Anteil des übertragenen Kontrastes (Modulation) angegeben. Im Allgemeinen fällt ihr Wert mit zunehmender Ortsfrequenz ab. Die MÜF gibt an, wie gut die Kontraste unterschiedlich großer Objektdetails durch Bildkontraste wiedergegeben werden und bietet die Möglichkeit, die Qualität von optischen Übertragungssystemen zu beurteilen und zu vergleichen [Kuhn 1992, Kamm, 1998]. Der Nachteil der Messung ist ihr hoher technischer Aufwand.

Das Rauschen

Dieser Begriff stammt eigentlich aus der Akustik [Kamm, 1998] und beschreibt in der Anfangszeit der Radiotechnik störenden Geräusche, sog. Artefakte, die bei der Übertragung von Tonsignalen auftraten. Im Allgemeinen versteht man darunter die körnige Struktur der Röntgenaufnahme oder statistisch verteilte Dichteschwankungen, die ihre Ursache nicht im abzubildenden Objekt haben [Volkman, 1998]. Sie können ihren Ursprung in der Folie (**Strukturrauschen**) und im Film (**Detektorrauschen**) haben. Ursachen sind Unregelmäßigkeiten in der Leuchtschicht der Folie, bzw. der Körnung der Filmemulsion. Im Wesentlichen wird das Rauschen aber durch das **Quantenrauschen** verursacht. Es entsteht durch die unterschiedliche Verteilung (Fluktuationen) der Anzahl Röntgenquanten, die pro Fläche von der Folie tatsächlich absorbiert werden und somit den Film belichten.

Um das **Rauschen** messtechnisch zu erfassen, wird es als Funktion der Ortsfrequenz durch das Wiener Spektrum beschrieben [Kuhn, 1992]. Die quantitative Bestimmung erfolgt über die Aufnahme eines Testobjekts, wobei es als Helligkeitsschwankung erkannt wird. Die Intensität des entstehenden Strahlenbilds wird als Signal bezeichnet [Kamm, 1998].

2.3. DER EINSATZ VON FILM/FOLIEN-KOMBINATIONEN UNTERSCHIEDLICHER SYSTEMEMPFLINDLICHKEIT IN DER BILDGEBENDEN DIAGNOSTIK DER ZAHN-, MUND- UND KIEFERHEILKUNDE

Die in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde bevorzugt verwendeten Film/Folien-Kombinationen der Empfindlichkeitsklasse 200 bis 400 werden im Allgemeinen dort eingesetzt, wo folienlose Filme nicht zum Einsatz kommen können. Diese sind prinzipiell für Aufnahmen im Zahn- und Kieferbereich bestimmt, bei denen es auf besonders gute Zeichenschärfe ankommt. Die folienlosen Filme werden intraoral benutzt, wo die Verwendung von Kassetten und Folien nicht praktikabel ist. Der Anwendungsbereich der Folienfilme ist daher die extraorale Aufnahmetechnik. Dazu zählen neben den Aufnahmen des Panoramaschichtverfahrens die Schädelaufnahmen und die Panoramavergrößerungsaufnahmen.

Der folienlose Film

Der gebräuchlichste intraorale folienlose Film ist der Zahnfilm, mit dem Einzelzahn- oder Bissflügelaufnahmen der Zähne angefertigt werden. Er zeichnet sich durch einen hohen Kontrast und eine große Detailerkennbarkeit auch kleinster dentaler Strukturen aus. Dadurch ermöglicht er eine gute diagnostische Aussagekraft der abgebildeten anatomischen Bereiche. Da der folienlose Film nur durch die Röntgenstrahlen geschwärzt wird, erfordert seine Belichtung eine höhere Dosis. Dieses ist sein Nachteil. Seine Empfindlichkeit wird durch einen im Vergleich zum Folienfilm erheblich größeren Silberanteil in der Emulsionsschicht erhöht. Das Problem der Materialunschärfe des Folienfilms, welche sich durch die Kombination mit der Verstärkerfolie ergibt, kann bei diesem Filmtyp vernachlässigt werden [Rother, 2001]. Es werden heute Zahnfilme der Empfindlichkeitsklasse E und F verwendet.

Film/Folien- Kombinationen in der Panoramaschichttechnik

Als Bestandteil der zahnmedizinischen Untersuchung ist der gebräuchlichste Einsatz von Film/Folien-Kombinationen die **Panoramaschichtaufnahme** bzw. **Orthopantomographie (PSA oder OPG)**. Mit ihr sind Abbildungen des gesamten Kauorgans auf einer Aufnahme möglich, deshalb besitzt sie einen hohen Informationsgehalt und stellt eine ideale Basisuntersuchung dar. Des Weiteren verringert sich die erforderliche Dosis durch das Einsparen von Röntgenstrahlung mit der Folie. Dieses sind die wesentlichen Vorteile der PSA werden doch im Vergleich für einen intraoralen Röntgenstatus elf oder mehr Einzelzahnaufnahmen benötigt. Die Bildqualität einer PSA in den dentalen Strukturen sollte deshalb so gut sein, dass

kein weiterer Zahnfilm zur näheren Diagnostik benötigt wird. Dieser Forderung werden heutige Film/Folien-Systeme in der Regel gerecht.

Im Gegensatz zum Zahnfilm müssen für eine optimale Bildqualität der Aufnahmen jedoch viel mehr Punkte beachtet werden. Da auf der PSA eine möglichst hohe Detailerkennbarkeit erwünscht ist, um auch feine dentale Strukturen möglichst genau darstellen zu können, gilt grundsätzlich die Forderung nach einer umsichtigen Auswahl der richtigen Folie und des passenden Films. Durch Einführung der Folien auf Basis Seltener Erden und moderner Filme erfolgte bereits eine deutliche Dosisreduzierung bei gleichzeitiger Verbesserung der Bildqualität. Die Empfindlichkeit dieser modernen Film/Folien-Systeme liegt im dentalen Bereich bei 200 bis 400. Innerhalb dieser Empfindlichkeitsklassen liegt die Grenze der möglichen Dosisreduktion, wenn gleichzeitig eine optimale Detailerkennbarkeit und diagnostische Aussagekraft erhalten bleiben soll.

Schichtaufnahmen sind überlagerungsfreie Abbildungen aller in einer bestimmten Schicht liegender Objektdetails. Bei herkömmlichen Geräten wird eine gekrümmte Schicht über drei verlagerte Drehpunkte durch das Strahler-Kassetten-System dargestellt. Die Rotationszentren liegen jeweils bei den beiden unteren Weisheitszähnen und etwa 30 mm dorsal der unteren Inzivi. Das in dieser Versuchsreihe verwendete Gerät **Orthophos** hat ein- bzw. unendlich viele Rotationszentren, was zu einem kontinuierlichen Bewegungsablauf und dadurch zu einer verbesserten Bildqualität führt. Kassette und Strahler bewegen sich dabei gegenläufig um den Kopf des Patienten. Alle Objekte, die innerhalb der Schicht liegen, werden scharf abgebildet, die Objekte außerhalb der Schicht werden verwischt.

Das so entstandene Röntgenbild ist gegenüber dem Original um etwa 23% vergrößert. Es setzt sich aus anatomischen Strukturen zusammen, die durch ihre Lage in der gewählten Schicht scharf abgebildet werden oder sich außerhalb der gewählten Schicht befinden. Diese stellen sich folglich weniger scharf dar und können durch Überlagerungen der schichtnahen Strukturen zu so genannten Summationseffekten (durch Additions- oder Subtraktionseffekte) führen. Die Kenntnis der aufnahmetechnischen Bedingungen und der in Abhängigkeit von der Projektion in Erscheinung tretenden anatomischen Strukturen muss vorausgesetzt werden, um Fehlinterpretationen der Röntgenbilder zu vermeiden [Motzbäuchel, 1990, Pasler, 1995, Rother 2001].

Für die gute und vollständige Darstellung unterschiedlich dichter Strukturen von Ober- und Unterkiefer, die sich aus Knochen, Luft und umgebende Weichteile zusammensetzen, ist eine korrekte Aufnahmetechnik (Positionierung, Einstellung der Aufnahmeparameter) entschei-

dend. Um die richtige Projektion der Strahlen zu erreichen, muss der Patient unter Berücksichtigung der anatomischen Gegebenheiten korrekt positioniert werden und darf sich während der ca. 14 Sekunden langen Expositionszeit nicht bewegen.

Die Stromstärke und Spannung sind je nach Gerätetyp in verschiedenen Stufen wählbar. Sie werden unter Berücksichtigung der verwendeten Film/Folien-Kombination und individueller Patientendaten wie Alter, Körpergröße, Gewicht und Geschlecht eingestellt. Eine Besonderheit in der Anwendung des von uns verwendeten Röntgengerätes **Orthophos** besteht darin, dass Spannung und Stromstärke über die gebräuchlichen Standartwerte andere Geräte hinaus, in kleineren Abstufungen gewählt werden können. Eine automatische Belichtungsvorwahl ermittelt nach dem Betätigen der Aufnahmetaste aus der Struktur des Patientenschädels automatisch die optimalen mA/kV-Werte [Motzbäuchel, 1990].

Film/Folien-Kombinationen bei der Panoramavergrößerungstechnik (PVA)

Die Anwendung der PVA-Technik ist durch die Überlegenheit des Panoramaschichtverfahrens heute selten geworden. Die Geräte werden gegenwärtig nicht mehr gebaut. Das PVA-Verfahren ermöglicht die getrennte Abbildung von Ober- und Unterkiefer. Sie erlaubt eine Überlagerungsfreie Darstellung der Frontzähne und der Beziehung periapicaler Strukturen zur Kieferhöhle.

Für die Aufnahme wird eine sog. Anodenröhre in den Mund des Patienten eingeführt. Der Film, der in einer flexiblen Kassette mit Folien verpackt ist, wird der Gesichtsform angebogen und am Patienten fixiert. Die Belichtungszeit ist im Vergleich zur PSA außerordentlich kurz. Der große Nachteil der PVA-Technik ist die nicht unbedeutende Strahlenbelastung der intraoralen Schleimhäute und die aufnahmetechnisch bedingte deutliche Einkippung des Alveolarfortsatzes im Unterkiefer [Pasler 1995, Rother 2001].

Film/Folien-Kombinationen bei den Schädelaufnahmen

Die Schädelaufnahmen dienen als Basisuntersuchung des Gesichtsschädels. Man unterscheidet:

1. Schädel p.-a. 15°
2. Schädel p.-a. 0°
3. NNH (Nasennebenhöhlen-Aufnahme)
4. Orbitaübersicht
5. Gesichtsschädel axial
6. Seitlicher Schädel, Nase seitlich
7. Fernröntgenaufnahmen

Die Indikationen der Schädelaufnahmen sind im Allgemeinen Trauma (Frakturerkennung und -lokalisierung), Raumforderungen, Fremdkörper, Anomalien und postoperative Kontrollen. Die NNH Aufnahme dient im Besonderen der Abklärung von Erkrankungen der Kieferhöhlen, der übrigen Nasennebenhöhlen, odontogener Infektionen (Parodontitis) und Systemerkrankungen. Für bestimmte Fragestellungen (1., 5. und 7.) werden Verlaufsfolien, die sich durch eine variable Foliendicke auszeichnen, verwendet. Durch sie werden objektgestimmte Verstärkungseffekte erzielt, um die Darstellung des Schädelskeletts, der Jochbögen oder Weichteile zu ermöglichen. Die Fernröntgenaufnahmen werden in der Kieferorthopädie, sowie in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie zur Diagnostik, Therapieplanung und -kontrolle eingesetzt.

Schädelaufnahmen werden mit Mehrpulsgeräten und einem entsprechenden Aufnahme-Stativ bzw. mit Schädel spezialgeräten (z.B. Orbix, Cranio-Diagnost) angefertigt. Einige der Aufnahmen (3. und 7.) können mit Panoramageräten durchgeführt werden [Rother, 2001].

3. Material und Methode

Alle Aufnahmen dieser Versuchsreihe wurden in der Abteilung für Röntgendiagnostik der Klinik und Poliklinik für ZMK des Universitätskrankenhauses Eppendorf in Hamburg von qualifiziertem Fachpersonal angefertigt.

Es wurden für diese Untersuchung 240 PSA-Aufnahmen ausgewählt.

Alle Aufnahmen wurden mit folgendem Röntgengerät angefertigt:

Orthophos

Röhrenspannung : 60 – 90 kV

Röhrenstrom : 4 – 16 mA

Aufnahmezeit : 14,13 s

Anschließend wurden die Aufnahmen maschinell in folgendem Gerät entwickelt:

Agfa Gevart

HAT 530 E.O.S.

Chemikalien:

Entwickler AGFA ABC G'138

Fixierer AGFA AB G'334

Es wurden nur Röntgenbilder ausgewählt, die keine offensichtlichen Positionierungsfehler aufweisen, da diese sich, wie bekannt, negativ auf die Bildqualität auswirken.

Nicht alle Röntgenbilder stammten von vollbezahnten Personen. Es wurden auch Aufnahmen von teil- oder unbezahnten Patienten verwendet.

Wichtiges Kriterium für die Auswahl der Aufnahmen war ein einheitlicher Schwärzungsgrad. Es erwies sich jedoch in der praktischen Umsetzung als äußerst schwierig, dieser Anforderung bei allen 240 Aufnahmen gerecht zu werden. Dieses wurde besonders bei Verwendung des Films KODAK T MAT L deutlich. Viele dieser Aufnahmen mussten verworfen werden, weil sie zu hell oder zu dunkel wurden. Die Anforderung an die Schwärzung der Bilder musste deshalb etwas eingeschränkt werden. Da die Aufnahmen mit je sechs Bildern auf insgesamt 40 Umschläge verteilt wurden, musste die Schwärzung mindestens für die Bilder innerhalb eines Umschlags einheitlich sein. Der Schwärzungsgrad wurde visuell durch das Betrachten der Aufnahmen am Leuchtschirm ermittelt. Als Hilfsmittel wurde bei einigen Aufnahmen ein Densitometer verwendet.

Die Röntgenbilder wurden mit unterschiedlichen mA/kV-Einstellungen belichtet:

1. Niedrige mA, hohe kV oder

2. Hohe mA, niedrige kV

Insgesamt wurden 127 Röntgenbilder mit niedriger mA und 113 mit hoher mA angefertigt.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die genaue Verteilung innerhalb der Gruppen auf.

Tabelle 2: Systemempfindlichkeit, mA/ kV-Einstellung, Anzahl der Aufnahmen.

Film	Folie	mA niedrig	mA hoch	Gesamt Anzahl der Aufnahmen
Kodak TMATL	250	05-06mA / 69-90kV	14-16mA / 60-66kV	60
	Anzahl Aufn.	32	28	
Kodak TMATL	400	05-07mA / 70-85kV	10-16mA / 60-66kV	60
	Anzahl Aufn.	34	26	
AGFA Dentus Ortholux	200	04-07mA / 69-90kV	15-16mA / 64-66kV	60
	Anzahl Aufn.	31	29	
AGFA Dentus Ortholux	400	04-07mA / 70-85kV	13-16mA / 60-66kV	60
	Anzahl Aufn.	30	30	
Gesamt- Anzahl der Aufnahmen		127	113	240

Die gewählten Einstellungen entsprachen den individuell benötigten Werten, die zur Erzielung eines möglichst einheitlichen und befriedigenden Schwärzungsgrades erforderlich waren. Die mA-Werte lagen etwas unter bzw. über den üblicherweise verwendeten 10 mA für das 200er System und 6 mA für die 400er Film/Folien-Kombination.

Die 240 Aufnahmen wurden in zwei Hauptgruppen (zwei Film/Folien-Kombinationen) zu je 120 Bildern geteilt. Die eine wurde als **KODAK-Gruppe**, die andere als **AGFA-Gruppe** bezeichnet. Sie werden im weiteren Verlauf auch als Herstellergruppen bezeichnet.

Je 60 Aufnahmen, also die Hälfte jeder Hauptgruppe, wurden mit der **hochverstärkenden** 200er Folie (AGFA) bzw. 250er Folie (KODAK) angefertigt, die andere Hälfte mit der **höchstverstärkenden** 400er Folie.

Neben den zwei Hauptgruppen entstanden also vier Untergruppen.

3.1. Die verwendeten Film/Folien-Kombinationen

Für die Untersuchung wurden vier unterschiedliche Film/Folien-Kombinationen der Empfindlichkeitsklasse 200 bzw. 250 und 400 ausgewählt:

1. **KODAK T MAT L/KODAK LANEX MEDIUM 250**
2. **KODAK T MAT L/KODAK LANEX REGULAR 400**
3. **AGFA DENTUS ORTHOLUX/AGFA DENTUS MEDIUM SC 200**
4. **AGFA DENTUS ORTHOLUX/AGFA DENTUS REGULAR SC 400**

Die Dichtekurve von **AGFA DENTUS ORTHOLUX** hat laut Herstellerangabe einen mittleren Gradienten von 2,7 und damit einen steileren Verlauf als die von **KODAK T MAT L**. Der mittlere Gradient dieses Films beträgt 2,0. **AGFA DENTUS ORTHOLUX** ist deshalb im Vergleich als empfindlicher (kontrastreicher) zu bezeichnen. **KODAK T MAT L** wurde dagegen mit einer um ein Viertel empfindlicheren Folie (Empfindlichkeitsklasse 250) kombiniert.

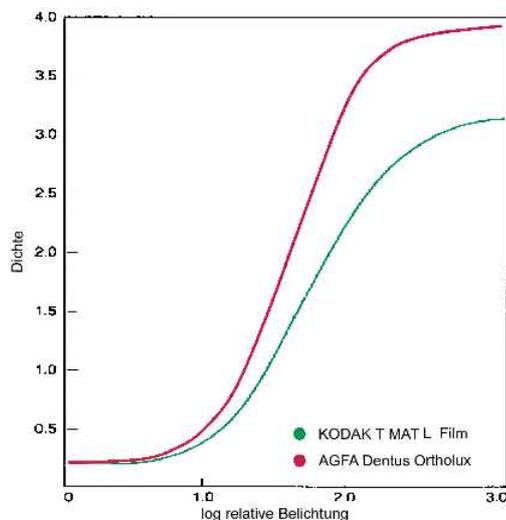


Abb. 3: Dichtekurve der verwendeten Filme

Die Emulsionsschichten der beiden orthochromatischen Filme unterscheiden sich in ihrem Aufbau, indem diese bei **AGFA DENTUS ORTHOLUX** aus flachen Zwillingskristallen (Disc-Grain-Technik) besteht, während sie bei **KODAK T MAT L** tafelförmig strukturiert ist (T-Grain-Technik). **AGFA DENTUS ORTHOLUX** weist durch eine spezielle Bündelung des Streulichts in der Filmemulsion einen speziellen "Cross-over"-Schutz auf, der vom Hersteller als so genannter Anti-Scatter-Effekt bezeichnet wird. Des Weiteren besitzt der Film eine blaue Unterlagenfärbung, die einen klaren Bildeindruck vermitteln soll.

Die verwendeten überwiegend grünleuchtenden Folien enthalten als Leuchtstoff Gadoliniumoxysulfid mit einem Emmissionspektrum bei 550 nm.

3.2. Untersuchungsmodell und Ablauf

Die 120 Röntgenbilder jeder Hauptgruppe wurden auf 20 Umschläge mit jeweils 6 Aufnahmen verteilt. 3 Bilder davon waren mit der 200er bzw. 250er Folie und 3 mit der 400er Folie belichtet worden. Die Bilder wurden mit Zahlen beschriftet. Es war jedoch aus den Zahlen für den Betrachter nicht ersichtlich, welche Folie oder mA/kV-Einstellung für die Anfertigung des Röntgenbildes verwendet wurde.

Jedem Umschlag wurden 6 Fragebögen (siehe Abb. 4) pro Betrachter beigelegt.

Jedes Bild wurde erst einzeln anhand des Fragebogens ausgewertet und anschließend mit den anderen 5 Aufnahmen im Umschlag verglichen. Jeder Betrachter füllte 240 Fragebögen aus. Es lagen demnach nach Abschluss der Bewertung insgesamt 960 ausgefüllte Papiere vor: Je 480 Fragebögen entfielen auf die KODAK- oder AGFA-Gruppe bzw. 240 Fragebögen auf die unterschiedlichen Empfindlichkeitsklassen der Film/Folien-Kombinationen.

Die Bewertung erfolgte durch vier Betrachter, die alle ausgebildete Zahnärzte und qualifiziertes Fachpersonal der Abteilung sind.

Die Röntgenbilder wurden bei normaler Raumbelichtung an einem Leuchtschirm von Typ **Planilux** ausgewertet.

Die Beurteilung erfolgte durch Ankreuzen der Antwortkästchen. Als Antwort konnte in zwei Punkten "gut", "ausreichend" oder "nicht ausreichend" angegeben werden und in sechs Punkten zusätzlich auch "sehr gut". In jeweils einem Punkt bestand die Wahl zwischen "richtig" oder "falsch" bzw. "ja" oder "nein". Eine Frage musste durch Angabe einer Zahl der Scala 1 bis 6 beantwortet werden. Die Zahl 1 wurde für die beste und 6 für die schlechteste Aufnahme vergeben.

Es wurden **Schwärzung** und **Kontrast** zur Charakterisierung der Bilder herangezogen. Auch wurde ermittelt, ob die Positionierung des Patienten für die Aufnahme vom Untersucher als richtig bestätigt werden konnte.

Anschließend musste die **Detailerkennbarkeit** in 6 ausgewählten Bildregionen beschrieben werden (siehe Abb. 5):

1. Periapical 46
2. Coronal 36
3. Sinus maxillaris links regio 25
4. Condylus rechts
5. Canalis mandibularis rechts
6. Maxilla Tuber regio 28 links

Diese Punkte wurden ausgewählt, um einen guten Überblick über die Qualität der gesamten Aufnahme zu erlangen und um regionale Unterschiede zu ermitteln.

Die Umgebung des ersten Molaren rechts und links wurde als dentale Region ausgewählt. Bei Fehlen dieses Zahnes durfte auf den zweiten Molaren oder Prämolaren ausgewichen oder alternativ die Darstellung der Knochenstruktur in diesem Bereich beschrieben werden. Es musste dann vom Betrachter entschieden werden, ob für die Befundung in diesem Bereich zusätzlich ein Zahnfilm erforderlich wäre.

Am Ende war eine Einordnung der Aufnahme nach seiner diagnostischen Aussagekraft in einer Rangfolge von 1 bis 6 im Vergleich zu den anderen fünf Röntgenbildern erwünscht.

Die Aufnahmen wurden unabhängig voneinander betrachtet. Die Untersucher konnten dabei den Betrachtungsabstand und die Betrachtungsdauer, sowie die Geschwindigkeit der Bearbeitung frei wählen.

Abb. 4: Fragebogen zur Ermittlung der Untersuchungsergebnisse

Bild Nr.: Umschlag Nr.:

Fragebogen zu OPG Aufnahmen

Wie beurteilen Sie die Qualität der Aufnahme hinsichtlich:

	Schwärzung	Kontrast
gut		
ausreichend		
nicht ausreichend		

Positionierung richtig falsch

Wie beurteilen Sie die Detailerkennbarkeit (Zeichenscharfe) in folgenden Regionen:

- Periapical 46 (Wurzelspitze und PA Spalt)
sehr gut gut ausreichend
nicht ausreichend
- Coronal 36 (Zahnhalbs und marginales Parodontium)
sehr gut gut ausreichend
nicht ausreichend

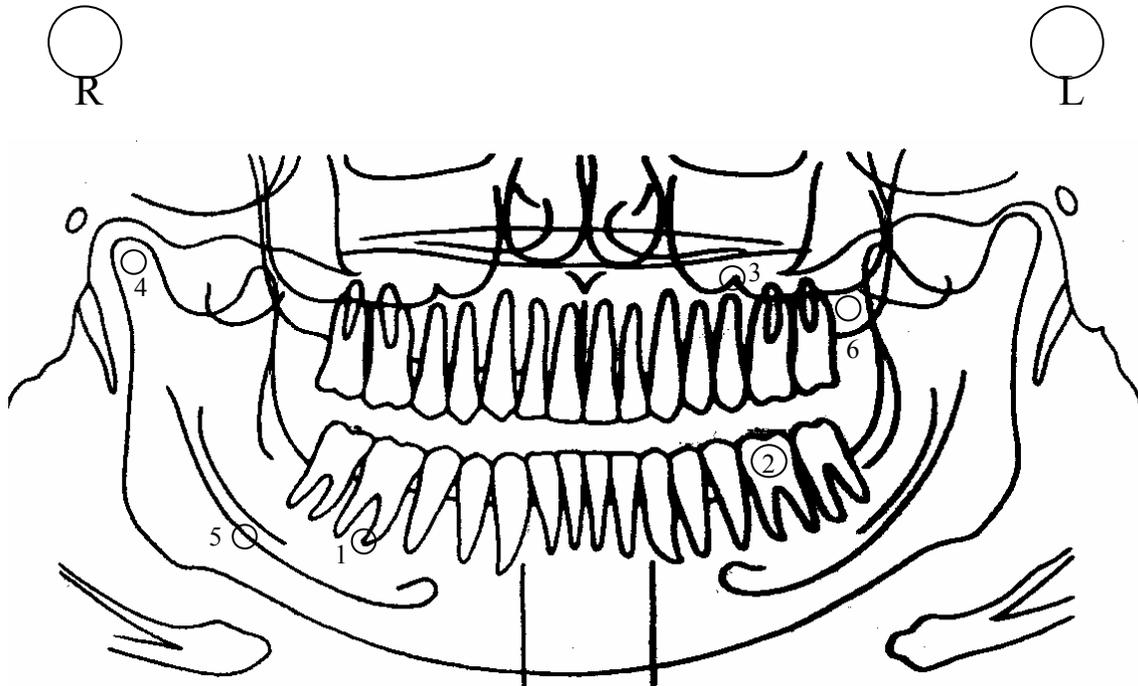
Wurden Sie für diese Region zusätzlich einen Zahnfilm anfertigen?

Ja Nein

- Sinus maxillaris links regio 25 (Begrenzung)
sehr gut gut ausreichend
nicht ausreichend
- Condylus rechts (Kontur, Knochendichte)
sehr gut gut ausreichend
nicht ausreichend
- Canalis mandibularis rechts (Verlauf)
sehr gut gut ausreichend
nicht ausreichend
- Maxilla Tuber regio 28 links
sehr gut gut ausreichend
nicht ausreichend

Vergleichen Sie bitte die diagnostische Aussagekraft der Ihnen vorliegenden Aufnahmen. Ordnen Sie die Aufnahmen in eine Reihenfolge von 1 bis 6 ein, wobei Sie die nach Ihrer Meinung beste Aufnahme zuerst eintragen.

Abb. 5: Die Abbildung zeigt die sechs ausgewählten röntgenanatomischen Strukturen im Orthopantomogramm dieser Untersuchung, dessen Detaillierbarkeit durch die Betrachter beschrieben wurde.



1. Periapical 46
2. Coronal 36
3. Sinus maxillaris links regio 25
4. Condylus rechts
5. Canalis mandibularis rechts
6. Maxilla Tuber regio 28 links

3.3. Das ROC-Konzept

ROC steht für Receiver-operating-characteristic-Methode. Der Begriff stammt aus der Psychophysik, wo er vor ca. 40 Jahren eingeführt wurde, um die Güte von bilderzeugenden Systemen einschließlich der Leistung vom Beobachter erfassen zu können. Die ROC-Analyse wird heute für die Erfassung und Bewertung der komplexen Größe Diagnosequalität in der Medizin verwendet. Sie findet in den letzten Jahren auch in der Röntgendiagnostik ihre Anwendung, um verschiedene Aufnahmesysteme miteinander zu vergleichen. Die medizinischen Anforderungen des Radiologen an das Bild, werden bei herkömmlichen Messmethoden häufig nicht widerspiegelt. Die ROC-Methode setzt am Endpunkt der Diagnosefindung beim Befund an und ermöglicht eine Qualitätsprüfung, die mehr als rein physikalisch-technische Parameter beurteilt.

Für die Durchführung einer ROC-Analyse werden entweder Patientenaufnahmen oder Kontrastdetail-Phantomaufnahmen verwendet. Die Zuverlässigkeit der ROC-Methode hängt neben einer genügend großen Menge an zu bewertenden Aufnahmen (mindestens 50) sehr stark von subjektiven Faktoren des Betrachters und einer Vielzahl anderer Einflüsse ab, die die Diagnosequalität beeinflussen. Der Untersucher bewertet die vorgelegten Röntgenaufnahmen anhand der Ausprägung bestimmter Merkmale im Bild und muss sich für einen positiven oder negativen Befund (vorhanden oder nicht vorhanden) entscheiden. Der Anteil von Aufnahmen mit gesicherten histopathologischen Befund bzw. vorhandenen technischen Detail beträgt dabei 50%.

Es werden die Beobachterantwort und der tatsächliche Befund miteinander verglichen und ausgewertet. Die Antworten können bei gesicherten Befund Richtig Positiv (RP) oder Falsch Positiv (FP) bzw. bei nicht vorhandenen Objektdetail Falsch Negativ (FN) oder Richtig Negativ (RN) sein. Der Anteil Richtig Positiver Antworten zur Gesamtzahl positiver Fälle wird als **Sensivität** bezeichnet. Die **Spezivität** dagegen ist der Anteil Richtig Negativer Antworten zur Gesamtanzahl aller negativen Fälle. Diese Begriffe entsprechen im Grunde der "Wahrheit" der Aussage, denn der erkannte bzw. nicht erkannte Befund ist tatsächlich vorhanden bzw. nicht vorhanden.

In der Regel kann der Beobachter seinen Befund auf einer Skala von mehreren Punkten bewerten und dabei seine Entscheidungsschwelle von hoher Sensivität zu hoher Spezivität verschieben. Diese Methode wird als Ranking-Verfahren bezeichnet.

Als Maß für die Befundqualität kann entweder die Fläche der ROC-Kurve oder der Anteil RP Befunde bei einen fest gewählten Anteil FP Befunde bestimmt werden [John, Hirche, Callies und Lenz, 1981, Wucherer, 1996].

Die Antworten der Betrachter dieser Untersuchung werden nicht im direkten Vergleich zu einer definierten Bildqualität wie z.B. einer idealisierten Aufnahme („Goldstandart“) oder einem tatsächlichen Befund gesetzt. Solch ein Befund könnte eine pathologische Veränderung oder ein artifizielles Merkmal auf der Aufnahme sein, welches durch ein Testobjekt hervorgerufen wird. Die Methode dieser Untersuchung lehnt dennoch an das ROC-Modell an. Der Vergleich bzw. die Ermittlung der „Wahrheit“ oder „Unwahrheit“ der Ergebnisse dieser Untersuchung ist gegeben durch den hohen Erfahrungswert und das Fachwissen der Betrachter.

In diesem Untersuchungsmodell wurden die Ergebnisse der Untersucher unter Berücksichtigung der gegebenen variablen Einflussgrößen miteinander verglichen und schließlich zusammengefasst. Das Gesamtergebnis, welches sich durch die Antworten aller Betrachter ergab, wurde graphisch dargestellt und ausgewertet.

3.4. Statistik

Zu den beeinflussenden Komponenten der Bildqualität zählen neben der Bewertung der vier Betrachter, die beiden Filme und Folien von zwei unterschiedlichen Herstellern. Aus Ihnen wurden vier Film/Folien-Kombinationen zweier Empfindlichkeitsklassen zusammengestellt. Als weitere Komponente ist die Dosis zu nennen, da die Aufnahmen mit unterschiedlichen Belichtungsdaten (niedrige mA/hohe kV bzw. hohe mA/niedrige kV) aufgenommen wurden. In der Auswertung der Fragebögen und Erstellung der Statistik wurde beleuchtet, ob der Einfluss aller einwirkenden Komponenten gleich groß ist oder ob einer der Faktoren im Vergleich zu den anderen einen bezeichnenden bzw. signifikanten Einfluss auf die Bildqualität hat. Es galt, die Größe und die Bezüglichkeit dieses Einflusses zu ermitteln

- PROPORTIONAL ODDS MODELLE

Die Daten wurden in Excel ausgewertet und in Zusammenarbeit mit dem Institut für mathematische Datenverarbeitung im UKE mit dem Statistikprogramm SPSS bearbeitet. Um eine Auswertung im Statistikprogramm zu ermöglichen, wurden alle Variablen, die in die Untersuchung einfließen, als Zahlen kodiert bzw. durchnummeriert. Dies wird in der folgenden Legende veranschaulicht:

Tabelle 3: Legende der Variablen für die Statistische Auswertung:

Bild Nr.:	1 bis 120 für jede Hauptgruppe	
Umschlag Nr.:	1 bis 20 für jede Hauptgruppe	
Betrachter:	1 bis 4	
Film:	1 = KODAK T MAT L	2 = AGFA DENTUS ORTHOLUX
Folie:	1 = 200/250	2 = 400
mA:	1 = niedrig	2 = hoch
Antworten:	1 = sehr gut	2 = gut
	3 = ausreichend	4 = nicht ausreichend
Rangfolge:	1 (beste Aufnahme)	bis 6 (schlechteste Aufnahme)
Positionierung:	1 = richtig	2 = falsch
Zahnfilm:	1 = ja	2 = nein

Es wurden "Proportional Odds Modelle" errechnet. Proportional Odds kann als "verhältnismäßige Chance" übersetzt werden. Diese Berechnung dient dazu, die gleichzeitige Einwirkung multipler Einflussgrößen auf eine ordinale Zielgröße zu beurteilen und Schätzungen für das Vorhandensein und die Größe signifikanter Einflüsse zu liefern [McCullagh, 1980].

Es wurde die geschätzte Wirkung der Einflussgrößen bzw. ihre paarweise Interaktionen auf die Beantwortung der Fragebögen bestimmt.

Die einzelnen **Einflussgrößen** sind:

- a) Film
- b) Folie
- c) Dosis (mA)

Die **paarweise Interaktionen** dieser Einflussgrößen sind:

- d) Film und Folie (FI x FO)
- e) Film und Dosis (FI x mA)
- f) Folie und Dosis (FO x mA)

Sie werden zusammenfassend als **multiple Einflussgrößen** bezeichnet.

Die **Zielgröße** dieser Untersuchung ist die Bildqualität. Diese wird durch die Antworten zu den einzelnen Punkten des Fragebogens (auch Zielvariablen) umschrieben, welche sind:

1. Schwärzung
2. Kontrast
3. Detailerkennbarkeit der Strukturen im Bereich:
 - Periapical 46
 - Coronal 36
 - Sinus maxillaris links regio 25
 - Condylus rechts
 - Canalis mandibularis rechts
 - Maxilla Tuber regio 28 links

Da die Zielgrößen Positionierung und Zahnfilm nur zwei Werte annehmen (Richtig/Falsch bzw. Ja/Nein) reduziert sich hier das Modell zu einer (klassischen) multiplen logistischen Regression.

Es wurde so vorgegangen, dass jede Antwort in den einzelnen Punkten des Fragebogens eines Untersuchers zuerst separat ausgewertet wurde, um am Ende mit den Ergebnissen der anderen Betrachter vergleichbar zu sein. Dadurch konnte beleuchtet werden, ob der signifikante Einfluss nur vereinzelt auftritt, also ein zufälliges Ergebnis ist.

Der **signifikante Einfluss** und seine wahrscheinliche Auswirkung auf die Beurteilung der Bildqualität durch die Betrachter, wird anhand von Zahlenwerten bestimmt. Dafür wurden die Werte **Pr > Chi-Square, Parameter Estimate** und **Odds Ratio** durch den Statistiker berechnet. Estimate bedeutet einschätzen. Parameter Estimate kann als “Schätzwert“ übersetzt werden. Odds bedeutet Gewinn oder Chance und ratio Verhältnis.

Für die Existenz eines signifikanten Einflusses muss **PR > Chi-Square kleiner als 0,05 sein**. Wenn bei keinem oder allen Faktoren dieser Wert unterschritten wird, ist kein signifikanter Einfluss vorhanden.

Ist der entsprechende Wert unter den sechs Einflussgrößen erkennbar, kann die Richtung des signifikanten Einflusses am Vorzeichen des Wertes Parameter Estimate (PE) abgelesen werden. Ist der Wert des Parameter Estimate **positiv**, so spricht der hohe Wert der Einflussgröße für einen niedrigen Wert der Zielgröße. Ist dieser **negativ**, so spricht ein hoher Wert der Einflussgröße für einen hohen Wert der Zielgröße. Für die interagierenden Einflussgrößen gilt, dass ein hoher Wert beider Größen einen zusätzlichen positiven oder negativen Einfluss auf die Zielgröße hat.

Der Wert des P.E. beschreibt folglich die Wahrscheinlichkeit, wann der Betrachter durch einen gegebenen Einfluss die Bildqualität als besser oder schlechter einstufen wird. Für das Verständnis des Parameter Estimate muss auf die Legende in Tabelle 3 zurückgegriffen werden, da sich die verwendeten Begriffe und Werte aus der Zahlenkodierung der Variablen erklären.

Um den geschätzten Einfluss zu quantifizieren, betrachtet man das **Odds Ratio**. Es ist definiert als e hoch Parameter Estimate. Das e beschreibt die sog. Eulersche Zahl (2.71). Damit gilt, dass ein positiver Wert für den Parameter Estimate ein **Odds Ratio größer als 1** liefert, ein negativer Parameter Estimate ein **Odds Ratio zwischen 0 und 1**.

4. ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNG ZUM EINSATZ VON FILM/ FOLIEN-KOMBINATIONEN UNTERSCHIEDLICHER SYSTEMEMPFFINDLICHKEIT BEI PANORAMA-SCHICHTAUFNAHMEN.

4.1. ODDS RATIO

Es wird nun am Beispiel der Zielgröße Periapical 46 von Betrachter Nummer Eins, die in Punkt 3.4. beschriebene Vorgehensweise veranschaulicht.

Tabelle 4: Analysis of Maximum Likelihood Estimates (Maximale Wahrscheinlichkeits-Einschätzung).

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	Wald Chi-Square	Pr > chi-Square	Standardized Estimate	Odds Ratio
FILM	1	-1.4193	0.4312	10.8364	0.0010	-0.392068	0.242
FOLIE	1	-0.5836	0.4151	1.9763	0.1598	-0.161216	0.558
mA	1	1.2846	0.4374	8.6239	0.0033	0.354250	3.613
FI_X_MA	1	-0.7646	0.4995	2.3428	0.1259	-0.181889	0.466
FO_X_MA	1	-0.1850	0.4951	0.1397	0.7086	-0.043233	0.831
FI_X_FO	1	1.4012	0.5006	7.8350	0.0051	0.335205	4.060

Pr > Chi-Square ist kleiner als 0,05 in den Variablen FILM, mA und FixFO. Bei diesen drei Faktoren ist also ein signifikanter Einfluss gegeben.

Zur besseren Übersicht wurden die Ergebnisse dunkel hervorgehoben.

Das Odds Ratio für den Film ist 0,242 (Odds Ratio > 0 = 1 = negativer P.E.). Das bedeutet, dass der hohe Wert der Einflussgröße (= Film 2 = empfindlicherer als Film 1) für einen hohen Wert der Zielgröße (= hohe Zahl für Zielgröße = schlechtere Antwort) spricht. Auch die Höhe dieser Einschätzung ergibt sich aus diesem Wert.

Die Wahrscheinlichkeit, dass die Bildqualität schlechter statt besser beurteilt wird, wenn Film 2 statt Film 1 verwendet wurde, nimmt um ca. ¼ (oder 24%) zu. Man kann es auch so formulieren, dass die Wahrscheinlichkeit für eine bessere Bewertung um ca. ¼ abnimmt.

Das Odds Ratio für mA ist 3,613 (Odds Ratio > 1 = positiver P.E.). Der hohe Wert der Einflussgröße (mA 2 = hohe mA) spricht für einen niedrigen Wert der Zielgröße (= niedrige Zahl = bessere Antwort). Es erhöht sich die Chance auf eine positivere Bewertung um das 3,6-fache, wenn eine hohe mA-Zahl statt einer niedrigen gewählt wurde.

Für die interagierenden Einflussgrößen FI x FO mit einem Odds Ratio von 4,060 gilt, dass ein hoher Wert beider Einflussgrößen (Film 2 und Folie 2 = steilerer Film mit 400er Folie) mit einer 4-fachen Wahrscheinlichkeit zu einer zusätzlich positiven Bildbewertung führen könnte.

Um eine bessere Übersicht zu erlangen, wurde für jede Zielgröße eine Tabelle erstellt. Bei jedem Betrachter wurden die Werte des Odds Ratio bestimmt und in die Spalten des jeweiligen Einflussfaktors eingetragen. Die Tabellen sind auf den folgenden Seiten abgebildet.

Zielgrößen, aus denen kein bezeichnender Einfluss ersichtlich war, wurden nicht aufgeführt. Aus diesem Grund wurde die Tabelle für die Zielgröße Schwärzung nicht abgedruckt.

Als zufällige Aussagen wurden Odds Ratio-Werte in einer Spalte betrachtet, die sich widersprechen bzw. gleichzeitig größer und kleiner als 1 sind.

Tabelle 5 -11: Odds Ratio-Werte in den einzelnen Zielgrößen.**Tabelle 5: Odds Ratio in der Zielgröße Kontrast**

Betrachter	Film	Folie	mA	Fi x FO	Fi x mA	Fo x mA
1	0,38			2,85		
2	5,60		2,58			
3					2,89	
4			2,76			

Tabelle 6: Odds Ratio in der Zielgröße Periapical 46

Betrachter	Film	Folie	mA	Fi x FO	Fi x mA	Fo x mA
1	0,25		3,6	4,0		
2	4,1		2,7			
3						
4						

Tabelle 7: Odds Ratio in der Zielgröße Coronal 36

Betrachter	Film	Folie	mA	Fi x FO	Fi x mA	Fo x mA
1						
2	4,74		3,06		0,24	
3				0,34		
4	10,74		3,01			

Tabelle 8: Odds Ratio in der Zielgröße Sinus maxillaris

Betrachter	Film	Folie	mA	Fi x FO	Fi x mA	Fo x mA
1			2,85			
2	3,83		3,04	0,28	0,33	
3	0,39				3,10	
4						

Tabelle 9 : Odds Ratio in der Zielgröße Condylus

Betrachter	Film	Folie	mA	Fi x FO	Fi x mA	Fo x mA
1						
2	3,70				3,16	
3				0,30		
4	2,41			0,31		2,75

Tabelle 10: Odds Ratio in der Zielgröße Canalis mandibularis

Betrachter	Film	Folie	mA	Fi x FO	Fi x mA	Fo x mA
1	0,44	0,43		3,50		
2	2,48					
3						
4						

Tabelle 11: Odds Ratio in der Zielgröße Maxilla tuber

Betrachter	Film	Folie	mA	Fi x FO	Fi x mA	Fo x mA
1						
2						
3	0,14					
4						

Je mehr Werte für das Odds Ratio unter den verschiedenen Betrachtern in die Tabellen eingetragen werden können und je einheitlicher der Wert ist, je größer wird die Wahrscheinlichkeit, dass ein deutlicher signifikanter Einfluss auf die Zielgröße gegeben ist.

Beim Betrachten der Tabellen wird ein signifikanter Einfluss der Faktoren mA, Film und FI x FO erkennbar. Der deutlichste Einfluss ist durch den Faktor mA gegeben, da in 4 Zielgrößen jeweils zwei gleichgerichtete Werte gefunden wurden. Das Odds Ratio liegt dabei stets über 1 bzw. zwischen 2,58 bis 3,6. Diese Zielgrößen sind: Kontrast, Periapical 46, Coronal 36 und Sinus maxillaris.

Für die Einflussgröße Film ergeben sich relevante Werte in den Zielgrößen Coronal 36 (4,74 und 10,74) und Condylus (2,41 und 3,70). Auch hier ist das Odds Ratio größer als 1.

Der kleinste Einfluss ist für die interagierende Größe FI x FO gegeben. Nur in der Zielgröße Condylus rechts (0,30 und 0,31) sind zwei gleichgerichtete Werte abzulesen. Hier ist das Odds Ratio kleiner als 1.

Zusammenfassend ergibt sich aus den Ergebnissen der Tabellen 5 bis 11 für diese Analyse folgende Aussage:

Eine Aufnahme, die mit der Einstellung hohe mA/niedrige kV belichtet wurde, wird wahrscheinlich eine bessere Bildqualität erzielen als eine Aufnahme, die mit niedrigen mA/hohen kV- Werten angefertigt wurde. Die Chance nimmt in dieser Untersuchung in vier von sechs Fragestellungen bei jeweils zwei und insgesamt drei Betrachtern um das 3- bis 4-fache zu.

Es wurden zwei unterschiedlich steile Filme verwendet. Es besteht die Chance, dass der im Vergleich steilere Film zu einer besseren Bildqualität führt. Die Wahrscheinlichkeit erhöhte sich in zwei Strukturpunkten bei zwei Betrachtern um das 2- bis 10-fache.

Es wurden zwei Film/Folien-Kombinationen unterschiedlicher Systemempfindlichkeit verglichen. Es kann geschätzt werden, dass das empfindlichere System, vereinzelt schlechtere Bilderergebnisse erzielt. Die Kombination des empfindlicheren (= steileren) Films mit der höherempfindlichen Folie (400) ergab bei zwei Betrachtern in einem von sechs Strukturpunkten (Condylus) mit einer Wahrscheinlichkeit von 30% schlechtere Ergebnisse.

Es ist bekannt, dass eine höhere Dosis (mA) und ein steiler Film den Kontrast steigern und damit die Bildqualität verbessern. Ebenso führt eine höherverstärkende Film/Folien-Kombination im Allgemeinen zu einer Verschlechterung der Bildqualität durch die steigende Unschärfe.

Aus den Einzelwertungen allein ergab sich keine eindeutige Aussage. Dieses wurde am Beispiel Periapical 46 (Tabelle 3) und anhand der Tabellen 5 - 11 deutlich. Erst in der Gesamtwertung der vorliegenden statistischen Analyse ergab sich die tendenzielle Richtung der beeinflussenden Faktoren. Dieses Ergebnis kann zufällig sein. Darauf deuten die ungleiche Verteilung und die relativ geringe Anzahl der Werte hin. Es kann aber auch auf eine gewisse Strukturabhängigkeit der Einflüsse hinweisen bzw. bedeuten, dass die Wirkung der Einflüsse in bestimmten Bereichen der Aufnahme deutlicher wird.

4.2. KREUZTABELLEN

Mit dem SPSS Statistikprogramm wurden "Kreuztabellen" errechnet. Diese sind Übersichtstabellen, worin eine oder mehrere Einflussgrößen in Bezug zu ihrer Zielgröße gesetzt werden. Je nach Fragestellung ist eine vielseitige Kombination (oder Kreuzung) beider Größen miteinander möglich. Es wird ein Mengenverhältnis bzw. die Anzahl eines Teilergebnisses im Bezug zum Gesamtergebnis dargestellt. Das Erstellen von Kreuztabellen ermöglicht eine gute Übersicht über die Zahlenwerte einer Untersuchung.

Die Zielgröße Bildqualität und die beschriebenen Antwortmöglichkeiten (Seite 31) wurden in den Kreuztabellen in Bezug zu den Einflussgrößen Film/Folien-Kombination oder mA gesetzt (Seite 32). Der Begriff "Film" in den Kreuztabellen bezieht sich auf die verwendeten Film/Folien-Kombinationen der Hersteller KODAK bzw. AGFA. Wie bereits beschrieben, ist nicht der Film als Einzelfaktor, sondern das Film/Folien-System als Einheit zu betrachten. Die Einflussgrößen sind in den senkrechten linken Spalten aufgeführt. In den waagerechten oberen Reihen der Tabellen stehen die Zielgrößen bzw. Antwortmöglichkeiten.

Die Zahlen in den Kästchen entsprechen der Verteilung der Anzahl Aufnahmen, die eine bestimmte Wertung bekamen multipliziert mit der Anzahl der Betrachter. Dies entspricht der Anzahl Antworten zu der jeweiligen Fragestellung und wurde als einfacher Zahlenwert in den oberen Anteil des Kästchens eingetragen. Die untere Zahl gibt die prozentuale Umrechnung des oberen Wertes auf die Gesamtzahl der Antworten der Haupt- oder Untergruppe an. Dieser Wert ist ganz rechts in der Spalte "Gesamt" abzulesen. Die Zahlen 480 oder 240 ergeben sich aus den 120 Aufnahmen jeder Hauptgruppe bzw. 60 Aufnahmen jeder Untergruppe multipliziert mit vier. In der unteren waagerechten Spalte ist die Summe der Aufnahmen bzw. Stimmen zu den betreffenden Antworten aufgeführt. Die Prozentzahl unter diesem Wert bezieht sich auf die Gesamtzahl aller Aufnahmen ($240 \times 4 = 960$). Diese wiederum ist ganz unten in der rechten senkrechten Spalte "Gesamt" abzulesen.

Zusätzlich wurden die Ergebnisse einiger Kreuztabellen als Diagramm oder Kurve dargestellt, um diese anschaulicher zu gestalten. In der Abszisse der Kurven wurden die Antwortmöglichkeiten jeder Untergruppe angegeben. In der Ordinate ist die Menge der Antworten (Stimmen) abzulesen. Die größte Zahl der Ordinate ist 240 und entspricht dem Anteil aller Antworten bzw. Aufnahmen pro Empfindlichkeitsklasse.

Die Ergebnisse werden nun in der Reihenfolge des Fragebogens mit Hilfe der Kreuztabellen dargestellt und beschrieben. Die erste Kreuztabelle vergleicht das Gesamtergebnis der beiden Herstellergruppen, die zweite beschreibt die Antwortenverteilung in Bezug auf die Empfindlichkeitsklassen.

Im Text unter der ersten Kreuztabelle wird angegeben, wie die Verteilung der Antworten in der jeweiligen Fragestellung war und welche Film/Folien-Kombination das beste Gesamtergebnis erzielte. Im Anschluss an die zweite Kreuztabelle wird die durchschnittliche Differenz zwischen den Antworten zu den Aufnahmen der 200er bzw. 250er und 400er Empfindlichkeitsklasse aufgeführt. Diese ergibt sich aus den prozentualen Unterschieden der Antworten "sehr gut", "gut", "ausreichend" und "nicht ausreichend" einer Herstellergruppe dividiert durch die Anzahl möglicher Antworten, also vier. Durch die Zahl drei wird nur in den Zielgrößen Schwärzung und Kontrast geteilt, da die Antwort "sehr gut" im Fragebogen nicht zur Auswahl stand.

Positionierung

Kreuztabelle 1: Antwortenverteilung in der Zielgröße Positionierung im Bezug zur Herstellergruppe.

Film * Positionierung Kreuztabelle

			Positionierung		Gesamt
			richtig	falsch	
Film	KODAK	Anzahl % von Film	445 92,7%	35 7,3%	480 100%
	AGFA	Anzahl % von Film	431 89,8%	49 10,2	480 100%
Gesamt		Anzahl % von Film	876 91,3%	84 8,8%	960 100%

Die **Kreuztabelle 1** zeigt die Verteilung der Antworten bezüglich der Positionierung des Patienten. Trotz der Selektion vor der Untersuchung wurde auch die Antwort. "Falsch" angekreuzt.

In diesem Punkt wurde nur eine Kreuztabelle verwendet. Da die Positionierung nicht von den in dieser Untersuchung relevanten Einflussgrößen abhängt, reicht für diese Fragestellung der Bezug zu den zwei Herstellergruppen AGFA und KODAK aus.

Der Gesamtanteil der Bilder, die in diesem Punkt bemängelt wurden, kann unten in der Spalte "falsch" abgelesen werden und entspricht 8,8%. Der Anteil falsch positionierter Aufnahmen war in der AGFA-Gruppe um ca. 3% größer.

Schwärzung

Kreuztabelle 2: Antwortenverteilung in der Zielgröße Schwärzung im Bezug zur Herstellergruppe

Film * Kontrast Kreuztabelle

			Kontrast			Gesamt
			gut	ausreichend	nicht ausreichend	
Film	KODAK	Anzahl	293	154	33	480
		% von Film	61,0%	32,1%	6,9%	100%
	AGFA	Anzahl	280	180	20	480
		% von Film	58,3%	37,5%	4,2%	100%
Gesamt		Anzahl	573	334	53	960
		% von Film	59,7%	34,8%	5,5%	100%

Die Kreuztabelle 2 zeigt, dass der Hauptanteil aller Aufnahmen (ca. 60%) hinsichtlich des Schwärzungsgrades als "gut" und ca. 35% als "ausreichend" bezeichnet wurde. Nur 5.5% der Bilder wurden diesbezüglich als "nicht ausreichend" empfunden. Die KODAK Aufnahmen erreichten ein etwas besseres Gesamtergebnis. Diese Aussage ergibt sich daraus, dass der Anteil "guter" Antworten in der KODAK-Gruppe um 2,7% größer, der Anteil "ausreichender" Antworten um 5,4% kleiner war. Dieses gleicht die größere Anzahl "nicht ausreichender" Stimmen aus, die um 2,7% größer war als in der AGFA-Gruppe.

Kreuztabelle 3: Antwortenverteilung der Zielgröße Schwärzung im Bezug zur Systemempfindlichkeit

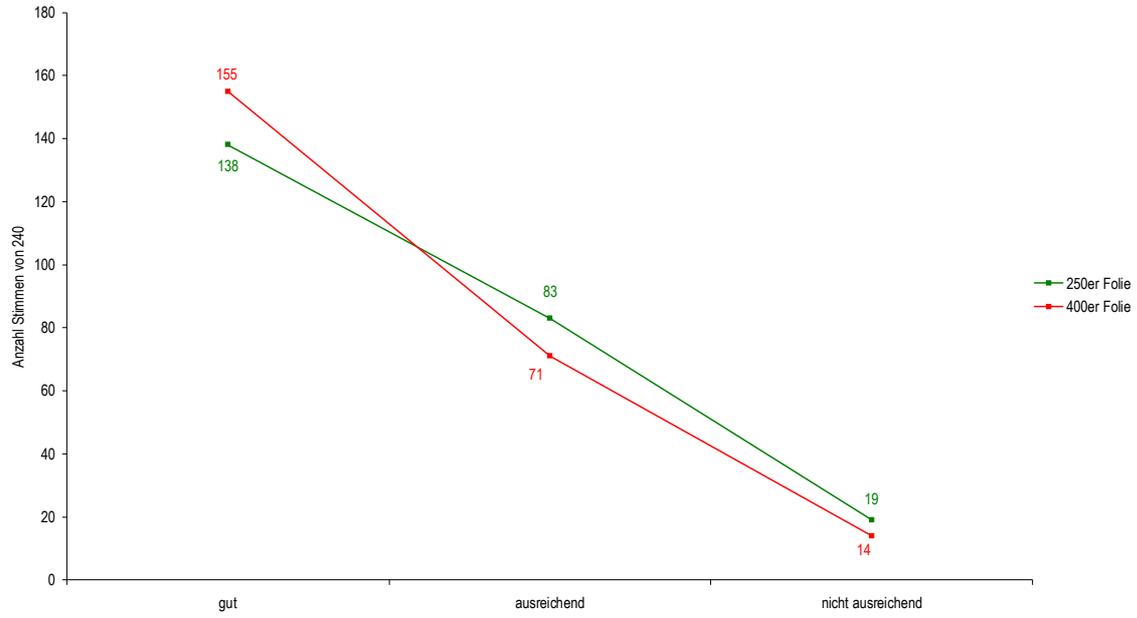
Empfindlichkeit * Schwärzung Kreuztabelle

			Schwärzung			Gesamt
			gut	ausreichend	nicht ausreichend	
Kodak	250	Anzahl	138	83	19	240
		% von Empfindlichkeit	28,8%	17,7%	4,0%	100%
	400	Anzahl	155	71	14	240
		% von Empfindlichkeit	32,3%	14,8%	2,9%	100%
AGFA	200	Anzahl	128	101	11	240
		% von Empfindlichkeit	26,7%	21,0%	2,2%	100%
	400	Anzahl	152	79	9	240
		% von Empfindlichkeit	31,7%	16,5%	1,9%	100%
Gesamt		Anzahl	573	334	53	960
		% von Empfindlichkeit	59,7%	34,8%	5,5%	100%

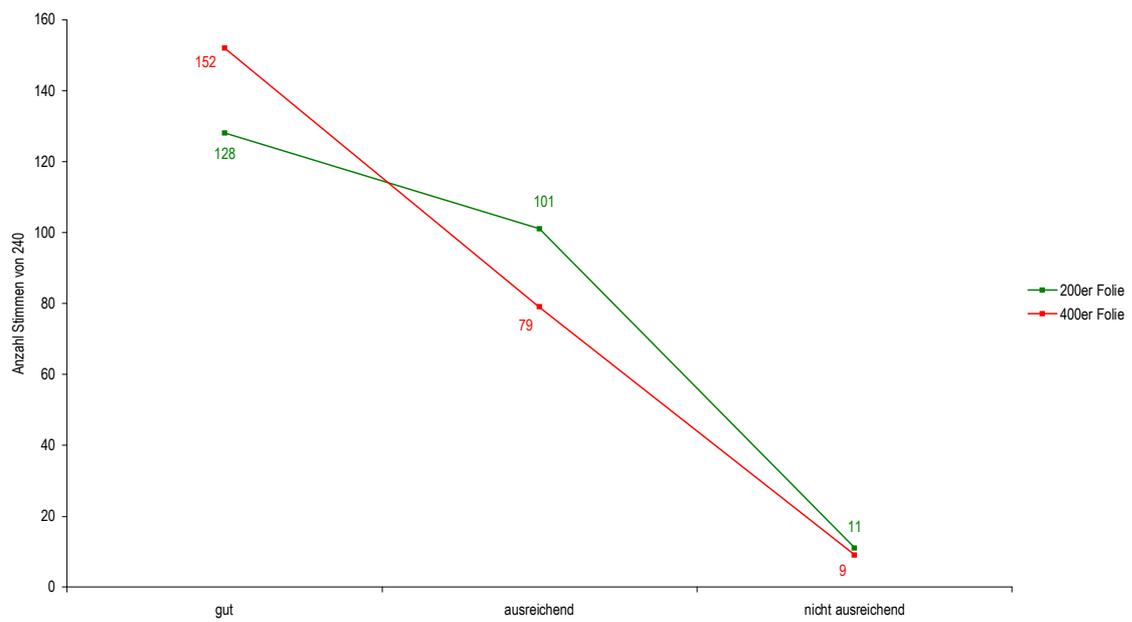
Kreuztabelle 3 beschreibt, dass beide 400er Systeme bessere Ergebnisse erzielten als das 250er bzw. 200er System. Die durchschnittliche Differenz zwischen den Empfindlichkeitsklassen betrug 2,5% bei den KODAK Aufnahmen und 3.3% bei den AGFA Aufnahmen. Der Unterschied zwischen den Ergebnissen der beiden Empfindlichkeitsklassen war in der AGFA-Gruppe also insgesamt geringfügig größer.

In den Kurven **A** und **B** werden die Ergebnisse von Kreuztabelle 3 graphisch dargestellt.

Schwärzung Kodak - Kurve A



Schwärzung AGFA - Kurve B



Kontrast

Kreuztabelle 4: Antwortenverteilung in der Zielgröße Kontrast im Bezug zur Herstellergruppe

Film * Kontrast Kreuztabelle

			Kontrast			Gesamt
			gut	ausreichend	nicht ausreichend	
Film	KODAK	Anzahl	141	263	76	480
		% von Film	29,4%	54,8%	15,8%	100%
	AGFA	Anzahl	171	266	43	480
		% von Film	35,6%	55,4%	9,0%	100%
Gesamt		Anzahl	312	529	119	960
		% von Film	32,5%	55,1%	12,4%	100%

In **Kreuztabelle 4** wird ersichtlich, dass mehr als die Hälfte (55%) aller Aufnahmen als “ausreichend“ beurteilt wurden. Fast 1/3 der Bilder bekam die Wertung “gut“. Der kleinste Anteil (12,4%) wurde als “nicht ausreichend“ eingestuft. Der Kontrast der AGFA Aufnahmen wurde im Vergleich besser bewertet, da 6,2% mehr Aufnahmen als “gut“ und 6,8% weniger als “nicht ausreichend“ bezeichnet wurden. Nur 0,6% der Aufnahmen bekam mehr “ausreichende“ Antworten.

Kreuztabelle 5: Antwortenverteilung in der Zielgröße Kontrast im Bezug zur Systemempfindlichkeit

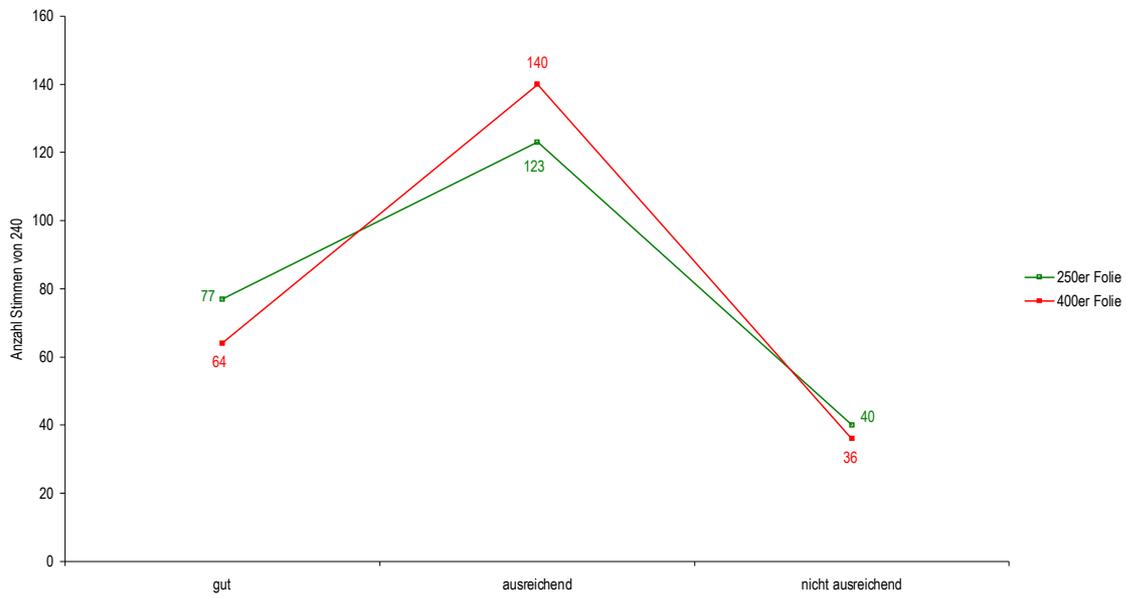
Empfindlichkeit * Kontrast Kreuztabelle

			Kontrast			Gesamt
			gut	ausreichend	nicht ausreichend	
Kodak	250	Anzahl	77	123	40	240
		% von Empfindlichkeit	16,0%	25,6%	8,3%	100%
	400	Anzahl	64	140	36	240
		% von Empfindlichkeit	13,3%	29,2%	7,5%	100%
AGFA	200	Anzahl	80	144	16	240
		% von Empfindlichkeit	16,7%	30,0%	3,3%	100%
	400	Anzahl	91	122	27	240
		% von Empfindlichkeit	19,0%	25,4%	5,6%	100%
Gesamt		Anzahl	312	529	119	960
		% von Empfindlichkeit	32,5%	55,1%	12,9%	100%

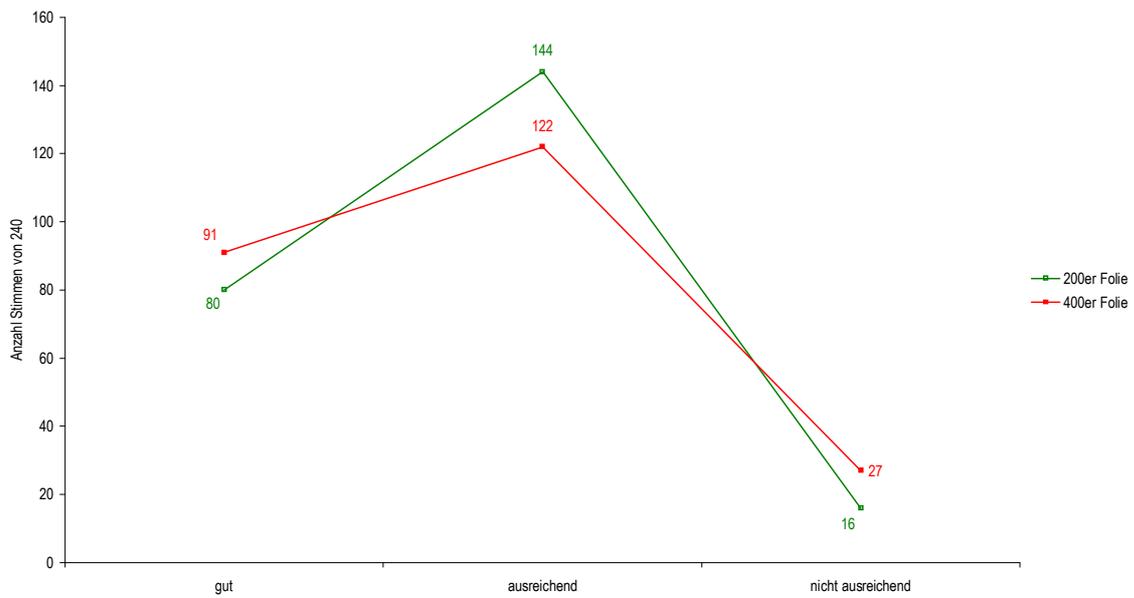
Kreuztabelle 5 stellt dar, dass sich innerhalb der KODAK-Gruppe für das 250er System ein besseres Gesamtergebnis ergab und in der AGFA-Gruppe das 400er System besser abschnitt. Die Differenz zwischen den Empfindlichkeitsklassen betrug bei den KODAK Aufnahmen 2,3% und bei den Aufnahmen von AGFA 3,1%.

Die Ergebnisse sind in den Kurven **C** und **D** graphisch dargestellt.

Kontrast Kodak - Kurve C



Kontrast AGFA - Kurve D



Detailerkennbarkeit Periapical 46

Kreuztabelle 6: Antwortenverteilung in der Zielgröße Periapical 46 im Bezug zur Herstellergruppe

Film * Periapical 46 Kreuztabelle

			Periapical 46				Gesamt
			sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	
Film	KODAK	Anzahl % von Film	64 13,3%	139 29,0%	183 38,1%	94 19,6%	480 100%
	AGFA	Anzahl % von Film	31 6,5%	193 40,2%	177 36,9%	79 16,5%	480 100%
Gesamt		Anzahl % von Film	95 9,9%	332 34,6%	360 37,5%	173 18,0%	960 100%

Die **Kreuztabelle 6** zeigt, dass der Hauptteil der Aufnahmen (72,1%) zu fast gleichen Teilen als "ausreichend" oder „gut“ bezeichnet wurden. Nur 10% wurden als "sehr gut" eingestuft. Tendenziell war die Bewertung aller Aufnahmen eher "ausreichend" bis "nicht ausreichend". In der Gesamtwertung schnitt die AGFA-Serie besser ab, da mehr Aufnahmen mit "sehr gut" und "gut" bewertet wurden (46,7%) als in der KODAK-Gruppe (42,3%).

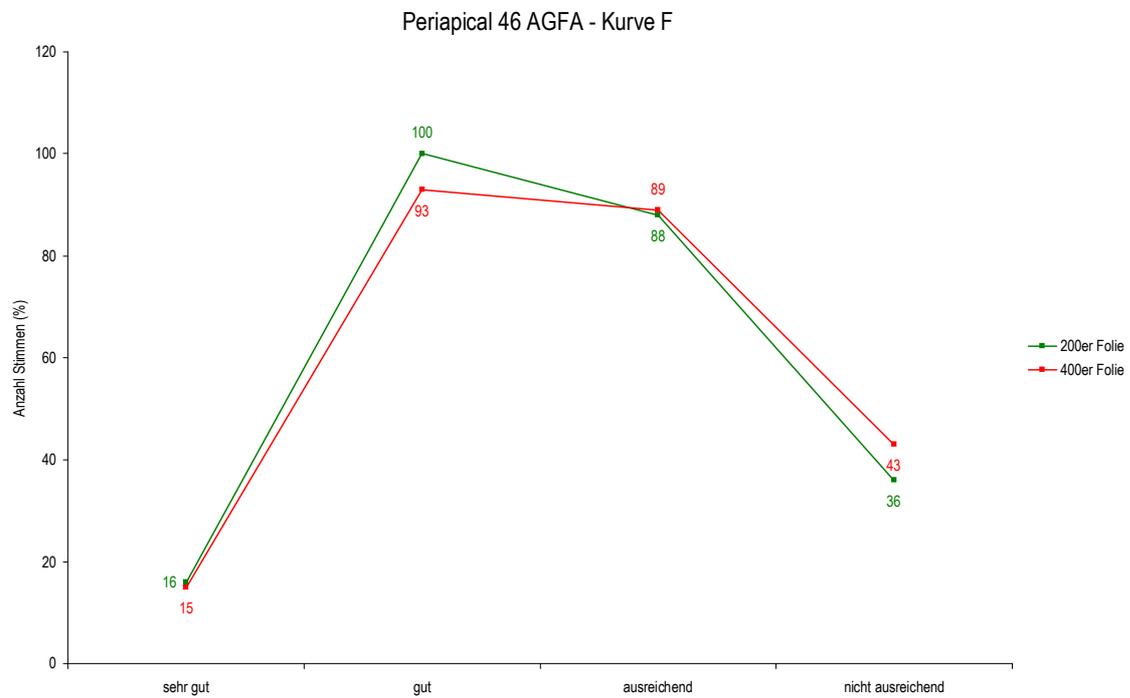
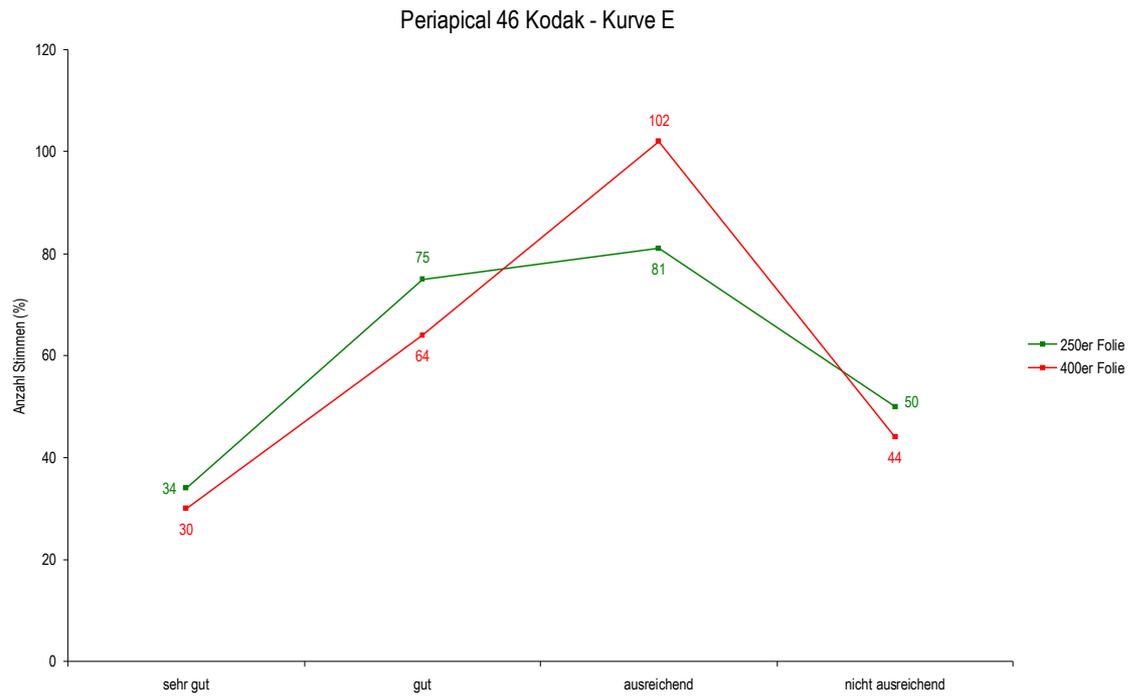
Kreuztabelle 7: Antwortenverteilung in der Zielgröße Periapical 46 im Bezug zur Systemempfindlichkeit

Empfindlichkeit * Periapical 46 Kreuztabelle

			Periapical 46				Gesamt
			sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	
Empfindlichkeit	250	Anzahl % von Empfindlichkeit	34 14,2%	75 31,3%	81 33,8%	50 20,8%	240 100%
	Kodak	400	Anzahl % von Empfindlichkeit	30 12,5%	64 26,7%	102 42,5%	44 18,3%
AGFA	200	Anzahl % von Empfindlichkeit	16 6,7%	100 41,7%	88 36,7%	36 15,0%	240 100%
	400	Anzahl % von Empfindlichkeit	15 6,3%	9,3 38,8%	89 37,0%	43 18,0%	240 100%
Gesamt		Anzahl % von Empfindlichkeit	95 9,9%	332 34,6%	360 37,5%	173 18,0%	960 100%

Kreuztabelle 7 stellt dar, dass die Aufnahmen der 200er bzw. 250er Empfindlichkeitsklasse im Vergleich zum 400er System bessere Werte erzielten durch mehr "sehr gute" und "gute" und weniger "ausreichende" Antworten. Der Anteil "nicht ausreichender Antworten" für das 200er System war nur in der AGFA-Gruppe geringer. Die Differenz zwischen den Ergebnissen der beiden Empfindlichkeitsklassen trat in der KODAK-Gruppe mit durchschnittlich 4,4% stärker hervor als in der AGFA-Serie mit 1,7%.

Diese Verteilung ist in den Kurven **E** und **F** zu ersehen.



Detailerkennbarkeit Coronal 36

Kreuztabelle 8: Antwortenverteilung in der Zielgröße Coronal 36 im Bezug zur Herstellergruppe

Film * Coronal 36 Kreuztabelle

			Coronal 36				Gesamt
			sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	
Film	KODAK	Anzahl	49	178	228	25	480
		% von Film	10,2%	37,1%	47,5%	5,2%	100%
	AGFA	Anzahl	40	236	185	19	480
		% von Film	8,3%	49,2%	38,5%	4,0%	100%
Gesamt		Anzahl	89	414	413	44	960
		% von Film	9,3%	43,1%	43,0%	4,6%	100%

In der **Kreuztabelle 8** wird deutlich, dass der Hauptteil der Aufnahmen (86,1%) zu fast gleichen Teilen als "gut" und "ausreichend" beurteilt wurde. Der Rest wurde als "sehr gut" (9,3%) und "nicht ausreichend" (ca. 5%) bewertet. Die Aufnahmen der AGFA-Gruppe erzielten die bessere Ergebnisse, da sich beim Zusammenzählen der Stimmen in den ersten beiden Kategorien, ein Ergebnis von 57,5% ergab. Im Vergleich dazu waren nur 47,3% der KODAK Bilder mit "sehr gut" und "gut" bewertet worden.

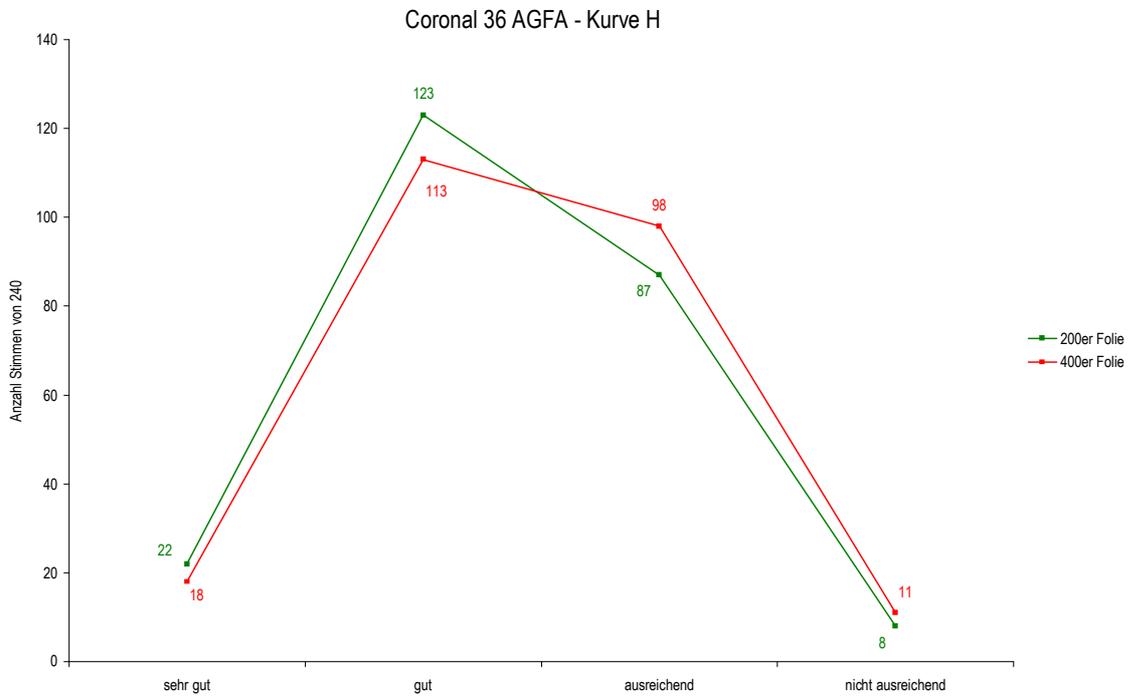
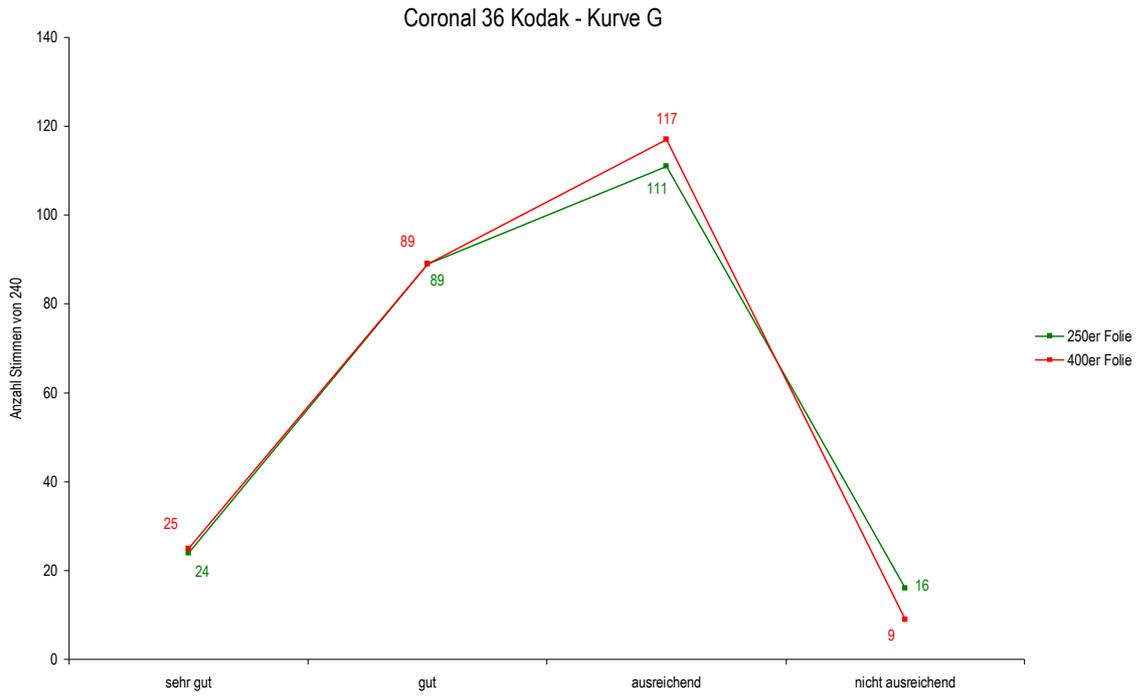
Kreuztabelle 9: Antwortenverteilung in der Zielgröße Coronal 36 im Bezug zur Systemempfindlichkeit

Empfindlichkeit * Coronal 36 Kreuztabelle

			Coronal 36				Gesamt
			sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	
Empfindlichkeit	250	Anzahl	24	89	111	16	240
		% von Empfindlichkeit	10,0%	37,1%	46,3%	6,7%	100%
Kodak	400	Anzahl	25	89	117	9	240
		% von Empfindlichkeit	10,4%	37,1%	48,8%	3,8%	100%
AGFA	200	Anzahl	22	123	87	8	240
		% von Empfindlichkeit	9,2%	51,3%	36,3%	3,3%	100%
	400	Anzahl	18	113	98	11	240
		% von Empfindlichkeit	7,5%	47,1%	40,8%	4,58%	100%
Gesamt		Anzahl	89	414	413	44	960
		% von Empfindlichkeit	9,3%	43,1%	43,0%	4,6%	100%

Die **Kreuztabelle 9** zeigt, dass die Differenz zwischen den Bewertungen in der KODAK-Gruppe gering war und das 400er System einen Vorsprung durch den Anteil Antworten der Kategorie "sehr gut" und "nicht ausreichend" erhielt. In der AGFA-Serie erzielten die Aufnahmen des 200er Systems bessere Ergebnisse. Die durchschnittliche Differenz ergab bei den KODAK Aufnahmen 1,5% und bei den Aufnahmen von AGFA 2,9%.

Diese Ergebnisse werden in den Kurven **G** und **H** veranschaulicht.



Zahnfilm

Kreuztabelle 10: Antwortenverteilung in der Zielgröße Zahnfilm im Bezug zur Herstellergruppe

Film * Zahnfilm Kreuztabelle

Film		Ja	Nein	Gesamt
KODAK TMATL	Anzahl	142	338	480
	% von Filmen	29,6%	70,1%	100%
AGFA LUX	Anzahl	96	384	480
	% von Filmen	20%	80%	100%
Gesamt	Anzahl	238	722	960
	% von Filmen	24,8%	75,2%	100%

Die **Kreuztabelle 8** zeigt, dass bei $\frac{3}{4}$ der Aufnahmen kein weiterer Zahnfilm notwendig wurde. Der Anteil Aufnahmen, bei dem ein Zahnfilm erwünscht war, betrug in der KODAK-Gruppe 30%. Dieser war größer als in der AGFA-Gruppe (20%). Die AGFA Aufnahmen erzielten damit ein besseres Gesamtergebnis.

Kreuztabelle 11: Antwortenverteilung in der Zielgröße Zahnfilm im Bezug zur Systemempfindlichkeit

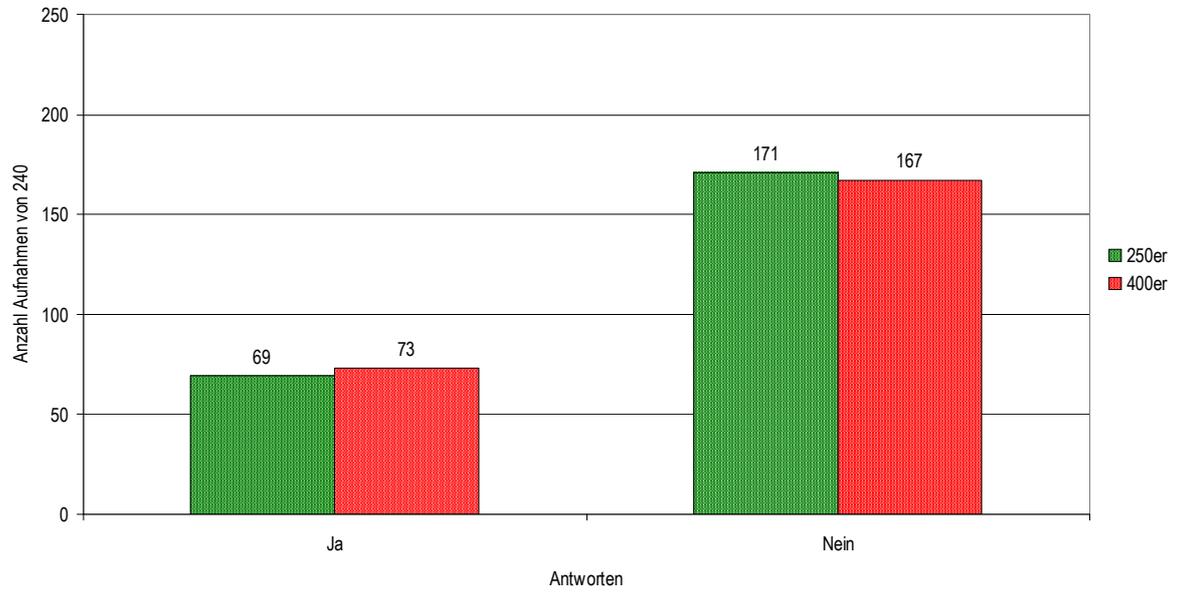
Empfindlichkeit * Zahnfilm Kreuztabelle

Film			Zahnfilm		Gesamt
			ja	nein	
Kodak TMATL	250	Anzahl % von Empfindlichkeit	69 28,8%	171 71,3%	240 100%
	400	Anzahl % von Empfindlichkeit	73 30,4%	167 69,6%	240 100%
AGFA LUX	200	Anzahl % von Empfindlichkeit	46 19,2%	194 80,8%	240 100%
	400	Anzahl % von Empfindlichkeit	50 20,8%	190 79,2%	240 100%
Gesamt		Anzahl % von Empfindlichkeit	238 24,8%	722 75,2%	960 100%

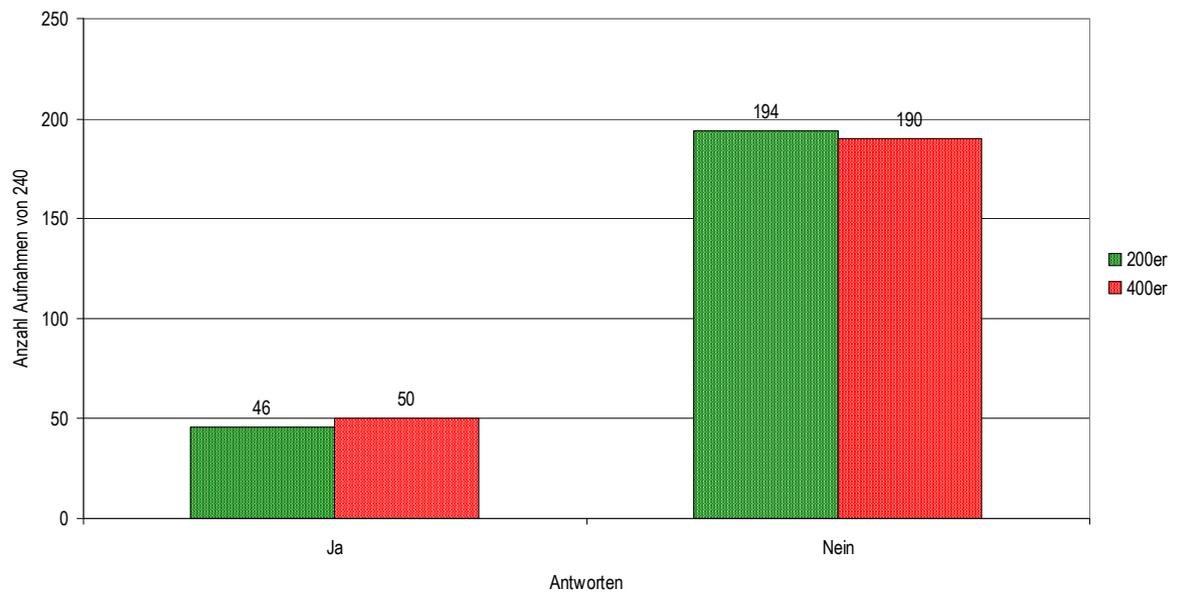
In der **Kreuztabelle 11** wird ersichtlich, dass bei den Aufnahmen, die mit der 400er Folie angefertigt wurden etwas öfter ein zusätzlicher Zahnfilm benötigt wurde als bei den Aufnahmen des 200er bzw. 250er Systems. Die prozentuale Differenz betrug in beiden Herstellergruppen 1,6% ($30,4\% - 28,8\%$ bzw. $20,8\% - 19,2\% = 1,6\%$).

Dieses Ergebnis wird in der Graphik **I** und **J** dargestellt.

Würden Sie einen zusätzlichen Zahnfilm anfertigen?
KODAK - Graphik I



Würden Sie einen zusätzlichen Zahnfilm anfertigen?
AGFA - Graphik J



Detailerkennbarkeit Sinus maxillaris Regio 25 links

Kreuztabelle 12: Antwortenverteilung in der Zielgröße Sinus maxillaris im Bezug zur Herstellergruppe

Film * Sinus maxillaris Kreuztabelle

			Sinus maxillaris				Gesamt
			sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	
Film	KODAK	Anzahl	55	209	174	42	480
		% von Film	11,5%	43,5%	36,3%	8,8%	100%
	AGFA	Anzahl	33	196	195	56	480
		% von Film	6,9%	40,8%	40,6%	11,7%	100%
Gesamt		Anzahl	88	405	369	98	960
		% von Film	9,2%	42,2%	38,4%	10,2%	100%

In der **Kreuztabelle 12** ist erkennbar, dass der Hauptteil aller Aufnahmen entweder als “gut“ (42%) oder “ausreichend“ (38%) bezeichnet wurde. Als “sehr gut“ und “nicht ausreichend“ wurden nur 9 bzw. 10% der Bilder benannt. Die Aufnahmen der KODAK-Gruppe erzielten bessere Ergebnisse, durch den größeren Anteil “sehr guter“ und “guter“ Antworten (55%) im Vergleich zur AGFA-Gruppe (47,7%).

Kreuztabelle13: Antwortenverteilung in der Zielgröße Sinus maxillaris im Bezug zur Systemempfindlichkeit

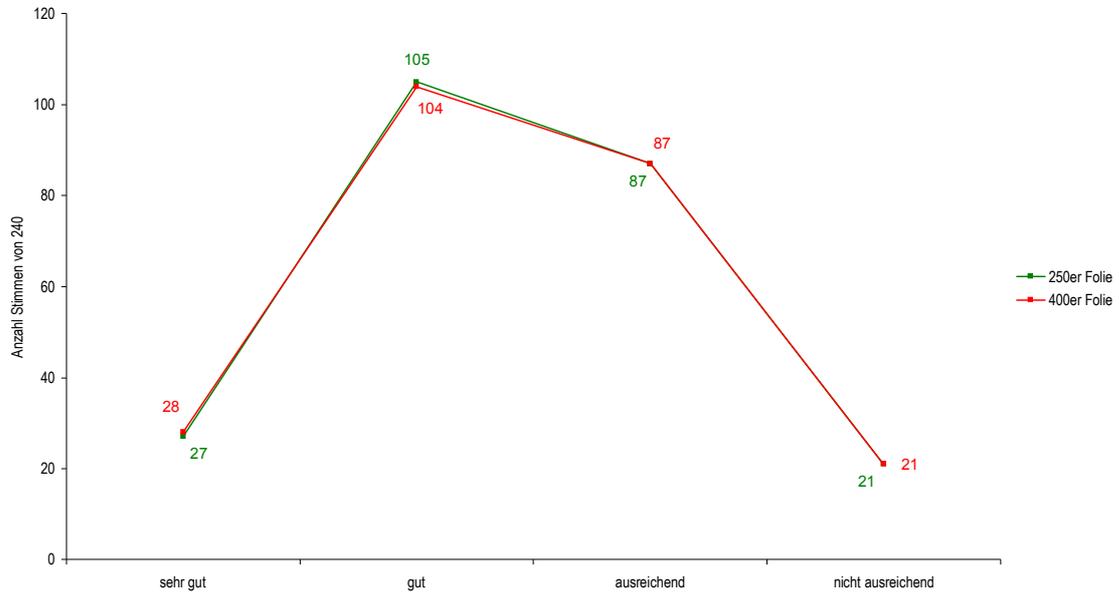
Empfindlichkeit * Sinus maxillaris Kreuztabelle

			Sinus maxillaris				Gesamt
			sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	
Empfindlichkeit	250	Anzahl	27	105	87	21	240
		% von Empfindlichkeit	11,3%	43,8%	36,3%	8,8%	100%
Kodak	400	Anzahl	28	104	87	21	240
		% von Empfindlichkeit	11,7%	43,3%	36,2%	8,8%	100%
AGFA	200	Anzahl	20	101	97	22	240
		% von Empfindlichkeit	8,3%	42,1%	40,4%	9,2%	100%
	400	Anzahl	13	94	99	34	240
		% von Empfindlichkeit	5,4%	39,2%	41,3%	14,2%	100%
Gesamt		Anzahl	88	405	369	98	960
		% von Empfindlichkeit	9,2%	42,2%	38,4%	10,2%	100%

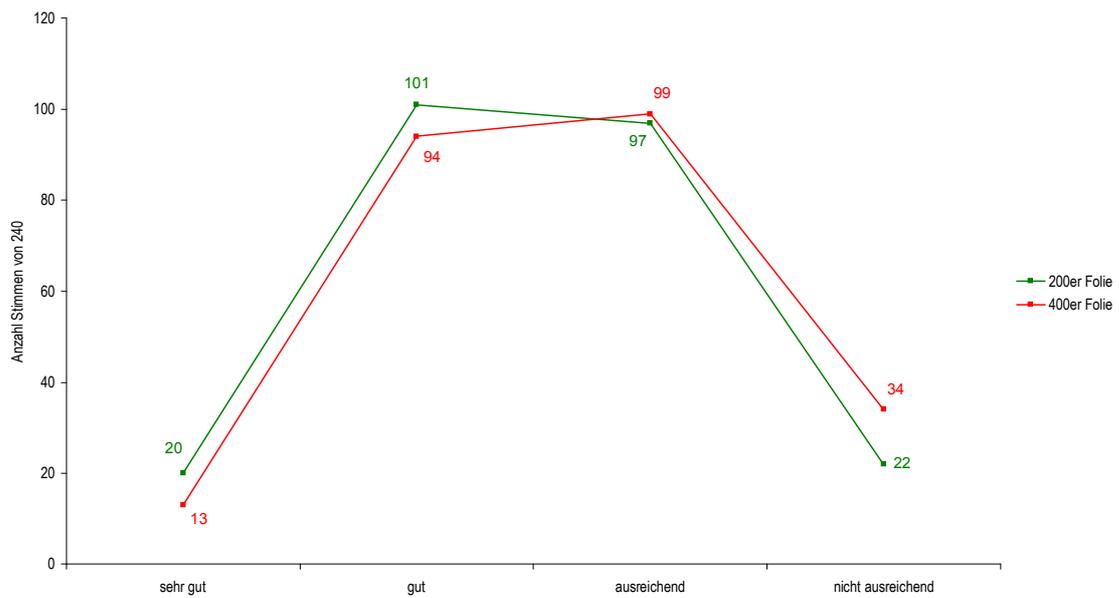
In **Kreuztabelle 13** wird der minimale Unterschied zwischen den Empfindlichkeitsklassen der KODAK-Aufnahmen deutlich. Die 400er Empfindlichkeitsklasse bekam eine “sehr gute“ Antwort mehr und erreichte dadurch einen kleinen Vorsprung. Dadurch betrug die Differenz 1%. In der AGFA-Gruppe dagegen erzielte das 200er System deutlich bessere Werte. Die Differenz zum 400er System betrug durchschnittlich 3,2%.

Die Ergebnisse veranschaulichen die Kurven **K** und **L**.

Sinus maxillaris links regio 25 Kodak - Kurve K



Sinus maxillaris links regio 25 AGFA - Kurve L



Detailerkennbarkeit Condylus rechts

Kreuztabelle 14: Antwortenverteilung in der Zielgröße Condylus im Bezug zur Herstellergruppe

Film * Condylus Kreuztabelle

			Condylus				Gesamt
			sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	
Film	KODAK	Anzahl	66	175	164	75	480
		% von Film	13,8%	36,5%	34,2%	15,6%	100%
	AGFA	Anzahl	31	235	158	56	480
		% von Film	6,5%	49,0%	32,9%	11,7%	100%
Gesamt		Anzahl	97	410	322	131	960
		% von Film	10,1%	42,7%	33,5%	13,6%	100%

Die **Kreuztabelle 13** zeigt, dass der größte Teil der Aufnahmen als "gut" (ca. 43%) und ausreichend (33,5%) eingestuft wurden. Der Anteil "sehr guter" und "nicht ausreichender" Aufnahmen betrug ca. 10 % bzw. 13,6%.

Die AGFA-Aufnahmen schnitten im Vergleich etwas besser ab, da ihr Gesamtanteil von "sehr guten" und "guten" Antworten größer war (55,5%) als bei der KODAK-Gruppe (50,3%).

Kreuztabelle 15: Antwortenverteilung in der Zielgröße Condylus im Bezug zur Systemempfindlichkeit

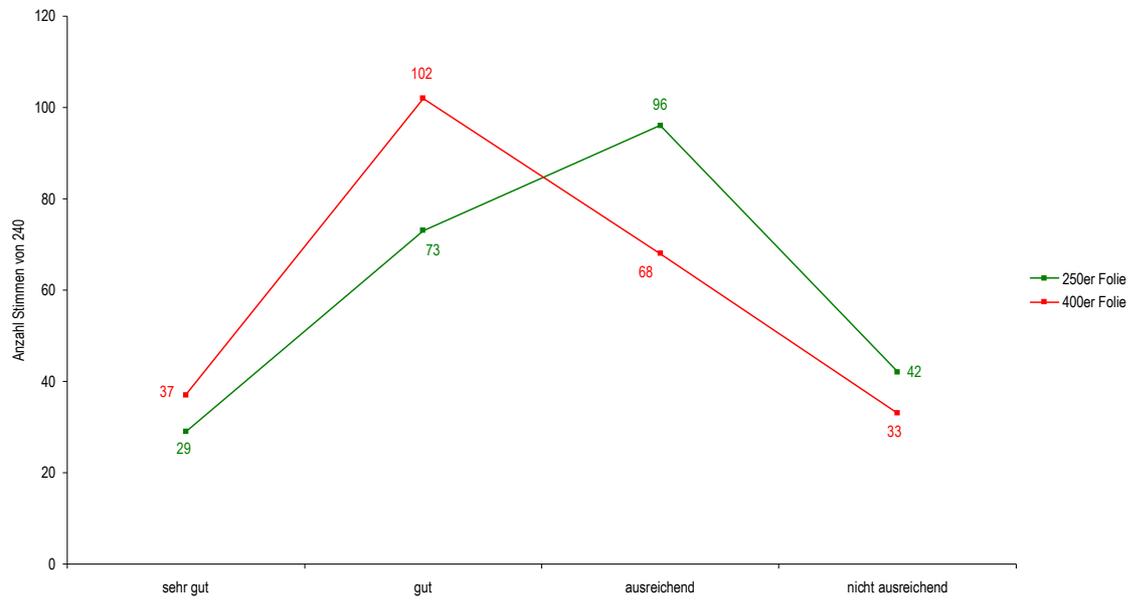
Empfindlichkeit * Condylus Kreuztabelle

			Condylus				Gesamt
			sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	
Empfindlichkeit	250	Anzahl	29	73	96	42	240
		% von Empfindlichkeit	12,1%	30,4%	40,0%	17,5%	100%
Kodak	400	Anzahl	37	102	68	33	240
		% von Empfindlichkeit	15,4%	42,5%	28,3%	14%	100%
AGFA	200	Anzahl	17	121	84	18	240
		% von Empfindlichkeit	7,1%	50,4%	35,0%	7,5%	100%
	400	Anzahl	14	113	74	39	240
		% von Empfindlichkeit	5,8%	47,1%	30,8%	16%	100%
Gesamt		Anzahl	97	410	322	131	960
		% von Empfindlichkeit	10,1%	42,7%	33,5%	13,6%	100%

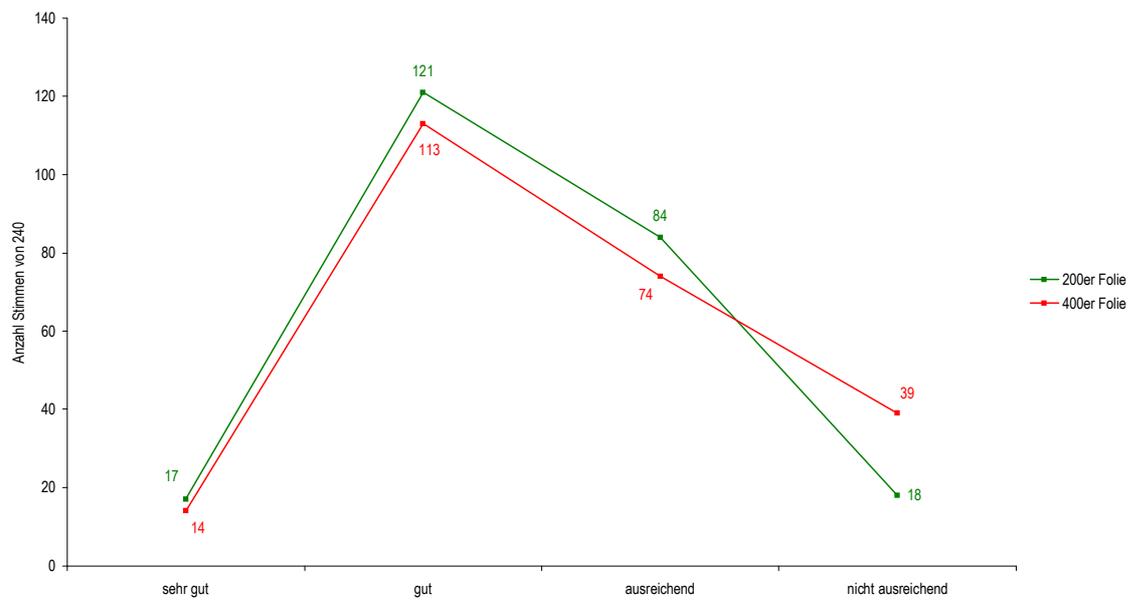
In der **Kreuztabelle 15** wird veranschaulicht, dass das 400er System der KODAK-Gruppe deutlich bessere Werte erzielte. Die Differenz zwischen den beiden Systemklassen betrug durchschnittlich 7,7%. In der AGFA-Gruppe schnitt das 200er System besser ab. Hier betrug der Unterschied zwischen den Empfindlichkeitsklassen durchschnittlich 4,3%.

Die Ergebnisse werden in den Kurven **M** und **N** verdeutlicht.

Condylus rechts Kodak - Kurve M



Condylus rechts AGFA - Kurve N



Detailerkennbarkeit Canalis mandibularis (Verlauf)

Kreuztabelle 16: Antwortenverteilung in der Zielgröße Canalis mandibularis im Bezug zur Herstellergruppe

Film * Canalis mandibularis Kreuztabelle

			Canalis mandibularis				Gesamt
			sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	
Film	KODAK	Anzahl	57	164	170	89	480
		% von Film	11,9%	34,2%	35,4%	18,5%	100%
	AGFA	Anzahl	46	188	189	57	480
		% von Film	9,6%	39,2%	39,4%	11,9%	100%
Gesamt		Anzahl	103	352	359	146	960
		% von Film	10,7%	36,7%	37,4%	15,2%	100%

Kreuztabelle 16 zeigt die Verteilung des Hauptanteils der Bilder (73,1%), die zur Hälfte auf die Antworten “gut“ und “ausreichend“ fielen. Ca. 11% der Aufnahmen wurden als “sehr gut“ und ca. 15% als “nicht ausreichend“ empfunden. Die AGFA-Gruppe erhielt im Vergleich etwas bessere Werte, da 48,8% als “sehr gut“ und “gut“ eingestuft wurden und nur 46,1% der KODAK-Aufnahmen.

Kreuztabelle 17: Antwortenverteilung in der Zielgröße Canalis mandibularis im Bezug zur Systemempfindlichkeit

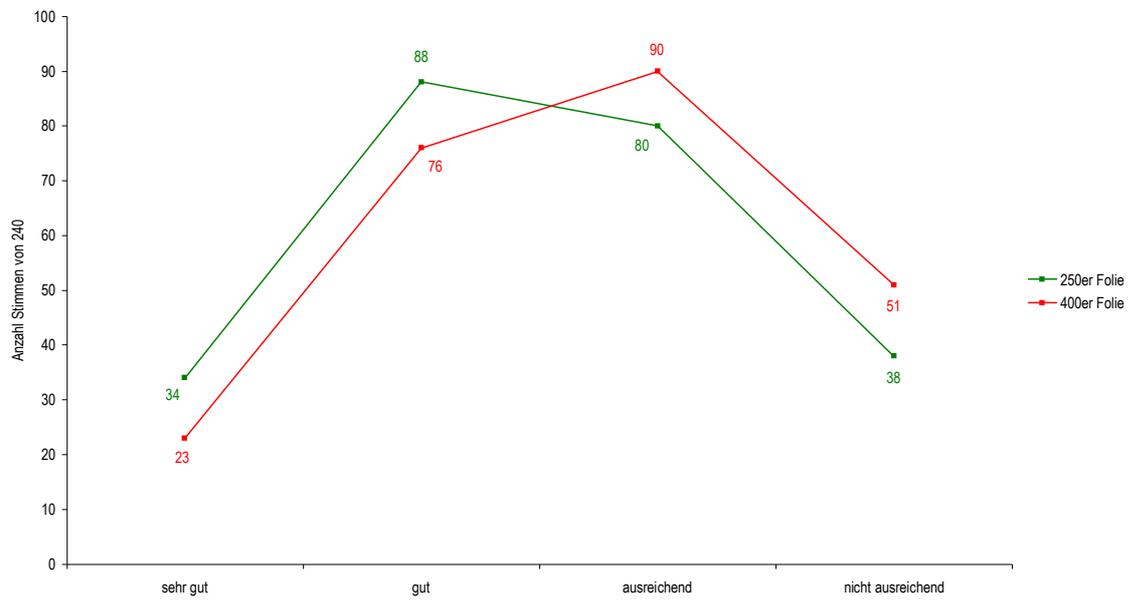
Empfindlichkeit * Canalis mandibularis Kreuztabelle

			Canalis mandibularis				Gesamt
			sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	
Empfindlichkeit	250	Anzahl	34	88	80	38	240
		% von Empfindlichkeit	14,2%	36,7%	33,3%	15,8%	100%
Kodak	400	Anzahl	23	76	90	51	240
		% von Empfindlichkeit	9,6%	31,7%	37,5%	21,2%	100%
AGFA	200	Anzahl	20	92	102	26	240
		% von Empfindlichkeit	8,3%	38,3%	42,5%	10,8%	100%
	400	Anzahl	21	96	86	37	240
		% von Empfindlichkeit	8,8%	40%	35,9%	15,4%	100%
Gesamt		Anzahl	103	352	359	146	960
		% von Empfindlichkeit	10,7%	36,7%	37,4%	15,2%	100%

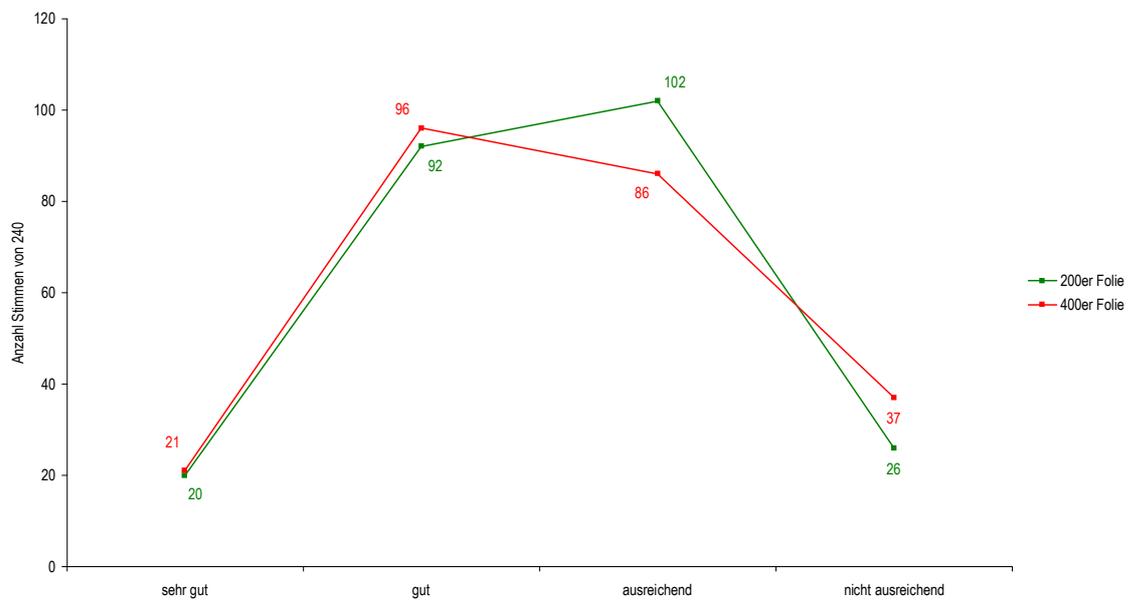
Kreuztabelle 17 veranschaulicht die ungleiche Verteilung in den Empfindlichkeitsklassen beider Hauptgruppen. In der KODAK-Gruppe war der Unterschied zwischen den Empfindlichkeitsklassen deutlicher und das 200er System überlegen. Durchschnittlich betrug die Differenz 4,8%. In der AGFA-Gruppe erzielte das 400er System ein besseres Ergebnis. Der Unterschied in der AGFA-Gruppe war in den Kategorien “sehr gut“ und “gut“ gering, in der Kategorie “ausreichend“ deutlich. Die durchschnittliche Differenz betrug 3,4%.

Die Ergebnisse sind in den Kurven **O** und **P** dargestellt.

Canalis mandibularis rechts Kodak - Kurve O



Canalis mandibularis rechts AGFA - Kurve P



Detailerkennbarkeit Tuber maxilla regio 28 links

Kreuztabelle 18: Antwortenverteilung in der Zielgröße Tuber maxilla im Bezug zur Herstellergruppe

Film * Tuber maxilla Kreuztabelle

			Tuber maxilla				Gesamt
			sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	
Film	KODAK	Anzahl	67	201	183	29	480
		% von Film	14,0%	41,9%	38,1%	6,0%	100%
	AGFA	Anzahl	27	230	171	52	480
		% von Film	5,6%	47,9%	35,6%	10,8%	100%
Gesamt		Anzahl	94	431	354	81	960
		% von Film	9,8%	44,9%	36,9%	8,4%	100%

In **Kreuztabelle 18** ist ersichtlich, dass der Hauptanteil der Fragen mit “gut“ (ca. 45%) und “ausreichend“ (37%) beantwortet wurde. Nur knapp 10 bzw. 8% wurden als “sehr gut“ bzw. “nicht ausreichend“ bezeichnet. Die KODAK-Gruppe erzielte etwas bessere Werte mit einem Anteil von fast 60% von “sehr guten“ und “guten“ Antworten. Im Vergleich dazu betrug der Anteil der AGFA-Aufnahmen in derselben Kategorie 53,5%.

Kreuztabelle 19: Antwortenverteilung in der Zielgröße Tuber Maxilla im Bezug zur Systemempfindlichkeit

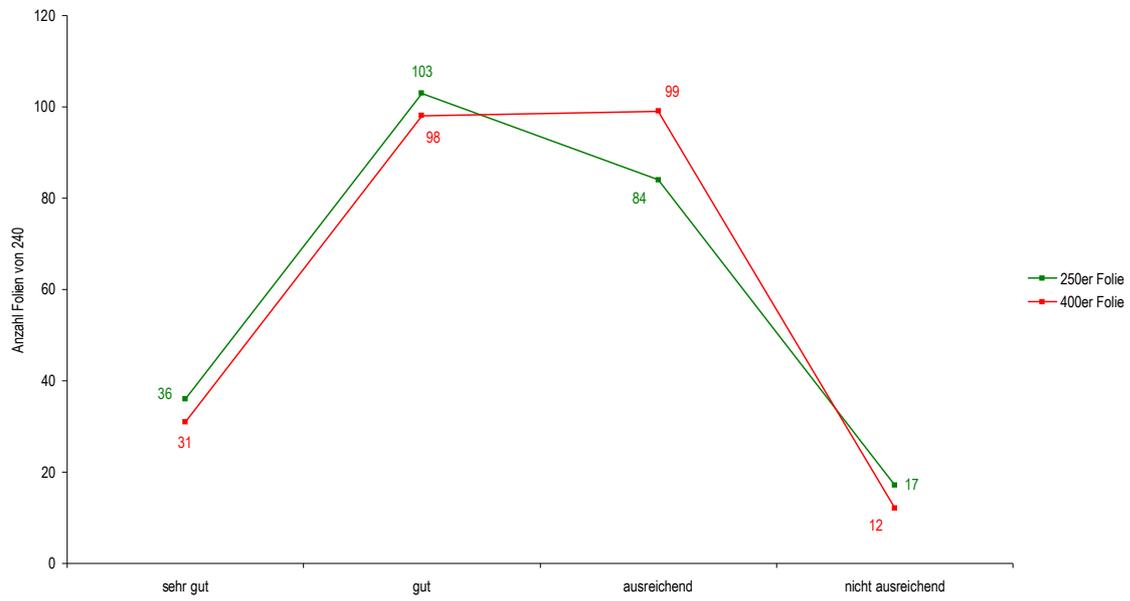
Empfindlichkeit * Tuber maxilla Kreuztabelle

			Tuber maxilla				Gesamt
			sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	
Empfindlichkeit	250	Anzahl	36	103	84	17	240
		% von Empfindlichkeit	15,0%	42,8%	35,0%	7,1%	100%
Kodak	400	Anzahl	31	98	99	12	240
		% von Empfindlichkeit	12,9%	40,8%	41,2%	5,0%	100%
AGFA	200	Anzahl	17	115	88	20	240
		% von Empfindlichkeit	7,1%	47,9%	36,7%	8,3%	100%
	400	Anzahl	10	114	83	33	240
		% von Empfindlichkeit	4,1%	47,5%	34,6%	13,8%	100%
Gesamt		Anzahl	94	431	354	81	960
		% von Empfindlichkeit	9,8%	44,9%	36,9%	8,4%	100%

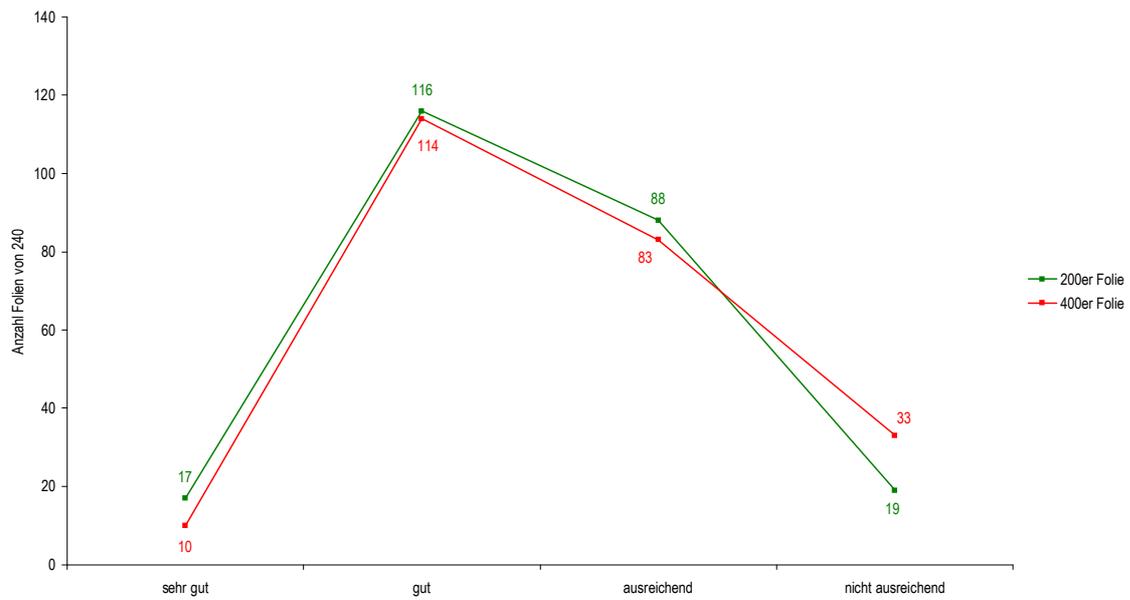
Die **Kreuztabelle 19** beschreibt die besseren Ergebnisse der Aufnahmen des 200er bzw. 250er Systems beider Hauptgruppen. Der Unterschied zwischen den Empfindlichkeitsklassen wurde in der KODAK-Gruppe etwas deutlicher, insbesondere im Anteil der “nicht ausreichenden“ Antworten. Die durchschnittliche Differenz betrug innerhalb der KODAK Aufnahmen 3,1% und bei den AGFA Aufnahmen 2,7%.

Die Kurven **Q** und **R** verdeutlichen die Ergebnisse.

Tuber maxilla regio 28 links Kodak - Kurve Q



Tuber maxilla regio 28 links AGFA - Kurve R



Rangfolge der Aufnahmen

Kreuztabelle 20: Antwortenverteilung in der Zielgröße Rangfolge im Bezug zur Systemempfindlichkeit

Empfindlichkeit * Rangfolge Kreuztabelle

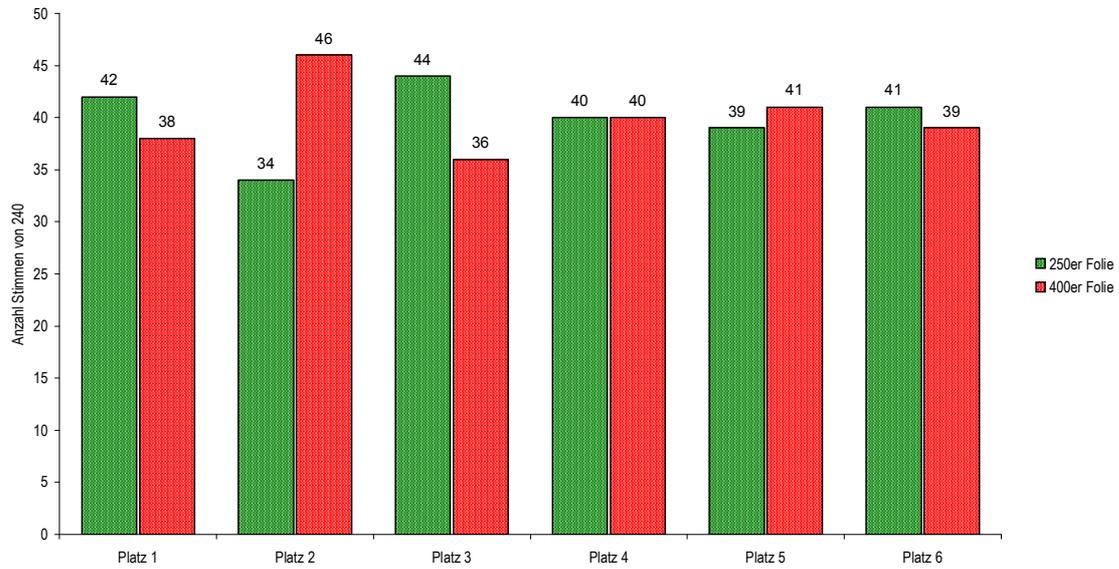
			Rangfolge (Platzvergabe)						Gesamt
			1	2	3	4	5	6	
Empfindlichkeit Kodak	250	Anzahl	42	34	44	40	39	41	240
		% von Empfindlichkeit	17,5%	14,2%	18,3%	16,7%	16,3%	17,1%	100%
Kodak	400	Anzahl	38	46	36	40	41	39	240
		% von Empfindlichkeit	15,8%	19,2%	15,0%	16,7%	17,1%	16,3%	100%
AGFA	200	Anzahl	45	42	50	38	29	36	240
		% von Empfindlichkeit	18,8%	17,5%	20,8%	15,8%	12,1%	15,0%	100%
AGFA	400	Anzahl	35	38	30	42	51	44	240
		% von Empfindlichkeit	14,6%	15,8%	12,5%	17,5%	21,3%	18,3%	100%
Gesamt		Anzahl	160	160	160	160	160	160	960
		% von Empfindlichkeit							100%

Unter der Bezeichnung “Diagnostische Aussagegekrft“ wird die Bildqualität verstanden, die sich unter Beruckichtigung der beschriebenen Qualitätskriterien (Schwärzung, Kontrast und Detailerkennbarkeit) ergibt.

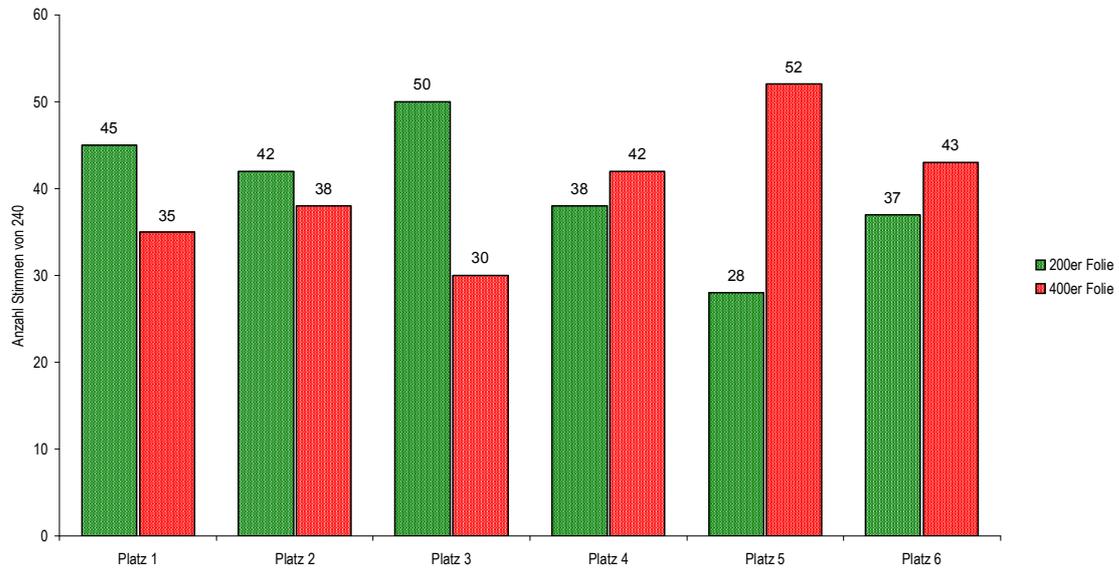
Die **Kreuztabelle 20** zeigt, dass sich die Verteilung der Empfindlichkeitsklassen auf die verschiedenen Plätze in den beiden Hauptgruppen unterschiedlich gestaltet. Für die KODAK-Gruppe gilt, dass insgesamt keine der Empfindlichkeitsklassen deutlich besser abschnitt. Zählt man nämlich jeweils die Aufnahmen des 250er und des 400er Systems zusammen, sind gleich viele Aufnahmen (120 Bilder) auf den ersten drei wie auf den letzten drei Plätzen vorhanden. In der AGFA-Gruppe befinden sich die Mehrzahl der Aufnahmen (57,7%) der Empfindlichkeitsklasse 200 auf der ersten drei Plätzen und nur 42,9% der Aufnahmen des 400er Systems.

Die Graphiken **S** und **T** veranschaulichen die Ergebnisse.

Einordnen der Filme in Reihenfolge nach ihrer diagnostischen Aussagekraft
Kodak - Graphik S



Einordnen der Filme in Reihenfolge nach ihrer diagnostischen Aussagekraft
AGFA - Graphik T



Eingestellte mA/kV-Werte

Kreuztabelle 21: Antwortenverteilung in der Zielgröße Rangfolge im Bezug zur mA- Einstellung

mA * Rangfolge Kreuztabelle

			Rangfolge (Platzvergabe)						Gesamt
			1	2	3	4	5	6	
Film	niedrig	Anzahl	69	76	80	90	91	102	580
		% von mA	13,6%	15,0%	15,7%	17,7%	17,9%	20,1%	100%
	hoch	Anzahl	91	84	80	70	69	58	452
		% von mA	20,1%	18,6%	17,7%	15,5%	15,3%	12,8%	100%
Gesamt		Anzahl	160	160	160	160	160	160	960
		% von mA	16,7%	16,7%	16,7%	16,7%	16,7%	16,7%	100%

Die **Kreuztabelle 21** zeigt das Verhältnis der gewählten mA-Einstellung in Bezug auf die diagnostische Aussagekraft der Aufnahmen. Die unterschiedlichen Zahlen in der rechten senkrechten Spalte ergeben sich aus der ungleichen Verteilung der Aufnahmen, die mit niedriger bzw. hoher mA belichtet wurden (Siehe Seite 23). Insgesamt wurden 127 Aufnahmen mit niedriger mA aufgenommen und 113 mit hoher mA. Die Menge der Bilder wurde auch hier mit den vier Betrachtern multipliziert. Durch das Zusammenzählen der Prozentwerte ergibt sich, dass 56,4% der Bilder, die mit der hohen mA/niedrigen kV-Einstellung belichtet wurden auf die ersten drei Plätze kamen und nur 44,3% der Aufnahmen, die mit der niedrigen mA/hohen kV Einstellung angefertigt wurden. Der Anteil Aufnahmen mit der hohen mA-Einstellung war somit auf den ersten drei Plätzen um 12,1% größer.

Kreuztabelle 22: Antwortenverteilung in der Zielgröße Rangfolge im Bezug zur Systemempfindlichkeit und zur mA-Einstellung

				Empfindlichkeit * Rangfolge Kreuztabelle							
				Rangfolge (Platzverteilung)						Gesamt	
				1	2	3	4	5	6		
Empfindlichkeit	KODAK	250	Niedrig	Anzahl	20	19	23	20	22	24	128
				% von mA	15,6%	14,8%	18,0%	15,6%	17,2%	18,8%	100%
			hoch	Anzahl	22	15	21	20	17	17	112
				% von mA	19,6%	13,4%	18,8%	17,8%	15,2%	15,2%	100%
		400	Niedrig	Anzahl	17	21	25	27	22	24	136
			% von mA	12,5%	15,4%	18,4%	19,9%	16,2%	17,6%	100%	
			hoch	Anzahl	21	25	11	13	19	15	104
				% von mA	20,2%	24,0%	10,6%	12,5%	18,3%	14,4%	100%
	AGFA	200	Niedrig	Anzahl	20	21	23	21	19	20	124
			% von mA	16,1%	16,9%	18,5%	16,9%	15,3%	16,1%	100%	
			hoch	Anzahl	25	21	27	17	10	16	116
			% von mA	21,5%	18,1%	23,3%	14,7%	8,6%	13,8%	100%	
		400	Niedrig	Anzahl	12	15	9	22	28	34	120
			% von mA	10%	12,5%	7,5%	18,3%	23,3%	28,3%	100%	
			hoch	Anzahl	23	23	21	20	23	10	120
			% von mA	19,2%	19,2%	17,5%	16,6%	19,2%	8,3%	100%	
Gesamt				Anzahl	160	160	160	160	160	160	960
				% von mA							100%

In **Kreuztabelle 22** ist erkennbar, dass die hohe mA-Einstellung überall ein besseres Endergebnis der Aufnahmen bewirkte. Es ergaben sich lediglich Unterschiede im Größenverhältnis der Verteilung zwischen den beiden Herstellergruppen auf den ersten drei Plätzen. In der KODAK-Gruppe standen sich 54,8% Aufnahmen der Empfindlichkeitsklasse 400, die mit hoher mA-Einstellung belichtet wurden, dem Anteil von 51,8% der Bilder des 250er Systems gegenüber. Dies ergab einen Unterschied von 3%. In der AGFA-Gruppe waren 62,9% der Aufnahmen der 200er Empfindlichkeitsklasse auf Platz eins bis drei und nur 55,9% des 400er Systems, was zu einem Unterschied von 7% führte.

Der Anteil Aufnahmen, die bei niedrigerer mA die besseren Werte erzielten, waren die, welche mit der 200er bzw. 250er Folie angefertigt wurden (48,4% bzw. 51,6%). KODAK Aufnahmen der 250er bzw. 400er Empfindlichkeitsklasse, die mit der niedrigen mA-Einstellung belichtet wurden, kamen zu 48,4% bzw. 46,4% auf Platz eins bis drei. Der Anteil AGFA Aufnahmen der 200er bzw. 400er Empfindlichkeitsklasse betrug auf den gleichen Plätzen 51,6% und 30%. Der Unterschied betrug somit 2% bei den KODAK Aufnahmen und 21,6% bei den Aufnahmen von AGFA.

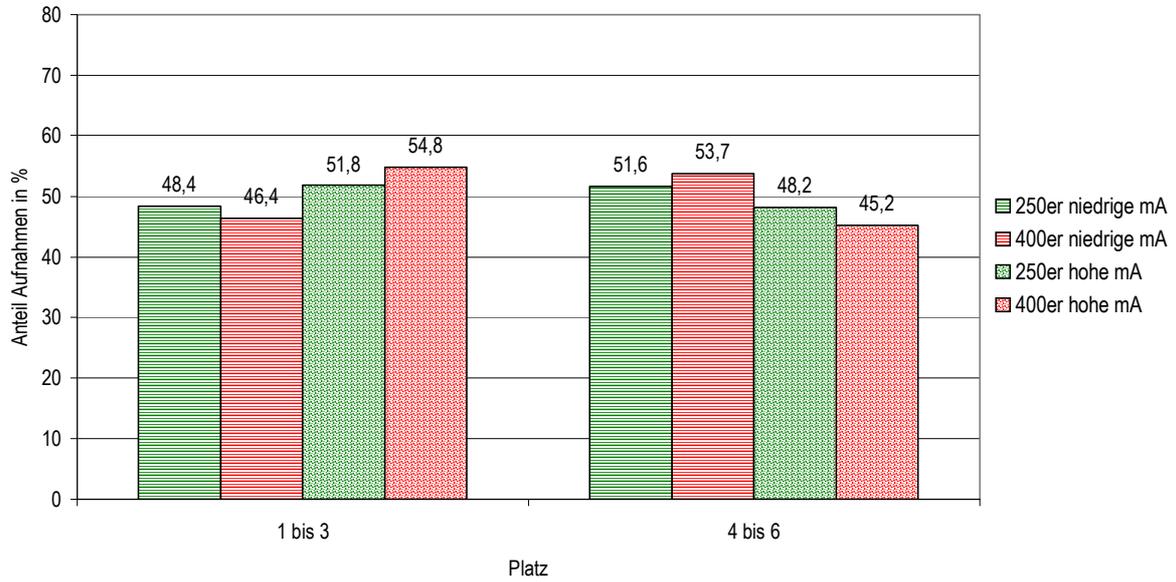
Die unterschiedlichen mA/kV-Werte bewirkten größere Schwankungen in der Bewertung der Bildqualität der AGFA-Gruppe als in der KODAK-Gruppe. In dieser ergab sich eher eine

gleichmäßige Verteilung, da jede Kategorie ungefähr die Hälfte der KODAK-Aufnahmen jeder Empfindlichkeitsklasse enthielt.

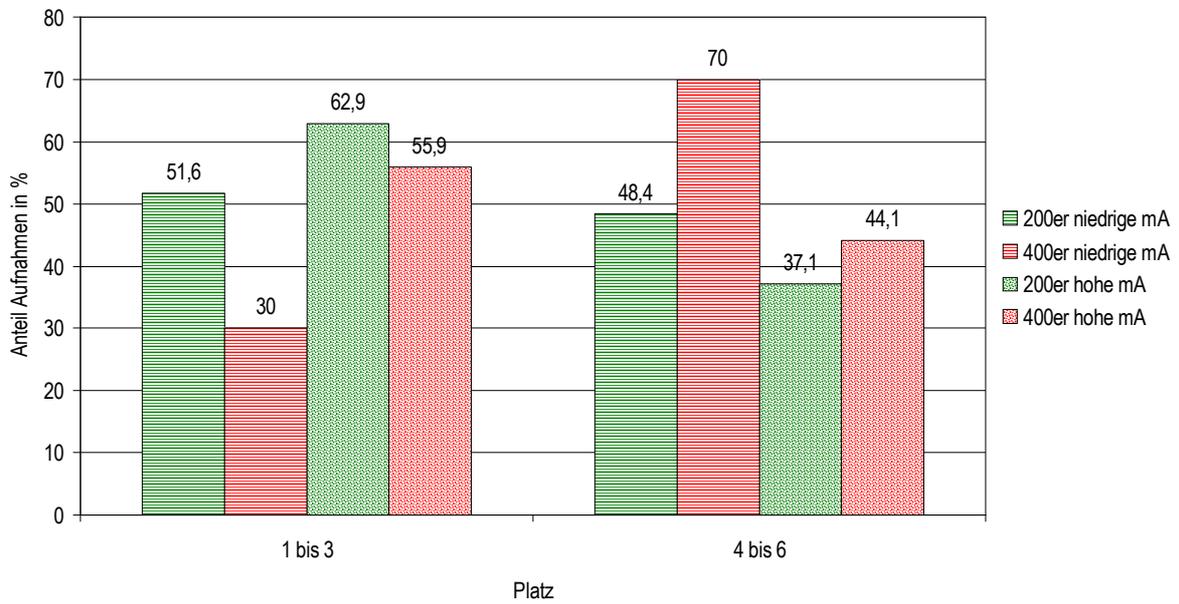
Bei den AGFA Aufnahmen trat der Einfluss der veränderten mA-Werte auf die Beurteilung der Bildqualität der beiden Systemklassen am deutlichsten hervor. Insgesamt kamen mehr Aufnahmen mit der hohen mA-Einstellung auf die ersten drei Plätze. Die Aufnahmen des 400er Systems erzielten bei der niedrigen mA-Einstellung deutlich schlechtere Ergebnisse als die der 200er Empfindlichkeitsklasse.

Die Graphiken **U** und **V** veranschaulichen das Ergebnis von Tabelle 22.

Platzverteilung der Aufnahmen unter Berücksichtigung der Empfindlichkeits Klasse und mA Einstellung
KODAK - Graphik U



Platzverteilung der Aufnahmen unter Berücksichtigung der Empfindlichkeits Klasse und mA Einstellung
AGFA - Graphik V



- DIE ERGEBNISSE DER KREUZTABELLEN IM ÜBERBLICK

SCHWÄRZUNG

Der Schwärzungsgrad aller Aufnahmen wurde zu 60% als gut und zu 35% als ausreichend empfunden.

Die KODAK-Aufnahmen erzielten ein etwas besseres Gesamtergebnis. Zu Beginn dieser Untersuchung erwies es sich bei der Auswahl der Aufnahmen jedoch als besonders schwierig, bei den KODAK-Aufnahmen einen einheitlichen Schwärzungsgrad zu erzielen.

Unter Berücksichtigung der Empfindlichkeitsklassen ergab die Verteilung der Antworten in den zwei Herstellergruppen nur geringe Unterschiede. In beiden Film/Folien-Kombinationsgruppen erzielten die Aufnahmen, die mit der 400er Folie angefertigt wurden, bessere Qualitätsurteile als die des 200er bzw. 250er Systems. Die durchschnittliche Differenz zwischen der Anzahl Aufnahmen der Bewertungen "gut", "ausreichend" und "nicht ausreichend" betrug in der KODAK-Gruppe 2,5% und in der AGFA-Gruppe 3,3%.

KONTRAST

Nur knapp 33% oder $\frac{1}{3}$ aller Aufnahmen wurden hinsichtlich ihres Kontrastes als gut eingestuft. Mehr als die Hälfte der Bilder (55%) wurde diesbezüglich nur als ausreichend bezeichnet.

Die Röntgenbilder der AGFA-Gruppe erzielten das bessere Gesamtergebnis.

Der Unterschied in der Antwortenverteilung zwischen den beiden Herstellergruppen und ihren Empfindlichkeitsklassen war gering. Es ergab sich jedoch eine umgekehrte Verteilung. So erzielten die KODAK Aufnahmen, die mit der 250er Folie belichtet worden waren, bessere Ergebnisse als die, welche mit der 400er Folie belichtet wurden. In der AGFA-Gruppe wurden die Röntgenbilder, welche mit der 400er Folie aufgenommen worden waren, besser bewertet. Die durchschnittliche Differenz in der Antwortenverteilung betrug bei den Aufnahmen von KODAK 2,3% und von AGFA 3,1%.

DETAILLERKENNBARKEIT DER STRUKTUREN

In den ausgewählten röntgenanatomischen Regionen wurde die Detailschärfe größtenteils als gut bis ausreichend empfunden. Im Durchschnitt wurden 41% der Aufnahmen diesbezüglich als "gut" eingestuft. Nur 10% der Röntgenbilder wurden als sehr gut und ca. 12% als nicht ausreichend bezeichnet.

In vier der sechs Strukturpunkte bekamen die AGFA Aufnahmen in der Gesamtwertung die besseren Ergebnisse. Einzig im Punkt Sinus Maxillaris und Tuber Maxilla erzielten die KODAK-Aufnahmen bessere Gesamtwerte.

Ein Unterschied in der Antwortenverteilung zwischen der 200er bzw. 250er und 400er Empfindlichkeitsklasse war zu erkennen. Die Größe der Differenz in der Anzahl Antworten der Kategorien "sehr gut", "gut", "ausreichend" und "nicht ausreichend" schwankte in den verschiedenen Strukturpunkten und innerhalb der Film/Folien-Kombinationsgruppen. Besonders auffällig wurde die unterschiedliche Verteilung innerhalb der Empfindlichkeitsklassen bei den Aufnahmen von KODAK. Der Unterschied war mal sehr klein, dann wieder größer und wurde insgesamt deutlicher als in der AGFA-Gruppe.

Die durchschnittliche Differenz in der Antwortenverteilung der Empfindlichkeitsklassen betrug bei den KODAK Aufnahmen zwischen 1,0% und 7,65% und bei den AGFA Aufnahmen zwischen 1,7% und 4,3%. Die größten Unterschiede zwischen den Empfindlichkeitsklassen wurden in den Antworten "gut" und "ausreichend" erkannt.

Anhand der Kreuztabellen und Kurven E, F, M, N, O, P, Q und R der Zielgrößen Periapical, Condylus, Canalis Mandibularis und Tuber Maxilla wurden die Unterschiede zwischen der Antwortenverteilung der beiden Film/Folien-Hauptgruppen besonders deutlich. Die Differenz zwischen den Empfindlichkeitsklassen innerhalb der beiden Herstellergruppen war jedoch meist relativ klein oder so verschwindend gering, dass sie kaum mehr als solche zu bezeichnen war. Dieses wurde insbesondere bei den KODAK Aufnahmen in den Zielgrößen Coronal und Sinus Maxillaris deutlich. Das Ergebnis lies sich durch die sich fast überlagernden Kurven G und K gut veranschaulichen.

Im keinem der sechs Strukturpunkte erwies sich das 400er System als einziges überlegen. Wohl erzielte das 400er System in vier Punkten innerhalb einer Herstellergruppe bessere Ergebnisse als das entsprechende 200er oder 250er System. Dieses wurde im Punkt Coronal, Sinus Maxillaris und Condylus in der KODAK-Gruppe und im Punkt Canalis Mandibularis in der AGFA-Gruppe ersichtlich. Einzig im Punkt Condylus war dieser Vorsprung jedoch als deutlich zu bezeichnen. Hier betrug die Differenz 7,7%. Im Punkt Canalis Mandibularis war er geringer (3,4%) und in den letzten beiden Punkten minimal (1% und 1,5%).

Insgesamt erzielten die Aufnahmen, die mit der 200er oder 250er Folie belichtet wurden, die besten Ergebnisse. In den Strukturen Periapical und Tuber Maxilla waren sowohl die KODAK als auch die AGFA Aufnahmen dem 400er System überlegen. Innerhalb aller sechs Strukturpunkte erreichte das 200er bzw. 250er System in mindestens **einer** Hersteller-Gruppe einen Vorsprung in der Qualitätsbewertung gegenüber den Röntgenbildern, die mit der 400er Folie angefertigt wurden.

In dieser Untersuchung war das Ergebnis, welche beide Empfindlichkeitsklassen in der dentalen Region erzielten, von besonderem Interesse. Eine befriedigende röntgenologische Befundung in diesem Bereich setzt eine gute Detailschärfe in den coronalen und periapicalen Strukturen voraus. Ist diese nicht gegeben, muss unter Umständen zusätzlich ein Zahnfilm angefertigt werden, um einen Befund wie z.B. Karies oder eine Aufhellung an der Wurzelspitze eindeutig erkennen zu können. Im Punkt "Periapical" und "Zahnfilm" war die Empfindlichkeitsklasse 200 bzw. 250 beider Herstellergruppen dem 400er System überlegen. Die Differenz der Antwortenverteilung betrug bei den KODAK Aufnahmen 4,4% und bei den Aufnahmen von AGFA 1,7%. Im Punkt Coronal schnitt nur das 200er System der AGFA-Serie mit einem Vorsprung von 2,9% besser ab. Die Aufnahmen der 250er und 400er Systemklasse der KODAK-Serie erzielten Coronal mit einer Differenz von 1,5% fast identische Ergebnisse. Im Punkt Zahnfilm war der Vorsprung der Empfindlichkeitsklasse 200 bzw. 250 gleichfalls gering (1,6%) aber dennoch vorhanden.

Ein Beispiel für einen deutlichen Unterschied in der Detailerkennbarkeit zwischen zwei Röntgenaufnahmen, die mit einer 200er und einer 400er Folie belichtet wurden, sind die Abbildungen 6 und 7 auf Seite 70. Die Fotos stammen von Aufnahmen dieser Versuchsreihe.

RANGFOLGE DER AUFNAHMEN

Die Einordnung der 250er und 400er KODAK-Aufnahmen in ihre Reihenfolge durch die Untersucher ergab ein unterschiedliches Ergebnis in den beiden Film/Folien-Kombinationsgruppen.

In der KODAK-Gruppe war die Verteilung der Aufnahmen auf den ersten und letzten drei Plätzen sehr unregelmäßig. Erst die Summe der Ergebnisse machte deutlich, dass gleich viele Aufnahmen des 250er und 400er Systems auf Platz eins bis drei wie auf Platz vier bis sechs eingeordnet worden waren. Der Unterschied zwischen den Empfindlichkeitsklassen wurde hier somit ausgeglichen. In der AGFA-Gruppe waren nur die Aufnahmen des 200er Systems mehrheitlich auf den ersten drei Plätzen vertreten.

EINSTELLUNG

Die veränderten mA-Werte hatten einen Einfluss auf die Bewertung der Bildqualität, wie anhand der Einteilung der Röntgenbilder in ihre Reihenfolge durch die Betrachter sichtbar wurde. Dabei kam es in beiden Herstellergruppen zu einer ungleichen Verteilung der Aufnahmen auf den unterschiedlichen Plätzen. Diese Verteilung war in der KODAK-Gruppe gleichmäßiger als in der AGFA-Gruppe. In der letztgenannten Herstellergruppe kam es zu deutlichen Schwankungen in der Anzahl Aufnahmen auf den ersten und letzten Plätzen.

Die Aufnahmen die mit hoher mA/niedriger kV belichtet worden waren, wurden öfter in die sehr gute bis mittelgute Kategorie bzw. auf Platz eins bis drei eingeordnet als die Aufnahmen, die mit niedriger mA/hoher kV belichtet wurden. Dieses Ergebnis galt für beide Film/Folien-Kombinationen und ihre Empfindlichkeitsklassen. Der Unterschied in der Stimmenanzahl der beiden mA-Gruppen auf den ersten Plätzen betrug 12,1%.

In der KODAK-Gruppe war der Anteil Stimmen für die Kombination hohe mA und 400er Folie um 3% größer als der Anteil Stimmen für die Kombination hohe mA und 250er Folie. In der AGFA-Gruppe betrug dieser Unterschied 7%. Es wurden mehr AGFA Aufnahmen der Kombination hohe mA und 200er Folie als die Kombination hohe mA und 400er Folie auf die ersten drei Plätzen eingeordnet.

Die Kombination niedrige mA und 400er Folie ergab wie bereits erwähnt in beiden Herstellergruppen schlechtere Ergebnisse als die Kombination niedrige mA und 200er bzw. 250er Folie. Der Unterschied wurde besonders bei den Aufnahmen der AGFA-Gruppe deutlich. Die Differenz zwischen der Anzahl Stimmen für die Aufnahmen der 200er und 400er Empfindlichkeitsklasse auf den ersten Plätzen betrug 21,6%. Zwischen den Aufnahmen der KODAK-Gruppe war dagegen nur ein geringer Unterschied von 2% der Stimmen zwischen den Empfindlichkeitsklassen gegeben.

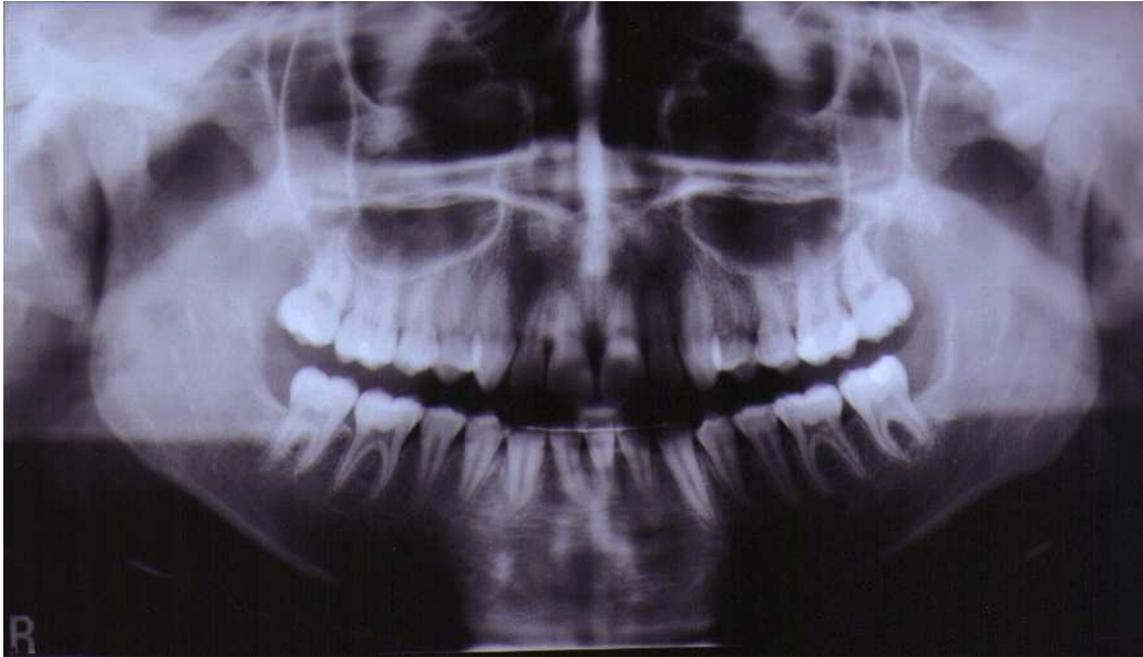


Abb.6:Film/Folien-Kombination: AGFA DENTUS ORTHOLUX/AGFA DENTUS MEDIUM SC 200
Patient: 19 Jahre, weiblich. Belichtungsdaten: 64 kV/16mA.

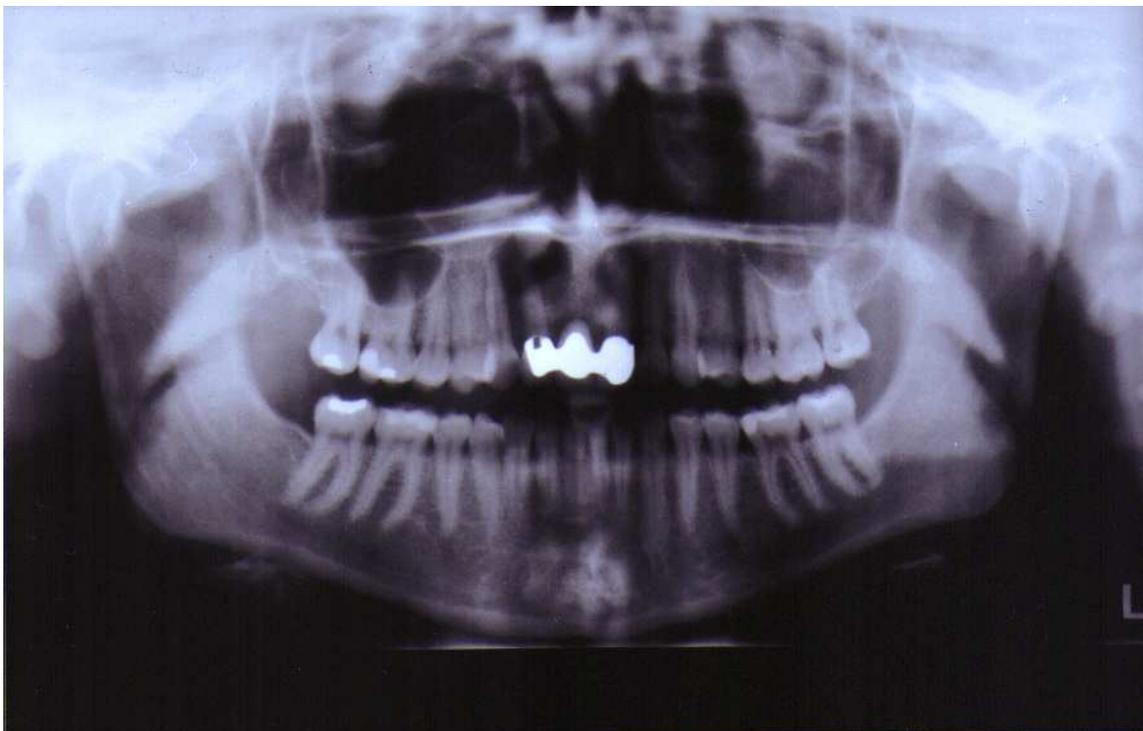


Abb.7:Film/Folien-Kombination: AGFA DENTUS ORTHOLUX/AGFA DENTUS REGULAR SC 400
Patient: 23 Jahre, weiblich. Belichtungsdaten: 75kV/05mA.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Für die vorliegende Untersuchung wurden 240 Panoramaschichtaufnahmen ausgewählt, die innerhalb etwa eines Jahres in der Abteilung für Röntgendiagnostik der Klinik- und Poliklinik für ZMK des Universitätskrankenhauses Hamburg Eppendorf von qualifiziertem Fachpersonal angefertigt wurden. Es wurde der Einfluss der Faktoren Empfindlichkeitsklasse, verwendeter Film/Folien-Typ und unterschiedlich hohe mA-Werte auf die Bildqualität beleuchtet.

120 der Aufnahmen wurden zur Hälfte mit der Film/Folien-Kombination **KODAK T MAT L/LANEX MEDIUM 250** und **KODAK T MAT L/LANEX REGULAR 400** angefertigt. Die anderen 120 Röntgenbilder wurden zu gleichen Teilen mit der Film/Folienkombination **AGFA DENTUS ORTHOLUX/AGFA DENTUS MEDIUM SC 200** und **AGFA DENTUS ORTHOLUX/AGFA DENTUS REGULAR SC 400** belichtet. Die Aufnahmen wurden entweder mit den Belichtungsdaten hohe mA/niedrige kV oder niedrige mA/hohe kV angefertigt.

Die Röntgenbilder der beiden Herstellergruppen wurden auf zwei mal zwanzig Umschläge mit je sechs Aufnahmen verteilt. In jedem Umschlag waren drei Aufnahmen der 200er bzw. 250er Film/Folien-Kombination und drei Aufnahmen der 400er Film/Folien-Kombination verteilt. Anhand eines Fragebogens bewerteten vier erfahrene Betrachter Schwärzung, Kontrast, Positionierung und die Detailerkennbarkeit in sechs ausgewählten Bildregionen der Aufnahmen. Die Filme wurden nach ihrer diagnostischen Aussagekraft in eine Rangfolge von eins bis sechs eingeordnet. Die Bewertung der Aufnahmen erfolgte einzeln und subjektiv bei normaler Raumbelichtung an einem Leuchtschirm ohne weitere Hilfsmittel.

Die Ergebnisse der Fragebögen wurden einer statistischen Berechnung unterzogen. Um einen signifikanten Einfluss der variablen Film, Folie und mA zu ermitteln, wurden Proportional Odds Modelle errechnet und ausgewertet. Die Ergebnisse der so ermittelten Odds Ratios ergaben einen positiven signifikanten Einfluss der hohen mA-Werte und des steileren Films, also AGFA DENTUS ORTHOLUX, auf die Bildqualität. Außerdem wurde ein geringer negativer bezeichnender Einfluss der Kombination des steileren Films mit einer 400er Folie errechnet.

Für die weitere Auswertung der Fragebögen wurden außerdem mit Hilfe des Statistikprogramms Kreuztabellen erstellt. Die Ergebnisse der Kreuztabellen wurden anhand von Kurven und Diagrammen dargestellt, um diese zu verdeutlichen.

Die Auswertung ergab, dass die Bildqualität der Aufnahmen von AGFA DENTUS ORTHOLUX insgesamt besser beurteilt wurden als die von KODAK T MAT L. Sie erzielten in sechs von neun Fragestellungen die besseren Gesamtwerte. Der Anteil der im Punkt Positionierung bemängelter Aufnahmen war dabei etwas größer als bei den Bildern von KODAK.

Der Unterschied in der Beurteilung der Bildqualität der Aufnahmen, die mit der 400er Folie und 200er bzw. 250er Folie angefertigt wurden, war in den beiden Herstellergruppen unterschiedlich groß. Die deutlichste Differenz in der Antwortenverteilung zwischen den beiden Empfindlichkeitsklassen wurde bei dem Film KODAK T MAT L in Kombination mit den Verstärkungsfolien KODAK LANEX MEDIUM 250 und KODAK LANEX REGULAR 400 erkannt. Sie betrug durchschnittlich zwischen 1% bis 7,65%. Die Differenz in der AGFA-Gruppe betrug im Vergleich dazu nur zwischen 1,7 bis 4,3%.

Die Film/Folien-Kombinationen AGFA DENTUS ORTHOLUX / AGFA DENTUS REGULAR SC 400 und KODAK T MAT L / KODAK LANEX REGULAR SC 400 erzielten kaum bessere Ergebnisse als bei der Verwendung der entsprechenden 200er oder 250er Folie. Der Unterschied zwischen den Empfindlichkeitsklassen beider Herstellergruppen war jedoch geringer als zu Beginn der Untersuchung angenommen wurde. Teilweise erreichte die Filmkombination mit der 400er Folie annähernd gleich gute Ergebnisse wie die Kombination mit der 200er bzw. 250er Folie.

Dem 200er bzw. 250er System überlegen war das 400er System **beider** Herstellergruppen einzig im Punkt Schwärzung. Abhängig vom verwendeten Film/Folien-Kombinations-Typ erreichte es darüber hinaus im Punkt Kontrast und in der Detailerkennbarkeit der Strukturen Coronal 36, Sinus Maxillaris links, Condylus rechts und Canalis Mandibularis rechts bessere Ergebnisse als das 200er bzw. 250er System. Im Punkt Kontrast und Canalis Mandibularis führte die Kombination AGFA DENTUS ORTHOLUX / AGFA DENTUS REGULAR SC 400 zu einer positiveren Einschätzung der Bildqualität. In den verbleibenden drei Strukturpunkten erzielte die Kombination KODAK T MAT L / KODAK LANEX REGULAR 400 bessere Ergebnisse als die Kombination mit der 250er Folie.

Die Verteilung der Röntgenbilder in die Rangfolge nach ihrer diagnostischen Aussagekraft ergab Folgendes: die Aufnahmen der KODAK-Gruppe, die mit der 250er und 400er Folie belichtet wurden, war auf den ersten und letzten drei Plätzen gleich. Bei den AGFA Aufnahmen waren dagegen mehr Aufnahmen, die mit der 200er Folie angefertigt wurden, auf Platz eins bis drei eingeordnet worden als die des 400er Systems.

Die Kombinationen AGFA DENTUS ORTHOLUX / AGFA DENTUS MEDIUM SC 200 und KODAK T MAT L / KODAK LANEX MEDIUM 250 erzielten öfter und deutlicher die besseren Ergebnisse in der Beurteilung der Bildqualität als die Kombination mit den entsprechenden 400er Folien. Dieses Ergebnis galt auch für die Beurteilung der dentalen Strukturen. Es wurde weniger oft ein zusätzlicher Zahnfilm erwünscht, wenn eine 200er oder 250er Folie verwendet wurde.

Die Auswirkung der unterschiedlich hohen mA/kV-Einstellung auf die Qualität der Aufnahmen dieser Untersuchung war je nach verwendeter Film/Folien-Kombination unterschiedlich ausgeprägt. Hohe mA-Werte hatten unabhängig von der Empfindlichkeitsklasse einen positiven Einfluss auf die Bildqualität. Am deutlichsten trat dieses Ergebnis in der AGFA-Gruppe hervor. Niedrige mA-Werte bewirkten eine Verschlechterung der Bildqualität. Dabei erzielten die Aufnahmen, die mit der 400er Folie aufgenommen wurden schlechtere Ergebnisse als die, welche mit der 200er bzw. 400er Folie belichtet worden waren. Am deutlichsten trat dieses wiederum bei den AGFA-Aufnahmen hervor, da 70% der Röntgenbilder, die mit niedriger mA belichtet worden waren, hinsichtlich ihrer diagnostischen Aussagekraft in die schlechtere Kategorie eingeordnet wurden.

Aufnahmen der Film/Folien Kombination von KODAK waren durch die niedrigen bzw. hohen mA-Werte scheinbar nicht so großen Qualitätsschwankungen unterworfen wie die Aufnahmen der Film/Folien-Kombination von AGFA. Dieses wurde durch die gleichmäßigere Verteilung der KODAK-Aufnahmen bezüglich ihrer Rangfolge deutlich.

6. DISKUSSION

- LITERATURVERGLEICH

Die Fragestellung dieser Studie war, ob sich ein genereller Gebrauch der 400er Folie zu Lasten der 200er Folie in der Panoramaschichttechnik empfiehlt. Diese Frage muss verneint werden. Die Überlegenheit des 200er und 250er Systems gegenüber dem 400er System ist eindeutig.

In der Literatur gibt es bisher wenig Hinweise, die den Einfluss auf die Bildqualität bei der Verwendung einer 400er statt einer 200er/250er Verstärkerfolie beschreiben.

Sanner (1995) verglich Schwärzung, Auflösung und Schärfe von 6 unterschiedlichen Film/Folien-Kombinationen der Empfindlichkeitsklasse 200 und 400. Die Folien enthielten unterschiedliche Leuchtstoffe. Er prüfte, ob mit steigender Empfindlichkeit bzw. abnehmenden Dosisbedarf der Film/Folien-Systeme, auch die Bildqualität der Aufnahmen sinkt. Sein Ergebnis war, dass diese Aussage zutrifft, wenn Kombinationen des gleichen Folienleuchtstoffes und gleichen Filmtyps verglichen werden. In seiner Untersuchung erzielte die Film/Folien-Kombination der 200er Empfindlichkeitsklasse jedoch ein geringeres Auflösungsvermögen als das des 400er System. Er folgerte daraus, dass wenn geeignete Folien und Filme gewählt werden, die Empfindlichkeit erhöht werden kann, ohne dass Unschärfe und Quantenrauschen zunehmen und dass der Dosisbedarf nicht mit der Bildqualität korrelieren muss. Er beschrieb, dass es durchaus möglich wäre, ein Film/Folien-System zu finden, das mit der geeigneten Aufnahmedosis eine bessere Bildqualität liefert als ein vergleichbares weniger empfindliches System. Zu erwähnen ist, dass die in seiner Untersuchung verwendeten Folien neben Ytriumtantalat und Gadoliniumoxysulfid auch Calciumwolframat enthielten, welches heute nicht mehr zum Einsatz kommt.

Zu ähnlichen Ergebnissen war auch Hausdörfer (1993) gekommen. Sie verglich eine Film/Folien-Kombinationen der Empfindlichkeitsklasse 250 mit zwei Systemen der Empfindlichkeitsklasse 400. Neben der Ermittlung von Zeichenschärfe und Detailerkennbarkeit der Aufnahmen, prüfte sie den Einfluss der Filmverarbeitung auf die Bildqualität. Die Ergebnisse ihrer Untersuchung waren, dass alle Aufnahmen des 400er Systems hinsichtlich ihrer subjektiv ermittelten Detailerkennbarkeit besser eingestuft wurden als die des 250er Systems. Die objektiv ermittelte Auflösung ergab ein etwas besseres Ergebnis für die 250er Film/Folien-Kombination, da sie hier als Zweitbeste abschnitt.

Auch Mangold (1995) untersuchte den Einfluss der Empfindlichkeitsklasse 200 und 400 auf die Bildqualität. Er verwendete 13 verschiedene Film/Folien-Kombinationen mit unterschiedlichen Leuchtstoffen. Im Einzelnen erzielte das 200er System hinsichtlich der Auflösung, der Detailerkennbarkeit und des Rauschens bessere Ergebnisse. Das Gesamtergebnis bzw. der Vergleich der verschiedenen Film/Folien-Systeme untereinander ergab jedoch keine klare Trennung der Empfindlichkeitsklassen nach Bildqualität mehr. Er folgerte daraus, dass die erzielte Bildqualität eines 200er bzw. 400er Systems vom Hersteller abhängig ist und dass es somit möglich wäre, ein Film/Folien-System zu finden, welches trotz geringerer Aufnahmedosis eine bessere Bildqualität liefert als ein vergleichbares weniger empfindliches System.

Braun (1998) erläuterte, dass eine Dosisreduktion durch die Anwendung der 400er Folie bei neu entwickelten empfindlicheren Film/Folien-Systemen zu weniger starken Einbußen in der Bildqualität führt als noch vor einigen Jahren, dass wohl aber ist ein Qualitätsunterschied hinsichtlich der erreichbaren Bildqualität der 400er zur 200er Empfindlichkeitsklasse gegeben ist. Dabei wäre für die Größe dieser Differenz entscheidend, welche Folie und welcher Film verwendet wurden. Ein Abbildungssystem sei immer so gut und empfindlich wie die Leistungsfähigkeit seiner Komponenten.

In dieser Untersuchung wurden Folien gleichen Leuchtstofftyps und zwei, dem heutigen Entwicklungsstand entsprechende, modernste Film/Folien-Kombinationen miteinander verglichen. Diese stammten von zwei unterschiedlichen Herstellern. Es wurde ein nicht unerheblicher Unterschied zwischen den beiden Hauptgruppen hinsichtlich der erreichten Bildqualität in den einzelnen Punkten des Fragebogens deutlich. Die Aussage, dass auch der zum Einsatz kommende Hersteller-Typ einer Film/Folien-Kombination einen Einfluss auf die Größe der Differenz zwischen zwei Empfindlichkeitsklassen hat, entspricht den Ergebnissen dieser Untersuchung. In einigen Punkten erzielte die Empfindlichkeitsklasse 400 annähernd gleich gute und sogar bessere Werte als das 200er und 250er System. Es kann also bestätigt werden, dass heutige Folien der 400er Empfindlichkeitsklasse gute Ergebnisse hinsichtlich ihrer diagnostischen Aussagekraft erlangen. Dennoch reichte die Bildqualität des 400er Systems, wie das Gesamtergebnis dieser Studie zeigt, nicht an das der hochverstärkenden Empfindlichkeitsklasse heran.

Düker und Bernard (2000) untersuchten den Einfluss der Verstärkerfolien KODAK LANEX REGULAR und KODAK LANEX MEDIUM in Kombination mit dem Film KODAK T MAT G auf die Bildqualität. Beurteilt wurden Auflösung, Schärfe und Detailwiedergabe der

Aufnahmen anhand 16 ausgewählter Abschnitte von Panoramaschichtaufnahmen eines Phantomschädels. Sie kamen zu dem eindeutigen Ergebnis, dass auf den Aufnahmen, die mit der 250er Empfindlichkeitsklasse aufgenommen wurden, die Zahn- und Knochenstrukturen deutlich besser bewertet wurden als auf dem Bild, welches mit der 400er Folie angefertigt worden war. In nur einem der Punkte dominierte die 400er Folie. In fünf Punkten wurde kein Unterschied auf den Bildern erkannt. Die Zusammenfassung machte die Überlegenheit der 250er Folie deutlich.

Diese Aussage entspricht den Erkenntnissen, die sich auch durch die vorliegende Untersuchung ergaben. Es wurde eine Strukturabhängigkeit in der Beurteilung der Bildqualität der Aufnahmen deutlich. In der Gesamtwertung erzielten die hochverstärkenden Film/Folien-Kombinationen die besten Ergebnisse. Dabei wurde die Überlegenheit der Aufnahmen des 200er und 250er Empfindlichkeitsklasse auch in der Detailerkennbarkeit der periapicalen Strukturen deutlich.

Die Voraussetzungen für eine Beurteilung der dentalen Bereiche in diese Untersuchung waren nicht ideal und erforderten eine gewissenhafte Befundung durch die Betrachter. Da nicht alle Aufnahmen von vollbezahnten Patienten stammten, musste für die Beschreibung der dentalen Region in einigen Fällen auf den Prämolaren oder zweiten Molaren ausgewichen oder alternativ die Knochenstruktur beschrieben werden. Einige der zu beurteilenden Zähne waren mit Füllungen oder Kronen versorgt oder stark zerstört. Es ist davon auszugehen, dass diese Umstände die Wertungen in den Punkten "Periapical", "Coronal" und "Zahnfilm" beeinflusst haben und das Ergebnis bei Vorhandenseins des Zahnes 36 oder 46 auf allen Aufnahmen deutlicher ausgefallen wäre.

Neben der erzielbaren Detailschärfe heutiger 400er Systeme, ist der Dosisbedarf der Film/Folien-Systeme von großer Bedeutung. Düker und Bernard verwendeten bei gleicher kV-Zahl eine Stromstärke von 10mA für das 250er und 6mA für das 400er System. Sie ermittelten durch gesonderte Messungen eine Dosisersparung von 31% zu Gunsten der 400er Folie. Dieser Gewinn wurde jedoch durch eine signifikante Minderung der Bildqualität besonders in den Feinstrukturen erkauft.

Die Beleuchtung des Einflusses der veränderten mA-Werte auf die Qualität der Aufnahmen dieser Untersuchung ergab, dass reduzierte mA-Werte sich ungünstiger auf die diagnostische Aussagekraft der Aufnahmen auswirkten, die mit der 400er Folie aufgenommen wurden, als auf die, welche mit der 200er bzw. 250er Folie entstanden. Diese wurden bei ähnlich niedri-

gen mA-Werten hinsichtlich ihrer Bildqualität sogar besser eingestuft als die Aufnahmen des 400er Systems.

Aus dem Ergebnis dieser Untersuchung lässt sich klar ableiten, dass eine Dosisreduktion auch mit neuartigen Film/Folien-Systemen der Empfindlichkeitsklasse 200 und 250 bei annähernd gleich bleibender Bildqualität möglich ist.

Für die Sicherstellung einer optimalen Bildqualität einer PSA bei geringster Strahlenexposition, empfiehlt sich die hochverstärkende Folie in Kombination mit einem hochempfindlichen und kontrastreichen Film. Dieser Grundsatz gilt insbesondere wenn feine Strukturen dargestellt werden müssen, die eine größtmögliche Detailschärfe erfordern.

In dieser Untersuchung ließen sich mit der Film/Folien-Kombination AGFA DENTUS ORTHOLUX / AGFA DENTUS MEDIUM SC 200 die besten Bewertungen hinsichtlich der der Bildqualität bei reduzierten mA-Werten erzielen.

Sollte im Einzelfall abgewogen werden, eine 400er Folie für die Panoramaschichttechnik zu verwenden, so ist eine Film/Folien-Kombination zu wählen, die der Bildqualität der bewährten hochverstärkenden Empfindlichkeitsklasse am nächsten kommt. Die Aufnahmen mit dem Film KODAK T MAT L lieferte das im Vergleich bessere Gesamtergebnis für die 400er Folien. Des Weiteren wurde die Bewertung der Bildqualität weniger von den reduzierten mA/kV-Werten beeinflusst als die Röntgenbilder der AGFA-Gruppe.

- ZUM VERSUCHSABLAUF

In der vorliegenden Untersuchung wurden zwei verschiedene Film/Folien-Kombinationen der Panoramaschichttechnik anhand einer großen Anzahl von Patientenaufnahmen miteinander verglichen, die von einer kleinen Anzahl kompetenter und erfahrener Betrachter bewertet wurden. In der Studie von Düker und Bernard (2000) bewerteten 75 Testpersonen (38 Zahnärzte und 37 Zahnmedizin-Studenten) zwei Röntgenbildern eines Phantomkopfes. Für die Aussagekraft dieser Untersuchung dürfte die verwendete Kombination der Anzahl Betrachter und der Materialmenge genügen.

Maurer und Goos (1979) halten es für erforderlich, dass objektive Messmethoden beim Vergleich unterschiedlicher Film/Folien-Kombinationen zur Bewertung herangezogen werden und dass dabei die technisch-methodischen Gegebenheiten von Anlage, Objekt und Einstellung definiert und konstant sein müssen. Aus diesem Grunde wurden in den meisten Untersuchungen, die sich mit dem Vergleich verschiedener Film/Folien Systeme befassen, Aufnahmen von Schädel- bzw. Phantomköpfen oder anderen nichtorganischen Test- und Prüfkörpern angefertigt und ausgewertet. Als Beispiel seien die Studien von McDavid et al (1986), D'Ambrosio et al (1986), Mangold (1995) und Sanner (1995) genannt. Sie alle wendeten halbobjektive oder objektive Messmethoden in ihren Untersuchungen an. Gratt (1984) verwendete Patientenaufnahmen, jedoch in Kombination mit einem intraoralen Testgerät zur Messung physikalischer Parameter. Hausdörfer (1993) ergänzte ihre subjektiv ermittelten Ergebnisse mit objektiven Messungen. In der vorliegenden Untersuchung, wie auch in der Studie von Düker und Bernard, wurden keine technischen Hilfsmittel zur Bestimmung der Untersuchungsergebnisse verwendet. Die hier gewünschten Bildqualitätskriterien würden durch technische Prüfmethode nicht zufriedenstellend wiedergegeben werden. Es war das Ziel dieser Studie, zwei unterschiedliche handelsübliche Film/Folie-Systeme zu vergleichen und dieses mit möglichst praxisnahen und leicht nachvollziehbaren Methoden zu tun.

Der Vergleich von Serienaufnahmen muss nicht zwangsläufig unter optimalen und konstanten Untersuchungsbedingungen erfolgen, wie es bestimmte Fragestellungen erfordern. Bei Patientenaufnahmen ist diese Voraussetzung auch kaum zu erfüllen. Untersuchungen eines Patienten mit identischen Aufnahmen verbieten die Vorschriften des Strahlenschutzes.

Es ist des Weiteren nicht möglich, alle Personen exakt gleich für eine Aufnahme in der Röntgenanlage zu positionieren. Auch kann die Höhe der verwendeten Dosis nicht auf einen bestimmten mA/kV-Wert festgelegt werden, wie es bei Phantom- oder Testobjekt-Aufnahmen möglich ist. Die Einstellungen müssen an die individuellen Erfordernisse des durchstrahlten Objekts, also den Patienten, angepasst werden.

Es ist bekannt, dass die Panoramaschichttechnik verfahrensbedingte Mängel aufweist. Es kommt im Vergleich zur Einzelzahnaufnahme nicht nur zu einer verstärkten Überlagerung durch andere im Strahlengang befindliche Strukturen, sondern auch zu einer Erhöhung der Streustrahlen, welche eine Minderung der Schärfe und des Kontrastes mit sich bringt.

Durch die nicht veränderbaren Parameter wie der große Objekt-Film-Abstand und kleiner Fokus-Objekt-Abstand kommt es zu einer Vergrößerung der Abbildung und einer zunehmenden geometrischen Unschärfe. Die Bildqualität verschlechtert sich des Weiteren mit einer abweichenden Geometrie des untersuchten Patientenkiefers vom Standardkiefer, da nach dessen Größe die Bahn der Fokalkurve und die Dicke der dargestellten Schicht programmiert sind. Je weiter sich eine Struktur außerhalb der Schicht befindet, je unschärfer und verwischter wird sie dargestellt.

Die Art des durchstrahlten Objekts beeinflusst also nicht unerheblich die Qualität der Abbildung, da diese auch von alters-, geschlechts- und typbedingten Unterschieden in der Struktur, Dicke und Dichte der Knochen- und Weichteile mitbestimmt wird. Der langen Expositions Vorganges kann zu einer unbeabsichtigte Bewegungen des Patienten führen, die wie eine fehlerhafte Positionierung des Patienten im Gerät, die Qualität der Aufnahme beeinträchtigt. In dieser Untersuchung wurde der letzte Punkt bei ca. 9% der Aufnahmen bemängelt.

Alle diese erwähnten Faktoren wirken sich im unterschiedlichem Maße auf die Bildqualität von Patientenaufnahmen aus. Dies ist jedoch auch der Vorteil der Durchführung einer Studie mit eben diesen Röntgenbildern. Die erwähnten Einflüsse werden miterfasst und die Fragestellung der Untersuchung kann dadurch realitätsnah umgesetzt werden. Mit Phantom- oder Testkörperaufnahmen ist dieses nicht möglich. Objektive Prüfmethode liefern deshalb meist nur theoretische Ansatzpunkte für die Güte eines Abbildungssystems und stimmen nicht unbedingt mit der subjektiv empfundenen Bildqualität überein. Dieses stellte auch Hausdörfer (1993) in ihren Untersuchungen fest.

Bei einer subjektiven Analyse wiederum sind alle Faktoren, welche das Ergebnis beeinflussen können, gedanklich mit einzubeziehen, bevor eine objektive Schlussfolgerung gezogen wird.

Diese beschreibt bereits Dalicho (1967). Auch Eisenburger und Tschernitschek (1996) sowie Mangold (1995) gehen in ihren Studien auf diese Thematik ein.

Neben den physiologischen Gegebenheiten eines Betrachters, sind sein Erfahrungshintergrund, das dadurch erlangte Wissen und die Erwartungen an die Bildqualität Umstände, die zu Differenzen in der Beurteilung der Bildqualität führen können. Auch sind tageszeitbedingte Konzentrationsschwankungen, Stimmung und Motivation der Person mit zu bedenken, gerade weil diese Faktoren schwierig zu erfassen sind. Es ist deshalb darauf zu achten, dass die Betrachter möglichst gleiche Anforderungen an die Bildqualität und Bildbewertung stellen. Dieses gilt umso mehr, je weniger Betrachter an der Untersuchung beteiligt sind. Dieser Grundsatz wurde bei der vorliegenden Untersuchung befolgt.

Dem Diagnostiker kommt es neben einer geringen Strahlenbelastung des Patienten auf die gute Darstellung befundrelevanter Details der Aufnahme am Leuchtschirm an. Die Bildqualität von Film/Folien-Systemen, die sich durch ihre praktische Anwendung ergibt, ist letztendlich diejenige, die über die Güte des Abbildungssystems entscheidet.

7. GLOSSAR

UNSCHÄRFE:

Folienunschärfe: bewirkt eine Verschlechterung der Bildqualität. Sie steigt mit der Größe der Leuchtstoffkristalle und der Dicke der Leuchtschicht der Folie.

Filmunschärfe: Entsteht durch Streuung an den einzelnen Kristallen und zwischen den beiden Emulsionsschichten des Films.

Cross-over-Effekt: Während der Belichtung durchdringen die Röntgenstrahlen die Kassettenvorderwand und treffen auf die Leuchtschicht der Vorderfolie, die Emulsionsschicht des Filmes und die Leuchtschicht der Hinterfolie. Idealerweise schwärzt das Licht der Vorderfolie nur die erste, ihr zugewandte Filmemulsion. Die hintere Filmemulsion wird von der Hinterfolie belichtet. Es kommt vor, dass Licht von einer Folienseite durch die Emulsionsschicht auf die andere Folienseite übertritt und wieder zurückreflektiert wird. Dies wird als der Cross-over-Effekt bezeichnet. Das Licht wird auf dem längeren Weg zur jeweils gegenüberliegenden Emulsion gestreut, was Unschärfen erzeugt. Der Aufbau der heutigen Filme minimiert diesen Effekt durch die Struktur der Kristalle in Kombination mit einem entsprechenden Sensibilisierungsfarbstoff in der Emulsionsschicht.

Geometrische Unschärfe: ist proportional der Brennfleckgröße (Fokusgröße), dem Fokus-Objekt und Fokus-Film-Abstand. Je weiter ein Objektdetail von der Bildebene entfernt ist, mit einem desto größeren Halbschatten wird es abgebildet.

Bewegungsunschärfe: Entsteht als Folge von untersuchungsbedingten Bewegungen des Patienten, seiner Organe oder des Abbildungssystems.

Kassettenunschärfe: Entsteht durch ungenügenden Kontakte zwischen Film und Folie in der Kassette. Die Qualität der Aufnahme kann unter der vermehrten Lichtstreuung leiden. Deshalb erhöht eine Schaumstoffeinlage den Anpressdruck beim Schließen der Kassette.

8. LITERATURVERZEICHNIS

Braun, R.

Aktuelle Film-Folien-Systeme in der Zahnheilkunde

Quintessenz 49 (1998), 1135-1141

Bundesärztekammer

Leitlinien zur Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik

Fassung vom 21.4.1995

Deutsches Ärzteblatt 92 (1995), 1515- 1527

Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung

Richtlinie für Sachverständigenprüfungen nach Röntgenverordnung

9. Auflage, Wirtschaftsverlag, Dortmund·Berlin, 1998

Dalicho, W.

Wahrnehmung und Darstellbarkeit von Details im Röntgenbild

1. Auflage Edition, Leipzig, 1967

D'Ambrosio, J. A, T. G. Schiff, W. D. McDavid et al

Diagnostic quality versus patient exposure with five panoramic screen-film combinations

oral surg. oral med. oral path. 61 (1986), 409-411

Degenhardt, H.

Zur Verwendung von SE Leuchtstoffen in feinzeichnenden Verstärkerfolien

Electromedica 3 (1980), 76-79

Degenhardt, H.

Filmuniverselle Verstärkerfolien mit Zweiband-Leuchtstoff Titan 2

Electromedica 3 (1981), 154-158

Degenhardt, H.

Leuchtstoffe in Verstärkerfolien

"mta praxis" 28 (1982), 40-51

Düker, J., R.J. Bernard

Vergleich der Verstärkerfolien KOKAK LANEX MEDIUM und KOKAK LANEX REGULAR

Quintessenz 51 (2000), 601-608

Eggert, S.

Theorie des Röntgenbildes

In: Allgemeine Grundlagen der radiologischen Diagnostik

Herausgeber: Schinz, H. R., W. Frommholdt

Thieme Verlag, Stuttgart, 1983

- Eisenburger, M., H. Tschernitschek
 Individuelle Einflüsse auf die Bewertung röntgendefektographischer Aufnahmen
 Quintessenz 47 (1996), 949-958
- Felix, R., B. Ramm
 Das Röntgenbild
 3. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1989
- Freyschmidt, J.
 Zu modernen Film-Folien-Systemen aus Seltenen Erden in der klinischen Radiologie
 Röntgenpraxis 34 (1981), 227-233
- Goretzki, G.
 Medizinische Strahlenkunde
 Urban & Schwarzenberg, München, 1987
- Gratt, B. M., S.C. White, F. C. Packard
 An evaluation of rare earth imaging systems in panoramic radiography
 oral surg. oral med. oral path 58 (1984), 475-482
- Hausdörfer, S.
 Eignung unterschiedlicher Film-Folien-Kombinationen zur
 Panoramaschichtaufnahmetechnik
 Med. Dissertation, Universität Frankfurt (Main), 1993
- Hell, D.
 Röntgenfilme, Verstärkerfolien und Dunkelkammertechnik im zahnärztlichen Röntgen
 vom Jahre 1895 bis heute
 Med. Dissertation, Universität Giessen, 1992
- Heraeus Kulzer GmbH & Co KG, Dormagen
 AGFA DENTUS ORTHOLUX
 Technische Informationen (1999)
- Hoeschen, D., W. Mirande
 Messung der Modulationsübertragungsfunktion von Film-Folien-Kombinationen mit
 einem Bleiraster
 Fortgeschr. Röntgenstr. 140 (1984), 600-604
- Hoeschen, D.
 Bildqualitätsparameter von Film-Folien-Kombinationen
 Röntgen-Bl. 40 (1987), 193-199
- Hoxter, E.A., A. Schenz
 Röntgenaufnahmetechnik
 Grundlagen und Anwendungen
 14. Auflage, Siemens Aktiengesellschaft, Berlin-München, 1991

John, V., H. Hirche, R. Callies und W. Lenz
ROC-Analyse als Testmethode und zur Trainingskontrolle bei der Röntgenbildauswertung
Radiologe 21 (1981), 255-259

Kamm, K.F.
Grundlagen der Röntgenabbildung
In: Moderne Bildgebung
Herausgeber: Ewen, K.
1. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart, 1998

Kaufmann, G. W., E. Moser, R. Sauer
Radiologie
Grundlagen der Radiodiagnostik, Radiotherapie und Nuklearmedizin
Urban & Schwarzenberg, München, 1996

KODAK Aktiengesellschaft Stuttgart
KODAK T MAT L Film mit Hinweis auf KODAK LANEX Folien
Produktinformation (1998)

KODAK Aktiengesellschaft Stuttgart
Dokumente Ihrer Arbeit
Optimale Bildqualität durch die richtige Kombination von Röntgenfilmen und
Verstärkerfolien
Produktinformation (1998)

Kuhn, H.
Bildqualitätsparameter zur Charakterisierung radiologischer Abbildungssysteme
Aktuelle Radiologie 2 (1992), 115-122

Langkau-Götzen, S.
Röntgenpraxis
Steinkopff-Verlag, Darmstadt, 1998

Laubenberger, T.
Verstärkerfolien und Röntgenfilme
Technik der Medizinischen Radiologie
6. Auflage, Deutscher Ärzteverlag, Köln, 1994

Mangold, B. R.
Bewertung der Bildqualität neuer und herkömmlicher Film-Folien- Kombination
mit Hilfe objektiver und halbobjektiver Messverfahren
Med. Dissertation, Universität Tübingen, 1995

Maurer, H. J., F. Goos
Gesichtspunkte zur Beurteilung der Folienwirkung
Radiologe 19 (1979), 238-242

McCullagh, P.
Regression Models for Ordinal Data
Journal of the Royal Statistical Society B 42 (1980), 109-142

S. Motzbäuchel
Die Bildqualität von Panoramaschichtaufnahmeverfahren. Eine vergleichende Untersuchung von Panoramaröntgenaufnahmen mit dem weiterentwickelten Orthophoss und dem Orthopantomographen 10
Med. Dissertation, Universität Frankfurt (Main), 1990

Pasler, A., H. Visser
Zahnmedizinische Radiologie
1. Auflage, Farbatlant der Zahnmedizin, Band 5, Thieme-Verlag, Stuttgart, 1992

Pasler, F.A
Zahnärztliche Radiologie
3. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart, 1995

McDavid, W. D., C.R. Morris, G. Tronje, and U. Welander
Resolution of several screen-film combinations in rotational panoramic radiography
Herausgeber: Preece, J. W.
oral surg. oral med. oral path. 61 (1986), 692-634

Rahn, R.
Zahnärztliche Radiologie
Hanser Verlag, München, 1989

Rother, U.
Moderne bildgebende Diagnostik in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Urban und Fischer, München · Jena, 2001

B. Rottke, I. Rudzit
Das Problem der Bildqualität bei Panoramaschichtaufnahmen
Dtsch. Zahnärztliche Zeit. 39 (1984), 908-912

Sanner, A. R.
Vergleichende Untersuchung unterschiedlicher Film-Folien-Kombinationen für das PSA-Verfahren
Med. Dissertation, Universität Frankfurt (Main), 1995

Schwenzer, N., Grimm, G.
Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Allgemeine Chirurgie
2. Auflage, Band 1, Thieme-Verlag, Stuttgart, 1988

Stieve, F. E., L. Widenmann
Die Beurteilung der Güte eines Röntgenbildes
Röntgen-Bl. 3 (1967), 109-128

- Stürmer, W.
Geschichte der Röntgenleuchtstoffe
Fortgeschr. Röntgenstrahlen 97 (1962), 514-519
- Sonnabend, E.
Röntgentechnik in der Zahnheilkunde
1. Auflage, Urban & Schwarzenberg, München, 1989
- Vieten, H., F. Wichsmann
Handbuch der medizinischen Radiologie
1. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 1970
- Volkman, T.V.
Verbesserte Bildqualität durch neue Röntgenfilme
Infoblatt (1995)
- Volkman T.V.
Film-Folien-Systeme
In: Moderne Bildgebung
Herausgeber: Ewen, K.
1. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart, 1998
- Wörner, H.
Röntgen beim Zahnarzt, Leitfaden für das Praxisteam
3. Auflage, Deutscher Ärzteverlag, Köln, 1996
- Wucherer, M.
Qualitätsprüfung in der bildgebenden Diagnostik - ROC- Kurven
Akt. Radiol. 6 (1996), 114-115

DANKSAGUNG

Ich möchte mich hiermit bei Herrn Prof. Dr. med. habil. U. Rother für die freundliche Überlassung des Themas und für die Bereitstellung der benötigten Materialien und Gerätschaft für diese Untersuchung bedanken, insbesondere auch für seine engagierte und motivierende wissenschaftliche Betreuung und den äußerst fairen menschlichen Umgang.

Genauso danke ich Herrn Dr. A. Fuhrmann. Seine kollegiale und großzügige Unterstützung waren mir eine große Hilfe bei der Entstehung dieser Arbeit.

Des Weiteren möchte ich mich bei Frau Rother für das Fotografieren der ausgewählten Röntgenbilder bedanken.

Ebenfalls danke ich Frau Dr. Rudzit und Herrn Dr. Tietke für ihre Mitarbeit an der Versuchsreihe.

Ein besonderer Dank geht an das Personal der Abteilung für Röntgendiagnostik, welches für das Anfertigen der verwendeten Röntgenaufnahmen verantwortlich war.

Auch Herrn Volker Schroder aus dem Institut für mathematische Datenverarbeitung möchte ich für seine Hilfe bei der Erstellen der Statistik meinen Dank aussprechen.

ERKLÄRUNG

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe, und dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Hamburg, im Oktober 2001



Dorte Gregersen