

**Aus dem Universitätsklinikum Münster
Institut für Rechtsmedizin
Direktor: Prof. Dr. med. Dr. h.c. B. Brinkmann**

**Lebensaltersbestimmung
an extrahierten Zähnen
mit Hilfe der direktradiographischen Vergrößerungstechnik**

**INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung des doctor medicinae dentium
der Medizinischen Fakultät
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster**

**vorgelegt von
Sander, Silvia Maria
aus Lichtenau
2007**

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Westfälischen
Wilhelms – Universität Münster

Dekan: Univ.-Prof. Dr. V. Arolt

1. Berichterstatter: Prof. Dr. H. Pfeiffer

2. Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Dr. L. Figgener

Tag der mündlichen Prüfung: 23.10.2007

Aus dem Universitätsklinikum Münster

Institut für Rechtsmedizin

Direktor: Dr. med. Dr. h.c. B. Brinkmann

Referent: Prof. Dr. H. Pfeiffer

Koreferent: Univ.-Prof. Dr. Dr. L. Figgener

Zusammenfassung

Lebensaltersbestimmung an extrahierten Zähnen

mit Hilfe der direktradiographischen Vergrößerungstechnik

Sander, Silvia Maria

Es wurden 117 extrahierte Zähne durch die digitale Vermessung ihrer Zahnfilme, die mit der direktradiographischen Vergrößerungstechnik hergestellt wurden, zur Lebensalterbestimmung mittels der Methode nach Kvaal et al. (1995) untersucht. Die Patienten waren 12 bis 100 Jahre alt.

Es wurden Regressionsanalysen in Bezug auf Lebensalter für alle Ergebnisse erhoben, das Geschlecht wurde nicht berücksichtigt. Zur Errechnung des Lebensalters wurden Regressionsformeln für die Zahngruppe 12/22 erstellt.

Nach der Methode von Kvaal wurden Verhältniswerte verwendet, wobei die Breitenverhältnisse zu den Berechnungen einbezogen wurden. Paewinsky et al. (2005) stellten bereits fest, dass nur die Breitenwerte signifikante Korrelationen zur Altersbestimmung liefern. Auf den drei definierten Ebenen ergaben sich die besten Ergebnisse ($r = -0,9224$) für den oberen seitlichen Schneidezahn auf der Ebene der Schmelz-Zement-Grenze.

Da aufgrund der besseren Detailtreue und automatischen Vergrößerung die Wurzelkanäle deutlich besser dargestellt wurden als bei herkömmlichen Röntgentechniken, sind bei dieser Methode trotz nur einer vorhandenen Wurzel oft mehrere Wurzelkanäle sichtbar, wo bei den anderen Techniken nur ein verschwommener Kanal zu erkennen ist. Es scheint so sinnvoll bei dieser Methodik der Altersbestimmung, nur die Werte auf der Schmelz-Zement-Ebene zu verwenden. Ebenso sollte bei weiteren Studien eine Alterseinschränkung von 20-55 Jahren in Erwägung gezogen werden.

Tag der mündlichen Prüfung: 23.10.2007

**Diese Arbeit widme ich Frau Prof. Dr. Heidi Pfeiffer,
die mich bei der Erstellung dieser Schrift vorbildlich betreut
und in aller Form unterstützt hat.**

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
2. Material und Methoden.....	10
2.1. Material.....	10
2.2. Methoden.....	12
2.3. Statistik.....	16
3. Ergebnisse.....	17
4. Diskussion.....	24
4.1. Allgemeines.....	24
4.2. Vermessung der Einzelzähne.....	26
4.3. Fehlerbetrachtung.....	32
5. Zusammenfassung.....	36
6. Literaturverzeichnis.....	38
7. Lebenslauf.....	47
8. Danksagung.....	48

1. Einleitung

Die Lebensalterbestimmung findet in der Rechtsmedizin immer häufiger Anwendung. Sowohl an lebenden als auch an verstorbenen Individuen ist sie ein wichtiger Faktor zur Identitätsklärung.

Leichen, Leichenteile oder Skelette müssen z.B. nach Massenerlöckungen, Bränden, Kriegsverbrechen oder Gewalttaten identifiziert werden.

Hier spielen die Zeit zwischen Tod und Untersuchung, die einwirkenden Umweltbedingungen und der Zustand des Untersuchungsmaterials eine entscheidende Rolle. Die Bestimmung des Lebensalters anhand der Skelettentwicklung ist im Rahmen der Identifikation bei fehlendem Identitätsverdacht richtungsweisend für eine Eingrenzung der Identität.

Die Lebensalterbestimmung am lebenden Menschen ist in zunehmendem Maße erforderlich. Laut Schmeling (33) wurden im Jahre 1996 185 und 2003 bereits 500 Altersgutachten im deutschsprachigen Raum angefordert. Aufgrund von Globalisierung und Migration besteht die wachsende Notwendigkeit einer präzisen Altersbestimmung lebender Personen, insbesondere bei Ausländern bzw. Einwanderern ohne Identitätsnachweis. Sowohl zur Klärung der Schuldfähigkeit nach kriminellen Handlungen als auch bei Asyl- und Rentenansprüchen wird eine genaue Altersbestimmung benötigt.

Im Strafrecht liegen die Altersmarken bei 14, 18 und 21 Jahren. Die Strafmündigkeit setzt erst ab dem 14. Lebensjahr ein (§ 19 Strafgesetzbuch). Nach §1 des Jugendgerichtsgesetzes gilt als Jugendlicher, wer zum Zeitpunkt der Straftat 14 Jahre, aber noch nicht 18 Jahre ist. Ein Heranwachsender ist zwischen 18 und 21 Jahren alt. Das Jugendstrafgesetz wird bei Jugendlichen angewandt. Heranwachsende werden noch in Bezug auf sittliche und geistige Entwicklung geprüft, um festzustellen, ob der Täter nach Jugendstrafrecht oder allgemeinem Erwachsenenstrafrecht bestraft wird (16).

In Vormundschaftsangelegenheiten (§§2, 1773 BGB), in PflEGschafts- und ErganzungspflEGschaftsangelegenheiten (§§ 1909,1915 BGB) wird im Burglichen Recht ebenfalls eine Bestimmung des Alters benötigt. Mit 18 Jahren wird die Volljährigkeit erreicht, womit die Vormundschaft über ein Kind endet. Bei Asylverfahren gilt nach § 68 Abs. 1 Ausländergesetz und §12 Asylverfahrensgesetz die Person mit 16 Jahren als handlungsfähig. Ein unbegleiteter Minderjähriger unter 16 Jahren kann selbst keinen Asylantrag stellen und braucht deshalb einen durch das Vormundschaftsgericht bestellten gesetzlichen Vertreter seinerseits.

Nach den Empfehlungen der „Arbeitsgemeinschaft für forensische Altersdiagnostik“ sollten für eine Alterseinschätzung im Strafverfahren eine körperliche Untersuchung mit Erfassung der anthropometrischen Maße, der sexuellen Reifezeichen, eine Röntgenuntersuchung der linken Hand sowie eine zahnarztlEGche Untersuchung mit Zahnstatusaufnahme und eine OPG-(Orthopantomogramm)-Auswertung vorgenommen werden (alles unter Berücksichtigung möglich vorhandener Entwicklungsstörungen).

Muss eine eventuelle Vollendung des 21. Lebensjahres geprüft werden, wird eine zusätzliche Röntgen- bzw. CT- Untersuchung der Schlüsselbeine von der Arbeitsgemeinschaft empfohlen (32). Dafür ist allerdings ein richterlicher Beschluss nötig, nach § 81a Strafprozessordnung, da keine medizinische Indikation besteht, und so aufgrund des § 25 der Röntgenverordnung eine gesetzliche Grundlage verlangt wird.

Wegen der Strahlenexposition sind zwar gesundheitliche Nachteile für die zu untersuchende Person nicht zu befürchten (36, 13), allerdings darf laut Röntgenverordnung (SV-RL) vom 27.08.2003 (Verbot von Röntgenuntersuchungen mit intraoralen Strahlern, gültig ab 01.01.2004) derzeit an Lebenden eine Röntgenuntersuchung ohne medizinische Indikation nicht angewendet werden.

Wie bereits erwähnt kann zur Altersdiagnostik im Strafverfahren auch die Röntgenuntersuchung der Hand hilfreich sein. Hierbei kann entweder das erstellte Röntgenbild mit Standardaufnahmen verglichen werden (Atlasmethode) (11, 42), oder der jeweilige Reifegrad bzw. Knochenalter wird für ausgewählte Knochen bestimmt (Einzelknochenmethode) (30, 41, 42).

Bei der zahnärztlichen Untersuchung sind der Zahndurchbruch und Zahnmineralisation wichtig. Allerdings sollte hier kritisch auf die Betrachtung des Entwicklungsgrades der Weisheitszähne hingewiesen werden, da mit erheblichen interindividuellen Schwankungen oder sogar Aplasie (bei 5,5 - 6,6 % der Population) zu rechnen ist, und diese Methode der Altersbestimmung eine Standard-Deviation von 1-4 Jahren aufweist (1). Hierbei scheint für forensische Zwecke die Stadieneinteilung nach Demirjian et al. (10) am besten geeignet, da die Stadien der Formveränderungen unabhängig von spekulativen Längenschätzungen definiert sind (33).

Im Rahmen dieser Studie wurden Zähne verwendet, die in Zahnarztpraxen der Kreise Paderborn und Höxter gesammelt wurden. Hier wohnen Patienten von vorrangig deutscher und einige russischer Abstammung. Nur sehr wenige Einwohner dort sind asiatischer und afrikanischer Herkunft.

Schmeling et al. weisen darauf hin, dass einschlägige Referenzstudien grundsätzlich auf andere ethnische Gruppen übertragbar sind (35, 34).

Das Augenmerk sollte vielmehr auf das sozioökonomische Umfeld gerichtet werden. Der Status sozial schwächer entwickelter Populationen wirkt sich in strafrechtlicher Hinsicht nicht nachteilig für die Betroffenen aus, da Entwicklungsverzögerungen auftreten können, und damit eine Altersunterschätzung der Fall wäre (33, 35).

Momentan ist die Bestimmung des Razemisierungsgrades von Asparaginsäure im Dentin eine der präzisesten Methoden das Lebensalter zu erfassen (2,1 Jahre Standardfehler des Schätzers). Allerdings ist dies eine invasive Technik der Altersbestimmung von Zähnen, wobei eine Dentinbiopsie oder die Zahnextraktion erforderlich sind (31).

Die Zählung der Zementschichten erreicht heute eine Genauigkeit der Lebensalterbestimmung von +/- 4,0 Jahren, wobei allerdings die Arbeitsweisen häufig differieren, und es schwierig scheint wirklich die Schichten zu zählen. Auch ist diese Methode nicht immer reproduzierbar (29).

Neue Methoden bietet die Molekularbiologie, aber befriedigende Ergebnisse liegen leider noch nicht vor. So gibt es Untersuchungen anhand der mitochondrialen DNA sowie der Telomere (21, 43, 40).

Auch nicht-ionisierende Bildgebung wie Ultraschall kann zur Altersbestimmung verwendet werden (7, 3, 22).

Sekundärdentinablagerung eines Zahnes wurde schon bei Gustafson (12), Dalitz (9), Mapels (19) und Matsikidis (20) zur Lebensalterbestimmung verwendet. Auch Morse et al. (1993) (24) stellte an Röntgenaufnahmen altersbedingte Veränderungen von Wurzelfurchmesser und Wurzellänge fest.

Hierbei stellte sich heraus, dass die Pulpahöhle immer mehr durch ständige Sekundärdentinbildung mit fortschreitendem Alter eingeengt wird.

1992 ergab eine Untersuchung durch Solheim, dass sich durch eine Kombination verschiedener Meßmethoden eine bessere Genauigkeit der Altersschätzung erreichen lässt. Es stellte sich heraus, dass bei älteren Menschen und Frauen die Sekundärdentinbildung langsamer fortschreitet als bei jüngeren und Männern (37).

Paewinsky et al. (2005) (26) stellten bei ihrer Studie keinen signifikanten Unterschied der Dentinablagerung zwischen männlichen und weiblichen Patienten fest.

1995 untersuchten Kvaal et al. (18) ebenfalls die Beziehung von Sekundärdentinapposition und Lebensalter.

2002 fertigten Willems et al. an 72 extrahierten Zähnen apikale Röntgenbilder an, diese wurden von 3 Personen untersucht. Dagegen wurden 160 Zähne von 2 Personen nach morphologischer Technik untersucht. Dabei stellte sich ein Standardfehler des Schätzers von 9,0-11,3 Jahren und mit der

röntgenologischen Technik ein Standardfehler des Schätzers von 4,6-9,8 Jahren heraus (47).

Paewinsky et al. (26) werteten 2005 OPGs nach der Kvaal-Methode aus und stellten eine signifikante Korrelation zum chronologischen Alter fest; dabei waren die Werte, die mit Hilfe von Breitenverhältnissen gebildet wurden, für den oberen lateralen Schneidezahn die besten ($r^2 = -0,916$); diese Werte wurden auf der Ebene der Schmelz-Zement-Grenze gemessen.

2004 verwendeten Cameriere et al. bei ihrer Studie (6) Werte, die Alter und die Variablen Pulpa/Wurzel-Verhältnis, Zahnlänge, Pulpa/Zahnlängen-Verhältnis, Pulpa/Zahn-Umgebung und Pulpa/Wurzelbreiten-Verhältnis auf drei Ebenen mit einbezog, wobei diese Vermessungen ebenfalls am OPG stattfanden. Es wurden dabei nur einwurzelige Oberkiefer-Eckzähne in die Auswertungen mit einbezogen. Der Pearson's Korrelationskoeffizient zwischen Alter und den Variablen zeigte einen besten Wert von $r^2 = 0,85$.

Bosmans et al. (4) stellten 2005 fest, dass der Gebrauch von Kvaals Technik sowohl mit Hilfe von OPGs als auch von apikalen Zahnfilmaufnahmen möglich ist, um Altersbestimmungen durchzuführen.

Cameriere et al. brachten 2007 (5) eine Arbeit heraus, in der obere und untere Eckzähne mittels periapikalen Röntgenaufnahmen auf ihr Lebensalter untersucht wurden. Hier ergab sich ein Standardfehler des Schätzers von 5,4 Jahren.

Laut einer Studie von Kanbuur et al. (2006) (17) gibt es bei Erwachsenen mit Entwicklungsstörungen zwar keinen signifikanten Unterschied zwischen chronologischem und dentalem Alter, aber die dentale Reifung tritt eher ein als das chronologische Alter erreicht wird.

Daher weisen Schmeling et al. (32) auch darauf hin, immer Erkrankungen während der Entwicklung mit in die genaue Altersbestimmung einzubeziehen.

2004 stellten Chaillet et al. (8) fest, dass Mädchen die dentale Reife vor Jungen erreichen, und eine Genauigkeit in der Altersbestimmung auf $\pm 2,08$ Jahre im Durchschnitt erreicht werden kann. Die untersuchten Personen in dieser Studie befanden sich in einem Alter von 2-16 Jahren.

In dem Text von Olze et al. (25) wird bei der Methode der Wurzeltransluzenzbestimmung von einer Deviation der präzisen Lebensalterbestimmung von +/- 10 Jahren berichtet, wobei ein Fall mit Drogenabusus und Diabetes eine Abweichung von 12 Jahren aufwies.

Daher sollte immer auf Erkrankungen und andere Faktoren geachtet werden, die den gesamten Körper betreffen.

Das Ziel dieser Arbeit war es, eine nicht-invasive und praktikable Methode zur genaueren Bestimmung des chronologischen Lebensalters zu entwickeln. Hierbei wurde eine neue Methode, die direktradiographische Vergrößerungstechnik (45) als Röntgenverfahren und die bewährte Kvaal-Methode verwendet.

Zumeist werden heutzutage intraorale folienose Zahnfilmaufnahmen in der zahnärztlichen Radiologie verwendet. Die orthopantomographische Technik erreicht diese Ortsauflösung nicht, ganz zu Schweigen von Überlagerungen durch die Wirbelsäule im Frontzahnbereich und Weichteilüberlagerungen.

Konventionelle zahnärztliche Röntgenröhren haben einen durchschnittlichen Fokusdurchmesser von 700 µm (z.B. Fa. Siemens, Heliodont). Hier wird jeder diagnostisch nutzbare Kernschatten aufgrund der Abbildungsgeometrie eines großen Fokus von Halbschatten umgeben, die die Bildkontraste vermindern, die Detailwiedergabe reduzieren und zur Entstehung von Artefakten führen können.

In der konventionellen Röntgentechnik wird der Fokus-Objekt-Abstand durch die Verwendung von Langtuben vergrößert, um die Auswirkungen dieser Probleme zu verringern. Dagegen wird der Objekt-Film-Abstand weitest möglich verkleinert; hierdurch tritt allerdings wegen der filmnah im Objekt entstehenden Streustrahlung eine Verminderung der Bildqualität auf. Weiter wird die Bildqualität durch die Grobkörnigkeit des folienlosen Filmmaterials vermindert, welches allerdings wegen der erforderlichen hohen Filmempfindlichkeit nötig ist.

Die direktradiographische Vergrößerungstechnik ist dagegen eine vollkommen andere Aufnahmetechnik, denn es wird im umgekehrten Sinne verfahren, siehe Abbildung 1. Und zwar ist der Fokus-Objekt-Abstand möglichst gering und der Objekt-Film-Abstand groß, dabei jeweils so groß nach gewünschtem Vergrößerungsmaßstab.

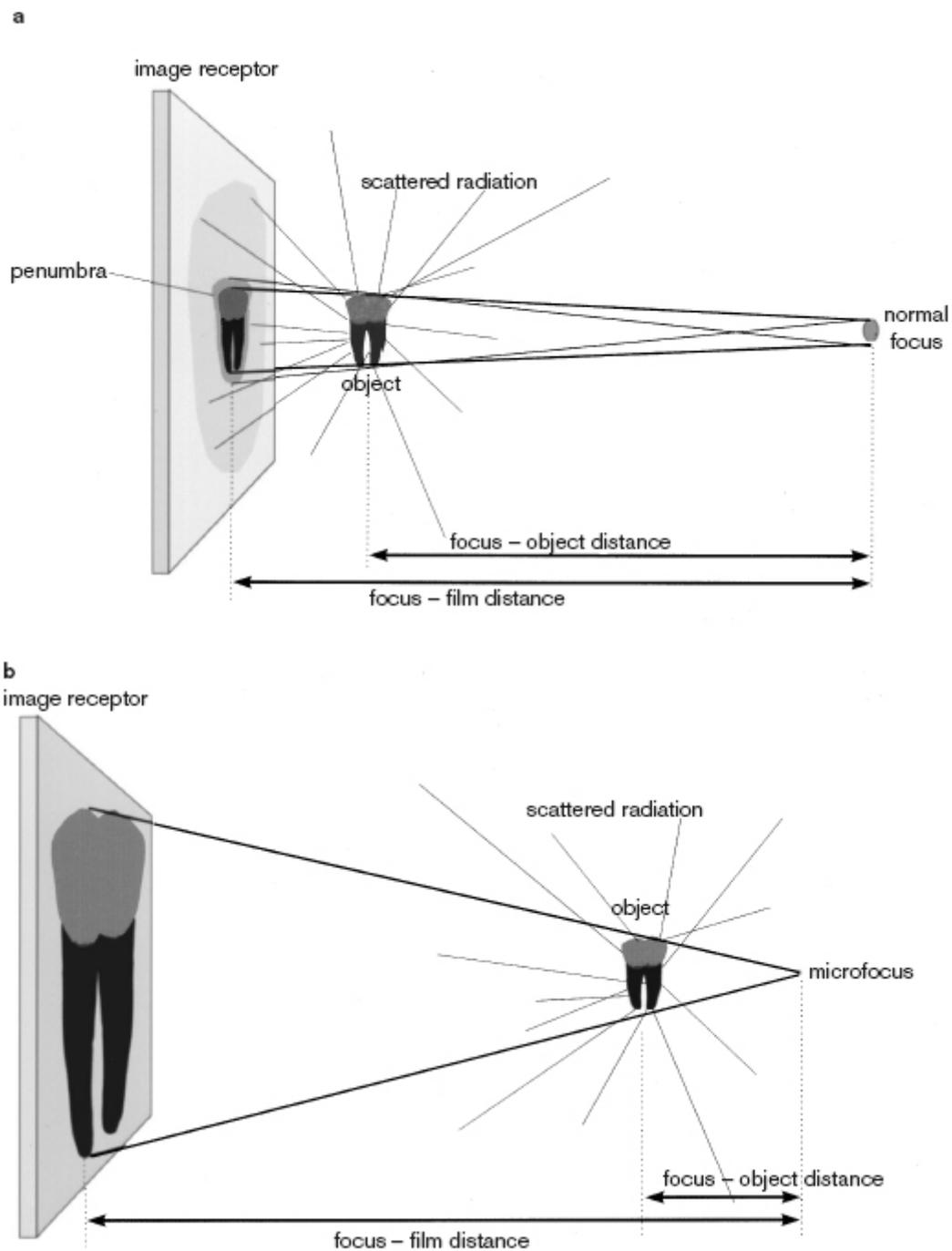


Abbildung 1a: Klassische Anordnung von Fokus, Objekt und Film für konventionelle, intraorale Zahnfilmaufnahmen. Der Fokus-Objekt-Abstand wird vergleichsweise groß, die Objekt-Film-Distanz möglichst klein gehalten, um die abbildungsbedingte geometrische Unschärfe zu minimieren. Der Fokus-Film-Abstand überschreitet in keinem Fall 30 cm. Die im Objekt entstehende Streustrahlung verursacht eine Qualitätsminderung, da sie den Film erreicht.

Abbildung 1b: Anordnung für direktradiographische Vergrößerungsaufnahmen. Das zu untersuchende Objekt wird fokusnah platziert. Die Ebene des Films bzw. des abbildenden Mediums befindet sich je nach Abbildungsmaßstab um das x-fache des Fokus-Objekt-Abstandes vom untersuchten Objekt entfernt. Der direktradiographische Vergrößerungsfaktor ergibt sich aus dem Verhältnis von Fokus-Film-Abstand zu Fokus-Objekt-Abstand. Die im Objekt entstehende Streustrahlung erreicht die Filmebene aufgrund der filmfernen Anordnung kaum.

(Abbildungen aus: Wichmann MG, von Brenndorff I (1998): Untersuchungen zur Anwendung der direktradiographischen Vergrößerungstechnik in der zahnärztlichen Radiologie; Dtsch Zahnärztl Z, 53(6): 380-5)

Würde dieses Verfahren bei der konventionellen Aufnahmetechnik verwendet werden, käme es zu einer Verschlechterung der Bildqualität, da vornehmlich Halb- und keine Kernschatten in der Bildebene abgebildet würden.

Bei der direktradiographischen Vergrößerungstechnik wird daher eine Röntgenquelle benötigt, die einen möglichst kleinen Brennfleck hat, so dass fast nur Kernschatten erzeugt werden kann. Ebenfalls muss hier eine intraorale Stabanode zur objektnahen Platzierung des Fokus vorhanden sein.

Früher wurde ein ähnliches Prinzip dieser Röntgentechnik verwendet, die Status-X- bzw. Panorama-Aufnahme. Diese hierfür verwendeten Geräte hatten im Gegensatz zu den Mikrofokus-Röntgengeräten (15, 14) einen recht großen Fokus von 0,1 mm. Die Oberflächendosen lagen hier bei Werten von 40-1500 Sv (38). Diese Geräte wurden trotz ihrer hohen und guten Bildqualität aufgrund

der hohen Strahlenbelastung für den Patienten und auftretenden Verzerrungen durch die orthopantomographische Technik abgelöst.

Die heute verwendeten elektromagnetisch fokussierten Mikrofokusröntgenröhren haben einen Fokusbereich von ca. 0,5- 5µm. In allgemeinmedizinischen Bereichen werden sie zur Skelettdiagnostik, Mikrotomographie und Mammographie herangezogen.

2. Material und Methode

2.1. Material

Für diese Studie waren 117 extrahierte Zähne die Grundlage. Diese wurden im Raum Paderborn und Höxter in verschiedenen Zahnarztpraxen gesammelt. Direkt nach der Extraktion wurden sie jeweils in ein verschlossenes Glas gegeben, worin sich 70%iger Alkohol befand. Das Glas wurde mit einem Aufkleber versehen, worauf Extraktionsdatum, Geburtsdatum, Geschlecht des Patienten und Zahnkürzel (z.B. 12 oder 31) festgehalten wurden.

Hierbei wurden 58 extrahierte Zähne von männlichen Patienten (49,6%) und 59 Zähne von weiblichen Patienten (50,4%) zur Untersuchung verwendet. Zum Großteil handelte es sich um Patienten mit deutscher und russischer Abstammung. Die Patienten waren zwischen 12 und 100 Jahren alt. Der jüngste Patient war ein 12-jähriger Junge und der älteste war ein 100 Jahre alter Mann, dem 5 Zähne extrahiert wurden.

Es wurden 7 Altersgruppen zur statistischen Auswertung gebildet (Tabelle 1).

Altersgruppe	Anzahl der Zahnfilme
12- 20 Jahre	7
21- 30 Jahre	1
31- 40 Jahre	13
41- 50 Jahre	23
51- 60 Jahre	27
61- 70 Jahre	28
71-100 Jahre	18
Summe	117

Männer	58
Frauen	59

Tabelle 1: Alters- und Geschlechtsverteilung der ausgewerteten Zahnfilme

Leider konnten in den Altersbereichen 12 bis 30 Jahre und 71-100 Jahre nicht so viele Zähne gesammelt werden. Die Extraktionen, die bei Jugendlichen durchgeführt wurden, waren in der Regel kieferorthopädisch bedingte Operationen.

Äußerliche Qualitätskriterien für die ausgewählten Zähne waren:

1. Die Zähne durften keine sichtbaren Füllungen, Karies oder traumatisch bedingte Defekte aufweisen.
2. Die Wurzelspitzen sollten intakt sein, es durften keine Resorptionserscheinungen oder Bruchstellen sichtbar sein.

2.2. Methode

Die Zähne wurden nach der Aussortierung und Bezeichnung mit einer Identifikationsnummer in der Zahnklinik Erlangen geröntgt.

Hierbei wurde die direktradiographische Vergrößerungstechnik mit speziellen Mikrofokusröntgenröhren mit elektromagnetischer Fokussierung verwendet, die eine Reduktion der Fokusgröße auf bis zu 0,5- 5 μm ermöglicht (Gerät: FXT 200.20, Feinfocus GmbH, Garbsen, Germany, Baujahr 1996). Dabei werden der Fokus-Objekt-Abstand möglichst gering und der Objekt-Film-Abstand möglichst groß gewählt. Dadurch erscheinen diagnostisch wichtige Strukturen um ein Vielfaches größer als in Original. So weisen die mit dieser Technik erstellten Aufnahmen eine überlegene Detailwiedergabe gegenüber der konventionellen Technik auf. Bei dieser Anwendung werden ein hochverstärkendes Film-Folien-System und ein hochempfindlicher Film verwendet. Weiter wird ein extrem kleiner Fokus (5 μm) benutzt. Die Belichtungszeit beträgt 0,2 Sekunden. Mit einer Strahlenexposition von 1,5-6 mSv entspricht das etwa einem intraoralen, folienlosen Zahnfilm (siehe Tabelle 2).

	Mikrofokus	Zahnfilm
Spannung	70 kV	60 und 70 kV
Stromstärke	0,1 μA (100 μa)	7 mA
Target Material	Wolfram	Wolfram
Filter	1,5 mm Al	3 mm Al
Fokusgröße	0,5- 5 μm	700 μm
Fokus-Objekt-Abstand	3- 4,5 cm	30 cm
Objekt-Film-Distanz	20-58 cm	< 1 cm
Belichtungszeit	0,12- 0,2 s	0,1- 0,8 s
Vergrößerungsfaktor	4,4x- 16,5x	0,003x
Film	Kodak T-Mat G/RA 15x30 (Kodak, Rochester, USA)	Agfa Dentus M2 Agfa, Morstel, Belgium
Filmgröße	3x4 cm	3x4 cm

Tabelle 2: Standardparameter für die direktradiographische Vergrößerungstechnik und konventioneller Zahnfilme

Bei der statistischen Validierung der Bildqualität wurde der Wilcoxon signed rank test angewendet. Um eine Beeinflussung der Diagnose durch die unterschiedlichen Filmformate auszuschließen, wurden alle Aufnahmen digitalisiert.

Diese digitalisierten Röntgenbilder wurden im Bildformat „JPEG“ abgespeichert. Für jeden Zahn wurde die Auswertung nach der Kvaal- Methode durchgeführt. Die digitale Vermessung der Zähne wurde mit Hilfe des Programms Hipax, Version 3.01, durchgeführt. Die Messung wurde nach der Identifikationsnummer vollzogen, nicht nach dem Alter bzw. den Altersgruppen; so kann eine weitestgehend objektive Auswertung gewährleistet werden.

Mit der Tabellenkalkulationssoftware Microsoft Excel wurde eine Tabelle erstellt, in der die Identifizierungsnummer, das Geburtsdatum, das Extraktionsdatum und das Geschlecht des Patienten eingetragen wurden. Aus dem Geburtsdatum und dem Extraktionsdatum wurde das Alter der Patientenzähne errechnet. Danach wurden darin die gemessenen Werte eingetragen. Hier wurden Kürzel verwendet: pb= Pulpabreite, wb= Wurzelbreite, pbwb= der gebildete Quotient aus der Pulpa- und der Wurzelbreite; die Kleinbuchstaben a, b und c standen für die Ebenen A, B und C. Die weitere statistische Auswertung erfolgte mit dem SAS- Programm für Windows (SAS 9.1 for Windows, SAS statistical software, SAS Institute, Cary, NC).

Alle Röntgenbilder wurden nach der Methode nach Kvaal et al. (1995) (18) digital vermessen (Abbildung 2). Die zu erhebenden Messungen bezogen sich auf je sechs Breitenmaße.

Die Wurzellänge wurde durch eine horizontale Strecke von der mesialen zur distalen Schmelz-Zement-Grenze bis zum Apex bestimmt. Die Werte zur Breitenmessung der Wurzel und der Pulpa wurden auf drei definierten Ebenen gemessen:

Ebene A= Höhe der Schmelz-Zement-Grenze

Ebene B= halbe Strecke zwischen Ebene A und C

Ebene C= halbe Wurzellänge.

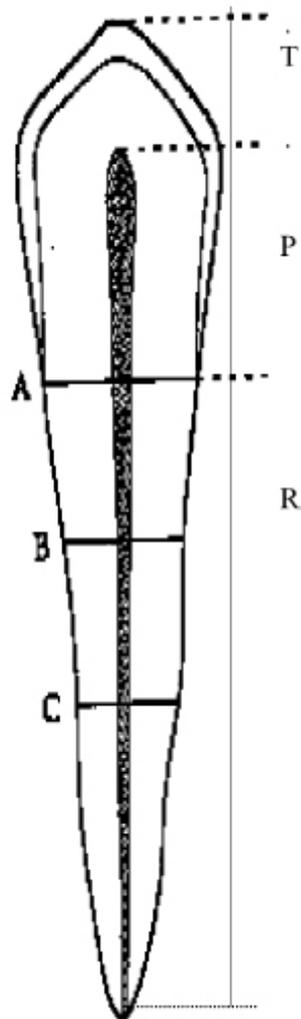


Abbildung 2: Darstellung der Längen- und Breitenmaße, die pro Zahn nach der Methode nach Kvaal et al. (1995) erhoben wurden.

Es wurden Breitenverhältnisse aus den Strecken mit standardisierten Messgrößen ohne Maßeinheit bei der Auswertung gebildet. Die Verhältniswerte für Pulpa-/Wurzelbreite auf den definierten Ebenen A, B und C wurden aus den Breitenmaßen ermittelt. Dadurch, dass die Auswertung auf der Basis von Verhältniswerten erstellt wurde, und auch die jeweilige Maßeinheit wegen der ständig gleichen Verhältnisse nicht mehr relevant war, wurde eine Unabhängigkeit vom Vermessungsprogramm erreicht. Der Fehler durch Verzerrung und der zweidimensionalen Darstellung der dreidimensionalen

Körper wurde dazu noch minimiert, weil zwei etwa gleichermaßen verzerrte Strecken zueinander in Bezug gesetzt wurden.

2.3. Statistik

In eine Excel-Tabelle wurden die Vermessungsergebnisse eingetragen und dann in das Statistikprogramm SAS für Windows importiert.

Mit dem Programm wurde eine statistische Auswertung vorgenommen. Jede Auswertung der einzelnen Verhältniswerte wurde in Bezug zum Lebensalter gesetzt und in einer Punktwolke dargestellt. Eine lineare Regressionsanalyse wurde durchgeführt.

Da sich diese Studie vorrangig auf die Arbeit von Paewinsky et al. (2005) (26) bezieht, wurden die ermittelten Werte mit denen von Frau Paewinsky und von Kvaal et al. (18) verglichen. Daher wird in dieser Arbeit nur die lineare Regression durchgeführt.

Die Grafiken zeigen das Alter als abhängige Variable auf der y-Achse projiziert. Auf der x-Achse ist das jeweilige Untersuchungsergebnis als unabhängige Variable dargestellt. Um das Lebensalter errechnen zu können, wurde das Alter in die lineare Regressionsanalyse als unabhängige Variable eingesetzt.

Der Pearson- Korrelationskoeffizient (r) und das Bestimmtheitsmaß (r^2) wurden errechnet.

Durch die geringe Anzahl der untersuchten Zähne kann nur die Methode aufgezeigt werden, aber kein präzises Modell zur Altersschätzung entwickelt werden. Die einzelnen Standardfehler des Schätzers zu den einzelnen Zähnen wurden daher außer Acht gelassen.

3. Ergebnisse

Nachdem die Röntgenbilder vermessen waren, wurde aus den gemessenen Breitenwerten der Wurzel und der Pulpa auf den drei Ebenen jeweils der Quotient gebildet, danach wurden sie mit dem Alter in Beziehung gesetzt.

Da bereits Paewinsky et al. (2005) (26) in ihrer Studie bewiesen hatten, dass die Längenverhältnisse nicht oder nur wenig mit dem Lebensalter in Korrelation stehen, wurden die Längenwerte nicht mit einbezogen.

Zuerst wurden die folgenden Basisdaten angefertigt, diese enthalten Anzahl der jeweils vermessenen Zähne, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum für die 7 Altersklassen für die Quotienten, die aus Pulpa- und Wurzelbreitenwerte gebildet wurden (Tabelle 3, 4, 5). Hierbei wurden folgende Kürzel verwendet:

pbwba= Pulpabreite/Wurzelbreite auf der Ebene A,
Schmelz-Zement-Grenze

pbwbb= Pulpabreite/Wurzelbreite auf der Ebene B,
halbe Strecke zwischen A und C

pbwbc= Pulpabreite/ Wurzelbreite auf der Ebene C,
halbe Wurzellänge

		Alter							
		10-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71+	
pbwba	n	7	1	11	22	22	13	12	88
	mean	0.23	0.28	0.21	0.18	0.18	0.12	0.10	0.17
	std	0.04	.	0.09	0.07	0.08	0.06	0.06	0.08
	min	0.16	0.28	0.13	0.04	0.05	0.03	0.03	0.03
	median	0.22	0.28	0.17	0.20	0.18	0.11	0.09	0.17
	max	0.28	0.28	0.36	0.31	0.35	0.21	0.21	0.36

Tabelle 3: Basisdaten auf der Ebene A

		Alter							
		10-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71+	
pbwbb	n	5	1	11	21	24	26	15	103
	mean	0.26	0.34	0.21	0.16	0.16	0.10	0.09	0.14
	std	0.06	.	0.07	0.06	0.07	0.06	0.05	0.08
	min	0.17	0.34	0.13	0.06	0.03	0.02	0.03	0.02
	median	0.29	0.34	0.21	0.15	0.17	0.08	0.07	0.13
	max	0.32	0.34	0.31	0.28	0.33	0.30	0.17	0.34

Tabelle 4: Basisdaten auf der Ebene B

		Alter							
		10-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71+	
pbwbc	n	5	1	11	21	24	26	18	106
	mean	0.24	0.30	0.14	0.13	0.13	0.08	0.08	0.12
	std	0.12	.	0.03	0.08	0.05	0.03	0.03	0.07
	min	0.11	0.30	0.08	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03
	median	0.28	0.30	0.14	0.11	0.15	0.09	0.07	0.11
	max	0.39	0.30	0.20	0.43	0.21	0.15	0.14	0.43

Tabelle 5: Basisdaten auf der Ebene C

Aus diesen Tabellen für alle vermessenen Zähne lässt sich erkennen, dass auf jeder der drei Ebenen die Pulpabreite im Verhältnis zur Wurzelbreite mit ansteigendem Alter abnimmt. Das heißt, dass die Pulpa mit zunehmendem Lebensalter durch Sekundärdentinbildung eingeengt wird. Dies wird durch das negative Vorzeichen bei dem Korrelationskoeffizienten deutlich.

In Tabelle 6 werden die Ergebnisse der Regressionsanalysen dargestellt.

Zähne	Korrelationskoeffizient (r)		
	Ebene A	Ebene B	Ebene C
Zahn 11/21 (n=15)	-0,522 (n= 9)	-0,486 (n=14)	-0,523 (n=14)
Zahn 12/22 (n=12)	-0,922 (n= 8)	-0,549 (n=11)	-0,474 (n=11)
Zahn 14/24 (n= 3)	-0,953 (n= 3)	-0,838 (n= 3)	-0,680 (n= 3)
Zahn 15/25 (n= 6)	-0,560 (n= 6)	-0,002 (n= 5)	0,286 (n= 5)
Zahn 31/41 (n=31)	-0,561 (n=19)	-0,727 (n=29)	-0,402 (n=30)
Zahn 32/42 (n=21)	-0,161 (n=18)	-0,411 (n=16)	-0,205 (n=17)
Zahn 33/43 (n= 4)	-0,988 (n= 3)	-0,710 (n= 4)	-0,912 (n= 4)
Zahn 34/44 (n=13)	-0,738 (n=12)	-0,789 (n=13)	-0,732 (n=13)
Zahn 35/45 (n=11)	-0,392 (n=10)	-0,448 (n= 8)	-0,093 (n= 8)

Tabelle 6: Regressionsanalyse einzelner Zahntypen mit dem Alter (angegeben sind jeweils die Korrelationskoeffizienten/ Anzahl der Zähne, die in die jeweilige Rechnung mit eingegangen sind)

pbwba= Pulpabreite/ Wurzelbreite auf der Ebene A, Schmelz-Zement-Grenze

pbwbb= Pulpabreite/ Wurzelbreite auf der Ebene B, halbe Strecke zwischen A und C

pbwbc= Pulpabreite/ Wurzelbreite auf der Ebene C, halbe Wurzellänge

Aus der Tabelle 6 ist ersichtlich, dass nur für die Ebene A von diesem Punkt an eine weitere Analyse durchzuführen sinnvoll ist, da hier die besten Werte zu finden sind.

Es wurde für jede vermessene Zahngruppe eine Punktwolke und eine Regressionsgrade mit dem Zusammenhang zwischen Pulpa-/Wurzelbreiten-Verhältnis auf der Ebene A (pbwba) und dem Alter (in Jahren) erstellt.

Hierbei konnte aufgrund der geringen Fallzahl keine Unterscheidung zwischen männlichen und weiblichen Patienten durchgeführt werden, da dies zu noch schlechteren bzw. weniger repräsentativen Ergebnissen geführt hätte.

In dieser Arbeit zeigten für die drei Breitenverhältnissen die Quotienten der Pulpabreite/Wurzelbreite auf Höhe der Schmelz-Zement-Grenze, Ebene A (pbwba), die besten Korrelationen zum Lebensalter auf. Lediglich der laterale Schneidezahn des Unterkiefers fiel hier aus der Reihe und zeigte auf der Ebene A schlechtere Auswertungsergebnisse als die anderen Zahngruppen.

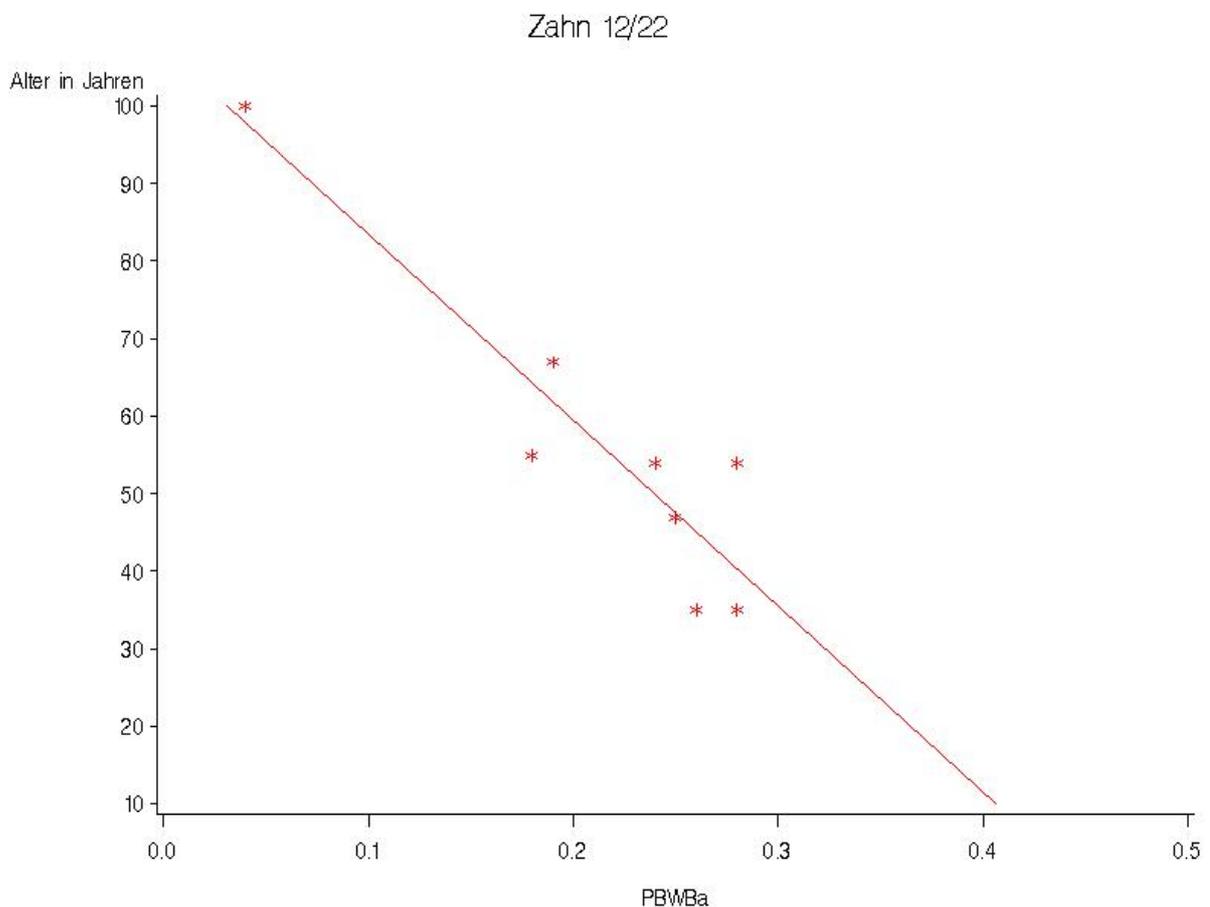


Abbildung 3: Graphische Darstellung der Korrelation zwischen dem Breitenquotienten der Ebene A (pbwba) aller ausgewerteten lateralen Incisivi des Oberkiefers (n= 8) und dem Lebensalter.

Die Regressionsanalyse ergab folgende Werte: $r = -0,922$, $r^2 = 0,85$

Setzen wir ein lineares Modell voraus, ergibt sich für jeden Zahntyp und jede Ebene eine Regressionsgerade $y = b_0 + b_1 \cdot x$, wobei x den Quotienten (pbwb) darstellt und y das jeweils zu schätzende Lebensalter. b_0 und b_1 sind feste aber unbekannte Parameter, die für die jeweiligen Zahntypen und Ebenen aus Daten neu geschätzt werden müssen.

Das Bestimmtheitsmaß (r^2) quantifiziert die Güte eines Modells.

In dieser Studie ergibt sich für die Zahngruppe 12/22 aus $r = -0,922$ ein Bestimmtheitsmaß von $r^2 = 0,85$. Diese Zahl besagt, dass etwa 85% der Streuung des Alters durch die lineare Abhängigkeit zu dieser anderen Variable Pulpabreiten-Wurzelbreitenverhältnisses erklärt ist.

		Regressionsformel	r	r ²
Zahn 11/21	pbwba	$y=55,3188+(-29,24148)*x$	-0,522 (n= 9)	0,272
	pbwbb	$y=66,2500+(-66,17647)*x$	-0,486 (n=14)	0,236
	pbwbc	$y=91,53032+(-274,1007)*x$	-0,523 (n=14)	0,274
Zahn 12/22	pbwba	$y=107,4414+(-239,8438)*x$	-0,922 (n= 8)	0,85
	pbwbb	$y=73,82992+(-102,5332)*x$	-0,549 (n=11)	0,301
	pbwbc	$y=73,90415+(-112,7152)*x$	-0,474 (n=11)	0,225
Zahn 14/24	pbwba	$y=109,6505+(-420,9677)*x$	-0,953 (n= 3)	0,908
	pbwbb	$y=67,17763+(-204,6053)*x$	-0,838 (n= 3)	0,702
	pbwbc	$y=51,4415+(-136,0927)*x$	-0,680 (n= 3)	0,462
Zahn 15/25	pbwba	$y=92,58389+(-288,5906)*x$	-0,560 (n= 6)	0,314
	pbwbb	$y=55,47629+(-0,646552)*x$	-0,002 (n= 5)	0
	pbwbc	$y=39,13542+(219,7917)*x$	0,286 (n= 5)	0,082
Zahn 31/41	pbwba	$y=68,62043+(-110,483)*x$	-0,561(n=19)	0,315
	pbwbb	$y=74,5219+(-157,8159)*x$	-0,727 (n=29)	0,529
	pbwbc	$y=66,66072+(-72,87837)*x$	-0,402 (n=30)	0,162
Zahn 32/42	pbwba	$y=67,55031+(-55,38378)*x$	-0,161 (n=18)	0,026
	pbwbb	$y=78,35191+(-145,2981)*x$	-0,411 (n=16)	0,169
	pbwbc	$y=73,98208+(-129,9283)*x$	-0,205 (n=17)	0,042
Zahn 33/43	pbwba	$y=80,24454+(-209,8253)*x$	-0,988 (n= 3)	0,976
	pbwbb	$y=78,2783+(-187,7358)*x$	-0,710 (n= 4)	0,504
	pbwbc	$y=104,0658+(-402,6316)*x$	-0,912 (n= 4)	0,832
Zahn 34/44	pbwba	$y=105,9211+(-311,9509)*x$	-0,738 (n=12)	0,545
	pbwbb	$y=88,98243+(-216,7843)*x$	-0,789 (n=13)	0,623
	pbwbc	$y=82,53549+(-195,7565)*x$	-0,732 (n=13)	0,523
Zahn 35/45	pbwba	$y=79,0429+(-133,8757)*x$	-0,392 (n=10)	0,154
	pbwbb	$y=107,0234+(-267,2515)*x$	-0,448 (n= 8)	0,201
	pbwbc	$y=68,85714+(-85,71429)*x$	-0,093 (n= 8)	0,009

Tabelle 7: Regressionsformeln für jeden Breitenverhältniswert aller Zähne

r = Korrelationskoeffizient,

r² = Quadrat des Korrelationskoeffizienten,

pbwba = Pulpabreite/Wurzelbreite auf Ebene der Schmelz-Zement-Grenze,

pbwbb = Pulpabreite/Wurzelbreite auf halber Strecke zwischen a und c,

pbwbc = Pulpabreite/Wurzelbreite auf Höhe der halben Wurzellänge

An einem Beispiel soll gezeigt werden, wie man zur Errechnung des Lebensalters anhand eines Zahnes bzw. seines Röntgenbildes vorgeht:

Es liegt ein digitales Röntgenbild des Zahnes 12 vor, das mit der direktradiographischen Vergrößerungstechnik erstellt wurde.

Die Regressionsformel für den Zahn 12 ist aus Tabelle 7 ersichtlich und lautet:

$$\mathbf{Alter = y = 107,4414 + (-239,8438) \cdot x.}$$

Mit Hilfe des Hipax-Programms werden die Wurzelbreite (= 31,12) und die Pulpabreite (= 6,01) auf der Schmelz-Zement-Grenze (Ebene A) gemessen.

Nun wird der Quotient daraus gebildet, der in diesem Fall dann pbwba= 0,19 ergibt. Dieser Wert wird als x in die Regressionsformel eingegeben.

Lebensalter = 107,4414 + (-239,8438) · 0,19 = 61,9 Jahre (mit einem Standardfehler des Schätzers von 8,67 Jahren).

Das bedeutet, der Patient ist etwa 62 Jahre alt (in Realität war dieser 67 Jahre alt).

4. Diskussion

4.1. Allgemeines

In vielen Studien wurde bereits bewiesen, dass die Verwendung von Röntgenaufnahmen zur Lebensalterbestimmung beitragen kann. Wird die direktradiographische Vergrößerungstechnik als Röntgenverfahren mit anschließender Auswertung zur Altersbestimmung herangezogen, wird eine nicht-invasive, zeitsparende Methodik angewendet, die nachvollziehbar und einfach zu erlernen ist. Sie ist sowohl an lebenden wie auch an toten Individuen einsetzbar.

Diese Studie verwendet im Gegensatz zu vorherigen Arbeiten von Kvaal et al. (18) und Matsikidis et al. (20), die die gebräuchlichen Zahnfilme verwendeten, und Paewinsky et al. (26), die mit Orthopantomogrammen arbeiteten, die direktradiographische Vergrößerungstechnik. Die Verwendung dieser speziellen Technik gewährleistet eine noch bessere Bildgenauigkeit, welche eine präzisere Vermessung des digitalen Bildes ermöglicht. Im Gegensatz zu OPGs gibt es keine Weichteilüberlagerungen oder die Überlagerung durch die Wirbelsäule, so dass die Zeichenschärfe insgesamt verbessert ist.

Die Oberflächendosis richtet sich je nach dem gewählten Vergrößerungsfaktor bzw. Film-Folien-Kombination und liegt bei 1,5-6 mSv bei der direktradiographischen Vergrößerungstechnik.

Herkömmliche Zahnfilmaufnahmen werden mit Werten von 9 mSv in der Fachliteratur angegeben (39, 46). Damit ist die Strahlenbelastung bei der Direktradiographischen Vergrößerungstechnik geringer als bei der herkömmlichen Technik. Dies ist ein wichtiger Punkt bei der Lebensalterbestimmung an lebenden Personen, da hier der Patient geschützt werden muss.

Ein weiterer Vorteil gegenüber der Verwendung von Orthopantomogrammen ist, dass nur ein kleiner Ausschnitt des Patientenmundes bei dieser Röntgentechnik bestrahlt wird.

Allerdings ist die Röntgendiagnostik mit Anwendung intraoraler Strahler derzeit laut Röntgenverordnung an Lebenden nicht gestattet. An der Verbesserung der Methodik wird gearbeitet. Ziel ist eine Anwendung an Lebenden zu ermöglichen.

4.2. Vermessung der Einzelzähne

Durch die Anwendung der Kvaal-Methode ist es möglich, zur Lebensalterbestimmung Formeln aufzustellen.

Unter Verwendung der direktradiographischen Vergrößerungstechnik wurden die besten Ergebnisse am oberen seitlichen Schneidezahn auf der Schmelz-Zement-Grenze, wie bereits in der Arbeit von Paewinsky et al. ($r = -0,916$, $r^2 = 0,84$) (26) und Kvaal et al. (18), erzielt.

So ergaben sich in dieser Studie ein Korrelationskoeffizient von $r = -0,922$ und ein Bestimmtheitsmaß von $r^2 = 0,85$.

Allerdings sei darauf hingewiesen, dass bei der Formelerstellung für den oberen lateralen Incisivus auf der Ebene A nur 8 Fälle zur Auswertung herangezogen werden konnten.

Die anderen signifikanten Korrelationen zum Lebensalter auf der Ebene A wurden bei dem ersten oberen Prämolaren und dem unteren Eckzahn festgestellt, wobei aber nur 3 untersuchte Zähne zur Auswertung jeweils verwendet werden konnten. Das bedeutet, dass zwar eine scheinbar erfolgversprechende Formel nach den Berechnungen entstand, aber leider sind 3 Fälle pro Zahngruppe nicht repräsentativ.

In Tabelle 8 wurde ein Vergleich der Korrelationskoeffizienten der Breitenverhältnisse auf der Ebene A mit den Studien von Paewinsky et al. (26) und Kvaal et al. (18) dargestellt.

In beiden Studien ergaben die Messungen auf der Ebene A die besten Werte in Bezug auf den Breitenkorrelationskoeffizienten.

		r (diese Studie)	r (Paewinsky et al.)	r (Kvaal et al.)
Zahn 11/21	pbwba	-0,522 (n= 9)	-0,843 (n= 143)	-0,68 (n= 100)
	pbwbb	-0,486 (n=14)	-0,808	-0,62
	pbwbc	-0,523 (n=14)	-0,808	-0,58
Zahn 12/22	pbwba	-0,922 (n= 8)	-0,916 (n= 137)	-0,70
	pbwbb	-0,549 (n=11)	-0,903	-0,73
	pbwbc	-0,474 (n=11)	-0,907	-0,68
Zahn 14/24	pbwba	-0,953 (n= 3)		
	pbwbb	-0,838 (n= 3)		
	pbwbc	-0,680 (n= 3)		
Zahn 15/25	pbwba	-0,560 (n= 6)	-0,916 (n= 99)	-0,70
	pbwbb	-0,002 (n= 5)	-0,891	-0,56
	pbwbc	0,286 (n= 5)	-0,888	-0,55
Zahn 31/41	pbwba	-0,561 (n=19)		
	pbwbb	-0,727 (n=29)		
	pbwbc	-0,402 (n=30)		
Zahn 32/42	pbwba	-0,161 (n=18)	-0,903 (n= 153)	-0,67
	pbwbb	-0,411 (n=16)	-0,867	-0,66
	pbwbc	-0,205 (n=17)	-0,889	-0,61
Zahn 33/43	pbwba	-0,988 (n= 3)	-0,813 (n= 157)	-0,68
	pbwbb	-0,710 (n= 4)	-0,800	-0,56
	pbwbc	-0,912 (n= 4)	-0,801	-0,53
Zahn 34/44	pbwba	-0,738 (n=12)	-0,893 (n= 154)	-0,73
	pbwbb	-0,789 (n=13)	-0,900	-0,62
	pbwbc	-0,732 (n=13)	-0,885	-0,59
Zahn 35/45	pbwba	-0,392 (n=10)		
	pbwbb	-0,448 (n= 8)		
	pbwbc	-0,093 (n= 8)		

Tabelle 8: Regressionsanalyse einzelner Zahntypen mit dem Alter (angegeben sind jeweils die Korrelationskoeffizienten/ Anzahl der Zähne, die in die jeweilige Rechnung mit eingegangen sind)

*Vergleich dieser Studie mit den Werten von Paewinsky et al. und Kvaal et al.,
pbwba= Pulpabreite/ Wurzelbreite auf der Ebene A, Schmelz-Zement-Grenze
pbwbb= Pulpabreite/ Wurzelbreite auf der Ebene B, halbe Strecke zwischen
A und C*

pbwbc= Pulpabreite/ Wurzelbreite auf der Ebene C, halbe Wurzellänge

Diese Tatsache, dass die besten Ergebnisse auf der Ebene A erzielt wurden, könnte sich dadurch erklären lassen, dass es trotz der Verwendung von Vergrößerungen im digitalen Bild mit Hilfe des Hipax-Programms immer noch schwierig war, in apikaler Richtung eine präzise Messung durchzuführen, wohingegen das im cervikalen Bereich leichter erscheint.

Da die Anatomie des Zahnes vorgibt, dass sich Wurzel und Wurzelkanal zur Wurzelspitze hin verjüngen, musste hier mit Vergrößerungen des digitalen Bildes gearbeitet werden. Aufgrund dieser Vergrößerungen leidet allerdings die Bildschärfe darunter, was dadurch allerdings wieder eine genaue Vermessung erschwert. Diese Vergrößerungen waren meist auf der Ebene A nicht notwendig, da hier oft die Messpunkte der Strecken einfacher festzulegen waren.

Die Studie zeigte, dass auch einwurzelige Zähne mehrere Wurzelkanäle besitzen können und jeder Zahn individuell in seiner Anatomie ist.

Durch die Anwendung der direktradiographischen Vergrößerungstechnik kommt es auf den Röntgenbildern zu einer präziseren Detaildarstellung. Somit waren oftmals trotz nur einer vorhandenen Wurzel mehrere Wurzelkanäle sichtbar. In diesen Fällen wurde der jeweils breiteste Kanal zur Vermessung herangezogen. Auf herkömmlich verwendeten Zahnfilmen und Orthopantomogrammen kann dagegen nur ein einziger verschwommener Kanal ausgemacht werden.

Daher lassen sich die schlechteren Ergebnisse auf den Ebenen B und C im Vergleich zu den Werten bei den Studien von Paewinsky und Kvaal erklären.

Durch diesen eigentlich positiven Effekt der genauen Darstellung wurde das Vermessen wiederum erschwert, da die Kanäle auf den Messebenen B und C teils übereinander oder sehr eng beieinander lagen.

Sowohl bei Paewinsky et al. (26), bei Kvaal et al. (18) als auch in dieser Studie wurden die besten Ergebnisse auf der Schmelz-Zement-Grenze erzielt.

Der Grund dafür ist, dass auf einem OPG, einem gewöhnlichen Zahnfilm und einem Röntgenbild mittels direktradiographisch Vergrößerungstechnik hergestellt, der Wurzelkanal auf der Ebene A immer nur als ein Raum dargestellt wurde. Auf den Ebenen B und C wird der vermeintliche einzige Kanal verschwommen dargestellt, obwohl eigentlich mehrere Wurzelkanäle vorhanden sind. Aber diese Tatsache kann auf den Bildern der anderen Studien nicht erkannt werden, und somit auch bei den Vermessungen nicht berücksichtigt werden. So kommt es immer zu einer ungenauen Vermessung und damit zu einer nicht exakten Formel zur Lebensalterbestimmung auf den Ebenen B und C.

Somit scheint die Breitenvermessung und damit Lebensalterbestimmung nur auf der Schmelz-Zement-Ebene mit dieser Methode sinnvoll zu sein, da hier der obere Anteil der Pulpa aus nur der einen Pulpakammer besteht, und nicht wie weiter apikal aus mehreren Kanälen.

Ab einem Patientenalter von 55 Jahren war bei dieser Studie auffällig, dass die Messungen auf der Ebene A häufiger nicht möglich waren. Bei 24 von 55 Patienten [entspricht 43,6%] im Alter von 55 Jahren oder älter; und im Gegensatz dazu bei 5 von 62 Personen [entspricht 8,1%] von unter 55 Jährigen, war die Pulpabreite auf der Ebene A (pba) nicht messbar, da auf dieser Ebene keine Pulpahöhle röntgenologisch sichtbar war, allerdings dagegen auf den Ebenen B und C. Damit werden die Patienten in zwei

Altersklassen eingeteilt. Dafür wurde ein Chi-Quadrat-Test durchgeführt, in dem sich herausstellte, dass dieser Unterschied signifikant ist ($p < 0,0001$).

Dieser Umstand könnte den Rückschluss zulassen, dass durch die ständige Sekundär- und v.a. auch Tertiärdentinbildung durch ständige Reizung des inzisalen Bereiches der Pulpa, der Versuch der Lebensalterbestimmung anhand von Zähnen nur bis zu einem Patientenalter von bis zu 55 Jahren mit dieser Methode sinnvoll ist.

Ein Zahn, der im Patientenmund steht, erfährt die Hauptkräfte und Umwelteinwirkungen von inzisal, sowohl beim Kauvorgang als auch durch Auftreffen der Antagonisten beim Sprechen, Schlucken oder bei Habits wie Pressen oder Reiben. Stetig wird die Pulpa durch chemische und thermische Umwelteinflüsse, durch Abrasion und Attrition gereizt. Dadurch entsteht Tertiärdentin, das von Sekundärdentin röntgenologisch nicht zu unterscheiden ist. Speziell dieser Sachverhalt der Längenabnahme der Pulpa mit fortschreitendem Alter sollte nochmals anhand eines ausgewählten Patientengutes untersucht werden, wobei Kontrollen durch Röntgenbilder in bestimmten Zeitabständen durchzuführen wären.

Ein weiterer Punkt spricht dafür, Vermessungen und damit Auswertungen nur auf der Ebene der Schmelz-Zement-Grenze durchzuführen. Die Wurzelkrümmung spielt auf dieser Ebene noch keine Rolle, im Gegensatz zu den beiden anderen Ebenen B und C. So kommt es auf den zwei letztgenannten Messebenen zu Ungenauigkeiten in Bezug auf die Bestimmung der Höhe der einzelnen Ebenen als auch bei der präzisen Vermessung der Wurzel- und Kanalbreite.

Aufgrund der geringen Fallzahl konnte keine Geschlechtsunterscheidung vorgenommen werden.

Ziel dieser Arbeit war es, mit Hilfe der direktradiographischen Vergrößerungstechnik eine praktikable und präzise Formel für die Lebensalterbestimmung zu entwickeln, und hierbei Bezug auf die Studien von Paewinsky et al. (26) und Kvaal et al. (18) zu nehmen.

Die Berechnungen der Regression in dieser Studie fanden daher nach der linearen Form $y = b_0 + b_1 \cdot x$ statt, um einen Vergleich schaffen zu können.

Nur durch die genaue Definition von Messstrecken und daraus hervorgehenden Messwerten kann eine präzise und reproduzierbare Methode zur Lebensalterbestimmung entwickelt werden. So soll es nach einem kurzen Training einem geschulten Beobachter möglich werden, eine genaue Altersbestimmung durchführen zu können.

4.3. Fehlerbetrachtung

Die extrahierten Zähne, die für diese Studie gesammelt wurden, stammen von Patienten aus den Kreisen Höxter und Paderborn. Diese Patienten waren zumeist deutscher und einige russischer Abstammung.

Durch diese Studie sollte die Alterseinschätzung in unserer Bevölkerungsgruppe erleichtert werden.

Schmeling et al. sagten, dass einschlägige Referenzstudien grundsätzlich auf andere ethnische Gruppen übertragbar sind (35, 34).

Das Augenmerk sollte vielmehr auf das sozioökonomische Umfeld gerichtet werden. Der Status sozioökonomisch geringer entwickelter Populationen wirkt sich in strafrechtlicher Hinsicht nicht nachteilig für die Betroffenen aus, da Entwicklungsverzögerungen auftreten können, und damit eine Altersunterschätzung der Fall wäre (33, 35). Somit also zu Gunsten des Angeklagten, wenn man es so ausdrücken darf.

Auch eine Differenzierung der Patienten in Bezug auf Einkommen, Bildungsgrad und auch Mundhygiene konnte nicht vorgenommen werden.

Weder eine Betrachtung der individuellen Krankengeschichte des Patienten, noch des allgemeinmedizinischen Befindens waren möglich.

Die Patienten waren zwar zufällig ausgewählt, aber dennoch gibt es ja immer einen Grund für eine Extraktion. Somit lässt sich aber nicht nachvollziehen, ob der Zahn aus parodontologischer Sicht (z.B. wegen eines starken Lockerungsgrades) oder nach einer kurz bestehenden Entzündung, wo noch keine Entzündungszeichen im bzw. am Zahn sichtbar waren, gezogen wurde.

Auch Kvaal (1995) (18) sind der Ansicht, dass pathologische Prozesse vor der Extraktion die Sekundärdentinbildung beeinflussen können.

In jeder Bevölkerungsgruppe sind Erkrankungen und Medikationen durchschnittlich vorhanden, wie es ja auch bei unidentifizierten Toten der Fall ist. Daher ist es sinnvoll, dass ein zufällig ausgewählter Durchschnitt an Patienten mit dieser Studie erfasst wurde.

In der Studie von Paewinsky et al. (2005) (26) wurden als Voraussetzungen fehlende Anzeichen von Attrition, Abrasion, Erosion, Karies oder Traumata für die zu untersuchenden Zähne gestellt. Diese Kriterien konnten bei dieser Studie nicht berücksichtigt werden, denn Zähne, die viele Jahre im Patientenmund stehen, weisen natürliche „Alterserscheinungen“ auf. Und diese sind nun mal Attrition, Abrasion, Erosionen und kleinere Traumata durch ständigen Gebrauch. Durch diese natürlichen Prozesse wird eine Tertiärdentinbildung angeregt, um die Pulpa zu schützen. Leider kann man im Röntgenbild keinen Unterschied zwischen gebildetem Sekundär- und Tertiärdentin, dessen Bildung durch äußere Reize angeregt wird, ausmachen (18).

Andere Faktoren wie z.B. systemische Erkrankungen spielen eine Rolle in Bezug auf die Einengung der Pulpa. So stellten Bender et al. 2003 (2) einen Zusammenhang mit der systemischen Erkrankung Diabetes mellitus fest. Durch die generell geschwächte Abwehrlage des erkrankten Patienten, entstehen auch im Bereich der Pulpa Entzündungen, die beim Gesunden nicht auftreten würden.

Olze et al. (25) stellten ebenfalls eine Abweichung nach Drogenabusus kombiniert mit Diabetes in der Alterseinschätzung nach der Vermessung der Pulpa fest.

Morse kam 1991 schon dazu, dass Corticosteroid-Therapien und bestimmte systemische Erkrankungen die physiologischen Abwehrprozesse und somit die Pulpa und ihre Einengung durch Dentinbildung beeinflussen (23).

Bei der Vermessung von Zähnen sollte auch berücksichtigt werden, dass die Sekundärdentinbildung ein physiologischer Prozess ist. Sie beginnt nach der Dentinogenese, indem die Odontoblasten nach der Primärdentinbildung weiter Sekundärdentin bilden und dabei die Pulpahöhle immer mehr einengen, teils sogar vollkommen obliterieren.

Allerdings scheint dieser Vorgang nicht kontinuierlich und gleichmäßig von statten zu gehen, so dass Woods et al. schon meinten, der Prozess der altersbedingten Pulpaeinengung sollte eher durch eine Kurve statt durch eine Geraden dargestellt werden (48).

Andere Studien fanden heraus, dass z.B. in den anterioren Oberkieferzähnen die Bildung von Sekundärdentin an der palatinalen Wand der Pulpahöhle mit anschließender Apposition im inzisalen Bereich und daher auch weniger im Wandbereich stattfindet. In Molaren dagegen wird die größte Dentinmenge auf dem Boden der Pulpakammer, weniger an lateralen und okklusalen Wänden angelagert (23, 28, 27).

Somit wäre aus diesen Aussagen zu schließen, dass die Sekundärdentinbildung an sich so komplex ist, dass eine Altersbestimmung mit einem zweidimensionalen Röntgenbild ungenau ist, da nicht der ganze Raum betrachtet werden kann.

Die Unterkieferfrontzähne sind bei dieser Studie sehr stark vertreten (Zahn 31-> n=17, 32-> n=11, 41-> n=14, 42-> n=10). Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Unterkiefer-Front durch ständiges Umspülen mit Speichel der Glandulae sublingulis et submandibularis weniger kariesanfällig sind. Die Eckzähne wurden weniger häufig gesammelt (Zahn 13/23 -> n=0, Zahn 33-> n=1, Zahn 43-> n=3), da diese oft für Halteelemente von partiellen Prothesen fungieren, und damit die Auswahlkriterien dieser Studie nicht mehr erfüllen würden.

Wie in Tabelle 1 ersichtlich war es schwierig extrahierte Zähne von jungen Patienten zu sammeln, und wenn dem so war, wurden sie meist aus kieferorthopädischen Gründen gezogen. Die ältere Generation ab 71 Jahren war auch schwächer vertreten. Leider kann so eine vollkommene Repräsentanz der entsprechenden Altersgruppen nicht gewährleistet werden.

5. Zusammenfassung

Die Einengung des Pulparaumes im Zahn durch die physiologische Bildung von Sekundärdentin mit ansteigendem Alter kann zur Lebensalterbestimmung genutzt werden. Das haben viele Studien zuvor bewiesen.

So erkannten auch Kvaal et al. (1995) (18), dass die Einengung des Pulpacavums von Einzelzähnen eine signifikante Korrelation zum Lebensalter aufweist.

Mit Hilfe der direktradiographischen Vergrößerungstechnik kann eine präzise Vermessung der Röntgenbilder zur Bestimmung des Patientenalters vorgenommen werden.

Das Ziel dieser Arbeit war es, die bisherigen Methoden zur Lebensalterbestimmung mit Auswertungen von Orthopantomogrammen (OPG) wie bei Paewinsky et al. (2005) (26) und gebräuchlichen Zahnfilmen wie bei Kvaal et al. (1995) (18) mit durch direktradiographische Vergrößerungstechnik erzeugte Röntgenbilder zu vergleichen und dafür Formeln zur Lebensalterbestimmung aufzustellen. Diese nicht-invasive Methode kann an lebenden und verstorbenen Individuen eingesetzt werden. Die in dieser Studie verwendete Röntgentechnik weist eine geringe Strahlenbelastung für den Patienten bei einer verbesserten Detailwiedergabe auf. Laut Röntgenverordnung ist leider derzeit eine Anwendung an Lebenden nicht zulässig.

118 extrahierte Zähne von Patienten im Alter von 12 bis 100 Jahren wurden untersucht. Nach der Methode von Kvaal et al. (1995) (18) wurden die digitalen Röntgenbilder vermessen.

Hierbei wurden folgende Zähne vermessen: Der mittlere und seitliche Incisivus sowie die Prämolaren im Oberkiefer; der mittlere und seitliche Schneidezahn, sowie der Eckzahn und die Prämolaren im Unterkiefer.

Wie bei der Arbeit von Kvaal et al. (1995) (18) wurde mit Verhältniswerten gerechnet, damit eine Unabhängigkeit vom Vermessungsprogramm erzielt wurde. Die Werte von Pulpa- und Wurzelbreite auf drei definierten Ebenen wurden in die Berechnungen mit einbezogen.

Es wurden Regressionsanalysen für alle Verhältniswerte der Pulpa- und Wurzelbreite durchgeführt. Hierbei wurde das Alter als abhängige Variable und die Verhältniswerte als unabhängige Variablen eingesetzt. Das Geschlecht der Patienten konnte aufgrund der geringen Fallzahl nicht berücksichtigt werden.

Auf den drei definierten Ebenen ergaben sich die besten Ergebnisse ($r = -0,9224$) für den oberen seitlichen Schneidezahn auf der Ebene der Schmelz-Zement-Grenze.

Da aufgrund der besseren Detailtreue und automatischen Vergrößerung die Wurzelkanäle deutlich besser dargestellt wurden als bei herkömmlichen Röntgenbildern, waren nicht selten trotz nur einer vorhandenen Wurzel mehrere Kanäle sichtbar. So scheint es bei dieser Methodik der Lebensalterbestimmung sinnvoll, nur die Werte auf der Schmelz-Zement-Ebene zur Lebensalterbestimmung zu verwenden, denn auf gebräuchlichen Zahnfilmen und OPGs ist immer nur ein verschwommener Kanal zu erkennen, trotz mehrerer vorhandener Wurzelkanäle.

Ebenso wurde in dieser Arbeit offensichtlich, dass bei Patienten ab einem Alter von ca. 55 Jahren signifikant weniger die Vermessungen der Pulpa auf der Ebene A möglich waren, als bei Personen unter 55 Jahren.

Somit sollte bei weiteren Studien eine Alterseinschränkung bei dieser Methode zur Lebensalterbestimmung von 20- 55 Jahren in Erwägung gezogen werden, wobei nur die Messungen der Pulpa- und Wurzelbreite auf Höhe der Ebene Schmelz-Zement-Grenze in die Berechnungen einbezogen werden sollten.

6. Literaturverzeichnis

- (01) Azrak B, Victor A, Willerhausen B, Pistorius A, Horr C, Gleissner C (2007)
Usefulness of combining clinical and radiological dental findings for a more accurate noninvasive age estimation
J Forensic Sci, 52(1): 146-50
- (02) Bender IB, Bender AB (2003)
Diabetes mellitus and the dental pulp
J Endod, 29(6): 383-9
- (03) Bilgili Y, Hizel S, Kara SA, Sanli C, Erdal HH, Altinok D (2003)
Accuracy of skeletal age assessment in children from birth to 6 years of age with the ultrasonographic version of the Greulich-Pyle atlas
J. Ultrasound Med, 22(7): 683- 690
- (04) Bosmans N, Ann P, Aly M, Willems G (2005)
The application of Kvaal's dental age calculation technique on panoramic dental radiographs
Forensic Sci Int, 153(2-3): 208-12
- (05) Cameriere R, Ferrante L, Belcastro MG, Bonfiglioli B, Rastelli E, Cingolani M (2007)
Age estimation by pulp/tooth ratio in canines by peri-apical X-rays
Forensic Sci Int, 52(1): 166-70

- (06) Cameriere R, Ferrante L, Cingolani M (2004)
Variations in pulp/tooth area ratio as an indicator of age: a preliminary Study
J Forensic Sci, 49(2): 317-9
- (07) Castriota-Scanderberg A, Sacco MC, Emberti-Gialloreti L, Fraracci L (1998)
Skeletal age assessment in children and young adults: comparison between a newly developed sonographic method and conventional methods
Skeletal Radiol, 27(5): 271-7
- (08) Chaillet N, Willems G, Demirjian A (2004)
Dental maturity in Belgian children using Demirjian's method and polynomial functions: new standard curves for forensic and clinical use
J Forensic Odontostomatol, 22(2): 18-27
- (09) Dalitz GD (1962)
Age determination of adult human remains by teeth Examination
J Forensic Sci, 3:11
- (10) Demirjian A, Goldstein H, Tanner JM (1973)
A new system of dental assessment
Hum Biol, 45(2): 221-27

- (11) Greulich WW, Pyle SI (1959)
Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist
Stanford, California: Stanford University Press
- (12) Gustafson G (1950)
Age estimation on teeth
J Am Dent Assoc, 41(1): 45-54
- (13) Jung H (2000)
Strahlenrisiken durch Röntgenuntersuchungen zur Alterseinschätzung im
Strafverfahren
Fortsch Röntgenstr, 172: 553- 6
- (14) Jung T (1962)
Panorama-Vergrößerungsaufnahme der Zähne und Kiefer
Dtsch Zahnärztl Z, 17:568
- (15) Jung T (1962)
Panorama-Vergrößerungsaufnahmen mit der Panoramix-Röhre, ein neues
zahnärztliches Röntgenverfahren
Dtsch Zahnärztl Z, 17: 142

- (16) Kaatsch HJ, Ritz-Timme S, Cattaneo C, Collins MJ, Waite ER, Schutz HW, Borman HI (2000)
Age estimation: the state of the art in relation to the specific demands of forensic practise
Int J Legal Med, 113(3): 129-36
- (17) Kanbur NO, Kanli A, Derman O, Eifan A, Atac A (2006)
The relationships between dental age, chronological age and bone age in Turkish adolescents with constitutional delay of growth
J Pediatr Endocrinol Metab, 19(8):979-85
- (18) Kvaal S, Kolltveit KM, Thomsen IO, Solheim T (1995)
Age estimation of adults from dental radiographs
Forensic Sci Int, 74(3): 175-185
- (19) Mapels WR (1978)
An improved technique using dental histology for estimation of adult age
J Forensic Sci, 23(4): 764-70
- (20) Matsikidis G, Schulz P (1982)
Age determination by dentition with the aid of dental films
Zahnartzl Mitt, 72(22): 2524, 2527-8
- (21) Meissner C, von Wurmb N, Schimansky B, Oehmichen M (1999)
Estimation of age at death based on quantification of the 4977-bp deletion of human mitochondrial DNA in skeletal muscle
Forensic Sci. Int, 105(2): 115-24

- (22) Mentzel HJ, Vilser C, Eulenstein M, Schwartz T, Vogt S, Bottcher J, Yaniv I, Tsoref L, Kauf E, Kaiser WA (2005)
Assessment of skeletal age at the wrist in children with a new ultrasound device
Pediatr Radiol, 35(4): 429-33
- (23) Morse DR (1991)
Age-related changes of the dental pulp complex and their relationship to systemic aging
Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 72(6): 721-45
- (24) Morse DR, Esposito JV, Schoor RS (1993)
A radiographic study of aging changes of the dental pulp and dentin in normal teeth
Quintessence Int, 24(5): 329-33
- (25) Olze A, Geserick G, Schmelting A (2004)
Age estimation of unidentified corpses by measurement of root translucency
J Forensic Odontostomatol, 22(2):28-33
- (26) Paewinsky E, Pfeiffer H, Brinkmann B (2005)
Quantification of secondary dentine formation from orthopantomograms- a contribution to forensic age estimation methods in adults
Int J Legal Med, 119(1): 27-30

- (27) Philippas GG, Applebaum E (1968)
Age changes in the permanent upper canine teeth
J Dent Res, 47(3): 411-7
- (28) Philippas GG, Applebaum E (1967)
Age changes in the permanent upper lateral incisor
J Dent Res, 46(5):1002-9
- (29) Renz H, Radlanski RJ (2006)
Incremental lines in root cementum of human teeth- a reliable age marker?
Homo, 57(1): 29-50
- (30) Roche AF, Chumlea WC, Thissen D (1988)
Assessing the skeletal maturity of the hand-wrist: Fels method
Springfield: C.C. Thomas 1988
- (31) Schmeling A, Geserick G, Reisinger W, Olze A (2007)
Age estimation
Forensic Sci Int, 165(2-3): 178-81
- (32) Schmeling A, Kaatsch HJ, Marré B, Reisinger W, Riepert T, Ritz-Timme S,
Rosing FW, Rotzsch K, Geserick G (2001)
Recommendations for age determinants of living probands in criminal
procedures
Anthropol Anz, 59(1): 87-91

- (33) Schmeling A, Lockemann U, Olze A, Reisinger W, Fuhrmann A, Püschel K, Geserick G (2004)
Forensische Altersdiagnostik bei Jugendlichen und jungen Erwachsenen
Deutsches Ärzteblatt, Jg.101, Heft 18, 30.4.2004: 1261-5
- (34) Schmeling A, Olze A, Reisinger W, Geserick G (2001)
Der Einfluß der Ethnie auf die bei strafrechtlichen Altersschätzungen
untersuchten Merkmale.
Rechtsmedizin, 11: 78-81
- (35) Schmeling A, Reisinger W, Loreck D, Vendura K, Markus W, Geserick G
(2000)
Effects of ethnicity on skeletal maturation: consequences for forensic age
estimations
Int J Legal Med, 113(5): 253-8
- (36) Schmeling A, Reisinger W, Wormanns D, Geserick G (2000)
Strahlenexposition bei Röntgenuntersuchungen zur forensischen
Alterseinschätzung Lebender
Rechtsmedizin, 10: 135-137
- (37) Solheim T (1992)
Amount of secondary dentin as an indicator of age
Scand J Dent Res, 100(4): 193-9

- (38) Sonnabend, E (1972)
Zur Dosis bei Panorama-Röntgenaufnahmen
Dtsch Zahnärztl Z, 27(12): 984-92
- (39) Sonnabend E, Benz C (1991)
Röntgentechnik in der Zahnheilkunde
2. Aufl. Urban und Schwarzenberg, München
- (40) Takasaki T, Suji I, Ikeda N, Ohishi M (2003)
Age estimation in dental pulp DNA based on human telomere shortening
Int. J. Legal Med, 117(4): 232-4
- (41) Tanner JM, Healy MJR, Goldstein H, Cameron N (2001)
Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW3
method)
London: WB Saunders 2001
- (42) Thiemann HH, Nitz I (1991)
Röntgenatlas der normalen Hand im Kindesalter
Leipzig, Stuttgart, New York: Thieme 1991
- (43) Tsuji T, Ishiko A, Takasaki T, Ikeda N (2002)
Estimating age of humans based on telomere shortening
Forensic Sci. Int, 126(3): 197-9

- (44) Weber T (1999)
Memorix, Zahnmedizin
Thieme, Stuttgart, 168
- (45) Wichmann MG, von Brenndorff I (1998)
Untersuchungen zur Anwendung der direktradiographischen
Vergrößerungstechnik in der zahnärztlichen Radiologie
Dtsch Zahnärztl Z, 53(6): 380-5
- (46) Wichmann MG, von Brenndorff I (1998)
Die direktradiographische Vergrößerungstechnik in der zahnärztlichen
Radiologie
Quintessenz, 49(6): 609-18
- (47) Willems G, Moulin-Romsee C, Solheim T (2002)
Non-destructive dental-age calculation methods in adults: intra- and
inter-observer effects
Forensic Sci Int, 126(3): 221-6
- (48) Woods MA, Robinson QC, Harris EF (1990)
Age-progressive changes in pulp widths and root lengths during adulthood:
a study of American blacks and whites
Gerodontology, 9(2): 41-50

7. Lebenslauf

8. Danksagung

Herrn Prof. Dr. med. Dr. h.c. B. Brinkmann danke ich für die Überlassung des Themas.

Besonders möchte ich mich bei Frau Prof. Dr. med. H. Pfeiffer für Ihre Hilfsbereitschaft, Geduld und immer freundliche Unterstützung bedanken.

Herrn Prof. Dr. med. dent. M. Wichman und Herrn Dr. med. dent. S. Holst, sowie der Röntgenabteilung der Zahnklinik Erlangen danke ich für die freundliche Unterstützung und für die Erstellung der Röntgenbilder.

Mein Dank gilt auch Frau C. Sauerland, Institut für Medizinische Statistik, für die statistische Beratung bei der Auswertung der Ergebnisse und ihre nette Hilfe.

Eva Paewinsky danke ich für ihre freundliche Hilfsbereitschaft.

Ebenfalls möchte ich mich bei den Zahnarztpraxen in den Kreisen Paderborn und Höxter bedanken, die die Zähne für mich gesammelt haben.

Bei meinen Eltern und besonders meinem Bruder Frank möchte ich mich bedanken, dass sie mir die Möglichkeit zum Studium und zur Ausführung der Arbeit gegeben haben.