

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik

Direktor: Univ.-Prof. Dr. Dr. Friedhelm Bollmann

**Die Altersschätzung anhand der Zähne
im Rahmen der forensischen Odontostomatologie
unter besonderer Berücksichtigung des Stellenwertes
der Orthopantomographie für den Einsatz
am lebenden Erwachsenen**

Inaugural - Dissertation

zur

Erlangung des doctor medicinae dentium
der Medizinischen Fakultät der
Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von

Kati Elenore Benthaus
aus Ibbenbüren

2003

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

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. H. Jürgens

1. Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. med. Dr. med. dent. L. Figgener

2. Berichterstatter: Prof. Dr. med. A. Du Chesne

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik
- Direktor: Univ.-Prof. Dr. Dr. Friedhelm Bollmann -
Referent: Univ.-Prof. Dr. med. Dr. med. dent. L. Figgener
Koreferent: Prof. Dr. med. A. Du Chesne

Zusammenfassung

Die Altersschätzung anhand der Zähne im Rahmen der forensischen Odontostomatologie unter besonderer Berücksichtigung des Stellenwertes der Orthopantomographie für den Einsatz am lebenden Erwachsenen

Benthaus, Kati Elenore

Die vorliegende Studie gibt einen Überblick über die relevanten Methoden der Altersschätzung anhand der Zähne und überträgt die 1995 von KVAAL et al. vorgestellte Methode der Altersschätzung anhand von Zahnfilmen zur Anwendung am Lebenden auf das Orthopantomogramm.

Neben dem von KVAAL et al. (1995) im Rahmen ihrer Studie entwickelten statistischen Auswertungsansatz wurde eine eigene Methodik zur Auswertung der erhobenen Messwerte entwickelt. Weiterhin wurden die Auswirkungen einer verringerten Kollektivgrösse auf die Genauigkeit der Altersschätzung untersucht.

Die vorliegende Studie kommt zu dem Ergebnis, dass die Übertragung der Methode von KVAAL et al. (1995) auf das Orthopantomogramm keine Ergebnisverbesserung erbringt, wobei im Vergleich mit dem von KVAAL et al. (1995) erzielten Ergebnis von +/- 8,6 Jahren Abweichung des ermittelten vom tatsächlichen Alter eine Abweichung von +/- 9,9 Jahren erzielt wurde.

Das bei Anwendung der eigenen statistischen Methodik erzielte Ergebnis der Altersschätzung am Orthopantomogramm unter Beibehaltung der von KVAAL et al. (1995) vorgegebenen Messungen ist mit +/- 6,5 Jahren Abweichung des ermittelten vom tatsächlichen Alter um 2,1 Jahre genauer als das von KVAAL et al. (1995) erzielte Ergebnis.

Tag der mündlichen Prüfung: 31. März 2003

Inhaltsverzeichnis

1.0	Einleitung und Zielsetzung	1
2.0	Altersbestimmung anhand der Zähne mit Hilfe nicht-röntgenologischer Methoden	4
2.1	Altersbestimmung am bleibenden Gebiss durch Zahnschliffauswertung	5
2.1.1	Methode nach GUSTAFSON	6
2.2	Altersbestimmung anhand der Zahnfarbe	23
2.3	Altersbestimmung anhand der lichten Weite der Dentinkanälchen	25
2.4	Härtemessung des Dentins zur Altersbestimmung	26
2.5	Dichtemessung der Zähne zur Altersbestimmung	26
2.6	Lebensalter und Mineralisation	26
2.7	Biochemische Untersuchungen der Zähne zur Altersbestimmung	27
2.8	Altersbestimmung anhand der Zähne mit Hilfe epidemiologischer Kriterien	30
2.8.1	DMFT-Index	30
2.8.2	Anzahl der kariesgesunden Zähne	31
2.8.3	Pathologische Veränderungen des marginalen Parodont	31
3.0	Altersbestimmung anhand der Zähne mit Hilfe röntgenologischer Methoden	33
3.1	Altersbestimmung anhand der Odontogenese	34
3.1.1	Röntgenologische Bestimmung des Entwicklungsstandes der Weisheitszähne	43
3.2	Röntgenologische Darstellung und Ausmessung des Pulpenkavums	48
3.3	Handröntgen-Methode	49

3.4	Methode nach MATSIKIDIS	53
3.5	Methode nach KVAAL et al.	60
3.5.1	Projektionsbedingte Messfehler bei der Methode nach KVAAL et al.	65
4.0	Röntgenologische Grundlagen	67
4.1	Die Bedeutung der Röntgenologie in der forensischen Odontostomatologie	68
4.2	Entwicklung der Orthopantomographie und erste klinische Anwendung im Mund-, Kiefer- und Gesichtsbereich	69
4.3	Das Prinzip der Orthopantomographie und die Anwendung in der klinischen Praxis	71
4.4	Der Zahnfilm und seine Anwendungen in der klinischen Praxis	75
4.4.1	Die Halbwinkeltechnik	75
4.4.2	Die Rechtwinkeltechnik	77
4.4.3	Die Paralleltechnik	77
5.0	Übertragung der Methode nach KVAAL et al. auf das Orthopantomogramm	79
5.1	Material und Methodik der Hauptversuche 1 und 2	80
5.1.1	Beschreibung der angewandten Messmethodik	80
5.1.2	Auswahl des Untersuchungsgutes	81
5.2	Hauptversuch 1	84
5.2.1	Problembeschreibung	84
5.2.2	Versuchsaufbau	84
5.3	Hauptversuch 2	85
5.3.1	Problembeschreibung	85
5.3.2	Versuchsaufbau	86
5.4	Benutzte statistische Verfahren	88

6.0	Ergebnisse der Übertragung der Methode nach KVAAL et al. auf das Orthopantomogramm	89
6.1	Ergebnisse des Hauptversuchs 1	89
6.1.1	Korrelation zwischen dem Alter und jedem der von KVAAL et al. (1995) vorgegebenen Quotienten, Mittelwerte und Differenzen	96
6.1.2	Korrelation zwischen dem Alter und M, W, L und W-L, dargestellt für beide Kiefer, Ober- und Unterkiefer	117
6.1.3	Genauigkeit der Altersschätzung anhand des Orthopantomogramms bei Auswertung der Messwerte mittels eines eigenen statistischen Ansatzes	126
6.2	Ergebnisse des Hauptversuchs 2	131
6.2.1	Genauigkeit der Altersschätzung anhand von 50 Zahnfilmen der Zähne 15/25	133
6.2.2	Genauigkeit der Altersschätzung anhand von 50 Orthopantomogrammen nach der Methode von KVAAL et al.	139
7.0	Diskussion der unterschiedlichen Methoden zur Altersbestimmung anhand der Zähne unter besonderer Berücksichtigung des Stellenwertes der Orthopantomographie für die Altersbestimmung am Erwachsenen	149
7.1	Der Stellenwert der nicht-röntgenologischen Methoden als Hilfsmittel bei der Altersschätzung	149
7.1.1	Methode nach GUSTAFSON und abgeleitete nicht-röntgenologische Methoden der Betrachtung der Zahnmorphologie	149
7.1.2	Andere nicht-röntgenologische Methoden	154
7.2	Der Stellenwert der röntgenologischen Methoden als Hilfsmittel bei der Altersschätzung unter besonderer Berücksichtigung der Orthopantomographie für die Altersbestimmung am lebenden Erwachsenen	159
7.2.1	Röntgenologische Methoden der Altersschätzung am Lebenden	

	anhand der Odontogenese	160
7.2.2	Methode nach MATSIKIDIS	163
7.2.3	Methode nach KVAAL et al. und ihre Übertragung auf das Orthopantomogramm	166
8.0	Praxisrelevanz der Orthopantomographie als Mittel zur Altersschätzung am Erwachsenen	175
9.0	Zusammenfassung	178
10.0	Literaturverzeichnis	179
11.0	Danksagung	191
12.0	Lebenslauf	192
13.0	Anhang	I
13.1	Scatterplots	I
13.2	Am Kollektiv B _{OPG50} erhobene Messwerte	VIII
13.3	Erhebungsbogen	XV
13.4	Veröffentlichung KVAAL et al. (1995)	XVI

1.0 Einleitung und Zielsetzung

Obwohl die Altersbestimmung zu den Routineaufgaben des forensischen Gutachters gehört, birgt sie bis heute Unsicherheiten bezüglich der Aussagegenauigkeit in sich.

In jüngster Zeit mehren sich die Anfragen der Gerichte an den forensischen Gutachter, neben der Altersbestimmung an unbekanntem Leichen zum Zwecke der Identifizierung auch das Alter lebender Personen zu ermitteln (RITZ und KAATSCH 1996, SCHMELING et al. 2000), das die Grundlage für juristische Beurteilungen zur Klärung kriminalistischer oder sozialrechtlicher Fragestellungen bildet. So sind zum Beispiel die Frage nach dem Bleiberecht für asylsuchende Jugendliche, das Recht auf Inanspruchnahme eventueller Versorgungsansprüche wie zum Beispiel von Altersrenten bei Flüchtlingen oder auch die Feststellung der Strafmündigkeit ohne Kenntnis des Alters nicht zu klären.

Die wirtschaftliche Globalisierung, die europäische Integration sowie aktuelle kriegerische Konflikte haben in den letzten Jahren zu einer Zunahme an grenzüberschreitenden Migrationsbewegungen in Europa geführt. Damit hat sich in den einzelnen Regionen und Ländern auch der Anteil von Ausländern erhöht, deren Geburtsdatum nicht eindeutig zu eruieren ist. Diese Entwicklung verlangt der forensischen Praxis in zunehmendem Masse die Erstellung von Lebensaltersgutachten ab. Unterschiedliche Methoden zur Bestimmung des Alters, zum Beispiel anhand altersbedingter morphologischer Veränderungen der Zähne, können hier entscheidende Hilfe bei der Altersfeststellung leisten.

Die dentale Entwicklung nimmt eine Sonderstellung innerhalb der Entwicklungsprozesse des menschlichen Körpers ein, denn sie scheint in ihrem zeitlichen Ablauf von äusseren Einflussfaktoren weitgehend unabhängig zu sein (GANDINI et al. 1989, FRUCHT et al. 2000). Andere messbare Reifemerkmale, zum Beispiel der Entwicklungsstand bestimmter knöcherner Strukturen wie des

Os pubis, der Clavicula oder des Humerus und Femur, unterliegen der Beeinflussung durch exogene Faktoren wie beispielsweise Mangelernährung, Krankheit, Medikamenteneinnahme oder auch psychische Belastung.

Dies spricht für eine starke genetische Determinierung der dentalen Entwicklungsprozesse und eine dadurch bedingt höhere Korrelation mit dem chronologischen Alter des Patienten als bei den übrigen Reifemerkmale wie zum Beispiel den skelettalen (GRON 1962, PELSMAEKERS et al. 1997).

Aus diesen Gründen erarbeiteten eine Vielzahl von Autoren, basierend auf der Arbeit von GUSTAFSON (1955), unterschiedliche Methoden zur Altersschätzung anhand der Zähne.

Bietet sich an der Leiche die Möglichkeit, invasive Techniken zur Altersbestimmung zu nutzen geradezu an, so verbietet sich diese Vorgehensweise an lebenden Individuen aus ethisch-moralischen und rechtlichen Gründen.

Bisher angewandte Techniken zur Altersbestimmung anhand der Zähne und anderer Körpergewebe erfordern jedoch in der Regel ein invasives Vorgehen zur Gewinnung von Körpergewebe als Untersuchungsgut.

Die Röntgendarstellung der Zähne zur Altersschätzung als nicht invasives Verfahren kann daher unter Nutzung ihres diagnostischen Wertes auch am lebenden Individuum angewandt werden.

Ebenfalls hat sich die Akzeptanz von Röntgenbildern als juristisches Beweismittel seit Beginn der Röntgentechnik grundlegend gewandelt (GUSTAFSON 1966). Zunächst als Mittel geringen Wertes eingestuft, erlangten sie bereits in den dreissiger Jahren dieses Jahrhunderts juristische Anerkennung (SWEET 1938).

Die Altersschätzung anhand der röntgenologischen Darstellung der Zähne ist daher eine Methode, die im Vergleich mit nicht-röntgenologischen Methoden viele Vorteile bietet.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit besteht in der Darstellung der relevanten Methoden der Altersschätzung anhand der Zähne. Ihre heutige Relevanz und Pra-

xistauglichkeit werden diskutiert. Weiterhin wird die 1995 von KVAAL et al. vorgestellte Methode der Altersschätzung anhand des Zahnfilms zur Anwendung am Lebenden auf das Orthopantomogramm übertragen.

Die folgenden Fragestellungen sollen beantwortet werden:

- 1) Welche relevanten nicht-röntgenologischen Methoden der Altersschätzung anhand der Zähne sind in der Literatur beschrieben und wie präzise sind sie?
- 2) Welche relevanten röntgenologischen Methoden der Altersschätzung anhand der Zähne sind in der Literatur beschrieben und wie präzise sind sie?
- 3) Welche Vor- und Nachteile haben die röntgenologischen gegenüber den nicht-röntgenologischen Methoden zur Altersbestimmung?
- 4) Ist die Methode der Altersbestimmung am Erwachsenen anhand des Orthopantomogramms den Methoden der Altersbestimmung am Erwachsenen anhand des Zahnfilms vorzuziehen und wenn ja, aus welchen Gründen?

2.0 Altersbestimmung anhand der Zähne mit Hilfe nicht-röntgenologischer Methoden

Während für die Altersschätzung an Leichen invasive Methoden zur Anwendung gelangen, kommen zur Altersschätzung an lebenden Personen ausschließlich noninvasive Verfahren in Frage.

Nicht-röntgenologische Methoden zur Altersbestimmung anhand der Zähne und anderer Körpergewebe erfordern Extraktionen, die Anfertigung von Gewebeschnitten oder andere invasive, zeit- und kostenaufwendige Vorbereitungen (KVAAL et al. 1995). So setzt zum Beispiel die Methode nach GUSTAFSON (1955) die Zahnextraktion mit anschließender Erstellung von Zahnschliffen voraus. Auch moderne biochemische Methoden der Altersbestimmung anhand der Zähne erfordern die Entnahme von Dentin als Untersuchungsgut.

Das Dentitions- und Zahnalter ist für die Untersuchung und Bestimmung des chronologischen Alters beim Menschen von besonderer Bedeutung. Es kann aus dem Entwicklungsstand des Milchgebisses und der permanenten Dentition und im Verlauf der Gebrauchsphase des Gebisses erfolgenden Form- und Strukturwandlungen abgeleitet werden (PILZ et al. 1980).

Da der alleinige numerische Vergleich der Dentition mit bekannten Vergleichspopulationen keine Beweiskraft hat, wurden unterschiedliche Methoden zur zahnkorrelierten Altersschätzung entwickelt und vorgestellt (BANG und RAMM (1970), DALITZ (1962), DEMIRJIAN et al. (1973), DEMIRJIAN und GOLDSTEIN 1976, GUSTAFSON (1955), HARRIS und NORTJÉ (1984), JOHANSON (1971), KVAAL und SOLHEIM (1994), KVAAL et al. (1995), MATSIKIDIS (1981), MÖRNSTAD et al. (1994), MORSE et al. (1994), NAMBIAR et al. (1996), NORTJÉ (1983), OGINO et al. (1985), OHTANI et al. (1995), PINEDA und KUTTLER (1972), PRAPANOCH et al. (1992), RITZ et al. (1995), SOLHEIM (1988), SOLHEIM (1993), STAAF et al. (1991), TEN CATE et al. (1977), WILLEMS et al. (2001).

Folgende nicht-röntgenologische Techniken der Altersbestimmung anhand der Zähne sind nach ENDRIS (1979) zu unterscheiden:

- färberisch - feingewebliche
- anatomisch - deskriptive
- physikalisch - chemische
- Zahnschliffauswertungen bei Lupenvergrößerung

Diese Methoden wurden in jüngster Zeit durch molekularbiologische und biochemische Methoden ergänzt.

2.1 Altersbestimmung am bleibenden Gebiss durch Zahnschliffauswertung

Die Methode der Altersbestimmung anhand der Zähne durch Zahnschliffauswertung wurde im deutschsprachigen Raum erstmalig von GUSTAFSON (1955) vorgestellt.

GUSTAFSON (1955) definierte und untersuchte am Zahnschliff zu betrachtende Merkmale der bleibenden Zähne, die sich mit zunehmendem Alter charakteristisch verändern. Die auf den Ansatz von GUSTAFSON (1955) zurückgehenden Methoden werden daher auch als morphologische Methoden bezeichnet, weil diesen Methoden die Beurteilung der Veränderungen bestimmter morphologischer Merkmale des Zahnes gemeinsam ist.

Die Methode GUSTAFSONs (1955) und auf der Grundlage seiner Methode entwickelte andere morphologische Methoden der Altersbestimmung anhand der Zähne setzen eine Zahnextraktion voraus. Eine Anwendung am Lebenden ist somit weitestgehend ausgeschlossen. Auch lässt sich die Methode GUSTAFSON ausschliesslich auf Zähne der zweiten Dentition anwenden. Sie ist daher nur zur Altersschätzung Erwachsener einsetzbar.

Ungeachtet dieser Einschränkungen bildet die Arbeit von GUSTAFSON (1955) die Grundlage für nachfolgende Autoren zur Entwicklung unterschiedlicher Me-

thoden zur Feststellung des Alters anhand der Zähne sowohl am Lebenden als auch am Toten. Eine Vielzahl von Arbeiten zum Thema der Altersbestimmung anhand der Zähne am Erwachsenen, wie zum Beispiel die von DALITZ (1962), BANG und RAMM (1970) oder JOHANSON (1971), gehen direkt oder indirekt auf die Methode GUSTAFSON (1955) zurück. Aus diesem Grunde bezeichnen SOLHEIM und KVAAL (2000) die Arbeit GUSTAFSONs als Pionierarbeit auf dem Gebiet der Altersbestimmung anhand der Zähne beim Erwachsenen.

2.1.1 Methode nach GUSTAFSON

1955 veröffentlichte GUSTAFSON in Deutschland seine bereits mehrfach erwähnte Methode zur Altersbestimmung am bleibenden Gebiss durch Zahnschliffauswertung, die auf der Betrachtung bestimmter während der Gebrauchsperiode des Gebisses auftretender Veränderungen der Zähne beruht, die er zu einem komplexen Verfahren zur Altersbestimmung zusammenfasste.

Bewertet werden in ihrer Summe 6 Merkmale am Zahn, die in ihrer jeweiligen Veränderung eine Korrelation zum Alter aufweisen. Für die Ausprägung der Veränderung jedes Merkmals wird ein Punktwert von 0 bis 3 angegeben.

Folgende Merkmale wurden von GUSTAFSON (1955) benannt und in ihrer Ausprägung beurteilt:

1. Abrasions- bzw. Attritionserscheinungen von Schneidekanten und Kauflächen ($A_0 - A_3$)
2. vertikale Verschiebung des parodontalen Gewebes, das den Zahn umfasst ($P_0 - P_3$),
3. Sekundärdentinablagerungen im Pulpakavum ($S_0 - S_3$),
4. Transparenz der Wurzel ($T_0 - T_3$).
5. Zementablagerungen an der Wurzel ($Z_0 - Z_3$),
6. Resorptionserscheinungen an Zement und Dentin ($R_0 - R_3$)

Abbildung 1 stellt die 6 Merkmale und ihre Einteilung in die von GUSTAFSON (1955) vorgegebenen vier Ausprägungsgrade dar:

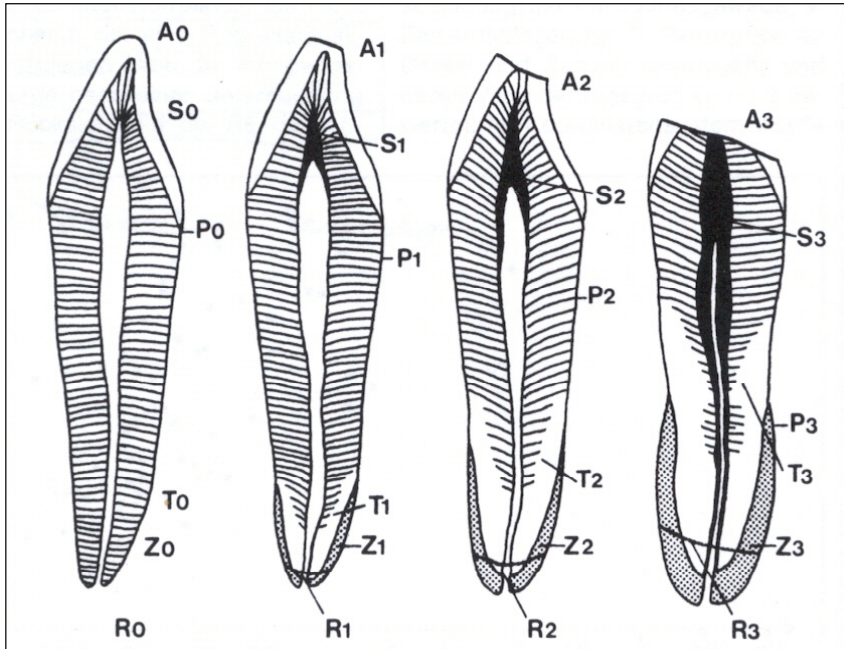


Abbildung 1:
Einteilung der 6 Altersveränderungen des Zahnes in vier Grade 0 bis 3: A = Abrasion, S = Sekundärdentinbildung, P = Verschiebung des Parodontalgewebes, T = Transparenz der Wurzel, Z = Zementablagerung, R = Resorptionserscheinungen an Zement und Dentin (aus: Matsikidis, G., Schulz, P.: Altersbestimmung nach dem Gebiß mit Hilfe des Zahnfilms, Zahnärztl Mitt 22/1982, S. 2524, Abb.1)

Das Merkmal der Verschiebung des parodontalen Gewebes wird am unbeschleunigten Zahn beurteilt. Die Betrachtung der Merkmale Abrasion und Dentintransparenz erfolgt mit Hilfe des Mikroskops an Schliffen von ca. 1 mm Dicke. Die restlichen Merkmale werden am Dünnschliff von ca. ¼ mm Dicke des in Kanadabalsam auf einem Objektträger eingebetteten Präparates befundet.

Tabelle 1 gibt die Abstufung der Merkmalsausprägung wieder:

Merkmal	Kürzel	Grad der Merkmalsausprägung		
		1	2	3
Abrasion	A	Abkauung des Schmelzmantels	Dentin freigelegt	Pulpakavum / Sekundärdentin freigelegt
Parodontal-gewebs-verschiebung	P	Zahnfleisch freigelegt	koronales Wurzel-drittel freigelegt	koronales und mittleres Wurzel-drittel freigelegt
Sekundärdentin-Bildung	S	geringgradiger Anbau im Bereich der Pulpahörner	Kronenpulpa-Kavum ausgefüllt	fast vollständige / vollständige Ausfüllung des Pulpakavums
Zementapposition	Z	Zementschicht überdurchschnittlich ausgeprägt	Zementschicht stark überdurchschnittlich ausgeprägt	erheblich verdickte Zementschicht
Wurzelresorption	R	isolierte kleine Lakunen im Zement	grössere Substanzverluste	grossflächiger Substanzverlust in Dentin und Zement
Wurzeltransparenz	T	apikal gerade wahrnehmbar	apikales Drittel der Wurzel transparent	apikales und mittleres Drittel der Wurzel transparent

Tabelle 1:
Abstufung der Ausprägung der von GUSTAFSON (1955) definierten Merkmale; 0 = Nichtvorhandensein des Merkmals (modifiziert nach HUNGER und LEOPOLD, 1978)

Im folgenden werden die GUSTAFSONSchen Merkmale genauer dargestellt und beleuchtet:

Zahnkronenabschliff:

Durch Abkauung oder auch Abrasion erfolgt in der Gebrauchsphase des Gebisses ein Substanzverlust an Incisalkanten, Okklusalfächen und den approximalen Kontaktpunkten. Die Angaben zu diesem Merkmal der Altersbestimmung erfolgen deskriptiv-anatomisch. ENDRIS nennt 1979 folgende Grade der Abrasion (Abbildung 2):

- ohne Abrasion (A₀)
- Schmelzabschliff (A₁)
- Schmelzabschliff mit Dentinbeteiligung (A₂)

- überwiegender Dentinabschliff
- Abschliff mit Eröffnung des Pulpenkavums (A₃)

In Klammern sind die von GUSTAFSON (1955) definierten Stadien des Zahnkronenabschliffs ergänzt. Das Fehlen des Grades des überwiegenden Dentinabschliffs verdeutlicht GUSTAFSONs (1955) recht grobe Einteilung.

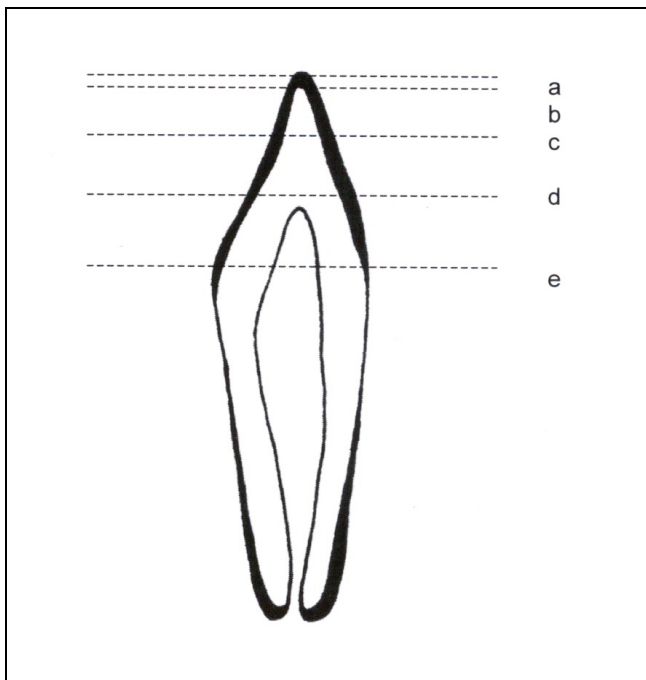


Abbildung 2:
Abstufung der Grade der Abrasion; a = ohne Abrasion, b = Schmelzabschliff, c = Schmelzabschliff mit Dentinbeteiligung, d = überwiegender Dentinabschliff, e = Abschliff mit Eröffnung der Pulpa (modifiziert nach ENDRIS 1979)

Anthropologen schätzen anhand des Grades der Abrasion das Alter von Leichenfunden aus vergangenen Epochen. Kulturelle Veränderungen, die grossen Einfluss auf die Art und Zubereitung der Nahrung nahmen, führten zu einem starken Rückgang der Abrasion. Daher ist dieses Merkmal bei rezenten Populationen für eine Altersschätzung kaum noch nutzbar (MAAT 2000).

Parodontalgewebs-Verschiebung:

Die Verlagerung des Weichteilansatzes führt durch die Freilegung zervikaler

Wurzelpartien mit zunehmendem Alter zu einer verlängerten klinischen Krone. Ursächlich für diesen nicht-entzündlichen Prozess ist die altersbedingte Involution des Alveolarknochens durch verminderte Osteoblasten-Aktivität, der das Weichgewebe nachfolgt.

Nach FRÖHLICH (1965) kennzeichnen folgende charakteristische Merkmale eine altersbedingte Involution des Parodontalgewebes:

- freigelegter Zementmantel im oralen und vestibulären Zahnbereich
- Fehlen pathologisch gesteigerter entzündlicher Prozesse am marginalen Parodontium
- das Gebiss wird zu einem individuell verschiedenen Zeitpunkt von dem Prozess gleichmässig und symmetrisch befallen
- die Alveolaratrophie beginnt am Knochen, der erst sekundär die Atrophie des Zahnfleisches nachfolgt
- die Alveolaratrophie verläuft sehr langsam, die Zahnlockerung tritt erst spät auf
- es besteht ein röntgenologisch erfassbarer Höhen- und Stufenabbau des Alveolarfortsatzes

Sekundärdentinbildung:

Ständige Apposition dünner Schichten von Sekundär- bzw. Tertiärdentin führt zu einer Einengung der Pulpahöhle im Verlauf des Lebens. Sekundärdentin ist nach SCHRÖDER (2000) alles nach Abschluss des Wurzelwachstums unter physiologischen Bedingungen angelagerte Dentin. Tertiärdentin-Apposition erfolgt nach SCHRÖDER (2000) als Antwort auf äussere Reize wie Abrasion, Attrition, Karies oder Kavitätenpräparation.

Transparenz des Wurzeldentins:

Mit zunehmendem Alter treten Veränderungen der tubulären Dentinstruktur in Form einer Sklerosierung auf. Diese Veränderungen lassen sich nach PILZ et

al. (1980) am Zahnschliff als optische Transparenz ab dem dritten Lebensjahrzehnt darstellen. Sie prägen sich mit steigendem Lebensalter koronalwärts immer deutlicher aus. Abbildung 3 stellt die von GUSTAFSON definierten Stadien der Wurzeltransparenz dar:

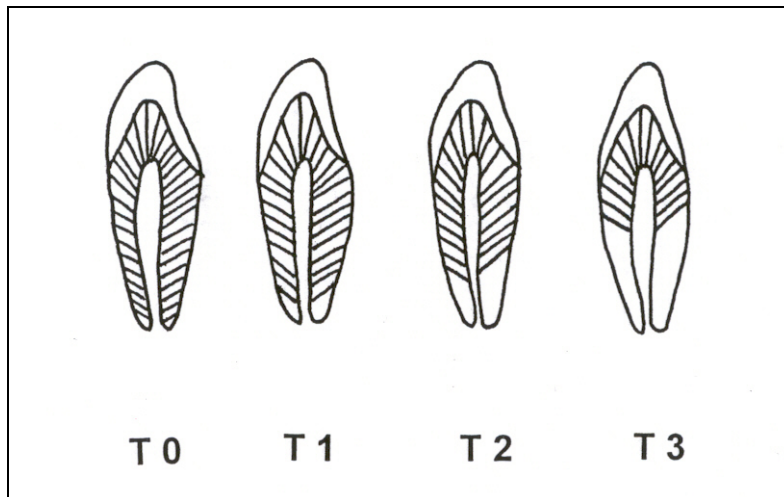


Abbildung 3:
Die vier Stadien der Wurzeltransparenz (T) nach GUSTAFSON, betrachtet am Längsschliff des Zahnes (modifiziert nach Gustafson 1955)

Zurückgeführt wird das Transparenzphänomen, auch als Sklerosierung des Dentins bezeichnet (SCHRÖDER 2000), auf eine Verengung der Dentinkanäle bis hin zur vollständigen Obliteration durch peritubuläres oder intratubuläres Dentin. Diese Sklerosierung führt zu einem Ausgleich des Refraktionsindex von intratubulärem und peri- und intertubulärem Material, der das optische Phänomen der Transparenz erzeugt.

Makroskopisch erscheint sklerosiertes Dentin homogen und durchsichtig wie Glas. Lichtmikroskopisch stellt sich eine Sklerosierung bereits bei einer starken Verdickung des peritubulären Dentins dar.

BANG und MONSEN stellten 1968 eine statistisch signifikante Ausbreitung der Wurzelentintransparenz mit steigendem Alter fest.

1970 stellten BANG und RAMM eine Methode der Altersschätzung am Zahn vor, mit der sie im Gegensatz zum GUSTAFSONschen Ansatz nur ein einzelnes Merkmal betrachteten, nämlich die Dentintransparenz. Zur Messung der

Dentintransparenz in mm mit Hilfe einer Schiebleere wurde der extrahierte Zahn durchleuchtet. Betrachtet wurden sowohl Wurzelschliffe als auch intakte Zähne. Eine Zerstörung des Untersuchungsgutes Zahn konnte somit bei Anwendung der letzteren Methode vermieden werden.

BANG und RAMM (1970) gaben die folgende polynomiale Regressionsformel zweiten Grades für die Ausdehnung der transluzenten Zone kleiner/gleich 9 mm an, die die Altersbestimmung anhand eines einzelnen Zahnes erlaubt:

$$\text{Alter} = B_0 + (B_1 \times X) + (B_2 \times X^2)$$

B = Regressionskoeffizienten, X = Wurzeltransparenz

Für die Altersbestimmung bei Ausdehnung der transluzenten Zone grösser 9 mm gaben sie die folgende polynomiale Regressionsformel ersten Grades an:

$$\text{Alter} = B_0 + (B_1 \times X)$$

B = Regressionskoeffizienten, X = Wurzeltransparenz

Die Regressionskonstanten und Regressionskoeffizienten für die beiden Formeln gibt Tabelle 2 wieder:

Zahn	< 9 mm			< 9 mm			> 9 mm		> 9 mm	
	W intakt			W beschliffen			W intakt		W beschliffen	
	B0	B1	B2	B0	B1	B2	B0	B1	B0	B1
11	20.30	5.74	0.000	21.02	6.03	-0.060	20.34	5.74	22.36	5.39
21	24.30	6.22	-0.119	26.84	6.00	-0.155	26.78	4.96	30.18	4.30
12	18.80	7.10	-0.164	23.09	7.04	-0.197	22.06	5.36	22.55	5.23
22	20.90	6.85	-0.223	24.62	5.18	-0.077	25.57	4.38	25.90	4.39
13	26.20	4.64	-0.044	21.52	6.49	-0.171	28.13	4.01	28.01	4.23
23	25.27	4.58	-0.073	24.64	5.22	-0.143	27.59	3.65	29.41	3.32
14/24	23.91	3.02	0.203	29.98	2.73	0.107	18.42	5.40	28.44	3.81
15	23.78	5.06	-0.064	24.76	4.81	0.000	25.33	4.28	24.75	4.81
25	25.95	4.07	-0.067	22.34	7.59	-0.393	26.92	3.37	26.21	4.03
41	9.80	12.61	-0.711	13.63	12.11	-0.683	29.0	4.23	31.78	4.19
31	23.16	9.32	-0.539	26.46	8.79	-0.511	37.56	2.94	37.89	3.08
42	26.57	7.81	-0.383	21.77	10.19	-0.581	38.81	2.81	38.49	3.03
32	18.58	10.25	-0.538	22.22	9.07	-0.444	33.65	3.53	35.19	3.49
43	23.30	8.45	-0.348	24.34	8.38	-0.358	37.80	3.50	40.32	3.05
33	27.45	7.38	-0.289	23.88	8.76	-0.388	41.50	2.84	42.07	2.73
44	24.83	6.85	-0.237	21.54	8.63	-0.395	30.83	4.05	33.10	3.66
34	29.17	5.96	-0.173	26.02	7.00	-0.234	34.97	3.74	32.79	4.11
45	29.42	4.49	-0.065	14.90	9.93	-0.451	30.68	3.76	27.46	4.17
35	18.72	5.79	-0.082	23.87	5.50	-0.098	20.87	4.79	25.60	4.41
16/26 mr	30.25	3.23	-0.018	28.22	4.82	-0.101	30.56	3.00	30.03	3.48
36/46 mr	27.39	6.25	-0.239	33.42	5.18	-0.302	30.32	3.66	35.27	2.78
16/26 dr	34.73	0.67	0.211	20.43	6.09	-0.182	29.49	3.32	26.89	3.55
36/46 dr	30.21	5.52	-0.181	29.91	4.97	-0.102	31.46	3.77	30.31	4.22
16/26 pr	27.43	3.64	0.039	25.15	4.34	-0.032	26.81	4.07	25.83	3.95

Tabelle 2:

Regressionskonstante und Regressionskoeffizienten nach BANG und RAMM (1970): Es wird unterschieden zwischen intakten und beschliffenen Zähnen und der Länge der transluzenten Zone kleiner/gleich 9 mm und grösser 9 mm, W = Wurzeln, m = mesial, d = distal, p = palatinal, r = Wurzel

Die von BANG und RAMM (1970) angegebenen Korrelationskoeffizienten bewegen sich zwischen $r = 0,50$ bis $r = 0,93$ für Schiffe und $r = 0,61$ bis $r = 0,84$ für intakte Zähne.

Die Abweichungen des ermittelten vom tatsächlichen Alter bewegten sich am Testmaterial (168 Zähne von 24 Personen) zwischen 7,2 Jahren und 20,4 Jah-

ren.

Zementapposition:

Sekundärzement wird durch die Zementblasten während der Gebrauchsperiode des Zahnes gebildet. Nach ZANDER und HURZELER (1958) nimmt mit zunehmendem Alter die Ablagerung von Wurzelzement zu. KAMANN (1998) nennt für 15-Jährige und 70-Jährige folgende Durchschnittswerte für die Dicke der Zementschicht:

- Zervikaler Wurzelanteil: 15 Jahre: 54 Mikrometer
 70 Jahre: 128 Mikrometer
- Wurzelmitte: 15 Jahre: 72 Mikrometer
 70 Jahre: 238 Mikrometer
- Apex: 15 Jahre: 189 Mikrometer
 70 Jahre: 585 Mikrometer

Allerdings werden diese Befunde von Hyperzementosen als Ausdruck pathologischer Prozesse und von okklusalen Disharmonien, die das Ergebnis der Altersbestimmung negativ beeinflussen können, mitbestimmt.

Nach ENDRIS (1979) sollte daher die Bewertung der Zementdicke als Altersmerkmal zurückhaltend betrachtet werden. Er gibt eine Zunahme der Zementdicke an den Schneidezähnen für die Altersgruppe vom 35. bis 70. Lebensjahr von 100 auf 200 Mikrometer an, an den Seitenzähnen von 200 auf 300 Mikrometer.

Die Individualaltersbestimmung mit Hilfe von Zuwachsringen im Zement menschlicher Zähne ist eine Methode der Altersbestimmung anhand des Zements, die vornehmlich in der Anthropologie angewandt wird. Das Zahnzement besteht aus verschiedenen stark mineralisierten Schichten, die im circaannualen Rhythmus lebenslang gebildet werden, den sogenannten Zuwachsringen. Die Untersuchung der Eignung der Zuwachsringe als Alterskriterium brachte jedoch bisher konträre Ergebnisse (GROSSKOPF 1990, SOLHEIM und KVAAL 2000).

Methoden der Altersschätzung anhand der Zementapposition zeigen nach RITZ-TIMME et al. (2000) eine Standardabweichung vom tatsächlichen Alter von +/-4 bis 10 Jahren. Den Korrelationskoeffizienten zwischen tatsächlichem und ermitteltem Alter geben RITZ-TIMME et al. in ihrem Übersichtsartikel mit $r = 0,78$ bis $0,93$ an.

Wurzelresorption:

Resorptionserscheinungen der Zahnwurzel können vielfältige Ursachen haben. So können zum Beispiel entzündliche Prozesse, mechanische Traumata, benachbartes tumoröses Geschehen, fehlkonstruierte prothetische Versorgungen oder parodontale Erkrankungen Resorptionserscheinungen auslösen und unterhalten. Daher ist nach ENDRIS (1979) das Ausmass der Resorption eines Zahnes allein zur Altersbestimmung nicht geeignet.

Zurück zur Methode nach GUSTAFSON (1955):

Aus der Korrelation der Gesamtpunktzahl der Merkmale mit dem tatsächlichen Alter des Individuums ermittelte GUSTAFSON (1955) eine Regressionsgerade, die auch als Standardgerade bezeichnet wird. Die erforderliche mathematische Gleichung zur Konstruktion der Regressionsgeraden wird ermittelt, indem die erarbeiteten Gesamtpunktzahlen von möglichst vielen Präparaten mit dem wirklichen Alter der Individuen rechnerisch in Beziehung gebracht werden (Diagramm 1):

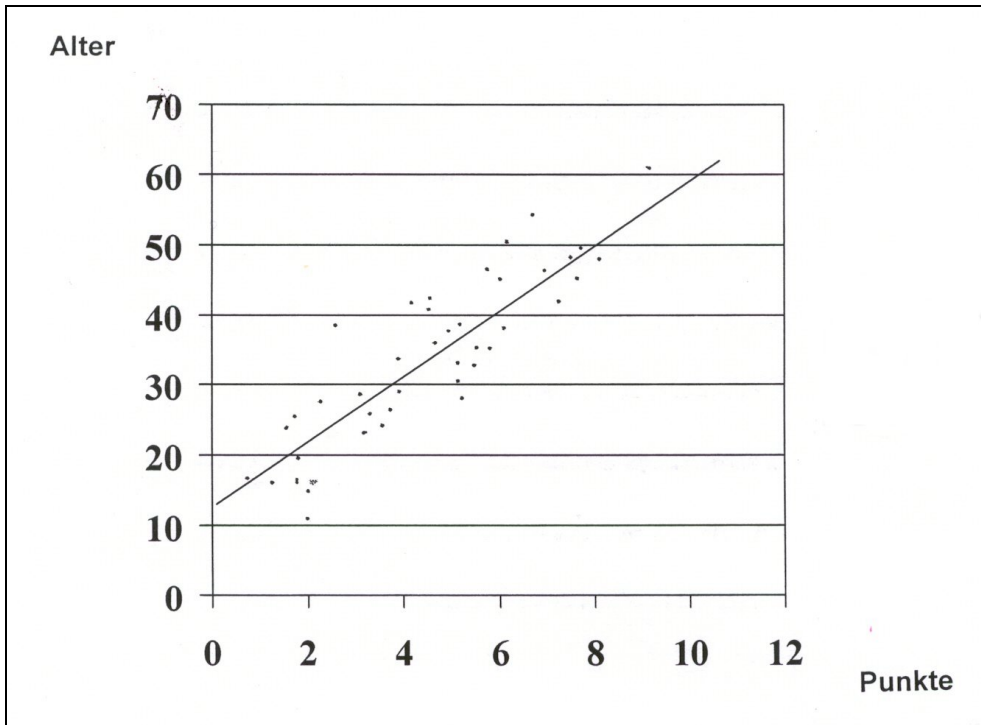


Diagramm 1:
Beispiel für eine Regressionsgerade zur Altersbestimmung, die die Relation zwischen Punktzahl und Lebensalter darstellt

Die Gleichung zur Erstellung einer Regressionsgeraden nach GUSTAFSON lautet:

$$\text{Alter} = 11,43 + 4,56 \times X \quad (X = \text{Summe aller Punktzahlen})$$

Diese Regressionsformel wendet GUSTAFSON (1955) auf alle Zahntypen an. Den Korrelationskoeffizienten zwischen tatsächlichem und ermitteltem Alter gibt GUSTAFSON (1955) mit $r = 0,98$ an.

Zur Altersbestimmung anhand der Regressionsgeraden markiert man nun die ermittelte Gesamtpunktzahl einer Zahnschliffauswertung auf der Abszisse dieses Koordinatensystems und errichtet eine Senkrechte. Der Schnittpunkt der Senkrechten mit der Regressionsgeraden wird durch eine Horizontale mit der Ordinate verbunden. Das mutmasslich erreichte Lebensalter des Individuums lässt sich nun auf der Ordinate ablesen (Diagramm 2):

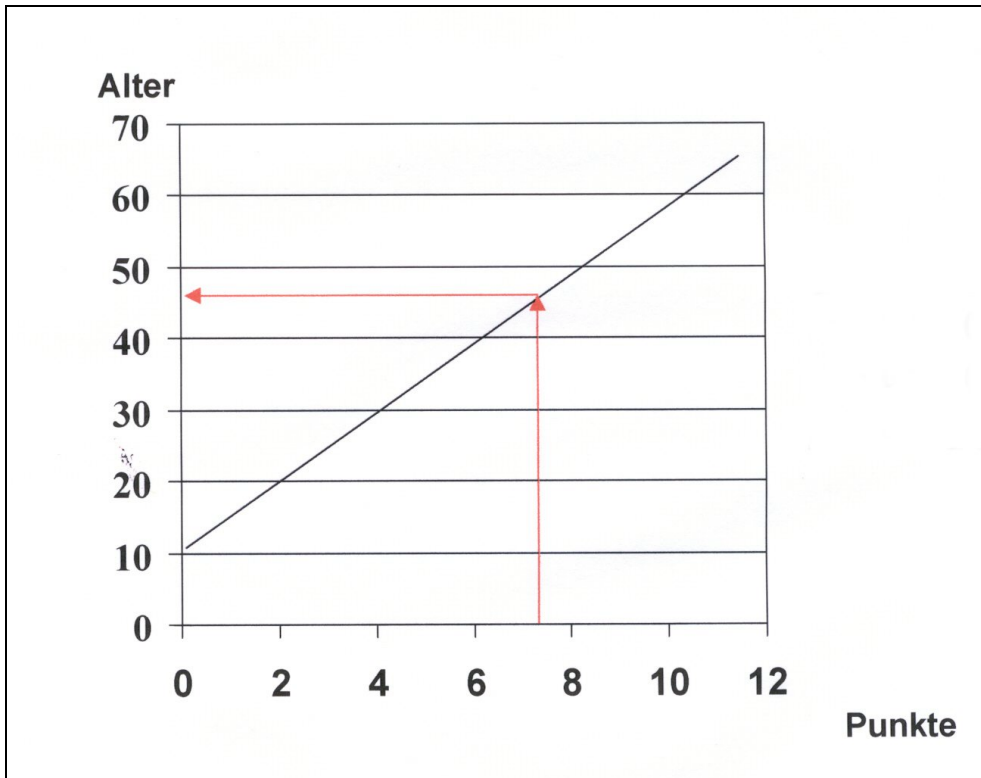


Diagram 2:
Das annähernde Alter eines Individuums lässt sich aus der Beziehung zwischen ermittelter Punktzahl und Regressionsgeraden ermitteln

Jeder Untersucher hat seine eigene Eichkurve zu erstellen, da ein Vergleich der ermittelten Punktzahlen mit fremden Eichkurven wegen der Subjektivität in der Beurteilung der Merkmale zu Ungenauigkeiten führt. KEIL stellte 1968 fest, dass die Beurteilung durch unterschiedliche Untersucher zu Differenzen von bis zu 40 Jahren in der Altersschätzung führen kann.

Die Sicherheit der Aussage erhöht sich erheblich, je mehr Zähne eines Individuums zur Betrachtung zur Verfügung stehen, so dass die Mittelwerte der jeweiligen Punktwerte ermittelt werden können. Besonders geeignet zur Altersbestimmung anhand der GUSTAFSONschen Methode sind nach JOHANSON (1971) Frontzähne.

Die von GUSTAFSON (1955) angegebenen Abweichungen vom wirklichen Alter (+/- 3,6 Jahre in 2 von 3 Fällen, +/- 7,3 Jahre in 21 von 22 Fällen, +/- 9,1 Jahre in 99 von 100 Fällen) sind aufgrund der geringen Zahl von 40 untersuch-

ten Zähnen und der angewandten statistischen Methode kritisch zu betrachten (LUCY und POLLARD 1995).

Die Angaben zur Genauigkeit der Methode, die von unterschiedlichen Autoren einer kritischen Prüfung unterzogen wurde, sind unterschiedlich. So ermittelte SEIFERT (1959) eine Abweichung von +/- 11,4 Jahren.

DALITZ unterzog die Methode GUSTAFSONS 1962 anhand von 128 Frontzähnen 29 australischer Leichen einer kritischen Überprüfung und korrigierte den von GUSTAFSON (1955) angegebenen multiplen Korrelationskoeffizienten auf $r = 0.87$. In 95% der Fälle kann das Alter nach der Methode GUSTAFSON (1955) nach DALITZ (1962) mit einer Genauigkeit von +/- ca. 12 Jahren angegeben werden.

DALITZ (1962) bestätigte die Anzahl der von GUSTAFSON gefundenen Altersmerkmale, stellte jedoch fest, dass die Merkmale "Zementapposition" und "Wurzelresorption" das Ergebnis der Altersschätzung nicht nennenswert beeinflussen, da eine kontinuierliche Altersveränderung während des Lebens nur bei den restlichen vier Merkmalen, nachstehend noch einmal benannt, vorliegt:

- Zahnkronenabschliff (A)
- Sekundärdentinbildung (S)
- Parodontalverhältnisse (P)
- Transparenz der Wurzel (T)

Zur Erhöhung der Aussagekraft teilte er diese vier Veränderungen in jeweils 5 Stadien (0 bis 4 Punkte) ein.

DALITZ (1962) arbeitete mit multipler Regressionsanalyse und gewichtete so jedes der oben genannten Merkmale anhand seines Einflusses auf die Altersschätzung.

Nach Ermittlung einer Regressionsgleichung kann das Alter nach DALITZ (1962) aus der Bewertung der vier Kriterien Abrasion (A), Sekundärdentinbildung (S), Parodontalgewebsverschiebung (P) und Transparenz des Dentins (T)

ermittelt werden, indem den verschiedenen Punktschätzungen das jeweilige von DALITZ (1962) ermittelte geschätzte Lebensalter zugeordnet wird. Stehen mehrere Frontzähne eines Individuums zur Verfügung, so arbeitet man mit dem Mittelwert der Einzelberechnungen.

DALITZ' Regressionsgleichung lautet:

$$\text{Alter} = 5,146 \times A + 1,866 \times S + 5,338 \times P + 8,411 \times T + 8,691$$

Der Korrelationskoeffizient zwischen tatsächlichem und ermitteltem Alter ist $r = 0.88$.

(A = Zahnkronenabschliff, S = Sekundärdentinbildung, P = parodontale Retraktion, T = Wurzeltransparenz)

DALITZ ermittelte mit seiner 5-Stadien-Methode bei Betrachtung eines Zahnes pro Individuum einen Standardschätzfehler von +/- 8,1 Jahren. Bei Verwendung von 4 Frontzähnen gibt DALITZ (1962) den Standardschätzfehler seiner Methode mit +/- 6,0 Jahren an. Daher empfiehlt ENDRIS (1982) in der Praxis die Anwendung der Methode DALITZ (1962), wenn vier Frontzähne zur Auswertung zur Verfügung stehen.

PESCHKA nennt 1969 eine nach der GUSTAFSONschen Methode (1955) ermittelte Abweichung von +/- 7,56 Jahren.

JOHANSON erhöhte in seiner 1971 vorgestellten Methode unter Betrachtung der folgenden Merkmale die Anzahl der pro Merkmal am Zahnschliff gemessenen Stadien von 4 auf 7 (Abbildung 4):

- Attrition ($A_0 - A_3$)
- Sekundärdentinbildung ($S_0 - S_3$)
- Parodontalgewebs-Verschiebung ($P_0 - P_3$)
- Zementapposition ($Z_0 - Z_3$)
- Wurzelresorption ($W_0 - W_3$)
- Dentintransparenz ($D_0 - D_3$)

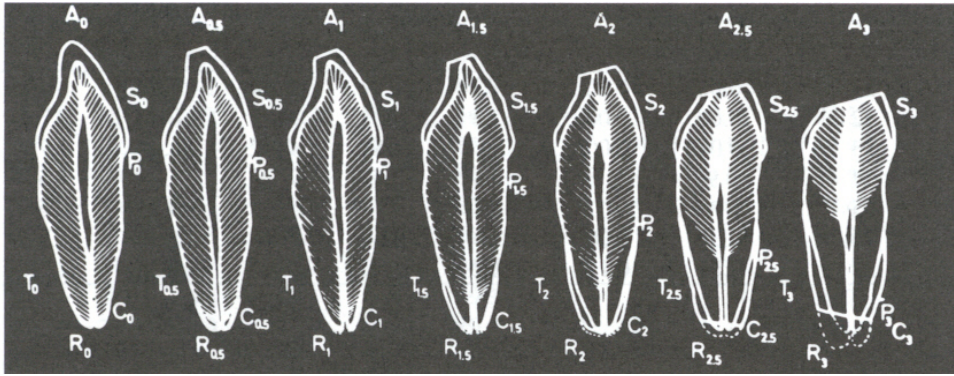


Abbildung 4:
 Die 7 von JOHANSON (1971) definierten Stadien der Altersveränderungen (aus: *Forensic Odontology, Proceedings of the European IOFOS Millennium Meeting, Leuven, S. 166* Abb. 1, Guy WILLEMS (Ed.), Leuven University Press 2000)

Er arbeitete wie DALITZ (1962) zur Auswertung der Messungen mit einer multiplen Regressionsanalyse und ermittelte die folgende Regressionsgleichung:

$$\text{Alter} = 11.02 + (5.14 A) + (2.30 S) + (4.14 P) + (3.71 C) + (5.57 R) + (8.98 T)$$

$$r = 0.88$$

(A = Punktwert für Zahnkronenabschliff, S = Punktwert für Sekundärdentinbildung, P = Punktwert für Parodontalgewebs-Verschiebung, T = Punktwert für Wurzelentintransparenz, C = Punktwert für Zementaposition, R = Punktwert für Wurzelresorption)

MAPLES und RICE korrigierten 1979 die GUSTAFSONsche Formel wie folgt:

$$\text{Alter} = 13,45 + 4,26 \times X \quad (X = \text{Summe aller Punktzahlen})$$

Die Genauigkeit der Methode nach GUSTAFSON (1955) wird von ENDRIS (1979) mit einer Standardabweichung vom tatsächlichen Alter von günstigstenfalls +/- 10 Jahren angegeben. Der von GUSTAFSON angegebene Korrelationskoeffizient r zwischen ermitteltem und tatsächlichem Alter von 0,98 ist in der Praxis nicht zu erreichen.

1993 stellte SOLHEIM eine morphologische Methodik vor, die auf der Untersuchung der Veränderung unterschiedlicher Parameter im Verlauf der Zeit an

über 1000 Zähnen basierte. Er entwickelte seine Methode zur Anwendung im Rahmen der Identifikation unbekannter Toter.

Für jeden der 1000 Zähne identifizierte er die Parameter, die die stärkste Korrelation mit dem Alter aufwiesen und führte für jeden einzelnen Zahn eine multiple Regressionsanalyse durch mit dem Alter als abhängige Variable. Molaren wurden ausgeschlossen.

SOLHEIM (1993) untersuchte die Zähne Toter. Er führte die Regressionsanalyse pro Zahn einmal unter Einbeziehung der Parameter Geschlecht und Zahnfarbe durch, einmal unter Weglassung.

Tabelle 3 zeigt die von SOLHEIM (1993) ermittelten Regressionsformeln:

	Geschlecht und Zahnfarbe einbezogen
	Oberkiefer
1	Alter = 24.3 + 8.7CEST + 5.2TD – 2.3CAP – 4.3SEX
2	Alter = 38.7 – 126ST + 4.7CEST + 4.2TD + 0.05 C1
3	Alter = 10.1 + 2.3TID +4.4SJ + 6.1CEST
4	Alter = 8.0 + 7.3CEST + 4.1SJ + 1.4TID
5	Alter = 6.1 + 9.1CEST + 3.3AJ + 7.3LPMEAN + 1.4TID
	Unterkiefer
1	Alter = -21.8 – 55.3SC + 32.8LC1 – 10.3SEX + 2.6TID
2	Alter = -24.5 + 4.9 CEST + 2.1TID – 7.0SEX + 20.1LC1 + 2.4AJ
3	Alter = 19.2 + 1.7TID + 5.1CEST +3.5SJ
4	Alter = -28.1 + 3.0TID + 0.6ARA + 24.1LC1 – 5.6SEX + 7.3LPMEAN
5	Alter = 7.5 + 2.7TID + 4.9SJ + 4.9SRS
	Geschlecht und Zahnfarbe ausgeschlossen
	Oberkiefer
1	Alter = 25.3 + 7.1TID – 3.1CAP + 5.3SRS – 7.5EX3 + 0.02C1
2	Alter = 46.7 – 142ST + 6.5TD +0.05C1
3	Alter = 12.1 + 2.9TID + 4.9SJ + 3.9SRS
4	Alter = 14.6 + 6.3SJ + 2.5TID
5	Alter = 14.2 + 2.5TID +4.1AJ +8.9LPMEAN + 3.0SJ
	Unterkiefer
1	Alter = -32.1 – 52.5SC + 31.1LC1 +1.9TID +4.6SRS
2	Alter = 37.1 + 2.7TID + 5.9SRS – 46.3SC
3	Alter = 27.5 + 2.6TID +4.4SJ
4	Alter = -26.9 + 3.2TID +0.5ARA + 22.3LC1 +7.1LPMEAN
5	Alter = 7.5 + 2.7TID + 4.9SJ + 4.9SRS

Tabelle 3:

Regressionsformeln nach SOLHEIM (1993). Für jeden Zahntyp, Molaren ausgenommen, wurden die stark mit dem Alter korrelierenden Parameter in der Regressionsformel verwendet. AJ = Attrition, ermittelt nach der von JOHANSON (1971) vorgestellten Technik; ARA = Attritionszone auf Okklusalfächen, gemessen in mm; C1 = Summe der Zementdicken der vestibulären und lingualen Wurzelfläche, gemessen auf 1/3 Strecke der Wurzellänge ab Apex; CAP = Kronenpulpa, gemessen in mm; CEST = Farbbeurteilung des Wurzelzementins; EX3 = Zahn wegen Karies oder ähnlichen Zustandes extrahiert mit Ja: 0 Punkte und Nein: 1 Punkt; LC1 = LOG10(C1); LPMEAN = log10 PMEAN mit PMEAN = durchschnittlicher Verlust an parodontalem Attachment eines Zahnes in mm; SC = Quotient aus Pulpadurchmesser und Wurzeldurchmesser in der Cervicalregion; SEX = Geschlecht, männlich: 0 Punkte, weiblich: 1 Punkt; SJ = Sekundärdentin, gemessen nach der von JOHANSON (1971) vorgestellten Technik; SRS = Oberflächenrauigkeitswert; ST = Quotient aus Summe der Pulpadurchmesser und Summe der Wurzeldurchmesser; TD = Wurzelzementintransparenz, bewertet nach DALITZ (1962); TID = Länge der transluzenten Zone in mm am trockenen intakten Zahn

Die höchste Genauigkeit seiner Methode gibt SOLHEIM (1993) mit $r = 0,91$ für die Anwendung an den oberen mittleren Schneidezähnen an. WILLEMS (2000) hält die von SOLHEIM (1993) erarbeiteten Formeln für sicher bei der Anwen-

dung an unbekanntem Toten im Rahmen der Identifizierung.

2.2 Altersbestimmung anhand der Zahnfarbe

Die Betrachtung der Zahnfarbe ist eine der ältesten Methoden zur Bestimmung des Alters. Sie basiert auf der Beobachtung, dass mit zunehmendem Lebensalter Veränderungen der Zahnfarbe auftreten. Nach SOLHEIM (1988) zeigen höhere Altersgruppen Veränderung der Zahnfarbe hin zu gelblicheren oder gelblich-braunen Farbgebungen. Auch ist eine allgemeine Verdunklung der Zahnfarbe mit zunehmendem Lebensalter festzustellen.

Als ursächlich für diese altersabhängigen Farbveränderungen werden strukturelle Wandlungen im Schmelz angesehen, die eine veränderte Lichtabsorption und -brechung zur Folge haben. So craqueliert der Schmelzmantel im Laufe der Jahre, was zu einem veränderten Refraktionsindex zwischen Schmelz und Speichel führt. Einlagerungen von Kalzium-Phosphat ändern die Transparenz. Nach RHEINWALD (1966) nimmt die Transluzenz des Schmelzes aufgrund zunehmender Mineralisation ab. Nach BHUSSRY und EMMEL (1955) ist der mit dem Lebensalter ansteigende Stickstoff-Gehalt des Schmelzes ursächlich für eine Abdunklung der Zahnfarbe. Die Zunahme der Dentinschichtdicke aufgrund von Sekundärdentinablagerungen und die relative Verschiebung der Dickenverhältnisse von Schmelz zu Dentin durch die Reduktion der Schmelzschicht bedingen die für den alten Zahn typische Gelbfärbung.

Bei der Bestimmung der individuellen Zahnfarbe zum Zwecke der Altersschätzung sind grundsätzlich alle in Frage kommenden Faktoren zu prüfen, die Einfluss auf die Zahnfarbe nehmen können. Eine Trennung von exogenen und endogenen Einflüssen ist erforderlich. Diese reichen von Farbveränderungen des Dentinkerns und des Schmelzes, zum Beispiel durch Dentin- und Schmelzbildungsstörungen (Dentinogenesis imperfecta, Amelogenesis imperfecta) über Wurzelkanalbehandlungen bis hin zu Zahnbelägen und anderen oberflächlichen Ablagerungen. Auch Einflussnahmen auf die Zahnfarbe im

Rahmen der ästhetisch-kosmetischen Zahnheilkunde wie zum Beispiel das Bleichen von Zähnen sind in Betracht zu ziehen. Ebenso Verfärbungen durch Medikamente, zum Beispiel Tetrazykline.

Die Bestimmung der Zahnfarbe kann, wird sie als zusätzliches Kriterium unter anderen zur Altersschätzung herangezogen, die Genauigkeit der Schätzung verbessern. So steigt die Genauigkeit der Altersschätzung nach der GUSTAFSONSchen Methode, wenn anstatt der Wurzelresorption das Kriterium der Veränderung der Zahnfarbe analysiert wird (SOLHEIM 1988). Die Zahnfarbe als Kriterium bei der Altersschätzung findet jedoch keine routinemässige Anwendung, da eine objektive Erhebung kaum möglich ist. Auch erweist sich die Abgrenzung exogener Einflüsse auf die Zahnfarbe von endogenen Einflüssen oft als schwierig.

Die Erhebung von Daten zur Zahnfarbe sollte weitestgehend standardisierbar und somit reproduzierbar sein. So können spektrophotometrische Analysen erfolgen oder auch Farbskalen zur Anwendung gelangen, wie sie in zahnärztlichen Praxen bei der Bestimmung der Zahnfarbe für konservierende oder prothetisch-restaurative Behandlungen eingesetzt werden. SOLHEIM (1988) empfiehlt zur Bestimmung der Farbe der Zahnkrone und des Dentins den Vergleich mit den Farbskalen „Trubyte“ oder „Bioform“ (Hersteller: Dentspy International) und stellt eine Einteilung der Zahnfarbe in 5 Grade vor.

SOLHEIM (1988) fand in seiner Arbeit höhere Korrelationskoeffizienten zwischen Alter und Zahnfarbe bei der Anwendung spektrophotometrischer Methoden. Dieser Methode überlegen zeigte sich überraschenderweise die rein visuelle Farbbestimmung. Die geringste Korrelation zum Alter zeigte der Einsatz der Farbskala.

Ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und der Zahnfarbe besteht nach SOLHEIM (1988) nicht, wobei die Zahnfarbe männlicher Individu-

en jedoch dunkler zu sein scheint.

Die Farbmessung an trockenen Zahnoberflächen zeigt eine höhere Korrelation zum Alter als an feuchten (SOLHEIM 1988).

Nach ENDRIS (1979) ist für eine Altersbestimmung die Bestimmung der Zahnfarbe nicht ausschlaggebend. Die Ergebnisse der Arbeit von SOLHEIM (1988) haben jedoch gezeigt, dass die Farbe der Zähne mit zunehmendem Alter abdunkelt und legen nahe, dass zwischen Alter und Zahnfarbe eine lineare Beziehung besteht, so dass die Zahnfarbe als zusätzliches Kriterium bei der Altersschätzung im Sinne eines Summationsbefundes die Genauigkeit der Aussage positiv beeinflussen kann.

2.3 Altersbestimmung anhand der lichten Weite der Dentinkanälchen

Die Darstellung der Dentinkanälchen gelingt mit Hilfe der Hämatoxylin- oder van Gieson - Färbung eines Gefrierschnittes.

Dentinkanälchen in Pulpennähe haben einen grösseren Querschnitt als in Schmelznähe. Die Angaben zur lichten Weite der Dentinkanälchen schwanken. KETTERL (1961) gibt sie bei einem Alter von 30 Jahren mit 0,8 bis 4,8 Mikrometern an. KAMANN (1998) gibt den mittleren Durchmesser der Dentinkanälchen beim Jugendlichen mit 3 bis 4 Mikrometer an, der im Alter bis auf 2 Mikrometer sinkt.

Folgender Zusammenhang besteht zwischen Dentinkanälchenweite und biologischem Alter der Zähne: bei Untersuchung korrespondierender Dentinpartien, die immer aus derselben Region stammen, sind die gefundenen Dentinkanälchendurchmesser bei jüngeren Menschen grösser als bei älteren. Der Grund hierfür liegt in einer Obliteration mit zunehmendem Lebensalter, also einer relativen Abnahme des Gehaltes an organischer Substanz.

ENDRIS (1979) weist darauf hin, dass die Verringerung des Querschnittes nicht linear mit steigendem Lebensalter eintritt. Wegen der grossen Schwan-

kungen in der lichten Weite der Dentinkanälchen hat die Beurteilung der Weite der Dentinkanälchen daher als Altersmerkmal keine Bedeutung. Sinnvoll kann die Erhebung der Weite jedoch sein als Hilfsmittel zur groben Einordnung in die Altersskala.

2.4 Härtemessung des Dentins zur Altersbestimmung

Die Härte des Dentins wird bestimmt nach der Vickers-Methode. BRUCKNER zeigte unter Anwendung der Vickers-Methode 1959, dass die Härte des Dentins bis zum 40. Lebensjahr zunimmt und danach unter die Werte des 2. Lebensjahrzehnts absinkt. So beträgt sie vom 10. bis zum 20. Lebensjahr 53,32 HV und bis zum 30. Lebensjahr 57,76 HV. Ab dem 40. Lebensjahr fällt sie dann kontinuierlich ab, bis zu einer Vickers-Härte von 41,34 HV vom 50. bis zum 65. Lebensjahr.

Die Methode zur Härtemessung des Dentins ist sehr aufwendig und nach ENDRIS (1982) von nur geringem Aussagewert für die Altersschätzung.

2.5 Dichtemessungen der Zähne zur Altersbestimmung

SHIKANO fand 1956, dass mit zunehmendem Alter die Dichte der Schneidezähne ansteigt. Vom 9. bis 30. Lebensjahr beträgt sie 2,23 - 2,25 und nimmt bei einem Alter über 30 Jahre zu. Ein Wert von 2,28 soll einem Lebensalter von 50 +/-4 Jahren entsprechen, ein Wert von 2,32 einem Alter von etwa 60 +/-4 Jahren. Eine Messeinheit für die Dichte wird nicht genannt.

2.6 Lebensalter und Mineralisation

Der Zusammenhang zwischen dem Alter und dem Mineralisationsgrad des Dentins wird in verschiedenen Studien unterschiedlich bewertet.

BANG und MONSEN (1968) untersuchten die Calcium-Konzentration im Zahn

und fanden koronal eine höhere Konzentration als apikal. Diese Konzentrationen gleichen sich mit zunehmendem Lebensalter an, so dass der Gesamtdurchschnittsgehalt an Calcium mit zunehmendem Lebensalter ansteigt.

Fluorid- und Bleigehalt des Schmelzes nehmen ebenfalls mit steigendem Lebensalter deutlich zu. Eine klare Alterseinteilung ist jedoch nicht möglich (SCHUHMACHER und SCHMIDT 1972).

Der Mineralisationsgrad des Dentins unterliegt keiner linearen Beziehung zum Lebensalter (BANG und MONSEN 1968), da Umwelteinflüsse, Lebensbedingungen und Ernährungsgewohnheiten individuell unterschiedliche Schwankungen bewirken.

2.7 Biochemische Untersuchungen der Zähne zur Altersbestimmung

Die im Körpergewebe befindlichen Aminosäuren sind L - Aminosäuren. In Schmelz und Dentin jedoch sammeln sich aufgrund der nach abgeschlossener Entwicklung metabolischen Inaktivität dieser Gewebe mit zunehmendem Alter D - Aminosäuren an.

Der Gehalt an D - Asparaginsäure im Dentin steigt mit zunehmendem Alter nahezu linear an (OHTANI 1995). So kann zwischen dem Mengenverhältnis von D- zu L - Asparaginsäure im Dentin und dem Alter eines Individuums ein Zusammenhang hergestellt werden. Es ist jedoch zu beachten, dass das Verhältnis von D- zu L - Asparaginsäure je nach Lokalisation der Entnahmestelle der untersuchten Dentinprobe variiert. Ebenfalls ist für die Genauigkeit der Altersschätzung und eine möglichst hohe Reproduzierbarkeit der Ergebnisse die vollständige Trennung des D- vom L - Racemat Voraussetzung.

Als Untersuchungsobjekte bieten sich nach OHTANI (1995) die unteren mittleren Schneidezähne an, da die Gewinnung der vollständigen Dentinsubstanz bei diesem Zahn problemlos möglich ist.

Dentin ist das Untersuchungsgut der Wahl, da die Korrelation des Verhältnisses von D- zu L-Asparaginsäure mit dem Alter hier die genaueste Übereinstimmung erzielt ($r = 0,992$). Es folgen der Zement ($r = 0,988$) und der Schmelz ($r = 0,961$) (OHTANI et al. 1995).

OHTANI fertigte 1995 longitudinale Schnitte aus dem Zentrum unterer mittlerer Schneidezähne an und ermittelte das Verhältnis von D- zu L - Asparaginsäure mittels Gaschromatographie über die gesamte Schnittfläche. Die Korrelation zwischen dem Verhältnis von D- zu L-Racemat und dem Lebensalter gibt er mit $r = 0,95$ an. Die Differenz zwischen tatsächlichem Alter und geschätztem Alter gibt er mit ± 3 Jahren an. Die Betrachtung in longitudinaler Richtung gewonnener Dentinproben, die die gesamte Länge des Dentins erfasst, trägt dem Umstand Rechnung, dass das Verhältnis von D- zu L-Asparaginsäure in älteren Dentinpartien, also im Kronendentin, höher ist als in jüngeren, apexnahen Dentinpartien.

Gaschromatographie und Aminosäure-Analyse sind gängige Methoden zur Bestimmung des Verhältnisses der Racemate.

1994 wandten MÖRNSTAD et al. die HPLC-Technik (High Performance Liquid Chromatography) zur Bestimmung des Racemisierungsgrades an. Mit dieser im Vergleich zu den oben genannten Methoden eher unaufwendigen und kostengünstigen Methode erreichten sie bei Untersuchung der apikalen 4 mm Dentins einen Korrelationskoeffizienten von 0,97. Innerhalb eines 95%-igen Konfidenzintervalls liegt die Abweichung des vorhergesagten Alters vom tatsächlichen Alter im Bereich von $\pm 12,1$ Jahren.

Aufgrund der im Vergleich mit anderen Methoden zur Altersbestimmung anhand der Zähne überlegenen Genauigkeit der Aminosäure-Racemisierungsmethode (OGINO et al. 1985) wandten RITZ et al. diese 1995 am Lebenden an. Im Unterschied zu anderen Methoden wird bei RITZ et al. (1995) auf die Zahnextraktion verzichtet und statt dessen eine unter standardisierten Bedin-

gungen an der oralen und vestibulären Seite der Zahnkrone entnommene Dentinprobe von 1 mm Tiefe und 1 mm Durchmesser auf ihren Racemisierungsgrad hin untersucht (Abbildung 5):

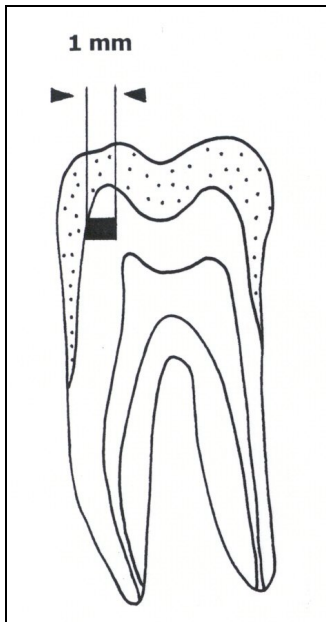


Abbildung 5:
Altersbestimmung am Lebenden mit Hilfe der Aminosäure-Racemisierungsmethode nach RITZ et al. (1995) unter Anwendung einer standardisierten Biopsie-Entnahmemethode: Untersucht werden Dentinproben von Molaren von jeweils 1 mm Länge und 1 mm Durchmesser pro Zahn, entnommen an der vestibulären und oralen Seite der Zahnkrone auf halber Höhe zwischen Kaufläche und Schmelz-Zementgrenze im rechten Winkel zur Zahnängsachse (modifiziert nach RITZ et al. 1995)

RITZ et al. (1995) geben einen Korrelationskoeffizienten zwischen Dentalalter und Racemisierungsgrad von $r = 0,99$ an. Der Standardschätzfehler des Alters des Individuums beträgt nach ihrer Methode $\pm 2,9$ Jahre.

Unter den Methoden der Altersbestimmung anhand der Zähne ist die der Bestimmung des Verhältnisses von D - zu L - Asparaginsäure im Dentin wohl die genaueste (OGINO et al. 1985). Aufgrund der geringeren Genauigkeit morphologischer Methoden zur Altersbestimmung empfehlen RITZ et al. (1995) und RITZ-TIMME et al. (2000) die Anwendung der Racemisierungsmethode als genaueste Methode der Altersbestimmung. RITZ-TIMME et al. (2000) nennen unter Bezug auf die relevanten Publikationen einen Standardfehler von $\pm 1,5$

– 4 Jahren und einen Korrelationskoeffizienten von $r = 0,97 - 0,99$ für die Methoden der Bestimmung des Racemisierungsgrades von Asparaginsäure im Dentin.

2.8 Altersbestimmung anhand der Zähne mit Hilfe epidemiologischer Kriterien

Nachstehend sind die zur Altersschätzung am Lebenden relevanten epidemiologischen Kriterien genannt, die nach ZUHRT und GESERICK (1996) in der zweiten Lebenshälfte bei der Ermittlung des Alters Aussagekraft besitzen. Diese makroskopischen Kriterien werden deskriptiv und somit noninvasiv erhoben.

2.8.1 DMFT – Index

Der DMFT-Index gibt additiv die durchschnittliche Häufigkeit kariöser (D = decayed), fehlender (M = missing) und restaurativ versorgter (F = filled) Zähne (T = teeth) in einer Population an.

Die Verlustrate des Einzelzahnes entspricht seinem Kariesbefall. Die Kurven von Kariesfrequenz und Zahnverlust verlaufen gleichartig (ENDRIS 1979). Die interindividuelle Variabilität des Kariesbefalls ist jedoch erheblich. Die Zahl der fehlenden Zähne ist ebenfalls abhängig von anthropologischen, ernährungsbedingten, kulturellen und sozialen Faktoren. Eine grob orientierende Schätzung des Lebensalters ist nach ENDRIS (1979) möglich, wenn die durchschnittlichen Zahnverlustraten durch Karies innerhalb der einzelnen Dezennien bekannt sind. Eine alleinige Beweiskraft kommt dieser Methode jedoch nicht zu. Sie dient lediglich dazu, eine Beurteilung in der Gesamtschau abzurunden (ENDRIS 1979).

ZUHRT und GESERICK (1996) benutzen zum Ausgleich der interindividuellen Variabilität im Kariesbefall eine Faustformel zur Ermittlung des DMFT-Index

zum Zwecke der Altersschätzung. Die Befunde werden additiv erfasst und wegen des konstruktionsbedingten Anstiegs des Index im Verlauf des Lebens für 5 oder 10 Jahre umfassende Altersgruppen mitgeteilt:

mit 20 Jahren werden 10 DMF-Zähne angenommen (DMFT =10), der Zuwachs in 5 Jahren beträgt 2 Zähne, Männer minus eins und Frauen plus eins. Die Verlustrate ist nach ENDRIS (1979) im mittleren Lebensalter grösser als im höheren Alter.

2.8.2 Anzahl der kariesgesunden Zähne

Die Anzahl kariesgesunder Zähne nimmt mit zunehmendem Alter entsprechend der ansteigenden Anzahl der DMF-Zähne ab. So sinkt die Anzahl der kariesgesunden Zähne von etwa 18 um das 20. Lebensjahr nichtlinear auf zwei jenseits des 70. Lebensjahres ab (ZUHRT und GESERICK 1996).

2.8.3 Pathologische Veränderungen des marginalen Parodonts

Hinsichtlich des Zustandes des marginalen Parodonts lassen sich nach ZUHRT und GESERICK (1996) zwei pathologische Zustände unterscheiden:

- 1) Atrophie: tritt altersbedingt generalisiert oder infolge Dysfunktion lokalisiert auf; ist erkennbar an der Freilegung der Zahnhäse; weist keine Entzündungszeichen auf
- 2) Parodontitis: zu erkennen an Zahnstein, Konkrementansatz und Zahnlockerung; stellt ein entzündliches Geschehen dar

GUSTAFSON (1955) erfasst mit seiner Methode die altersbedingte Involution des Parodontalgewebes. Es handelt sich hierbei per definitionem um eine Atrophie des Parodonts. Diese altersbedingte Atrophie lässt sich durch das Fehlen pathologisch gesteigerter entzündlicher Prozesse am marginalen Parodont von der Parodontitis abgrenzen (FRÖHLICH 1965, ZUHRT und GESERICK 1996).

Die klinischen Merkmale der Parodontitis als pathologisch-entzündlicher Veränderung des Parodonts sind am Lebenden zu beurteilen (ZUHRT und GESERICK 1996). Nach PAWLIK (1978) weisen in weniger als 20% der Fälle unter 20-Jährige eine profunde Parodontitis auf. Bei den über 30-Jährigen sind es ca. 50 % und bei den Siebzigjährigen über 90 %.

3.0 Altersbestimmung anhand der Zähne mit Hilfe röntgenologischer Methoden

Die Anfragen der Gerichte an den forensischen Gutachter zur Bestimmung des Alters lebender Personen zum Zwecke der Klärung straf- oder sozialrechtlicher Fragestellungen nehmen zu. Aufgrund der anhaltenden Bevölkerungsströme aus ärmeren Ländern in die wohlhabenden Industrienationen finden sich vermehrt Ausländer, deren Geburtsdatum nicht zweifelsfrei dokumentiert ist.

Die Wahl der geeigneten Methode zur Altersbestimmung, in der Regel durchgeführt von Radiologen, Odontologen, Rechtsmedizinern und Anthropologen, erfolgt in Abhängigkeit vom Lebensalter des zu Untersuchenden (EIDAM et al. 1991). Die in einer gemeinsamen Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde und der Arbeitsgemeinschaft für forensische Altersdiagnostik der deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin empfohlenen Untersuchungsmethoden, zusammengestellt unter Beachtung ethischer und arztrechtlicher Gesichtspunkte für die Altersschätzung im Strafrecht zur Feststellung der Strafmündigkeit, beinhalten die körperliche Untersuchung mit Erfassung anthropometrischer Masse, der sexuellen Reifezeichen sowie möglicher altersrelevanter Entwicklungsstörungen, die Röntgenuntersuchung der linken Hand, die zahnärztliche Untersuchung mit Erhebung des Zahnstatus und Röntgenuntersuchung des Gebisses, wobei in der Regel die Orthopantomographie zum Einsatz kommt (SCHMELING et al. 2001).

Zur Klärung der Altersfrage bei Lebenden müssen Methoden der Altersschätzung zur Anwendung kommen, die neben ihrer Noninvasivität eine höchstmögliche Ergebnisgenauigkeit gewährleisten und idealerweise weiterführenden Nutzen für den Untersuchten mit sich bringen. Die Altersschätzung anhand von Röntgendarstellungen der Zähne stellt eine Methode dar, die zur Anwendung am Lebenden aufgrund ihrer Noninvasivität, ihrer guten Verfügbarkeit, ihres zusätzlichen diagnostischen Wertes und ihrer Verlässlichkeit gut geeignet scheint.

3.1 Altersbestimmung anhand der Odontogenese

Die Betrachtung der im Röntgenbild dargestellten Dentition zum Zwecke der Bestimmung des chronologischen Alters anhand des Entwicklungsstandes der Zähne sowohl der ersten als auch der zweiten Dentition findet weit verbreitete Anwendung. Vor allem die Analyse der Gebissentwicklung während des Zahndurchbruchs und des Zahnwechsels erlaubt eine genaue Altersbestimmung. Sie findet ihre Fortführung in der Betrachtung der Mineralisationsvorgänge der Kronen und Wurzeln der zweiten Dentition.

Die Bestimmung des Dentitionsalters mit Hilfe von Tabellen, mit denen der röntgenologische und klinische Entwicklungsstand der Zähne verglichen werden, wird auch als Atlas-Methode bezeichnet. Die Dentitionstabelle nach SCHOUR und MASSLER (1940; siehe Abbildung 6 Seite 37) ist ein klassisches Beispiel für eine Tabelle, die nach der Atlas-Methode benutzt wird.

Die Betrachtung des Dentitionsstandes anhand des Röntgenbildes stellt eine verlässliche Methode zur Altersbestimmung dar, da die Odontogenese einschliesslich der Zahndurchbruchzeiten polygen determiniert ist und daher kaum durch äussere Einflüsse verändert wird (GRON 1962, GANDINI et al. 1989, FRUCHT et al. 2000).

Sie kommt im Kindes-, Jugend- und frühen Erwachsenenalter zur Anwendung, da sie innerhalb dieser Lebensspanne die grösste Aussagekraft besitzt. Beurteilt werden der Zahndurchbruch der Milch-, Ersatz- und Zuwachszähne oder der Stand der Mineralisation (FRUCHT et al. 2000). Innerhalb dieser Gruppe kann das Alter anhand des Entwicklungsstandes der Dentition mit 95% Konfidenzintervall auf +/- 2 bis 4 Jahre genau angegeben werden.

Eine Beurteilung des Alters anhand des Zahndurchbruchs wurde bereits 1921 von MATIÉKA vorgenommen, der die Anzahl der in die Mundhöhle durchgebrochenen Zähne mit dem mittleren chronologischen Alter korrelierte. Die Abfolge der Mineralisation im Milchgebiss zur forensischen Anwendung beschrieb

KRAUS 1959. JOHANSON stellte 1971 fest, dass die Durchbruchzeiten der Milchzähne von Kindern unterschiedlicher Nationalitäten nicht voneinander abweichen. Die Arbeiten von DEMIRJIAN et al. (1973), FRUCHT et al. (2000) und WILLEMS et al. (2001) kommen hingegen zu dem Ergebnis, dass das Zahnalter regional unterschiedlich ist. Sie weisen daher darauf hin, dass Zahnalterstabellen für die jeweils zu untersuchende Population zu erstellen sind und auch nur für der jeweiligen Population zugehörige Patienten Gültigkeit besitzen. Auch erfolgt der Zahndurchbruch bei Mädchen etwas früher als bei Jungen. Ebenfalls bestehen Unterschiede in der Eruptionszeit von Oberkiefer- und Unterkieferzähnen.

1940 stellten SCHOUR und MASSLER fest, dass die Zahnmineralisation ein gleich bleibender, kontinuierlicher Prozess ist und erarbeiteten auf Grundlage dieser Erkenntnis ihre Tabelle der Zahnentwicklungsstadien (siehe Abbildung 6 Seite 37). 1966 schlug NAWRATH die Lebensaltersschätzung anhand der Ober- und Unterkiefer-Zahnkeime in der Panoramaschichtaufnahme vor. Verschiedene weitere Autoren veröffentlichten Verfahren zur Beurteilung des Alters anhand der Odontogenese unter Einsatz von Röntgenbildern, so zum Beispiel DEMIRJIAN et al. (1973), DEMIRJIAN und GOLDSTEIN (1976) oder STAAF et al. (1991). In Abhängigkeit von der jeweiligen Untersuchungsmethode und vom untersuchten Patientenkollektiv, der Anzahl der untersuchten Zähne und der Zuteilung der Entwicklungsstadien werden unterschiedliche Ergebnisse in der Alterszuordnung erzielt (ZUHRT 1978). Ebenfalls ist das Ergebnis abhängig von der zugrunde gelegten Tabelle.

Mit Hilfe von Röntgenbildern können Spuren der beginnenden Mineralisation sich entwickelnder Zähne schon im frühen Stadium der Mineralisation koronaler Anteile der Milchzahnkrone exakt bestimmt werden (WHITTAKER und McDONALD 1993). Eine Bewertung dieses fortschreitenden Prozesses erfolgt unter Bezugnahme auf die unterschiedlichen Zahntypen.

Die Auswertung des Standes der Zahnentwicklung ist der Betrachtung der Durchbruchzeiten vorzuziehen (NAMBIAR et al. 1996), da der Durchbruch eines Zahnes in die Mundhöhle von exogenen Faktoren wie zum Beispiel Trauma, dentalem Engstand und anderem beeinflusst werden kann.

In der Praxis, besonders in der Kieferorthopädie, finden heute Mineralisations- oder Dentitionstabellen weit verbreitete Anwendung zur Beurteilung des Entwicklungsstandes der Dentition. Bei Milchzähnen lässt sich zwischen dem fünften und dreizehnten Lebensjahr ebenfalls der Stand der Wurzelresorption zur Altersbestimmung heranziehen.

SCHWARZE (1994) weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass bei Kindern das chronologische Alter häufig erheblich vom Dentitionsalter abweicht. Diesen als *Dentitio tarda* bzw. *Dentitio praecox* bezeichneten Phänomenen sollte bei der Zuhilfenahme von Dentitionstabellen zu Zwecken der Altersbestimmung bei Kindern Rechnung getragen werden. Ebenfalls unterscheidet sich das Dentitionsalter bei Mädchen von dem bei Jungen. So beträgt nach ZUHRT (1978) bei gleichem Entwicklungsstand der bleibenden Zähne das Alter von Mädchen circa 95% des Alters von Jungen. Auch regionale Unterschiede im Dentitionsablauf sind zu beachten (FRUCHT et al. 2000).

Eine der bekanntesten und gebräuchlichsten Tabellen zur Beurteilung des Entwicklungsstandes sowohl der Milchzähne als auch der Ersatz- und Zuwachszähne ist die Tabelle nach SCHOUR und MASSLER (1940), die im Schema den zeitlichen Ablauf der Zahnentwicklung beider Dentitionen darstellt. Sie dient zur Bestimmung des Dentitionsalters und wird benutzt, indem der klinische und röntgenologische Entwicklungsstand der Zähne mit der Tabelle verglichen und dem in der Tabelle angegebenen Altersintervall zugeordnet wird. Betrachtungskriterien sind die Ausbildung der Milchzahnkronen, die Chronologie der ersten Dentition und die Mineralisation der Zahnkeime der zweiten Dentition. Auch der Resorptionsstand der Milchzahnwurzeln kann zur Beurteilung des Dentitionsalters herangezogen werden.

Zur Erstellung ihrer Tabelle definierten SCHOUR und MASSLER ca. 20 Stadien dentaler Entwicklung in ihrer chronologischen Abfolge, beginnend mit dem 4. Monat nach der Geburt bis hin zum 21. Lebensjahr. Abbildung 6 zeigt einen Auszug aus ihrer Tabelle:

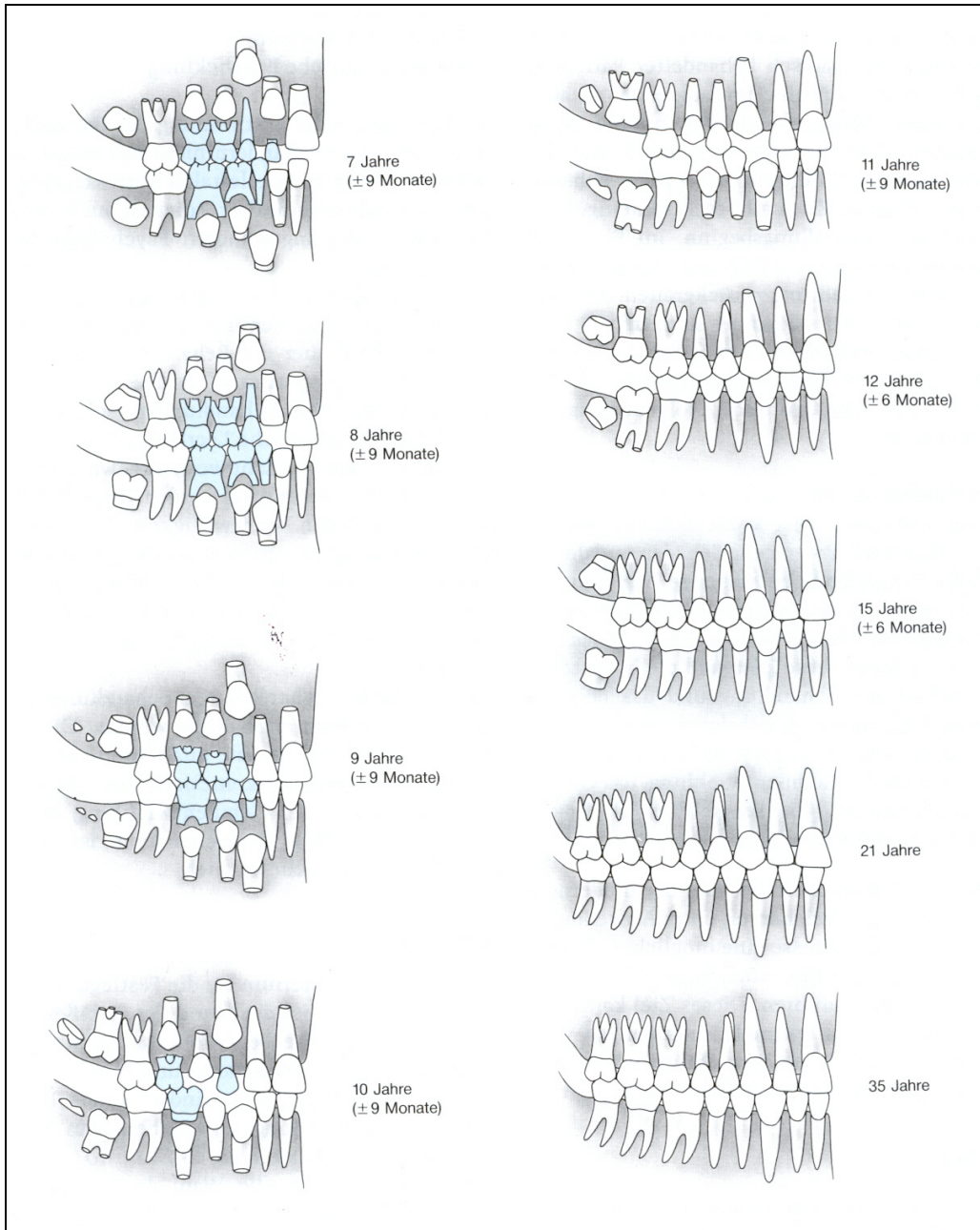


Abbildung 6: Ausschnitt aus der modifizierten Dentitionstabelle zur Bestimmung des Dentitionsalters nach SCHOUR und MASSLER. Die Tabelle stellt die Entwicklungsstadien und Durchbruchzeiten der Zähne dar und korreliert sie mit dem Dentitionsalter (aus: Praxis der Zahnheilkunde 11, Kieferorthopädie I, S. 132 Abb. 1, Hrsg.: G. SCHMUTH, Urban und Schwarzenberg, 3. Aufl. 1994)

MOORREES et al. betrachteten 1963 die Entwicklung der Zähne der zweiten Dentition anhand von Röntgenaufnahmen von der initialen Höckerbildung bis hin zum kompletten Schluss des Apex und definierten für die Zähne 11/21 und 31/41 bis 38/48 14 Entwicklungsstadien, die sie dem chronologischen Alter zuordneten. Sie differenzierten hierbei zwischen ein- und mehrwurzigen Zähnen und erstellten Referenztabellen für beide Geschlechter.

1987 veröffentlichte BENNETT, basierend auf der Arbeit von MOORREES et al. (1963), eine Zusammenstellung unterschiedlicher Tabellen zur Altersbestimmung, darunter auch detaillierte Tabellen zur Altersbestimmung anhand des Entwicklungsstandes der Zähne der ersten und zweiten Dentition.

Abbildung 7 zeigt ein Beispiel für eine Tabelle nach MOORREES et al. (1963) aus BENNETT (1987). Diese gibt die Stadien der Zahnentwicklung für permanente Unterkiefer-Molaren wieder (Abbildung 7):

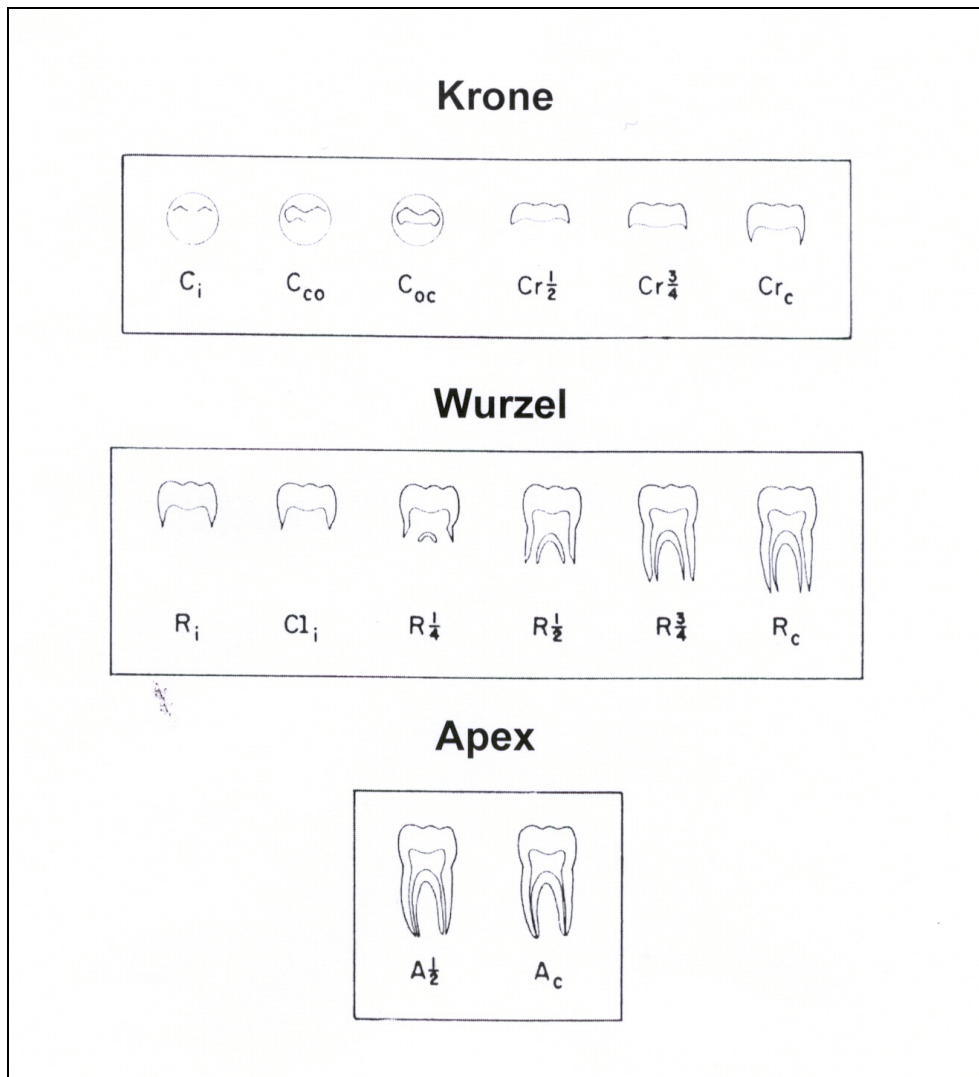


Abbildung 7:
 Stadien der Zahnentwicklung bei permanenten Unterkiefer-Molaren; C_i = beginnende Formation der Höcker, C_{co} = Vereinigung der Höcker, C_{oc} = Höcker komplett ausgebildet, $Cr_{\frac{1}{2}}$ = Krone zur Hälfte ausgebildet, $Cr_{\frac{3}{4}}$ = Krone zu ¾ ausgebildet, Cr_c = Krone komplett ausgebildet, R_i = beginnende Wurzelbildung, Cl_i = beginnende Furkationsbildung, $R_{\frac{1}{4}}$ = Wurzel zu ¼ ausgebildet, $R_{\frac{1}{2}}$ = Wurzel zu Hälfte ausgebildet, $R_{\frac{3}{4}}$ = Wurzel zu ¾ ausgebildet, R_c = Wurzel komplett ausgebildet, $A_{\frac{1}{2}}$ = Apex zur Hälfte geschlossen, A_c = Apex geschlossen (modifiziert nach MOORREES et al., 1963)

Mit Hilfe der von MOORREES et al. (1963) veröffentlichten Tabellen zur Ermittlung des Alters anhand der Analyse des Entwicklungsstandes der Zähne lässt sich jedem Stadium der Entwicklung das Lebensalter in Jahren zuordnen.

1973 stellten DEMIRJIAN et al. ein vereinfachtes Verfahren zur Schätzung des chronologischen Alters anhand der Zahnentwicklung vor, das auf der Beurteilung von 8 Entwicklungs- bzw. Mineralisationsstadien beruht (Stadium A bis H).

Untersucht wurden die Röntgenbilder von ca. 3000 zwei- bis zwanzigjährigen frankokanadischen Mädchen und Jungen.

Die Methode verzichtet auf die Bestimmung der Reifestadien der Zähne durch absolute Längenmessungen, sondern arbeitet mit der Beurteilung der Relation von Kronen- zu Wurzellänge beziehungsweise der Form des Zahnkeimes. Die Autoren führten ihre Analyse an den ersten sieben Zähnen des 3. Quadranten durch.

Als Ergebnis ihrer statistischen Analysen konnten sie für die von ihnen untersuchte Population jedem der sieben Zähne für fast jedes der 8 Entwicklungsstadien einen sogenannten Reife-Score zuordnen. Die Zuordnung der Scores zum jeweiligen Entwicklungsstadium, getrennt nach Geschlecht, geben die Tabellen 4 und 5 wieder:

Zahn	Entwicklungsstadium							
	A	B	C	D	E	F	G	H
31				0	1.9	4.1	8.2	11.8
32			0	3.2	5.2	7.8	11.7	13.7
33			0	3.5	7.9	10	11	11.9
34		0	3.4	7	11	12.3	12.7	13.5
35	1.7	3.1	5.4	9.7	12	12.8	13.2	14.4
36			0	8	9.6	12.3	17	19.3
37	2.1	3.5	5.9	10.1	12.5	13.22	13.6	15.4

Tabelle 4:
Reife-Scores für Jungen für die Entwicklungsstadien A bis H nach DEMIRJIAN et al. (1973)

Zahn	Entwicklungsstadium							
	A	B	C	D	E	F	G	H
31				0	2.4	5.1	9.3	12.9
32			0	3.2	5.6	8.0	12.2	14.2
33			0	3.8	7.3	10.3	11.6	12.4
34		0	3.7	7.5	11.8	13.1	13.4	14.1
35	1.8	3.4	6.5	10.6	12.7	13.5	13.8	14.6
36			0	4.5	6.2	9.0	14.0	16.2
37	2.7	3.9	6.9	11.1	13.5	14.2	14.5	15.6

Tabelle 5:
Reife-Scores für Mädchen für die Entwicklungsstadien A bis H nach DEMIRJIAN et al. (1973)

Durch Addition der 8 Reifescorwerte pro Patient ergibt sich ein Gesamt-Reifescore, auch als Scoresumme bezeichnet. Diese Scoresumme hat einen Wert zwischen 0 und 100 und wird in Abhängigkeit vom Geschlecht ermittelt. Mit Hilfe der Tabellen 6 und 7 kann der Gesamt-Reifescore in das chronologische Alter übersetzt werden:

Alter	Score	Alter	Score	Alter	Score	Alter	Score	Alter	Score
3	12.4	5.6	30.3	8.2	75.1	10.8	91.6	13.4	96
3.1	12.9	5.7	31.1	8.3	76.4	10.9	91.8	13.5	96.1
3.2	13.5	5.8	31.8	8.4	77.7	11	92	13.6	96.2
3.3	14	5.9	32.6	8.5	79	11.1	92.2	13.7	96.3
3.4	14.5	6	33.6	8.6	80.2	11.2	92.5	13.8	96.4
3.5	15	6.1	34.7	8.7	81.2	11.3	92.7	13.9	96.5
3.6	15.6	6.2	35.8	8.8	82	11.4	92.9	14	96.9
3.7	16.2	6.3	36.9	8.9	82.8	11.5	93.1	14.1	96.7
3.8	17	6.4	39	9	83.6	11.6	93.3	14.2	96.8
3.9	17.6	6.5	39.2	9.1	84.3	11.7	93.5	14.3	96.9
4	18.2	6.6	40.6	9.2	85	11.8	93.7	14.4	97
4.1	18.9	6.7	42	9.3	85.6	11.9	93.9	14.5	97.1
4.2	19.7	6.8	43.6	9.4	86.2	12	94	14.6	97.2
4.3	20.4	6.9	45	9.5	86.7	12.1	94.2	14.7	97.3
4.4	21	7	46	9.6	87.2	12.2	94.4	14.8	97.4
4.5	21.7	7.1	48.3	9.7	87.7	12.3	94.5	14.9	97.5
4.6	22.4	7.2	50	9.8	88.2	12.4	94.6	15	97.6
4.7	23.1	7.3	52	9.9	88.6	12.5	94.8	15.1	97.7
4.8	23.8	7.4	54.3	10	89	12.6	95	15.2	97.8
4.9	24.6	7.5	56.8	10.1	89.3	12.7	95.1	15.3	97.8
5	25.4	7.6	59.6	10.2	89.7	12.8	95.2	15.4	97.9
5.1	26.2	7.7	62.5	10.3	90	12.9	95.4	15.5	98
5.2	27	7.8	66	10.4	90.3	13	95.6	15.6	98.1
5.3	27.8	7.9	69	10.5	90.6	13.1	95.7	15.7	98.2
5.4	28.6	8	71.6	10.6	91	13.2	95.8	15.8	98.2
5.5	29.5	8.1	73.5	10.7	91.3	13.3	95.9	15.9	98.3
								16	98.4

Tabelle 6:
Gesamt-Reifescoreres für Jungen und entsprechende Alter nach DEMIRJIAN et al. (1973)

Alter	Score	Alter	Score	Alter	Score	Alter	Score	Alter	Score
3	13.7	5.6	34	8.2	81.2	10.8	94	13.4	97.7
3.1	14.4	5.7	35	8.3	82.2	10.9	94.2	13.5	97.8
3.2	15.1	5.8	36	8.4	83.1	11	94.5	13.6	98
3.3	15.8	5.9	37	8.5	84	11.1	94.7	13.7	98.1
3.4	16.6	6	38	8.6	84.8	11.2	94.9	13.8	98.2
3.5	17.3	6.1	39.1	8.7	85.3	11.3	95.1	13.9	98.3
3.6	18	6.2	40.2	8.8	86.1	11.4	95.3	14	98.3
3.7	18.8	6.3	41.3	8.9	86.7	11.5	95.4	14.1	98.4
3.8	19.5	6.4	42.5	9	87.2	11.6	95.6	14.2	98.5
3.9	20.3	6.5	43.9	9.1	87.8	11.7	95.8	14.3	98.6
4	21	6.6	45.2	9.2	88.3	11.8	96	14.4	98.7
4.1	21.8	6.7	46.7	9.3	88.8	11.9	96.2	14.5	98.8
4.2	22.5	6.8	48	9.4	89.3	12	96.3	14.6	98.9
4.3	23.2	6.9	49.5	9.5	89.8	12.1	96.4	14.7	99
4.4	24	7	51	9.6	90.2	12.2	96.5	14.8	99.1
4.5	24.8	7.1	52.9	9.7	90.7	12.3	96.6	14.9	99.1
4.6	25.6	7.2	55.5	9.8	91.1	12.4	96.7	15	99.2
4.7	26.4	7.3	57.8	9.9	91.4	12.5	96.8	15.1	99.3
4.8	27.2	7.4	61	10	91.8	12.6	96.9	15.2	99.4
4.9	28	7.5	65	10.1	92.1	12.7	97	15.3	99.4
5	28.9	7.6	68	10.2	92.3	12.8	97.1	15.4	99.5
5.1	29.7	7.7	71.8	10.3	92.6	12.9	97.2	15.5	99.6
5.2	30.5	7.8	75	10.4	92.9	13	97.3	15.6	99.6
5.3	31.3	7.9	77	10.5	93.2	13.1	97.4	15.7	99.7
5.4	32.1	8	78.8	10.6	93.5	13.2	97.5	15.8	99.8
5.5	33	8.1	80.2	10.7	93.7	13.3	97.6	15.9	99.9
								16	100

Tabelle 7:
Gesamt-Reifescorings für Mädchen und entsprechende Alter nach DEMIRJIAN et al. (1973)

WILLEMS et al. (2001) wendeten die Methode von DEMIRJIAN et al. (1973) auf eine belgisch-kaukasische Population (wird in der Publikation nicht näher erläutert) an, wobei sie die Originalmethode modifizierten und so die bei Anwendung der Originalmethode auftretende Überschätzung des Alters reduzierten. Sie stellten neue Tabellen vor, mit deren Hilfe die Reife-Scores direkt in das chronologische Alter zu übersetzen sind.

FRUCHT et al. (2000) untersuchten unter Zugrundelegung der Methode nach DEMIRJIAN et al. (1973) das Zahnalter an einer Population im südwestdeutschen Raum, indem sie Panoramaschichtaufnahmen von über 1000 Jungen und Mädchen auswerteten.

FRUCHT et al. (2000) ermittelten für das von ihnen untersuchte südwestdeutsche Kollektiv eine Korrelation des Parameters Scoresumme mit dem chronologischen Alter von $r = 0,85$ für Mädchen und $r = 0,89$ für Jungen. Die Ergebnisse wurden in Zahnalterstabellen für südwestdeutsche Mädchen und Jungen zusammengefasst. Die Arbeiten von FRUCHT et al. (2000) und WILLEMS et al. (2001) unterstreichen die Forderung DEMIRJIANs nach regionalen Zahnalterstabellen.

Auch der Stand des Wurzelwachstums am durchgebrochenen Zahn gibt Aufschluss über das Alter eines Menschen. Hier wird am Röntgenbild die Apikalregion betrachtet und/oder die momentane Länge der Wurzel. Das Wurzelwachstum im Milchgebiss ist in der Regel mit 2 Jahren und 3 Monaten abgeschlossen. Das Wurzelwachstum der bleibenden Zähne ist durchschnittlich 3 Jahre nach Durchbruch in die Mundhöhle beendet. Der Zahndurchbruch beginnt durchschnittlich mit dem sechsten Lebensmonat und endet mit dem Durchbruch des zweiten Molaren im vierzehnten Lebensjahr (PILZ et al. 1980). SCHRÖDER (2000) gibt das Durchbruchsintervall der dritten Molaren mit 17 – 19 Jahren an.

3.1.1 Röntgenologische Bestimmung des Entwicklungsstandes der Weisheitszähne

Alle Wachstumsvorgänge, so auch die Dentitionsentwicklung, verlaufen mit zunehmendem Alter langsamer und kommen schliesslich zum Stillstand. Etwa ab dem 25. Lebensjahr ist nach EIDAM et al. (1991) aufgrund der abgeschlossenen Entwicklung der zweiten Dentition keine Altersschätzung anhand der Dentitionsentwicklung mehr möglich.

Die Entwicklung des Weisheitszahnes kommt als letzte zum Abschluss. Daher kann die Betrachtung des Standes des Wurzelwachstums dieses Zahnes zur Altersbestimmung noch zu einem Zeitpunkt herangezogen werden, zu dem die

Entwicklung aller anderen Zahntypen bereits abgeschlossen ist. So ist das Wurzelwachstum des zweiten Zuwachszahnes nach SCHRÖDER (2000) spätestens mit 16 Jahren abgeschlossen.

Die Mineralisation der Weisheitszahnwurzeln beginnt im Mittel mit dem 15. bis 16. Lebensjahr und endet durchschnittlich mit dem 20. bis 21. Lebensjahr mit dem Verschluss des Apex (WILLERSHAUSEN et al. 2001). Die im Rahmen strafrechtlicher Verfolgungen relevanten Altersgrenzen von 14, 16, 18 und 21 Jahren fallen in dieses Intervall. Daher kann die Betrachtung des Entwicklungsstandes der Weisheitszähne zur Altersbestimmung zwischen dem 15. und 21. Lebensjahr gute Dienste leisten.

1984 stellten HARRIS und NORTJÉ bei Farbigen den Entwicklungsstand der mesialen Wurzel des Zahnes 48 dem Alter gegenüber. Sie identifizierten fünf Entwicklungsstadien der Wurzel, gemessen mit einer Schieblehre von der Schmelz-Zementgrenze bis zum apikalsten Punkt der Wurzel (Abbildung 8), denen sie entsprechende Altersintervalle zuordnen konnten:

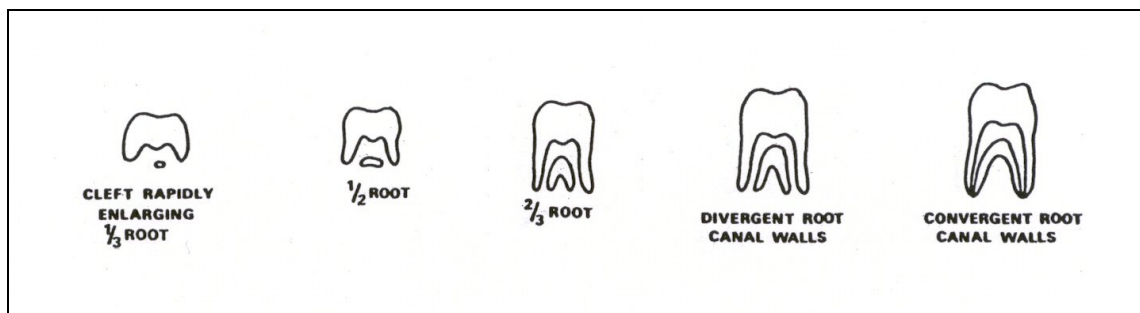


Abbildung 8:
Die von HARRIS und NORTJÉ (1984) angegebenen fünf Stadien der Wurzelentwicklung dritter Unterkiefer-Molaren (aus: Harris, M.J.P., Nortjé, C.J.: The mesial root of the third mandibular molar – a possible indicator of age. J Forensic Odonto-Stomatol 2, 39-43, 1984)

Den Entwicklungsstadien der Wurzeln entsprechen die folgenden Altersintervalle:

1. 1/3 Root:

Durchschnittsalter 16,8 +/- 1,4 Jahre

Durchschnittslänge der Wurzel: 5,3 mm +/- 2,1 mm

2. 1/2 Root:

Durchschnittsalter 17,2 +/- 1,3 Jahre

Durchschnittslänge der Wurzel: 8,6 mm +/- 1,8 mm

3. 2/3 Root:

Durchschnittsalter 17,8 +/- 1,4 Jahre

Durchschnittslänge der Wurzel: 12,9 mm +/- 1,4 mm

4. Divergent Root Canal Walls:

Durchschnittsalter 18,5 +/- 1,1 Jahre

Durchschnittslänge der Wurzel: 15,4 mm +/- 1,9 mm

5. Convergent Root Canal Walls:

Durchschnittsalter 19,2 +/- 1,2 Jahre

Durchschnittslänge der Wurzel: 16,1 mm +/- 2,2 mm

HARRIS und NORTJÉ (1984) fanden signifikante Längenunterschiede in den Wurzeln der Weisheitszähne in Abhängigkeit vom Vorhandensein oder Fehlen des ersten und zweiten Molaren. So waren die Wurzeln der Weisheitszähne bei Fehlen der ersten und zweiten Molaren länger. Unterschiede zwischen den Wurzellängen weiblicher und männlicher Patienten und deren Relation zum Alter beobachteten sie nicht.

Mit der Methode von HARRIS und NORTJÉ (1984) lässt sich das Alter mit einer Abweichung von 31 Monaten in 95% der Fälle bestimmen, mit einer Abweichung von 40 Monaten vom tatsächlichen Alter in 99% der Fälle.

WILLERSHAUSEN et al. (2001) untersuchten die Orthopantomogramme von insgesamt 1202 Patienten, die zum Zeitpunkt der Röntgenaufnahme 15 bis 24 Jahre alt waren und stellten eine deutliche Korrelation der Wurzelentwicklung der Molaren mit dem Alter fest. Sie wandten das von KULLMANN et al. 1992 zur Bewertung der dritten Molaren im Unterkiefer erarbeitete Schema auf die Weisheitszähne beider Kiefer an:

Grad 1 oder Ri - R1/4: Die Wurzelentwicklung hat bereits begonnen, beträgt

aber weniger als ein Viertel der geschätzten zukünftigen Wurzellänge

Grad 2 oder R1/4 – R1/2: Die Wurzellänge beträgt mehr als ein Viertel aber weniger als die Hälfte der geschätzten Länge

Grad 3 oder R1/2 – R3/4: die Wurzellänge beträgt mehr als die Hälfte aber weniger als drei Viertel der geschätzten Länge

Grad 4 oder R3/4 - Rc: die Wurzellänge beträgt mehr als drei Viertel aber weniger als die geschätzte Gesamtlänge

Grad 5 oder Rc - Aci: die gesamte geschätzte Wurzellänge ist erreicht, aber die apikale Konstriktion hat noch nicht begonnen

Grad 6 oder Aci - Ac: die apikale Konstriktion ist noch nicht abgeschlossen

Grad 7 oder Ac: der Apex ist verschlossen und die Wurzelentwicklung ist beendet

Die Kalzifikation der Weisheitszahnwurzeln (= Ri – R1/4) beginnt nach WILLERSHAUSEN et al. (2001) im Mittel mit 16 Jahren. Die Wurzel des dritten Molaren ist zu ca. einem Viertel kalzifiziert (= R1/4) bei einem mittleren Alter von 16,9 Jahren. Bis zur Hälfte ihrer zukünftigen Länge (= R1/2) ist die Weisheitszahnwurzel im Mittel mit 17,2 Jahren mineralisiert. Zu drei Vierteln (= R3/4) ist die Mineralisation abgeschlossen mit im Mittel 17,7 Jahren. Rc beschreibt das Entwicklungsstadium der Wurzel, in dem die gesamte Wurzellänge erreicht ist, jedoch die apikale Konstriktion noch nicht begonnen hat. WILLERSHAUSEN et al. (2001) geben für dieses Stadium ein mittleres Alter von 18,2 Jahren an. Der Beginn der apikalen Konstriktion bei voller Wurzellänge (= Aci) setzt ein bei einem mittleren Alter von 19,7 Jahren. Beendet ist die Wurzelentwicklung der Weisheitszähne nach Verschluss des Apex (=Ac) bei einem mittleren Alter von 21,3 Jahren.

Der Vergleich der Wurzelentwicklung zwischen Ober- und Unterkiefer-Weisheitszähnen ergab in 68% der Fälle eine Übereinstimmung des Entwicklungsstandes für OK und UK. In 16% ist der OK eine Entwicklungsstufe weiter, bei weiteren 6% zwei Stufen. Die Entwicklungsstufe Ri tritt mandibulär in einem früheren Alter ein als maxillär. Bei allen weiteren Entwicklungsstufen verläuft

die Wurzelentwicklung im Oberkiefer schneller und ist daher auch eher abgeschlossen. Ein Geschlechtsvergleich ergab einen Wachstumsvorsprung der Jungen gegenüber den Mädchen von im Mittel 0,7 Jahren sowohl für den Ober- als auch für den Unterkiefer. Ein Vergleich unterschiedlicher ethnischer Bevölkerungsgruppen ergab keine signifikanten Entwicklungsunterschiede der Weisheitszahnwurzeln. Die tatsächlichen Alter und die anhand des Entwicklungsstandes der Weisheitszähne ermittelten Alter lagen bei der Studie von WILLERSHAUSEN et al. (2001) innerhalb des 95 Prozent Konfidenzintervalls nicht mehr als 1,1 Jahre auseinander, wobei die Autoren darauf hinweisen, dass die Altersminima und –maxima weitaus grössere Spannweiten zulassen. Sie fordern daher die Berücksichtigung weiterer Parameter als zusätzlicher Hilfsmittel zur Altersschätzung.

Die biologische Variabilität der Weisheitszahnentwicklung ist gross; sie reicht bis hin zu nicht angelegten oder nicht durchbrechenden Weisheitszähnen. ENDRIS (1979) bezeichnet daher den dritten Molaren als im Verlaufe seiner Entwicklung geeignet zu einer begrenzten Altersschätzung. HARRIS und NORTJÉ (1984) bezeichnen ihre Methode, die sich auf die Entwicklung der mesialen Wurzel des unteren Weisheitszahnes stützt, als geeignet zur Altersbestimmung zwischen dem 15. und 21. Lebensjahr. MINCER et al. gaben 1993 innerhalb eines 95%igen Konfidenz-Intervalls die Abweichung der Vorhersage vom tatsächlichen Alter mit 4,8 Jahren an. WILLERSHAUSEN et al. (2001) weisen darauf hin, dass die Altersschätzung anhand des Entwicklungsstandes der Weisheitszähne unter Berücksichtigung weiterer Parameter erfolgen sollte, um das Ergebnis der Altersschätzung anhand des Orthopantomogramms zu verifizieren. Gleichzeitig sollte die Beurteilung der Weisheitszahnentwicklung für Oberkiefer und Unterkiefer getrennt erfolgen und geschlechterspezifisch durchgeführt werden.

Nach MATSIKIDIS (1981) sind auf Angaben über Zahnbildung, Verkalkungsphasen und Durchbruch der ersten und zweiten Dentition beruhende Daten zur Altersbestimmung bis zum 15. Lebensjahr gut verwertbar.

Auch RITZ-TIMME et al. (2000) empfehlen für die Altersschätzung in der Periode der Kindheit und Adoleszenz die radiologische Untersuchung des dentalen Entwicklungsstandes und weisen darauf hin, dass morphologische Methoden, die nach Abschluss des Wurzelwachstums des Weisheitszahnes Anwendung finden, weniger präzise sind.

WILLERSHAUSEN et al. (2001) geben die Abweichung vom tatsächlichen Alter bei Altersschätzung anhand des Entwicklungsstandes der Weisheitszahnwurzeln mit +/- 2 bis 4 Jahren an und bezeichnen die Altersschätzung anhand dieser Methode als aufgrund der grossen biologischen Variabilität der Weisheitszahnentwicklung als nur bedingt zur Altersschätzung geeignet. Sie weisen jedoch ebenfalls auf den Nutzen der Methode hin, den sie als Ergänzung anderer Methoden zur Altersbestimmung besitzt.

Nach Abschluss der Entwicklung der zweiten Dentition und abgeschlossenem Wurzelwachstum des dritten Molaren gibt es keinen festen und zuverlässigen Anhaltspunkt mehr für die Altersbestimmung anhand der objektivierbaren Entwicklungsprozesse der Dentitionen.

3.2 Röntgenologische Darstellung und Ausmessung des Pulpenkavums

Während des gesamten Lebens findet eine ständige physiologische Dentinbildung statt. Nach KIESEL (1973) stellt die Röntgenaufnahme eine geeignete Methode zur Darstellung dieses Prozesses dar.

Der Vorteil der Röntgenaufnahme als Hilfsmittel zur Altersbestimmung im Vergleich zu anderen Methoden besteht darin, dass der Zahn im Kieferknochen belassen werden kann und somit nicht invasiv vorgegangen werden muss, um die durch Sekundärdentinablagerung verursachte Grössenveränderung der Pulpa zu erfassen.

Nach KIESEL (1973) besteht ein gesicherter Zusammenhang zwischen den

approximalen Wandstärken der Oberkiefer-Schneidezähne und denen der Molaren und dem Lebensalter, wobei die Wandstärke mit zunehmendem Alter steigt.

Die typischen Anlagerungsstellen für Sekundärdentin sind nach ENDRIS (1979) die Dach- und Basisregion der Pulpenhöhle, die seitlichen Wände seien kaum beteiligt.

PRAPANOCH et al. (1992) gelangten in ihrer Untersuchung, durchgeführt an Bissflügelaufnahmen, zu dem Ergebnis, dass die Messung von Höhe und Breite der Pulpenkammer keine verlässliche Methode zur Altersbestimmung darstellt. Sie fanden keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Höhe und Breite der Pulpa und dem Lebensalter.

3.3 Handröntgen-Methode

Eine Methode zur Beurteilung des skelettalen Alters stellt die Röntgenaufnahme der Hand dar. Röntgenaufnahmen des Handskelettes werden seit den 20er Jahren dieses Jahrhunderts zur Beurteilung des Standes der skelettalen Entwicklung herangezogen. Betrachtet werden die Ossifikationszentren der einzelnen Knochen der Hand. Die Auswertung der gewonnenen Ergebnisse erfolgt durch Vergleich des aktuellen Entwicklungsstadiums des untersuchten Handskeletts mit Tabellen über die altersgerechte Beziehung definierter Entwicklungsstadien des Handskeletts zum skelettalen Entwicklungsstand.

Einsatz finden Handröntgenaufnahmen in der Kieferorthopädie zur Ermittlung des skelettalen Alters. Das anhand einer Handröntgenaufnahme ermittelte skelettale Alter und die abgeleitete Wachstumsvorhersage beeinflussen die kieferorthopädische Diagnosestellung und Behandlungsplanung.

Die Methode beruht auf der Interpretation der von BJÖRK (1972) und GRAVE und BROWN (1976) definierten, auf dem Röntgenbild sichtbaren Reifeindikatoren, die zur Bestimmung des Alters herangezogen werden (Abbildung 9):

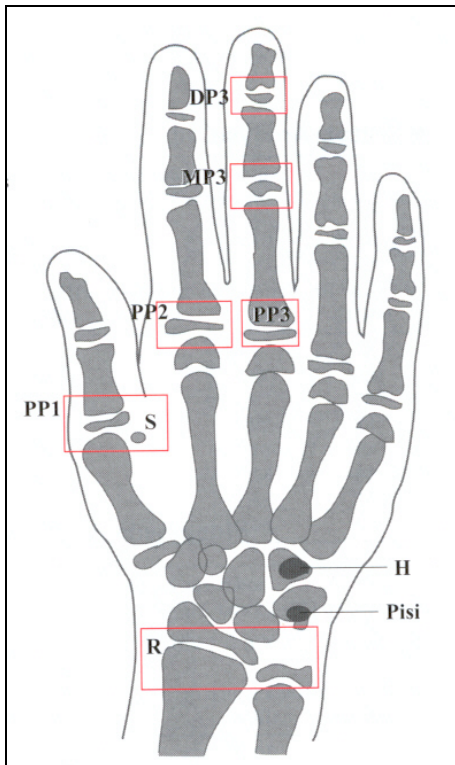


Abbildung 9:

Reifeindikatoren des Handskeletts zur Beurteilung des skelettalen Alters im Handröntgenbild (PP1 = -Epiphyse der proximalen Phalanx des Daumens, PP2 = Epiphyse der proximalen Phalanx des Zeigefingers, PP3 = Epiphyse der proximalen Phalanx des Mittelfingers, MP3 = Epiphyse der mittleren Phalanx des Mittelfingers, DP3 = Epiphyse der distalen Phalanx des Mittelfingers, S = Sesambein des M. adductor brevis des Daumens, R = distale Epiphyse des Radius (Speiche), H = Hamulus ossis hamati (Hakenbein), Pisi = Os pisiforme (Erbsenbein)) (aus: T. WEBER, Memorix Zahnmedizin, Abb. Seite 144 oben, Georg Thieme Verlag, 1. Aufl. 1999)

Den Reifeindikatoren werden entsprechende Reifungsstadien zugeordnet. Die Definition der 9 von BJÖRK (1972) und GRAVE und BROWN (1976) angegebenen Reifungsstadien des Handskeletts gibt Tabelle 8 wieder:

1	PP2=	gleiche Breite von Epi- und Diaphyse der proximalen Phalanx des Zeigefingers
2	MP3=	gleiche Breite von Epi- und Diaphyse der mittleren Phalanx des Mittelfingers
3	Pisi H1 R=	sichtbare Verknöcherung des Os pisiforme einsetzende Verknöcherung des Hamulus des Os hamatum gleiche Breite von Epi- und Diaphyse am Radius
4	S H2	sichtbare Mineralisation des Sesamoids am Daumen fortgeschrittene Verknöcherung des Hamulus des Os hamatum
5	MP3 cap PP1 cap R cap	Diaphyse der mittleren Phalanx des Mittelfingers wird von der Epiphyse umfasst Diaphyse der proximalen Phalanx des Daumens wird von der Epiphyse umfasst Diaphyse des Radius wird von der Epiphyse umfasst
6	DP3 u	Verknöcherung der Epiphysenlinie an der distalen Phalanx des Mittelfingers
7	PP3 u	Verknöcherung der Epiphysenlinie an der proximalen Phalanx des Mittelfingers
8	MP3 u	Verknöcherung der Epiphysenlinie an der mittleren Phalanx des Mittelfingers
9	R u	Verknöcherung der Epiphysenlinie am Radius

Tabelle 8:

Definition der 9 Reifungsstadien des Handskeletts; = : gleiche Breite von Dia- und Epiphyse; cap: Umkapselung der Diaphyse durch die Epiphyse; u: Verschmelzung von Epi- und Diaphyse

Die Zuordnung der Reifungsstadien zum entsprechenden Lebensalter stellt Tabelle 9 dar (GREULICH und PYLE 1959):

	Reifungs- stadium	Alter männlich	Alter weiblich
1.	PP2=	10,6	8,1
2.	MP3=	12,0	8,1
3.	Pisi H1 R=	12,6	9,6
4.	S H2	13,0	10,6
5.	MP3 cap PP1 cap R cap	14,0	11,0
6.	DP3 u	15,0	13,0
7.	PP3 u	15,9	13,3
8.	MP3 u	15,9	13,9
9.	R u	18,5	16,0

Tabelle 9:

Die 9 von GREULICH und PYLE definierten Reifungsstadien und die Zuordnung der entsprechenden durchschnittlichen Lebensalter bei Mädchen und Jungen

Da die Anfertigung von Handröntgenaufnahmen für kieferorthopädische Zwecke nicht nur aufgrund der vergleichsweise hohen Strahlenbelastung für den kindlichen Patienten kontrovers beurteilt wird, ist die Indikation entsprechend streng zu stellen. Nach RAKOSI und JONAS (1989) können folgende Indikationen gestellt werden:

- vor forcierter Gaumennahtdehnung
- bei der Indikation zur Bissumstellung im Rahmen der Behandlung einer skelettalen mandibulären Pro- oder Retrognathie oder eines skelettal offenen Bisses
- bei Patienten mit grosser Diskrepanz zwischen dentalem und chronologischem Alter
- bei spätem Behandlungsbeginn

Die Röntgenuntersuchung der linken Hand wird heute als eine der am besten geeigneten Methoden zur Altersdiagnostik am Lebenden zwischen dem 14. und 21. Lebensjahr angesehen (SCHMELING et al. 2001), wobei sich eine Legitimation zur Anfertigung einer Handröntgenaufnahme ohne medizinische Indikation nur nach §81 a StPO, also im Rahmen eines strafrechtlichen Ermittlungsverfahrens ergäbe (RITZ und KAATSCH 1996). Da jedoch die Zuverlässigkeit der Methode umstritten ist und der Effekt ethnischer Einflussfaktoren auf die Skelettentwicklung kontrovers diskutiert wird, ist die Eignung von Handröntgenaufnahmen zur Altersbestimmung im fraglichen Altersbereich um 16 Jahre nach FLEISCHER-PETERS (1987) zweifelhaft.

PANCHERZ und SZYSKA (2000) untersuchten die Morphologie des dritten Halswirbelkörpers von 48 Patienten zwischen 8 und 22 Jahren röntgenologisch anhand von Fernröntgenseitenbildern des Kopfes und verglichen diese mit Handröntgenaufnahmen desselben Individuums. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die morphologische Untersuchung des dritten Halswirbels nach der Methode von HASSEL und FAHRMANN (1995) genauso zuverlässig eine skelettale Reifeinteilung ermögliche wie die Handröntgenaufnahme. Diese könne

daher durch die Fernröntgenseitenaufnahme ersetzt und somit die Strahlenbelastung des Patienten verringert werden.

3.4 Methode nach MATSIKIDIS

Die von MATSIKIDIS (1981) vorgestellte Methode zur Altersbestimmung anhand von Zahnfilmen wurde entwickelt zur Altersbestimmung im Rahmen der Identifizierung unbekannter Toter. MATSIKIDIS (1981) übertrug die Methode der Altersbestimmung anhand von Dünnschliffen der Zähne nach GUSTAFSON (1955) auf den Zahnfilm, um ihre Anwendbarkeit an dieser Art der dentalen Röntgenaufnahme zu bewerten.

Die wesentlichen Vorteile der Methode nach MATSIKIDIS (1981) liegen in der Reduktion des hohen technischen Aufwandes der GUSTAFSONschen Methode, da die Anfertigung von Zahnschliffen verzichtbar wird, und der damit einhergehenden Noninvasivität der Vorgehensweise, die eine Anwendung am Lebenden grundsätzlich ermöglicht. Gleichzeitig erreichte MATSIKIDIS (1981) mit seiner Methode eine Verbesserung in der Genauigkeit der Altersaussage im Vergleich zu den von GUSTAFSON (1955) erzielten Ergebnissen.

MATSIKIDIS (1981) übernahm die von GUSTAFSON (1955) definierten altersabhängigen Parameter, die nach GUSTAFSON (1955) eine Korrelation zum Alter aufweisen:

- Abnutzung (=AB)
- Ablagerung von Sekundärdentin (=SE)
- Verschiebung der Parodontalgewebe (=PA)
- Zementablagerung (=ZE)
- Resorption (=RE)

Der Parameter Wurzeltransparenz wurde nicht in die Untersuchung einbezogen, da die Transparenz der Wurzel auf dem Röntgenbild nicht sichtbar ist.

MATSIKIDIS (1981) arbeitete bei der Erhebung seiner Messdaten mit einem Erhebungsbogen, auf dem für jeden Zahn eines Zahnfilmstatus jeder erhobenen Parameter festgehalten werden konnte, um so den Zustand jedes einzelnen Zahnes zu vermerken. Der Untersuchungsbogen ermöglichte somit die Bewertung der maximalen Punktzahl jedes der fünf Parameter für jede untersuchte Person. Ebenfalls ermöglichte der Erhebungsbogen (Abbildung 10) den Ausschluss unbestimmbarer Parameter und sollte so eine Reduktion der Fehlerquote gewährleisten:

	ZU	AB	SE	PA	ZE	RE
8	-	x	x	x	x	x
7	-	x	x	x	x	x
6	-	x	x	x	x	x
Q.K. 5	-	x	x	x	x	x
Re. 4	-	x	x	x	x	x
3	K	x	x	x	0	2
2	K	x	x	x	0	1
1	K	x	x	x	1	1
4	K	x	x	x	1	0
2	K	x	x	x	1	1
3	K	x	x	x	0	1
O.K. 4	-	x	x	x	x	x
Li. 5	-	x	x	x	x	x
6	-	x	x	x	x	x
7	-	x	x	x	x	x
8	-	x	x	x	x	x
8	-	x	x	x	x	x
7	K	x	x	x	1	1
6	-	x	x	x	x	x
U.K. 5	K	x	x	x	1	2
Re. 4	C	1	x	2	1	1
3	+	x	1	2	1	1
2	+	2	1	3	0	1
1	+	2	1	3	1	1
4	+	2	1	3	0	1
2	+	2	1	3	1	0
3	+	x	1	2	x	x
U.K. 4	F	x	x	2	0	1
Li. 5	F	2	x	2	1	0
6	-	x	x	x	x	x
7	-	x	x	x	x	x
8	-	x	x	x	x	x
Pu. ↓	Sum. Zähne	9	6	22	10	15
		5	6	9	16	16
6.7	Mit.	1.8	1.0	2.4	0.6	0.9
GESCH. ALTER : 54.5						

Abbildung 10:

Erhebungsbogen nach MATSIKIDIS mit einem Beispiel der Punktberechnung für ein Individuum. Die den einzelnen Merkmalen zugeordneten Punktwerte ergeben sich aus der Beurteilung der Merkmale am OPG (+ = gesunder Zahn, - = fehlender Zahn, K = überkronter Zahn oder Brückenpfeiler, F = Füllung oder Inlay, St. = Wurzelstift oder Stiftkernaufbau, C = kariöser Zahn, WF = Wurzelfüllung, H = beherdeter Zahn, V = verlagerter Zahn, W = Wurzelrest, WSR = Wurzelspitzenresektion, Cy = Cyste, X = Parameter, der unabschätzbar ist oder nicht bewertet werden darf, Zu = Zustand des Zahnes, Sum = Summe der Werte eines Parameters an allen Zähnen, Mit. = Mittelwert der Punkte jedes Parameters, Pu. = Punktzahl der untersuchten Person, AB = Abrasion, SE = Sekundär-dentinablagerung, PA = Parodontalgewebeverschiebung, ZE = Zementablagerung, RE = Resorption). Aus der Punktesumme aller Zähne lässt sich das Alter ermitteln (aus: G. MATSIKIDIS, Altersbestimmung an Zahnfilmen, Zahnmed. Diss, Heidelberg 1981)

Im ersten Teil der Untersuchung, der als Blindversuch angelegt war, wurden an 40 Röntgenstaten mit insgesamt 870 Zähnen die von GUSTAFSON (1955) vorgegebenen Merkmale beurteilt, wobei das Alter der untersuchten Personen war dem Untersucher nicht bekannt war. Jeder Parameter wurde an jedem Zahn beurteilt und in den Untersuchungsbogen des Patienten eingetragen. Alle Punkte für einen Parameter wurden anschliessend addiert und durch die Zahl der bewerteten Zähne dividiert, so dass pro vermessenem Röntgenstatus für jedes einzelne der GUSTAFSONschen Kriterien ein Mittelwert errechnet werden konnte. Die Summe der einzelnen Mittelwerte wurde als Ergebnis- Punktzahl der jeweiligen Person zugeordnet.

In einem zweiten Schritt wurde aus den Patientenkarten das tatsächliche Alter der Personen abgelesen. Im Koordinatensystem erfolgte die Zuordnung der ermittelten charakteristischen Punktzahl zum tatsächlichen Alter der jeweiligen Person, woraus eine Regressionsgerade resultierte, die die Korrelation der Punktwerte mit dem tatsächlichen Alter darstellt.

Die auf den Messwerten von MATSIKIDIS (1981) beruhende Regressionsgerade wird durch die Gleichung

$$GA = 6,48 P + 11,11 \text{ definiert}$$

(GA = geschätztes bzw. gesuchtes Alter, P = Zahl der Bewertungspunkte).

Die Ermittlung des mutmasslichen Alters einer Person kann nun durch Eintrag der im Erhebungsbogen ermittelten Punktzahl in das oben genannte Diagramm und Ablesen des entsprechenden Alters erfolgen oder nach der Gleichung $GA = 6,48 P + 11,11$ errechnet werden. Am Beispiel des Erhebungsbogens aus Abbildung 12 ergibt sich so ein ermitteltes Alter von 54,5 Jahren ($GA = 6,48 \times 6,7 + 11,11 = 54,5$ Jahre).

Beim Vergleich des ermittelten Alters mit dem tatsächlichen Alter erreichte MATSIKIDIS (1981) anhand von 40 ausgewerteten Röntgenstaten mit seiner

Methode einen Abweichungsmittelwert zwischen tatsächlichem und geschätztem Alter von +/- 5,6 Jahren. Die Resultate ähneln den durch Dünnschliffauswertung erzielten Werten.

Die Auswertung der Röntgenaufnahmen erfolgte, wo nach Ermessen des Autors erforderlich, mit Hilfe eines Vergrößerungsglases. Voraussetzung für eine aussagefähige Messung sind nach MATSIKIDIS (1981):

1) Korrekte Aufnahmetechnik:

Die von MATSIKIDIS (1981) ausgewerteten Zahnfilme wurden nach der Halbwinkeltechnik erstellt (der Zentralstrahl verläuft durch den Apex senkrecht auf die Winkelhalbierende zwischen Zahnachse und Filmebene), die bei korrekter Anwendung eine isometrische Abbildung des darzustellenden Zahnes gewährleistet (siehe Abbildung 19).

2) Gute Qualität der Röntgenaufnahme:

Die Güte einer Röntgenaufnahme wird bestimmt durch die Zeichenschärfe (= Genauigkeit der Objektdarstellung) und den Kontrast (= Gegensatz zwischen helleren und dunkleren Zonen des Röntgenbildes). Ebenfalls empfiehlt MATSIKIDIS (1981) einen Vergleich der Symmetrien des Gesamtbildes der linken und rechten Seite einer Person und weist darauf hin, dass auffallend grosse Unterschiede zwischen links und rechts kritisch betrachtet und bearbeitet werden sollten und gegebenenfalls nicht verwendet werden dürfen. Auch ein Vergleich der Verhältnisse von Kronen- zu Wurzellänge kann helfen, eine realistische Einschätzung der Abbildung der klinischen Situation auf dem Zahnfilm zu erzielen.

MATSIKIDIS (1981) identifizierte die folgenden, in der Hauptsache durch eine fehlerhafte Aufnahmetechnik verursachten Projektionsprobleme:

- PA: Verprojektion des Alveolarfortsatzes
- SE: Schwierigkeiten bei der Einschätzung an Prämolaren junger Perso-

nen, da die Schmelzschicht des lingualen bez. palatinalen Höckers oftmals direkt auf das für die Bewertung wichtige bukkale bzw. labiale Pulpenhorn projiziert wird.

- ZE und RE: wenn die Zähne zu kurz und breit erscheinen, können die Parameter ZE und RE fehleingeschätzt werden. Die Wurzeln der Prämolaren und Molaren des Oberkiefers sind in der Regel so stark verprojiziert, dass sie für die Abschätzung von ZE und RE nicht zu verwenden sind.
- Auch der Abnutzungsgrad kann bei unpräziser oder falscher Aufnahmetechnik nicht korrekt beurteilt werden.

Zur Vermeidung von Fehleinschätzungen der einzelnen Parameter und zur Verminderung der Fehlerquote aufgrund von Verprojektionen empfiehlt MATSIKIDIS (1981), die Untersuchung mit erhöhter Aufmerksamkeit durchzuführen und vor Beginn der Erhebungen den gesamten Röntgenstatus auf seine Qualität hin zu beurteilen, wobei auch ein Vergleich der Zähne der linken Quadranten mit denen der rechten Quadranten vorgenommen wird.

Um die Genauigkeit der Messungen zu erhöhen, definierte MATSIKIDIS (1981) im zweiten, sogenannten Anwendungsteil seiner Studie Zahngruppen ähnlicher Morphologie. Die 4 Grade der Veränderung für jeden Parameter wurden für jede Zahngruppe exemplarisch zeichnerisch dargestellt. So kann ein Zahn, der zu einer der Zahngruppen gehört, mit einem „Musterzahn“ derselben Gruppe verglichen werden, der die Parameter in ihrer Abstufung präzise darstellt. Er bestimmte folgende Repräsentanten für die Gruppen ähnlicher Morphologie:

- Ein oberer mittlerer Schneidezahn für die Schneidezähne des Oberkiefers
- Ein unterer mittlerer Schneidezahn für die Schneidezähne des Unterkiefers
- Ein oberer Eckzahn für die oberen und unteren Eckzähne
- Ein erster Prämolare des Unterkiefers für die oberen und unteren Prämo-

laren

- Ein zweiter Molar des Unterkiefers für die Gruppe der oberen und unteren Molaren

Ebenfalls zu einer Verbesserung der Ergebnisgenauigkeit führen sollte eine Erhöhung der Ausprägungsgrade der Parameter auf 7 Grade (Abbildung 11):

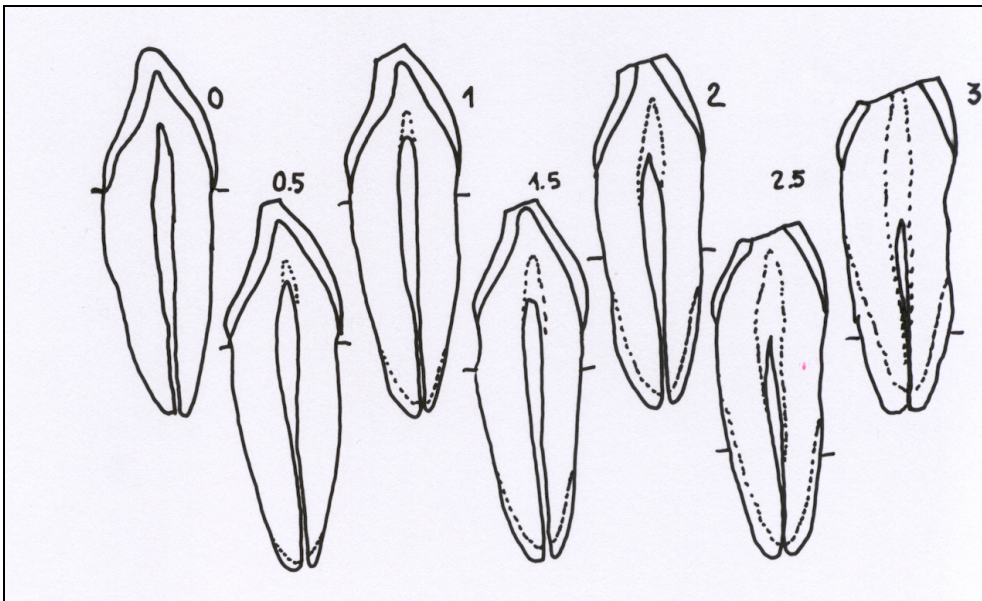


Abbildung 11:
Unterteilung der von GUSTAFSON (1955) definierten Parameter in 7 Ausprägungsgrade (aus: G. MATSIKIDIS, Altersbestimmung an Zahnfilmen, Zahnmed. Diss., Heidelberg 1981)

Die Zuverlässigkeit seiner Methode und die Genauigkeit der erzielten Resultate überprüfte MATSIKIDIS (1981), indem 60 Röntgenstaten mit insgesamt 1415 Zähnen im Blindversuch, also ohne dass das Alter der Untersuchten dem Untersucher bekannt war, ausgewertet wurden. Die Ermittlung des vermutlichen Alters erfolgte wie oben beschrieben unter Zuhilfenahme der Regressionsgleichung oder des Alter/Punkte-Diagrammes. Es ergab sich ein Abweichungsmittelwert von +/- 3,5 Jahren von geschätztem Alter zu tatsächlichem Alter, was einer durchschnittlich um zwei Jahre geringeren Abweichung von ermitteltem zu tatsächlichem Alter im Vergleich mit dem erstuntersuchten Kollektiv ergab.

Im Detail wurden folgende Ergebnisse erzielt:

- 60 % der untersuchten Personen zeigen eine Abweichung unter +/- 3,5 Jahren vom wirklichen Alter
- 75 % der untersuchten Personen zeigen eine Abweichung unter +/- 5 Jahren vom wirklichen Alter
- 90 % der untersuchten Personen zeigen eine Abweichung unter +/- 7,5 Jahre und
- 100 % der untersuchten Personen zeigen eine Abweichung unter +/- 9 Jahren

Zusätzlich überprüfte MATSIKIDIS (1981) anhand des bekannten Punktesystems die Korrelation jedes einzelnen Parameters zum Alter. Im Ergebnis wiesen die Parameter AB, SE und PA eine signifikante Korrelation mit dem Alter auf. Der Parameter ZE wies eine weniger gute, jedoch aussagekräftige Korrelation auf. Der Parameter RE hatte eine sehr geringe Korrelation mit dem Alter. Begründen lässt sich dieses Ergebnis damit, dass Resorptionserscheinungen an Dentin und Zement im Zahnfilm nicht deutlich genug dargestellt werden. Als Konsequenz aus diesen Ergebnissen wurde an einem Kollektiv von 100 Personen das Alter nochmals nach dem bekannten Arbeitsmodus ermittelt, jedoch unter Weglassung der Betrachtung des Parameters Resorption.

Im Ergebnis resultierte ein Abweichungsmittelwert von +/- 3,3 Jahren von ermitteltem zu tatsächlichem Alter.

3.5 Methode nach KVAAL et al.

Die Zähne sind das Gewebe des menschlichen Körpers, das nach dem Tode am längsten erhalten bleibt. Daher sind die Zähne häufig das einzige zur Verfügung stehende Untersuchungsgut zur Bestimmung des Alters unbekannter Toter. Ebenfalls können sie zum Zwecke der Altersbestimmung am Lebenden herangezogen werden. Ursprünglich war dies jedoch nur nach Extraktion möglich (GUSTAFSON 1955, DALITZ 1962, BANG und RAMM 1970, JOHANSON 1971, SOLHEIM 1993).

Ziel der von KVAAL et al. 1995 vorgelegten Studie war es, eine Methode zur Schätzung des chronologischen Alters Erwachsener an voll entwickelten Zähnen durch Messung der Pulpengrösse vorzulegen, die auf Zahnextraktion und/oder Zahnzerstörung verzichtet. Grundlage der Methode ist die Tatsache, dass mit zunehmendem Lebensalter die Pulpengrösse durch die Bildung von Sekundärdentin abnimmt. Der Grad der Abnahme der Pulpengrösse wird hier, wie bei GUSTAFSON (1955) und MATSIKIDIS (1981) auch, als Altersindikator herangezogen. Grundlage der Messung der altersabhängigen Grössenveränderungen der Pulpa sind Zahnfilme, die mit Hilfe der Paralleltechnik erstellt wurden und die zu untersuchenden Zähne somit orthoradial abbilden.

Um die durch Abweichungen in der Projektionsrichtung bei unterschiedlichen Röntgenaufnahmen entstehenden Unterschiede in der Abbildung der Zähne auszugleichen, verzichteten KVAAL et al. (1955) auf die Erhebung absoluter Messwerte. Im Unterschied zum Vorgehen von MATSIKIDIS (1981) basiert die Methodik auf der Bestimmung unterschiedlicher Längen- und Breitenrelationen; Messwerte werden somit zueinander ins Verhältnis gesetzt.

Den Vorteil der Ermittlung des Alters anhand von Röntgenaufnahmen sehen KVAAL et al. (1995) im Wegfall von Zahnextraktion und Gewebeerstörung.

Untersucht wurden Zahnfilme von 100 Patienten der zahnmedizinischen Fakultät der Universität Oslo, wobei pro Patient ein kompletter Röntgenstatus ausgewertet wurde. Die Zahnfilme wurden erstellt nach der Parallel-Technik mit Hilfe des Filmhalters nach Eggen, um einen orthoradialen Strahlengang zu erreichen. Ausgewertet wurden Aufnahmen der Zähne 11/21 12/22,15/25 und 32/42, 33/43 und 34/44, da diese Zahntypen nach den Ergebnissen einer Vorstudie die strengste Korrelation zum Alter aufwiesen. Die Auswertung erfolgte für beide Kiefer, getrennt für Unterkiefer und Oberkiefer und pro Zahntyp. Es wurde nicht zwischen Zähnen des linken und rechten Quadranten eines Kiefers unterschieden, da eine Vorstudie ergab, dass für die einzelnen Zahntypen pro Kiefer keine Unterschiede in der Korrelation zum Alter besteht.

Jeder vermessene Zahn musste in normaler funktioneller Okklusion stehen und frei sein von jeglichem pathologischen Prozess und zahnärztlicher Restauration. Ebenso musste sich die mesio-distale Achse des Zahnes parallel zum Film befinden. Es wurden nur die Fälle in die Studie aufgenommen, bei denen alle Messungen an allen sechs Zähnen möglich waren. Als nicht für eine verlässliche Messung geeignet definiert wurden die folgenden Zähne:

- impaktierte Zähne
- vestibulär radioopak gefüllte Zähne
- überkronte Zähne
- Zähne mit apikalen Osteolysen oder anderen apikalen pathologischen Prozessen
- wurzelgefüllte Zähne
- mesiodistale Zahnachse nicht parallel zur Bildauffangebene

Unter Zuhilfenahme einer Schieblehre wurden an allen 6 Zahntypen folgende Messungen vorgenommen:

- Maximale Zahnlänge (= T)
- Maximale Pulpalänge (= P)
- Wurzellänge von der SZG bis zum Apex, gemessen an der Mesialfläche der Wurzel (= R)

Unter dem Stereomikroskop mit einer Messskala mit Zehntel-Millimeter-Eichung wurden pro Zahn folgende Messwerte erhoben (Abbildung 12):

- Breite von Wurzel und Pulpa an der SZG (= A)
- Breite von Wurzel und Pulpa auf halber Strecke zwischen Apex und SZG (= C)
- Breite von Wurzel und Pulpa auf halber Strecke zwischen A und C (= B)

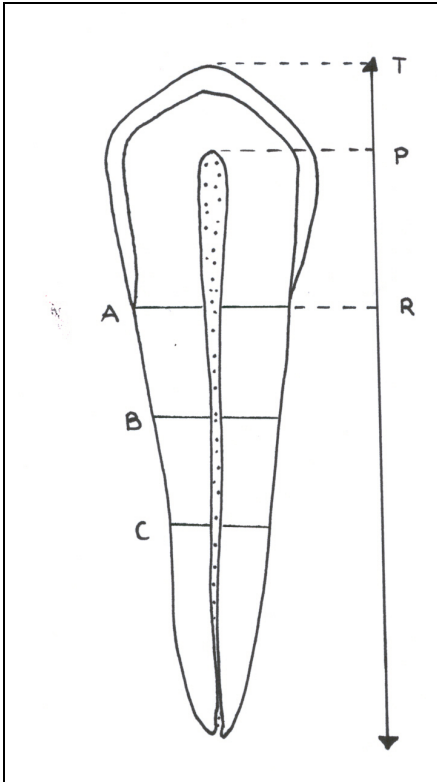


Abbildung 12:

Schema nach KVAAL et al. zur Ermittlung von T (=maximale Zahnlänge), P (= maximale Pulpalänge), R (= Wurzellänge an der Mesialfläche von der SZG bis zum Apex), A (= Breite von Wurzel und Pulpa an der SZG), C (= Breite von Wurzel und Pulpa auf halber Strecke zwischen Apex und SZG) und B (= Breite von Wurzel und Pulpa auf halber Strecke zwischen A und C) (aus: S. KVAAL et al., Age estimation of adults from dental radiographs, Forensic Sci Int 74, 175 – 185, 1995)

Um die Unterschiede in Projektionsrichtung/Strahlengang, Bildqualität und Vergrößerung der verschiedenen Aufnahmen zu reduzieren, wurde kein absoluter Messwert pro Kriterium erhoben, sondern die folgenden Quotienten pro Zahn gebildet:

- Pulpalänge / Wurzellänge
- Pulpalänge / Zahnlänge
- Zahnlänge / Wurzellänge
- Pulpabreite / Wurzelbreite
 - 1) in Höhe der Schmelz-Zementgrenze (=SZG) (A)
 - 2) auf halber Wurzellänge (C)
 - 3) auf $\frac{1}{2}$ Strecke zwischen SZG und $\frac{1}{2}$ Wurzellänge (B)

Zur statistischen Analyse, basierend auf einer multiplen linearen Regressionsanalyse, wurden die Messwerte in einen IBM/AT Computer eingegeben und mit den Statistikprogrammen SPSS/PC+ und SAS- ausgewertet.

Tabelle 10 gibt die Regressionsformeln zur Altersbestimmung anhand von Zahnfilmen nach KVAAL et al. (1995) wieder:

Zähne	Gleichung	r ²	S.E.E. (years)
11/21/ 12/22 15/25 32/42 33/43 34/44	Alter = 129.8 – 316.4(M) – 66.8(W-L)	0.76	8,6
11/21 12/22 15/25 32/42 33/43 34/44	Alter = 120.0 – 256.6(M) – 45.3(W-L)	0.74	8,9
11/21 12/22 15/25 32/42 33/43 34/44	Alter = 135.3 – 356.8(M) – 82.5(W-L)	0.71	9,4
11/21	Alter = 110.2 – 201.4(M) – 31.3(W-L)	0.70	9,5
12/22	Alter = 103.5 – 216.6(M) – 46.6(W-L)	0.67	10,0
15/25	Alter = 125.3 – 288.5(M) – 46.3(W-L)	0.60	11,0
32/42	Alter = 106.6 – 251.7(M) – 61.2(W-L) – 6.0(G)	0.57	11,5
33/43	Alter = 158.8 – 255.7(M)	0.56	11,5
34/44	133.0 – 318.3(M) – 65.0(W-L)	0.64	10,5

Tabelle 10:
Regressionsformeln nach KVAAL et al. (1995) zur Altersbestimmung anhand der Zähne mit Hilfe von Zahnfilmen mit dem Alter als der abhängigen und M, W-L und G als unabhängigen Variablen; M = Durchschnittswert aller Quotienten, W = Durchschnittswert der Breiten-Quotienten auf Höhe B und C, L = Durchschnittswert der Längen-Quotienten auf Höhe P und R, G = Geschlecht, S.E.E. = Standardfehler der Altersschätzung in Jahren (Standard Error of the Estimate)

KVAAL et al. (1995) kamen zu dem Ergebnis, dass bis auf den Quotienten aus Zahnlänge und Wurzellänge, der aus der weiteren Analyse ausgeschlossen wurde, alle ermittelten Koeffizienten zwischen Alter und Quotient signifikant waren. Die Korrelation zwischen Alter und Durchschnittswert aus der Addition aller Quotienten für jeden Zahntyp war stärker als die Korrelation zwischen Alter und jedem einzelnen Quotienten. Der Koeffizient sank, wenn Zähne ausschliesslich von einem Kiefer vermessen wurden und war am niedrigsten, wenn die Messungen ausschliesslich an unteren Eckzähnen erhoben wurden.

Der Korrelationskoeffizient zwischen tatsächlichem und ermitteltem Alter ist $r = 0,87$ und der Standardfehler nach der Methode KVAAL et al. (1995) bewegt sich in Abhängigkeit vom untersuchten Zahntyp zwischen 8,6 und 11,5 Jahren.

Die Regressionsformel für die 6 KVAAL-Zähne lautet:

$$\text{Alter} = 129,8 - 316,4 M - 66,8 (W - L)$$

M = Durchschnittswert der drei Breiten-Quotienten und der Längenquotienten
Pulpalänge/Wurzellänge und Pulpalänge/Zahnlänge

W = Durchschnittswert der Breiten-Quotienten B und C

L = Durchschnittswert der Längenquotienten Pulpalänge/Wurzellänge und Pulpalänge/Zahnlänge

3.5.1 Projektionsbedingte Messfehler bei der Methode nach KVAAL et al.

Unterschiedliche Projektionen bilden identische anatomische Verhältnisse unterschiedlich ab (Abbildung 13):

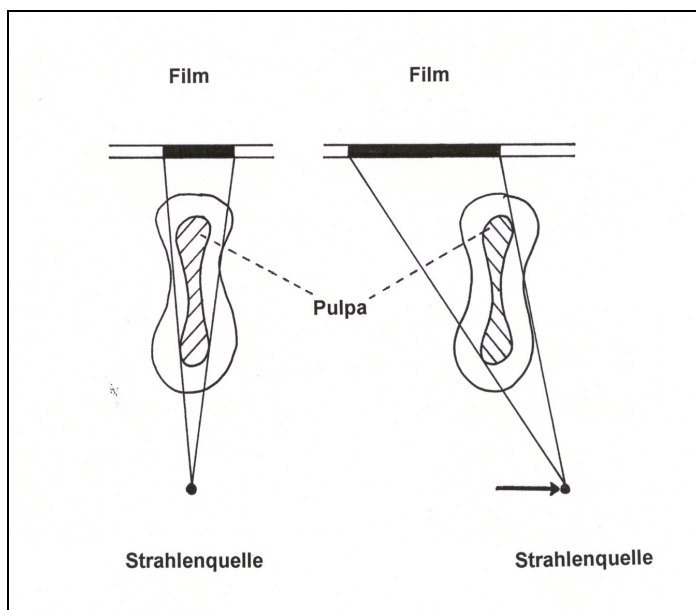


Abbildung 13:
Unterschiedliche Darstellung der Ausdehnung des Pulpenkavums auf dem Röntgenfilm in Abhängigkeit von der Projektionsrichtung; links = orthoradialer Strahlengang, rechts = exzentrischer Strahlengang

Die Methode nach KVAAL et al. (1995) basiert auf der Vermessung von sechs Zahnfilmen pro Patient. Auch bei Verwendung des Filmhalters nach Eggen sind Unterschiede in Bildqualität, Vergrößerung und Projektionsrichtung zwischen

den einzelnen Zahnfilmen nicht auszuschliessen. Diese behaften den Vergleich der Messwerte der Aufnahmen sowohl eines Patienten als auch der Aufnahmen unterschiedlicher Patienten untereinander mit Fehlern.

Zum Ausgleich projektionsbedingter Unterschiede in der Darstellung der Zähne auf den Zahnfilmen sowie von Unterschieden in Bildqualität und Vergrößerung bildeten KVAAL et al. (1995) die folgenden Quotienten, mit deren Hilfe sie ihre Messergebnisse ins Verhältnis zueinander setzten:

- Zahnlänge / Wurzellänge
- Pulpalänge / Wurzellänge
- Pulpalänge / Zahnlänge
- Pulpabreite / Wurzelbreite auf Höhe der SZG
- Pulpabreite / Wurzelbreite auf halber Wurzellänge
- Pulpabreite / Wurzelbreite auf $\frac{1}{4}$ Wurzellänge

Die Methode von KVAAL et al. basiert auf der Annahme, dass die Bildung von Quotienten den Ausgleich von Unterschieden in Bildqualität, Vergrößerung und Projektionsrichtung zwischen den einzelnen Zahnfilmen ermöglicht und somit eine Vergleichbarkeit der erhobenen Messwerte untereinander erlaubt und die Ergebnisgenauigkeit der Altersschätzung positiv beeinflusst.

Im Unterschied zum Zahnfilm liefert das Orthopantomogramm in einer Aufnahme eine Abbildung der gesamten Dentition. Alle Zähne sind im orthoradialen Strahlengang abgebildet und eine identische Bildqualität und Vergrößerung sind gewährleistet.

Das Hauptziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Methode nach KVAAL et al. (1995) auf das Orthopantomogramm zu übertragen und die Auswirkungen auf die Genauigkeit der Altersschätzung zu ermitteln.

4.0 Röntgenologische Grundlagen

Die Orthopantomographie ist eine heutzutage in der Zahnheilkunde routinemässig angewandte Röntgentechnik. Ein Orthopantomogramm wird heute üblicherweise im Rahmen der Erstuntersuchung erstellt und liefert in Form einer Übersichtsaufnahme Informationen über das gesamte Kauorgan. Für den routinemässigen Einsatz des Orthopantomogramms zur primären Diagnostik spricht neben einem hohen Anteil an Neben- und Zufallsbefunden auch die geringe Strahlenbelastung. Diese wird erreicht durch den Einsatz von Film-Folien-Systemen, die eine deutliche Verminderung der Strahlenbelastung bei gleichbleibender Bildqualität ermöglichen.

So gibt SONNABEND (1989) die Maximalwerte der Hautoberflächendosis am Kopf durch ein Orthopantomogramm mit kaum über 2 mSv an. Die Gonaden werden, da ausschliesslich von Streustrahlung getroffen, nur minimal belastet. Die heute unter 7 μ -Sv liegende effektive Dosis ist vergleichbar mit der Umweltexposition eines Tages (DÜKER 2000).

Vor Einführung der Panoramaröntgenverfahren benötigte man für den röntgenologischen Befund eines vollbezahnten Erwachsenen 11 bis 14 Zahnfilme (Abbildung 14):

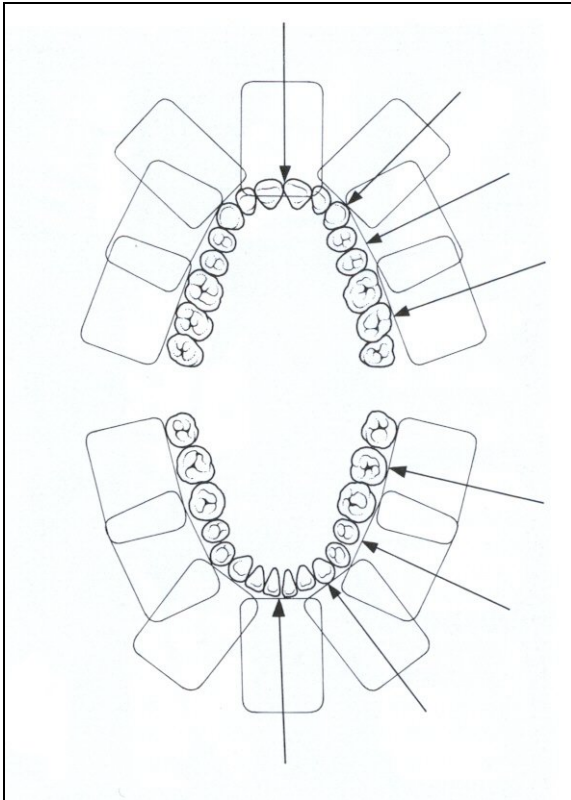


Abbildung 14:
Anordnung der Zahnfilme für einen 14-Bilder Status des vollbezahnten Erwachsenen
(aus: F. A. PASLER, Zahnärztliche Radiologie, S. 60 Abb. 61, G. Thieme Verlag Stuttgart
New York, 3. Aufl. 1995)

Die Einzelbefunde wurden in Schemazeichnungen des gesamten Kauorgans übertragen, um einen Übersichtsbefund zu erhalten.

4.1 Die Bedeutung der Röntgenologie in der forensischen Odontostomatologie

Nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen im Jahre 1895 durch Wilhelm Konrad Röntgen ergab sich schnell eine Vielzahl diagnostischer Fragestellungen, die mit Hilfe der neuen Technik beantwortet werden konnten.

Zunächst als Mittel geringen Wertes eingestuft, erlangten Röntgenbilder in den dreissiger Jahren dieses Jahrhunderts Anerkennung als juristische Beweismittel (SWEET 1938).

Die Einführung digitaler Röntgenmethoden zu Beginn der neunziger Jahre des 20. Jahrhunderts hat neue juristische Probleme aufgeworfen, da digitale Röntgenaufnahmen grundsätzlich manipulierbar sind (FIGGENER 2001).

4.2 Entwicklung der Orthopantomographie und erste klinische Anwendung im Mund-, Kiefer- und Gesichtsbereich

Die ersten Versuche, panoramaartige Röntgenbilder des Kauorgans herzustellen, erfolgten bereits 1896, nur wenige Monate nach Entdeckung der Röntgenstrahlen. Diese Aufnahmen lieferten Summationsbilder, bildeten also alle zwischen Röntgenstrahler und Film befindlichen Strukturen überlagert ab (MORTON 1896).

Seit den zwanziger Jahren dieses Jahrhunderts wird zur Gesamtdarstellung der Kiefer die Schichtaufnahme eingesetzt. Nach HOFFMANN-AXTHELM (1985) geht das Prinzip der Schichtaufnahme, das die Überlagerungsfreie, scharfe Darstellung einer bestimmten Objektschicht ermöglicht, auf den Pariser Radiologen André BOCAGE zurück, der es 1921 vorstellte. Es folgte die praktische Erprobung durch ZULAUF (1922) in Form der Panographie. Der Film wurde bei diesem intraoralen Aufnahmeverfahren mit einer Bleiplatte hinterlegt und auf der Innenseite dem Zahnbogen angepasst. Die Belichtung erfolgte mit dem durch eine Schlitzblende begrenzten schmalen Strahlenbündel von einer Seite zur anderen (SCHEUTZEL 1989).

1939 beschrieb HECKMANN als erster ein als Pantomographie zu bezeichnendes Verfahren, bei dem der Patient mit dem dem Gesicht anliegenden Film in einer 180°-Drehbewegung am Röntgenstrahlenbündel vorbeigeführt wird. Das Verfahren lieferte zwar eine komplette Darstellung der Zähne und Kiefer, diese wurden jedoch zum Teil noch von davor und dahinter liegenden Strukturen überlagert. HECKMANN beschrieb bereits 1939 die theoretischen Grundlagen der Pantomographie, jedoch gelang es ihm nicht, ein Gerät zur prakti-

schen Anwendung seines Verfahrens zu entwickeln. 1951 dann stellte PAATERO nach seinen Versuchen mit dem intraoralen Verfahren der Panographie, wohl in Unkenntnis der Arbeit HECKMANNs (1939), ein funktionsfähiges Gerät zur Erstellung von Schichtaufnahmen nach diesem Prinzip vor (SCHEUTZEL 1989). Film und Röntgenröhre rotierten bei der Aufnahme um zwei für die rechte und linke Kopfhälfte getrennte Drehachsen, was eine bessere Anpassung der Schicht an die Form des Zahnbogens und eine weitere Reduktion von Überlagerungen zum Ergebnis hatte.

Mit der Weiterentwicklung seiner Technik durch die Bewegung von Film und Fokus um 3 Rotationszentren gelang PAATERO 1958 die orthoradiale Darstellung aller Zähne. Das Verfahren wurde daher Orthopantomographie genannt. Das erste nach dieser Technik hergestellte Orthopantomographiegerät, entwickelt von den Firmen Palomex und Siemens, ging 1961 in Serienproduktion (MATTILA 1984). Seither hat sich durch die kontinuierliche Verbesserung der Bildqualität, hauptsächlich durch Variation des Rotationsachsenverlaufs (SCHEUTZEL 1989), die Panorama-Schichtaufnahmetechnik zu einer Standardmethode mit breitem Anwendungsgebiet weiterentwickelt (HOFFMANN-AXTHELM 1985, PASLER 1989, DÜKER 2000).

Die ausgereifte Technik und der Einsatz von Verstärkerfolien zur Reduktion der Strahlenbelastung auf nur noch ca. 10% im Vergleich zu herkömmlichen Zahnstaten (SONNABEND und POLENSKY 1971) begründen eine wesentliche Erweiterung des Indikationsbereiches. So stellen heute neben pathologischen Verdachtsmomenten bereits zahnärztliche Eingangsuntersuchungen und kieferorthopädische Fragestellungen im Kindesalter die Indikation.

1989 bezeichnete PASLER eine zahnärztliche Behandlung ohne Orthopantomogramm als unvollständig und daher fehlerhaft. RAHN et al. belegten 1991 eine verstärkte Anfertigung von Orthopantomogrammen, deren Grund in den oben genannten Vorteilen zu sehen ist.

4.3 Das Prinzip der Orthopantomographie und die Anwendung in der klinischen Praxis

Die Bedeutung der Panoramaschichtaufnahme für die Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde und damit auch für die forensische Odontostomatologie begründet sich vor allem in der umfassenden Darstellung des Kausystems in Form einer Übersichtsaufnahme, die neben der panoramaartigen Abbildung aller Zähne gleichzeitig einen Überblick über den gesamten Unterkiefer und den Oberkiefer liefert.

Das Verfahren der Orthopantomographie vereint die Verwendung einer Schlitzblende mit dem Verfahren der Schichtbildaufnahmetechnik. Das Prinzip der Schichtbildaufnahmetechnik beruht auf der scharfen und überlagerungsfreien Darstellung derjenigen Strukturen, die in der sogenannten zentralen Schichtebene, auch Schärfentiefezone, liegen. Die scharfe Darstellung dieser Schicht gelingt dadurch, dass sich Strahlenquelle und extraorale Bildauffangebene auf einer ellipsoiden Bahn, die der Form der Zahnbögen entspricht, ca. 16 Sekunden lang um den Kopf des Patienten herum bewegen, wobei nur die Bereiche des Kausystems scharf abgebildet werden, die vom Strahlenbündel mit der gleichen linearen Geschwindigkeit durchwandert werden, mit der sich auch der Film bewegt. So wird die Darstellung einer gekrümmten Schicht in einer Ebene möglich. Anteile des Objektes, die, bezogen auf den Strahlengang, davor oder dahinter liegen, werden verwischt, da sie mit niedrigerer oder höherer Geschwindigkeit projiziert werden. Das Ergebnis ist ein Bild, das in der Mitte eine frontale und auf den Seiten eine laterale Darstellung des Gesichtschädels zeigt, rechts und links getrennt.

Die Achse, auf der sich Strahlenquelle und Film um die Zahnbögen herum bewegen, weist beim Verfahren nach PAATERO (1958) drei Rotationszentren auf (Abbildung 15):

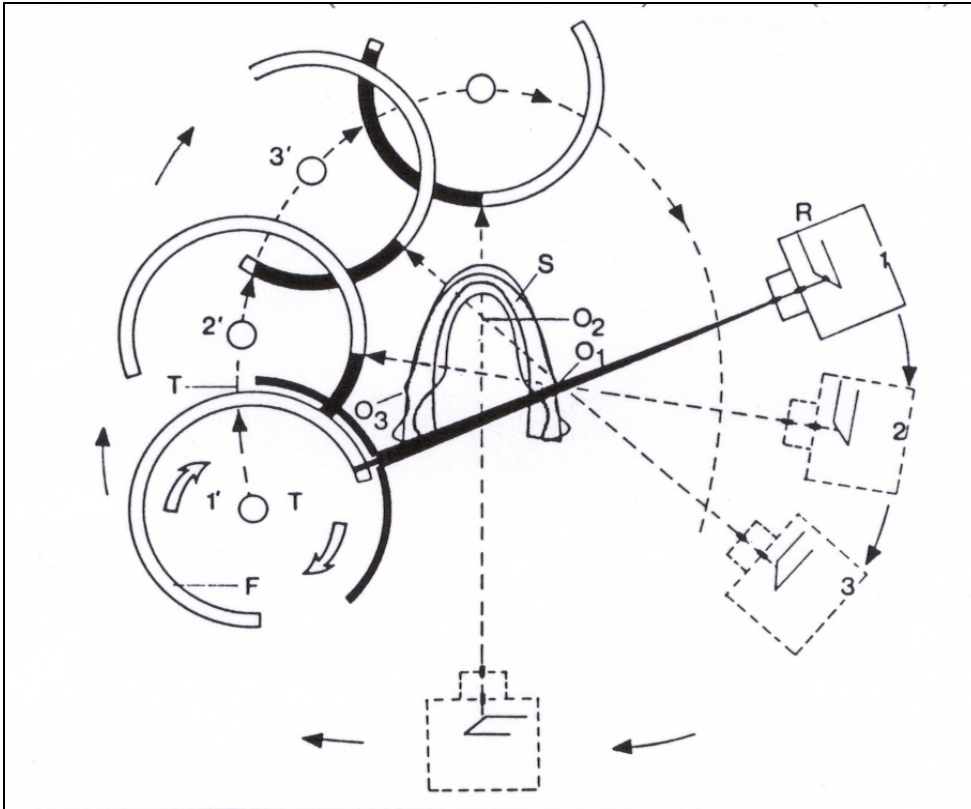


Abbildung 15:
 Die Kieferabschnitte befinden sich in der Schärftiefezone, wo die Winkelgeschwindigkeit von Filmkassette und Strahlenquelle am geringsten voneinander differieren. Objekte, die sich in dieser Schicht befinden, werden schärfer abgebildet, da sie nur eine geringe Bewegungsunschärfe haben; T = Filmtrommel, F = Film, S = -Schichtbereich, O₁₋₃ = Drehzentren, R = Gehäuse mit Röntgenröhre (aus: F. A. PASLER, Zahnärztliche Radiologie, S. 211 Abb. 275, Georg Thieme Verlag, 3. Aufl. 1989)

Bei den heute am Markt befindlichen Geräten verändert sich die Lage der Rotationsachse während der Aufnahme kontinuierlich, was eine bessere Anpassung der Position und Ausdehnung der scharf dargestellten Schicht an die Kieferform und somit die orthoradiale Durchstrahlung des gesamten Zahnbogens gewährleistet.

Für eine hohe Qualität, also eine maximale Aussagefähigkeit der Röntgenaufnahme, ist daher die korrekte Positionierung des Patienten im Röntgengerät notwendig, um eine möglichst genaue Positionierung der Kiefer in der zentralen Schichtebene sicherzustellen. Um dies zu erreichen, wird der Patient im Gerät mit Hilfe von Einstellhilfen wie Aufbissblöcken, Kinnstützen und Lichtvisieren positioniert. Die Einstellhilfen können je nach Gerätetyp variieren, in der

Regel erfolgt die Positionierung des Patienten aber anhand der folgenden drei Ebenen, die mit Hilfe von Lichtvisieren auf der Gesichtshaut des Patienten abgebildet werden (Abbildung 16):

1. der Frankfurter Horizontalen (definiert durch den oberen Rand des Porus acusticus externus und den tiefsten Punkt des knöchernen Orbitarandes)
2. der Eckzahnsekrechten (definiert durch die Längsachse des Eckzahnes)
3. der Median-Sagittalebene (antero-posteriore Ebene in der Gesichtsmitte)

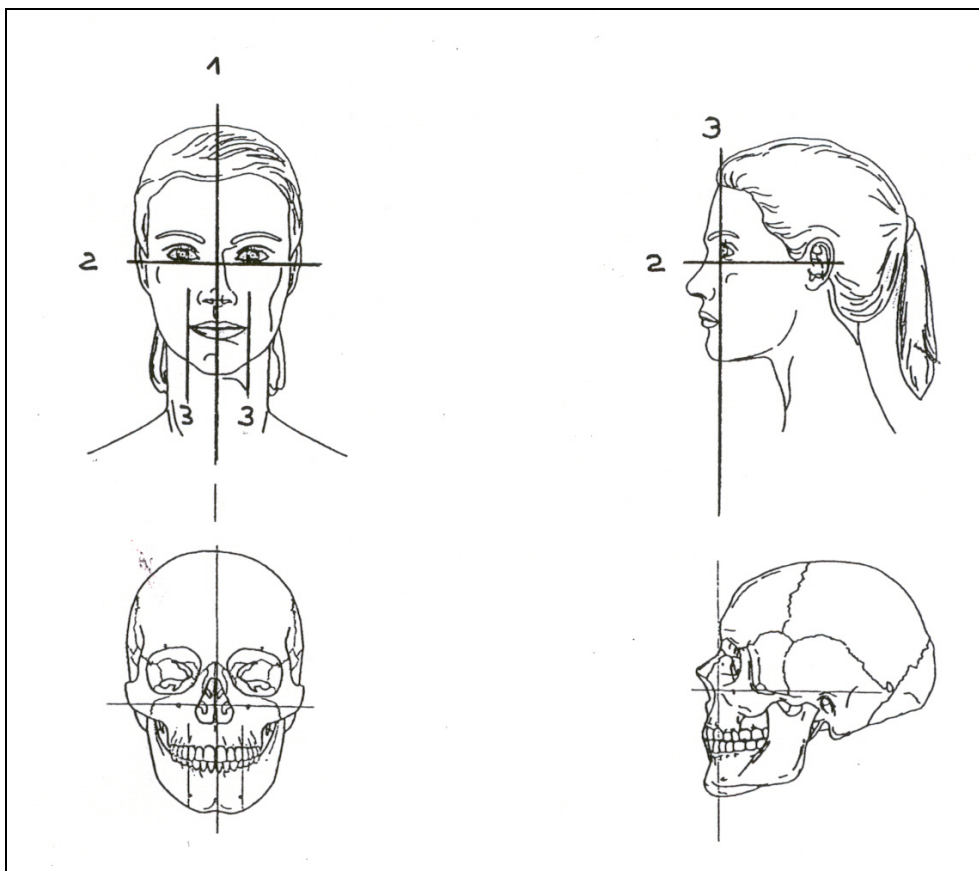


Abbildung 16:
Übertragung der drei Positionierungsebenen auf den knöchernen Schädel: 1 = Median-Sagittale, 2 = Frankfurter Horizontale, 3 = Eckzahnsekrechte. Ihre exakte Einstellung am Patienten ist grundlegend für die korrekte Positionierung der Kiefer in der Schärfentiefezone

Eine Aufbiss-Stütze für die Schneidezähne erleichtert zusätzlich die Einstellung der Frontzähne in die vorgegebene Schicht.

Die in der zahnärztlichen Praxis eingesetzten Geräte sind in der Regel Standgeräte, in denen der Patient in aufrechter Stellung geröntgt wird.

Ein Orthopantomogramm ist dann als qualitativ gut anzusehen, wenn es eine gute Zeichenschärfe, also eine hohe Genauigkeit der Objektdarstellung, und einen guten Kontrast, also eine gute Abgrenzung hellerer von dunkleren Zonen des Röntgenbildes, aufweist. Ebenfalls unabdingbar für eine gute Qualität des Röntgenbildes und damit eine maximale Aussagefähigkeit, ist die exakte Positionierung des Patienten im Gerät wie oben beschrieben. Sie manifestiert sich in den folgenden Kriterien, die in jedem Orthopantomogramm erfüllt sein sollten:

- geringe Überlagerungen der Frontzahnregion durch die Halswirbelsäule des Patienten
- symmetrische Abbildung beider Kieferhälften
- leicht aufsteigende, nicht fallende Okklusionsebene
- keine metaldichten Verschattungen durch Schmuck oder herausnehmbare Prothesen, die anatomische Strukturen verdecken
- gleiche Breite der aufsteigenden Unterkieferäste auf Höhe der Okklusionsebene

Folgende Regionen können mit der Panoramaschichtaufnahme aussagekräftig dargestellt werden:

- die dentoalveoläre Region beider Kiefer
- die ossäre Struktur von Maxilla und Mandibula
- die Kiefergelenkregion mit Einschluss der retromaxillären und zervikalen Region

Die Verwendung von Filmcassetten mit Verstärkerfolie und die daraus resultierende verringerte Zeichenschärfe im Vergleich zu intraoral angefertigten Zahnfilmen stellt einen Nachteil dar, der jedoch durch die niedrige Strahlenbelastung und den hohen diagnostischen Nutzen dieser Art der Röntgenaufnahme für den Patienten aufgewogen wird.

4.4 Der Zahnfilm und seine Anwendungen in der klinischen Praxis

Die hauptsächlichen Indikationen zur Erstellung von Zahnfilmen finden sich im Bereich der Zahnerhaltung. Der Zahnfilm findet Anwendung zur endodontischen Diagnostik und Therapie, zur Diagnostik von Sekundär- und Approximalkaries (als Bissflügelaufnahme), bei alveolarfortsatznahen Traumen und Zahnverletzungen und im Bereich der Parodontologie (als Röntgenstatus) . Auch vor der Zahnextraktion und zur Kontrolle nach erfolgter Zahnentfernung wird der Zahnfilm eingesetzt.

Auf dem Gebiet der zahnärztlichen Röntgenologie haben sich zur Erstellung von Zahnfilmen im wesentlichen drei Aufnahmetechniken etabliert (PASLER 1989):

- die Halbwinkeltechnik
- die Rechtwinkeltechnik
- die Paralleltechnik

4.4.1 Die Halbwinkeltechnik

Die Halbwinkeltechnik ist nicht nur die älteste, sondern auch die am weitesten verbreitete Methode der Einzelzahndarstellung (PASLER 1989).

Ein Zahn wird nach der Regel für die isometrische Projektion dann annähernd massgetreu, also isometrisch, abgebildet, wenn der Zentralstrahl durch den Apex des Zahnes senkrecht auf die Winkelhalbierungsebene gerichtet wird, die den Winkel zwischen Objektebene (=Zahnachse) und Bildauffangebene (=Filmebene) teilt (Abbildung 17):

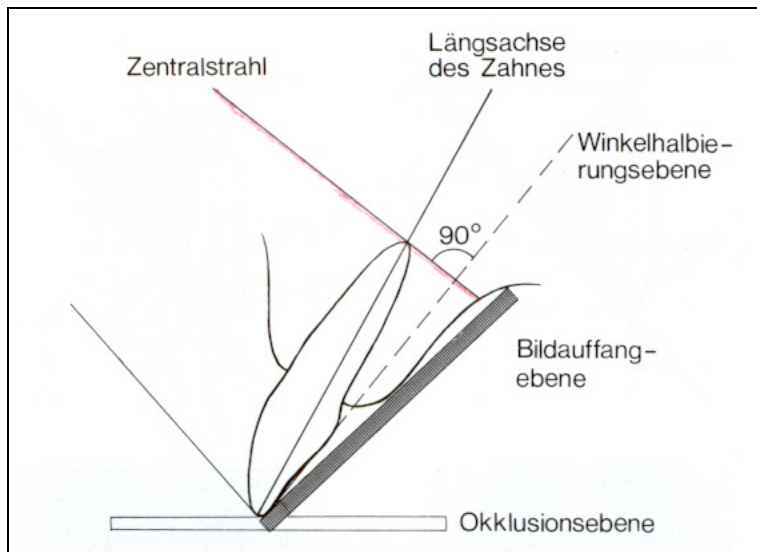


Abbildung 17:

Bei der Halbwinkeltechnik fällt der Zentralstrahl durch den Apex des Zahnes senkrecht auf die Winkelhalbierende zwischen Zahnachse und Bildauffangebene (aus: Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde Band 1, Allgemeine Chirurgie, Entzündungen, Mundschleimhauterkrankungen, Röntgenologie, S. 345 Abb. 11.34, Hrsg.: N. Schwenzer, G. Grimm, Georg Thieme Verlag, 2. Aufl. 1988)

Die Halbwinkeltechnik ist technisch anspruchsvoll und daher schwer zu erlernen. Auch ihre Ausführung bereitet Schwierigkeiten, da sie kaum exakt anzuwenden ist. In der Praxis lässt sich eine isometrische Abbildung des Zahnes auf dem Röntgenfilm daher oft nicht verwirklichen. So wird der Zahn bei zu flacher Projektion verlängert dargestellt. Bei zu steiler Projektion ist er verkürzt abgebildet.

PASLER (1989) schlägt zur Verminderung der oben genannten Nachteile vor, die Divergenz der Strahlen durch einen vergrößerten Fokus-Objekt-Abstand auf ein Minimum zu reduzieren. Ein Filmhalter oder Watterollen verkleinern den Winkel zwischen Filmebene und Zahnachse und erleichtern so die Abschätzung der Winkelhalbierenden.

Die Schwierigkeit bei der Anwendung der Halbwinkeltechnik besteht darin, die Winkelhalbierungsebene abzuschätzen. Die Rechtwinkeltechnik und die Paralleltechnik, die die Zentralprojektion anstreben, also die im rechten Winkel zur Objektachse und zum Film vorgenommene Einstellung des Zentralstrahles,

umgehen diese Schwierigkeit.

4.4.2 Die Rechtwinkeltechnik

Das Prinzip der Rechtwinkeltechnik besteht darin, dass der Film in einem im rechten Winkel starr mit dem Gehäuse des Röntgengerätes verbundenen Filmhalter fixiert wird. Auch wenn die Parallelität zwischen Objekt und Film aus anatomischen Gründen nicht immer zu erzielen ist, trifft der Zentralstrahl stets senkrecht auf die Filmmitte.

Die rigide Verbindung von Röntgentubus und Filmhalter und die dadurch erschwerte Handhabung vermindern jedoch die Praxistauglichkeit dieser Technik.

4.4.3 Die Paralleltechnik

Das Prinzip der Paralleltechnik beruht auf der Einstellung der Filmebene parallel zur Zahnachse. Erreicht wird diese Einstellung durch Verwendung eines isolierten Filmhalters, der parallel zur Zahnachse appliziert wird. Das darzustellende Objekt wird so durch den Filmhalter für die orthoradiale Projektion eingestellt.

Dieses Vorgehen ermöglicht das Eintreffen des Zentralstrahles in der Mitte der Zahnlänge senkrecht auf die Zahnachse und die Filmebene. Eine Zentralprojektion ist somit gegeben.

Filmhalter wurden von verschiedenen Autoren vorgestellt. Weite Verbreitung gefunden haben aufgrund ihrer Einfachheit und Praxistauglichkeit die Filmhalter nach Eggen und ihre Modifikationen (Abbildung 18):

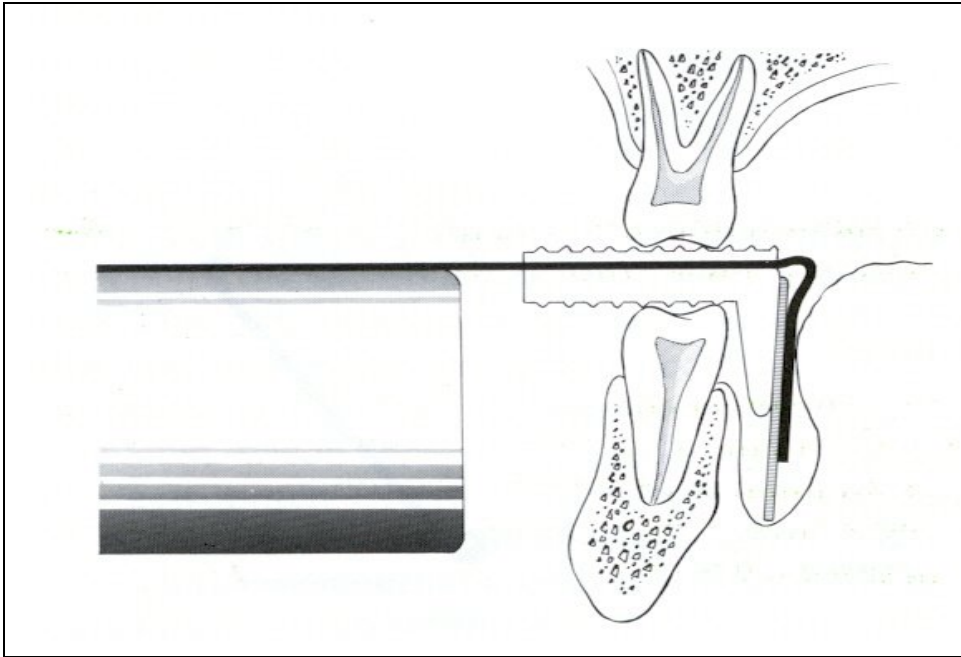


Abbildung 18:

Der Aufbissblock des Halters wird im Munde des Patienten zwischen den Zahnreihen platziert, wobei der Tubus des Röntgengerätes eng und parallel am Filmhalter auszurichten ist (aus: Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde Band 1, Allgemeine Chirurgie, Entzündungen, Mundschleimhauterkrankungen, Röntgenologie, S. 356 Abb. 11.57 b, Hrsg.: N. Schwenzer, G. Grimm, Georg Thieme Verlag, 2. Aufl. 1988)

Der Einsatz von Filmhaltern ermöglicht die gleichmässig vergrösserte Darstellung des Objektes, wobei jedoch in Abhängigkeit von den anatomischen Gegebenheiten, zum Beispiel bei flachem Gaumendach, die Parallelität zwischen Objektebene und Bildauffangenebene nicht immer zu erzielen ist.

5.0 Übertragung der Methode nach KVAAL et al. auf das Orthopantomogramm

1981 übertrug G. MATSIKIDIS die von GUSTAFSON (1955) vorgestellte Methode zur Altersbestimmung anhand der Zähne auf Röntgenaufnahmen. Die GUSTAFSONSchen Kriterien beurteilte er anhand von Röntgenstaten, wobei er die einzelnen Zahnfilme untersuchte, aus denen sich die Röntgenstaten zusammensetzten.

Sein Ansatz beruht auf der Annahme, dass es sich bei einem Zahnfilm um einen morphologischen Schnitt im Summationsbild handelt. MATSIKIDIS (1981) gibt für seine Methode einen Abweichungsmittelwert von tatsächlichem und geschätztem Alter von +/- 3,5 Jahren an.

1995 wurde die von MATSIKIDIS (1981) erarbeitete Methodik der Auswertung von Zahnfilmen von KVAAL et al. (1995) aufgegriffen und in modifizierter Form ebenfalls auf den Zahnfilm angewandt. Anstelle von absoluten Werten zur Darstellung der von GUSTAFSON (1955) definierten Kriterien zur Altersbestimmung, wie sie MATSIKIDIS (1981) verwendete, arbeiteten KVAAL et al. (1995) mit Quotienten aus unterschiedlichen Messwerten, um so die Auswirkungen möglicher Abweichungen in Projektionsrichtung, Vergrößerung und Bildqualität unterschiedlicher Zahnfilme auf die Abbildung des Zahnes und die daraus resultierenden Messungenauigkeiten zu reduzieren.

Der Standardschätzfehler nach der Methode KVAAL et al. (1995) bewegte sich in Abhängigkeit vom untersuchten Zahntyp und der Anzahl der betrachteten Zähne zwischen 8,6 und 11,5 Jahren.

Die Studie von KVAAL et al. (1995) fällt in eine Zeit, in der sich die Anfragen der Gerichte nach Altersschätzungsgutachten an lebenden Personen an die rechtsmedizinischen Institute häufen.

Die Beurteilung des Alters lebender Personen erfordert eine unter ethischen und rechtlichen Gesichtspunkten vertretbare, noninvasive Untersuchungsmethode, die eine Objektivierbarkeit und günstigstenfalls ebenfalls eine Reprodu-

zierbarkeit der bislang vorwiegend anhand subjektiver Kriterien erhobenen Untersuchungsdaten bei geringstmöglicher Strahlenbelastung und geringstmöglichem apparativen, Kosten- und logistischen Aufwand erlaubt. Gleichzeitig soll das Ergebnis der Altersschätzung von grösstmöglicher Genauigkeit sein, also dem tatsächlichen chronologischen Alter des untersuchten Individuums möglichst nahe kommen.

Um diesen Forderungen weitestgehend nachzukommen und die Möglichkeit der Verbesserung der Genauigkeit der Altersschätzung anhand von Röntgenaufnahmen der Zähne zu prüfen, wird in der vorliegenden Arbeit die Methode nach KVAAL et al. (1995) auf das Orthopantomogramm übertragen.

5.1 Material und Methodik der Hauptversuche 1 und 2

5.1.1 Beschreibung der angewandten Messmethodik

Die Messmethodik beruht auf der Erhebung der von KVAAL et al. 1995 vorgestellten Messwerte (siehe Abbildung 12 Seite 63). An den 6 Zahntypen, die von KVAAL et al. (1995) in einer Vorstudie als am besten für eine Altersschätzung geeignet identifiziert wurden (11/21, 12/22, 15/25 und 32/42, 33/43, 34/44), wurden pro Orthopantomogramm ebenso wie am Zahnfilm an 6 Zähnen die folgenden Messwerte erhoben:

T = maximale Zahnlänge

P = maximale Pulpalänge

R = Wurzellänge, gemessen an der mesialen Wurzelfläche von der Schmelz-Zementgrenze bis zum Apex

A = Breite von Wurzel und Pulpa an der Schmelz-Zementgrenze

C = Breite von Wurzel und Pulpa auf halber Strecke zwischen Apex und Schmelz-Zementgrenze

B = Breite von Wurzel und Pulpa auf halber Strecke zwischen A und C

Pro Zahn wurden 9 Messwerte ermittelt: Die Messwerte T (maximale Zahnlänge), R (Wurzellänge, gemessen an der mesialen Wurzelfläche) und P (maximale Pulpenlänge) wurden mittels einer Schieblehre mit Zehntel-Millimeter-Skalierung an dem auf einer Leuchtplatte des Herstellers POK Krefeld, Modell Nr. D 3128 liegenden Orthopantomogramm und Zahnfilm durchgeführt. Die Erhebung der Messwerte A (Breite von Wurzel und Pulpa an der Schmelz-Zementgrenze), C (Breite von Wurzel und Pulpa auf halber Strecke zwischen Apex und Schmelz-Zementgrenze) und B (Breite von Wurzel und Pulpa auf halber Strecke zwischen A und C) erfolgte unter Zuhilfenahme eines Stereoauflichtmikroskopes bei vierfacher Vergrößerung unter Verwendung eines in den Strahlengang inserierten Messrasters mit Zehntel-Millimeter-Skalierung. Die Durchleuchtung der Röntgenbilder erfolgte hierbei mit Hilfe einer selbst hergestellten Leuchtplatte, die auf dem Objektisch des Mikroskops platziert wurde (siehe Abbildung 19 Seite 87).

Um bei der Vielzahl der vermessenen Zähne Übertragungsfehler zu vermeiden, wurde auf die Verwendung eines Erhebungsbogens nach dem Beispiel von MATSIKIDIS (1981) verzichtet, und die Messwerte wurden direkt nach Erhebung in eine Excel-Tabelle eingegeben.

Bei Anwendung der hier vorgestellten Methode an einzelnen Individuen, zum Beispiel im Rahmen der Erstellung eines Lebensaltersgutachtens, kann die Verwendung eines Erhebungsbogens durchaus hilfreich sein.

Ein Beispiel für einen solchen Erhebungsbogen, der die Protokollierung der erhobenen Messwerte erleichtert und gleichzeitig Hilfestellung bei der Auswertung bietet, findet sich im Anhang dieser Arbeit auf Seite XV.

5.1.2 Auswahl des Untersuchungsgutes

Die Messungen erfolgten an 100 Orthopantomogrammen und 50 Zahnfilmen aus einer zahnärztlichen Praxis im westdeutschen Raum. Bei den Filmen handelte es sich um routinemässig im Rahmen der zahnärztlichen Behandlung er-

stellte Aufnahmen. Die Orthopantomogramme wurden erstellt mit einem Orthopantomographen der Firma Philips vom Typ XA 4000/00 unter Verwendung von Kodak T-MAT G Filmen und Kodak Lanex Medium Verstärkerfolie (Spannung: 77 kV, Strom: 13 mA, Belichtungszeit: 20 sec.). Die Zahnfilme, erstellt mit einem Gerät der Firma Belmont vom Typ Contrex DX 700 unter Verwendung von Filmen vom Typ Agfa Dentus M2 Comfort, 3 x 4 cm, Empfindlichkeit E, wurden nach der Paralleltechnik unter Verwendung eines Eggen-Filmhalters belichtet (Spannung: 70 kV, Strom: 10 mA, Belichtungszeit: 0,8 sec.). Es wurden nur Röntgenbilder ausgewählt, die von guter Qualität waren und von Patienten nicht jünger als 18 Jahre stammten. Der Zeitraum zwischen der Erstellung des Zahnfilms und des Orthopantomogramms eines Patienten durfte 3 Monate nicht überschreiten. Jeder vermessene Zahn musste in normaler funktioneller Okklusion stehen und frei von jeglichem pathologischen Prozess und zahnärztlicher Restauration sein. Ebenso musste sich die mesio-distale Achse des Zahnes parallel zum Film befinden. Die folgenden Zähne wurden von der Untersuchung ausgeschlossen:

- impaktierte Zähne
- Zähne mit vestibulären radioopaken Füllungen
- überkronte Zähne
- Zähne mit auf dem Röntgenbild sichtbaren pathologischen Prozessen der Apikalregion
- wurzelgefüllte Zähne
- Zähne, deren mesio-distale Achse sich nicht parallel zum Zahnfilm befand

Es wurden nur die Orthopantomogramme in die Studie aufgenommen, bei denen alle sechs zu vermessenden Zähne die oben genannten Kriterien erfüllten. Die auf den Zahnfilmen dargestellten Zähne erfüllten dieselben Kriterien.

Patienten mit bekannten systemischen Erkrankungen, Nichtanlagen oder auffälligen Spätanlagen von Zähnen auf einer oder beiden Kieferseiten wurden nicht in die Untersuchung einbezogen. Die Untersuchten waren, soweit am

Namen erkennbar, deutscher Abstammung und unterschiedlicher sozialer Herkunft.

Grundlage dieser Querschnittsuntersuchung waren Orthopantomogramme, bei gesperrter Okklusion aufgenommen, wobei ausschliesslich Aufnahmen mit symmetrischer Projektion vermessen wurden, und Zahnfilme der Grösse 3x4 cm, erstellt nach der Paralleltechnik mit Hilfe eines Filmhalters nach Eggen.

Nach einer Übungsphase erfolgte die Erhebung der Messwerte durch eine Untersucherin. Geschlecht und Geburtsdatum wurden zu einem von der Erhebung der Messwerte abweichenden Termin festgehalten, um eine Beeinflussung während der Vermessung zu vermeiden.

Zur besseren Unterscheidbarkeit der in der vorliegenden Arbeit betrachteten Kollektive werden im nachstehenden Text die folgenden Kürzel verwendet:

K_{ZF} : von KVAAL et al. (= K) betrachtetes Kollektiv von 100 Patienten, in dem pro Patient ein Zahnfilmstatus (= ZF) vorlag

B_{OPG} : von der Autorin (= B) betrachtetes Kollektiv von 100 Patienten, in dem von jedem Patienten ein Orthopantomogramm (= OPG) vorlag

B_{OPG50} : Teilkollektiv von 50 Patienten des Kollektivs B_{OPG} , von denen neben einem Orthopantomogramm ebenfalls ein Zahnfilm eines oberen zweiten Prämolaren (15/25) vorlag; es wird von Kollektiv B_{OPG50} gesprochen, wenn die Orthopantomogramme dieses Teilkollektivs betrachtet werden

B_{ZF50} : Teilkollektiv B_{OPG50} wird als Teilkollektiv B_{ZF50} bezeichnet, wenn ausschliesslich die Zahnfilme betrachtet werden

5.2 Hauptversuch 1

5.2.1 Problembeschreibung

Ziel des Hauptversuches 1 ist die Ermittlung einer Regressionsgleichung zur Lebensaltersschätzung Erwachsener anhand des Orthopantomogramms nach der von KVAAL et al. 1995 vorgestellten Methode.

Ebenfalls werden im Hauptversuch 1 die am Orthopantomogramm erhobenen Messwerte nach einem eigenen statistischen Ansatz ausgewertet, der auf die Bildung von Quotienten wie bei KVAAL et al. (1995) verzichtet.

Aus dem oben formulierten Ziel lassen sich die folgenden Fragen ableiten, die im Ergebnisteil dieser Arbeit beantwortet werden:

- 1) Mit welcher Genauigkeit lässt sich das Alter Erwachsener schätzen, wenn die ursprüngliche für den Zahnfilm entwickelte Methode von KVAAL et al. (1995) auf das Orthopantomogramm übertragen wird?
- 2) Mit welcher Genauigkeit lässt sich das Alter Erwachsener schätzen, wenn, abweichend von der von KVAAL et al. 1995 gewählten statistischen Methode, eine auf der Analyse von Rohwerten basierende multiple lineare Regressionsanalyse durchgeführt und also auf die Bildung von Quotienten verzichtet wird?

5.2.2 Versuchsaufbau

In Hauptversuch 1 wurden 600 Zähne auf 100 Orthopantomogrammen von 100 Individuen im Alter von 19 bis 71 Jahren vermessen. Tabelle 11 gibt die Alters- und Geschlechtsverteilung des untersuchten Kollektivs, im folgenden Text Kollektiv B_{OPG} genannt, wieder:

		Geschlecht		Total
		w	m	
Alter	1 19 bis 29	25	17	42
	2 30 bis 39	19	8	27
	3 40 bis 49	12	10	22
	4 50 bis 59	2	1	3
	5 60 bis 69	2	3	5
	6 70 bis 71	1		1
Total		61	39	100

Tabelle 11:
Kontingenztafel zur Alters- und Geschlechtsverteilung der 100 Patienten des Kollektivs B_{OPG}

Pro Orthopantomogramm wurden 6 Zähne (11 oder 21, 12 oder 22, 15 oder 25, 33 oder 43, 34 oder 44, 35 oder 45) wie von KVAAL et al. (1995) vorgegeben vermessen. Die Analyse der an diesen Zahntypen erhobenen Messwerte gewährleistet nach KVAAL et al. (1995) die beste Korrelation mit dem Alter.

Um Beeinflussungen auszuschliessen, war das Alter der untersuchten Personen der Untersucherin zum Vermessungszeitpunkt nicht bekannt. Die an den Orthopantomogrammen erhobenen Messwerte wurden in einer Datenbank vom Typ Excel Windows 95 verwaltet.

Die Auswertung der Messwerte erfolgte mit Hilfe des Statistikprogrammes SPSS for Windows, Version 10.0.7 (SPSS Inc., Chicago, USA).

5.3 Hauptversuch 2

5.3.1 Problembeschreibung

Ziel des Hauptversuchs 2 ist die Ermittlung einer Regressionsgleichung anhand von 50 Orthopantomogrammen aus dem Kollektiv B_{OPG} nach der Methode von KVAAL et al. (1995) unter Zugrundelegung der Messdaten von 6 Zähnen pro Orthopantomogramm.

Weiterhin wird anhand von 50 Zahnfilmen des Zahnes 15/25 desselben 50er-Kollektivs nach der Methode von KVAAL et al. (1995) eine Regressionsgleichung ermittelt.

Aus dem oben formulierten Ziel lassen sich die folgenden Fragen ableiten, die im Ergebnisteil dieser Arbeit beantwortet werden:

- 1) Welchen Einfluss hat die Kollektivgrösse auf die Genauigkeit der Altersschätzung anhand des Zahnfilms nach der Methode von KVAAL et al. (1995) bei Betrachtung der Messungen lediglich eines Zahnes pro Patient (15/25)?
- 2) Welchen Einfluss hat die Kollektivgrösse auf die Altersschätzung anhand der Methode von KVAAL et al. (1995) am Orthopantomogramm bei Betrachtung von 6 Zähnen?

5.3.2 Versuchsaufbau

In dem Kollektiv von 100 Personen aus Hauptversuch 1 befanden sich 73 Personen, von denen neben einem Orthopantomogramm auch Zahnfilme vorlagen, die im Erstellungsdatum bis maximal 3 Monate vom Orthopantomogramm abwichen. Die Zähne 15/25 waren die mit 50 vorhandenen Zahnfilmen am häufigsten abgebildeten Zähne. Daher wurden für den Hauptversuch 2 die oberen zweiten Prämolaren als Untersuchungsobjekt ausgewählt.

Im Hauptversuch 2 wurden je ein Orthopantomogramm und 1 Zahnfilm von 50 Individuen im Alter von 19 bis 59 Jahren nach der Methode von KVAAL et al. (1995) vermessen und ausgewertet. Die Vermessung erfolgte analog der in Kapitel 5.1.1 beschriebenen Vorgehensweise (siehe Abbildung 19 Seite 87). Alle Individuen entstammten dem in Hauptversuch 1 untersuchten Kollektiv B_{OPG} . Tabelle 12 gibt die Alters- und Geschlechtsverteilung des untersuchten Teilkollektivs, im weiteren Textverlauf als Kollektiv B_{OPG50} bezeichnet, wieder:

		Geschlecht		Total
		w	m	
Alter	1 19 bis 29	9	2	11
	2 30 bis 39	13	6	19
	3 40 bis 49	9	9	18
	4 50 bis 59	2		2
Total		33	17	50

Tabelle 12:
Kontingenztafel zur Alters- und Geschlechtsverteilung der 50 Patienten des Kollektivs B_{OPG50}

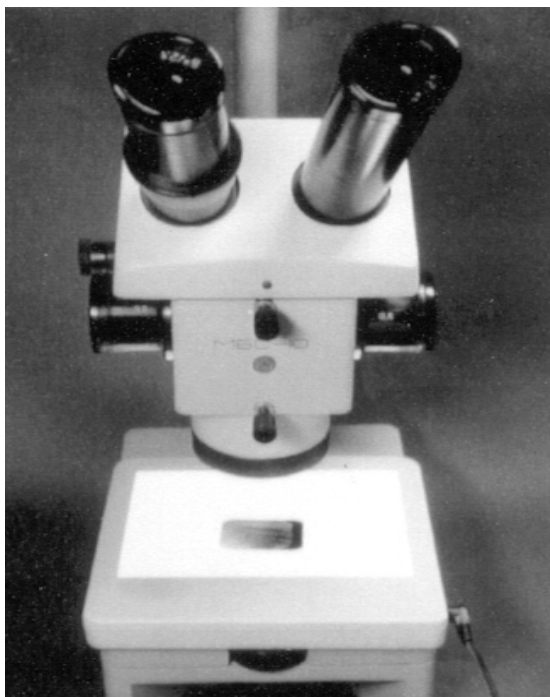


Abbildung 19:
Versuchsaufbau zur Erhebung der Messwerte A, C und B anhand eines Zahnfilmes; der Zahnfilm liegt auf der Leuchtplatte, die auf dem Objektisch des Mikroskops platziert wurde

Das Alter der untersuchten Personen war der Untersucherin zum Vermessungszeitpunkt nicht bekannt. Die Betrachtung der Orthopantomogramme und Zahnfilme erfolgte zu unterschiedlichen Zeitpunkten, um eine Übertragung der aus der Vermessung des Orthopantomogramms gewonnenen Erkenntnisse auf den Zahnfilm desselben Individuums zu vermeiden.

Die an den Zahnfilmen erhobenen Messwerte wurden ebenfalls in einer Datenbank vom Typ Excel Windows 95 verwaltet. Die Auswertung der Messwerte erfolgte mit Hilfe des Statistikprogrammes SPSS for Windows, Version 10.0.7 (SPSS Inc., Chicago, USA).

5.4 Benutzte statistische Verfahren

Alle Messdaten wurden in einem handelsüblichen Computer (IBM Pentium III) verarbeitet und einer Signifikanzprüfung durch das Statistikprogramm SPSS for Windows, Version 10.0.7 (SPSS Inc., Chicago, USA) unterzogen.

Am Kollektiv wurden Häufigkeitsauszählungen zur Ermittlung der prozentualen Altersverteilung durchgeführt (Tabelle 11 und 12 Seite 85 und 87).

Die an Orthopantomogrammen und Zahnfilmen erhobenen Messwerte wurden jeweils einer schrittweisen multiplen linearen Regressionsanalyse unterzogen und der Korrelationskoeffizient nach Pearson zwischen Alter und Messwerten berechnet.

Des Weiteren wurden anhand von beschreibenden Statistiken Minimalwert, Maximalwert, Mittelwert und Standardabweichung für die Verhältnisse der Längen- und Weitenmessungen pro Zahntyp ermittelt.

6.0 Ergebnisse der Übertragung der Methode nach KVAAL et al. auf das Orthopantomogramm

Im Hauptversuch 1 wurden die Orthopantomogramme von 100 Personen unter Zugrundelegung der von KVAAL et al. 1995 für den Zahnfilm vorgestellten Methodik vermessen. Die Messergebnisse wurden mittels multipler linearer Regressionsanalyse analog der Vorgehensweise von KVAAL et al. (1995) auf ihre Korrelation mit dem Alter hin untersucht.

Weiterhin wurden dieselben Messwerte nach einem eigenen statistischen Ansatz einer multiplen linearen Regressionsanalyse unterzogen.

Im Hauptversuch 2 wurde anhand von 50 Orthopantomogrammen nach der Methode von KVAAL et al. (1995) unter Vermessung der 6 vorgegebenen Zähne eine Regressionsgleichung ermittelt.

Ebenfalls wurde anhand von 50 Zahnfilmen des Zahnes 15/25 desselben Kollektivs nach der Methode von KVAAL et al. (1995) eine Regressionsgleichung ermittelt.

6.1 Ergebnisse des Hauptversuchs 1

Diagramm 3 gibt die Altersverteilung innerhalb des Kollektivs B_{OPG} aus Hauptversuch 1 wieder:

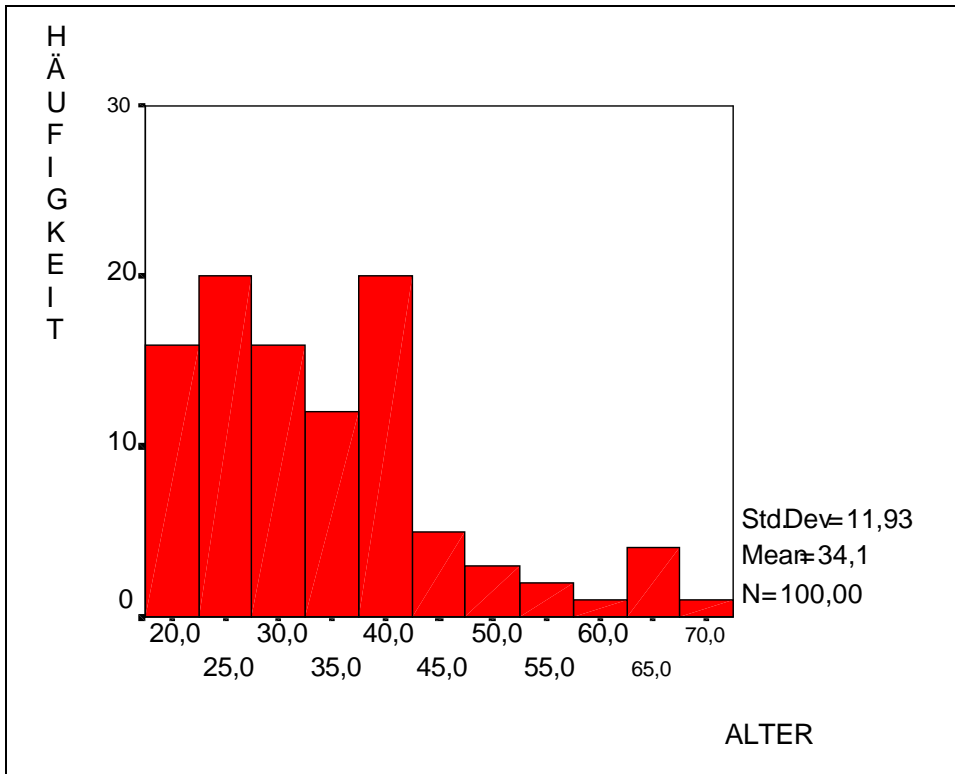


Diagramm 3:
Altersverteilung innerhalb des Kollektivs B_{OPG} von 100 Patienten aus Hauptversuch 1 mit einem Durchschnittsalter von 34,1 Jahren bei einem Altersintervall von 19 bis 71 Jahren

In der kumulativen Betrachtung der Altersverteilung des Kollektivs B_{OPG} weisen 52% der Patienten ein Alter bis 32 Jahre auf, 74% der Patienten sind bis 40 Jahre alt. Mit 26% ist der Anteil der Patienten über 40 Jahre relativ gering, was die Zuverlässigkeit einer Altersaussage für die Gruppe der über 40-Jährigen verringert.

Die am Kollektiv B_{OPG} an den von KVAAL et al. 1995 als am höchsten mit dem Alter korreliert identifizierten Zähne 11/21, 12/22, 15/25, 32/42, 33/43, 34/44 erhobenen Messwerte in cm sind in den Tabellen 13 bis 18 wiedergegeben:

Zahn 11/21:

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
P_1	100	1,00	1,25	1,1096	,0594
T_1	100	1,26	1,79	1,5377	,1000
R_1	100	,62	,86	,7234	,0442
A_1	100	,10	,35	,2418	,0512
B_1	100	,08	,30	,2011	,0396
C_1	100	,08	,29	,1753	,0374
M_1	100	,61	,73	,6648	,0301
W_1	100	,08	,27	,1882	,0345
L_1	100	,82	1,02	,9165	,0430
WL1	100	-,84	-,60	-,7283	,0470
Valid N (listwise)	100				

Tabelle 13:

1 = Zahn 11/21; Längenmessungen (gelb): P = Quotient aus Pulpalänge und Wurzellänge, T = Quotient aus Zahnlänge und Wurzellänge, R = Quotient aus Pulpalänge und Zahnlänge; Breitenmessungen (grün): A = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf Höhe der Schmelz-Zementgrenze, B = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Strecke zwischen Schmelz-Zementgrenze und halber Wurzellänge, C = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Wurzellänge; M = Mittelwert aller Quotienten; W = Mittelwert der Breitenquotienten B und C, WL = Differenz aus W und L; N = Anzahl der vermessenen Zähne

Zahn 12/22:

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
P_2	100	,85	1,25	1,0870	,0563
T_2	100	1,11	1,70	1,4737	,0940
R_2	100	,64	,95	,7396	,0477
A_2	100	,11	,35	,2331	,0482
B_2	100	,12	,33	,2058	,0417
C_2	100	,08	,29	,1834	,0412
M_2	100	,59	,72	,6538	,0300
W_2	100	,11	,29	,1946	,0369
L_2	100	,75	1,03	,9133	,0426
WL2	100	-,87	-,53	-,7188	,0535
Valid N (listwise)	100				

Tabelle 14:

2 = Zahn 12/22; Längenmessungen: P = Quotient aus Pulpalänge und Wurzellänge, T = Quotient aus Zahnlänge und Wurzellänge, R = Quotient aus Pulpalänge und Zahnlänge; Breitenmessungen: A = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf Höhe der Schmelz-Zementgrenze, B = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Strecke zwischen Schmelz-Zementgrenze und halber Wurzellänge, C = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Wurzellänge; M = Mittelwert aller Quotienten; W = Mittelwert der Breitenquotienten B und C, L = Mittelwert der Längenquotienten P und R, WL = Differenz aus W und L; N = Anzahl der vermessenen Zähne

Zahn 15/25:

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
P_3	100	,73	1,30	1,0773	,0863
T_3	100	1,12	1,82	1,5065	,1011
R_3	100	,46	,93	,7175	,0651
A_3	100	,11	,31	,1952	,0455
B_3	100	,10	,37	,1804	,0433
C_3	100	,04	,28	,1579	,0487
M_3	100	,53	,75	,6391	,0346
W_3	100	,08	,32	,1692	,0408
L_3	100	,61	1,09	,8974	,0696
WL3	100	-,92	-,44	-,7282	,0800
Valid N (listwise)	100				

Tabelle 15:

3 = Zahn 15/25; Längenmessungen: P = Quotient aus Pulpalänge und Wurzellänge, T = Quotient aus Zahnlänge und Wurzellänge, R = Quotient aus Pulpalänge und Zahnlänge; Breitenmessungen: A = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf Höhe der Schmelz-Zementgrenze, B = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Strecke zwischen Schmelz-Zementgrenze und halber Wurzellänge, C = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Wurzellänge; M = Mittelwert aller Quotienten; W = Mittelwert der Breitenquotienten B und C, L = Mittelwert der Längenquotienten P und R, WL = Differenz aus W und L; N = Anzahl der vermessenen Zähne

Zahn 32/42:

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
P_4	100	,77	1,69	1,1076	,0962
T_4	100	1,32	2,19	1,4866	,1130
R_4	100	,56	,84	,7455	,0386
A_4	100	,12	,36	,2080	,0430
B_4	100	,13	,29	,1910	,0357
C_4	100	,06	,32	,1773	,0454
M_4	100	,54	,87	,6527	,0381
W_4	100	,12	,30	,1841	,0372
L_4	100	,66	1,25	,9266	,0596
WL4	100	-1,07	-,47	-,7424	,0710
Valid N (listwise)	100				

Tabelle 16:

4 = Zahn 32/42; Längenmessungen: P = Quotient aus Pulpalänge und Wurzellänge, T = Quotient aus Zahnlänge und Wurzellänge, R = Quotient aus Pulpalänge und Zahnlänge; Breitenmessungen: A = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf Höhe der Schmelz-Zementgrenze, B = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Strecke zwischen Schmelz-Zementgrenze und halber Wurzellänge, C = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Wurzellänge; M = Mittelwert aller Quotienten; W = Mittelwert der Weitenquotienten B und C, L = Mittelwert der Längenquotienten P und R, WL = Differenz aus W und L; N = Anzahl der vermessenen Zähne

Zahn 33/43:

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
P_5	100	,97	1,38	1,0911	,0536
T_5	100	1,22	1,73	1,4222	,0833
R_5	100	,60	,86	,7684	,0356
A_5	100	,11	,29	,1862	,0351
B_5	100	,11	,31	,1724	,0333
C_5	100	,09	,27	,1701	,0317
M_5	100	,57	,73	,6351	,0241
W_5	100	,12	,26	,1712	,0284
L_5	100	,82	1,10	,9298	,0358
WL5	100	-,93	-,65	-,7585	,0467
Valid N (listwise)	100				

Tabelle 17:

5 = Zahn 33/43; Längenmessungen: P = Quotient aus Pulpalänge und Wurzellänge, T = Quotient aus Zahnlänge und Wurzellänge, R = Quotient aus Pulpalänge und Zahnlänge; Breitenmessungen: A = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf Höhe der Schmelz-Zementgrenze, B = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Strecke zwischen Schmelz-Zementgrenze und halber Wurzellänge, C = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Wurzellänge; M = Mittelwert aller Quotienten; W = Mittelwert der Breitenquotienten B und C, L = Mittelwert der Längenquotienten P und R, WL = Differenz aus W und L; N = Anzahl der vermessenen Zähne

Zahn 34/44:

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
P_6	100	1,01	1,55	1,1026	,0640
T_6	100	1,15	2,01	1,4519	,0890
R_6	100	,71	,88	,7602	,0288
A_6	100	,12	,33	,1914	,0397
B_6	100	,11	,29	,1797	,0363
C_6	100	,07	,30	,1688	,0414
M_6	100	,60	,81	,6424	,0268
W_6	100	,09	,29	,1742	,0323
L_6	100	,88	1,16	,9314	,0375
WL6	100	-,99	-,62	-,7571	,0516
Valid N (listwise)	100				

Tabelle 18:

6 = Zahn 34/44; Längenmessungen: P = Quotient aus Pulpalänge und Wurzellänge, T = Quotient aus Zahnlänge und Wurzellänge, R = Quotient aus Pulpalänge und Zahnlänge; Breitenmessungen: A = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf Höhe der Schmelz-Zementgrenze, B = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Strecke zwischen Schmelz-Zementgrenze und halber Wurzellänge, C = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Wurzellänge; M = Mittelwert aller Quotienten; W = Mittelwert der Breitenquotienten B und C, L = Mittelwert der Längenquotienten P und R, WL = Differenz aus W und L; N = Anzahl der vermessenen Zähne

6.1.1 Korrelation zwischen dem Alter und jedem der von KVAAL et al. (1995) vorgegebenen Quotienten, Mittelwerte und Differenzen

Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse wurden ermittelt unter Zugrundelegung der von KVAAL et al. 1995 angewandten Methodik und sind zu vergleichen mit den im Originaltext von KVAAL et al. (1995) auf Seite 179 in Tabelle 2 wiedergegebenen Ergebnissen (siehe Anhang Seite XVI).

Die Korrelationskoeffizienten zwischen jedem der von KVAAL et al. (1995) definierten Quotienten, Mittelwerte und Differenzen und dem tatsächlichen Alter der Patienten für jeden Zahntyp ebenso wie deren Signifikanz innerhalb der 1%-Grenze, ermittelt für das Kollektiv B_{OPG} (= von der Autorin betrachtetes Kollektiv von 100 Patienten, in dem von jedem Patienten ein Orthopantomogramm vorlag), geben die Tabellen 19 bis 28 wieder. Um den direkten Vergleich zu ermöglichen, sind die von KVAAL et al. (1995) am Zahnfilm ermittelten Korrelationskoeffizienten und Signifikanzwerte ebenfalls aufgeführt (K_{ZF} = von KVAAL

et al. (1995) betrachtetes Kollektiv, in dem pro Patient ein Zahnfilmstatus vorlag).

1. Korrelation zwischen dem Alter und dem Quotienten P_Q aus Pulpalänge und Wurzellänge für alle 6 betrachteten Zähne:

		P_Q 11/21	P_Q 12/22	P_Q 15/25	P_Q 32/42	P_Q 33/43	P_Q 34/44
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B_{OPG}	-,42	-,25	-,15	-,10	-,16	-,04
	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv K_{ZF}	-,77	-,68	-,54	-,63	-,59	-,60
	Signifikanz Kollektiv B_{OPG}	,000	,011	,146	,303	,120	,673
	Signifikanz Kollektiv K_{ZF}	s	s	s	s	s	s
	N	100	100	100	100	100	100

Tabelle 19:

Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die 6 von KVAAL et al. (1995) vorgegebenen Zähne (11/12, 12/22, 15/25, 32/42, 33/43, 34/44) zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Quotienten P_Q aus Pulpalänge und Wurzellänge für die Kollektive B_{OPG} und K_{ZF} ; fett: signifikant innerhalb der 1%-Grenze; s = signifikant

Der Vergleich der Korrelationskoeffizienten der Kollektive B_{OPG} und K_{ZF} für P_Q zeigt für das Kollektiv B_{OPG} eine innerhalb der 1%-Grenze signifikante Korrelation von P_Q mit dem Alter (Zahn 11/21), der für das Kollektiv K_{ZF} sechs signifikante Korrelationen gegenüberstehen.

Der Zusammenhang zwischen dem Alter und P_Q ist im Kollektiv B_{OPG} weniger stark ausgeprägt als im Kollektiv K_{ZF} , die Anzahl der signifikanten Korrelationen ist geringer (eine gegenüber sechs). Weiterhin sind die Korrelationskoeffizienten für das Kollektiv B_{OPG} kleiner als die entsprechenden Korrelationskoeffizienten für das Kollektiv K_{ZF} .

Im Balkendiagramm dargestellt, ergibt sich für die Gegenüberstellung der Korrelationskoeffizienten nach Pearson der Kollektive B_{OPG} und K_{ZF} das folgende

Bild:

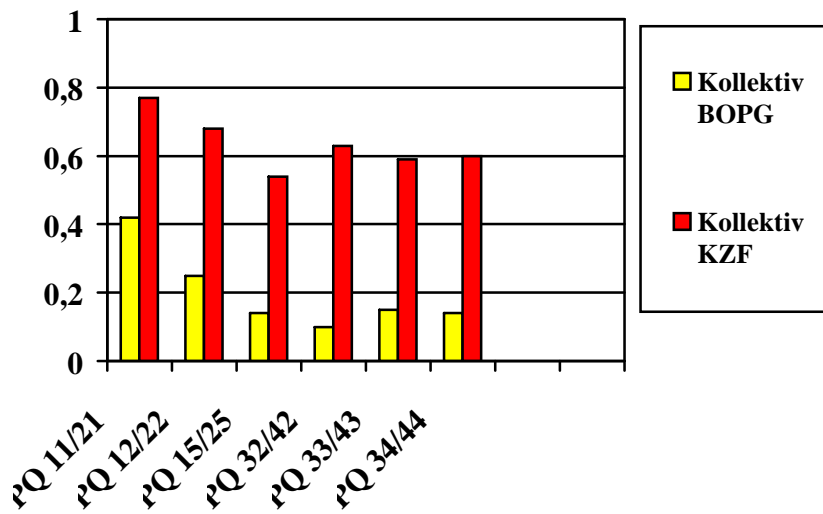


Diagramm 4:
Gegenüberstellung der Korrelationskoeffizienten nach Pearson der Kollektive B_{OPG} und K_{ZF} für P_Q; P_Q = Quotient aus Pulpalänge und Wurzellänge

Es wird anschaulich, dass der Zusammenhang zwischen dem Alter und P_Q für das Kollektiv B_{OPG} weniger stark ausgeprägt ist als für das Kollektiv K_{ZF}. Dies kommt zum Ausdruck in den für alle Zähne kleineren Korrelationskoeffizienten für das Kollektiv B_{OPG}.

2. Korrelation zwischen dem Alter und dem Quotienten T_Q aus Zahnlänge und Wurzellänge:

		T_Q 11/21	T_Q 12/22	T_Q 15/25	T_Q 32/42	T_Q 33/43	T_Q 34/44
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B_{OPG}	-,12	-,18	-,32	-,05	-,31	-,01
	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv K_{ZF}	-,28	-,08	-,09	-,31	-,12	-,16
	Signifikanz Kollektiv B_{OPG}	,229	,079	,001	,621	,002	,905
	Signifikanz Kollektiv K_{ZF}	s	ns	ns	s	ns	s
	N	100	100	100	100	100	100

Tabelle 20:
Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die 6 von KVAAL et al. (1995) vorgegebenen Zähne (11/12, 12/22, 15/25, 32/42, 33/43, 34/44) zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Quotienten T_Q aus Zahnlänge und Wurzellänge für die Kollektive B_{OPG} und K_{ZF} ; fett: signifikant innerhalb der 1%-Grenze; s = signifikant, ns = nicht signifikant

Der Vergleich der Korrelationskoeffizienten der Kollektive B_{OPG} und K_{ZF} für T_Q zeigt für das Kollektiv B_{OPG} zwei innerhalb der 1%-Grenze signifikante Korrelationen von T_Q mit dem Alter (Zähne 15/25, 33/43), der für das Kollektiv K_{ZF} drei signifikante Korrelationen gegenüberstehen.

Der Zusammenhang zwischen dem Alter und T_Q ist im Kollektiv B_{OPG} weniger stark ausgeprägt als im Kollektiv K_{ZF} , die Anzahl der signifikanten Korrelationen ist geringer (zwei gegenüber drei).

Die Gegenüberstellung der Korrelationskoeffizienten nach Pearson der Kollektive B_{OPG} und K_{ZF} im Balkendiagramm ergibt das folgende Bild:

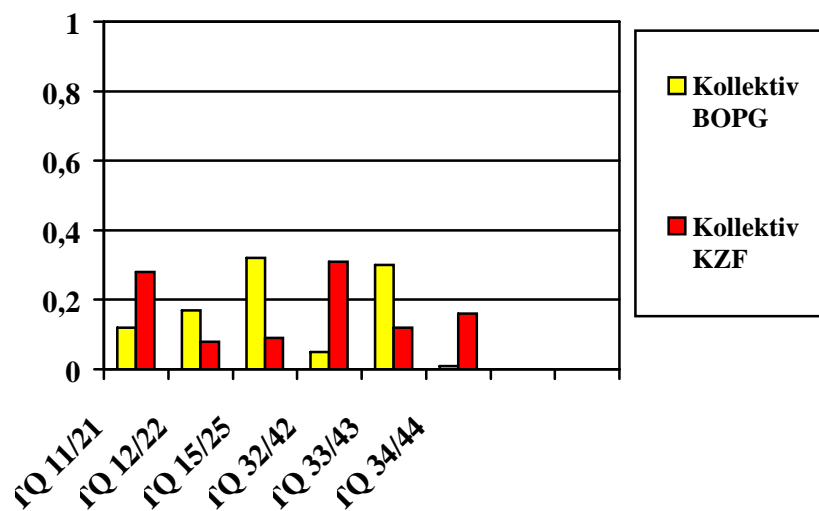


Diagramm 5:
Gegenüberstellung der Korrelationskoeffizienten nach Pearson der Kollektive B_{OPG} und K_{ZF} für T_Q; T_Q = Quotient aus Zahnlänge und Wurzellänge

Der Zusammenhang zwischen Alter und T_Q ist für die Zähne 11/21, 32/42 und 34/44 im Kollektiv K_{ZF} stärker ausgeprägt, wohingegen im Kollektiv B_{OPG} der Zusammenhang mit T_Q bei den Zähnen 12/22, 15/25 und 33/43 stärker ausgeprägt ist. Insgesamt ist das Bild im Vergleich mit P_Q inhomogener.

3. Korrelation zwischen dem Alter und dem Quotienten R_Q aus Pulpalänge und Zahnlänge:

		R_Q 11/21	R_Q 12/22	R_Q 15/25	R_Q 32/42	R_Q 33/43	R_Q 34/44
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B_{OPG}	-,25	-,05	,11	-,11	,25	-,10
	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv K_{ZF}	-,63	-,72	-,56	-,48	-,63	-,51
	Signifikanz Kollektiv B_{OPG}	,012	,604	,264	,293	,014	,331
	Signifikanz Kollektiv K_{ZF}	s	s	s	s	s	s
	N	100	100	100	100	100	100

Tabelle 21:
Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die 6 von KVAAL et al. (1995) vorgegebenen Zähne (11/12, 12/22, 15/25, 32/42, 33/43, 34/44) zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Quotienten R_Q aus Pulpalänge und Zahnlänge für die Kollektive B_{OPG} und K_{ZF} ; fett: signifikant innerhalb der 1%-Grenze; s = signifikant

Der Vergleich der Korrelationskoeffizienten der Kollektive B_{OPG} und K_{ZF} für R_Q zeigt für das Kollektiv B_{OPG} keine innerhalb der 1%-Grenze signifikanten Korrelationen von R_Q mit dem Alter, der für das Kollektiv K_{ZF} sechs signifikante Korrelationen gegenüberstehen.

Das Diagramm 6 stellt dieses Ergebnis graphisch dar:

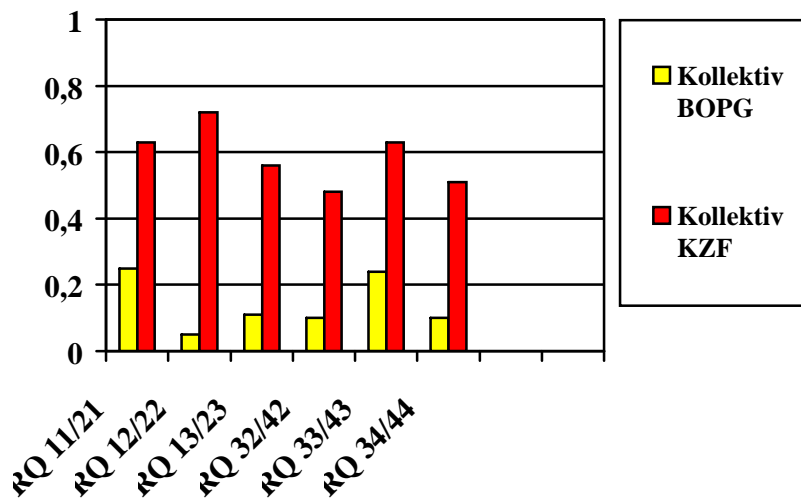


Diagramm 6:

Gegenüberstellung der Korrelationskoeffizienten nach Pearson der Kollektive B_{OPG} und K_{ZF} für R_Q ; R_Q = Quotient aus Pulpalänge und Zahnlänge

Es wird anschaulich, dass der Zusammenhang zwischen dem Alter und R_Q für das Kollektiv B_{OPG} weniger stark ausgeprägt ist als für das Kollektiv K_{ZF} . Dies kommt zum Ausdruck in den für alle Zähne kleineren Korrelationskoeffizienten für das Kollektiv B_{OPG} .

4. Korrelation zwischen dem Alter und dem Quotienten A aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf Höhe der Schmelz-Zementgrenze:

		A 11/21	A 12/22	A 15/25	A 32/42	A 33/43	A 34/44
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B _{OPG}	-,33	-,57	-,09	-,14	-,28	-,13
	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv K _{ZF}	-,68	-,70	-,70	-,67	-,68	-,73
	Signifikanz Kollektiv B _{OPG}	,001	,000	,401	,180	,005	,216
	Signifikanz Kollektiv K _{ZF}	s	s	s	s	s	s
	N	100	100	100	100	100	100

Tabelle 22:

Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die 6 von KVAAL et al. (1995) vorgegebenen Zähne (11/12, 12/22, 15/25, 32/42, 33/43, 34/44) zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Quotienten A aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf Höhe der Schmelz-Zementgrenze für die Kollektive B_{OPG} und K_{ZF}; fett: signifikant innerhalb der 1%-Grenze; s = signifikant

Der Vergleich der Korrelationskoeffizienten der Kollektive und B_{OPG} und K_{ZF} für A zeigt für das Kollektiv B_{OPG} drei innerhalb der 1%-Grenze signifikante Korrelationen von A mit dem Alter (Zähne 11/21, 12/22, 33/43), der für das Kollektiv K_{ZF} sechs signifikante Korrelationen gegenüberstehen.

Der Zusammenhang zwischen dem Alter und A ist im Kollektiv B_{OPG} weniger stark ausgeprägt als im Kollektiv K_{ZF}, die Anzahl der signifikanten Korrelationen ist geringer (drei gegenüber sechs).

Die Gegenüberstellung der Korrelationskoeffizienten nach Pearson der Kollektive B_{OPG} und K_{ZF} im Balkendiagramm zeigt für A das folgende Ergebnis:

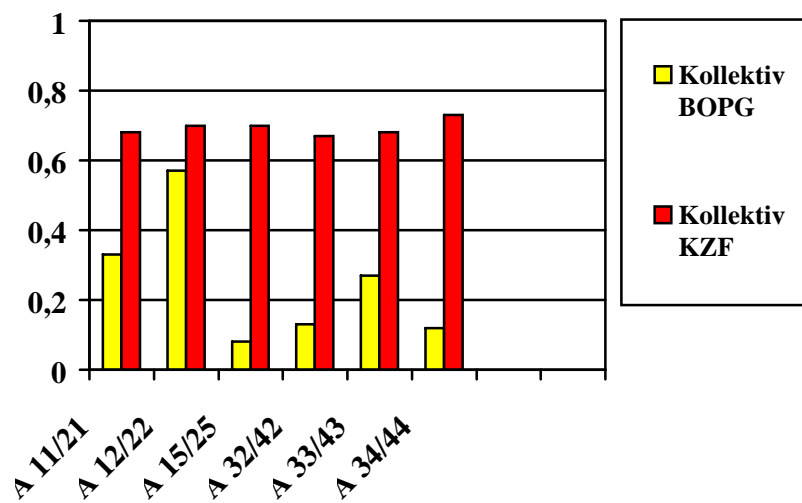


Diagramm 7:
Gegenüberstellung der Korrelationskoeffizienten nach Pearson der Kollektive B_{OPG} und K_{ZF} für A; A = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf Höhe der Schmelz-Zementgrenze

Diagramm 7 veranschaulicht, dass der Zusammenhang zwischen dem Alter und A für das Kollektiv B_{OPG} weniger stark ausgeprägt ist als für das Kollektiv K_{ZF} . Dies kommt zum Ausdruck in den für alle Zähne kleineren Korrelationskoeffizienten für das Kollektiv B_{OPG} , wobei die Korrelationskoeffizienten für die Zähne 11/21 und 12/22 am grössten sind.

5. Korrelation zwischen dem Alter und dem Quotienten C aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Strecke zwischen Schmelz-Zementgrenze und Apex:

		C 11/21	C 12/22	C 15/25	C 32/42	C 33/43	C 34/44
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B _{OPG}	-,29	-,33	-,30	-,06	-,16	-,21
	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv K _{ZF}	-,58	-,68	-,55	-,61	-,53	-,59
	Signifikanz Kollektiv B _{OPG}	,004	,001	,003	,532	,104	,040
	Signifikanz Kollektiv K _{ZF}	s	s	s	s	s	s
	N	100	100	100	100	100	100

Tabelle 23:

Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die 6 von KVAAL et al. (1995) vorgegebenen Zähne (11/12, 12/22, 15/25, 32/42, 33/43, 34/44) zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Quotienten C aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Strecke zwischen Schmelz-Zementgrenze und Apex für die Kollektive B_{OPG} und K_{ZF}; fett: signifikant innerhalb der 1%-Grenze; s = signifikant

Der Vergleich der Korrelationskoeffizienten der Kollektive B_{OPG} und K_{ZF} für C zeigt für das Kollektiv B_{OPG} drei innerhalb der 1%-Grenze signifikante Korrelationen von C mit dem Alter (Zähne 11/21, 12/22, 13/23), der für das Kollektiv K_{ZF} sechs signifikante Korrelationen gegenüberstehen.

Der Zusammenhang zwischen dem Alter und C ist im Kollektiv B_{OPG} weniger stark ausgeprägt als im Kollektiv K_{ZF}, die Anzahl der signifikanten Korrelationen ist geringer (drei gegenüber sechs).

Das Balkendiagramm der Gegenüberstellung der Korrelationskoeffizienten ergibt für C das folgende Bild:

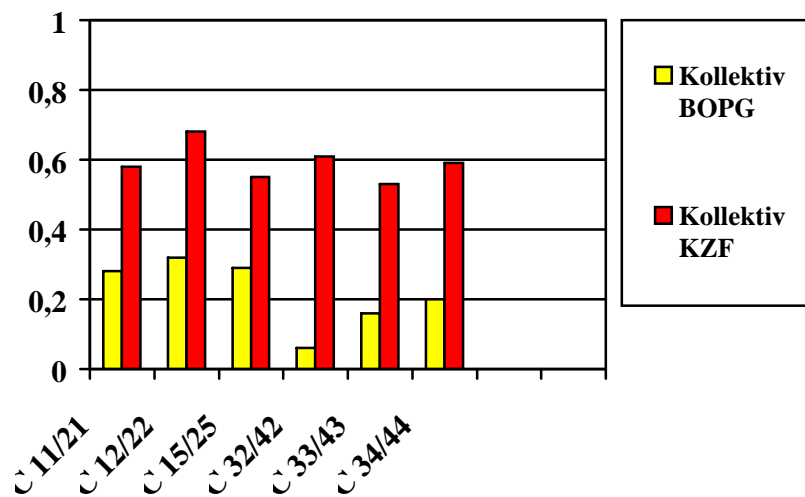


Diagramm 8:
Gegenüberstellung der Korrelationskoeffizienten nach Pearson der Kollektive B_{OPG} und K_{ZF} für C; C = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Strecke zwischen Schmelz-Zementgrenze und Apex

Der Zusammenhang zwischen dem Alter und C ist für das Kollektiv B_{OPG} weniger stark ausgeprägt als für das Kollektiv K_{ZF}. Die Korrelationskoeffizienten für das Kollektiv B_{OPG} sind für alle Zähne kleiner als die für das Kollektiv K_{ZF}.

6. Korrelation zwischen dem Alter und dem Quotienten B aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf der Hälfte der Strecke A-C

		B 11/21	B 12/22	B 15/25	B 32/42	B 33/43	B 34/44
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B _{OPG}	-,44	-,43	-,16	,00	-,33	-,42
	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv K _{ZF}	-,62	-,73	-,56	-,66	-,56	-,62
	Signifikanz Kollektiv B _{OPG}	,000	,000	,118	,993	,001	,000
	Signifikanz Kollektiv K _{ZF}	s	s	s	s	s	s
	N	100	100	100	100	100	100

Tabelle 24:

Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die 6 von KVAAL et al. (1995) vorgegebenen Zähne (11/12, 12/22, 15/25, 32/42, 33/43, 34/44) zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Quotienten B aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf der Hälfte der Strecke A-C für die Kollektive B_{OPG} und K_{ZF}; fett: signifikant innerhalb der 1%-Grenze; s = signifikant

Der Vergleich der Korrelationskoeffizienten der Kollektive B_{OPG} und K_{ZF} für B zeigt für das Kollektiv B_{OPG} vier innerhalb der 1%-Grenze signifikante Korrelationen von B mit dem Alter (Zähne 11/21, 12/22, 33/43, 34/44), der für das Kollektiv K_{ZF} sechs signifikante Korrelationen gegenüberstehen.

Der Zusammenhang zwischen dem Alter und B ist im Kollektiv B_{OPG} weniger stark ausgeprägt als im Kollektiv K_{ZF}, die Anzahl der signifikanten Korrelationen ist geringer (vier gegenüber sechs). Auffällig ist der im Kollektiv B_{OPG} für den Zahn 32/42 sehr niedrige Korrelationskoeffizient von 0,001.

Im Balkendiagramm stellt sich dieser Sachverhalt folgendermassen dar:

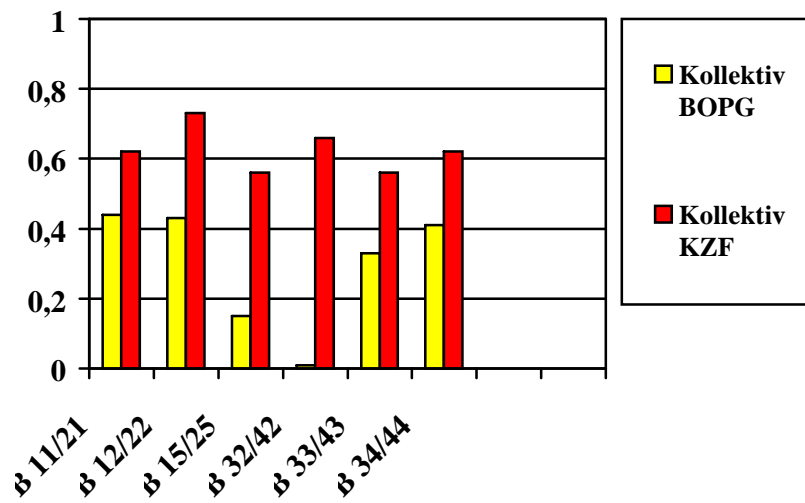


Diagramm 9:
Gegenüberstellung der Korrelationskoeffizienten nach Pearson der Kollektive B_{OPG} und K_{ZF} für B; B = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf der Hälfte der Strecke A-C

Im folgenden werden die Korrelationskoeffizienten und Signifikanzen für die von KVAAL et al. (1995) vorgegebenen Mittelwerte M, W und L und für die Differenz W-L für die einzelnen Zahntypen dargestellt:

7. Korrelation zwischen dem Alter und dem Mittelwert M aller Quotienten

		M	M	M	M	M	M
		11/21	12/22	15/25	32/42	33/43	34/44
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B _{OPG}	-,52	-,51	-,31	-,12	-,35	-,21
	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv K _{ZF}	-,83	-,80	-,75	-,71	-,75	-,77
	Signifikanz Kollektiv B _{OPG}	,000	,000	,002	,218	,000	,040
	Signifikanz Kollektiv K _{ZF}	s	s	s	s	s	s
	N	100	100	100	100	100	100

Tabelle 25:

Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die 6 von KVAAL et al. (1995) vorgegebenen Zähne (11/12, 12/22, 15/25, 32/42, 33/43, 34/44) zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Mittelwert M aller Quotienten für die Kollektive B_{OPG} und K_{ZF}; fett: signifikant innerhalb der 1%-Grenze; s = signifikant

Der Vergleich der Korrelationskoeffizienten der Kollektive B_{OPG} und K_{ZF} für M zeigt für das Kollektiv B_{OPG} vier innerhalb der 1%-Grenze signifikante Korrelationen von M mit dem Alter (Zähne 11/21, 12/22, 15/25, 33/43), der für das Kollektiv K_{ZF} sechs signifikante Korrelationen gegenüberstehen.

Im Balkendiagramm dargestellt, ergibt sich das folgende Bild:

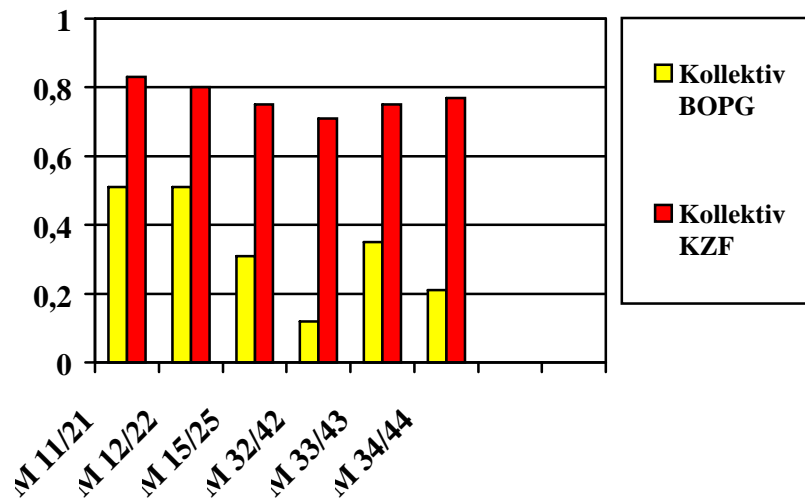


Diagramm 10:
Gegenüberstellung der Korrelationskoeffizienten nach Pearson der Kollektive B_{OPG} und K_{ZF} für M; M = Mittelwert aller Quotienten

Der Zusammenhang zwischen dem Alter und M ist im Kollektiv B_{OPG} weniger stark ausgeprägt als im Kollektiv K_{ZF}.

8. Korrelation zwischen dem Alter und dem Mittelwert W der Quotienten B und C

		W 11/21	W 12/22	W 15/25	W 32/42	W 33/43	W 34/44
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B _{OPG}	-,41	-,43	-,26	-,04	-,29	-,36
	Signifikanz Kollektiv K _{ZF}	-,66	-,74	-,60	-,72	-,61	-,67
	Signifikanz Kollektiv B _{OPG}	,000	,000	,009	,707	,004	,000
	Signifikanz Kollektiv K _{ZF}	s	s	s	s	s	s
	N	100	100	100	100	100	100

Tabelle 26:
Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die 6 von KVAAL et al. (1995) vorgegebenen Zähne (11/12, 12/22, 15/25, 32/42, 33/43, 34/44) zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Mittelwert W der Quotienten B und C für die Kollektive B_{OPG} und K_{ZF}; fett: signifikant innerhalb der 1%-Grenze; s = signifikant

Der Vergleich der Korrelationskoeffizienten der Kollektive B_{OPG} und K_{ZF} für W zeigt für das Kollektiv B_{OPG} fünf innerhalb der 1%-Grenze signifikante Korrelationen von W mit dem Alter (Zähne 11/21, 12/22, 15/25, 33/43), der für das Kollektiv K_{ZF} sechs signifikante Korrelationen gegenüberstehen.

Das Balkendiagramm zeigt das folgende Bild:

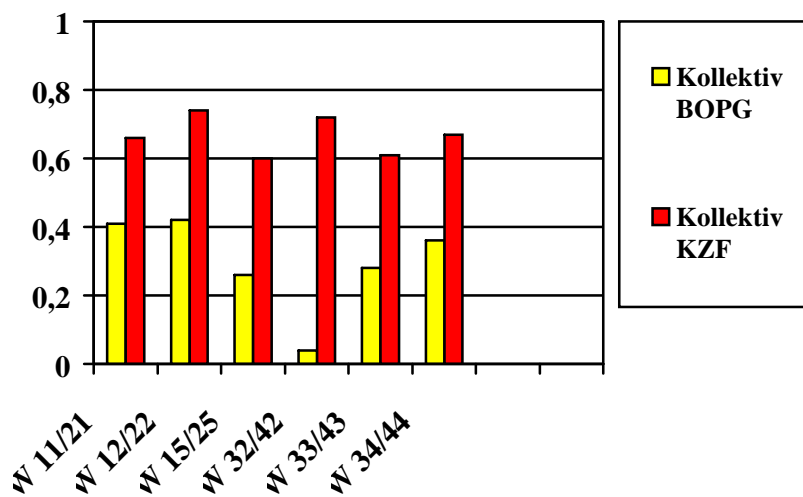


Diagramm 11:
Gegenüberstellung der Korrelationskoeffizienten nach Pearson der Kollektive B_{OPG} und K_{ZF} für W; W = Mittelwert der Quotienten B und C

Der Zusammenhang zwischen dem Alter und W ist im Kollektiv B_{OPG} weniger stark ausgeprägt als im Kollektiv K_{ZF}. Auffällig ist der sehr geringe Zusammenhang zwischen W und dem Alter bei Betrachtung des Zahnes 32/42.

9. Korrelation zwischen dem Alter und dem Mittelwert L der Quotienten P und R:

		L 11/21	L 12/22	L 15/25	L 32/42	L 33/43	L 34/44
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B _{OPG}	-,42	-,20	-,04	-,12	,01	-,07
	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv K _{ZF}	-,76	-,71	-,60	-,60	-,63	-,60
	Signifikanz Kollektiv B _{OPG}	,000	,050	,707	,240	,957	,464
	Signifikanz Kollektiv K _{ZF}	s	s	s	s	s	s
	N	100	100	100	100	100	100

Tabelle 27:
Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die 6 von KVAAL et al. (1995) vorgegebenen Zähne (11/12, 12/22, 15/25, 32/42, 33/43, 34/44) zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Mittelwert L der Quotienten P und R für die Kollektive B_{OPG} und K_{ZF}; fett: signifikant innerhalb der 1%-Grenze; s = signifikant

Der Vergleich der Korrelationskoeffizienten der Kollektive B_{OPG} und K_{ZF} für L zeigt für das Kollektiv B_{OPG} eine innerhalb der 1%-Grenze signifikante Korrelation von L mit dem Alter (Zahn 11/21), der für das Kollektiv K_{ZF} sechs signifikante Korrelationen gegenüberstehen.

Das Balkendiagramm verdeutlicht den Vergleich beider Kollektive:

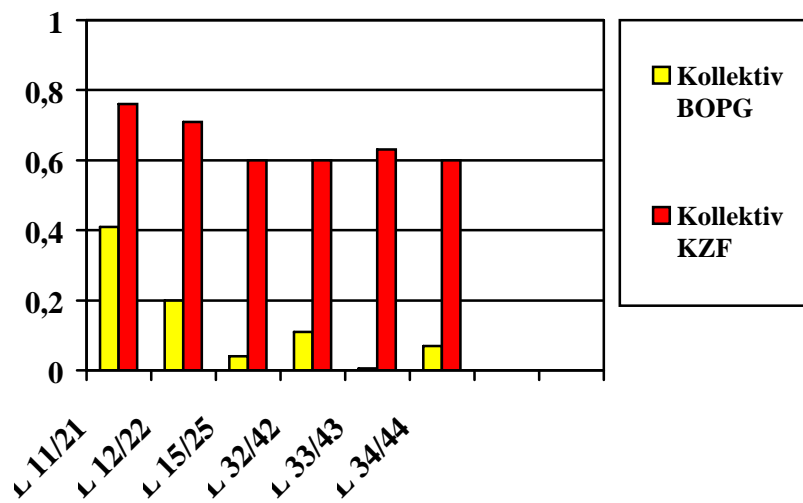


Diagramm 12:
Gegenüberstellung der Korrelationskoeffizienten nach Pearson der Kollektive B_{OPG} und K_{ZF} für L; L = Mittelwert der Quotienten P und R

Auffallend sind die im Kollektiv B_{OPG} im Vergleich zum Kollektiv K_{ZF} sehr gering ausgeprägten Korrelationen.

10. Korrelation zwischen dem Alter und der Differenz W-L:

		W-L 11/21	W-L 12/22	W-L 15/25	W-L 32/42	W-L 33/43	W-L 34/44
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B _{OPG}	,09	-,14	-,10	,08	-,18	-,17
	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv K _{ZF}	0,66	0,54	0,34	0,30	0,35	0,25
	Signifikanz Kollektiv B _{OPG}	,412	,169	,321	,432	,076	,083
	Signifikanz Kollektiv K _{ZF}	s	s	s	s	s	s
	N	100	100	100	100	100	100

Tabelle 28:

Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die 6 von KVAAL et al. (1995) vorgegebenen Zähne (11/12, 12/22, 15/25, 32/42, 33/43, 34/44) zwischen dem tatsächlichen Alter und der Differenz W-L aus W und L für die Kollektive B_{OPG} und K_{ZF}; fett: signifikant innerhalb der 1%-Grenze; s = signifikant

Der Vergleich der Korrelationskoeffizienten der Kollektive B_{OPG} und K_{ZF} für W-L zeigt für das Kollektiv B_{OPG} keine innerhalb der 1%-Grenze signifikante Korrelation von W-L mit dem Alter, der für das Kollektiv K_{ZF} sechs signifikante Korrelationen gegenüberstehen.

Dies Ergebnis stellt sich graphisch wie folgt dar:

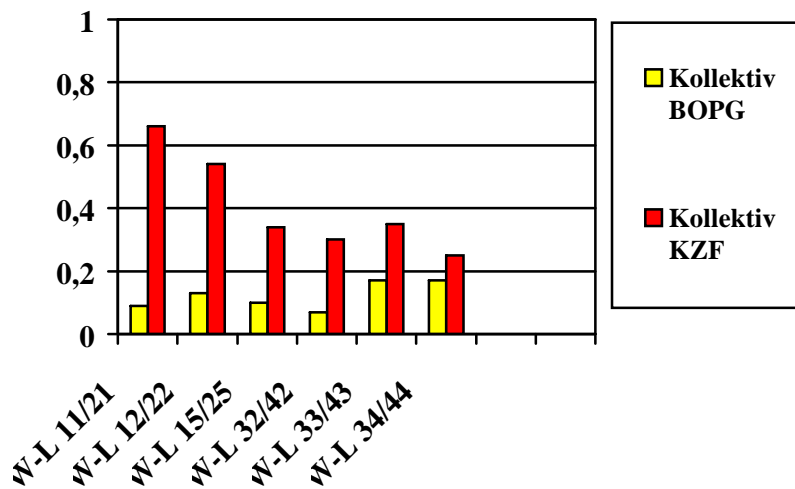


Diagram 13:

Gegenüberstellung der Korrelationskoeffizienten nach Pearson der Kollektive B_{OPG} und K_{ZF} für W-L; W-L = Differenz aus W und L

Pro Kollektiv wurden jeweils 60 Korrelationen ermittelt. In der Gesamtschau der Tabellen 19 bis 28 sind im Kollektiv K_{ZF} 57 Korrelationen signifikant, 3 nicht signifikant. Im Kollektiv B_{OPG} stehen 23 signifikante Korrelationen 37 nicht signifikanten Korrelationen gegenüber.

Mit Ausnahme des Quotienten T_Q sind die Korrelationskoeffizienten des Kollektivs B_{OPG} stets kleiner als die entsprechenden Korrelationskoeffizienten des Kollektivs K_{ZF} .

Nicht signifikante Zusammenhänge zwischen den Quotienten und dem Alter finden sich im Kollektiv K_{ZF} lediglich für den Quotienten T_Q , wohingegen sich im Kollektiv B_{OPG} nicht signifikante Zusammenhänge bei allen betrachteten Quotienten und Mittelwerten sowie bei der Differenz W-L zeigen.

Festzuhalten bleibt, dass der Zusammenhang zwischen dem Alter und den Quotienten, Mittelwerten und der Differenz im Kollektiv B_{OPG} weniger stark ausgeprägt ist als im Kollektiv K_{ZF} .

6.1.2 Korrelation zwischen dem Alter und M, W, L und W-L, dargestellt für beide Kiefer, Ober- und Unterkiefer

Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse wurden ermittelt unter Zugrundelegung der von KVAAL et al. 1995 angewandten Methodik und entsprechen den im Originaltext von KVAAL et al. (1995) auf Seite 180 in Tabelle 4 dargestellten Ergebnissen.

Die Ermittlung der Korrelationskoeffizienten zwischen dem Alter und M, W, L und W-L für beide Kiefer, den Oberkiefer und den Unterkiefer brachte die folgenden Ergebnisse:

1. Korrelation zwischen dem Alter und dem Mittelwert aller Quotienten M:

		M beide Kiefer	M Ober- kiefer	M Unter- kiefer
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B _{OPG}	-,52	-,56	-,31
	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv K _{ZF}	-,86	-,85	-,82
	Signifikanz Kollektiv B _{OPG}	,000	,000	,002
	Signifikanz Kollektiv K _{ZF}	s	s	s
	N	100	100	100

Tabelle 29:
Korrelationskoeffizienten nach Pearson zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Mittelwert aller Quotienten M für beide Kiefer, Oberkiefer und Unterkiefer für die Kollektive B_{OPG} und K_{ZF}; fett: signifikant innerhalb der 1%-Grenze; s = signifikant

Der Vergleich der Korrelationskoeffizienten der Kollektive B_{OPG} und K_{ZF} für M zeigt für das Kollektiv B_{OPG} für beide Kiefer, den Oberkiefer und den Unterkiefer eine innerhalb der 1%-Grenze signifikante Korrelation von M mit dem Alter; diesen stehen für das Kollektiv K_{ZF} ebenfalls drei signifikante Korrelationen gegenüber.

Im Balkendiagramm stellt sich der Vergleich der Korrelationskoeffizienten wie folgt dar:

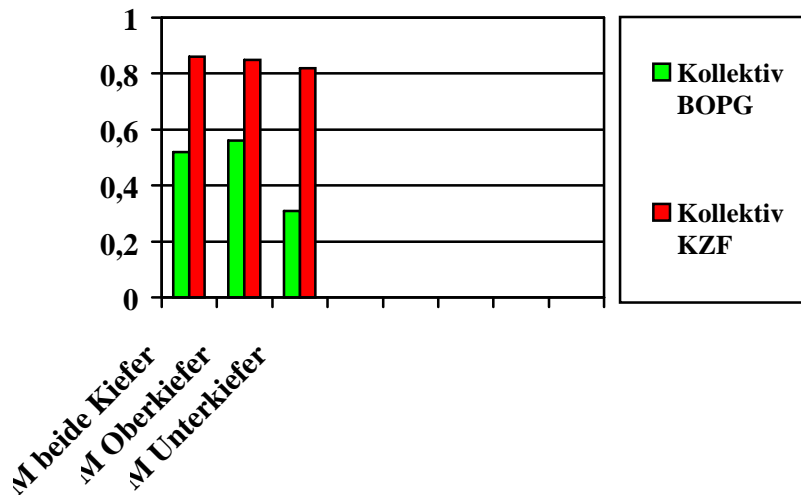


Diagramm 14:
Gegenüberstellung der Korrelationskoeffizienten nach Pearson zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Mittelwert aller Quotienten M der Kollektive B_{OPG} und K_{ZF}

Die Korrelationskoeffizienten des Kollektivs B_{OPG} sind kleiner als die des Kollektivs K_{ZF} , jedoch sind die Zusammenhänge zwischen dem Alter und M für das Kollektiv B_{OPG} in allen drei Fällen hoch signifikant.

2. Korrelation zwischen dem Alter und dem Mittelwert W der Quotienten B und C:

		W beide Kiefer	W Ober- kiefer	W Unter- kiefer
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B _{OPG}	-,45	-,47	-,30
	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv K _{ZF}	-,82	-,77	-,80
	Signifikanz Kollektiv B _{OPG}	,000	,000	,003
	Signifikanz Kollektiv K _{ZF}	s	s	s
	N	100	100	100

Tabelle 30:
Korrelationskoeffizienten nach Pearson zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Mittelwert W der Quotienten B und C für beide Kiefer, Oberkiefer und Unterkiefer für die Kollektive B_{OPG} und K_{ZF}; fett: signifikant innerhalb der 1%-Grenze; s = signifikant

Der Vergleich der Korrelationskoeffizienten der Kollektive B_{OPG} und K_{ZF} für W zeigt für das Kollektiv B_{OPG} für beide Kiefer, den Oberkiefer und den Unterkiefer eine innerhalb der 1%-Grenze signifikante Korrelation von W mit dem Alter, denen für das Kollektiv K_{ZF} ebenfalls drei signifikante Korrelationen gegenüberstehen.

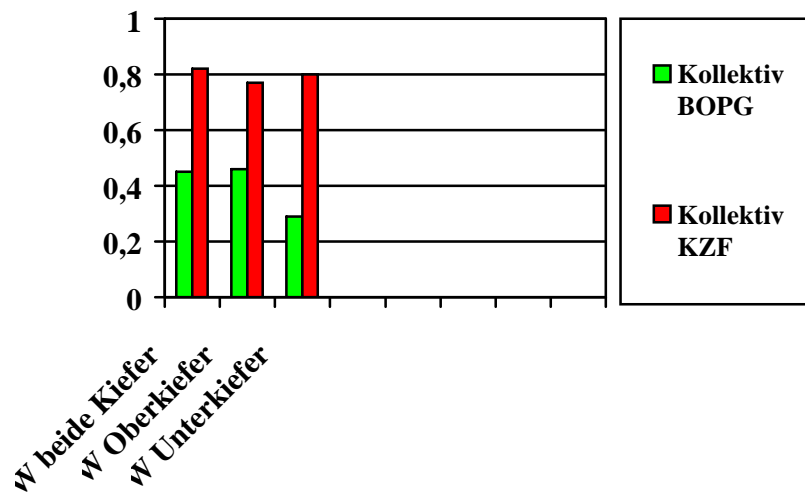


Diagramm 15:
Gegenüberstellung der Korrelationskoeffizienten nach Pearson zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Mittelwert W der Quotienten B und C der Kollektive B_{OPG} und K_{ZF}

Wiederum sind die Korrelationskoeffizienten des Kollektivs B_{OPG} kleiner als die des Kollektivs K_{ZF}, wobei auch für W die Zusammenhänge mit dem Alter in allen drei Fällen hoch signifikant sind.

3. Korrelation zwischen dem Alter und dem Mittelwert L der Quotienten P und R:

		L beide Kiefer	L Ober- kiefer	L Unter- kiefer
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B _{OPG}	-,27	-,30	-,11
	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv K _{ZF}	-,81	-,80	-,72
	Signifikanz Kollektiv B _{OPG}	,008	,003	,275
	Signifikanz Kollektiv K _{ZF}	s	s	s
	N	100	100	100

Tabelle 31:

Korrelationskoeffizienten nach Pearson zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Mittelwert L der Quotienten P und R für beide Kiefer, Oberkiefer und Unterkiefer für die Kollektive B_{OPG} und K_{ZF}; fett: signifikant innerhalb der 1%-Grenze; s = signifikant

Der Vergleich der Korrelationskoeffizienten der Kollektive B_{OPG} und K_{ZF} für L zeigt für das Kollektiv B_{OPG} für beide Kiefer und den Oberkiefer eine innerhalb der 1%-Grenze signifikante Korrelation von L mit dem Alter. Diesen zwei Signifikanzen stehen drei signifikante Korrelationen im Kollektiv K_{ZF} gegenüber.

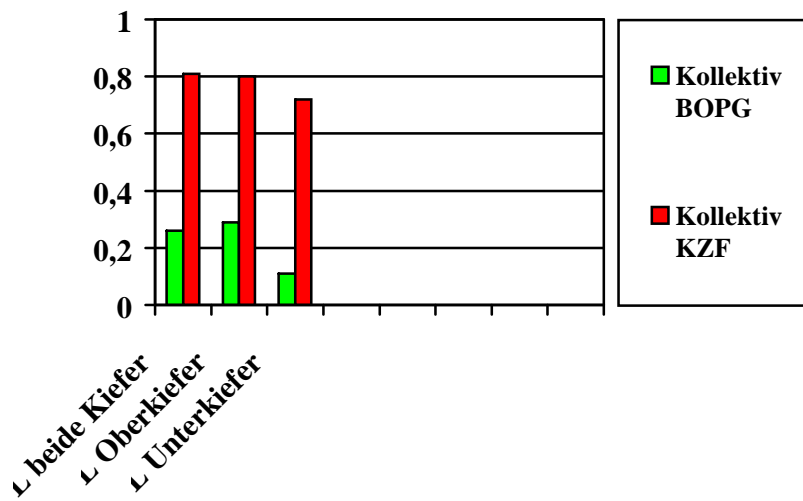


Diagramm 16:
 Gegenüberstellung der Korrelationskoeffizienten nach Pearson zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Mittelwert L der Quotienten P und R der Kollektive B_{OPG} und K_{ZF}

Auch für L sind die Korrelationskoeffizienten des Kollektivs B_{OPG} kleiner als die des Kollektivs K_{ZF}. Der Zusammenhang zwischen dem Alter und L ist in zwei von drei Fällen hoch signifikant.

4. Korrelation zwischen dem Alter und der Differenz W-L:

		W-L beide Kiefer	W-L Ober- kiefer	W-L Unter- kiefer
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B _{OPG}	-,13	-,10	-,10
	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv K _{ZF}	,65	,68	,41
	Signifikanz Kollektiv B _{OPG}	,213	,332	,328
	Signifikanz Kollektiv K _{ZF}	s	s	s
	N	100	100	100

Tabelle 32:

Korrelationskoeffizienten nach Pearson zwischen dem tatsächlichen Alter und W-L für beide Kiefer, Oberkiefer und Unterkiefer der Kollektive B_{OPG} und K_{ZF}; fett: signifikant innerhalb der 1%-Grenze; s = signifikant

Der Vergleich der Korrelationskoeffizienten der Kollektive B_{OPG} und K_{ZF} für W-L zeigt für das Kollektiv B_{OPG} keine innerhalb der 1%-Grenze signifikante Korrelation von W-L mit dem Alter. Dem stehen für das Kollektiv K_{ZF} drei signifikante Korrelationen gegenüber.

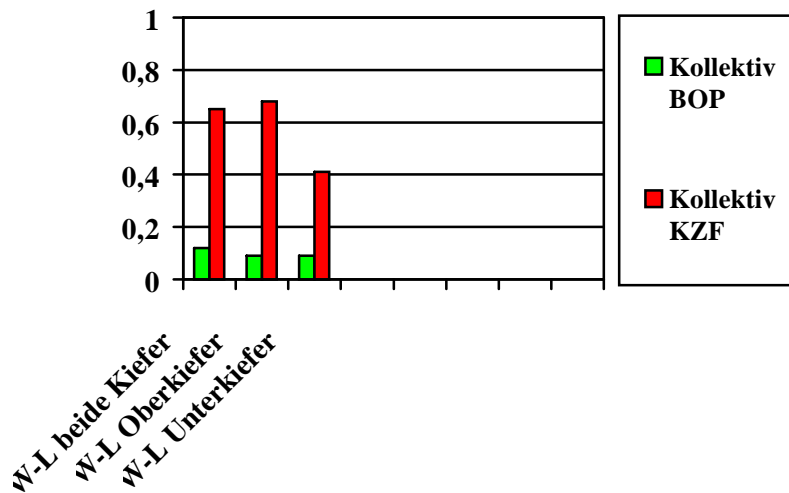


Diagramm 17:
Gegenüberstellung der Korrelationskoeffizienten nach Pearson zwischen dem tatsächlichen Alter und der Differenz aus W-L der Kollektive B_{OPG} und K_{ZF} für W-L

Die Korrelationskoeffizienten für das Kollektiv B_{OPG} sind für W-L wesentlich kleiner als die für das Kollektiv K_{ZF} .

Während für das Kollektiv K_{ZF} der Bezug zum Alter mit Ausnahme von W-L bei Betrachtung beider Kiefer am ausgeprägtesten ist, so ist für das Kollektiv B_{OPG} der Bezug zum Alter bei Betrachtung des Oberkiefers am stärksten ausgeprägt, wiederum mit Ausnahme von W-L (Tabelle 33):

Quotient/Kiefer	beide Kiefer		Oberkiefer		Unterkiefer	
	B_{OPG}	K_{ZF}	B_{OPG}	K_{ZF}	B_{OPG}	K_{ZF}
M	-,52	-,86	-,56	-,85	-,31	-,82
W	-,45	-,82	-,47	-,77	-,30	-,80
L	-,27	-,81	-,30	-,80	-,11	-,72
W-L	-,13	,65	-,70	,68	-,10	,41

Tabelle 33:
Korrelationskoeffizienten für die Kollektive B_{OPG} und K_{ZF} für beide Kiefer, den Oberkiefer und den Unterkiefer mit M = Mittelwert aller Quotienten, W = Mittelwert der Breitenquotienten B und C, L = Mittelwert der Längenquotienten P und R, W-L = Differenz aus W und L

Durch schrittweise multiple lineare Regression konnten für das Alter in Jahren,

basierend auf der von KVAAL et al. (1995) vorgestellten Methode, für das Kollektiv B_{OPG} die folgenden Regressionsgleichungen ermittelt werden (Tabelle 34):

	Regressionsgleichung	r^2	S.E.E.
Kiefer:			
Sechs Zähne, beide Kiefer	Alter = 244,3 – 324,5 (M)	0,27	10,2
Drei Zähne, Oberkiefer	Alter = 211,4 – 271,7 (M)	0,32	9,9
Drei Zähne, Unterkiefer	Alter = 153,6 – 185,8 (M)	0,10	11,4
Einzelne Zähne:	-	-	-
11/21	Alter = 170,2 – 204,8 (M)	0,27	10,3
12/22	Alter = 167,9 – 204,6	0,26	10,3
15/25	Alter = 101,4 – 105,4 (M)	0,09	11,4
32/42			
33/43	Alter = 110,4 – 190,2 (M) – 58,7 (W-L)	0,18	10,9
34/44	Alter = 068,5 – 120,6 (M) – 56,8 (W-L)	0,10	11,4

Tabelle 34:
Regressionsgleichungen Kollektiv B_{OPG} ; r^2 = Mass für die aufgeklärte Varianz, S.E.E. = Standardfehler der Altersschätzung in Jahren (Standard Error of the Estimate), M = Mittelwert aller Quotienten, W-L = Differenz aus W und L

Zum Vergleich sind in Tabelle 35 die von KVAAL et al. 1995 ermittelten Regressionsgleichungen wiedergegeben:

	Regressionsgleichung	r^2	S.E.E.
Kiefer:			
Sechs Zähne, beide Kiefer	Alter = 129,8 – 316,4(M) – 66,8(W-L)	0,76	8,6
Drei Zähne, Oberkiefer	Alter = 120,0 – 256,6(M) – 45,3(W-L)	0,74	8,9
Drei Zähne, Unterkiefer	Alter = 135,3 – 356,8(M) – 82,5(W-L)	0,71	9,4
Einzelne Zähne:			
11/21	Alter = 110,2 – 201,4(M) – 31,3(W-L)	0,70	9,5
12/22	Alter = 103,5 – 216,6(M) – 46,6(W-L)	0,67	10,0
15/25	Alter = 125,3 – 288,5(M) – 46,3(W-L)	0,60	11,0
32/42	Alter = 106,6 – 251,7(M) – 61,2(W-L) – 6,0(G)	0,57	11,5
33/43	Alter = 158,8 – 255,7(M)	0,56	11,5
34/44	Alter = 133,0 – 318,3(M) – 65,0(W-L)	0,64	10,5

Tabelle 35:
Regressionsgleichungen Kollektiv K_{ZF} ; r^2 = Mass für die aufgeklärte Varianz, S.E.E. = Standardfehler der Altersschätzung in Jahren (Standard Error of the Estimate), M = Mittelwert aller Quotienten, W-L = Differenz aus W und L, G = Geschlecht

Die Übereinstimmung von tatsächlichem und mit Hilfe des Orthopantomogramms ermitteltem Alter ist schwächer ausgeprägt als die Übereinstimmung, die KVAAL et al. (1995) bei Anwendung identischer Methodik durch Vermessung von Zahnfilmen erreichten. So bewegt sich der Standardfehler bei KVAAL et al. (1995) im Bereich von 8,6 bis 11,5 Jahren. Die Vermessung und Auswertung von Orthopantomogrammen nach der Methode von KVAAL et al. (1995) ergab eine Abweichung von 9,9 bis 11,4 Jahren. Die grösste Übereinstimmung von tatsächlichem mit anhand des Orthopantomogramms ermitteltem Alter wird erreicht bei Betrachtung der drei Oberkiefer-Zähne: hier liegt die maximal zu erwartende Abweichung bei +/- 9,9 Jahren (KVAAL et al. (1995): +/- 8,9 Jahre). KVAAL et al. (1995) ermittelten die höchste Übereinstimmung von tatsächlichem und anhand von Zahnfilmen ermitteltem Alter bei Betrachtung aller 6 Zähne mit einer Abweichung von +/- 8,6 Jahren (B_{OPG} : 10,2 Jahre).

W-L spielt bei Auswertung der am Orthopantomogramm erhobenen Messwerte eine untergeordnete Rolle für die Altersaussage. M hingegen übt einen signifikanten Einfluss auf die Altersaussage aus. Das Geschlecht wiederum geht bei Betrachtung des Orthopantomogramms in keine der Regressionsgleichungen ein.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass bei Anwendung der Methode von KVAAL et al. (1995) auf den Zahnfilm eine genauere Altersschätzung zu erreichen ist (+/- 8,6 Jahre) als bei Anwendung der Methode von KVAAL et al. (1995) auf das Orthopantomogramm (+/- 9,9 Jahre).

6.1.3 Genauigkeit der Altersschätzung anhand des Orthopantomogramms bei Auswertung der Messwerte mittels eines eigenen statistischen Ansatzes

Zum Vergleich mit den in den Abschnitten 6.1.1 und 6.1.2 dargestellten, anhand der von KVAAL et al. (1995) vorgegeben Methodik ermittelten Ergebnisse

wurde in einem zweiten Analyse-Ansatz eine schrittweise multiple lineare Regressionsanalyse mit dem Alter als abhängiger Variablen durchgeführt, wobei auf die Bildung von Quotienten, Mittelwerten und Differenzen verzichtet und mit den am Orthopantomogramm erhobenen, isolierten Messwerten gearbeitet wurde.

Die der Auswertung zugrunde liegenden Messwerte sind identisch mit den den Ergebnissen der Abschnitte 6.1.1 und 6.1.2 zugrundeliegenden Messwerten.

Tabelle 36 gibt die mit diesem Verfahren ermittelten Standardabweichungen in Jahren und die aufgeklärte Varianz r^2 in Abhängigkeit vom betrachteten Zahntyp wieder:

Zahn	S.E.E.	r^2
Zahn 11/21	10,70	0,211
Zahn 12/22	9,55	0,378
Zahn 15/25	11,09	0,144
Zahn 32/42	10,94	0,167
Zahn 33/43	10,36	0,261
Zahn 34/44	8,62	0,499

Tabelle 36:
Standardfehler der Altersschätzung in Jahren (S.E.E. = standard error of the estimate) für das Kollektiv B_{OPG} für jeden Zahntyp bei Auswertung der absoluten Messwerte ohne Bildung der von KVAAL et al. (1995) vorgegebenen Quotienten und aufgeklärte Varianz r^2

Die genaueste Altersschätzung bei Auswertung der Messung an nur einem Zahn ergibt sich bei Betrachtung des unteren ersten Prämolaren mit +/- 8,6 Jahren. Dieses Ergebnis entspricht dem mit der Methode KVAAL et al. am Zahnfilm bei Betrachtung aller sechs „KVAAL-Zähne“ beider Kiefer erreichten Genauigkeit von ebenfalls 8,6 Jahren.

Bei multipler linearer Regressionsanalyse aller 6 Zähne unter Zugrundelegung der Rohwerte und somit wiederum Verzicht auf die Bildung von Quotienten ergibt sich eine Standardabweichung des geschätzten Alters vom tatsächlichen Alter von +/- 6,5 Jahren. Tabelle 37 gibt die Regressions-Schritte in der Über-

sicht wieder:

Modell	r	r ²	S.E.E.
1	0,482	0,23	10,50
2	0,620	0,39	9,45
3	0,688	0,48	8,79
4	0,739	0,55	8,21
5	0,766	0,59	7,87
6	0,785	0,62	7,63
7	0,807	0,65	7,30
8	0,818	0,67	7,15
9	0,813	0,66	7,21
10	0,822	0,68	7,08
11	0,834	0,70	6,91
12	0,842	0,70	6,79
13	0,852	0,73	6,62
14	0,859	0,74	6,50

Tabelle 37:
Standardfehler der Altersschätzung in Jahren (S.E.E. = Standard Error of the Estimate)
des Modells der schrittweisen linearen multiplen Regressionsanalyse für das Kollektiv
B_{OPG}, r = Korrelationskoeffizient nach Pearson, r² = Mass für die aufgeklärte Varianz

Tabelle 38 gibt die Zähne und Messungen wieder, anhand derer die Standardabweichung von 6,5 Jahren ermittelt wurde:

WB6 (34/44) Br Wurzel B	Erster unterer Prämolare: Breite der Wurzel auf Höhe B
PA2 (12/22) Br Pulpa A	Seitlicher oberer Schneidezahn: Breite der Pulpa auf Höhe A
PB6 (34/44) Br Pulpa B	Erster unterer Prämolare: Breite der Pulpa auf Höhe B
WA6 (34/44) Br Wurzel A	Erster unterer Prämolare: Breite der Wurzel auf Höhe A
WC2 (12/22) Br Wurzel C	Seitlicher oberer Schneidezahn: Breite der Wurzel auf Höhe C
PB1 (11/21) Br Pulpa B	Mittlerer oberer Schneidezahn: Breite der Pulpa auf Höhe B
WC3 (15/25) Br Wurzel C	Zweiter oberer Prämolare: Breite der Wurzel auf Höhe C
PA5 (33/43) Br Pulpa A	Unterer Eckzahn: Breite der Pulpa auf Höhe A
LW5 (33/43) L Wurzel	Unterer Eckzahn: Länge der Wurzel
LP1 (11/21) L Pulpa total	Mittlerer oberer Schneidezahn: Länge der Pulpa
LW1 (11/21) L Wurzel	Mittlerer oberer Schneidezahn: Länge der Wurzel
PC1 (11/21) Br Pulpa C	Mittlerer oberer Schneidezahn: Breite der Pulpa auf Höhe C

Tabelle 38:

Zähne und Strecken, anhand derer das Ergebnis der Altersschätzung von +/- 6,5 Jahren anhand der multiplen linearen Regressionsanalyse unter Zugrundelegung absoluter Messwerte erzielt wurde; A = Messwert erhoben auf Höhe der Schmelz-Zementgrenze, C = Messwert erhoben auf halber Strecke zwischen Schmelz-Zementgrenze und Apex, B = Messwert erhoben auf halber Strecke zwischen A und C; Br = Breite, L = Länge

Die Längenmessungen tragen mit drei Werten kaum zur Genauigkeit der Altersschätzung bei; die Breitenmessungen hingegen nehmen mit neun Werten starken Einfluss auf die Genauigkeit der Altersschätzung. Insgesamt ist die Altersschätzung mit einer Genauigkeit von +/- 6,5 Jahren durch die Regressionsanalyse von 12 Messwerten zu ermitteln, wohingegen KVAAL et al. (1995) die präziseste Altersaussage von +/- 8,6 Jahren durch die Auswertung von 54 Messwerten, nämlich je 9 Messungen an 6 Zähnen, erreichten.

Die Bildung von Quotienten erweist sich am Orthopantomogramm als für die Ergebnisgenauigkeit nicht förderlich, da bei Zugrundelegung der gemessenen Strecken als Rohwerte das Ergebnis der Altersschätzung um 2,1 Jahre genauer ist als nach der von KVAAL et al (1995) für den Zahnfilm entwickelten Methode.

Das Maß für die aufgeklärte Varianz r^2 für die Methode nach KVAAL et al. (1995) liegt zwischen 0,56 und 0,76. Für die schrittweise multiple lineare Regression ohne Bildung von Quotienten liegt r^2 zwischen 0,23 und 0,74. Diese

Werte spiegeln eine bessere Anpassung des gewählten Analysemodells an die erhobenen Daten für den Ansatz von KVAAL et al. (1995) wieder, wobei in der Praxis die Genauigkeit der Altersschätzung weitaus mehr Bedeutung hat als die recht abstrakte Anpassung des Modells an die Daten.

Die Regressionsgleichung für die Auswertung anhand der isolierten Messwerte lautet:

$$\text{Alter} = 11,1 + 9,8 \times \text{WB6} - 7,2 \times \text{PA2} - 13,8 \times \text{PB6} - 4,1 \times \text{WA6} + 2,5 \times \text{WC2} - 12,2 \times \text{PB1} + 2,7 \times \text{WC3} - 6,4 \times \text{PA5} + 0,8 \times \text{LW5} - 2,3 \times \text{LP1} + 2,1 \times \text{LW1} + 7,7 \times \text{PC1}$$

(WB6 = Wurzelbreite Zahn 34/44 auf Höhe B, PA2 = Pulpabreite Zahn 12/22 auf Höhe A; PB6 = Pulpabreite Zahn 34/44 auf Höhe B; WA6 = Wurzelbreite Zahn 34/44 auf Höhe A; WC2 = Wurzelbreite Zahn 12/22 auf Höhe C; PB1 = Pulpabreite Zahn 11/21 auf Höhe B; WC3 = Wurzelbreite Zahn 15/25 auf Höhe C; PA5 = Pulpabreite Zahn 33/43 auf Höhe A; LW5 = Wurzellänge Zahn 33/43; LP1 = Pulpalänge Zahn 11/21; LW1 = Wurzellänge Zahn 11/21; PC1 = Pulpabreite Zahn 11/21 auf Höhe C)

Tabelle 39 enthält eine Gegenüberstellung der Ergebnisse der Altersschätzungen aus den zwei Analyse-Ansätzen für das Kollektiv B_{OPG} im Vergleich mit den Ergebnissen des 1995 am Kollektiv K_{ZF} ermittelten Ergebnisses:

Kollektiv	Analysemethode	Höchste Ergebnisgenauigkeit
K _{ZF}	Multiple lineare Regression; Bildung von Quotienten, Mittelwerten, Differenzen	+/- 8,6 Jahre bei Vermessung aller sechs Zähne beider Kiefer
B _{OPG}	Multiple lineare Regression; Bildung von Quotienten, Mittelwerten, Differenzen (Methode analog KVAAL et al. (1995))	+/- 9,9 Jahre bei Vermessung der drei Oberkiefer-Zähne
B _{OPG}	Multiple lineare Regression; Verwendung von Rohwerten	+/- 6,5 Jahre bei Regressionsanalyse von 12 Rohwerten

Tabelle 39:
Übersicht über die Ergebnisgenauigkeiten der Altersschätzung in Jahren Abweichung vom tatsächlichen Alter für die Kollektive B_{OPG} und K_{ZF} unter Berücksichtigung des zugrunde liegenden Analyseverfahrens

Die im Kapitel 5.2.1 Problembeschreibung gestellten Fragen lassen sich aufgrund der oben dargestellten Ergebnisse wie folgt beantworten:

- 1) Mit welcher Genauigkeit lässt sich das Alter Erwachsener schätzen, wenn die ursprünglich für den Zahnfilm entwickelte Methode von KVAAL et al. (1995) auf das Orthopantomogramm übertragen wird?

Das Alter Erwachsener lässt sich bei Anwendung der ursprünglich für den Zahnfilm entwickelten Methode von KVAAL et al. (1995) auf das Orthopantomogramm bis auf maximal +/- 9,9 Jahre Abweichung vom tatsächlichen Alter schätzen. Dieses Ergebnis wurde erreicht durch Vermessung der drei Oberkieferzähne 11/21, 12/22 und 15/25.

- 2) Mit welcher Genauigkeit lässt sich das Alter Erwachsener schätzen, wenn, abweichend der von KVAAL et al. 1995 gewählten statistischen Methode, eine auf der Analyse von Rohwerten basierende multiple lineare Regressionsanalyse durchgeführt wird?

Das Alter Erwachsener lässt sich unter Zugrundelegung der am Orthopantomogramm ermittelten Rohwerte für die multiple lineare Regressionsanalyse mit einer maximalen Abweichung vom tatsächlichen Alter von +/- 6,5 Jahren angeben. Dieses Ergebnis wurde erreicht durch Analyse von 12 Messwerten.

6.2 Ergebnisse des Hauptversuchs 2

Im Hauptversuch 2 wurden die Messdaten von 50 Orthopantomogrammen aus dem Kollektiv B_{OPG} des Hauptversuchs 1 nach dem methodischen Ansatz von KVAAL et al. (1995) unter Betrachtung von 6 Zähnen einer schrittweisen multiplen linearen Regressionsanalyse unterzogen. Diese Orthopantomogramme stammten von Patienten, von denen gleichzeitig Zahnfilme des oberen zweiten Prämolaren vorlagen. An diesen Zahnfilmen wurde ebenfalls eine multiple lineare Regressionsanalyse nach dem Ansatz von KVAAL et al. (1995) vorgenom-

men.

Diagramm 18 gibt die Altersverteilung innerhalb des Kollektivs der 50 Patienten aus Kollektiv B_{OPG} wieder, von denen gleichzeitig Orthopantomogramm und Zahnfilm vorlagen; dieses Kollektiv wird im weiteren Textverlauf als Kollektiv B_{OPG50} bezeichnet:

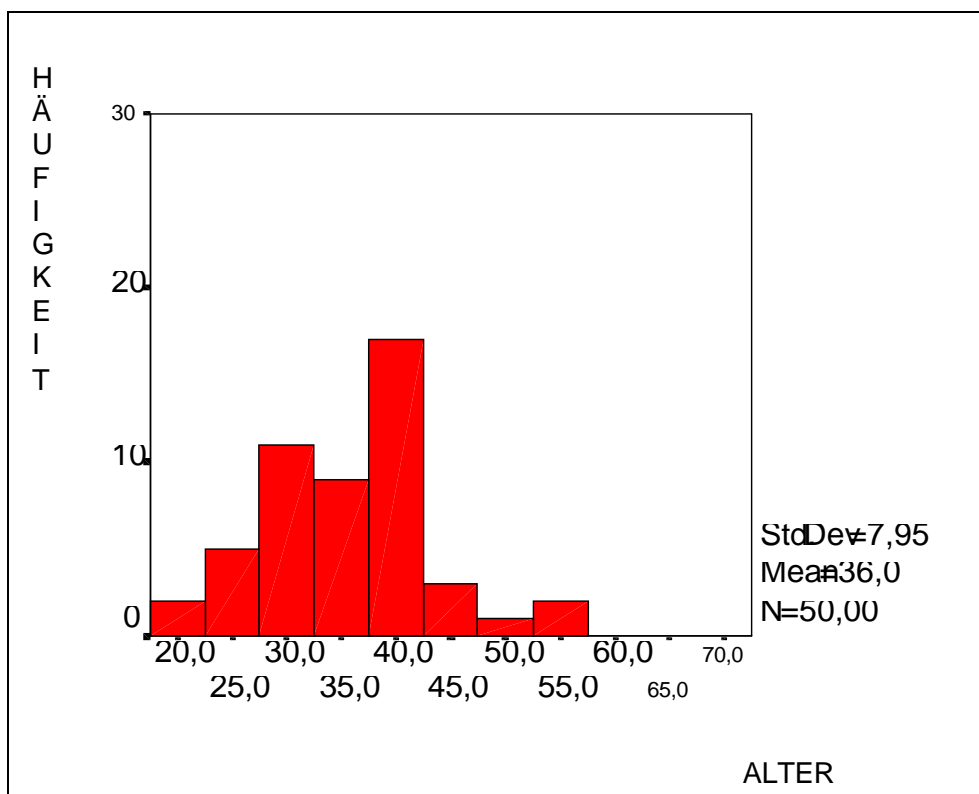


Diagramm 18:
Altersverteilung innerhalb des Kollektivs B_{OPG50} aus Kollektiv B_{OPG} (Patienten, von denen sowohl ein Zahnfilm des Zahnes 15/25 als auch Orthopantomogramm vorlagen) mit einem Durchschnittsalter von 36,0 Jahren bei einem Altersintervall von 21 bis 57 Jahren

In der kumulativen Betrachtung der Altersverteilung des Kollektivs B_{OPG50} weisen 50% der Patienten ein Alter bis 36 Jahre auf, 76% der Patienten sind bis 41 Jahre alt. Mit 24% ist der Anteil der Patienten über 40 Jahre relativ gering, was die Zuverlässigkeit einer Altersaussage für die Gruppe der über 40-Jährigen verringert.

6.2.1 Genauigkeit der Altersschätzung anhand von 50 Zahnfilmen der Zähne 15/25

Die 50 Zahnfilme stammen von Patienten des Kollektivs B_{OPG} , wobei diese Patienten den Anteil des Kollektivs B_{OPG} repräsentieren, für den neben einem Orthopantomogramm auch ein Zahnfilm eines oberen zweiten Prämolaren vorlag (Kollektiv B_{OPG50}). Im weiteren Textverlauf wird von Kollektiv B_{ZF50} gesprochen, wenn nur die Zahnfilme des Kollektivs B_{OPG50} betrachtet werden. Die Analyse der Messwerte erfolgte analog der 1995 von KVAAL et al. vorgegebenen Methodik und dem entsprechenden statistischen Ansatz.

Tabelle 40 zeigt eine Analyse aller auf den Zahnfilmen des Kollektivs B_{ZF50} an den oberen zweiten Prämolaren erhobenen Messwerte in cm:

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
P_F	50	,74	1,36	1,1033	,1012
T_F	50	1,45	1,77	1,5602	,0675
R_F	50	,50	,81	,7067	,0523
A_F	50	,09	,26	,1631	,0395
B_F	50	,10	,24	,1550	,0334
C_F	50	,03	,24	,1347	,0459
M_F	50	,54	,71	,6372	,0307
W_F	50	,09	,24	,1449	,0366
L_F	50	,62	1,07	,9050	,0746
WLF	50	-,97	-,39	-,7601	,0955
Valid N (listwise)	50				

Tabelle 40:

F = Zahn 15/25; Längenmessungen: P = Quotient aus Pulpalänge und Wurzellänge, T = Quotient aus Zahnlänge und Wurzellänge, R = Quotient aus Pulpalänge und Zahnlänge; Breitenmessungen: A = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf Höhe der Schmelz-Zementgrenze, B = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Strecke zwischen Schmelz-Zementgrenze und halber Wurzellänge, C = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Wurzellänge; M = Mittelwert aller Quotienten; W = Mittelwert der Breitenquotienten B und C, L = Mittelwert der Längenquotienten P und R, WL = Differenz aus W und L; N = Anzahl der vermessenen Zähne

Die Korrelationskoeffizienten zwischen jedem der von KVAAL et al. (1995) definierten Quotienten, Mittelwerte und Differenzen und dem tatsächlichen Alter der Patienten ebenso wie deren Signifikanz innerhalb der 1%-Grenze, ermittelt

anhand der Zahnfilme des Kollektivs B_{ZF50} , geben die Tabellen 41 bis 50 wieder:

1. Korrelationskoeffizient zwischen dem Alter und dem Quotienten P_Q aus Pulpalänge und Wurzellänge für den oberen zweiten Prämolaren:

		P_Q 15/25
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B_{ZF50}	,353
	Signifikanz Kollektiv B_{ZF50}	,012
	N	50

Tabelle 41:

Korrelationskoeffizient nach Pearson für den oberen zweiten Prämolaren zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Quotienten P_Q aus Pulpalänge und Wurzellänge für das Kollektiv B_{ZF50}

2. Korrelationskoeffizient zwischen dem Alter und dem Quotienten T_Q aus Zahnlänge und Wurzellänge für den oberen zweiten Prämolaren:

		T_Q 15/25
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B_{ZF50}	,128
	Signifikanz Kollektiv B_{ZF50}	,374
	N	50

Tabelle 42:

Korrelationskoeffizient nach Pearson für den oberen zweiten Prämolaren zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Quotienten T_Q aus Zahnlänge und Wurzellänge für das Kollektiv B_{ZF50}

3. Korrelationskoeffizient zwischen dem Alter und dem Quotienten R_Q aus Pulpalänge und Zahnlänge für den oberen zweiten Prämolaren:

		R_Q 15/25
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B_{ZF50}	,373
	Signifikanz Kollektiv B_{ZF50}	,008
	N	50

Tabelle 43:

Korrelationskoeffizient nach Pearson für den oberen zweiten Prämolaren zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Quotienten R_Q aus Pulpalänge und Zahnlänge für das Kollektiv B_{ZF50} , fett = signifikant

4. Korrelationskoeffizient zwischen dem Alter und dem Quotienten A aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf Höhe der Schmelz-Zementgrenze für den oberen zweiten Prämolaren:

		A 15/25
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B_{ZF50}	,464
	Signifikanz Kollektiv B_{ZF50}	,001
	N	50

Tabelle 44:

Korrelationskoeffizient nach Pearson für den oberen zweiten Prämolaren zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Quotienten A aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf Höhe der Schmelz-Zementgrenze für das Kollektiv B_{ZF50} , fett = signifikant

5. Korrelationskoeffizient zwischen dem Alter und dem Quotienten C aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Strecke zwischen Schmelz-Zementgrenze und Apex für den oberen zweiten Prämolaren:

		C 15/25
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B_{ZF50}	,215
	Signifikanz Kollektiv B_{ZF50}	,134
	N	50

Tabelle 45:

Korrelationskoeffizient nach Pearson für den oberen zweiten Prämolaren zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Quotienten C aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Strecke zwischen Schmelz-Zementgrenze und Apex für das Kollektiv B_{ZF50}

6. Korrelationskoeffizient zwischen dem Alter und dem Quotienten B aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf der Hälfte der Strecke A-C für den oberen zweiten Prämolaren:

		B 15/25
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B_{ZF50}	,392
	Signifikanz Kollektiv B_{ZF50}	,005
	N	50

Tabelle 46:

Korrelationskoeffizient nach Pearson für den oberen zweiten Prämolaren zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Quotienten B aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf der Hälfte der Strecke A-C für das Kollektiv B_{ZF50} , fett = signifikant

7. Korrelationskoeffizient zwischen dem Alter und dem Mittelwert M aller Quotienten:

		M 15/25
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B _{ZF50}	,122
	Signifikanz Kollektiv B _{ZF50}	,397
	N	50

Tabelle 47:
Korrelationskoeffizient nach Pearson für den oberen zweiten Prämolaren zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Mittelwert M aller Quotienten für das Kollektiv B_{ZF50}

8. Korrelationskoeffizient zwischen dem Alter und dem Mittelwert W der Quotienten B und C:

		W 15/25
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B _{ZF50}	,314
	Signifikanz Kollektiv B _{ZF50}	,026
	N	50

Tabelle 48:
Korrelationskoeffizient nach Pearson für den oberen zweiten Prämolaren zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Mittelwert W der Quotienten B und C für das Kollektiv B_{ZF50}

9. Korrelationskoeffizient zwischen dem Alter und dem Mittelwert L der Quotienten P und R:

		L 15/25
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B _{ZF50}	,370
	Signifikanz Kollektiv B _{ZF50}	,008
	N	50

Tabelle 49:
Korrelationskoeffizient nach Pearson für den oberen zweiten Prämolaren zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Mittelwert L der Quotienten P und R für das Kollektiv B_{ZF50}
fett = signifikant

10. Korrelationskoeffizient zwischen dem Alter und der Differenz W-L:

		W-L 15/25
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B _{ZF50}	,409
	Signifikanz Kollektiv B _{ZF50}	,003
	N	50

Tabelle 50:
Korrelationskoeffizient nach Pearson für den oberen zweiten Prämolaren zwischen dem tatsächlichen Alter und der Differenz aus W und L für das Kollektiv B_{ZF50}, fett = signifikant

Fünf der in Tabelle 41 – 50 gezeigten Korrelationen sind signifikant innerhalb der 1%-Grenze.

Die schrittweise multiple lineare Regressionsanalyse der 50 Zahnfilme des oberen zweiten Prämolaren nach der von KVAAL et al. (1995) vorgegebenen Methode ergibt ein Mass für die aufgeklärte Varianz r^2 von 0,17, was eine eher geringe Anpassung des gewählten Analysemodells an die Daten zum Ausdruck bringt. Der multiple Korrelationskoeffizient r beträgt 0,41. Die Standardabweichung

chung des ermittelten vom tatsächlichen Alter beträgt +/- 7,3 Jahre.

Die Regressionsformel lautet:

$$\text{Alter} = 10,1 - 34,1 (W-L)$$

Verglichen mit der 1995 von KVAAL et al. anhand der Vermessung von 600 Zahnfilmen von 100 Patienten ermittelten Standardabweichung von +/- 8,6 Jahren ist die Schätzung auf der Grundlage von nur 50 Zahnfilmen lediglich eines Zahntyps mit +/- 7,3 Jahren um 1,3 Jahre genauer. Für den zweiten oberen Prämolaren, vermessen an 100 Zahnfilmen, ermittelten KVAAL et al. 1995 eine Standardabweichung des ermittelten Alters vom tatsächlichen Alter von +/- 11,0 Jahren. Hier ergibt die Analyse der 50 Zahnfilme des oberen zweiten Prämolaren mit einer Standardabweichung von +/- 7,3 Jahren gegenüber 11,0 Jahren bei KVAAL et al. (1995) ein um 3,7 Jahre genaueres Ergebnis.

6.2.2: Genauigkeit der Altersschätzung anhand von 50 Orthopantomogrammen nach der Methode von KVAAL et al.

Die Orthopantomogramme, die die Grundlage für diese Analyse bilden, stammen von den Patienten des Kollektivs B_{OPG50} , von denen, wie oben bereits erwähnt, sowohl ein Orthopantomogramm als auch ein Zahnfilm eines oberen zweiten Prämolaren vorlagen. Die Analyse der Messwerte erfolgte analog dem von KVAAL et al. (1995) vorgegebenen statistischen Ansatz. Vermessen wurden pro Orthopantomogramm die von KVAAL et al. (1995) vorgegebenen 6 Zähne.

Die Auswertungen aller auf den Orthopantomogrammen des Kollektivs B_{OPG50} an den 6 Zahntypen erhobenen Messwerte in cm sind den Tabellen A bis F des Anhangs zu entnehmen.

Im folgenden werden die Korrelationskoeffizienten zwischen jedem der von

KVAAL et al. (1995) definierten Quotienten, Mittelwerte und Differenzen und dem tatsächlichen Alter der Patienten ebenso wie deren Signifikanz innerhalb der 1%-Grenze, ermittelt für das Kollektiv B_{OPG50} am Orthopantomogramm, wiedergegeben.

1. Korrelation zwischen dem Alter und dem Quotienten P_Q aus Pulpalänge und Wurzellänge für alle 6 betrachteten Zähne:

		P_Q 11/21	P_Q 12/22	P_Q 15/25	P_Q 32/42	P_Q 33/43	P_Q 34/44
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B_{OPG50}	-,304	-,078	,229	-,140	-,182	-,266
	Signifikanz Kollektiv B_{OPG50}	,032	,592	,110	,333	,206	,062
N		50	50	50	50	50	50

Tabelle 51:
Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die 6 von KVAAL et al. (1995) vorgegebenen Zähne (11/12, 12/22, 15/25, 32/42, 33/43, 34/44) zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Quotienten P_Q aus Pulpalänge und Wurzellänge für das Kollektiv B_{OPG50}

Keiner der Korrelationskoeffizienten ist signifikant innerhalb der 1%-Grenze.

2. Korrelation zwischen dem Alter und dem Quotienten T_Q aus Zahnlänge und Wurzellänge für alle 6 betrachteten Zähne:

		T_Q 11/21	T_Q 12/22	T_Q 15/25	T_Q 32/42	T_Q 33/43	T_Q 34/44
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B_{OPG50}	,049	,114	-,134	-,115	-,146	-,207
	Signifikanz Kollektiv B_{OPG50}	,734	,431	,354	,425	,313	,150
N		50	50	50	50	50	50

Tabelle 52:
Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die 6 von KVAAL et al. (1995) vorgegebenen Zähne (11/12, 12/22, 15/25, 32/42, 33/43, 34/44) zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Quotienten T_Q aus Zahnlänge und Wurzellänge für das Kollektiv B_{OPG50}

Keiner der Korrelationskoeffizienten ist signifikant innerhalb der 1%-Grenze.

3. Korrelation zwischen dem Alter und dem Quotienten R_Q aus Pulpalänge und Zahnlänge für alle 6 betrachteten Zähne:

		R_Q 11/21	R_Q 12/22	R_Q 15/25	R_Q 32/42	R_Q 33/43	R_Q 34/44
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B_{OPG50}	-,311	-,199	,259	-,076	-,037	-,102
	Signifikanz Kollektiv B_{OPG50}	,028	,165	,069	,599	,799	,483
N		50	50	50	50	50	50

Tabelle 53:

Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die 6 von KVAAL et al. (1995) vorgegebenen Zähne (11/12, 12/22, 15/25, 32/42, 33/43, 34/44) zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Quotienten R_Q aus Pulpalänge und Zahnlänge für das Kollektiv B_{OPG50}

Keiner der Korrelationskoeffizienten ist signifikant innerhalb der 1%-Grenze.

4. Korrelation zwischen dem Alter und dem Quotienten A aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf Höhe der Schmelz-Zementgrenze für alle 6 betrachteten Zähne:

		A 11/21	A 12/22	A 15/25	A 32/42	A 33/43	A 34/44
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B_{OPG50}	-,252	-,359	-,011	-,137	-,022	-,105
	Signifikanz Kollektiv B_{OPG50}	,078	,011	,940	,343	,878	,468
N		50	50	50	50	50	50

Tabelle 54:

Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die 6 von KVAAL et al. (1995) vorgegebenen Zähne (11/12, 12/22, 15/25, 32/42, 33/43, 34/44) zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Quotienten A aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf Höhe der Schmelz-Zementgrenze für das Kollektiv B_{OPG50}

Keiner der Korrelationskoeffizienten ist signifikant innerhalb der 1%-Grenze.

5. Korrelation zwischen dem Alter und dem Quotienten C aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Strecke zwischen Schmelz-Zementgrenze und Apex für alle 6 betrachteten Zähne:

		C	C	C	C	C	C
		11/21	12/22	15/25	32/42	33/43	34/44
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B _{OPG50}	-,283	-,137	-,159	,100	-,091	-,105
	Signifikanz Kollektiv B _{OPG50}	,046	,343	,271	,488	,531	,467
N		50	50	50	50	50	50

Tabelle 55:

Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die 6 von KVAAL et al. (1995) vorgegebenen Zähne (11/12, 12/22, 15/25, 32/42, 33/43, 34/44) zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Quotienten C aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Strecke zwischen Schmelz-Zementgrenze und Apex für das Kollektiv B_{OPG50}

Keiner der Korrelationskoeffizienten ist signifikant innerhalb der 1%-Grenze.

6. Korrelation zwischen dem Alter und dem Quotienten B aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf der Hälfte der Strecke A-C für alle 6 betrachteten Zähne:

		B	B	B	B	B	B
		11/21	12/22	15/25	32/42	33/43	34/44
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B _{OPG50}	-,332	-,188	-,013	,027	-,110	-,239
	Signifikanz Kollektiv B _{OPG50}	,019	,191	,930	,853	,446	,095
N		50	50	50	50	50	50

Tabelle 56:

Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die 6 von KVAAL et al. (1995) vorgegebenen Zähne (11/12, 12/22, 15/25, 32/42, 33/43, 34/44) zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Quotienten B aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf der Hälfte der Strecke A-C für das Kollektiv B_{OPG50}

Keiner der Korrelationskoeffizienten ist signifikant innerhalb der 1%-Grenze.

7. Korrelation zwischen dem Alter und dem Mittelwert M aller Quotienten für alle 6 betrachteten Zähne:

		M	M	M	M	M	M
		11/21	12/22	15/25	32/42	33/43	34/44
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B _{OPG50}	-,390	-,197	,106	-,096	-,195	-,323
	Signifikanz Kollektiv B _{OPG50}	,005	,170	,463	,507	,174	,002
N		50	50	50	50	50	50

Tabelle 57:

Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die 6 von KVAAL et al. (1995) vorgegebenen Zähne (11/12, 12/22, 15/25, 32/42, 33/43, 34/44) zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Mittelwert M aller Quotienten für das Kollektiv B_{OPG50}, fett = signifikant innerhalb der 1%-Grenze

Signifikant innerhalb der 1%-Grenze ist der Korrelationskoeffizient zwischen M und dem Alter für den oberen mittleren Schneidezahn.

8. Korrelation zwischen dem Alter und dem Mittelwert W der Quotienten B und C für alle 6 betrachteten Zähne:

		W	W	W	W	W	W
		11/21	12/22	15/25	32/42	33/43	34/44
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B _{OPG50}	-,350	-,190	-,099	,073	-,115	-,194
	Signifikanz Kollektiv B _{OPG50}	,013	,186	,493	,612	,428	,177
N		50	50	50	50	50	50

Tabelle 58:

Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die 6 von KVAAL et al. (1995) vorgegebenen Zähne (11/12, 12/22, 15/25, 32/42, 33/43, 34/44) zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Mittelwert W der Quotienten B und C für das Kollektiv B_{OPG50}

Keiner der Korrelationskoeffizienten ist signifikant innerhalb der 1%-Grenze.

9. Korrelation zwischen dem Alter und dem Mittelwert L der Quotienten P und R für alle 6 betrachteten Zähne:

		L 11/21	L 12/22	L 15/25	L 32/42	L 33/43	L 34/44
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B _{OPG50}	-,355	-,156	,258	-,138	-,160	-,263
	Signifikanz Kollektiv B _{OPG50}	,011	,278	,071	,340	,267	,065
N		50	50	50	50	50	50

Tabelle 59:
Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die 6 von KVAAL et al. (1995) vorgegebenen Zähne (11/12, 12/22, 15/25, 32/42, 33/43, 34/44) zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Mittelwert L der Quotienten P und R für das Kollektiv B_{OPG50}

Keiner der Korrelationskoeffizienten ist signifikant innerhalb der 1%-Grenze.

10. Korrelation zwischen dem Alter und der Differenz W-L für alle 6 betrachteten Zähne:

		W-L 11/21	W-L 12/22	W-L 15/25	W-L 32/42	W-L 33/43	W-L 34/44
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B _{OPG50}	,084	,029	-,275	,149	,060	,096
	Signifikanz Kollektiv B _{OPG50}	,561	,843	,053	,301	,677	,508
N		50	50	50	50	50	50

Tabelle 60:
Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die 6 von KVAAL et al. (1995) vorgegebenen Zähne (11/12, 12/22, 15/25, 32/42, 33/43, 34/44) zwischen dem tatsächlichen Alter und der Differenz aus W und L für das Kollektiv B_{OPG50}

Keiner der Korrelationskoeffizienten ist signifikant innerhalb der 1%-Grenze.

Die Ermittlung der Korrelationskoeffizienten zwischen dem Alter und M, W, L und W-L für beide Kiefer, Ober- und Unterkiefer für das Kollektiv B_{OPG50} brachte die folgenden Ergebnisse:

11. Korrelation zwischen dem Alter und dem Mittelwert M aller Quotienten:

		M Beide Kiefer	M Ober- kiefer	M Unter- kiefer
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B _{OPG50}	-,301	-,216	-,287
	Signifikanz Kollektiv B _{OPG50}	,034	,132	,043
N		50	50	50

Tabelle 61:

Korrelationskoeffizienten nach Pearson zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Mittelwert M aller Quotienten für beide Kiefer, Ober- und Unterkiefer für das Kollektiv B_{OPG50}

Keiner der Korrelationskoeffizienten ist signifikant innerhalb der 1%-Grenze.

12. Korrelation zwischen dem Alter und dem Mittelwert W der Quotienten B und C:

		W Beide Kiefer	W Ober- kiefer	W Unter- kiefer
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B _{OPG50}	-,214	-,276	-,091
	Signifikanz Kollektiv B _{OPG50}	,136	,052	,531
N		50	50	50

Tabelle 62:

Korrelationskoeffizienten nach Pearson zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Mittelwert W der Quotienten B und C für beide Kiefer, Ober- und Unterkiefer für das Kollektiv B_{OPG50}

Keiner der Korrelationskoeffizienten ist signifikant innerhalb der 1%-Grenze.

13. Korrelation zwischen dem Alter und dem Mittelwert L der Quotienten P und R:

		L Beide Kiefer	L Ober- kiefer	L Unter- kiefer
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B_{OPG50}	-,194	-,028	-,276
	Signifikanz Kollektiv B_{OPG50}	,177	,848	,052
N		50	50	50

Tabelle 63:
Korrelationskoeffizienten nach Pearson zwischen dem tatsächlichen Alter und dem Mittelwert L der Quotienten P und R für beide Kiefer, Ober- und Unterkiefer für das Kollektiv B_{OPG50}

Keiner der Korrelationskoeffizienten ist signifikant innerhalb der 1%-Grenze.

14. Korrelation zwischen dem Alter und der Differenz W-L:

		W-L Beide Kiefer	W-L Ober- kiefer	W-L Unter- kiefer
Alter	Korrelationskoeffizient nach Pearson Kollektiv B_{OPG50}	,015	-,140	,159
	Signifikanz Kollektiv B_{OPG50}	,918	,331	,269
N		50	50	50

Tabelle 64:
Korrelationskoeffizienten nach Pearson zwischen dem tatsächlichen Alter und der Differenz W-L für beide Kiefer, Ober- und Unterkiefer für das Kollektiv B_{OPG50}

Keiner der Korrelationskoeffizienten ist signifikant innerhalb der 1%-Grenze.

Durch schrittweise lineare Regression nach der von KVAAL et al. (1995) vorgegebenen Methode an den am Kollektiv B_{OPG50} erhobenen Messwerten konnten die folgenden Regressionsgleichungen ermittelt werden (Tabelle 65):

	Regressionsgleichung	r^2	S.E.E.
Kiefer:			
Sechs Zähne, beide Kiefer	Alter = 120,1 – 130,0 (M)	0,09	7,7
Drei Zähne, Oberkiefer	-	-	-
Drei Zähne, Unterkiefer	Alter = 099,1 – 097,9 (M)	0,08	7,7
Einzelne Zähne:			
11/21	Alter = 109,4 – 110,7 (M)	0,15	7,4
12/22	-	-	-
15/25	-	-	-
32/42	-	-	-
33/43	-	-	-
34/44	Alter = 098,2 – 082,7 (M)	0,09	7,6

Tabelle 65:

Regressionsgleichungen für das Kollektiv B_{OPG50}, r^2 = Mass für die aufgeklärte Varianz; S.E.E. = Standardfehler der Altersschätzung in Jahren (Standard Error of the Estimate); M = Mittelwert aller Quotienten; W-L = Differenz aus W und L; - = keine Regressionsgleichung zu ermitteln

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass am Kollektiv B_{OPG50} die Betrachtung des mittleren oberen Schneidezahnes mit +/- 7,4 Jahren die genaueste Altersschätzung ermöglichte. Die Zähne 12/22, 15/25, 32/42 und 33/43 sowie die Zähne des Oberkiefers in Summe lassen keine Vorhersage des Alters zu, da kein signifikanter Zusammenhang zwischen den an diesen Zähnen erhobenen Messwerten und dem Lebensalter besteht.

Die im Kapitel 5.3.1 Problembeschreibung gestellten Fragen lassen sich wie folgt beantworten:

- 1) Welchen Einfluss hat die Kollektivgrösse auf die Genauigkeit der Altersschätzung anhand des Zahnfilms nach der Methode von KVAAL et al. (1995) bei Betrachtung der Messungen lediglich eines Zahnes pro Patient (15/25)?

KVAAL et al. ermittelten 1995 an einem Kollektiv von 100 Patienten für den Zahn 15/25 eine Standardabweichung des tatsächlichen vom ermittelten Alter von +/- 11,0 Jahren ($r^2 = 0,60$). Anhand des Kollektivs B_{ZF50}, also bei halber Kollektivgrösse, lag die Standardabweichung des tatsächlichen vom ermittelten Alter für den Zahn 15/25 bei +/- 7,3 Jahren.

Betrachtet man das am Kollektiv B_{ZF50} bei Anwendung der Methode nach KVAAL et al. (1995) für den Zahn 15/25 ermittelte Ergebnis, zeigt sich, dass fünf signifikante Zusammenhänge zwischen den Messwerten für diesen Zahn und dem Lebensalter gegeben sind.

- 2) Welchen Einfluss hat die Kollektivgrösse auf die Altersschätzung anhand der Methode von KVAAL et al. (1995) am Orthopantomogramm bei Betrachtung von 6 Zähnen?

Bei Übertragung der Methode von KVAAL et al. (1995) auf das Orthopantomogramm wurde am Kollektiv B_{OPG} (100 Patienten) die höchste Ergebnisgenauigkeit bei Vermessung der drei Oberkiefer-Zähne mit +/- 9,9 Jahren Abweichung des ermittelten Alters vom tatsächlichen Alter erzielt.

Am Kollektiv B_{OPG50} (50 Patienten) wurde mit +/- 7,4 Jahren Abweichung des ermittelten vom tatsächlichen Alter das präziseste Ergebnis bei Betrachtung des Zahnes 11/21 erzielt.

7.0 Diskussion der unterschiedlichen Methoden zur Altersbestimmung anhand der Zähne unter besonderer Berücksichtigung des Stellenwertes der Orthopantomographie für die Altersbestimmung am Erwachsenen

7.1 Der Stellenwert der nicht-röntgenologischen Methoden als Hilfsmittel bei der Altersschätzung

7.1.1 Methode nach GUSTAFSON und abgeleitete nicht-röntgenologische Methoden der Betrachtung der Zahnmorphologie

1955 stellte GUSTAFSON im deutschsprachigen Raum seine Methode der Altersschätzung anhand der Zähne durch Zahnschliffauswertung vor.

Da seine Methode auf der Auswertung von Zahnschliffen beruhte, ist die Verfügbarkeit extrahierter Zähne Voraussetzung für die Durchführung. Eine Anwendung am Lebenden ist somit weitestgehend ausgeschlossen. Die Verwendung von aufgrund von Karies oder Parodontopathien extrahierten Zähnen ist zwar denkbar, jedoch wirft sie die Frage nach dem Einfluss der pathologischen Vorgänge auf die Ausprägung der betrachteten Merkmale auf.

GUSTAFSON (1955) entwickelte seine Methodik zur Untersuchung von Zähnen der zweiten Dentition, so dass sie sich ausschliesslich für die Altersbestimmung Erwachsener eignet.

Die Abrasion, von GUSTAFSON (1955) unter der Bezeichnung „Zahnkronenabschliff“ als eines der bei Anwendung seiner Methode zu beurteilenden Merkmale definiert, ist bei rezenten Gebissen eher gering ausgeprägt, so dass die Anwendung seiner Skalierung aufgrund ihrer Grobrasterigkeit in der Praxis Schwierigkeiten bereitet.

Auch die Beeinflussung des Hartschubstanzverlustes durch Faktoren wie zum Beispiel Malokklusion und die fehlende Differenzierung von Abrasion, Attrition

und Erosion, letztere zum Beispiel ausgelöst durch exzessive enorale Einnahme von Ascorbinsäure oder auch durch wiederholtes Erbrechen, und ihr möglicherweise verfälschender Einfluss auf das Ergebnis der Altersschätzung bleiben unberücksichtigt.

Die Abgrenzung biologisch-involutiver Prozesse am Zahnhalteapparat, die von GUSTAFSON (1955) im Rahmen seiner Methode erfasst werden, von pathologischen Prozessen ist am Toten nicht präzise zu realisieren (ENDRIS 1979) und macht daher die korrekte Beurteilung dieses Merkmals für die Altersschätzung im Rahmen der GUSTAFSONschen Methode (1955) schwierig.

Die recht grobe Abstufung der Ausprägungsgrade der GUSTAFSONschen Stadien (1955) bringt eine Subjektivität in der Beurteilung dieser Ausprägungsgrade mit sich, was in Abhängigkeit vom jeweiligen Untersucher Schwankungen in der Genauigkeit der Altersschätzung zur Folge hat.

So liessen BORRMANN et al. (1995) an 30 extrahierten Zähnen Erwachsener dreizehn altersabhängige Kriterien von sechs Untersuchern makroskopisch, stereomikroskopisch und radiographisch untersuchen. Sie wiesen Differenzen in der Systematik der Untersucher sowie in der Interpretation der Definitionen altersabhängiger Parameter nach. Je gröber die Abstufung der Ausprägungsgrade der zu beurteilenden Kriterien, umso stärker ist der subjektive Faktor, der bei der Beurteilung zum Tragen kommt und sich letztlich in der Ergebnisgenauigkeit der Altersschätzung spiegelt.

Eine Beeinflussung durch äussere, altersunabhängige Reize ist auch beim vierten von GUSTAFSON (1955) analysierten Merkmal, der Transparenzbildung, gegeben. ENDRIS (1979) und PILZ et al. (1980) halten die Transparenzbildung für ein wertvolles Merkmal zur Schätzung des Lebensalters, da sie kaum von pathologischen Einflüssen beeinflusst werde. SCHRÖDER (2000) und ZUHRT und GESERICK (1996) weisen jedoch darauf hin, dass die Sklerosierung zwar im Rahmen eines physiologischen Prozesses erfolgt, jedoch

ebenfalls als Abwehrreaktion auf Reize wie zum Beispiel Abrasion, Attrition oder Karies auftritt. Auch Erkrankungen wie juveniler Diabetes oder anhaltender Betäubungsmittelmissbrauch haben Einfluss auf die Transparenzbildung des Dentins. ZUHRT und GESERICK (1996) kommen daher im Rahmen ihrer Studien zu dem Ergebnis, dass die Transparenz des Wurzeldentins ein wenig zuverlässiges Altersmerkmal darstellt.

ENDRIS wies 1979 darauf hin, dass koronale Abrasionen der Zähne durch Sekundärzementbildung kompensiert werden und dass zum Beispiel lokale Entzündungen oder Überbelastung eines Zahnes ebenfalls zu Hyperzementosen führen können. Er fordert daher, die Analyse der Zementdicke als Altersmerkmal mit Vorsicht zu betrachten.

GROSSKOPF stellte 1990 fest, dass eine Altersbestimmung anhand der Zuwachsringe im Zement von im Boden gelagerten Zähnen aus anthropologischen Funden mit einer Abweichung von +/- 3,23 Jahren vom realen Alter möglich ist. Nach SOLHEIM und KVAAL (2000) erlaubt die Altersbestimmung anhand der Zuwachsringe im Zement nur bis zum Alter von ca. 30 Jahren ein verlässliches Ergebnis. Diese Feststellungen werfen die Frage auf, wie präzise die Altersschätzung auf der Basis der Dickenmessung der Zementschicht am extrahierten Zahn tatsächlich sein kann. Eine Frage, die befriedigend nur durch eigens zur Beantwortung dieser Fragestellung konzipierte Studien zu beantworten ist.

Das von GUSTAFSON (1955) betrachtete Ausmass der Wurzelresorption ist nach ENDRIS (1979) allein zur Altersbestimmung nicht geeignet. Der starke Zusammenhang des Auftretens von Wurzelresorptionen mit pathologischen Prozessen wie zum Beispiel entzündlichen Geschehen oder mechanischen Traumata lässt die Aussagekraft für eine Altersbestimmung fraglich erscheinen.

Auch die von GUSTAFSON (1955) gewählte statistische Methode gibt Anlass zur kritischen Betrachtung und wurde 1979 von MAPLES und RICE hinterfragt.

Im Ergebnis korrigierten sie die von GUSTAFSON angegebene Regressionsgleichung und ermittelten, dass der Fehler in der Altersschätzung nahezu doppelt so gross war wie der von GUSTAFSON (1955) angegebene Fehler von $\pm 3,6$ Jahren in 2 von 3 Fällen. Auch LUCY und POLLARD kommen 1995 zu dem Ergebnis, dass aufgrund von Unsauberkeiten der GUSTAFSONschen statistischen Methodik die von ihm erarbeitete Regressionsgleichung nicht haltbar sei und stellten fest, dass auch die von MAPLES und RICE ermittelten Ergebnisse kritisch zu hinterfragen seien. Sie resümierten, dass die Datenbasen, aus denen sich die Ergebnisgenauigkeiten von Altersschätzungsmethoden ableiten, eine ausreichende Grösse haben und klar dargestellt sein müssten, damit die statistischen Methodiken nachvollzogen, bewertet und gegebenenfalls angepasst werden könnten.

Ein Vorteil der Methode von GUSTAFSON (1955) liegt in der Betrachtung mehrerer Merkmale. Der so erbrachte Additionsbeweis ermöglicht im Vergleich mit Methoden, die sich auf die Betrachtung eines Einzelmerkmals stützen, einen grösseren Ausgleich möglicher Fehler.

DALITZ modifizierte 1962 GUSTAFSONs Methode, indem er die Merkmale Zementaposition und Wurzelresorption aufgrund ihrer unzureichenden Aussagefähigkeit bezüglich des Alters aus dem Merkmalskatalog strich und die Beurteilungs-Stadien der verbleibenden Merkmale Zahnkronenabschliff, Sekundärdentinbildung, Parodontalverhältnisse und Wurzeltransparenz von vier auf fünf erhöhte. Ferner modifizierte er GUSTAFSONs (1955) statistische Methodik, indem er mit multipler Regressionsanalyse arbeitete, was ihm erlaubte, den Einfluss jedes einzelnen Merkmals auf die Altersschätzung zu identifizieren. DALITZ (1962) erzielte an seinem Material mit seiner Methodik eine Standardabweichung des ermittelten vom tatsächlichen Alter von ± 6 Jahren bei Betrachtung von vier Frontzähnen eines Individuums. Bei Betrachtung eines Zahnes pro Individuum erzielte DALITZ eine Standardabweichung von $\pm 8,1$ Jahren. Bei Anwendung der Methodik von GUSTAFSON (1955) auf sein Mate-

rial ergab sich eine Abweichung von +/- 8,4 Jahren. Dieses Ergebnis unterstreicht den geringen Aussagewert, den die Parameter Zementapposition und Wurzelresorption im Rahmen dieser Methodik besitzen.

Die Notwendigkeit der Einteilung der Kriterien in mehr Stadien mit dem Ziel der Erhöhung der Ergebnisgenauigkeit wurde 1971 von JOHANSON untermauert, der in seiner Arbeit 7 Stadien der Altersveränderungen am Zahn definierte.

Die von BANG und RAMM 1970 vorgestellte Methode der Altersschätzung anhand der Betrachtung der Dentintransparenz ist durch die für die Gewinnung des Untersuchungsgutes erforderliche Invasivität ebenfalls nicht am Lebenden anzuwenden.

Die bereits im Zusammenhang mit der Methode von GUSTAFSON (1955) erwähnte Subjektivität in der Erfassung der Ausdehnung der einzelnen Parameter trifft auch auf die Methode von BANG und RAMM (1970) zu und findet daher bei SOLHEIM und KVAAL (2000) kritische Erwähnung.

BANG und RAMM (1970) betrachteten die Ausdehnung der Dentintransparenz auch am unbeschleunigten Zahn und konnten so die Zerstörung des Untersuchungsgutes Zahn vermeiden - ein Umstand, dem in Abhängigkeit von der religiösen Glaubensgruppe, der das Individuum, von dem der Zahn stammt, angehört, eine Relevanz zukommt, da der Zahn unversehrt mit dem Leichnam beerdigt werden kann. MATSIKIDIS resümierte 1981, dass über die Wurzeldentintransparenz und ihre Tauglichkeit als altersbestimmendes Kriterium keine einhellige Meinung herrsche. 1996 wurde die Dentintransparenz von ZUHRT und GESERICK als wenig zuverlässig zur Altersbestimmung anhand der Zähne beurteilt. Somit ist die Aussagekraft einer ausschliesslich auf der Betrachtung dieses einen Merkmals basierenden Methode in Frage zu stellen.

RITZ-TIMME et al. (2000) empfehlen heute die Betrachtung der Zahnmorphologie (GUSTAFSON und Modifikationen seiner Methodik) aufgrund der notwendigen Destruktion des extrahierten Untersuchungsgutes Zahn als Methode

der Wahl zur Altersbestimmung bei verstorbenen Individuen, deren zweite Dentition komplett ausgebildet ist. Die Standardabweichung der morphologischen Methoden geben sie nach Literaturschau mit +/- 5 – 12 Jahren an, die Korrelationskoeffizienten betragen in ihrer Literaturschau $r = 0,57 - 0,91$. Die grosse Variationsbreite in den Ergebnissen der verschiedenen Autoren, wie sie RITZ-TIMME et al. (2000) aufzeigen, lässt sich mit den unterschiedlichen methodischen Ansätzen der Autoren erklären, die sich sowohl auf die Art des Umgangs mit dem Untersuchungsgut Zahn als auch auf die Kollektivgrösse und den gewählten statistischen Ansatz zur Auswertung der Ergebnisse beziehen. Ein Ergebnis ist also immer vor dem Hintergrund der zugrundeliegenden Methodik zu interpretieren.

7.1.2 Andere nicht-röntgenologische Methoden

Die Veränderung der Zahnfarbe mit zunehmendem Alter hin zu gelblicheren oder gelblich-braunen Farbgebungen (SOLHEIM 1988) bildet die Grundlage für den Versuch, die Farbgebung des Zahnes zur Bestimmung des Alters zu nutzen. Da für die Bestimmung der Zahnfarbe jedoch alle endo- und exogenen Faktoren zu prüfen und gegeneinander abzugrenzen sind, die Einfluss auf die Zahnfarbe nehmen können, ist die Nutzung der Zahnfarbe im Rahmen der Altersbestimmung mit grossen Unsicherheiten behaftet.

Das Farbempfinden ist subjektiv. In Anbetracht der Vielzahl von Faktoren, die Einfluss auf die Zahnfarbe nehmen können, wie zum Beispiel Zahnbeläge, iatrogene Manipulationen oder auch Dentin- und Schmelzbildungsstörungen, erscheint eine Objektivierung der Farbgebungen ebenso wie die eindeutige Abgrenzung endogener von exogenen Faktoren und deren Quantifizierung schwierig. Einer dunkleren Zahnfarbe kann neben dem Alter auch eine genetische Disposition zugrunde liegen.

ENDRIS stellte 1979 fest, dass die Zahnfarbe für eine Altersbestimmung nicht ausschlaggebend ist. Die Arbeit von SOLHEIM (1988) zu diesem Thema, der

unter anderem durch die Verwendung einer zahnärztlichen Farbskala den Versuch der Objektivierung der unterschiedlichen Farbeindrücke machte, lässt die Verwendung der Zahnfarbe als zusätzliches Kriterium bei der Bestimmung des Lebensalters sinnvoll erscheinen, da sie die Genauigkeit der Altersaussage positiv beeinflussen könne.

BORRMANN et al. (1995) raten dazu, Vorsicht walten zu lassen, wenn die Zahnfarbe in Methoden zur Altersschätzung einbezogen wird. Gleichzeitig stellen sie die Forderung, dass das angewandte Beurteilungsschema reproduzierbar sein muss.

Auch die Abnahme des Durchmessers der Dentinkanälchen mit zunehmendem Alter wurde von unterschiedlichen Autoren beschrieben (KETTERL 1961, KAMANN 1998). Eine Bedeutung im Rahmen der Altersschätzung hat die Untersuchung der Dentinkanälchenweite aufgrund ihrer grossen Schwankungsbreite jedoch nicht. Auch ist die Extraktion Voraussetzung für die Betrachtung der Dentinkanälchenweite. ENDRIS machte 1979 darauf aufmerksam, dass keine lineare Beziehung zwischen der Abnahme des Querschnitts der Dentinkanälchen und dem Lebensalter besteht. Die Betrachtung der Dentinkanälchen hat heute im Rahmen der Lebensaltersschätzung keine Bedeutung.

Ebenso verhält es sich mit der Härtemessung des Dentins, die methodisch sehr aufwendig ist. DALITZ (1962) konnte keinen Zusammenhang zwischen Dentinhärte und Alter feststellen. Nach ENDRIS (1982) ist die Dentinhärte von geringer Aussagekraft für die Altersschätzung. Auch der Mineralisationsgrad des Schmelzes, wiederum nur zu analysieren am extrahierten Zahn, unterliegt nach BANG und MONSEN (1968) keiner linearen Beziehung zum Lebensalter und hat daher heute keine Bedeutung für die Lebensaltersschätzung.

Der rein deskriptive und damit noninvasive Charakter epidemiologischer Kriterien wie des DMFT-Index oder pathologischer Veränderungen des marginalen Parodonts erlaubt die Anwendung zum Zwecke der Altersbestimmung Leben-

der. Jedoch ist bei der Interpretation zu beachten, dass die Zahnverlustraten in unterschiedlichen Bevölkerungsgruppen variieren. Weiterhin bestehen Unterschiede in den Standards der zahnmedizinischen Versorgung. So kann zum Beispiel je nach Herkunft des Untersuchten die Extraktionstherapie auch heute noch im Vordergrund stehen. Wirtschaftliche und soziale Aspekte haben also einen Einfluss auf die Zahnverlustrate, so dass epidemiologische Kriterien immer vor dem Hintergrund der Herkunft des Untersuchten zu interpretieren und nur mit den epidemiologischen Daten der jeweiligen Referenzpopulation vergleichbar sind. ZUHRT und GESERICK (1996) bezeichnen die epidemiologischen Kriterien als besonders im mittleren bis höheren Alter hilfreich bei der Altersdiagnose.

Die hochmoderne Methode der Lebensaltersschätzung anhand der Bestimmung des Racemisierungsgrades der Asparaginsäure im Dentin wird von OGINO und OGINO (1985) als in der Genauigkeit anderen Methoden der Altersbestimmung überlegen bezeichnet. RITZ-TIMME et. al. (2000) geben den Standardschätzfehler nach Durchsicht der relevanten Literatur mit +/- 1,5 – 4 Jahren an.

Wie die zahnmorphologischen Methoden der Altersbestimmung eine Extraktion zur Voraussetzung haben, so setzt die Bestimmung des Racemisierungsgrades der Asparaginsäure beim Lebenden einen invasiven Eingriff zur Gewinnung des Dentins voraus, was auch problematisch ist, weil nur dann eine eigentliche medizinische Indikation zur Durchführung dieses Eingriffes vorliegt, wenn er zu Heilzwecken durchgeführt wird.

RITZ et al. entwickelten 1995 eine Biopsie-Methode zur standardisierten Gewinnung einer Dentinprobe, die, eine wirksame Einwilligung des Patienten vorausgesetzt, auch am Lebenden anzuwenden ist. Auch bei Einwilligung des Patienten stellt die Entnahme einer Dentinprobe jedoch einen invasiven Eingriff dar, der durch die fehlende medizinische Indikation alle hiermit verbundenen

Fragen nach der ethischen und rechtlichen Vertretbarkeit einer solchen Vorgehensweise aufwirft.

Trotz des Fehlens einer medizinischen Indikation verstösst die Dentinprobenentnahme dann nicht generell gegen geltendes Recht und ärztliche Ethik, wenn der zu Untersuchende seine Einwilligung gibt, wenn eine „juristisch-soziale“ Indikation besteht und wenn diese zu Art, Umfang und Risiko des Eingriffes in angemessenem Verhältnis steht (BUNDESZAHNÄRZTEKAMMER 1995). „Bei optimaler zahnärztlicher Versorgung des durch die Biopsie entstehenden kleinen Defektes wäre eine Altersbestimmung mittels Dentinbiopsie bei Einwilligung nach entsprechender Aufklärung arztrechtlich und arztethisch auch ohne Heilauftrag grundsätzlich vertretbar“ (RITZ und KAATSCH 1996). Hier obliegt es dem Behandler, gemeinsam mit dem Patienten sorgfältig abzuwägen.

Die Frage nach der juristischen und ärztlich-ethischen Vertretbarkeit stellt sich umso dringlicher, je grösser die mit dem Eingriff einhergehenden Risiken und Belastungen für den Patienten sind. In jedem Fall ist eine umfassende Aufklärung über die Vor- und Nachteile und die Belastungen und Risiken der Eingriffe erforderlich (RITZ und KAATSCH 1996).

Die Entnahme einer Dentinprobe während eines zahnärztlichen Eingriffes, zum Beispiel aufgrund von Karies, erfolgt zwar im Rahmen einer notwendigen medizinischen Behandlung. Jedoch stellt sich hier die Frage nach dem Einfluss, den die Untersuchung von Dentin aus pathologisch veränderten Zahnregionen auf die Genauigkeit der Altersvorhersage hat.

So weisen MÖRNSTAD et al. (1994) darauf hin, dass die Schätzung des Alters zu hoch ausfallen kann, wenn sich in der Probe Bakterien befinden, deren Zellwände das D-Racemat der Asparaginsäure enthalten. Auch RITZ et al. (1995) berichten von abweichenden Ergebnissen bei den Proben, die nicht in der definierten Schicht entnommen werden konnten und sich somit in der Nähe von Füllungen oder kariösen Läsionen befanden. Sie machen darauf aufmerksam, dass ein Einfluss kariöser Läsionen oder iatrogenen Manipulationen auf den Racemisierungsgrad des Dentins nicht ausgeschlossen werden kann und

fordern daher, dass Zähne mit starker Zerstörung der Krone nicht zur Altersbestimmung mit Hilfe der Racemisierungsmethode von Asparaginsäure herangezogen werden. Ferner fordern sie, nur Proben miteinander zu vergleichen, die mittels derselben, standardisierten Entnahmetechnik und damit aus identischen Dentinanteilen gewonnen wurden. Forderungen, die die Anwendbarkeit am Lebenden aufgrund der Limitierung der als geeignet zur Verfügung stehenden Zähne einengen.

Auch Abweichungen in der Ergebnisgenauigkeit in Abhängigkeit vom untersuchten Zahntyp sind nicht auszuschliessen (MÖRNSTAD et al. 1994).

Aufgrund der hohen Sensitivität der Methoden zur Bestimmung des Racemisierungsgrades von Asparaginsäure bewirken schon kleine Temperaturunterschiede zwischen den Entnahmestellen (zum Beispiel ist eine bukkale Entnahmestelle kühler als eine linguale) unterschiedliche Aussagen zum Alter, was die Forderung von RITZ et al. (1995) nach standardisierter Proben-Lokalisation und -Entnahme unterstreicht.

Die Methode von RITZ et al. (1995) erfordert das Einverständnis des Patienten zur Probeentnahme, welches, in Abhängigkeit von der durch das Lebensaltersgutachten zu beantwortenden Fragestellung, unter Umständen nicht gegeben wird.

Noch stärker tritt die ethische Problematik dieser Entnahme am Lebenden in den Vordergrund, wenn keine von RITZ et al. (1995) untersuchten dritten Molaren zur Verfügung stehen und die Probe somit an anderen, unter Umständen naturgesunden Zähnen entnommen werden müsste.

Eine weitere Schwierigkeit bei der Benennung der Präzision der Altersbestimmung mit Hilfe der Aminosäure-Racemisierungs-Methode liegt in den unterschiedlichen und teilweise nicht klar dargestellten statistischen Auswertungsansätzen (MÖRNSTAD et al. 1994). Auch unterstreichen RITZ et al. (1995) die Wichtigkeit der Probengewinnung unter standardisierten Bedingungen als für ein genaues und vergleichbares Ergebnis absolut zwingend. Sicherlich ist auch

der vergleichsweise hohe technische Aufwand der Analysemethoden unter Gesichtspunkten der Praxistauglichkeit und Zweckmässigkeit kritisch zu würdigen. Die Standardabweichung des ermittelten vom tatsächlichen Alter bei der Bestimmung des Lebensalters anhand des Racemisierungsgrades der Asparaginsäure im Dentin menschlicher Zähne geben RITZ-TIMME et al. (2000) nach Literaturschau mit +/- 1,5 bis 4 Jahren an, wobei die Korrelationskoeffizienten 0,97 bis 0,99 betragen.

7.2 Der Stellenwert der röntgenologischen Methoden als Hilfsmittel bei der Altersschätzung unter besonderer Berücksichtigung der Orthopantomographie für die Altersbestimmung am lebenden Erwachsenen

Bei Kindern und Heranwachsenden lässt sich das Alter durch Analyse der Entwicklungsstadien der Zähne, basierend auf der Auswertung von Röntgenaufnahmen, mit einem Standardschätzfehler von +/- 0,5 bis 2,5 Jahren bestimmen (RITZ-TIMME et al. 2000). Die Genauigkeit der Altersaussage nimmt jedoch mit zunehmendem Alter ab und die Altersschätzung anhand der Entwicklung der Zähne der zweiten Dentition kann nach KULLMANN (1995) nur bis zum 15. Lebensjahr angewendet werden. Eine Ausweitung bis um das 21. Lebensjahr herum erlaubt die Einbeziehung der Entwicklung des Weisheitszahnes (WILLERSHAUSEN et al. 2000).

Die Erstellung von Orthopantomogrammen im Rahmen von Lebensaltersgutachten im Strafrecht zur Klärung der Strafmündigkeit und der Anwendbarkeit der jeweils entsprechenden Normen an Lebenden im Alter von 14 bis 21 Jahren ist heute als eine auch unter ethischen und rechtlichen Gesichtspunkten vertretbare Möglichkeit zur Lebensaltersdiagnose anerkannt (SCHMELING et al. 2001).

Geht es zum Beispiel um die Klärung von Versorgungsansprüchen bei nicht eindeutig dokumentiertem Geburtsdatum, ist die Altersbestimmung am Leben-

den auch in höherem Alter vonnöten. Die Genauigkeit und damit die Verlässlichkeit der anhand des Orthopantomogramms nach Vollendung des 21. Lebensjahres ermittelten Altersaussage ist hierbei von grossem Interesse.

7.2.1 Röntgenologische Methoden der Altersbestimmung am Lebenden anhand der Odontogenese

1940 stellten SCHOUR und MASSLER ihre Dentitionstabellen vor, die durch Vergleich des röntgenologischen mit dem klinischen Entwicklungsstand der Zähne die Bestimmung des Dentitionsalters ermöglichten. Eine Methodik, die heute nach wie vor in der Kieferorthopädie breite Anwendung findet.

Die Analyse der Mineralisationsstände im Milchgebiss zu forensischen Zwecken wurde 1959 von KRAUS beschrieben. NAWRATH schlug 1966 die Erstellung von Panoramaschichtaufnahmen zur Betrachtung der Zahnkeime zum Zwecke der Altersschätzung vor.

Die von DEMIRJIAN et al. 1973 vorgestellte Methode der Altersschätzung am Orthopantomogramm anhand von Entwicklungsstadien der Zähne findet noch heute Anwendung (FRUCHT et al. 2000, WILLEMS et al. 2001). WILLEMS et al. (2001) modifizierten die Originalmethode, um die häufig berichtete Überschätzung des Alters bei Anwendung der Methode von DEMIRJIAN et al. (1973) zu reduzieren. Der Vorteil der Methode nach DEMIRJIAN (1973) liegt im Verzicht auf die Bestimmung der Reifestadien der Zähne durch absolute Längenmessungen, da die Form des Zahnkeimes beziehungsweise die Relation von Kronen- und Wurzellänge für jeden Patienten individuell betrachtet wird. Die Gegenüberstellung der erhobenen Werte des jeweiligen Patienten mit einem standardisierten Vergleichswert entfällt also. Ein weiteres Plus dieser Methode liegt darin, dass nahezu alle Zähne betrachtet werden können, wohingegen das Studium der Durchbruchszeiten sich auf die zum Betrachtungszeitraum durchbrechenden Zähne, maximal zwei zur selben Zeit, beschränkt und nur das kurze Stadium des Durchbruchs abbildet, das lediglich eine „Moment-

aufnahme“ des Zahnentwicklungsprozesses darstellt (MOORREES et al 1963). Allerdings endet die Anwendbarkeit der Methode nach DEMIRJIAN mit dem 16. Lebensjahr.

Der 1987 von BENNETT veröffentlichte „field guide for human skeletal identification“ stellt eine exzellente Zusammenfassung der 1963 von MOOREES et al. erarbeiteten Tabellen zur Altersbestimmung anhand der Zahnentwicklung dar. Alle oben genannten Methoden zur Bestimmung des Alters sind jedoch nur bis zum Abschluss des Wurzelwachstums der zweiten Molaren mit spätestens 16 Jahren (SCHRÖDER 2000) anwendbar.

Die Betrachtung des Entwicklungsstandes des Weisheitszahnes ermöglicht nach EIDAM et al. (1991) eine Verlängerung des Altersschätzungszeitraumes bis zum 25. Lebensjahr, in dem dessen Wurzelentwicklung zum Abschluss komme. WILLERSHAUSEN et al. (2000) geben den Verschluss des Apex des Weisheitszahnes mit 20 bis 21 Jahren an, machen jedoch darauf aufmerksam, dass trotz gegebener Korrelation der Wurzelentwicklung dieses Zahnes mit dem Alter eine Altersschätzung bei Jugendlichen ausschliesslich anhand der Entwicklung der Weisheitszähne in einem Bereich von +/- 2 - 4 Jahren Abweichung vom tatsächlichen Alter variiert.

Erschwert wird die Altersschätzung anhand des Weisheitszahnes durch die grosse biologische Variationsbreite in der Anlage und Entwicklung dieses Zahnes (WILLERSHAUSEN et al 2000). Ebenfalls bestehen Unterschiede in der Weisheitszahnentwicklung zwischen Weissen und Farbigen (HARRIS et al. 1990).

Die Standardabweichung des tatsächlichen vom ermittelten Alter bei der röntgenologischen Beurteilung des Entwicklungsstandes der Weisheitszähne liegt nach Schau der in der Literatur beschriebenen gängigsten Methoden laut RITZ-TIMME et al. (2000) bei +/- 1 – 2,5 Jahren. Als sinnvolles Intervall zur

Altersbestimmung durch radiologische Betrachtung des Entwicklungsstandes der Weisheitszähne geben RITZ-TIMME et al. (2000) unter Verweis auf die einschlägigen Publikationen zum Thema 14 bis 21 Jahre an.

Bei Betrachtung der gesamten Dentition im Kindes- und Heranwachsendenalter liegt laut RITZ-TIMME et al. (2000) die Standardabweichung des ermittelten vom tatsächlichen Alter in der Literaturschau bei +/- 0,5 bis 1 Jahr.

Die Autoren verweisen darauf, dass die Genauigkeit der Altersaussage mit zunehmendem Alter sinkt und geben weiterhin zu bedenken, dass andere Faktoren wie Geschlecht und Rasse die Zahnentwicklung beeinflussen.

Bei jeder Altersbestimmung anhand des Entwicklungsstadiums der Weisheitszahnwurzeln ist das verwendete Beurteilungsschema anzugeben, da unterschiedliche Autoren unterschiedliche Schemata benutzen und sich meist auf die Weisheitszähne des Unterkiefers beziehen (JOHANSON 1971, NORTJÉ 1983, HARRIS und NORTJÉ 1984). Die Ergebnisse der Altersdiagnose sind also immer im Kontext der angewandten Methodik zu interpretieren.

KULLMANN kommt 1995 zu dem Ergebnis, dass im Alter von 14 bis 18 Jahren das Alter über die Handröntgenaufnahme bestimmt werden sollte, da die Bestimmung über den dritten Molaren aufgrund der Variabilität in dessen Entwicklung und Morphologie die Zuordnung von Altersstadien zu seinen Entwicklungsstadien nicht aussagekräftig genug sei.

Mit dem Verschluss des Apex des Weisheitszahnes um das 21. Lebensjahr herum ist eine Altersschätzung anhand von dentalen Entwicklungsprozessen nicht mehr möglich. Bei Nichtanlage der Weisheitszähne entfällt diese Möglichkeit vollständig. Nach Beendigung des 21. Lebensjahrs müssen daher andere Methoden der Lebensaltersschätzung zur Anwendung gelangen.

7.2.2. Methode nach MATSIKIDIS

MATSIKIDIS übertrug 1981 die Methode nach GUSTAFSON (1995) auf den Zahnfilm. Seine ursprüngliche Intention war, die Altersschätzung an unbekanntem Toten im Rahmen der Identifizierung mit vereinfachten Mitteln zu ermöglichen.

Er erreichte mit seiner Methodik eine Genauigkeit der Altersschätzung von +/- 3,5 Jahren Abweichung des geschätzten vom tatsächlichen Alter in 60% der Fälle.

Ein Vorteil gegenüber der Methode GUSTAFSONs (1995) liegt in der Analyse aller im Röntgenstatus abgebildeten Zähne pro Patient und der damit einhergehenden erhöhten Ergebnisgenauigkeit.

Die Subjektivität bei der Beurteilung der Ausprägungsgrade der GUSTAFSONschen Parameter bleibt jedoch bei MATSIKIDIS' Methode (1981) bestehen, auch wenn er anstatt von 4 Ausprägungsgraden 7 Grade definierte. Die Tatsache, dass auch Aufnahmen in die Auswertung einfließen, auf denen nicht jeder Parameter bewertet werden konnte, macht eine für alle Zähne einheitliche Beurteilung unmöglich und wirft die Frage nach der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse auf. Eine Bewertung des Einflusses dieser Vorgehensweise auf die Ergebnisgenauigkeit kann zweifelsfrei nur durch eine auf diese Fragestellung ausgerichtete Studie erreicht werden. Die hohe Ergebnisgenauigkeit der Methodik von MATSIKIDIS (1981) weist sein Vorgehen jedoch als erfolbringend aus.

MATSIKIDIS (1981) bezog auch zahnärztlich behandelte Zähne in seine Auswertung ein, was die Frage nach dem Einfluss iatrogenen Faktoren auf die Genauigkeit der Altersschätzungsaussage aufwirft. Auch bei Weglassung der Erhebung einzelner Parameter wie zum Beispiel der Sekundärdentinablagerung bei zahnärztlich behandelten Zähnen ist eine Beeinflussung der erhobenen

Restparameter durch die iatrogenen Manipulationen ebenso wie durch die ihr vorausgehenden pathologischen Geschehen nicht auszuschliessen. Die erzielte Ergebnisgenauigkeit lässt jedoch die Vermutung zu, dass durch die relativ hohe Gesamtzahl der betrachteten Zähne (= 1415) ein Ausgleich eventueller Abweichungen in den Werten behandelter Zähne erfolgt sein könnte.

Der im Versuchsteil erzielte Abweichungsmittelwert von +/- 3,5 Jahren wurde anhand der im ersten Teil der Arbeit erstellten Regressionsgleichung ermittelt, die Vermessung der Zähne im Versuchsteil erfolgte jedoch unter Zugrundelegung abweichender Vermessungskriterien, so dass die Erstellung einer neuen Regressionsgleichung unter Berücksichtigung der veränderten Vermessungsschemata zur Altersfeststellung im Versuchsteil wünschenswert gewesen wäre.

Die der Arbeit von MATSIKIDIS (1981) zugrundeliegenden Zahnfilme wurden mit der Halbwinkeltechnik erstellt. Diese Technik, die auch für den Geübten nicht immer leicht anzuwenden ist, bringt eine vergleichsweise hohe Wahrscheinlichkeit von projektionsbedingten Ungenauigkeiten (verkürzte Darstellung des Zahnes bei zu steiler Projektion, verlängerte Darstellung des Zahnes bei zu flacher Projektion) mit sich, wobei ein negativer Einfluss auf die Genauigkeit der Altersaussage naheliegend scheint. Diese projektionsbedingten Ungenauigkeiten ergeben sich sowohl aufgrund anatomischer Gegebenheiten, die eine korrekte Anwendung der Halbwinkeltechnik erschweren, als auch aus individuellen Unterschieden in der Positionierung von Film und Strahlenquelle bedingt durch den die Aufnahme Ausführenden. Die Frage, welchen Einfluss die angewandte Röntgentechnik auf die Ergebnisgenauigkeit der Methode von MATSIKIDIS (1981) hat, kann zweifelsfrei nur anhand einer auf die Beantwortung dieser Fragestellung ausgerichteten Studie beantwortet werden.

Die Tatsache, dass MATSIKIDIS (1981) alle Zähne pro Patient vermessen hat, könnte ebenfalls positiven Einfluss auf die Ergebnisgenauigkeit genommen haben. KVAAL et al. (1995), deren genaueste Schätzung eine Standardabweichung

chung von +/- 8,6 Jahren des ermittelten vom tatsächlichen Alter erbrachte, beschränkten sich in ihrer Arbeit auf die Vermessung von sechs Zähnen, wobei diese laut einer Vorstudie diejenigen waren, deren Vermessung die höchste Korrelation mit dem Alter erbrachte.

NASSTROM et al. beschrieben 1985 eine Verengung des Pulpenkavums infolge renaler Erkrankungen, und auch Erkrankungen wie Dentinogenesis Imperfeka in Kombination mit Osteogenesis Imperfeka können eine abweichende Pulpenmorphologie zur Folge haben. PRAPANOCH et al. (1992) kamen in ihrer Studie zu dem Ergebnis, dass die Ausmessung des Pulpenkavums an Röntgenaufnahmen keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Abnahme der Pulpenhöhe und -breite und dem Lebensalter ergibt. Als Erklärung für ihre Ergebnisse verweisen sie darauf, dass die verschiedenartigsten pathologischen Einflüsse über die Apposition von Tertiärdentin Auswirkungen auf die Grösse des Pulpenkavums haben.

Die Studien von NASSTROM et al. (1985) und PRAPANOCH et al. (1992) untermauern die Forderung von SCHMELING et al. (2001) nach Diskussion möglicher entwicklungsbeeinflussender Erkrankungen des Betroffenen und ihrer Auswirkungen auf die Altersdiagnose und deren Einschätzung bezüglich möglicher Konsequenzen für die Genauigkeit der Altersaussage. Eine Quantifizierung der Einflüsse pathologischer Geschehen auf die Genauigkeit der Altersdiagnose ist jedoch sehr schwierig und erfordert die Erstellung entsprechender, auf diese Fragestellungen ausgerichteter Arbeiten.

Es ist das Verdienst von MATSIKIDIS (1981), die Methode von GUSTAFSON (1955) durch Übertragung auf den Zahnfilm für die Anwendung am Lebenden tauglich gemacht und damit den Weg für weitere Methoden der Altersschätzung am Lebenden anhand von Röntgenaufnahmen bereitet zu haben.

7.2.3 Methode nach KVAAL et al. und ihre Übertragung auf das Orthopantomogramm

KVAAL et al. entwickelten 1995 ein neues, aus dem GUSTAFSONschen Ansatz abgeleitetes Vermessungsschema, das an sechs Zahnfilmen pro Patient die folgenden Messwerte erhob (siehe Abbildung 12 Seite 63):

- Maximale Zahnlänge (= T)
- Maximale Pulpalänge (= P)
- Wurzellänge von der Schmelz-Zementgrenze (SZG) bis zum Apex, gemessen an der Mesialfläche der Wurzel (=R)
- Breite von Wurzel und Pulpa an der SZG (= A)
- Breite von Wurzel und Pulpa auf halber Strecke zwischen Apex und SZG (= C)
- Breite von Wurzel und Pulpa auf halber Strecke zwischen A und C (= B)

Dieses Vermessungsschema wandten sie auf Zahnfilme an, die nach der Parallel-Technik unter Zuhilfenahme eines Filmhalters nach Eggen erstellt worden waren.

Auch bei Benutzung des Eggen-Filmhalters sind Unterschiede in Projektionsrichtung, Vergrößerung und Bildqualität zwischen den Aufnahmen nicht zu vermeiden. Um diese Unterschiede zu kompensieren, bildeten die Autoren Quotienten aus den erhobenen Einzelmesswerten:

- Pulpalänge / Wurzellänge
- Pulpalänge / Zahnlänge
- Zahnlänge / Wurzellänge
- Pulpabreite / Wurzelbreite
 - 1) in Höhe der Schmelz-Zementgrenze (=SZG) (A)
 - 2) auf halber Wurzellänge (C)

3) auf $\frac{1}{2}$ Strecke zwischen SZG und $\frac{1}{2}$ Wurzellänge (B)

Auf der Grundlage dieser Quotienten führten sie eine multiple lineare Regressionsanalyse durch.

Das Orthopantomogramm gewährleistet die Abbildung aller Zähne einer Dentition in derselben orthoradialen Projektionsrichtung. Unterschiede in Bildqualität und Vergrößerung der sechs „KVAAL-Zähne“ sind aufgrund der Abbildung auf einer Aufnahme bei korrekter Positionierung des Patienten im Orthopantomographen nicht gegeben.

Die im Hauptversuch 1 nach der Methode von KVAAL et al. (1995) vermessen und mittels multipler linearer Regressionsanalyse analog dem Ansatz von KVAAL et al. (1995) analysierten Messwerte der 100 Orthopantomogramme des Kollektivs B_{OPG} ergaben in Abhängigkeit vom Typ und von der Anzahl der in die Regressionsanalyse einbezogenen Zähne Standardabweichungen vom tatsächlichen Alter von +/- 9,9 bis 11,4 Jahren. KVAAL et al. (1995) erreichten am Zahnfilm Standardabweichungen von +/- 8,6 bis 11,5 Jahren, wobei das beste Ergebnis bei Betrachtung aller sechs Zähne erzielt wurde, also durch Erhebung von 54 Messwerten, und das schlechteste bei Betrachtung der unteren seitlichen Schneidezähne und Eckzähne. Die höchstmögliche Ergebnisgenauigkeit erfordert also die Erstellung von sechs Zahnfilmen.

Die mit +/- 9,9 Jahren genaueste Altersschätzung am Kollektiv B_{OPG} nach der von KVAAL et al. (1995) vorgegebenen Methodik ergibt sich bei Auswertung der Messwerte der drei Oberkiefer-Zähne (11/21, 12/22, 15/25). Die mit +/- 11,4 Jahren am stärksten vom tatsächlichen Alter abweichenden Werte wurden ermittelt für die drei Unterkiefer-Zähne (32/42, 33/43, 34/44) und für die Zähne 15/25 und 34/44.

Die Übertragung des von KVAAL et al. (1995) gewählten statistischen Ansatzes der Bildung von Quotienten auf das Orthopantomogramm erweist sich als

nicht ergebnisverbessernd im Vergleich mit den von KVAAL et al. (1995) am Zahnfilm erzielten Ergebnissen. Dies könnte darin begründet liegen, dass die Gruppe um KVAAL ihre Methode für den Zahnfilm entwickelte und damit den bei der Anwendung auf den Zahnfilm auftretenden Besonderheiten wie zum Beispiel den unterschiedlichen Projektionen und Vergrößerungen Rechnung trug. Auch aufgrund der Tatsache, dass das Orthopantomogramm alle Zähne eines Patienten mit demselben Strahlengang abbildet, ist die Bildung von Quotienten verzichtbar.

Die von KVAAL et al. (1995) vermessenen Strecken jedoch eignen sich zur Übertragung auf das Orthopantomogramm. Dies ist nicht weiter überraschend, da die von KVAAL et al. (1995) vorgegebenen Messungen unabhängig vom zugrundeliegenden Typ Röntgenaufnahme die mit dem Alter einhergehenden Veränderungen des Zahnes festhalten.

Diese Schlussfolgerung wird untermauert durch die bei Verzicht auf die Bildung von Quotienten am Orthopantomogramm erzielten Ergebnisse:

Die multiple lineare Regressionsanalyse der am Kollektiv B_{OPG} erhobenen Messwerte unter Verzicht auf die Bildung von Quotienten ergab bei Analyse der Messwerte eines Zahntyps mit einer Abweichung von $\pm 8,6$ Jahren für den Zahn 34/44 das genaueste Ergebnis. Bei Regressionsanalyse aller sechs Zähne liess sich die Ergebnisgenauigkeit mit $\pm 6,5$ Jahren Abweichung des ermittelten vom tatsächlichen Alter bei Analyse von 12 Messwerten nochmals um 2,1 Jahre verbessern.

Die Kollektivgrösse von 100 Patienten, anhand der die oben genannten Ergebnisse ermittelt wurden, ist als klein einzustufen. Die von KVAAL et al. (1995) gewählte Kollektivgrösse wurde übernommen, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu ermöglichen. Eine Verifizierung der an diesem kleinen Kollektiv erarbeiteten Ergebnisse durch Studien mit unabhängigen, grösseren Kollektiven ist wünschenswert.

Hierbei wäre eine ausgewogene und vergleichbare Altersverteilung innerhalb

der Kollektive zu begrüssen, da sie vermutlich einen positiven Einfluss auf die Ergebnisgenauigkeit hätte. Leider sind dieser Forderung jedoch in der Praxis Grenzen gesetzt, da die Anzahl der verwertbaren Röntgenbilder begrenzt ist.

Die Vermessung von lediglich 50 Zahnfilmen (= Kollektiv B_{ZF50}) des zweiten oberen Prämolaren im Hauptversuch 2 nach der Methode von KVAAL et al. (1995) erbrachte eine Abweichung des ermittelten vom tatsächlichen Alter von $\pm 7,3$ Jahren. KVAAL et al. (1995) ermittelten an einem Kollektiv von 100 Patienten für den zweiten oberen Prämolaren eine Abweichung des ermittelten vom tatsächlichen Alter von ± 11 Jahren. Das Ergebnis erstaunt vor dem Hintergrund, dass die an einer um die Hälfte reduzierten Kollektivgrösse ermittelten Ergebnisse für den zweiten oberen Prämolaren eine um 3,7 Jahre präzisere Altersschätzung bringen und werfen die Frage nach der Reproduzierbarkeit der gewonnenen Ergebnisse auf. Aufgrund der geringen Anzahl der vermessenen Zähne ist es wahrscheinlich, dass das erzielte Ergebnis ein Zufallsresultat darstellt.

Für das Kollektiv B_{OPG50} war bei Anwendung der Methode nach KVAAL et al. (1995) kein signifikanter Zusammenhang zwischen den am zweiten oberen Prämolaren erhobenen Messwerten und dem Lebensalter vorhanden. Dieses Ergebnis stützt die aus den Ergebnissen des Hauptversuchs 1 abgeleitete Schlussfolgerung, dass eine Übertragung der Zahnfilmmethode auf das Orthopantomogramm nicht sinnvoll ist, wobei der Grund für dieses Ergebnis ebenso in der geringen Kollektivgrösse liegen kann. Auch der signifikante Unterschied in der Altersverteilung in der Gruppe ab 50 Jahren im Kollektiv B_{OPG50} im Vergleich zum Kollektiv B_{OPG} bedingt eine schlechtere Prognostizierbarkeit des Alters.

In ihrer Studie am Dosimetrie-Phantom zur Dosisreduktion bei digitalen Zahnfilmstaten geben VISSER et al. (2000₁) für konventionell erstellte Zahnfilmstaten, bestehend aus 11 Aufnahmen, die folgenden Energiedosis-Mittelwerte an,

wobei die effektive Dosis 28 μSv betrug (Tabelle 66):

Messort	Energiedosis in mGy
	Zahnfilmstatus (11 Aufnahmen)
Gl. Parotis	0,712
OK-Prämolaren	1,460
Kieferwinkel	0,702
Labiomental-Sulkus	1,097
Gl. submandibularis	0,502
Nackenhaut	0,045

Tabelle 66:

Mittelwerte der Energiedosis in mGy an ausgewählten Messorten, modifiziert nach VISSER et al. (2000₁), an mit einem Siemens Heloident MD-Gerät unter Verwendung von Filmen vom Typ Agfa Dentus M2 der Grösse 3 x 4 cm mit der Empfindlichkeit D/E erstellten Zahnfilmstatus (1,5 mm Al; Spannung: 70 kV; Strom: 7 mA; Belichtungszeiten: 0,10 bis 0,20 Sekunden, Gesamtbelichtungszeit 1,96 Sekunden)

Für mit einem Siemens Orthophos Gerät am Dosimetrie-Phantom erstellte Orthopantomogramme geben VISSER et al. (2000₂) die folgenden Energiedosen an (Tabelle 67):

Messort	Energiedosis in mGy
	Panoramaschichtaufnahme (Siemens Orthophos)
Parotis (Haut)	1,034
Gl. Parotis	0,523
OK-Prämolaren	0,058
Kieferwinkel	0,976
Labiomental-Sulkus	0,014
Gl. submandibularis	0,226
Nackenhaut	0,416

Tabelle 67:

Mittelwerte der Energiedosis in mGy an ausgewählten Messorten, modifiziert nach VISSER et al. (2000₂), an mit einem Siemens Orthophos Gerät erstellten Panoramascichtaufnahmen unter Verwendung einer Kodak Lanex Medium 250 Verstärkerfolie (Spannung: 71 kV; Strom: 15 mA; Belichtungszeit: 14 Sekunden)

Die effektiven Dosen bei der Erstellung von Panoramascichtaufnahmen liegen nach VISSER et al. (2000₂) in Abhängigkeit vom verwendeten Gerät bei 16 bis 21 μSv , wobei die mit konventionellen Panoramascichtgeräten erstellten Aufnahmen nur relativ geringe Unterschiede in Bezug auf die Strahlenexposition

zeigten. DÜKER (2000) spricht von heute unter 7 μSv liegenden effektiven Dosen für die Erstellung von Panoramaschichtaufnahmen und benennt die Maximalwerte der Hautoberflächendosis am Kopf mit kaum über 2 mSv liegend.

SCHMELING et al. (2000) geben die effektive Strahlendosis bei der Erstellung eines Orthopantomogramms im Rahmen einer Altersschätzung am Lebenden mit 26 μSv an. Die durchschnittliche natürliche jährliche Strahlenexposition liegt nach SCHMELING et al. (2000) bei 2,4 mSv. Ein Interkontinentalflug ist mit einer Strahlenexposition von etwa 50 μSv verbunden (SCHMELING et al. 2000). Ein relevantes Gesundheitsrisiko durch die Erstellung eines Orthopantomogramms im Rahmen einer Altersschätzung am Lebenden kann somit ausgeschlossen werden (SCHMELING et al. 2000). Die Autoren unterstreichen jedoch die uneingeschränkte Notwendigkeit der Einhaltung des sogenannten Minimierungsgebotes mit seiner Forderung, jede notwendige Untersuchung so dosissparend wie möglich durchzuführen und auf nicht zwingend notwendige Expositionen zu verzichten.

§ 24 der Röntgenverordnung legt fest, dass Röntgenstrahlen grundsätzlich nur in Ausübung der Heilkunde oder Zahnheilkunde angewandt werden dürfen. Eine Ausnahme bilden „sonstige durch Gesetz vorgesehene oder zugelassene Fälle“. Eine Ermächtigungsgrundlage für die Durchführung von Röntgenuntersuchungen kann im Rahmen von Strafverfahren zur Klärung der Strafmündigkeit bzw. der Anwendbarkeit des Jugend- oder Erwachsenenstrafrechts bei Beschuldigten mit nicht zweifelsfrei dokumentiertem Alter der § 81a der Strafprozessordnung sein. Jedoch ist die Voraussetzung für dessen Anwendung, dass kein Nachteil für die Gesundheit des Beschuldigten zu befürchten ist (RITZ und KAATSCH 1996, SCHMELING et al. 2000).

Somit wären radiologische Untersuchungen zum Zwecke der Altersbestimmung nur dann statthaft, wenn der Verdacht auf eine Straftat besteht und der Grundsatz der Verhältnismässigkeit gewahrt wird. Der Grundsatz der Verhältnismässigkeit wäre dann gewahrt, wenn die zu beantwortende Fragestellung unter

Berücksichtigung der einschlägigen Literatur durch radiologische Verfahren mit ausreichender Sicherheit beantwortet werden kann (RITZ und KAATSCH 1996).

„Ob eine blosse Röntgenaufnahme den Tatbestand einer Körperverletzung nach § 223 StGB erfüllt, ist in Rechtsprechung und Literatur nicht abschliessend geklärt. Immerhin liegt nach einem erstinstanzlichen Urteil des LG München (NStZ 1982, 470) eine Körperverletzung dann nicht vor, wenn durch die Einwirkung von Strahlen keine sichtbare oder fühlbare gesundheitliche oder körperliche Beeinträchtigung entsteht und damit keine Gesundheitsbeschädigung nachgewiesen werden kann; dies sei nach Meinung der Richter ein Vorgang ohne pathologisch relevante Bedeutung in Bezug auf Befinden und Funktion des Körpers des Betroffenen. Bei einer Zahnextraktion bzw. -biopsie handelt es sich dagegen eindeutig um eine Körperverletzung“ (DEUTSCHER BUNDESTAG 1995).

RAHN et al. untersuchten 1991 4454 an einer Universitäts-Zahnklinik erstellte Panoramaschichtaufnahmen auf Zufallsbefunde und fanden in 1098 Aufnahmen (= 30%) ebensolche, wobei pro Aufnahme bis zu 5 Zufallsbefunde augenfällig wurden, was im Durchschnitt 1,5 behandlungsbedürftigen Zufallsbefunden pro Aufnahme entsprach. Die Erstellung eines Orthopantomogramms zum Zwecke der Altersschätzung beinhaltet daher für den Patienten einen grossen prophylaktischen Nutzen und kann durch die frühzeitige Diagnose pathologischer Prozesse als Zufallsbefund die rechtzeitige Behandlung gewährleisten. Es trägt somit nicht nur zur Vermeidung langwieriger und kostenintensiver Behandlungen bei, sondern dient mit hoher Wahrscheinlichkeit auch der Erhaltung beziehungsweise Wiederherstellung der Gesundheit des Patienten.

Unter Berücksichtigung der hohen Wahrscheinlichkeit der Entdeckung von therapiebedürftigen Zufallsbefunden und aufgrund der klareren und weniger aufwendigen Regressionsanalyse mit dem um 2,1 Jahre verbesserten Ergebnis

stellt sich die Erstellung von Orthopantomogrammen für die Altersschätzung am Lebenden als der Erstellung von Zahnfilmen und ihrer Auswertung nach der Methode von KVAAL et al. (1995) überlegen dar.

Da jede Röntgenaufnahme den Zahn, den sie abbildet, von einer dreidimensionalen auf eine zweidimensionale Darstellung reduziert, werden der Genauigkeit der röntgenologischen Methoden zur Altersschätzung am Zahn immer Grenzen gesetzt sein. So können durch Fehler in der Positionierung des Patienten hervorgerufene Abweichungen in der Darstellung der Zähne und damit einhergehende negative Einflüsse auf die Ergebnisgenauigkeit der Altersschätzung nicht ausgeschlossen werden. Überlagerungen der approximalen Flächen einzelner Zähne auf dem Orthopantomogramm sind, da häufig durch die Zahnstellung bedingt, nicht zu vermeiden (DÜKER 2000).

Das Orthopantomogramm wird von der Arbeitsgemeinschaft für Forensische Altersdiagnostik der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin in der Altersspanne von 14 bis 21 Jahren als geeignetes Mittel zur Altersschätzung bei Lebenden im Strafverfahren eingestuft (SCHMELING et al. 2001). Um die Ergebnissicherheit im Sinne einer Summationsdiagnose zu erhöhen und eventuelle altersrelevante Entwicklungsstörungen zu erkennen, sollten die von der Arbeitsgemeinschaft als derzeit zur Altersdiagnostik am besten geeigneten Methoden (körperliche Inspektion, Röntgenuntersuchung der linken Hand, zahnärztliche Untersuchung inklusive Anfertigung einer Panorama-Schichtaufnahme) gegebenenfalls in Kombination angewandt werden (SCHMELING et al. 2001).

Auch das Ergebnis einer Altersschätzung am Erwachsenen sollte im Sinne einer höchstmöglichen Genauigkeit aus dem Abgleich der Ergebnisse unterschiedlicher methodischer Ansätze abgeleitet werden. So sollte die körperliche Inspektion genauso unverzichtbar Bestandteil einer Altersschätzung am Erwachsenen sein wie die klinische Untersuchung des Gebisses durch einen in

Fragen der forensischen Odontostomatologie erfahrenen Zahnarzt.

Die Ergebnisse des experimentellen Teils dieser Studie untermauern diese Forderung und bestätigen gleichzeitig den Einsatz der Orthopantomographie als Methode der Wahl zur Röntgenuntersuchung des Gebisses im Rahmen von Altersschätzungsgutachten am Lebenden.

8.0 Praxisrelevanz der Orthopantomographie als Mittel zur Altersschätzung am Erwachsenen

Die Auswertung von Orthopantomogrammen als Hilfsmittel zur Ermittlung des Alters lebender Personen ist heute fester Bestandteil des Methodenkatalogs der Altersbestimmung (SCHMELING et al. 2001).

Die Orthopantomographie empfiehlt sich nicht nur aufgrund ihrer leichten Verfügbarkeit, sondern vor allem durch die im Vergleich mit der Anwendung anderer Röntgentechniken vergleichsweise geringe Strahlenbelastung für den Untersuchten und die vollumfängliche Darstellung der Dentition bei gleichzeitiger Möglichkeit der Entdeckung therapiebedürftiger Zufallsbefunde.

Im Rahmen der Altersdiagnose am Erwachsenen sollte das Orthopantomogramm im Sinne einer Summationsdiagnose mit anderen Methoden der Altersschätzung wie zum Beispiel der körperlichen Inspektion und der zahnärztlichen Untersuchung mit Erhebung des Zahnstatus kombiniert werden. Das Ergebnis der Altersschätzung ergibt sich bei diesem Vorgehen aus der Synopsis der Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden. Sachkunde und Erfahrung der klinischen Gutachter sind unverzichtbar.

Die Altersbestimmung mit Hilfe statistischer Methoden ist von der Erfahrung und Interpretation einzelner Untersucher abhängig (BORRMANN et al. 1995). Daher gilt die Forderung, dass Altersgutachten von erfahrenen Gutachtern zu erstellen sind, da eine positive Beeinflussung der Genauigkeit der Altersdiagnose sehr wahrscheinlich ist (BORRMANN et al. 1995). Die Autoren fordern weiterhin, eine zweite Einschätzung als festen Bestandteil jedes Altersgutachtens zu etablieren.

Die Einhaltung ethischer und rechtlicher Grundsätze bei der Erstellung von Altersdiagnosen lebender Personen ist für den medizinischen Gerichtsgutachter oberstes Gebot. Daher ist davon auszugehen, dass noninvasive Verfahren

der Altersbestimmung wie die Röntgenologie auch in Zukunft einen festen Platz in der forensischen Odontostomatologie haben werden. Die Herausforderung für die Zukunft liegt in der Verbesserung der methodischen Ansätze mit dem Ziel der Steigerung Aussagegenauigkeit. Eine besondere Herausforderung ist hierbei die Erfüllung der von SCHMELING et al. (2001) definierten Mindestanforderungen an für forensische Altersdiagnosen verwendete Referenzstudien zum Zwecke der Qualitätssicherung.

Weiterhin schwierig bleibt die Vergleichbarkeit verschiedener Studien untereinander, da fast jede wissenschaftliche Gruppe ein eigenes methodisches Protokoll präsentiert und auch die zur statistischen Auswertung gewählten Ansätze sich unterscheiden (RITZ-TIMME et al. 1995). Somit kann zum momentanen Zeitpunkt lediglich die Forderung nach klarer und vollständiger Beschreibung der gewählten Vorgehensweise erhoben werden, damit eine Bewertung des jeweiligen Ergebnisses vor dem Hintergrund der gewählten statistischen Auswertungsmethodik möglich ist.

Die Unverzichtbarkeit der Röntgenologie (Orthopantomogramm) bei der Erstellung von Altersschätzungsgutachten wird heute bei Einhaltung der von SCHMELING et al. (2001) formulierten Mindestanforderungen an Referenzstudien zur forensischen Altersdiagnose nicht mehr in Frage gestellt. Zwar stellen SCHMELING et al. (2001) ihre Forderungen auf für „Altersschätzungen im Strafrecht zur Feststellung der Strafmündigkeit und zur Frage der Anwendbarkeit des Jugendstrafrechts bei Beschuldigten mit zweifelhaften Altersangaben“, jedoch lassen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit eine Anwendung auf Altersschätzungsgutachten am lebenden Erwachsenen ebenfalls sinnvoll erscheinen.

So ist die 1978 von HUNGER und LEOPOLD gemachte und im folgenden zitierte Aussage auch heute noch von hoher Aktualität und besitzt, ungeachtet der herangezogenen Methode der Altersschätzung, uneingeschränkte Gültig-

keit: „Der Erfolg der Altersschätzung hängt jedoch wesentlich von der Bewertung aller Umstände und der Einbeziehung möglichst vieler Kriterien ab. Dies gelingt einem erfahrenen Kliniker der Zahnheilkunde am besten, da er durch seine Tätigkeit zu ständiger Selbstkontrolle und „Eichung“ seiner Schätzmethode in der Lage ist, wenn er sich regelmässig mit Identifizierungsaufgaben befasst.“

9.0 Zusammenfassung

Eine Vielzahl unterschiedlicher Methoden der Altersschätzung anhand der Zähne zur Anwendung sowohl am Lebenden als auch am Toten sind in der Literatur beschrieben. Die vorliegende Studie gibt einen Überblick über die relevanten Methoden der Altersschätzung anhand der Zähne und überträgt die 1995 von KVAAL et al. vorgestellte Methode der Altersschätzung anhand von Zahnfilmen zur Anwendung am Lebenden auf das Orthopantomogramm.

Neben dem von KVAAL et al. (1995) im Rahmen ihrer Studie entwickelten statistischen Auswertungsansatz wurde eine eigene Methodik zur Auswertung der erhobenen Messwerte entwickelt. Weiterhin wurden die Auswirkungen einer verringerten Kollektivgrösse auf die Genauigkeit der Altersschätzung untersucht.

Die vorliegende Studie kommt zu dem Ergebnis, dass die Übertragung der Methode von KVAAL et al. (1995) auf das Orthopantomogramm keine Ergebnisverbesserung erbringt, wobei im Vergleich mit dem von KVAAL et al. (1995) erzielten Ergebnis von $\pm 8,6$ Jahren Abweichung des ermittelten vom tatsächlichen Alter eine Abweichung von $\pm 9,9$ Jahren erzielt wurde.

Das bei Anwendung der eigenen statistischen Methodik erzielte Ergebnis der Altersschätzung am Orthopantomogramm unter Beibehaltung der von KVAAL et al. vorgegebenen Messungen ist mit $\pm 6,5$ Jahren Abweichung des ermittelten vom tatsächlichen Alter um 2,1 Jahre genauer.

Das bei halbiertes Kollektivgrösse an 50 Orthopantomogrammen erzielte Ergebnis von $\pm 7,4$ Jahren Abweichung des ermittelten vom tatsächlichen Alter ist aufgrund der geringen Anzahl betrachteter Orthopantomogramme als nicht reproduzierbar zu bewerten.

10. Literaturverzeichnis

1. **Bang, G., Monsen, R. (1968):**
Möglichkeiten der Altersbestimmung durch Untersuchung der Zähne.
Dtsch Zahnärztl Z 23, 934 - 936
2. **Bang, G., Ramm, E. (1970):**
Determination of age in humans from root dentin transparency.
Acta Odontol Scand 28, 3 - 35
3. **Bennett, K. A. (1987):**
A field guide for human skeletal identification.
Charles C. Thomas Publisher, 2nd edition, Springfield Illinois, U.S.A.
4. **Bhussry, B. R., Emmel V. (1955):**
Changes in the nitrogen content of enamel with age.
J Dent Res 34, 627 -631
5. **Björk, A. (1972):**
Zeitliche Abstimmung interzeptiver kieferorthopädischer Maßnahmen auf der Grundlage der Reifestufen.
Inf Orthod Kieferorthop 9, 281 - 293
6. **Borrmann, H., Solheim, T., Magnusson, B., Kvaal, S. I., Stene-Johansen, W. (1995):**
Inter-examiner variation in the assessment of age-related factors in teeth.
Int J Leg Med 107, 183 - 186
7. **Bruckner, S.(1959):**
Experimentelle Untersuchungen über die Härte der Wurzelkanalwand und der Dentinmantelzone.
Med. Diss., Mainz
8. **Bundeszahnärztekammer (1995):**
Tätigkeitsbericht der Bundeszahnärztekammer. Röntgen von Asylbewerbern.
Dtsch Ärztebl 92, B-1219
9. **Dalitz, G. D. (1962):**
Age determination of adult human remains by teeth examination.
J For Sci Soc 3, 11 – 21
10. **Demirjian, A., Goldstein, H., Tanner, J. M. (1973):**
A new system of dental age estimation.
Hum Biol 45, 211 - 227

11. **Demirjian, A., Goldstein, H. (1976):**
New systems for dental maturity based on seven and four teeth.
Ann Human Biol 3, 411 – 421

12. **Deutscher Bundestag (1995):**
Missbrauch der Skelettreifebestimmung durch Handwurzelröntgen-
untersuchung bei unbegleiteten jugendlichen Flüchtlingen. Antwort der
Bundesregierung auf die kleine Anfrage der Abgeordneten Monika Kno-
che und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN, Drucksache 13/1067.
Amtsvormund 68: 730 - 731

13. **Düker, J. (2000):**
Röntgendiagnostik mit der Panoramaschichtaufnahme.
Hüthig Zahnmedizin, Heidelberg, 2. Aufl.

14. **Eggen, S. (1973):**
Simplification of a radiographic technique.
Quintessence Int 4 (6), 69 - 71

15. **Eidam, J., Kleemann, W.J., Urban, R. (1991):**
Altersbestimmung am Lebenden - Erfahrungen aus den Untersuchungen
in Hannover.
Beiträge zur Gerichtlichen Medizin (Austria) 49, 67 - 73

16. **Endris, R. (1979):**
Praktische forensische Odonto-Stomatologie. Das Gebiß als Indiz und
Tatwerkzeug.
Kriminalistik Verlag, Heidelberg

17. **Endris, R. (1982):**
Forensische Katastrophenmedizin. Methodik, Planung und Organisation
der Leichenidentifizierung.
Kriminalistik Verlag, Heidelberg

18. **Figgner, L. (2001):**
Digitale Radiographie und elektronische Datenerfassung im Blickwinkel
der zahnärztlichen Dokumentationspflicht.
Dtsch Zahnärztl Z 56, 456 - 459

19. **Fleischer-Peters, A. (1987):**
Die Bedeutung der Zähne für die Altersschätzung von Findelkindern.
Dtsch Zahnärztl Z 42, 712 - 718

20. **Frucht, S., Schnegelsberg, Ch., Schulte-Mönting, J., Rose E., Jonas, I. (2000):**
Das Zahnalter im südwestdeutschen Raum – eine röntgenologische Studie.
J Orofac Orthop / Fortschr Kieferorthop 61, 318 – 329
21. **Fröhlich, E. (1965):**
Die Involution des Parodontiums, Symptomatologie und Differentialdiagnose.
Dtsch Zahnärztl Z 9, 1005 – 1020
22. **Fröhlich, E. (1970):**
Altersveränderungen der Pulpa und des Parodontiums.
Dtsch Zahnärztl Z 25, 175 - 183
23. **Gandini, P., Rizzo S., Renzi P. (1989):**
Dental age and skeletal age: correlation study.
Mondo Orthod 14, 207 – 210
24. **Grave, K. C., Brown, T. (1976):**
Skeletal ossification and the adolescent growth spurt.
Am J Orthodont 69, 611 - 619
25. **Greulich, W. W., Pyle, S. J. (1959):**
Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist.
Stanford University Press, Stanford, 2nd edition
26. **Gron, A. M. (1962):**
Prediction of tooth emergence.
J Dent Res 41, 573 - 585
27. **Grosskopf, B. (1990):**
Individualalterbestimmung mit Hilfe von Zuwachsringen im Zement bodengelagerter menschlicher Zähne.
Z Rechtsmed 103, 351 - 359
28. **Grosskopf, B. (1996):**
Cementochronologie – eine Methode zur Bestimmung des Individualalters.
Bull Soc Suisse d'Anthrop 2 (2), 27 - 31
29. **Grosskopf, B., Denden, J. M., Krüger, W. (1996):**
Untersuchungen zur Zementapposition bei Parodontitis marginalis profunda.
Dtsch Zahnärztl Z 51, 5, 295 – 297

30. **Gustafson, G. (1955):**
Altersbestimmung an Zähnen.
Dtsch Zahnärztl Z 23, 1763 - 1768

31. **Gustafson, G. (1966):**
Forensic Odontology.
Staples Press, London

32. **Harris, M. J. P., Nortjé, C. J. (1984):**
The mesial root of the third mandibular molar – a possible indicator of age.
J Forensic Odonto-Stomatol 2, 39 - 43

33. **Harris, E. F., McKee, K. H. (1990):**
Tooth mineralization standards for Blacks and Whites from the Middle Southern United States.
J For Sci 35, 859 - 864

34. **Hassel, B., Fahrman, A. G. (1995):**
Skeletal maturation evaluation using cervical vertebrae.
Am J Orthod Dentofac Orthop 107, 58 - 66

35. **Heckmann, K. (1939):**
Die Röntgenperspektive und ihre Umwandlung durch eine neue Aufnahmetechnik.
Fortschr Röntgenstr 60, 144 - 148

36. **Helfman, P. M., Bada, J. L. (1976):**
Aspartic acid racemization in dentine as a measure of ageing.
Nature 262, 279 - 281

37. **Hoffmann-Axthelm, W. (1985):**
Die Geschichte der Zahnheilkunde.
Quintessenz Verlags GmbH, Berlin, Chicago, 2. Aufl.

38. **Hunger, H., Leopold, D. (1978):**
Identifikation.
Johann Ambrosius Barth, Leipzig

39. **Johanson, G. (1971):**
Age determinations from human teeth.
Odontol Rev 22, Supplement 2

40. **Kahl, B., Schwarze, C. W. (1988):**
Aktualisierung der Dentitionstabelle von I. Schour und M. Massler von 1941.
Fortschr Kieferorthop 49, 432 – 443

41. **Kamann, W. K. (1998):**
Altersveränderungen im stomatognathen System.
DZW Spezial 19/98, 4 – 7
42. **Ketterl, W. (1961):**
Studie über das Dentin der permanenten Zähne des Menschen.
Stoma 14, 79 und 148
43. **Kiesel, W. (1973):**
Untersuchungen zur Altersbestimmung des Menschen auf Grund von
Messungen der Wandstärke und Härte des Dentins.
Med. Diss., Mainz
44. **Kraus, B. S. (1959):**
Calcification of human deciduous teeth.
J Amer Dent Assoc 59, 1128 - 1136
45. **Kullmann, L. (1995):**
Accuracy of two dental and one skeletal age estimation method in Swed-
ish adolescents.
Forensic Sci Int 75, 225 - 236
46. **Kullmann, L., Johanson, G., Akesson, L. (1992):**
Root development of the lower third molar and its relation to chornologi-
cal age.
Swed Dent J, 16, 161 – 167
47. **Kvaal, S., Koppang, H., Solheim, T. (1994):**
Relationship between age and deposit of peritubular dentine.
Gerodontol 11, 93 - 98
48. **Kvaal, S., Kolltveit, K., Thomsen, I., Solheim, T. (1995):**
Age estimation of adults from dental radiographs.
Forensic Sci Int 74, 175 – 185
49. **Kvaal, S., Solheim, T. (1994):**
A non-destructive dental method for age estimation.
J Forensic Odontostomatol 12 (1), 6 - 11
50. **Lucy, D., Pollard, A. (1995):**
Further comments on the estimation of error associated with the Gustaf-
son dental age estimation method.
J Forensic Sci 40, 222 - 227

- 51. Maat, G. J. R. (2000):**
The impact of diet on age at death determinations based on molar attrition.
In: Willems, G. (Hrsg.): Forensic Odontology. Proceedings of the European IOFOS Millennium Meeting. Leuven, Belgium, Leuven University Press, S. 49 – 53
- 52. Maples, W. R., Rice, P. M. (1979):**
Some difficulties in the Gustafson dental age estimation.
J Forensic Sci 24, 168 - 172
- 53. Matiéka, J. (1921):**
L'age dentaire comme signe du development total.
Rev Anthropol 31, 258 -261
- 54. Matsikidis, G. (1981):**
Altersbestimmung aus Zahnfilmen.
Zahnmed. Diss., Heidelberg
- 55. Matsikidis, G., Schulz, P. (1982):**
Altersbestimmung nach dem Gebiß mit Hilfe des Zahnfilms.
Zahnärztl Mitt 22, 2524 - 2528
- 56. Mattila, K. (1984):**
Panorama Röntgenverfahren, Rückblick und Ausblick.
In: Jung, T. (Hrsg): Panorama-Röntgenographie
Dr. Alfred Hüthig Verlag, Heidelberg
- 57. Mincer, H. H., Harris, E. F., Berryman, H. E. (1993):**
The A.B.F.O. study of third molar development and its use as an estimator of chronological age.
J Forensic Sci 38, 379 - 390
- 58. Moorees, C. F. A., Fanning, A., Hunt, E. E. (1963):**
Age variation of formation stages for ten permanent teeth.
J Dent Res 42, 1490 - 1502
- 59. Mörnstad, H., Pfeiffer, H., Teivens, A. (1994):**
Estimation of dental age using HPLC-technique to determine the degree of aspartic acid racemization.
J Forensic Sci 39, 1425 - 1431
- 60. Morse, D. R., Esposito, J. V., Kessler, H. P., Gorin, R. (1994):**
Age estimation using dental periapical radiographic parameters.
Am J Forensic Med Pathol 15 (4), 303 - 318

61. **Morton, W. J. (1896):**
The X ray and its application in dentistry.
Dent Cosm 38 (1898), 478 - 486

62. **Nambiar, H., Yaacob, H., Menon, R. (1996):**
Third molars in the establishment of adult status - a case report.
J Forensic Odonto-Stomatol 14: 2, 30 – 33

63. **Nasstrom, K., Forsberg, B., Petersson, A., Westesson, P.-L. (1985):**
Narrowing of the dental pulp chamber in patients with renal diseases.
Oral Surg 59, 242 - 246

64. **Nawrath, K (1966):**
Der Eckzahn als Zeitfaktor kieferorthopädischer Behandlung.
Fortschr Kieferorthop 27, 36 - 43

65. **Nortjé, C. J. (1983):**
The permanent mandibular third molar – its value in age determination.
J Forensic Odonto-Stomatol 1, 27 - 31

66. **Ogino, T., Ogino, H., Nagy, B. (1985):**
Application of aspartic acid racemization to forensic odontology: post mortem designation of age at death.
Forensic Sci Int 29, 259 - 267

67. **Ohtani, S. (1995):**
Estimation of age from dentin by using the racemization reaction of aspartic acid.
Am J Forensic Med Pathol 16, 158 - 161

68. **Ohtani, S., Sugimoto, H., Sugeno, H., Yamamoto, S., Yamamoto, K. (1995):**
Racemization of aspartic acid in human cementum with age.
Arch Oral Biol 40, 91 - 95

69. **Ohtani, S., Yamamoto, K. (1992):**
Estimation of age from a tooth by means of racemization of an amino acid, especially aspartic acid - comparison of enamel and dentin.
J Forensic Sci 37, 1061 - 1067

70. **Paatero, Y. V. (1958):**
Orthoradial jaw pantomography.
Ann Med Int Feun 48, Supp. 28, 222 - 227

- 71. Pancherz, H., Szyska, M. (2000):**
Analyse der Halswirbelkörper statt der Handknochen zur Bestimmung der skelettalen und somatischen Reife.
IOK, 32. Jahrg. 2000, 2, 151 - 161
- 72. Pasler, F. A., Visser, H. (2000):**
Zahnmedizinische Radiologie: bildgebende Verfahren.
In: Rateitschak, K. H., Wolf, H. F. (Hrsg.): Farbatlanten der Zahnmedizin Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, Bd. 5, 2. Aufl.
- 73. Pasler, F. A. (1989):**
Zahnärztliche Radiologie.
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 2. Aufl.
- 74. Pawlik, R. (1978):**
Altersschätzung anhand oraler Befunde mit Feldmethoden.
Med. Diss., Berlin
- 75. Pelsmaekers, B., Loos, R., Carels, C., Dermon, C., Vlietinck, R. (1997):**
The genetic contribution to dental maturation.
J Dent Res 76, 1337 – 1340
- 76. Peschka, M. (1969):**
Bewertung der Altersbestimmung an Zähnen nach der Methode Gustafson.
Med. Diss., Halle
- 77. Philips V. M., Thompson, I. O. C. (2000):**
A correlation between dental age and bone age.
In: Willems, G. (Hrsg.): Forensic Odontology. Proceedings of the European IOFOS Millennium Meeting. Leuven, Belgium, Leuven University Press, S. 55 - 58
- 78. Pilz, M. E. W., Reimann W., Krause, D. H. (1980):**
Gerichtliche Medizin für Stomatologen.
Johann Ambrosius Barth, Leipzig
- 79. Pineda, F., Kuttler, Y. (1972):**
Mesiodistal and buccolingual roentgenographic investigation of 7,275 root canals.
Oral Surg 33, 101 – 110
- 80. Prapanoch, S., Brent Dove, S., Cottone, J. A. (1992):**
Morphometric analysis of the dental pulp chamber as a method of age determination in humans.
Am J Forensic Med Pathol 13 (1), 50 – 55

- 81. Rahn, R., Kreile, E., Gharemani, M. (1991):**
Die Häufigkeit von Zufallsbefunden auf Panorama-Schichtaufnahmen.
Zahnärztl Mitt 5, 434 - 436
- 82. Rakosi, T., Jonas I. (1989):**
Kieferorthopädie – Diagnostik.
In: Rateitschak, K. H., Wolf, F. H. (Hrsg.): Farbatlant der Zahnmedizin,
Thieme, Stuttgart, Bd. 8, 2. Aufl.
- 83. Rheinwald, Y. (1966):**
Über das Altern der Zähne.
Dtsch Zahn Mund Kieferheilk 46, 177 – 209
- 84. Ritter, W. (1988):**
Röntgenuntersuchung der Zähne, der Kiefer und des Gesichtsskelettes.
In: Schwenzer, M, Grimm, G (Hrsg.): Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, Bd. 1,2. Aufl., S. 320
- 85. Ritz, S., Kaatsch, H.-J. (1996):**
Methoden der Altersbestimmung an lebenden Personen: Möglichkeiten,
Grenzen, Zulässigkeit und ethische Vertretbarkeit.
Rechtsmed 6, 171 - 176
- 86. Ritz, S., Stock, R., Schütz, H. W., Kaatsch, H.-J. (1995):**
Age estimation in biopsy specimens of dentin.
Int J Legal Med 108, 135 – 139
- 87. Ritz-Timme, S., Cattaneo, C., Collins, M. J., Waite, E. R., Schütz, H. W., Kaatsch, H.-J., Borrmann, H. I. M. (2000):**
Age estimation: The state of the art in relation to the specific demands of forensic practise.
Int J Legal Med 113, 129 - 136
- 88. Scheutzel, P. (1989):**
Entwicklung der zahnärztlichen Panoramaröntgenaufnahmeverfahren.
Zahnärztl Mitt 20, 2322 - 2328
- 89. Schmeling, A., Geserick, G., Kaatsch, H.-J., Marré, B., Reisinger, W., Riepert, T., Ritz-Timme, S., Rösing, F. W., Röttscher, K. (2001):**
Empfehlungen für die Altersdiagnostik bei Lebenden im Strafverfahren.
Dtsch Zahnärztl Z 56, 10, 573 - 574
- 90. Schmeling, A., Reisinger, W., Wormanns, D., Geserick, G. (2000):**
Strahlenexposition bei Röntgenuntersuchungen zur forensischen Altersschätzung Lebender
Rechtsmed 10, 135 - 137

91. **Schmuth, G. (1994):**
Befunderhebung und Systematik in der Kieferorthopädie.
In: Schmuth, G. (Hrsg.): Praxis der Zahnheilkunde,
Urban und Schwarzenberg, München, Wien, Baltimore, Bd. 11, 3. Aufl.,
S. 1
92. **Schour, I., Massler, M. (1940):**
Studies in tooth development. The growth pattern of human teeth. Part II.
J Am Dent Assoc 27, 1918 - 1931
93. **Schour, I., Massler, M. (1941):**
The development of the human dentition.
J Am Dent Assoc 28, 1153 – 1160
94. **Schröder, H. E. (2000):**
Orale Strukturbiologie.
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 5. Aufl.
95. **Schuhmacher, G. H., Schmidt, H. (1972):**
Anatomie und Biochemie der Zähne.
G. Fischer Verlag, Stuttgart
96. **Schwarze, C. W. (1994):**
Behandlungsbeginn und Behandlungsdauer in der Kieferorthopädie.
In: Schmuth, G. (Hrsg.): Praxis der Zahnheilkunde,
Urban und Schwarzenberg, München, Wien, Baltimore, Bd. 11, 3. Aufl.,
S. 83
97. **Seifert, R. (1959):**
Altersbestimmung an Zähnen.
Med. Diss., Leipzig
98. **Shaw, L., Jones, A. D. (1984):**
Morphological considerations of the dental pulp chamber from radio-
graphs of molar and premolar teeth.
J Dentistry 12, 139 – 145
99. **Shikano, Y. (1956):**
Medico-legal studies on the addition of teeth.
Jap J legal Med 11, 202 - 207
100. **Smith, B. G. N., Knight, J. K. (1984):**
An index for measuring the wear of teeth.
B Dent J 156, 435 – 438

- 101. Solheim, T. (1988):**
Dental color as an indicator of age.
Gerodontics 4, 114 – 118
- 102. Solheim, T. (1993):**
A new method for dental age estimation in adults.
Forensic Sci Int 59, 137 - 147
- 103. Solheim, T., Kvaal, S. (2000):**
Age estimation in adults.
In: Willems, G. (Hrsg.): Forensic Odontology. Proceedings of the European IOFOS Millennium Meeting. Leuven, Belgium, Leuven University Press, S.59 - 65
- 104. Sonnabend, E. (1989):**
Röntgentechnik in der Zahnheilkunde.
Urban und Schwarzenberg, München, Wien, Baltimore
- 105. Sonnabend, E., Polensky, F. (1971):**
Zur Strahlenbelastung des Patienten bei Röntgenogrammen der Zähne und Kiefer.
Electromedica 3
- 106. Staaf, V., Mörnstad, H., Welander, U. (1991):**
Age estimation based on tooth development: a test of reliability and validity.
Scand J Dent Res 99, 281 - 286
- 107. Sweet, A. P. S. (1938):**
The legal aspects of dental roentgenograms.
J Amer Dent Ass 25, 1679-1687
- 108. Ten Cate, A. R., Thompson G. W., Dickinson J. B., Hunter H. A. (1977):**
The estimation of age of skeletal remains from the color of root of teeth.
J Can Dent Assoc 43, 83 – 86
- 109. Vasiliadis, L. A., Darling, A. I., Levers B. G. H. (1983):**
The amount and distribution of sclerotic human root dentine.
Arch Oral Biol 28, 645 - 649
- 110. Visser, H., Hermann, K. P., Köhler, B. (2000₁):**
Dosisreduktion bei digitalen Zahnfilmstaten.
Dtsch Zahnärztl Z 55, 494 – 496

- 111. Visser, H., Hermann, K. P., Bredemeier, S., Köhler, B. (2000₂):**
 Dosismessungen zum Vergleich von konventionellen und digitalen Panoramaschichtaufnahmen.
 Mund Kiefer Gesichts Chir 4, 213 - 216
- 112. Weber, T. (1999):**
 Memorix Zahnmedizin.
 Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 2. Aufl.
- 113. Whittaker, D., McDonald, G. (1993):**
 Atlas der forensischen Zahnmedizin.
 Deutscher Ärzte Verlag, Köln
- 114. Willems, G. (2000):**
 Dental age estimation and computers.
 In: Willems, G. (Hrsg.): Forensic Odontology. Proceedings of the European IOFOS Millennium Meeting. Leuven, Belgium, Leuven University Press, S. 161 - 175
- 115. Willems, G., Van Olmen, A., Spiessens, B., Carels, C. (2001):**
 Dental age estimation in Belgian children: Demirjian´s technique revisited.
 J Forensic Sci 46,4,893 - 895
- 116. Willershausen, B., Löffler, N., Schulze, R. (2001):**
 Was Weisheitszähne über das Alter aussagen können. Eine Auswertung von 1201 OPG-Aufnahmen.
 Zahnärztl Mitt 91, 18, 40 - 48
- 117. Zander, H. A., Hurzeler, B. (1958):**
 Continuous cementum apposition.
 J Dent. Res 37, 1035 - 1044
- 118. Zuhrt, R. (1978):**
 Möglichkeiten und Methoden der Stomatologie bei der Identifizierung.
 In: Hunger, H., Leopold, D. (Hrsg.): Identifikation.
 Johann Ambrosius Barth Leipzig, S. 287
- 119. Zuhrt, R., Geserick, G. (1996):**
 Forensisch-odontologische Altersschätzung – eine kritische Bilanz unter besonderer Berücksichtigung der Wurzelidentintransparenz.
 Rechtsmed 7, 6 – 14
- 120. Zulauf, A. F. (1922):**
 Panoramic x-ray apparatuses. U.S. Patent No. 1408569 (07.03.1922)

11.0 Danksagung

Herrn Univ.-Prof. Dr. Dr. Ludger Figgner danke ich für die Überlassung des Themas und die freundliche Unterstützung bei der Abfassung dieser Arbeit.

Herrn Dr. Uli Hell danke ich für die Zurverfügungstellung der Röntgenbilder, die die Grundlage für den Versuchsteil dieser Arbeit bildeten.

Meiner Mutter und meinen Freunden, die mich stets unterstützt, ermutigt und bestärkt haben, gilt mein besonderer Dank.

12.0 Lebenslauf

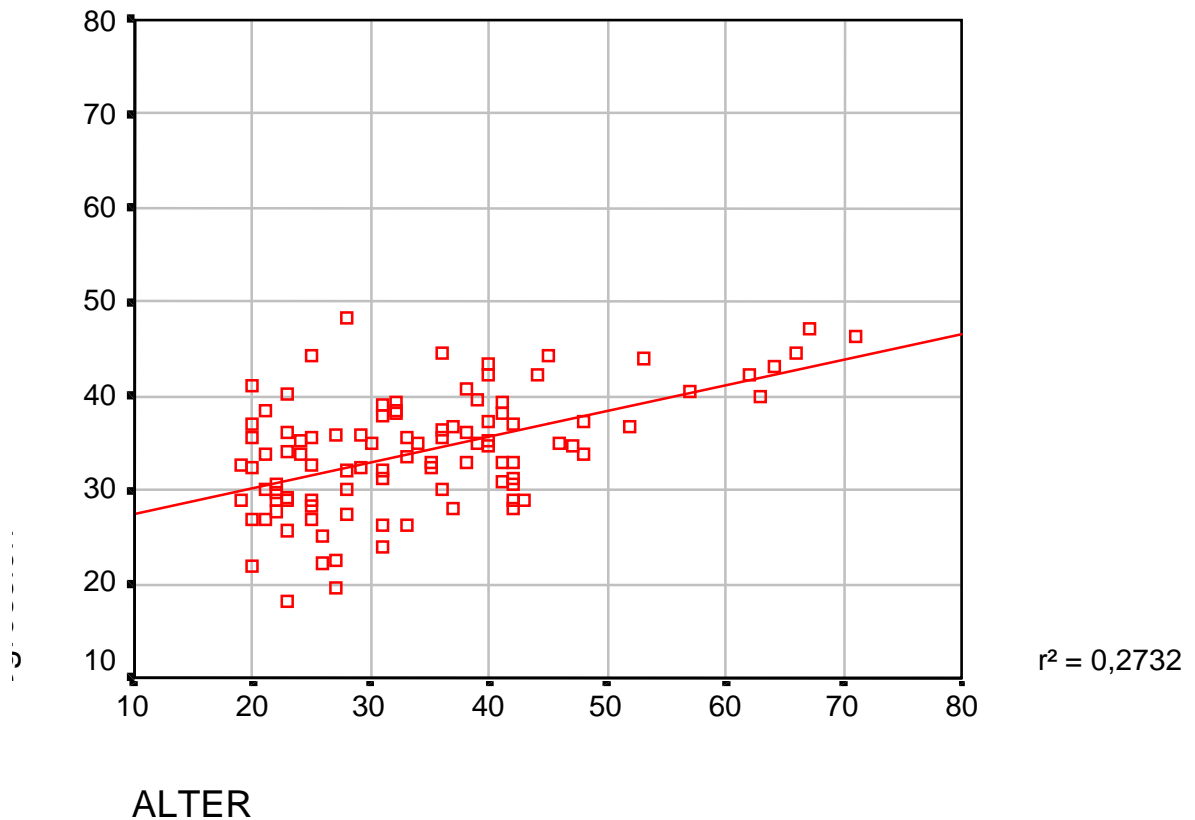
13.0 Anhang

13.1 Scatterplots

Die Scatterplots A – H veranschaulichen die Regressionsanalysen für das Kollektiv B_{OPG} analog der von KVAAL et al. (1995) vorgestellten Methodik (vergleiche Ergebnisteil A und B des Hauptversuchs I):

Scatterplot A

Dependent Variable: ALTER

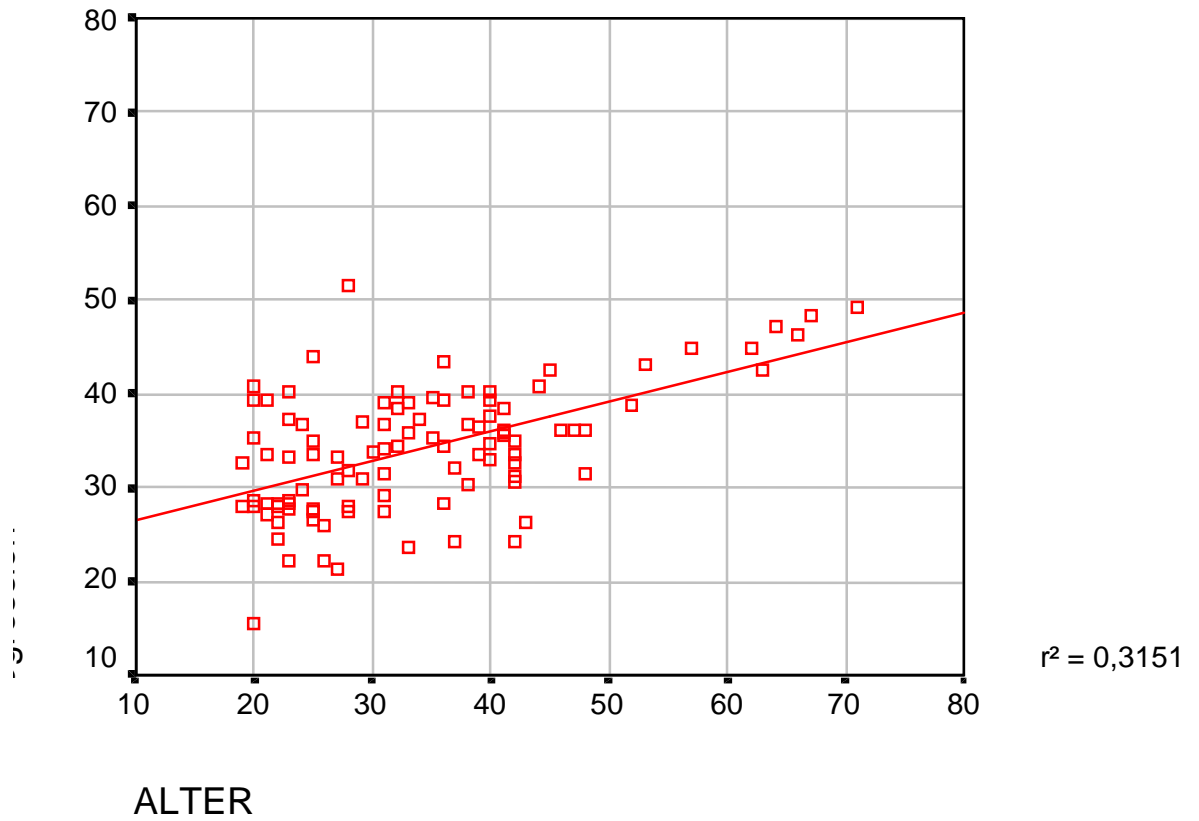


Scatterplot A:

Regressionsanalyse von sechs Zähnen mit der Regressionsgleichung $\text{Alter} = 244,3 - 324,5 (M)$, $r^2 = \text{Mass für die aufgeklärte Varianz}$, S.E.E. (Standardfehler der Altersschätzung in Jahren (Standard Error of the Estimate)) = 10,2 Jahre

Scatterplot B

Dependent Variable: ALTER

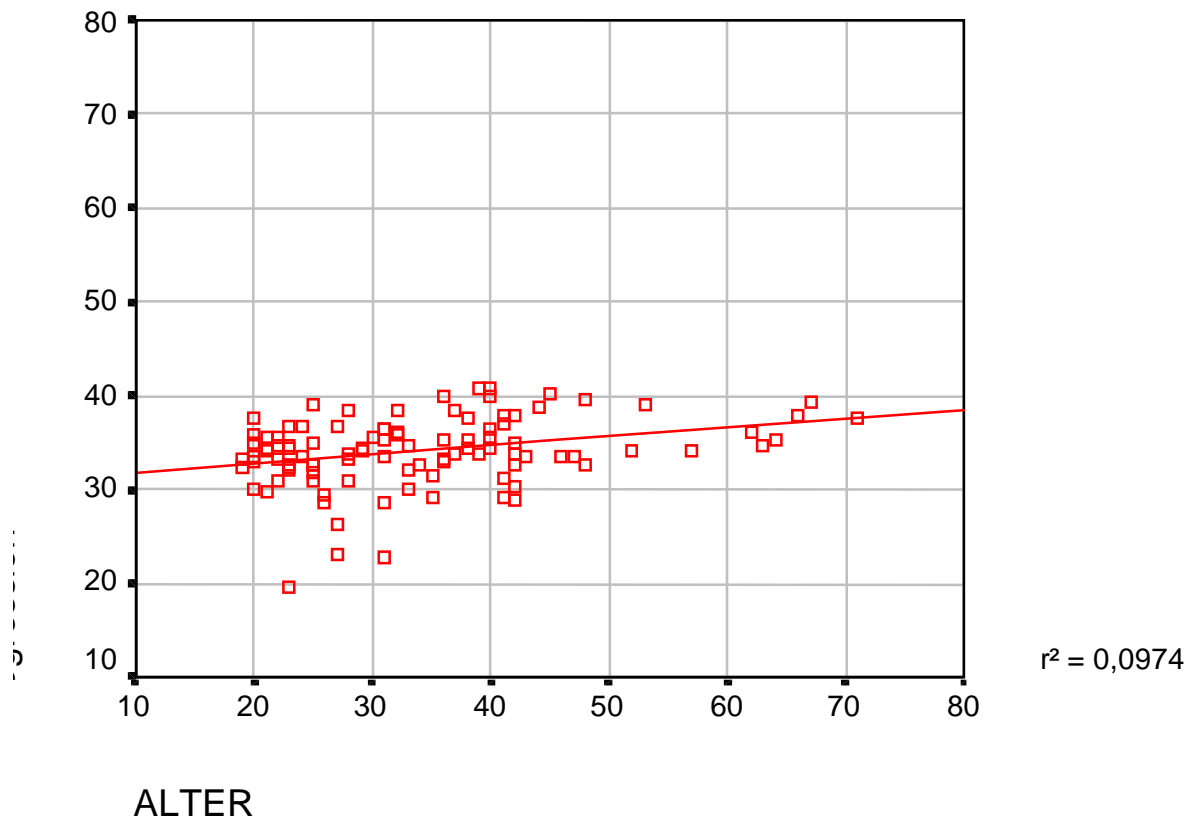


Scatterplot B:

Regressionsanalyse von drei Oberkiefer-Zähnen mit der Regressionsgleichung $\text{Alter} = 211,4 - 271,7 (M)$, $r^2 =$ Mass für die aufgeklärte Varianz, S.E.E. (Standardfehler der Altersschätzung in Jahren (Standard Error of the Estimate)) = 9,9 Jahre

Scatterplot C

Dependent Variable: ALTER

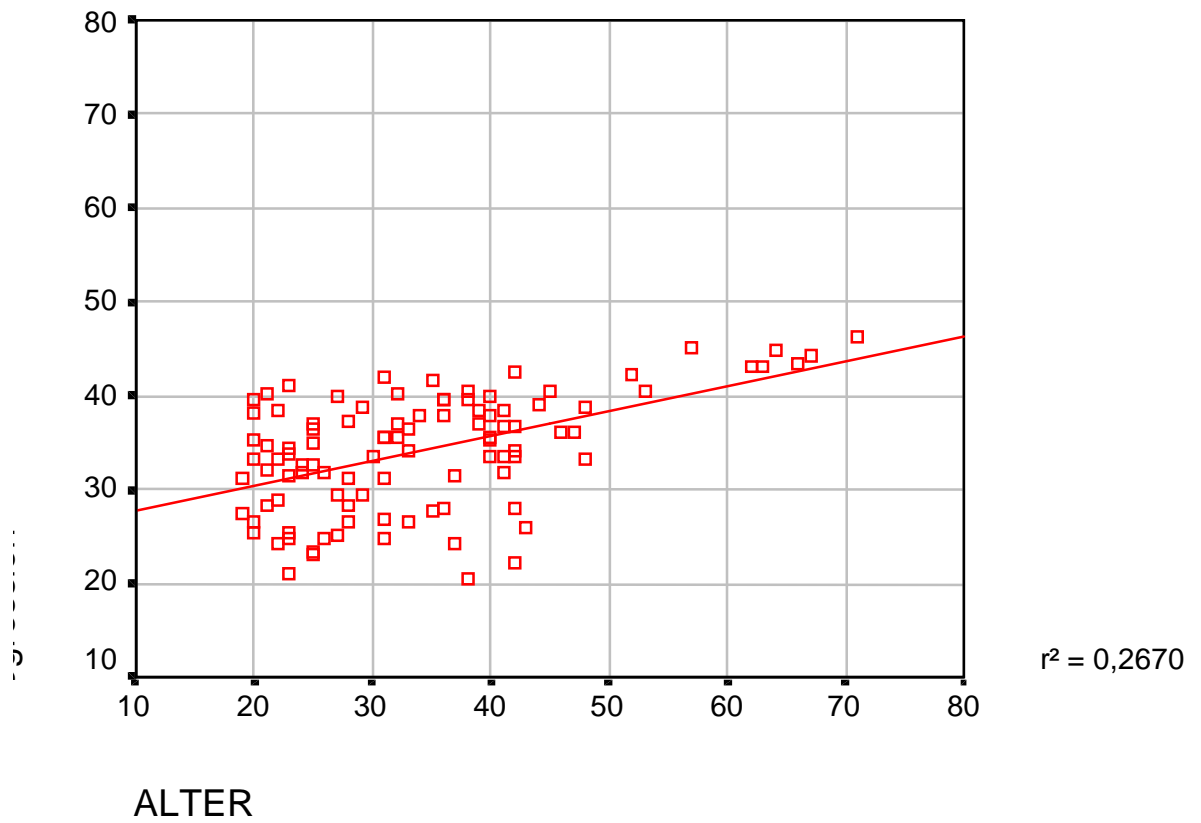


Scatterplot C:

Regressionsanalyse von drei Unterkiefer-Zähnen mit der Regressionsgleichung $\text{Alter} = 153,6 - 185,8 (M)$, $r^2 =$ Mass für die aufgeklärte Varianz, S.E.E. (Standardfehler der Altersschätzung in Jahren (Standard Error of the Estimate)) = 11,4 Jahre

Scatterplot D

Dependent Variable: ALTER

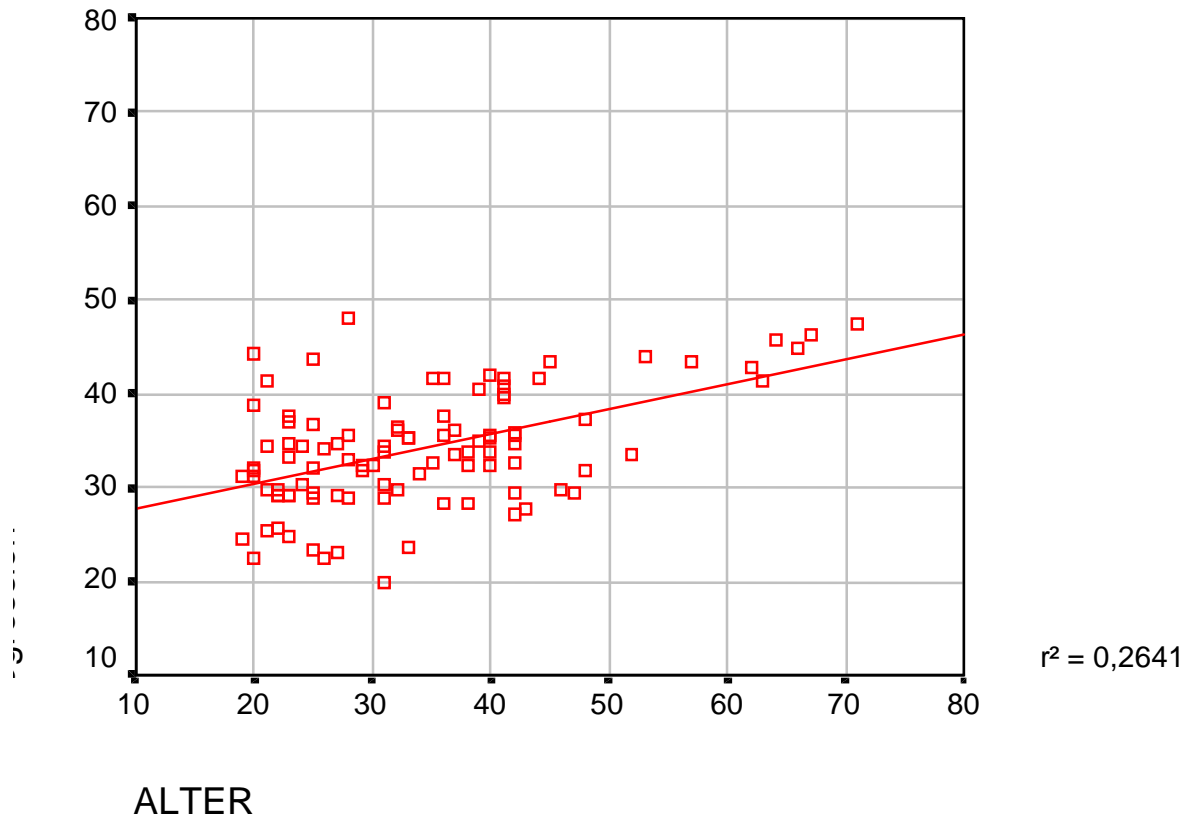


Scatterplot D:

Regressionsanalyse des Zahnes 11/21 mit der Regressionsgleichung $\text{Alter} = 170,2 - 204,8 (M)$, $r^2 =$ Mass für die aufgeklärte Varianz, S.E.E. (Standardfehler der Altersschätzung in Jahren (Standard Error of the Estimate)) = 10,3 Jahre

Scatterplot E

Dependent Variable: ALTER

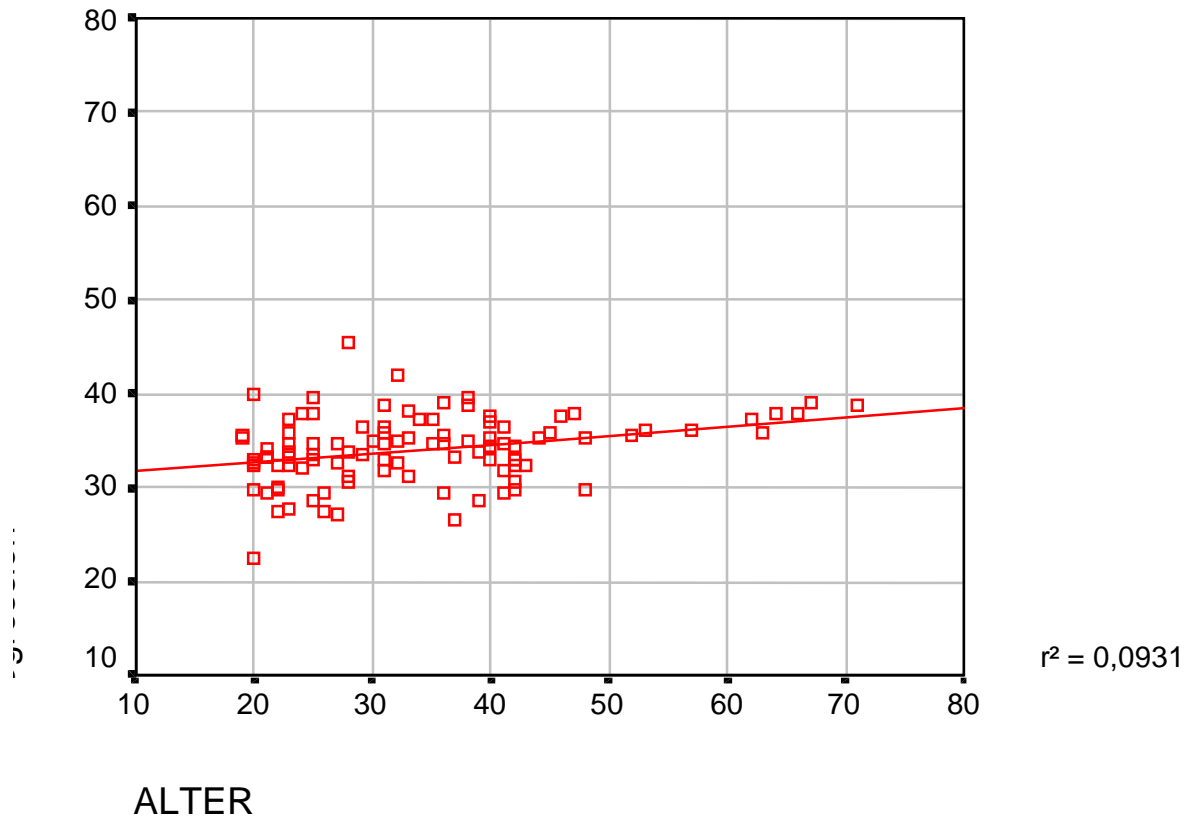


Scatterplot E:

Regressionsanalyse des Zahnes 12/22 mit der Regressionsgleichung $\text{Alter} = 167,9 - 204,6 (M)$, $r^2 =$ Mass für die aufgeklärte Varianz, S.E.E. (Standardfehler der Altersschätzung in Jahren (Standard Error of the Estimate)) = 10,3 Jahre

Scatterplot F

Dependent Variable: ALTER

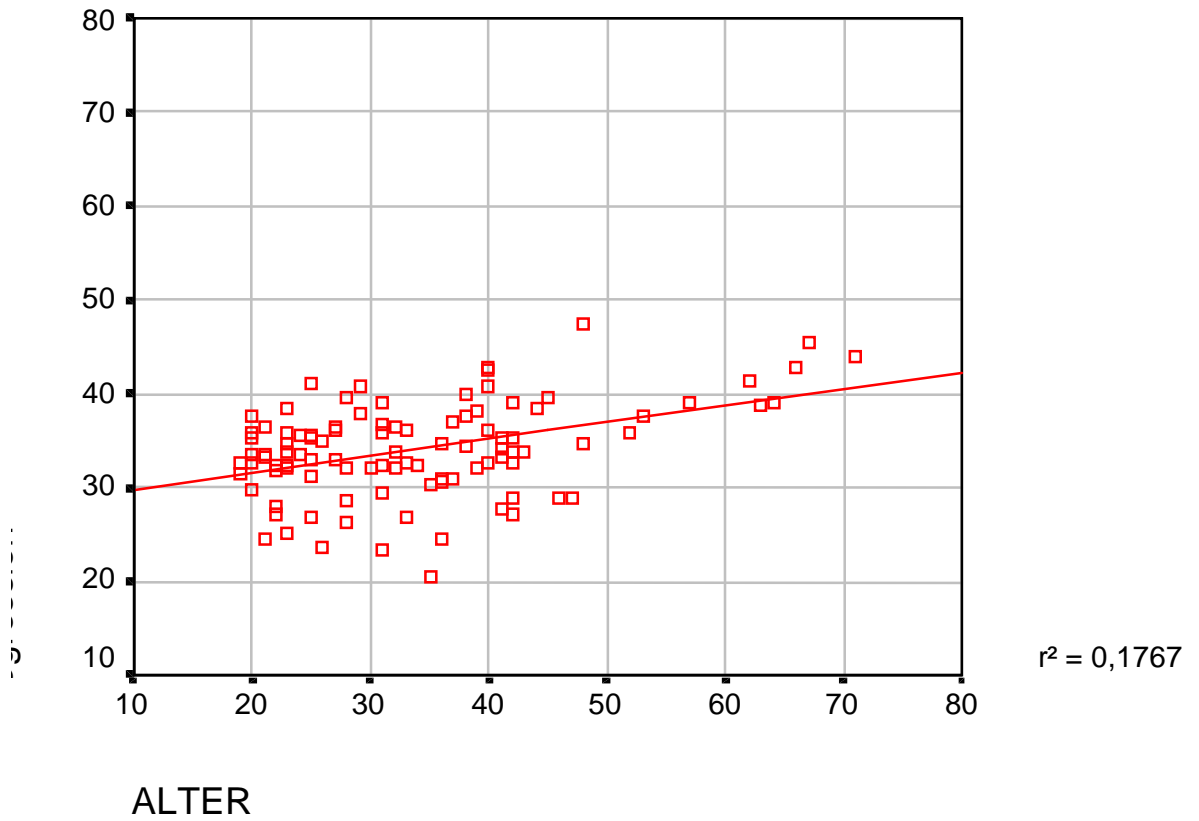


Scatterplot F:

Regressionsanalyse des Zahnes 15/25 mit der Regressionsgleichung $\text{Alter} = 101,4 - 105,4 (M)$, $r^2 =$ Mass für die aufgeklärte Varianz, S.E.E. (Standardfehler der Altersschätzung in Jahren (Standard Error of the Estimate)) = 11,4 Jahre

Scatterplot G

Dependent Variable: ALTER

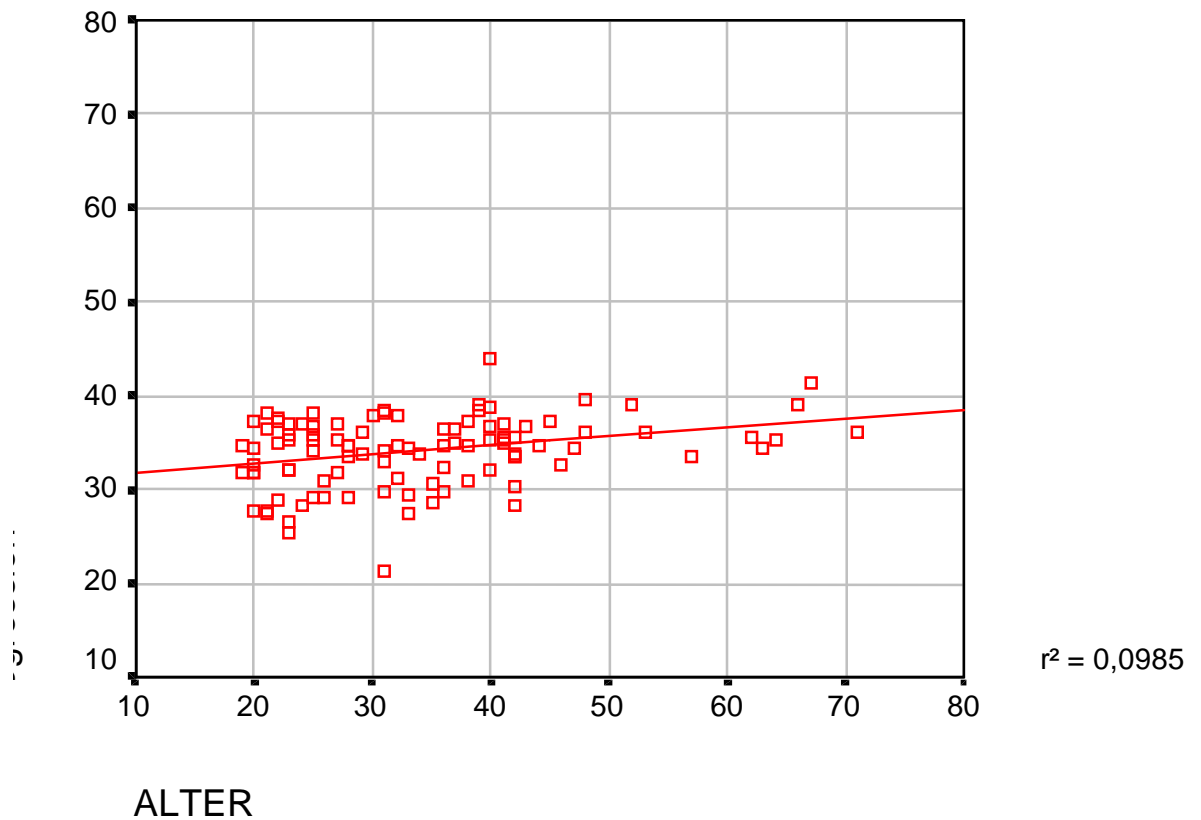


Scatterplot G:

Regressionsanalyse des Zahnes 33/43 mit der Regressionsgleichung $\text{Alter} = 110,4 - 190,2 (M) - 58,7 (W-L)$, $r^2 =$ Mass für die aufgeklärte Varianz, S.E.E. (Standardfehler der Altersschätzung in Jahren (Standard Error of the Estimate)) = 10,9 Jahre

Scatterplot H

Dependent Variable: ALTER



Scatterplot H:

Regressionsanalyse des Zahnes 34/44 mit der Regressionsgleichung $\text{Alter} = 68,5 - 120,6 (M) - 56,8 (W-L)$, r^2 Mass für die aufgeklärte Varianz, S.E.E. (Standardfehler der Altersschätzung in Jahren (Standard Error of the Estimate)) = 11,4 Jahre

Für den unteren seitlichen Schneidezahn konnte kein Scatterplot erstellt werden, da kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Lebensalter und den an diesem Zahntyp erhobenen Messwerten besteht.

13.2 Am Kollektiv B_{OPG50} erhobene Messwerte

Tabellarische Übersichten der auf den Orthopantomogrammen des Kollektivs B_{OPG50} an den 6 von KVAAL et al. (1995) vorgegebenen Zahntypen erhobenen Messwerte in cm (Tabelle A bis F):

Zahn 11/21:

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
P_1	50	1,00	1,22	1,1089	,0596
T_1	50	1,30	1,75	1,5315	,0927
R_1	50	,63	,84	,7258	,0465
A_1	50	,12	,35	,2444	,0533
B_1	50	,11	,26	,1948	,0399
C_1	50	,11	,29	,1736	,0385
M_1	50	,61	,73	,6632	,0280
W_1	50	,11	,27	,1842	,0345
L_1	50	,84	1,02	,9174	,0459
WL1	50	-,84	-,64	-,7331	,0502
Valid N (listwise)	50				

Tabelle A:

1 = Zahn 11/21; Längenmessungen: P = Quotient aus Pulpalänge und Wurzellänge, T = Quotient aus Zahnlänge und Wurzellänge, R = Quotient aus Pulpalänge und Zahnlänge; Breitenmessungen: A = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf Höhe der Schmelz-Zementgrenze, B = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Strecke zwischen Schmelz-Zementgrenze und halber Wurzellänge, C = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Wurzellänge; M = Mittelwert aller Quotienten; W = Mittelwert der Breitenquotienten B und C, L = Mittelwert der Längenquotienten P und R, WL = Differenz aus W und L; N = Anzahl der vermessenen Zähne

Zahn 12/22:

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
P_2	50	,85	1,25	1,0889	6,071E-02
T_2	50	1,11	1,63	1,4689	8,958E-02
R_2	50	,64	,95	,7432	5,056E-02
A_2	50	,13	,35	,2291	4,818E-02
B_2	50	,12	,33	,2023	3,784E-02
C_2	50	,08	,24	,1769	3,400E-02
M_2	50	,59	,72	,6515	2,843E-02
W_2	50	,11	,27	,1896	3,096E-02
L_2	50	,75	1,03	,9160	4,734E-02
WL2	50	-,87	-,53	-,7264	5,258E-02
Valid N (listwise)	50				

Tabelle B:

2 = Zahn 12/22; Längenmessungen: P = Quotient aus Pulpalänge und Wurzellänge, T = Quotient aus Zahnlänge und Wurzellänge, R = Quotient aus Pulpalänge und Zahnlänge; Breitenmessungen: A = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf Höhe der Schmelz-Zementgrenze, B = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Strecke zwischen Schmelz-Zementgrenze und halber Wurzellänge, C = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Wurzellänge; M = Mittelwert aller Quotienten; W = Mittelwert der Breitenquotienten B und C, L = Mittelwert der Längenquotienten P und R, WL = Differenz aus W und L; N = Anzahl der vermessenen Zähne

Zahn 15/25:

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
P_3	50	,73	1,30	1,0699	,0922
T_3	50	1,12	1,72	1,5001	,0970
R_3	50	,46	,93	,7166	,0780
A_3	50	,11	,31	,1878	,0468
B_3	50	,10	,29	,1770	,0412
C_3	50	,04	,25	,1541	,0432
M_3	50	,53	,71	,6342	,0321
W_3	50	,09	,26	,1656	,0371
L_3	50	,61	1,09	,8932	,0801
WL3	50	-,92	-,44	-,7277	,0886
Valid N (listwise)	50				

Tabelle C:

3 = Zahn 15/25; Längenmessungen: P = Quotient aus Pulpalänge und Wurzellänge, T = Quotient aus Zahnlänge und Wurzellänge, R = Quotient aus Pulpalänge und Zahnlänge; Breitenmessungen: A = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf Höhe der Schmelz-Zementgrenze, B = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Strecke zwischen Schmelz-Zementgrenze und halber Wurzellänge, C = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Wurzellänge; M = Mittelwert aller Quotienten; W = Mittelwert der Breitenquotienten B und C, L = Mittelwert der Längenquotienten P und R, WL = Differenz aus W und L; N = Anzahl der vermessenen Zähne

Zahn 32/42:

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
P_4	50	,77	1,69	1,1145	,1293
T_4	50	1,32	2,19	1,4974	,1471
R_4	50	,56	,84	,7444	,0445
A_4	50	,13	,30	,2005	,0352
B_4	50	,13	,27	,1864	,0359
C_4	50	,09	,32	,1728	,0463
M_4	50	,54	,87	,6527	,0486
W_4	50	,12	,30	,1796	,0382
L_4	50	,66	1,25	,9295	,0780
WL4	50	-1,07	-,47	-,7499	,0908
Valid N (listwise)	50				

Tabelle D:

4 = Zahn 32/42; Längenmessungen: P = Quotient aus Pulpalänge und Wurzellänge, T = Quotient aus Zahnlänge und Wurzellänge, R = Quotient aus Pulpalänge und Zahnlänge; Breitenmessungen: A = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf Höhe der Schmelz-Zementgrenze, B = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Strecke zwischen Schmelz-Zementgrenze und halber Wurzellänge, C = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Wurzellänge; M = Mittelwert aller Quotienten; W = Mittelwert der Breitenquotienten B und C, L = Mittelwert der Längenquotienten P und R, WL = Differenz aus W und L; N = Anzahl der vermessenen Zähne

Zahn 33/43:

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
P_5	50	,97	1,38	1,0945	,0635
T_5	50	1,26	1,67	1,4305	,0822
R_5	50	,71	,82	,7658	,0305
A_5	50	,11	,29	,1848	,0388
B_5	50	,11	,31	,1725	,0355
C_5	50	,13	,27	,1767	,0324
M_5	50	,58	,73	,6374	,0276
W_5	50	,13	,26	,1746	,0299
L_5	50	,88	1,10	,9301	,0396
WL5	50	-,93	-,65	-,7555	,0482
Valid N (listwise)	50				

Tabelle E:

5 = Zahn 33/43; Längenmessungen: P = Quotient aus Pulpalänge und Wurzellänge, T = Quotient aus Zahnlänge und Wurzellänge, R = Quotient aus Pulpalänge und Zahnlänge; Breitenmessungen: A = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf Höhe der Schmelz-Zementgrenze, B = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Strecke zwischen Schmelz-Zementgrenze und halber Wurzellänge, C = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Wurzellänge; M = Mittelwert aller Quotienten; W = Mittelwert der Breitenquotienten B und C, L = Mittelwert der Längenquotienten P und R, WL = Differenz aus W und L; N = Anzahl der vermessenen Zähne

Zahn 34/44:

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
P_6	50	1,02	1,55	1,1025	,0752
T_6	50	1,32	2,01	1,4553	,0995
R_6	50	,71	,84	,7582	,0294
A_6	50	,12	,33	,1954	,0399
B_6	50	,11	,29	,1775	,0333
C_6	50	,07	,30	,1738	,0429
M_6	50	,61	,81	,6438	,0311
W_6	50	,09	,29	,1757	,0321
L_6	50	,89	1,16	,9303	,0437
WL6	50	-,99	-,62	-,7547	,0550
Valid N (listwise)	50				

Tabelle F:

6 = Zahn 34/44; Längenmessungen: P = Quotient aus Pulpalänge und Wurzellänge, T = Quotient aus Zahnlänge und Wurzellänge, R = Quotient aus Pulpalänge und Zahnlänge; Breitenmessungen: A = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf Höhe der Schmelz-Zementgrenze, B = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Strecke zwischen Schmelz-Zementgrenze und halber Wurzellänge, C = Quotient aus Pulpabreite und Wurzelbreite auf halber Wurzellänge; M = Mittelwert aller Quotienten; W = Mittelwert der Breitenquotienten B und C, L = Mittelwert der Längenquotienten P und R, WL = Differenz aus W und L; N = Anzahl der vermessenen Zähne

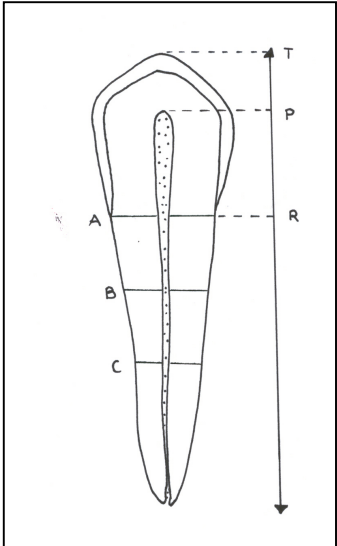
13.3 Erhebungsbogen

Erhebungsbogen zur Altersbestimmung anhand des Orthopantomogramms

Name:

Geschlecht:

Alter:



Zahn	P	T	R	A Weite Pulpa	A Weite Wurzel	A WP/ WR	B Weite Pulpa	B Weite Wurzel	B WP/ WR	C Weite Pulpa	C Weite Wurzel	C WP/ WR	P _Q	T _Q	R _Q	M	W	L	W-L	

T = maximale Zahnlänge
 P = maximale Pulpenlänge
 R = Wurzellänge, gemessen an der mesialen Wurzelfläche

A = Quotient aus Pulpabreite/Wurzelbreite in Höhe der Schmelz-Zementgrenze (SZG)
 B = Quotient aus Pulpabreite/Wurzelbreite auf der Hälfte der Strecke A-C
 C = Quotient aus Pulpabreite/Wurzelbreite auf halber Strecke zwischen SZG und Apex

P_Q = Quotient aus P/R
 T_Q = Quotient aus T/R
 R_Q = Quotient aus P/T

M = Mittelwert aller Quotienten
 W = Mittelwert der Quotienten B und C
 L = Mittelwert der Quotienten P_Q und R_Q
 W-L = Differenz zwischen W und L

13.4 Veröffentlichung KVAAL et al. (1995)

Age estimation of adults from dental radiographs.

Sigrid I. Kvaal, Kristin M. Kolltveit, Ib O. Thomsen, Tore Solheim (1995)

Reprinted from: Forensic Science International 74, 1995, pp. 175 – 185, with permission from Elsevier:



Age estimation of adults from dental radiographs

Sigrid I. Kvaal*^a, Kristin M. Kolltveit^a, Ib O. Thomsen^b,
Tore Solheim^a

^a*Department of Oral Pathology and Section for Forensic Odontology, University of Oslo, P.O. Box 1109, Blindern, Oslo, Norway*

^b*Institute of Community Dentistry, Dental Faculty, University of Oslo, Oslo, Norway*

Received 23 December 1994; accepted 2 April 1995

Abstract

Previous studies have shown that with advancing age the size of the dental pulp cavity is reduced as a result of secondary dentine deposit, so that measurements of this reduction can be used as an indicator of age. The aim of the present study was to find a method which could be used to estimate the chronological age of an adult from measurements of the size of the pulp on full mouth dental radiographs. The material consisted of periapical radiographs from 100 dental patients who had attended the clinics of the Dental Faculty in Oslo. The radiographs of six types of teeth from each jaw were measured: maxillary central and lateral incisors and second premolars, and mandibular lateral incisors, canines and first premolars. To compensate for differences in magnification and angulation on the radiographs, the following ratios were calculated: pulp/root length, pulp/tooth length, tooth/root length and pulp/root width at three different levels. Statistical analyses showed that Pearson's correlation coefficient between age and the different ratios for each type of tooth was significant, except for the ratio between tooth and root length, which was, therefore, excluded from further analysis. Principal component analyses were performed on all ratios, followed by regression analyses with age as dependent variable and the principal components as independent variables. The principal component analyses showed that only the two first of them had significant influence on age, and a good and easily calculated approximation to the first component was found to be the mean of all the ratios. A good approximation to the second principal component was found to be the difference between the mean of two width ratios and the mean of two length ratios, and these approximations of the first and second principal components were chosen as predictors in regression analyses with age as the dependent variable. The coefficient of determination (r^2) for the estimation was strongest when the ratios of the six teeth were

* Corresponding author, Tel.: (+47) 22 85 23 50; Fax: (+47) 22 85 23 51.

included ($r^2 = 0.76$) and weakest when measurements from the mandibular canines alone were included ($r^2 = 0.56$). Measurement on dental radiographs may be a non-invasive technique for estimating the age of adults, both living and dead, in forensic work and in archaeological studies, but the method ought to be tested on an independent sample.

Keywords: Age determination by teeth; Dental radiographs; Dental pulp; Secondary dentine

1. Introduction

Age estimation is one of several indicators employed to establish identity in forensic cases. Such estimations of living individuals are made for refugees or other persons who arrive in a country without acceptable identification papers and may require a verification of age, in order to be entitled to civil rights and/or social benefits in a modern society. In archaeological research estimation of age at death for skeletal remains has been a technique employed in describing the palaeodemography of populations [1].

Age estimations from teeth are frequently used, because teeth may be preserved long after all other tissues, even bone, have disintegrated, but unlike bone they can also be inspected directly in living individuals. The dental age estimation methods most frequently referred to require extraction, and some of them preparation of microscopic sections of at least one tooth [2,3,4]. These methods are time-consuming and expensive, and a destructive approach may not be acceptable for ethical, religious, cultural, or scientific reasons.

Among living humans dental age estimation has had to be based on clinical experience as well as evidence of attrition, darker colour or periodontal recession in extracted teeth [5,6,7]. All these three factors are strongly influenced by habits and pathological processes [8], and age estimations based on these factors are in many ways uncertain.

A study of radiographs of the teeth is a non-destructive, simple method to obtain information and is a technique used daily in most dental surgeries, but it is rarely employed in methods of age estimation. An attempt [9] has been made to estimate age from radiographs, using the criteria and scoring system devised by Gustafson [4]. Secondary dentine deposits have been regarded as a valuable age factor [10], and measurements of the pulp on radiographs from mandibular incisors have shown a significant difference in direct measurements between 10-year age groups [11]. Secondary dentine has also been measured indirectly on radiographs of extracted teeth; such measurements, together with direct measurements of a single tooth, were suggested for use in a non-destructive method to predict age [12]. So far we have not found any reports of age estimation methods based on measurements from radiographs of several teeth from the same dentition.

The purpose of the present investigation was to find a method for estimating the chronological age of adults without tooth extraction and destruction, by examining the relationship between age and the pulpal size on periapical dental radiographs.

2. Material and methods

Full mouth dental radiographs were collected from the records of the Department of Oral Radiology, Dental Faculty, University of Oslo. The radiographs were from 100 individuals, ranging from 20-87 years with a mean age of 42.6 years. The age and gender distribution of the material is shown in Table 1. The paralleling technique had been used to take the radiographs, employing the Eggen filmholder [13].

A preliminary study on radiographs from 20 individuals showed that measurements from mandibular lateral incisors, canines and first premolars and maxillary central and lateral incisors and second premolars were most strongly correlated with age, so these teeth were selected for the investigation. A paired *t*-test on these measurements showed that there were no significant differences between teeth from the left and the right side of the jaw. Consequently, in the present study teeth from either the left or the right side were chosen, whichever were best suited for measurement. Reliable measurements could not be made on teeth which were impacted, had vestibular radio-opaque fillings, crowns, pathological processes in the apical bone visible on the radiographs or had already been root-filled, or which had the mesio-distal plane of the tooth not parallel to the film, and only those cases where all measurements on the six selected teeth could be made, were selected in this study.

Not knowing the age and gender of the individual, the following measurements were carried out on the radiographs of all six types of teeth with a pair of vernier callipers: the maximum tooth length, the pulp length and root length on the mesial surface from the enamel-cementum junction (ECJ) to the root apex. A stereomicroscope with a measuring eyepiece to the nearest 0.1 mm was employed to measure the root and pulp width both at the ECJ (level A) and at the midroot level, i.e. halfway between the ECJ and the apex of the root (level C), as well as at the midpoint between the ECJ and midroot level (level B) (Fig. 1).

To test for reproducibility of the measurements, they were repeated on the radiographs from ten individuals by the first observer (KMK) and by a second observer (SIK).

Table 1
Age and gender distribution of the 100 individuals in the material

Age (years)	No. of females	No. of males	Total no.
20-29	17	16	33
30-39	4	8	12
40-49	12	7	19
50-59	9	9	18
60-69	8	4	12
70-87	6	0	6
Total	56	44	100

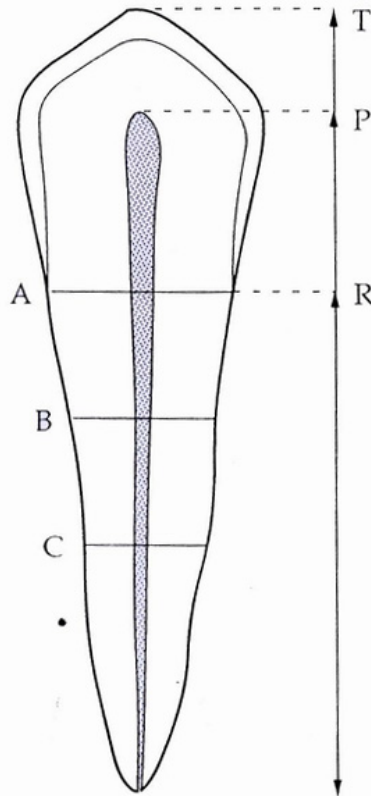


Fig. 1. Diagram showing the measurements made on the radiographs of each tooth. T, maximum tooth length; R, root length on the mesial surface; P, maximum pulp length; A, root and pulp width at enamel-cementum junction (ECJ); B, root and pulp width midway between measurement levels A and C; C, root and pulp width midway between apex and ECJ.

2.1. Statistical analyses

All measurements were entered into an IBM/AT computer and the statistical calculations carried out, using the SPSS/PC+ [14] and SAS [15] statistical programs. The gender of the patient and the age when the radiographs were taken were entered as additional information. The ratios between the tooth and pulp measurements were calculated and used in the analyses, in order to reduce the effect of a possible variation in the magnification and angulation of the radiographs. The following ratios were calculated: the tooth/root length, the pulp/root length, and the pulp/tooth length, as well as the pulp/root width at the three levels. The correlation coefficients were calculated between age and the ratios and the various mean values

of the ratios. A paired *t*-test and the correlation coefficients were used to investigate intra- and inter-observer variations.

As more than one predictor is available from which to estimate age, more than one might be employed. Two questions then arise. Are there marked differences in the estimating power of the various predictors? To what extent is the accuracy of the age estimation improved by sequential addition of ratios from all six types of teeth? These two questions cannot be answered by comparing bivariate correlations. In order to find the 'best' subset of predictors, a combination of regression analyses and principal component analyses was used [15]. First, a principal component analysis of the predictors was performed and thereafter a regression analysis was made, employing age as the dependent variable and the principal components and gender as independent variables in the stepwise procedure, with inclusion level at $P < 0.05$ and exclusion level at $P > 0.06$ [16]. A prediction which included measurements of teeth from both jaws was calculated, as were also separate predictions restricted exclusively to either maxillary or mandibular teeth. Separate predictions were also calculated for each of the six types of teeth included in the study.

3. Results

The correlation coefficients between age and the calculated ratios and their mean values are shown in Table 2. The results indicated that the ratio between the length of tooth and root was only weakly or not significantly correlated with age and was excluded from further statistical calculations. All the other correlation coefficients

Table 2
Correlation coefficients between age and ratios of measurements from the dental radiographs and the mean of the ratios from each tooth, $n = 100$

Tooth	11/21	12/22	15/25	32/42	33/43	34/44
P	-0.77	-0.68	-0.54	-0.63	-0.59	-0.60
T	-0.28	-0.08(NS)	-0.09(NS)	-0.31	-0.12(NS)	-0.16
R	-0.63	-0.72	-0.56	-0.48	-0.63	-0.51
A	-0.68	-0.70	-0.70	-0.67	-0.68	-0.73
B	-0.62	-0.73	-0.56	-0.66	-0.56	-0.62
C	-0.58	-0.68	-0.55	-0.61	-0.53	-0.59
M	-0.83	-0.80	-0.75	-0.71	-0.75	-0.77
W	-0.66	-0.74	-0.60	-0.72	-0.61	-0.67
L	-0.76	-0.71	-0.60	-0.60	-0.63	-0.60
W-L	0.66	0.54	0.34	0.30	0.35	0.25

P, ratio between length of pulp and root; T, ratio between length of tooth and root; R, ratio between length of pulp and tooth; A, ratio between width of pulp and root at enamel-cementum junction (level A); B, ratio between width of pulp and root at midpoint between level C and A (level B); C, ratio between width of pulp and root at mid-root level (level C); M, mean value of all ratios (first predictor); W, mean value of width ratios from levels B and C; L, mean value of the length ratios P and R; W-L, difference between W and L (second predictor).

NS, no significance $P < 0.01$.

Table 3
The two first principal components for tooth 15/25^a

	1st principal component	2nd principal component
P	0.43	0.51
R	0.42	0.51
A	0.50	-0.03
B	0.44	-0.51
C	0.42	-0.46

^aThese two components explain 80% of the variance.
See Table 2 for abbreviations.

between age and the ratios were negative and significant. There were no significant differences between the first and the repeated measurement by the first observer, nor when the measurements were made by a second observer.

The analyses of principal components showed that only the first two had coefficients significantly different from zero, and therefore the remaining components were disregarded. The first and second principal components for the second maxillary premolar are shown in Table 3. These two components were easily interpreted. The first one had positive signs on all coefficients, giving an overall measure of the size of the dental pulps. In addition, the weight given to each ratio was moderate, which indicated that a simple mean of all ratios could serve as a good and easily calculated approximation of the first principal component. This modified first component was therefore chosen as the first predictor for use in age estimations.

The second principal component was a little more complicated, but in most cases it assigned negative weight to the length ratios and positive weight to the width ratios, giving a measure of the shape of the dental pulp. The influence of the ratio from level A was somewhat variable and mostly negligible compared to the other four ratios; it could therefore be excluded. The numerical value of the other four ratios varied only moderately, indicating that the difference between the mean of the width ratios from levels B and C and that of the two length ratios could serve as a

Table 4
Correlation coefficients between age and the mean of ratios from teeth from both jaws (bimaxillary) and from the maxillary and the mandibular teeth separately ($n = 100$, $P < 0.001$)

Mean ratio/Jaw	Bimaxillary	Maxillary	Mandibular
M	-0.86	-0.85	-0.82
W	-0.82	-0.77	-0.80
L	-0.81	-0.80	-0.72
W-L	0.65	0.68	0.41

See Table 2 for abbreviations.

Table 5
Regression formulae for age in years based on dental radiographs from six teeth

	Equation	r^2	S.E.E. (years)
Six teeth from both jaws	Age = 129.8 - 316.4(M) - 66.8(W-L)	0.76	8.6
Three maxillary teeth	Age = 120.0 - 256.6(M) - 45.3(W-L)	0.74	8.9
Three mandibular teeth	Age = 135.3 - 356.8(M) - 82.5(W-L)	0.71	9.4
<i>Single teeth</i>			
11/21	Age = 110.2 - 201.4(M) - 31.3(W-L)	0.70	9.5
12/22	Age = 103.5 - 216.6(M) - 46.6(W-L)	0.67	10.0
15/25	Age = 125.3 - 288.5(M) - 46.3(W-L)	0.60	11.0
34/44	Age = 133.0 - 318.3(M) - 65.0(W-L)	0.64	10.5
33/43	Age = 158.8 - 255.7(M)	0.56	11.5
32/42	Age = 106.6 - 251.7(M) - 61.2(W-L) - 6.0(G)	0.57	11.5

r^2 , coefficient of determination. S.E.E., standard error of the estimate in years.

See Table 2 for abbreviations.

G, gender: male = 1, female = 0.

good approximation to the second principal component. This modified second principal component was, therefore, chosen as the second predictor in age estimations. The two chosen predictors were included as variables in all the regression analyses.

The correlation between age and the mean of all the ratios for each type of tooth was stronger than the correlation between age and each ratio separately (Table 2). The correlation between the mean of the ratios from all six types of teeth and from maxillary and mandibular teeth separately is shown in Table 4. The correlation between age and the mean of the ratios from several teeth was stronger than that from single teeth.

The regression analyses with age as the dependent variable and the two predictors and gender as independent variables are shown in Table 5. Separate formulae are given for teeth from both jaws and from maxilla and mandible separately, as well as for single teeth. The second predictor was not included in the prediction for mandibular canines ($P = 0.06$). The gender was only included in the formulae for the mandibular lateral incisors. The coefficient of determination (r^2) for the regression was strongest when the ratio from all six types of teeth from both jaws was employed. This coefficient decreased when teeth from only one jaw were included and was weakest when only mandibular canines were measured.

4. Discussion

Examination of dental radiographs of fully developed teeth is rarely advocated for use in age estimation. It is, however, a simple, non-destructive method which can be

employed both on living individuals and on the unknown dead, either in identification cases or in archaeological investigations.

The radiographs included in this study were of patients visiting the clinics of the Dental Faculty in Oslo. It was assumed that they represented a 'normal population', but it is possible that the lower socio-economic groups were over-represented because of the comparative inexpensiveness of treatment given by students. A large number of patients was not included because of missing teeth or heavily restored teeth; this applied especially to the age-group 30–39 years. Few patients from this age-group had attended the dental faculty clinics for treatment, and those few needed extensive dental treatment and were not suitable for this study. It was also difficult in the older age-groups to find patients who retained all the six teeth which were measured in this study, and it remains questionable whether older patients with small or no fillings in the six teeth are fully representative of their age-group today.

The medical history of the patients included was not taken into account, since this was not a study of biological age changes but an attempt to find an expression of pulpal changes in a normal population. It has been maintained that, to use the pulpal complex as a biomarker for generalized ageing, two conditions have to be met [17]: (1) the teeth must be in normal functional occlusion, (2) the teeth must be free from any manifestation of pathological insults, such as dental caries, attrition, abrasion, erosion or trauma and from the effect of any dental restorations.

The second demand was not met in this survey. Physiological defence mechanisms are known to influence the pulpal morphology [17], as do also long-term corticosteroid therapy and certain systemic diseases [11], but individuals with such conditions might be found in most adult populations. The inclusion of teeth from such patients means that the predictions arrived at, while applicable to a normal population, may not give a correct expression of the biological ageing process.

The teeth were selected by the criterion that teeth from both jaws should be included. They would preferably have included molars as well, but the preliminary study clearly demonstrated that accurate measurements of multi-rooted teeth were difficult to perform, and for the same reason maxillary first premolars, which frequently have two roots, were likewise excluded. In the preliminary study, measurements from the maxillary canine demonstrated the lowest correlation coefficients with age, which is consistent with the results found when measurements were made on radiographs of extracted teeth [12]. The mandibular second premolars were frequently found to have been lost early in life, possibly as a result of orthodontic treatment. In the small preliminary sample, significant differences between the ratios from the left and right mandibular central incisors were observed. For these reasons all these three types of teeth were not included.

Full mouth dental radiographs were employed in this study. This meant that several measurements from one individual could be included, but because the teeth were still in the jawbone, additional complicating factors were encountered. The bone overshadowed the apical third of the tooth, so that the width from this area of the tooth could not be measured with sufficient accuracy. Rotated teeth were excluded, but as the curved arch of the jaws is projected on to a flat film, there will

always be a certain amount of distortion when measuring the image presented there. This applies especially to the lateral incisors when the standard projections for full mouth dental radiographs are employed.

The ratios between the pulp and the root have also been used in a previous study of age estimation from tooth measurements [12]. As the size of the pulp is reduced with age, the correlation coefficient between age and the ratios is negative, whereas, the inverse ratio would give a positive correlation coefficient. But, because zero, which is the measurement of an obliterated pulp, cannot be used as a denominator, the pulp/root ratio has been chosen.

The present investigation found that the correlation between age and the ratio of tooth to root length was insignificant for all types of teeth, indicating that attrition on the occlusal surface was so weak that it could not be related to age. An explanation might be that now the whole length of the tooth was measured and not only that of the crown which has been shown previously to be more strongly correlated to age [16]. Other studies of contemporary populations have found that attrition was significantly but weakly correlated to age [18,19].

The correlation coefficients between age and the ratio between the pulp and root length were compatible with the results obtained for measurements on radiographs of extracted teeth, except for maxillary lateral and central incisors, and the correlation between the pulp and root width was likewise compatible, except for maxillary central incisors at the ECJ and mandibular lateral incisors and canines at mid-root level [12]. For these ratios the correlation coefficient was much lower in the study on the extracted teeth, and it is possible that pathological processes before extraction might have influenced formation of secondary dentine. In the present study, all teeth with visible periapical pathological processes were excluded, and it is likely that the teeth from the full mouth radiographs are more representative for the teeth of a normal population than those extracted in dental surgeries.

Other studies [12,20,21] on pulpal morphology have shown that the width of the pulp is a better indicator of age than the length. The present study, where the width ratio for all teeth, except the maxillary central incisors, is found to have a stronger correlation with age than the length ratio, confirms this. Moreover, it has found that both length and width measurements have significant influence on age estimations, since the coefficient of determination (r^2) increased when the length ratios were included. An even stronger correlation with age was found by employing the mean value of all the ratios, which may be an expression of the overall size of the pulp.

The principal component analysis showed that the ratio at level A had only negligible influence on the second principal component, and it was, therefore, excluded in the second predictor. The regression analyses showed that this factor was included as significant ($P < 0.05$) in all the predictions except for the mandibular canines. It is difficult to see why the ratio at level A should be excluded, but it might be that the intercorrelation between the ratio from level A and those from levels B and C was too strong. The gender was included as a factor for the mandibular lateral incisors, and since it was negative, this result indicates that the pulpal changes occur faster in males than in females.

The coefficient of determination (r^2) was strongest when all ratios from the six

teeth were included in the mean, and weakest when only the mean values of the ratios from one tooth were included. This implies that the more extensive the information obtained from an individual, the greater will be the chances of arriving at the correct age estimate. Likewise, the larger the number of observations which may be included, the smaller is the weight of each measurement. Small inaccuracies in the measurements may occur if there is a slight rotation of the tooth relative to the film or if the outlines on the film are difficult to distinguish because of superimposition on the tooth. Such small inaccuracies would induce greater error in the age estimation if the prediction was based on single, rather than on the mean of several measurements.

In age estimation studies, only dental attrition has been examined in more than one tooth from the same individual [20], but as attrition is related to diet, habits and culture [22,23], the methods presented have little application except for the population from which the measurements were collected. The measurements in the present study were made on a Norwegian population, where it is likely that secondary dentine formation does not deviate much from that of other Caucasian populations.

Differentiation between physiological secondary dentine and reparative dentine [24] cannot be made on radiographs. The method presented gives a description of the contemporary population and may have to be modified in populations with less caries and fewer dental fillings. It is, however, felt that the method, here presented, may with care be applied to other racial groups, pending the provision of predictors for such groups. Radiographs of archaeological dental material have been employed in previous studies on the size of the pulp in relation to age [25,26]. The formula, here presented, may also be used on such material, since a study of both modern and ancient material [25] and another of contemporary teeth [18] showed only a weak correlation between attrition and secondary dentine formation. Severe attrition, which is invariably found in ancient dentitions, has little influence on either the length or the width measurements of the pulp [25]. The amount of reparative dentine formation found in the ancient material may be comparable with the reparative dentine formed as a result of small carious lesions and fillings in the present material.

The formulae, here presented, for estimating chronological age in adult teeth ought to be tested on another independent sample and preferably by independent observers. It would then be interesting to find out if the prediction based on all teeth in this study could also be applied to estimate the age of adults with mean values from any number of teeth. The predictions could also be tested on panoramic radiographs (OPG).

References

- [1] S. Hillson, *Teeth and age*. In *Teeth*, Cambridge University Press, Cambridge, 1986, pp. 176–230.
- [2] G. Gustafson, Age determinations on teeth. *J. Am. Dent. Assoc.*, 41 (1950) 45–54.
- [3] G. Johanson, Age determinations from human teeth. Thesis. *Odontol. Rev.*, 22, Suppl. 21 (1971) 1–126.
- [4] G. Bang and E. Ramm, Determination of age in humans from root dentin transparency. *Acta Odontol. Scand.*, 28 (1970) 3–35.
- [5] T. Solheim, Dental color as an indicator of age. *Gerodontology*, 4 (1988) 114–118.
- [6] T. Solheim, Dental attrition as an indicator of age. *Gerodontology*, 4 (1988) 299–304.

- [7] T. Solheim, Recession of periodontal ligament as an indicator of age. *J. Forensic Odontostomatol.*, 10 (1992) 32–43.
- [8] W.G. Shafer, K.H. Maynard and B.M. Levy, *A Textbook of Oral Pathology*, 4th edn., W.B. Saunders Company, Philadelphia, 1983, chapters 10, 15.
- [9] G. Matsikidis and P. Schultz, Altersbestimmung nach dem Gebiss mit Hilfe des Zahnfilms. *Zahnartl. Mitt.*, 72 (1982) 2524, 2527–2528.
- [10] W.R. Maples, An improved technique using dental histology for estimation of adult age. *J. Forensic Sci.*, 23 (1978) 764–770.
- [11] D.R. Morse, J.V. Esposito and R.S. Schoor, A radiographic study of aging changes of the dental pulp and dentin in normal teeth. *Quintessence Int.*, 24 (1993) 329–333.
- [12] S. Kvaal and T. Solheim, A non-destructive method for age estimation. *J. Forensic Odontostomatol.*, 12 (1994) 6–11.
- [13] S. Eggen, Simplification of radiographic technique. *Quintessence Int.*, 6 (1973) 69–71.
- [14] M.J. Norusis, *SPSS/PC+ for the IBM PC/XT/AT*, SPSS Inc., Chicago, IL, 1986.
- [15] SAS Institute Inc. *SAS/Stat User's Guide, Version 6, 4th edn., Vol. 2*. SAS Institute Inc., Cary, NC, 1989, pp. 1196–1210.
- [16] R.F. Gunst and R.L. Mason, Principal component regression (Chapter 10.1). In *Regression Analysis and its Application*, Marcel Dekker Inc., New York, 1980, pp. 317–329.
- [17] D.R. Morse, Age-related changes of the dental pulp complex and their relationship to systemic aging. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 72 (1991) 721–745.
- [18] T. Solheim, A new method for dental age estimation in adults. *Forensic Sci. Int.*, 59 (1993) 137–147.
- [19] A. Santini, M. Land and G.M. Raab, The accuracy of simple ordinal scoring of tooth attrition in age assessment. *Forensic Sci. Int.*, 48 (1990) 175–185.
- [20] T. Kambe, K. Yonemitsu, K. Kibayashi and S. Tsunenari, Application of a computer assisted image analyzer to the assessment of area and number of sites of dental attrition and its use in age estimation. *Forensic Sci. Int.*, 50 (1991) 97–109.
- [21] S. Prapanpoch, S.B. Dove and J.A. Cottone, Morphometric analysis of the dental pulp chamber as a method of age determination in humans. *Am. J. Forensic Med. Pathol.*, 13 (1992) 50–55.
- [22] S. Molnar, Human tooth wear, tooth function and cultural variability. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 34 (1971) 175–189.
- [23] S. Molnar, Tooth wear and culture: A survey of tooth functions among some prehistoric populations. *Curr. Anthropol.*, 13 (1972) 511–526.
- [24] J.K. Avery, Dentin. In S.N. Bhaskar (ed.), *Orban's Oral Histology and Embryology*. C.V. Mosby, Year Book Inc., St Louis, MO, 1991, pp. 106–138.
- [25] G.G. Philippas, Influence of occlusal wear and age on formation of dentin and size of pulp chamber. *J. Dent. Res.*, 40 (1961) 1186–1198.
- [26] S.I. Kvaal, B.F. Sellevold and T. Solheim, T. A comparison of different non-destructive methods of age estimation in skeletal material. *Int. J. Osteoarchaeol.*, 4 (1994) 363–370.