

Aus dem Institut für Rechtsmedizin  
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Vergleichende Analyse verschiedener Stadieneinteilungen  
zur Beurteilung der Weisheitszahnmineralisation

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Dominique Bilanz

aus Greifswald

Gutachter/in: 1. PD Dr.med.dent. A.Olze.....  
2. Prof.Dr.med M.Tsokos.....  
3. Prof.Dr.med.H.Pfeiffer.....

Datum der Promotion: ...29.01.2010.....

## **Inhaltsverzeichnis**

1 Einleitung	6
2 Forensische Altersdiagnostik – Methoden und Rechtsgrundlagen	8
3 Die Zahnmineralisation – Entwicklungsbiologische Grundlagen	15
4 Material und Methode	18
5 Ergebnisse	25
6 Diskussion	31
7 Zusammenfassung	49
8 Literaturverzeichnis	51
9 Eidesstattliche Erklärung	63
10 Lebenslauf	64
11 Danksagung	65

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Radiologische Untersuchung, ausgereiftes Handskelett	10
Abbildung 2	Stadieneinteilung der Ossifikation der Schlüsselbein- Brustbein-Gelenke nach SCHMELING (2004)	11
Abbildung 3	Stadieneinteilung nach DEMIRJIAN et al. (1973) modifiziert von MINCER et al. (1993)	19
Abbildung 4	Stadieneinteilung nach GLEISER und HUNT (1955)	21
Abbildung 5	Stadieneinteilung nach KULLMANN et al. (1992)	23
Abbildung 6	Stadieneinteilung nach HARRIS und NORTJE (1984)	23

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1	Zweifaktorielles Design mit den Faktoren "Beurteiler" und „Methode“	24
Tabelle 2	Intraklass-Korrelations-Koeffizienten (gewichtetes Kappa)	28
Tabelle 3	Eta-Koeffizienten	30

## 1. Einleitung

Die wirtschaftliche Globalisierung und militärische Konflikte haben in den letzten Jahren zu einer weltweiten Zunahme grenzüberschreitender Migrationsbewegungen geführt. Infolgedessen ist in Deutschland, wie auch in zahlreichen anderen Ländern Europas, der Anteil der Ausländer in der Bevölkerung kontinuierlich gestiegen (ANGENENDT 1999).

Die forensische Altersschätzung Lebender ist in den letzten Jahren zunehmend in den Fokus des gesellschaftlichen Interesses gerückt. Die Aufgabenstellung besteht darin, für Personen, die ihr tatsächliches Alter durch gültige Ausweispapiere nicht nachweisen können und wissentlich oder unwissentlich im Strafverfahren falsche Altersangaben zur eigenen Vorteilsnahme machen, eine Altersschätzung anhand entwicklungsbiologischer Merkmale nach medizinischen Erkenntnissen vorzunehmen.

Vor diesem Hintergrund hat sich die forensische Altersdiagnostik Jugendlicher und Heranwachsender zu einem anerkannten Forschungsbereich der forensischen Wissenschaften entwickelt (OLZE et al. 2007; OLZE et al. 2008a, 2008b; CAMERIERE et al. 2008; SCHMELING et al. 2008; SCHMIDT et al. 2008a, 2008b; SCHULZ et al. 2008; KNELL et al. 2009; QUIRMBACH et al. 2009; THEVISSSEN et al. 2009).

Die juristisch bedeutsamen Altersgrenzen, die über Strafmündigkeit sowie über die Anwendung von Jugend- bzw. Erwachsenenstrafrecht entscheiden, sind in Deutschland das 14., 16., 18. und 21. Lebensjahr (KAATSCH 2001). Auch in zahlreichen anderen europäischen Ländern liegen die forensisch relevanten Altersgrenzen zwischen dem 14. und 18. Lebensjahr (DÜNKEL 1997).

Zur Altersschätzung von Jugendlichen ist aus zahnärztlicher Sicht vor allem die Beurteilung des Mineralisationsstandes der Weisheitszähne von Bedeutung, da diese auch dann noch Entwicklungstendenzen aufweisen, wenn die anderen Zähne des Gebisses bereits voll ausgebildet sind.

Zur Beurteilung der Zahnmineralisation existieren verschiedene Stadieneinteilungen, deren Ergebnisse nicht unmittelbar vergleichbar sind, da einerseits die Daten an verschiedenen Referenzpopulationen gewonnen worden sind und andererseits

verschiedene Untersucher die Beurteilungen vorgenommen haben (HÄGG und MATSSON 1985, PÖYRY et al. 1986).

Im Rahmen der vorliegenden Studie werden fünf verschiedene Stadieneinteilungen zur Zahnmineralisation unabhängig von der ursprünglich zugrunde liegenden Referenzpopulation hinsichtlich ihrer Validität verglichen.

## **2. Forensische Altersdiagnostik- Methoden und Rechtsgrundlagen**

Entsprechend den Empfehlungen der interdisziplinären Arbeitsgemeinschaft für Forensische Altersdiagnostik (<http://www.charite.de/rechtsmedizin/agfad/index.htm>), welche sich am 10.03.2000 in Berlin konstituierte, sollten für eine Altersschätzung im Strafverfahren eine zahnärztliche Untersuchung mit Erhebung des Zahnstatus und Auswertung eines Orthopantomogramms, eine körperliche Untersuchung mit Erfassung anthropometrischer Maße, der sexuellen Reifezeichen sowie möglicher altersrelevanter Entwicklungsstörungen, und ferner eine radiologische Untersuchung der linken Hand eingesetzt werden. Zur Frage der Vollendung des 21. Lebensjahres wird eine zusätzliche Röntgen- bzw. CT-Untersuchung der Schlüsselbeine empfohlen (SCHMELING et al. 2001a, 2001b). Die zuverlässigste Altersdiagnose ergibt sich aus der Synopsis der Teilgutachten (GESERICK et al. 2002).

Bei der körperlichen Untersuchung werden neben anthropometrischen Maßen, wie Körperhöhe, Körpergewicht und Körperbautyp, die äußerlich erkennbaren sexuellen Reifezeichen erfasst. Bei Jungen sind dies Entwicklungsstand von Penis und Hodensack, Schambehaarung, Achselhöhlenbehaarung, Bartwuchs und Kehlkopfprominenz; bei Mädchen Brustentwicklung, Schambehaarung, Achselhöhlenbehaarung und Hüftform. Allgemein gebräuchlich sind die Stadieneinteilungen nach Tanner (1962) für Genitalentwicklung, Brustentwicklung und Schambehaarung. Hinsichtlich des zeitlichen Verlaufes der sexuellen Reifeentwicklung sei exemplarisch auf Untersuchungen von MARSHALL und TANNER (1969, 1970) verwiesen. Im Rahmen der körperlichen Untersuchung ist zu prüfen, ob altersrelevante Entwicklungsstörungen vorliegen.

Der menschliche Stützapparat ist in der Embryonalperiode weitgehend als knorpelige Vorstufe angelegt, bei dem zunächst ein hyalines Knorpelmodell des jeweiligen Skelettstückes gebildet wird, welches im Laufe der Entwicklung schrittweise durch Knochengewebe ersetzt wird. Das Erscheinen von Knochenkernen als Ossifikationszentren erlaubt in frühem Kindesalter bis etwa zum zehnten Lebensjahr eine sichere Altersdiagnostik.

Bis etwa zum 15. Lebensjahr erreichen dann die einzelnen Knochenelemente ihre endgültige Form und Größe.

Durch Epiphysenfugen oder –scheiben erfolgt eine ständige Knorpelneubildung die nach den Knochenenden hin ständig Knorpelgewebe abbauen. Dieses



Knorpelgewebe wird durch Knochengewebe ersetzt und stellt demnach für den Knochen junger Menschen indirekte Wachstumszentren dar, die das Längenwachstum gewährleisten. Sie werden im Laufe des Lebens mehr oder weniger aufgebraucht und durch Knochengewebe verdrängt und bieten nach dem 15. Lebensjahr die beste Möglichkeit zur Altersschätzung. Die Epiphysenfuge verknöchert zur Epiphysennarbe, ein Prozess, der etwa um das 20. Lebensjahr seinen Abschluss erfährt, also im Alter des Heranwachsenden beziehungsweise Erwachsenen knöchern geschlossen wird. Aus diesem Grund ist die radiologische Untersuchung der Epiphysenfugen für die rechtlich bedeutsamen Altersgrenzen von besonderem Wert.

Die Röntgenaufnahme des Handskeletts steht stets am Anfang der röntgenologischen Untersuchung (Abb.1). Kriterien zur Bewertung sind der Entwicklungsstand der Handwurzelknochen sowie der Epiphysenfugen der langen und kurzen Knochen des Hand- und des distalen Unterarmskeletts, aber auch Formen- und Größenparameter des Handskeletts sowie die Anlage und Konfiguration von Sesambeinen. Dieses Verfahren ist bewährt, wird seit Jahrzehnten insbesondere von Kinderärzten und Kieferorthopäden erfolgreich eingesetzt und ist insgesamt als eine etablierte Methode mit hoher diagnostischer Wertigkeit einzuschätzen. Da in jeder Population die Rechtshänder überwiegen und somit die rechte Hand wesentlich häufiger Traumen und größeren Beanspruchungen ausgesetzt ist, welche die Skelettentwicklung stören können, wurde die linke Hand vereinbart.

Die Vorteile der Handröntgenaufnahme liegen in der guten Durchführbarkeit bei standardisierten Bedingungen. Weiterhin bietet sie eine große Anzahl an Einzelparametern, da 30 Knochenzentren, das heißt zehn Prozent des gesamten Skeletts und somit die meisten Verknöcherungszonen, beurteilt werden können.

Beurteilungskriterien der Handröntgenaufnahme sind Form und Größe der einzelnen Knochenelemente sowie deren Verknöcherungszustand an den Epiphysenfugen. Desweiteren ist eine geschlechtergetrennte Begutachtung vorzunehmen, da Mädchen gegenüber Jungen einen Entwicklungsvorsprung in der Skelettreifung zeigen. So beginnt der Wachstumsspur bei Mädchen mit zirka zehn und endet mit zirka 14,8 Jahren, wohingegen bei Jungen der Beginn bei zirka zwölf Jahren liegt und mit etwa 17 Jahren endet.

Bei den angefertigten Handröntgenbildern werden für die Altersschätzung zwei Methoden unterschieden. Zum einem die von GREULICH und PYLE (1959) publizierte Atlasmethode, in der das vorliegende Röntgenbild mit Standardaufnahmen des jeweiligen Alters und Geschlechts verglichen wird. Zum anderen, die auf Tanner zurückführende Einzelknochenmethode, bei welcher für den ausgewählten Knochen der jeweilige Reifegrad beziehungsweise das Knochenalter bestimmt werden kann.

Die jüngste derzeit vorliegende Studie von THIEMANN und NITZ (1986, 1991) bildet die Grundlage der Publikation „Röntgenatlas der normalen Hand im Kindesalter“ und repräsentiert aus insgesamt 5200 ausgewerteten Röntgenaufnahmen der Hand, Referenzwerte für die heutige Lebensalterschätzung. Aus insgesamt 20 medizinischen Einrichtungen der ehemaligen DDR wurden die 5200 Handröntgenaufnahmen in den Altersgruppen vom Neugeborenen bis zum 18jährigen angefertigt, ausgewertet und anschließend in einem Atlas zusammengefasst.



Abbildung 1: Radiologische Untersuchung, ausgereiftes Handskelett

Ergibt sich aus der Beurteilung des Handskeletts ein geschätztes Lebensalter von 18 Jahren oder älter wird (bei Vorliegen eines richterlichen Beschlusses) zusätzlich eine Röntgenuntersuchung der Schlüsselbein-Brustbein-Gelenke durchgeführt. Sind die

Epiphysenfugen der medialen Schlüsselbeinepiphysen komplett geschlossen, ist ein Lebensalter von mindestens 22 Jahren anzunehmen (Abb. 2).

Zur Aussagefähigkeit der Röntgenaufnahme des Handskeletts ist grundsätzlich festzustellen, dass eine Altersschätzung lediglich bis etwa zum 18. Lebensjahr mit hinreichender Sicherheit möglich ist, da dann das Skelett bei Gesunden vollständig ausgereift ist (Abb. 1) und nach diesem Zeitpunkt keine altersrelevanten Veränderungen der Skelettentwicklung mehr auftreten. Zur Beurteilung eines höheren Lebensalters sind zusätzliche Aufnahmen (mediale Schlüsselbeingelenke) anzufertigen. Weist das Reifungsstadium des Handskeletts aber auf ein Lebensalter *unter* 18 Jahren hin, dürfen diese Zusatzaufnahmen nicht durchgeführt werden, da sie keine zusätzlichen Informationen erbringen.

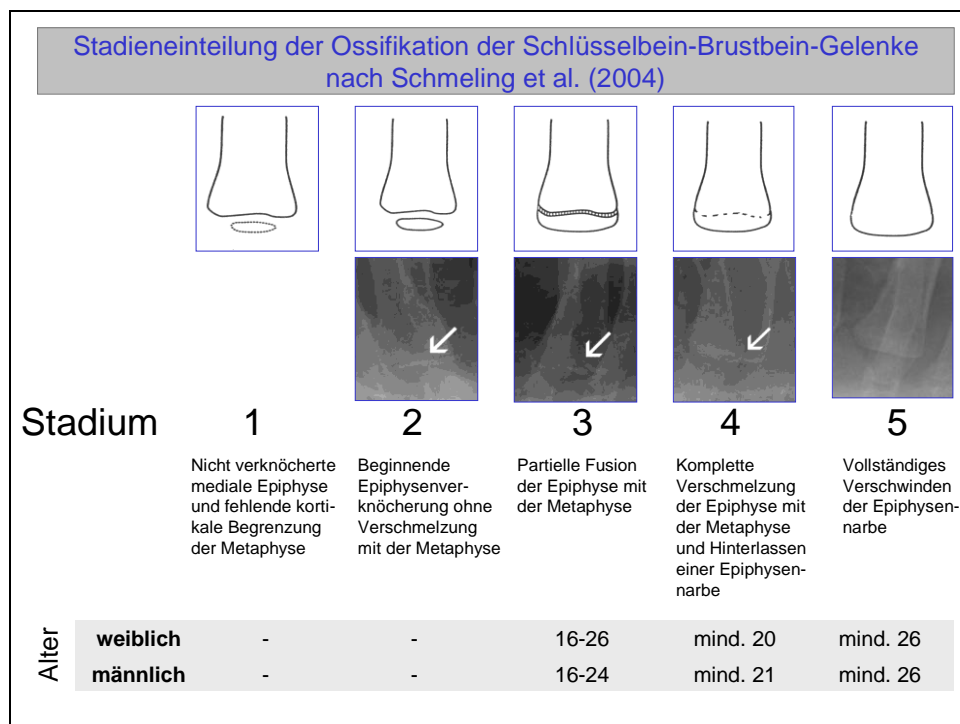


Abbildung 2: Stadieneinteilung der Ossifikation der Schlüsselbein-Brustbein-Gelenke nach SCHMELING 2004)

Zum zeitlichen Verlauf der Ossifikation der medialen Clavikularepiphysenfugen, als ein nützliches Merkmal zur forensischen Altersschätzung, liegen vielfache Untersuchungen vor, welche sich anhand der Beurteilung in anatomische Studien, bei denen die Ossifikation im Rahmen einer Sektion oder bei Beurteilung von Skeletten durch direkte Inspektion, oder in radiologischen Untersuchungen mittels konventioneller Technik oder Computertomographie, unterscheiden lassen.

In einer von KREITNER et al. im Jahre 1998 durchgeführten retrospektiven Studie von 380 normal entwickelten Probanden unter 30, wurde eine anhand von Computertomographie–Aufnahmen unterstützten Analyse, eine repräsentative Aussage über die Verknöcherung der Epiphysenfuge am medialen Ende der Klavikula getroffen. Diese sind für die forensische Altersschätzung bei Lebenden, besonders von Personen in der zweiten Lebensdekade oder im Beginn der dritten, von besonderem Wert. Der Mittelwert für die komplett vorliegende Epiphysenunion in dem 100 Prozent Verknöcherung stattgefunden hat, bildet ein Lebensalter von 27 mit dem frühesten Beginn bei 22 Jahren.

Die juristischen Anlässe für Lebensaltersschätzungen können vielfältiger Art sein. In Strafsachen regelt § 81a der Strafprozessordnung (StPO) die Ermächtigung für die Durchführung körperlicher Untersuchungen und Eingriffe (zu letzteren ist auch die Anwendung von Röntgenstrahlen zu zählen).

Die im Verlauf von Strafverfahren zu untersuchenden Personen sind Ausländer ohne gültige Ausweispapiere, die ihr Alter mutmaßlich falsch angeben und deren Alter von juristischer Bedeutung ist. Die juristisch relevanten Altersgrenzen im Strafverfahren betreffen in Deutschland das 14., 18. und 21. Lebensjahr. Die Vollendung des 14. Lebensjahrs ist für die Frage der Strafmündigkeit entscheidend (§19 Strafgesetzbuch). Es gilt als unwiderlegbare Behauptung, dass ein Kind unter 14 Jahren generell schuldunfähig und damit strafunmündig ist, also in jedem Fall - trotz Erfüllung eines Straftatbestandes - straflos bleibt. Für die Frage der Anwendbarkeit von Erwachsenen- beziehungsweise Jugendstrafrecht sind die Altersgrenzen 18 und 21 Jahre von Belang. Nach §1 Jugendgerichtsgesetz gilt als Jugendlicher, wer zur Zeit der Tat 14, aber noch nicht 18 Jahre alt ist. Bei Jugendlichen ist das Jugendstrafrecht anzuwenden. Bei Heranwachsenden muss darüber hinaus festgestellt werden, ob die Gesamtwürdigung der Persönlichkeit ergibt, dass der Betroffene nach seiner sittlichen und geistigen Entwicklung noch einem Jugendlichen gleichsteht beziehungsweise es sich nach der Art, den Umständen oder Beweggründen der Tat um eine Jugendverfehlung handelt – und damit Jugendstrafrecht gilt – oder ob das allgemeine „Erwachsenen-Strafrecht“ anzuwenden ist (KAATSCH 2001). Mit Vollendung des 21. Lebensjahres wird grundsätzlich die volle strafrechtliche Verantwortlichkeit des Täters festgelegt.

Im Bürgerlichen Recht (BGB) betreffen Altersschätzungen Vormundschafts-, Pflegschafts- oder Ergänzungspflegschafts- Angelegenheiten, welche sich nur auf Minderjährige beziehen. Mit Vollendung des 18. Lebensjahres tritt gemäß § 2 BGB Volljährigkeit ein, womit Vormundschaften oder Pflegschaften entfallen.

Im Verwaltungsrecht interessiert die Altersgrenze von 16 Jahren bei Asylverfahren, weil nach ihrem Erreichen Betroffene gemäß Ausländergesetz (AuslG) und Asylverfahrensgesetz (AsylVfg) als selbstständig handlungsfähig gelten und demzufolge in Sammelunterkünften anstelle von Einrichtungen der Jugendhilfe unterzubringen sind.

Im Zivilrecht wie im Asylverfahrensrecht gibt es keinerlei Ermächtigungsgrundlagen für die zwangsweise Durchführung von Altersschätzungen.

Schließlich kann bei älteren Arbeitnehmern bei Fehlen von amtlichen Urkunden über das Geburtsdatum die Erreichung des Rentenalters Gegenstand der Begutachtung sein.

Der Umfang der für die forensisch-odontologische Untersuchung des Betreffenden zur Verfügung stehenden Untersuchungsmethoden hängt naturgemäß vom juristischen Untersuchungsanlass ab. Grundsätzlich kommt im Jugend- und jungen Erwachsenenalter den entwicklungsbiologischen Merkmalen Zahndurchbruch und Zahnmineralisation die größte forensische Bedeutung zu. Unter Zahndurchbruch soll der Zeitpunkt verstanden werden, an dem die Spitze des Zahns die Gingiva penetriert. Die Diagnose erfolgt durch Inspektion der Mundhöhle. Mit Ausnahme der dritten Molaren sind die Zähne des Dauergebisses im Durchschnitt etwa bis zum 12. Lebensjahr durchgebrochen. Die dritten Molaren brechen (zumindest in europäischen Populationen) erst nach dem 17. Lebensjahr durch (MÜLLER 1983). Nach weiteren zwei bis vier Jahren wird die Kauebene erreicht (BERKOWITZ und BASS 1976). Die Zahnmineralisation wird anhand einer Übersichtsaufnahme der Gebissregion, dem so genannten Orthopantomogramm, beurteilt. Die Mineralisation beginnt mit der Bildung der Zahnkrone an der späteren Kaufläche und setzt sich dann über den Zahnhals zur Wurzel hin fort. Mit Abschluss der Wurzelbildung ist das Zahnwachstum, abgesehen von späteren Zementanlagerungen im Wurzelbereich, abgeschlossen. Bislang ungeklärt war, inwiefern die ethnische Zugehörigkeit des zu Untersuchenden den zeitlichen Verlauf der Mineralisation und Eruption der Zähne und hier insbesondere der Weisheitszähne, als am längsten in der Entwicklung

befindliche Zähne beeinflusst und inwieweit die für die Altersdiagnosen gebräuchlichen Referenzdaten, die an weißen Nordamerikanern sowie Mittel- und Nordeuropäern gewonnen worden sind, auch für Angehörige anderer ethnischer Gruppen verwendet werden können.

Ergänzend zu den angeführten Methoden können pathologische beziehungsweise degenerative Veränderungen des Parodontiums und die Bestimmung des epidemiologischen DMF-Index, welcher die durchschnittliche Häufigkeit von kariösen (D=decayed), fehlenden (M=missing) und restaurativ versorgten Zähnen (F=filled) in einer Population additiv angibt, Aussagen zum von einem Individuum erreichten Lebensalter ermöglichen. Für Parodontitisbefall und -ausprägung und DMF-Index wurde lange eine zumindest grobe Korrelation mit dem Lebensalter angenommen. Offen bleiben musste jedoch, welchen prädiktiven Wert die Ausprägung der genannten Merkmale hinsichtlich des Erreichens bestimmter Altersgrenzen und hier insbesondere bezüglich der Vollendung des 21. Lebensjahres, als in Strafrechtssachen besonders bedeutsame Altersgrenze, tatsächlich besitzt. Einen hinreichenden Zuverlässigkeitsgrad vorausgesetzt, wäre darüber hinaus, gerade in juristischen Verfahren, in denen keine radiologischen Untersuchungen zugelassen sind, eine nachhaltige Diversifizierung des eingeschränkten Methodenspektrums wünschenswert.

### **3. Die Zahnmineralisation - Entwicklungsbiologische Grundlagen**

LEHMANN und HELLWIG (1993) geben einen Überblick über den Prozess der Zahnbildung: Von den drei embryonalen Keimblättern, Entoderm, Ektoderm und Mesoderm, ist lediglich das Ektoderm an der Bildung des Zahnes beteiligt. Vom Kopfmesenchym, das sich von der Neuralleiste ableitet, werden das Dentin, das Wurzelzement, die Pulpa und der Zahnhalteapparat gebildet. Vom Kopfektoderm stammen der Schmelz und das Mundhöhlenepithel ab. Nach der Bildung der primären Mundhöhle wächst das Epithel der die Mundhöhle begrenzenden Gesichtsfortsätze beim etwa sechs Wochen alten Keimling in die Tiefe und bildet eine Epithelleiste. In der 7. Embryonalwoche verzweigt sich diese Epithelleiste: Es entstehen eine Zahnleiste und eine Vestibularleiste. Durch die Aufspaltung der Vestibularleiste zur Vorhofsfurche entstehen die Lippen und der Mundvorhof. Die Weiterentwicklung der Zahnleiste führt zu Verdickungen, den Schmelzknoten. Jeder Schmelzknoten stellt die Anlagen für einen Zahn dar. Im zweiten bis dritten Embryonalmonat beginnen sich die Schmelzknoten einzudellen und bilden die Schmelzglocken. An der Schmelzglocke entsteht eine Verdichtung aus mesenchymalem Gewebe, die so genannte Zahnpapille. Bei der Schmelzglocke unterscheidet man ein inneres und ein äußeres Schmelzepithel. Dazwischen liegt ein lockeres, netzartiges, gefäßfreies epitheliales Gewebe, die Schmelzpulpa. Im dritten und vierten Embryonalmonat differenziert das innere Schmelzepithel einen einreihigen Zellsaum, den Adamantoblastensaum. An ihn wird vom Bindegewebe her ebenfalls ein einreihiger Zellsaum, der Odontoblastensaum, angelagert. Aus dem inneren Schmelzepithel entsteht der Schmelzmantel des Zahnes, während von der Zahnpapille bzw. dem Odontoblastensaum das Dentin gebildet wird. In dieser Entwicklungsphase teilt sich die primäre Zahnleiste und bildet eine Ersatzzahnleiste. Von der primären Zahnleiste stammen die Milchzähne und die bleibenden Zähne 6 bis 8 ab. Die bleibenden Molaren werden daher als Zuwachszähne bezeichnet. Die Ersatzzahnleiste bildet die bleibenden Zähne 1 bis 5 (Ersatzzähne).

Vom Odontoblastensaum aus wird nun Dentin in Form von Prädentin abgelagert, das anschließend verkalkt. An das Prädentin wird von den Adamantoblasten Schmelz in zunächst unverkalkter Form ausgeschieden. Durch die Abscheidung des Schmelzes wird die Schmelzpulpa immer mehr eingeengt, bis sie mit dem Abschluss der Schmelzbildung vollständig verschwindet und das innere und äußere

Schmelzepithel miteinander verkleben. Mit der Bildung des Dentins wird auch die Zahnpapille immer weiter reduziert, bis sie schließlich die Zahnpulpa bildet.

Bereits während der Bildung der Zahnkrone setzt die Wurzelbildung ein. Dazu verlängern sich das äußere und innere Schmelzepithel in einer gemeinsamen Zellschicht nach apikal (Hertwigsche Epithelscheide). Gleichzeitig beginnt der Durchtritt der Zahnkrone in Richtung Mundhöhle. Entlang der Hertwigschen Epithelscheide entstehen neue Odontoblasten. Nach der Ablagerung des Wurzel Dentins wird die Hertwigsche Epithelscheide vom Zahnhals her aufgelöst. Reste davon findet man noch vereinzelt im Desmodont des voll entwickelten Zahnes (Malassezsche Epithelreste).

Aus den Zellen des Zahnhalteapparates differenzieren sich Zementoblasten, die auf das Wurzel Dentin Zement ablagern. Beim Durchtritt des Zahnes ist die Wurzel fast vollständig ausgebildet. Der Zahnhalteapparat ist angelegt, jedoch noch nicht funktionell strukturiert. Das Foramen apicale des Zahnes ist noch weit offen, das Pulpencavum hat noch nicht seine endgültige Form. Erst drei Jahre nach Zahndurchtritt schließt sich das Foramen apicale bis auf eine kleine Öffnung. Sechs Jahre nach Zahndurchtritt hat auch das Pulpencavum annähernd seine endgültige Form erlangt.

Über spezielle Stadien bei der Bildung der Zahnkrone und der Zahnwurzel gibt SCHRÖDER (1992) folgende detaillierte Angaben: Die Hartschubstanzbildung beginnt nicht an der gesamten Grenzfläche zwischen Schmelzorgan und Papille zugleich, sondern inzisal oder okklusal. Bei Frontzähnen (Schneide- und Eckzähne) geht die initiale Dentin und Schmelzbildung von einem der Mitte der späteren Schneidekante oder Höckerspitze entsprechenden Zentrum aus und breitet sich von dort sowohl in labiolingualer wie mesiodistaler Richtung aus. Bei Seitenzähnen der 1. und 2. Dentition beginnt die Hartschubstanzbildung in zeitlich gestaffelter Folge separat über jedem Pulpenhorn, bzw. in Bereichen der späteren Höckerspitzen. Erst im Laufe der weiteren Vergrößerung und Vermehrung der gebildeten Dentin- und Schmelzlagen verschmelzen die Zentren miteinander und erfassen schließlich die gesamte Okklusalfäche.

Die Bildung der Zahnwurzel wird von der Hertwigschen Epithelscheide (HES) bestimmt. Das zirkuläre Band der HES kann als die Gussform der zukünftigen Zahnwurzel angesehen werden. Diese Form bestimmt Größe, Umfang und Gestalt



der Zahnwurzel und ebenfalls die Anzahl der Wurzeln pro Zahn. Lange bevor das Schmelzorgan seine endgültige Größe erreicht hat und in dem Stadium, wenn in den Höckerpartien die Schmelz- und Dentinbildung begonnen hat, entstehen aus der zervikalen Schlinge, die noch ein Stratum reticulare enthält, quer über die apikale Öffnung der Zahnpapille, zungenartige Fortsätze, die sich am zukünftigen Pol der Bi- oder Trifurkation treffen, fusionieren und damit separate Epithelscheiden für die getrennt zu formenden Wurzeln entstehen lassen. Diese Epithelzungen wachsen in noch unvereinigtem Zustand mit zunehmender Größe des Schmelzorgans, bevor sie sich vereinigen und die Dentindecke der Furkation entsteht. Die Anlage der Furkation ist also ein Teil der Kronenbildung, die der Wurzelbildung vorangeht.

SCHROEDER (1992), der seine eigene Methode zur Darstellung der Wachstumslinien in Schmelz und Dentin mit anderen Schlüsseldaten zur Dentition und Mineralisation, wie Beginn der Hartsubstanzbildung, Abschluss der Kronen- bzw. Wurzelbildung, ergänzt, kommt zu folgenden allgemeinen Aussagen hinsichtlich der Entwicklung bleibender Zähne: In der Wurzelbildung sind Mädchen den Knaben stets voraus. Der Zahndurchbruch folgt dem Stadium, bei dem in beiden Geschlechtern drei Viertel der Wurzellänge erreicht sind (DEMIRJIAN u. LEVESQUE 1980). Matrixbildung und Mineralisation von Schmelz und Dentin sind zeitlich sehr eng koordiniert. Der Beginn der Matrixbildung ist klinisch nicht vom Beginn der Mineralisation abgrenzbar und röntgenologisch nicht zu erfassen. Trotzdem dürfte der vom Kliniker röntgenologisch geschätzte Mineralisationsbeginn für die einzelnen Zahnkronentypen zeitlich als nur unwesentlich später als der eigentliche Beginn dieser Prozesse angesetzt werden. SCHRÖDER (1992) stellt fest, dass der 1. Molar sowohl im Ober- als im Unterkiefer stets vor der Geburt mit der Verkalkung beginnt, etwa zwischen der 28. und 32. Alterswoche. Andererseits kann sich der 2. Prämolare mit 40 – 60 Altersmonaten unerwartet spät entwickeln.

#### **4. Material und Methode**

Es wurden insgesamt 420 konventionell angefertigte Orthopantomogramme von weiblichen deutschen Probanden im Alter von 12 bis 25 Jahren untersucht, wobei für jede Altersgruppe 30 OPGs zugrunde gelegt wurden. Das Material stammt aus dem Archiv der Zahnklinik der Charité. Jedes Röntgenbild wurde mit einer Identifizierungsnummer versehen, die Geburtsdaten wurden fallbezogen erfasst.

Untersucht wurde ausschließlich der Mineralisationsstand des unteren linken Weisheitszahns (Zahn 38). Zur Anwendung kamen die Stadieneinteilungen nach DEMIRJIAN et al.(1973) modifiziert von MINCER et al.(1993), GLEISER und HUNT (1955), GUSTAFSON und KOCH (1974), KULLMANN et al. (1992) und HARRIS und NORTJE (1984).

Nachfolgend werden die einzelnen Stadieneinteilungen detailliert erläutert.

#### **Stadieneinteilung nach DEMIRJIAN et al. (1973) modifiziert von MINCER et al. (1993)**

DEMIRJIAN et al. (1973) untersuchten 1446 Jungen und 1482 Mädchen aus dem französischsprachigen Teil Kanadas im Alter von 3 bis 17 Jahren. Zugrunde gelegt wurden Panoramaschichtaufnahmen. Es wurden die ersten sieben Zähne des dritten Quadranten untersucht. Nach dem Grad der Mineralisation wurden acht Entwicklungsstadien festgelegt, die von A-H die Mineralisation vom ersten Auftreten von Kalzifikationspunkten bis zum Schluss des Apex beschreiben. Später wurde die Stadieneinteilung von MINCER et al. (1993) vereinfacht.

##### *Stadium A*

Die Höckerspitzen der Kronen sind mineralisiert, aber noch nicht verschmolzen.

##### *Stadium B*

Die mineralisierten Höckerspitzen sind vereinigt, die Mineralisationsfront hat den Kronenäquator nicht erreicht.

##### *Stadium C*

Die Krone ist etwa zur Hälfte vollendet, die Mineralisationsfront hat den Kronenäquator überschritten.

### Stadium D

Die Kronenbildung ist abgeschlossen, die Mineralisationsfront hat die Schmelz-Zement-Grenze erreicht.

### Stadium E

Die Bildung der interradikulären Bi- bzw. Trifurkation hat begonnen. Die Wurzellänge ist noch kleiner als die Kronenlänge.

### Stadium F

Die Wurzellänge erreicht mindestens die Länge der Krone. Die Wurzeln zeigen trichterartige Endungen.

### Stadium G

Die Wände der Wurzeln laufen parallel, die Wurzelspitzen sind noch offen.

### Stadium H

Die Wurzelspitzen sind verschlossen, und die periodontale Membran hat eine gleichmäßige Dicke.

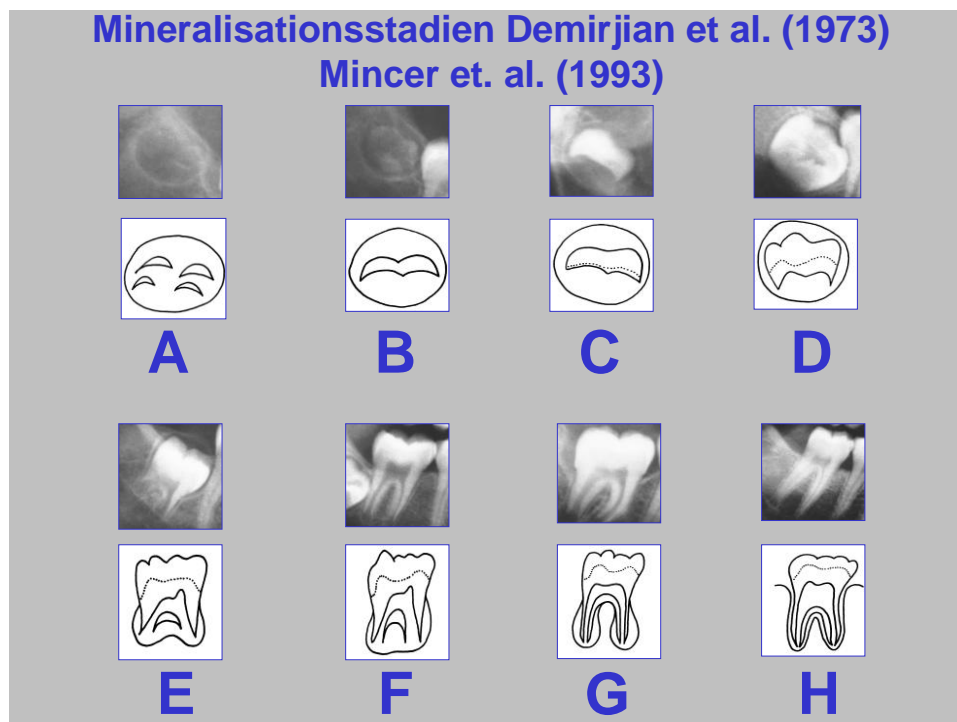


Abb. 3 Stadieneinteilung nach DEMIRJIAN et al. (1973) modifiziert von MINCER et al (1993)

## **Stadieneinteilung nach GLEISER und HUNT (1955)**

GLEISER und HUNT (1955) untersuchten in einer Longitudinal-Studie die Röntgenaufnahmen der rechten Kieferhälfte bei 25 Jungen und Mädchen. Die Aufnahmen wurden von der Geburt bis zum 18. Lebensmonat in Intervallen von drei Monaten, und vom 18. Lebensmonat bis zum 10. Lebensjahr in Intervallen von sechs Monaten beurteilt. GLEISER und HUNT verwendeten Röntgenaufnahmen aus der Langzeitstudie von STUART et al. (1939), die zwischen 1930 und 1939 an der Harvard School of Public Health an weißen Amerikanern aus Boston durchgeführt wurde. Beurteilt wurde die Kalzifikation des ersten rechten unteren Molaren. Hinsichtlich der Kalzifikation legten GLEISER und HUNT 15 verschiedene Stadien fest:

- I. Stad.: noch keine Kalzifikation erkennbar
- II. Stad.: einzelne Kalzifikationszentren sichtbar
- III. Stad.: Verschmelzung der Kalzifikationszentren
- IV. Stad.: Umriss der Höckerspitzen ist komplett
- V. Stad.: Krone ist zur Hälfte kalzifiziert
- VI. Stad.: Krone ist zu zwei Dritteln kalzifiziert
- VII. Stad.: Krone ist vollständig kalzifiziert
- VIII. Stad.: Beginnende Wurzelbildung
- VIII A: Bildung der interradikulären Bifurkation hat begonnen
- VIII B: Rasche Vergrößerung des interradikulären Spaltes
- IX. Stad.: Wurzel ist zu einem Viertel kalzifiziert
- X. Stad.: Wurzel ist zu einem Drittel kalzifiziert
- XI. Stad.: Wurzel ist zur Hälfte kalzifiziert
- XII. Stad.: Wurzel ist zu zwei Dritteln kalzifiziert
- XIII. Stad.: Wurzel ist zu drei Vierteln kalzifiziert
- XIV. Stad.: Wurzel hat fast ihre volle Länge erreicht, Kanalwände sind divergierend
- XV. Stad.: Wurzel hat ihre volle Länge erreicht, Kanalwände sind konvergierend

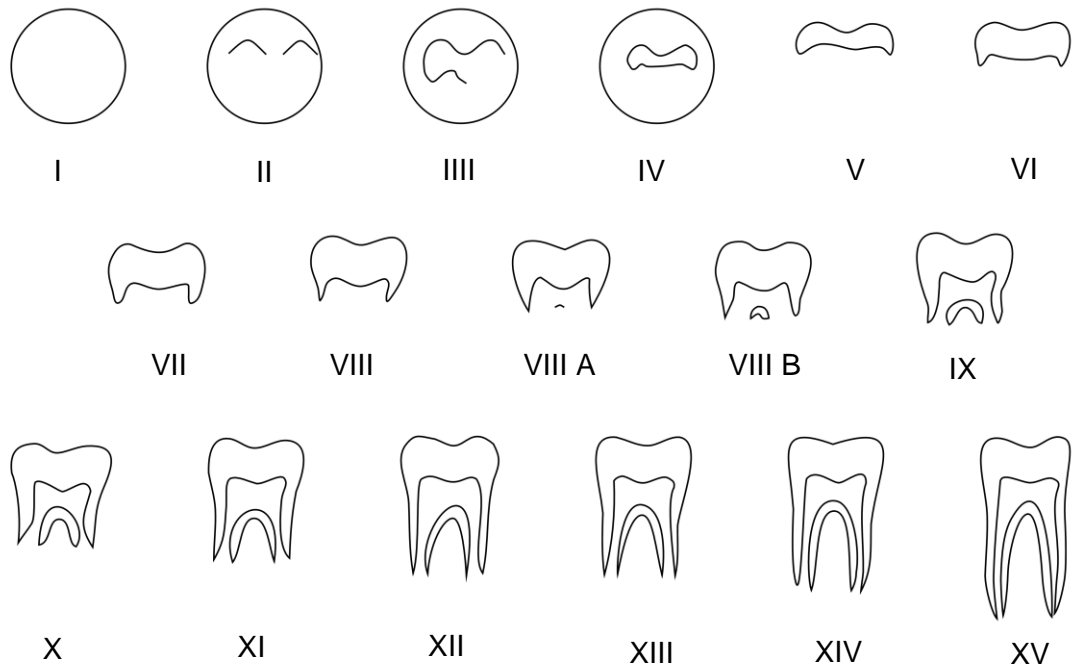


Abb. 4: Stadieneinteilung nach GLEISER und HUNT (1955)

#### Stadieneinteilung nach GUSTAFSON und KOCH (1974)

GUSTAFSON und KOCH untersuchten retrospektiv die Orthopantomogramme von 41 Kindern im Alter von 3 bis 13 Jahren. Sie entwickelten ein Diagramm, das verschiedene Entwicklungsstadien von Zähnen aus dem zweiten und dem vierten Quadranten des Milch- und des bleibenden Gebisses im Verhältnis zum chronologischen Alter zeigt. Die Weisheitszähne blieben bei dieser Untersuchung unberücksichtigt.

GUSTAFSON und KOCH legten vier Entwicklungsstadien fest, die klar erkennbar und leicht zu definieren sein sollten:

- 1 Mineralisationsbeginn
- 2 Krone komplett (Übergang von konkav zu konvex)
- 3 Durchbruch (Spitze penetriert Gingiva)
- 4 Wurzel komplett

## Stadieneinteilung nach KULLMANN et al. (1992)

KULLMAN, JOHANSON und AKESSON (1992) führten eine Untersuchung der Wurzelentwicklung des unteren dritten Molaren anhand von 677 Orthopantomogrammen von skandinavischen Kindern (323 Jungen, 354 Mädchen) durch und legten eine Einteilung der Mineralisation in sieben Stadien fest:

Stad. 1 oder Ri-R $\frac{1}{4}$ :	Mineralisation der Wurzel hat begonnen, sie hat ein Viertel der Wurzellänge noch nicht erreicht.
Stad. 2 oder R $\frac{1}{4}$ -R $\frac{1}{2}$ :	$\frac{1}{4}$ oder mehr der vollen Wurzellänge ist ausgebildet, aber $\frac{1}{2}$ der Wurzellänge ist noch nicht erreicht.
Stad. 3 oder R $\frac{1}{2}$ -R $\frac{3}{4}$ :	Die Hälfte oder mehr der Wurzel ist ausgebildet, aber $\frac{3}{4}$ der Wurzellänge ist noch nicht erreicht.
Stad. 4 oder R $\frac{3}{4}$ -Rc:	$\frac{3}{4}$ oder mehr der Wurzel ist mineralisiert, aber die volle Wurzellänge ist noch nicht erreicht.
Stad. 5 oder Rc Ac i:	Die Wurzel ist vollständig mineralisiert. Der Apex (Wurzelspitze) hat noch nicht begonnen sich zu schließen.
Stad. 6 oder Ac i–Ac:	Der Apexschluss hat begonnen.
Stad. 7 oder Ac:	Der Apex ist geschlossen. Die Wurzelentwicklung ist abgeschlossen.

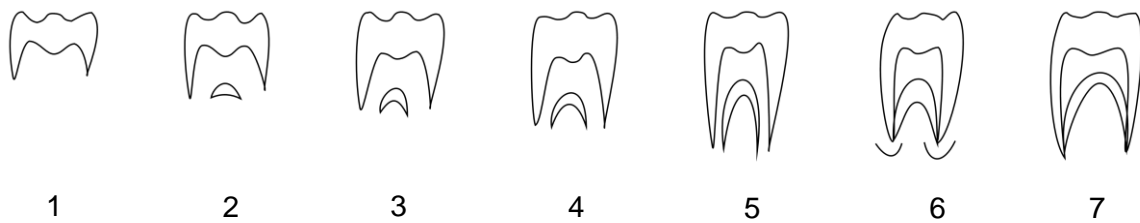


Abb.5: Stadieneinteilung nach KULLMANN et al. (1992)

### Stadieneinteilung nach HARRIS und NORTJE (1984)

HARRIS und NORTJÉ (1984) untersuchten 407 Orthopantomogramme aus dem Bestand der Zahnmedizinischen Fakultät der Universität Stellenbosch. Die Röntgenaufnahmen stammten von Jugendlichen im Alter von 15 bis 21 Jahren, 45 % männlich und 55 % weiblich. Beurteilt wurde die mesiale Wurzellänge des unteren rechten 3. Molaren als möglicher Indikator für die Bestimmung des Lebensalters.

Die Autoren unterscheiden 5 Stadien der Wurzelentwicklung der unteren dritten Molaren:

- 1. Stadium:  $\frac{1}{3}$  der späteren Wurzellänge erreicht
- 2. Stadium:  $\frac{1}{2}$  der späteren Wurzellänge erreicht
- 3. Stadium:  $\frac{2}{3}$  der späteren Wurzellänge erreicht
- 4. Stadium: divergierende Wurzelkanalwände
- 5. Stadium: konvergierende Wurzelkanalwände

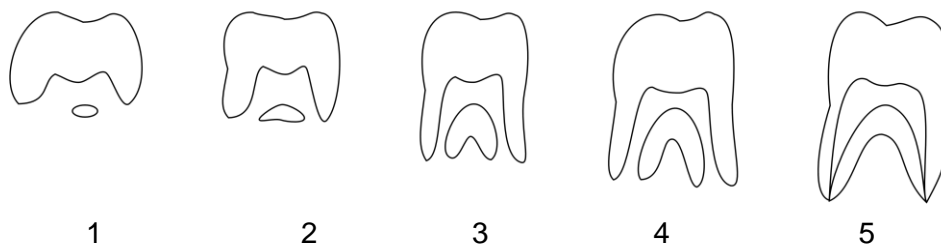


Abb. 6: Stadieneinteilung nach HARRIS und NORTJE (1984)

Anhand der gewonnenen Röntgenbilder wurde mit unterschiedlichen Methoden das Zahnalter bestimmt. Es standen die dargestellten 5 Methoden zur Konkurrenz, von denen die beste herauszufinden war. Für jede Methode standen jeweils zwei unabhängige Beurteiler (A, B) zur Verfügung, wobei der eine Beurteiler (A) das Röntgenbild zweimal begutachtete (A1 und A2). Zwischen den Beurteilungen A1 und A2 lag ein Zeitraum von einem halben Jahr.

Diesem Ansatz entspricht eine zweifaktorielle Varianzanalyse im Cross-Over-Design, wenn man davon ausgeht, dass insgesamt  $n$  Röntgenaufnahmen vorliegen. Jeder Wert  $X_{m,i,j}(k)$  entspricht einem (subjektiv) eingeschätzten Stadium/Score (in entsprechender Zahl von Stufen/Punkten – je nach Methode) für die  $m$ -te Aufnahme ( $m=1, \dots, n$ ), den  $i$ -ten Beurteiler ( $i=1, 2$ ), die  $j$ -te Begutachtung des 1. Beurteilers ( $j=1, 2$ ) und die  $k$ -te Methode ( $k=1, \dots, 5$ ). Vergleiche dazu Tabelle 1.

Tabelle 1: Zweifaktorielles Design mit den Faktoren "Beurteiler" und „Methode“

Aufnahme	Methode 1		...	Methode 5			
	1. Beurteiler			2. Beur.	1. Beurteiler		2. Beur.
	1. Urteil	2. Urteil			1. Urteil	2. Urteil	
1	$X_{1,1,1}(1)$	$X_{1,1,2}(1)$	$X_{1,2}(1)$	...	$X_{1,1,1}(5)$	$X_{1,1,2}(5)$	$X_{1,2}(5)$
...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...
N	$X_{n,1,1}(1)$	$X_{n,1,2}(1)$	$X_{n,2}(1)$	...	$X_{n,1,1}(5)$	$X_{n,1,2}(5)$	$X_{n,2}(5)$

Um Unterschiede zwischen den verschiedenen Beurteilungen und Methoden zu testen, wurde eine (zweifaktorielle) Varianzanalyse herangezogen, welche wegen der kategorialen Skalierung der Beobachtungswerte  $X_{m,i,j}(k)$  nicht-parametrisch durchgeführt wurde (BRUNNER et al. 2002).

Zur Feststellung des Binnenbeobachterfehlers erfolgte jeweils randomisiert, in Unkenntnis der Patientendaten und unter Verwendung der angegebenen Stadieneinteilungen durch Untersucher A eine erste Untersuchung (A1) und nach 6 Monaten eine zweite Untersuchung (A2).

Zur Feststellung des Zwischenbeobachterfehlers wurde von einem zweiten unabhängigen Beobachter (B) eine dritte Untersuchung des Materials, ebenfalls randomisiert und geblindet, durchgeführt.



## 5. Ergebnisse

### 5.1 Vergleich aller 3 Begutachtungen (A1, A2, B) und aller 5 Methoden:

ANOVA-type-statistic	p-Werte
Systematische Unterschiede in den Begutachtern	.73958
Systematische Unterschiede in den Methoden	.00000
Wechselwirkungen zwischen Begutachtern und Methoden	.00000

Also kein Unterschied zwischen den Begutachtern, aber signifikante Unterschiede in den Methoden und signifikante Wechselwirkungen.

Signifikante Wechselwirkungen bedeuten, dass der Unterschied zwischen den Methoden für spezielle Begutachter besonders charakteristisch bzw. dass der Unterschied zwischen den Methoden nicht unabhängig von den Gutachtern ist (bei bestimmten Gutachtern unterscheiden sich die Methoden besonders).

### 5.2 Vergleich Begutachtung A1 versus B (Inter-Observer Unterschiede):

ANOVA-type-statistic	p-Werte
<b>Begutachtung B und alle 5 Methoden</b>	
Systematische Unterschiede in den Begutachtern	.63824
Systematische Unterschiede in den Methoden	.00000
Wechselwirkungen zwischen Begutachtern und Methoden	.00012

Ebenfalls kein Unterschied zwischen den Begutachtern, aber signifikante Unterschiede in den Methoden und signifikante Wechselwirkungen.

### 5.3 Vergleich Beobachtung A2 versus Begutachtung B und alle 5 Methoden (Inter-Observer Unterschiede):

ANOVA-type-statistic	p-Werte
Systematische Unterschiede in den Begutachtern	.99388
Systematische Unterschiede in den Methoden	.0000
Wechselwirkungen zwischen Begutachtern und Methoden	.1904

Ebenfalls kein Unterschied zwischen den Begutachtern, aber signifikante Unterschiede in den Methoden und signifikante Wechselwirkungen.

#### **5.4. Vergleich Begutachtung A1 versus Begutachtung A2 und alle 5 Methoden (Intra-Observer Unterschiede):**

ANOVA-type-statistic	p-Werte
Systematische Unterschiede in den Begutachtern	.62295
Systematische Unterschiede in den Methoden	.00000
Wechselwirkungen zwischen Begutachtern und Methoden	.0000

Ebenfalls kein Unterschied zwischen den Begutachtern, aber signifikante Unterschiede in den Methoden und signifikante Wechselwirkungen.

Zusätzlich und als Ergänzung zur Varianzanalyse wurde mittels der Berechnung des gewichteten Kappa-Koeffizienten (FLEISS 1981) für jeweils zwei (rangskalierte) Begutachtungen inter- und intraindividuell der Grad der Übereinstimmung zwischen den Begutachtern eingeschätzt (Intraklass-Korrelation). Zu jedem ermittelten Kappa-Koeffizienten sind darüber hinaus 95% Konfidenzintervalle berechnet worden.

Es erscheint plausibel, dass die Methode, für welche die größten Übereinstimmungen bestehen, d.h. welche mit einer geringen Variabilität der Begutachtungen einhergeht, besonders günstig sein dürfte.

Die Einschätzung der Übereinstimmung der aus der jeweiligen Methode erhaltenen Stadien/Scores in Bezug zum tatsächlichen Alter geschah mittels direktem Vergleich der kategorial-skalierten Stadien/Score-Beurteilung mit dem intervall-skalierten Alter durch den Eta-Koeffizienten (SIEGEL 1956).

Diejenige Methode mit der höchsten Übereinstimmung gilt als die beste. Im Sinne der oben angeführten Argumentationen erweist sich die Methode „Demirjian“ als die günstigste unter den 5 ausgewählten Methoden.

#### **5.5 Intraklass-Korrelations-Koeffizienten (gewichtetes Kappa)**

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde der Mineralisationsstand des Zahns 38 an 420 konventionell gefertigten Orthopantomogrammen unter Verwendung von fünf verschiedenen Methoden der Stadieneinteilungen bestimmt: DEMIRJIAN et al. (1973) modifiziert von MINCER et al. (1993), GLEISER und HUNT (1995), GUSTAFSON und KOCH (1974), KULLMAN (1992), HARRIS und NORTJE (1984).

Zur Disposition standen jeweils Stadieneinteilungen, die eine höhere (GLEISER und HUNT 1955, KULLMAN 1992) oder eher geringere Anzahl von Stadien unterscheiden (GUSTAFSON und KOCH 1974; HARRIS und NORTJE 1984). Die Stadieneinteilung nach DEMIRJIAN et al. (1973), modifiziert von MINCER et al. (1993) liegt hinsichtlich der Anzahl der Stadieneinteilungen im Mittelfeld der hier verglichenen Studien.

Die Orthopantomogramme wurden von zwei unabhängigen Beobachtern (A und B) untersucht. Beobachter A untersuchte die Orthopantomogramme ein zweites Mal (A2). Zwischen den beiden Untersuchungen (A1 und A2) lag ein halbes Jahr. Es wurde jeweils der Binnen- und Zwischenbeobachterfehler bestimmt. Unter Verwendung aller 5 Methoden zeigte weder der Vergleich aller drei Begutachtungen (A1, A2 und B), der Begutachtungen A1 und B, A2 und B sowie A1 und A2 signifikante Unterschiede. Allerdings bestanden deutliche Unterschiede hinsichtlich der verwendeten Methoden.

Den insgesamt höchsten inter- und intraindividuellen Übereinstimmungsgrad zwischen den Beobachtern (Intraklass-Korrelation) erzielten die Methoden nach GLEISER & HUNT (1955) und nach DEMIRJIAN et al. (1973), modifiziert von MINCER et al. (1993). Die größte Übereinstimmung zwischen den Stadieneinteilungen und dem chronologischen Alter zeigte die Stadieneinteilung nach DEMIRJIAN et al. (1973), modifiziert von MINCER et al. (1993).

Der Intraklass-Korrelations-Koeffizient (IKK) erreichte zwischen den beiden Beobachtern A1 und B nach den Methoden von GLEISER & HUNT (0,954) und von DEMIRJIAN/ MINCER (0,953) ein annähernd gleich gutes Ergebnis, während bei der Stadieneinteilung nach KULLMAN (1992) mit 0,923 ein deutlicher Abfall der Genauigkeit zu verzeichnen ist. Die schlechtesten Ergebnisse lagen bei den Stadieneinteilungen nach GUSTAFSON und KOCH (1974) mit 0,873 und bei der Stadieneinteilung nach HARRIS und NORTJE (1984) mit 0,833.

Den maximalen Wert erreichte der Intraklass-Korrelations-Koeffizient (IKK) nach der Methode von DEMIRJIAN/ MINCER zwischen den beiden Begutachtern A2 und B mit 0,989. Im Vergleich dazu lagen die IKK zwischen A2 und B nach der Stadieneinteilung von KULLMAN, der von GUSTAFSON und KOCH und der von GLEISER und HUNT auf derselben Höhe von 0,979 und der schlechteste Wert wurde bei der Methode von HARRIS und NORTJE mit 0,931 erreicht.

Der Binnenbeobachterfehler (zwischen A1 und A2) war am geringsten (IKK = 0,975) bei der Anwendung der Methode von GLEISER und HUNT. Das zweitbeste Ergebnis erreichte die Methode von DEMIRJIAN/ MINCER mit einem IKK von 0,957, gefolgt von der Stadieneinteilung nach KULLMAN mit 0,941 und NORTJE mit 0,902. Der größte Binnenbeobachterfehler lag mit einem IKK von 0,885 bei der Stadieneinteilung nach GUSTAFSON und KOCH.

Vergleicht man die Gesamtwerte der interindividuellen und der intraindividuellen Beobachter hinsichtlich ihrer Genauigkeit, so zeigen sich die besten Ergebnisse bei den Methoden nach DEMIRJIAN, modifiziert von MINCER et. al. (A1-B = 0,953 / A2-B = 0,989 / A1-A2 = 0,957) und GLEISER und HUNT (A1-B = 0,954 / A2-B = 0,979 / A1-A2 = 0,975) und die schlechtesten Ergebnisse bei den Methoden nach GUSTAFSON und KOCH (A1-B = 0,873 / A2-B = 0,979 / A1-A2 = 0,885) und nach HARRIS und NORTJE (A1-B = 0,833 / A2-B = 0,931 / A1-A2 = 0,902).

Tabelle 2: Intraklass-Korrelations-Koeffizienten (gewichtetes Kappa)

Methoden	Beobachter	IKK	95%-CI
Demirjian (interind.)	A1-B	0,953	0.9440 - 0.9612
Demirjian (interind.)	A2-B	0,989	0.9846 - 0.9926
Demirjian (intraind.)	A1-A2	0,957	0.9488 - 0.9659
Gustafson (interind.)	A1-B	0,873	0.8380 - 0.9088
Gustafson (interind.)	A2-B	0,979	0.9662 - 0.9908
Gustafson (intraind.)	A1-A2	0,885	0.8505 - 0.9191
Gleiser (interind.)	A1-B	0,954	0.9314 - 0.9772
Gleiser (interind.)	A2-B	0,979	0.9569 - 0.9991
Gleiser (intraind.)	A1-A2	0,975	0.9696 - 0.9810
Kullman (interind.)	A1-B	0,923	0.9098 - 0.9426
Kullman (interind.)	A2-B	0,979	0.9725 - 0.9862
Kullman (intraind.)	A1-A2	0,941	0.8994 - 0.9593
Nortje (interind.)	A1-B	0,833	0.7831 - 0.8827
Nortje (interind.)	A2-B	0,931	0.9111 - 0.9505
Nortje (intraind.)	A1-A2	0,902	0.8727 - 0.9307

## 5.6 Eta-Koeffizienten

Die Einschätzung der Übereinstimmung zwischen den aus den jeweiligen Methoden erhaltenen Stadien in Bezug zum chronologischen Alter wurde bei allen Beobachtern und allen Methoden einheitlich durch Ermittlung des Eta-Koeffizienten bestimmt und ist entsprechend vergleichbar. Hier waren die Werte bei den Beobachtern A1 und B nach der Methode von DEMIRJIAN eindeutig am höchsten: A1 mit einem Eta-

Koeffizienten von 0,883 und B mit 0,856, während der Eta-Koeffizient 0,871 von Beobachter A2 nach der Methode von GLEISER und HUNT am höchsten lag, allerdings muss man dabei in Betracht ziehen, dass der Eta-Koeffizient von A1 unter Verwendung der Methode nach DEMIRJIAN/ MINCER das beste Ergebnis der gesamten Untersuchungen erbracht hat. Unter Verwendung dieser Methode ergab sich die höchste Übereinstimmung zwischen Schätzalter und chronologischem Alter der Untersuchten. Die Einschätzungen nach den Methoden von GLEISER und HUNT ( A1 = 0,879 / A2 = 0,871 / B = 0,855) und von KULLMAN (A1 = 0,880 / A2 = 0,859 / B = 0,846) zeigen ebenfalls noch gute Ergebnisse hinsichtlich der Genauigkeit. Die Ergebnisse unter Verwendung der Methode von HARRIS und NORTJE gruppieren sich hinter diesen Ergebnissen (A1 = 0,863 / A2 = 0,846 / B = 0,811), bei allen drei Einschätzungen wurden nach der Einteilung von GUSTAFSON und Koch hinsichtlich der Übereinstimmung des geschätzten und des tatsächlichen Alters die schlechtesten Werte ermittelt (A1 = 0,745 / A2 = 0,770 / B = 0,773). Als Fazit aus den IKK-Werten und dem Vergleich der Eta-Koeffizienten ist bei allen fünf zur Disposition stehenden Methoden die Methode nach DEMIRJIAN et al. (1973), modifiziert von MINCER et al. (1993) zu favorisieren, da sie in der Gesamtheit die besten Resultate erbracht hat. Ähnliche Ergebnisse gehen aus den Untersuchungen von HÄGG und MATSSON (1985), PÖYRY et al. (1986) und MÖRNSTAD et al. (1995) hervor.

Es wird geschlussfolgert, dass zur Bestimmung des Mineralisationsstandes der dritten Molaren die Stadieneinteilung von DEMIRJIAN et al. (1973) modifiziert von MINCER et al. (1993) verwendet werden sollte, da diese Stadieneinteilung die größte Validität, das heißt Übereinstimmung zwischen dem Schätzwert und dem chronologischen Alter, in der Begutachtung gewährleistet. Die Verwendung von Methoden mit wenigen Stadieneinteilungen hat in der Praxis der Altersschätzung den Nachteil, dass aus dem höheren Altersabstand zwischen den einzelnen Stadien bei einer Fehleinschätzung von nur einem Stadium ein erheblich großer Schätzfehler resultieren kann. Ebenso ungeeignet ist die Verwendung von Methoden mit einer Vielzahl von Stadieneinteilungen, insbesondere wenn diese von spekulativen Längenschätzungen bestimmt werden, was zu deutlich ungenaueren Schätzergebnissen führt. Obwohl der geringe Zeitabstand zwischen den einzelnen Stadien eine scheinbar exaktere Altersbestimmung theoretisch ermöglichen könnte, bilden in der Praxis die subjektiv geprägte Vorgehensweise hinsichtlich der

Längenschätzungen und die nicht immer eindeutige Abgrenzbarkeit der einzelnen Stadien erhebliche Fehlerquellen bei der Altersschätzung.

Tabelle 3: Eta-Koeffizienten

<b>Methode</b>	<b>Beobachter A1</b>	<b>Beobachter A2</b>	<b>Beobachter B</b>
Demirjian	0,883	0,865	0,856
Gustafson	0,745	0,770	0,773
Gleiser	0,879	0,871	0,855
Kullman	0,880	0,859	0,846
Nortje	0,863	0,846	0,811

## 6. Diskussion

Ein Hauptkriterium der zahnärztlichen Altersschätzung bei Lebenden ist die Beurteilung des Mineralisationsstandes der dritten Molaren.

Zur Beurteilung der Zahnmineralisation existieren verschiedene Stadieneinteilungen, deren Ergebnisse nicht unmittelbar vergleichbar sind, da einerseits die Daten an verschiedenen Referenzpopulationen gewonnen worden sind und andererseits verschiedene Untersucher die Beurteilungen vorgenommen haben (HÄGG und MATSSON 1985, PÖYRY et al. 1986). Darüber hinaus sind Studien verfügbar, welche ausschließlich Mineralisationsstadien verwenden. In anderen Studien werden Stadieneinteilungen entwickelt, welche Mineralisations- und Eruptionsstadien kombinieren.

So wurden in der Vergangenheit u. a. von GLEISER und HUNT (1955), MORREES et al. (1963), GARN et al. (1958), LILLEQUIST und LUNDBERG (1971), DEMIRJIAN et al. (1973), GUSTAFSON und KOCH (1974), HARRIS und NORTJE (1984), KULLMANN et al. (1992), MINCER et al. (1993) und KÖHLER et al. (1994) unterschiedliche Stadieneinteilungen vorgestellt.

Alle bislang vorliegenden vergleichenden Studien (HÄGG und MATSSON 1985, STAAF et al. 1991, KULLMANN 1995, MÖRNSTAD et al. 1995, REVENTLID et al. 1996) sind von eingeschränkter Aussagekraft, da sie jeweils auf die (meist unzulänglichen und nicht vergleichbaren) Stichproben der methodenbeschreibenden (Erst-) Untersuchungen Bezug nehmen. Durch das in der vorliegenden Studie gewählte Vorgehen wird dieses methodische Problem nach Kenntnis der Autorin erstmalig gelöst. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie sind zwischenzeitlich publiziert worden (OLZE et al. 2004).

Zur besseren Übersicht über die verfügbaren Studien werden diese im Folgenden zitiert und zugeordnet.

## **Ausgewählte Stadieneinteilungen unter ausschließlicher Berücksichtigung der Mineralisation**

GLEISER und HUNT (1955) beurteilten die Mineralisation des unteren ersten rechten Molaren (STUART et al. 1939) und legten hinsichtlich der Mineralisation von Krone und Wurzel 15 verschiedene Stadien fest. Für die Kalzifikation der Krone wurden 7 Stadien beschrieben: noch keine Kalzifikation erkennbar (I. Stad.), einzelne sichtbare Kalzifikationszentren (II. Stad.), verschmolzene Kalzifikationszentren (III. Stad.), kompletter Umriss der Höckerspitzen erkennbar (IV. Stad.), Krone zur Hälfte ausgebildet (V. Stad.), zu zwei Dritteln ausgebildet (VI. Stad.) und Krone vollständig kalzifiziert (VII. Stad.). Fortlaufend wurden für die Wurzelbildung 8 Stadien festgelegt, wobei die beginnende Wurzelbildung (VIII. Stad.) noch einmal in zwei Stadien unterteilt wurde, in Stadium VIII A (Beginn der Bildung der interradiären Bifurkation) und Stadium VIII B (rasche Vergrößerung des interradiären Spaltes). Die Stadien IX bis XIII erfassen den Kalzifizierungsstand der Wurzeln entsprechend  $1/4$ ,  $1/3$ ,  $1/2$ ,  $2/3$  und  $3/4$  der späteren Wurzellänge. Im Stadium XIV hat die Wurzel fast ihre volle Länge erreicht und die Kanalwände verlaufen divergierend. Mit Erreichen des Stadiums XV hat die Wurzel die volle Länge erreicht und die Kanalwände zeigen sich konvergierend.

GUSTAFSON und KOCH (1974) untersuchten bei 41 Kindern (keine Unterscheidung zwischen männlichen und weiblichen Probanden) im Alter von 3 bis 13 Jahren die Orthopantomogramme von Zähnen aus dem zweiten und dem vierten Quadranten des Milch- und des bleibenden Gebisses und legten vier Entwicklungsstadien für Kronen- und Wurzelentwicklung vor, welche klar erkennbar sein sollten: 1. Mineralisationsbeginn, 2. Krone komplett ausgebildet (Übergang von konkav zu konvex), 3. Durchbruch (Spitze penetriert Gingiva) und 4. Wurzel komplett ausgebildet.

In einem Diagramm werden die vier Stadien in Form von Dreiecken dargestellt, die durch Schraffuren, Punktierung und Schwärzung unterschieden werden. Die Dreiecke sind auf einer senkrechten Linie so angeordnet, dass die Basis den Streubereich markiert und die Spitze das durchschnittliche Erscheinungsalter des Stadiums angibt.

Auf einer Röntgenaufnahme werden diejenigen Zähne des entsprechenden Quadranten ausgewählt, welche sich gerade in einem der vier Stadien der Tabelle befinden. Diese können zur besseren Übersichtlichkeit im Diagramm markiert



werden. An der Spitze des Dreiecks eines dieser Zahnstadien wird horizontal ein Lineal angelegt. Das Lineal wird solange parallel verschoben bis es alle aus der Röntgenaufnahme ersichtlichen und eventuell im Diagramm markierten Zahnentwicklungsstadien horizontal miteinander verbindet. Nachfolgend kann an der Kreuzung mit der y-Koordinate das chronologische Alter des Betreffenden abgelesen werden.

Der Bereich, der abgedeckt wird, wenn das Lineal nach oben und unten verschoben wird, wobei alle Stadien berührt werden müssen, gibt den Variationsbereich des chronologischen Alters an.

HARRIS und NORTJE (1984) bewerteten 407 Orthopantomogramme von Jugendlichen im Alter von 15 bis 21 Jahren hinsichtlich der mesialen Wurzellänge des unteren rechten Molaren. Für die Wurzelentwicklung wurden fünf Stadien beschrieben, die sich in Stadium 1–3 auf die Wurzellänge, angegeben als  $1/3$ ,  $1/2$  und  $2/3$  der angenommenen Wurzellänge, beziehen und im 4. und im 5. Stadium die Merkmale divergierende und später konvergierende Wurzelkanalwände als Kriterien bewerten.

KULLMAN et al. (1992) untersuchten die Wurzelentwicklung der unteren dritten Molaren anhand von 677 Orthopantomogrammen von skandinavischen Kindern und legten eine Einteilung der Mineralisation in sieben (Wurzel-) Stadien fest:

1. Mineralisation hat ein Viertel der späteren Wurzellänge noch nicht erreicht
2. Wurzellänge zwischen  $1/4$  und  $1/2$  der späteren Wurzellänge ausgebildet.
3. Wurzellänge zwischen  $1/2$  und  $3/4$  der späteren Wurzellänge ausgebildet.
4. Wurzellänge zwischen  $3/4$  und dem Erreichen der vollen Wurzellänge ausgebildet.
5. Wurzel vollständig mineralisiert, Apexschluss hat noch nicht begonnen.
6. Apexschluss hat begonnen, 7. Apex geschlossen und Wurzelentwicklung abgeschlossen.

DEMIRJIAN et al. (1973) werteten 2928 Orthopantomogramme (1482 Mädchen und 1446 Jungen) von kanadischen Kindern im Alter von 3 bis 17 Jahren aus. Untersucht wurden die ersten sieben Zähne des dritten Quadranten. Jeder Zahn wird nach seinem Entwicklungsstand (Grad der Mineralisation) einem von acht Stadien zugeteilt, die von A bis H die Mineralisation vom ersten Auftreten der

Kalzifikationspunkte bis hin zum Schluss des Apex beschreiben. DEMIRJIAN gibt für die acht Mineralisationsstadien detaillierte Formbeschreibungen und unterscheidet jeweils vier Kronen- und Wurzelstadien:

- A** Der Beginn der Mineralisation ist in Form eines umgekehrten Kegels im oberen Bereich des Zahnsäckchens zu erkennen. Die Kalzifikationspunkte sind nicht verschmolzen.
- B** Durch die Verschmelzung der Kalzifikationspunkte sind eine oder mehrere Spitzen entstanden, die die Form der Okklusalfäche wiedergeben.
- C a)** Komplette Schmelzschicht im okklusalen Bereich. Ausdehnung und Konvergenz zur Zahnhalsregion hin ist angedeutet
- C b)** Erste Dentinablagerungen erkennbar.
- C c)** Das Pulpenkavum ist nach okklusal bogenförmig begrenzt.
- D a)** Krone bis zur Schmelz-Zementgrenze komplett.
- D b)** Obere Grenze des Pulpenkavums der einwurzeligen Zähne ist eindeutig geformt und im Bereich des Zahnhalses leicht konkav. Die Projektion der Pulpenhörner ergibt das Bild einer Regenschirmspitze. Bei den Molaren erscheint das Pulpenkavum trapezförmig.
- D c)** Beginn der Wurzelbildung, erkennbar an lateralen, nadelförmigen Fortsätzen der Krone.

**E**

***Einwurzelige Zähne:***

- E a)** Die Wände des Pulpenkavums bilden gerade Linien, deren Kontinuität durch das Pulpenhorn durchbrochen wird. Dieses ist jetzt größer als im vorangegangenen Stadium
- E b)** Die Wurzellänge ist geringer als die Höhe der Krone

**E**

***Molaren:***

- E a)** Die Mineralisationsansätze der radikulären Bifurkation sind entweder punkt- oder halbmondförmig erkennbar
- E b)** Die Wurzellänge ist geringer als die Höhe der Krone

**F**

***Einwurzelige Zähne:***

**F a)** Die Wände des Pulpencavums nähern sich der Form eines gleichschenkligen Dreiecks. Der Apex ist trichterförmig geöffnet.

**F b)** Die Wurzellänge entspricht der Kronenhöhe oder ist größer als diese.

**F**

***Molaren:***

**F a)** Die Mineralisation im Bereich der Bifurkation setzt sich nach apikal fort und verleiht den Wurzeln eine eindeutigere Form. Die Enden sind trichterförmig geöffnet.

**F b)** Die Wurzellänge entspricht der Kronenhöhe oder ist größer als diese.

**G** Die Wände des Wurzelkanals verlaufen parallel zueinander. Das apikale Ende ist noch leicht geöffnet. Das gilt auch für die distale Wurzel der Molaren.

**H a)** Das apikale Ende des Wurzelkanals ist komplett verschlossen, auch bei der distalen Wurzel der Molaren.

**H b)** Der periodontale Spalt ist im Bereich der Wurzel und des Apex gleich breit.

Unter Verwendung der Stadieneinteilung von DEMIRJIAN et al (1973) untersuchten MINCER et al. (1993) die Entwicklung der dritten Molaren bei 823 US-Amerikanern und Kanadiern im Alter von 14 bis 24 Jahren. Die Autoren modifizierten die acht Stadien von DEMIRJIAN et al. (1973) hinsichtlich der Entwicklung der Molaren und entwickelten eine vereinfachte Stadieneinteilung, welche bei der hier vorliegenden Studie zur Anwendung gekommen ist.

Die Autoren unterscheiden je 4 Stadien für die Kronen- und Wurzelentwicklung:

Stadium A: Höckerspitzen der Kronen mineralisiert, aber nicht verschmolzen.

Stadium B: Die Höckerspitzen sind vereinigt, die Mineralisationsfront hat den Kronenäquator nicht erreicht.

Stadium C: Die Krone ist etwa zur Hälfte ausgebildet, die Mineralisationsfront hat den Kronenäquator überschritten.

Stadium D: Die Kronenbildung ist abgeschlossen, die Mineralisationsfront hat die Schmelz-Zement-Grenze erreicht.

- Stadium E: Die Bildung der interradiikulären Bi bzw. Trifurkation hat begonnen. Die Wurzellänge ist kleiner als die Kronenlänge.
- Stadium F: Die Wurzellänge hat mindestens die Länge der Krone erreicht. Die Wurzeln zeigen trichterartige Endungen.
- Stadium G: Die Wände der Wurzeln verlaufen parallel, die Wurzelspitzen sind noch offen.
- Stadium H: Die Wurzelspitzen sind verschlossen, die periodontale Membran hat eine gleichmäßige Dicke.

### **Ausgewählte Stadieneinteilungen unter Berücksichtigung von Mineralisation und Eruption**

GARN et al. (1958) legten in einer Longitudinalstudie (255 männliche und weibliche Probanden) fünf Stadien der Entwicklung der zweiten Prämolaren (PM2) und der zweiten Molaren (M2) fest. Drei Stadien beschreiben die Mineralisation und zwei Stadien die Eruption, wodurch zwei unterschiedliche entwicklungsbiologische Merkmale zur Altersbestimmung kombiniert werden.

GUSTAFSON und KOCH (1974) sammelten Daten aus der Literatur hinsichtlich der Beziehungen zwischen der Zahnentwicklung und dem chronologischen Alter. Das Datenmaterial stammt aus dem Zeitraum zwischen 1909 und 1970 und basiert auf Untersuchungen von RÖSE (1909), COHEN (1928), LOGAN und KRONFELDT (1933), KLEIN et al. (1937), SCHOUR und MASSLER (1941), ROBINOW et al. (1942), KRANZ (1946), DAHLBERG und MAUNSBACH (1948), STONES et al. (1951), CLEMENTS et al. (1953), GÖDÉNY (1955), ORBAN (1957), TEGZES (1959), NOLLA (1960), FANNING (1961), SJÖBERG (1961), CARR (1962), MOYERS (1963), LYSELL et al. (1964) und HAAVIKKO (1970). Die Stadieneinteilung ähnelt der Methode von GARN et al (1958) und beschreibt vier gut definierbare Entwicklungsstadien: 1. den Mineralisationsbeginn, 2. die Komplettierung der Krone, 3. den Durchbruch und 4. die Komplettierung der Wurzel. Alle vier Entwicklungsstadien jedes Zahns, vom Milchgebiss bis zum permanenten Gebiss, sind in einem Diagramm in direktem Vergleich zum Alter dargestellt. Dabei verwenden GUSTAFSON und KOCH sowohl histologische (3. Stadium: Durchbruch) als auch radiographische Befunde (drei Stadien für die Kalzifikation) für die Definition der Entwicklungsstadien. Deutliche Unsicherheitsfaktoren hinsichtlich der Genauigkeit sind der lange Erfassungszeitraum von über 60 Jahren und die hohe

Anzahl verschiedener Beobachter (insgesamt 23). Außerdem wird in der Studie nicht zwischen männlichen und weiblichen Probanden differenziert, so dass die geschlechtsbedingten Altersabweichungen bei der Entwicklung des Gebisses nicht erfasst werden konnten.

### **Stadieneinteilungen mit mehr als 10 Mineralisationsstadien**

GLEISER und HUNT (1955) untersuchten in einer Longitudinalstudie bei 25 Jungen und 25 Mädchen die Entwicklung der ersten Molaren (M 1) im Unterkiefer von der Geburt bis zum 18. Lebensmonat (in Intervallen von drei Monaten) und vom 18. Lebensmonat bis zum 10. Lebensjahr in Intervallen von sechs Monaten. Sie beschrieben 15 unterschiedliche Entwicklungsstadien der Kalzifikation von der Kronenspitze bis zum Schluss des Apex. Eine so stark differenzierte Klassifikation enthält sehr viele Stadien, die nur schwer gegeneinander abgrenzbar sind. Zudem wird beispielsweise zwischen  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{1}{2}$  und  $\frac{2}{3}$  der geschätzten zukünftigen Wurzellänge unterschieden, was zu einer eher subjektiv geprägten Beurteilungsweise führt (DEMIRJIAN 1986). Außerdem setzt die feine Differenzierung der Stadien Röntgenbilder von äußerster Schärfe voraus.

KÖHLER et al. (1994) modifizierten die Methode von GLEISER und HUNT (1955) auf zehn Stadien der Mineralisation, wobei 3 Stadien für die Kronenbildung (Krone zur Hälfte, zu  $\frac{3}{4}$  und vollständig verkalkt) und 7 Stadien für das Wurzelwachstum angesetzt wurden: Beginnende Wurzelbildung, Wurzel zu  $\frac{1}{4}$ , zu  $\frac{1}{2}$ , zu  $\frac{3}{4}$  mineralisiert, etwa volle Wurzellänge mit divergierendem Wurzelkanal mineralisiert und schließlich volle Wurzellänge mit konvergierendem Wurzelkanal mineralisiert. Nach dieser Einteilung werteten die Autoren 938 Panoramaschichtaufnahmen von Patienten der Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie des Universitätskrankenhauses Hamburg-Eppendorf im Alter von 15 bis 25 Jahren aus. Im Ergebnis schwankte das Wachstum der Weisheitszähne bei Männern und Frauen um einen Mittelwert von bis zu plusminus 4 Jahren.

Auch NOLLA (1960), FANNING (1961), MOOREES et al. (1963), NANDA und CHAWLA (1966) benutzten ähnlich schwer abgrenzbare Stadieneinteilungen für die Wurzellänge.

NOLLA (1960) führte eine Longitudinalstudie zur Entwicklung der bleibenden Zähne im Unter- und Oberkiefer bei 25 Jungen und 25 Mädchen durch. Das Alter der

Untersuchten lag zwischen dem 3. und dem 17. Lebensjahr. Innerhalb von 12 Jahren sind in dieser Studie 3402 Röntgenaufnahmen ausgewertet worden. Die Methode beruht auf der Unterteilung von zehn Längenstadien, welche differenziert sind in z.B. die Hälfte der Krone oder zwei Drittel der Wurzel. Die Stadien von 1 bis 10 beginnen mit der noch nicht sichtbaren Mineralisation und enden mit der Komplettierung der Wurzelspitze. Festgestellt wurden geringe Entwicklungsunterschiede zwischen den Zähnen der rechten und der linken Kieferhälfte. Die Zahnentwicklung begann und endete bei den Mädchen früher als bei den Jungen, jedoch war der Unterschied nicht signifikant.

FANNING (1961) griff auf die Stadieneinteilung von GLEISER und HUNT (1955) zurück und erweitert diese um sieben neue Stadien, um eine größere Genauigkeit zu erhalten: Zwei weitere Initialstadien, zwei Stadien zur Wurzelbildung der Molaren und drei unterschiedliche Stadien für den Entwicklungsstand der Wurzelspitze wurden von der Autorin eingeführt. Die hinzugefügten Stadien sollten die Methode präzisieren, der Anwender sieht sich jedoch vor die Schwierigkeit gestellt, die minimalen Stadienunterschiede objektiv zu beurteilen, da sie in ihrer Differenziertheit stark von der Einschätzung des Beobachters abhängig sind.

MOORREES et al. (1963 a) untersuchten an 134 Kindern aus Boston und an 246 Kindern aus der Wachstumsstudie des Fels Research Institute von Ohio die oberen Incisivi sowie alle Unterkieferzähne, einschließlich der Weisheitszähne. Die Entwicklung der Schneidezähne teilten MOORREES et al. in 14 Stadien, die der unteren Eckzähne und Prämolaren in 13 und die der unteren Molaren in 20 Stadien ein. Für alle diese Stadien wurde bei jedem Zahn der Mittelwert des zugehörigen Alters mit ein- und zweifacher Standardabweichung angegeben. Diese Standardabweichung wurde einheitlich für alle Zähne aus dem Logarithmus des Alters beim Mittelwert errechnet. Die Autoren beabsichtigten damit nicht in erster Linie die Überprüfung der Eignung der vorgestellten Methode für die Altersbestimmung, sondern gingen der Frage nach, ob sich bei einem gegebenen Alter die einzelnen Zähne im „normalen Bereich der Entwicklung“ befinden.

Die Daten von MOOREES et al. (1963a) verwendete WOLANSKI (1966), um ein neues Verfahren zur Ermittlung des Zahnalters vorzustellen. Jedes Stadium der Mineralisation erhielt hierbei einen Punktwert und die Summe aller Punktwerte wurden in eine Normgrafik für die dentale Entwicklung übertragen. Der Nachteil

dieses Verfahrens lag darin, dass das jeweilige Gebiss vollständig sein musste, um eine aussagefähige Punktschme zu Altersbestimmung zu ermitteln.

An der umfangreichen Stadieneinteilung von MOOREES et al. (1963a) orientierten sich ebenfalls ANDERSON et al. (1976). Die Studie schloss insgesamt 230 Kinder ein. Die von MOOREES et al vorgestellten 14 Frontzahnstadien wurden für alle Zähne modifiziert und vereinheitlicht.

Auch HAAVICKO (1974), die in ihrer Studie zur Mineralisation der bleibenden Zähne das vollständige Gebiss von 1160 finnischen Kindern untersucht hat, legte eine Stadieneinteilung mit 12 Mineralisationsstadien für jeden Zahn vor.

LILIEQUIST und LUNDBERG (1971) untersuchten 287 Kinder und veröffentlichten ein System der dentalen Entwicklung, das auf der radiologischen Untersuchung der mandibulären Zähne (ausgenommen die dritten Molaren) und der Schneidezähne sowie der Eckzähne des Oberkiefers beruhte. Die oberen Prämolaren und Molaren wurden nicht untersucht, da hier die Anfertigung von Röntgenaufnahmen schwierig war. Zwischen der noch nicht mineralisierten Krone und der vollständig ausgebildeten Wurzel wurden acht Entwicklungsstadien festgelegt. Vier weitere Stadien bezogen sich auf die Wurzellänge und waren stark subjektiv geprägt (1/4, 2/3 und 3/4 der späteren Wurzellänge).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die in den 50er und 60er Jahren des letzten Jahrhunderts durchgeführten Studien einen Trend zur immer stärkeren Differenzierung der Stadien für die Mineralisation aufwiesen: GLEISER und HUNT mit 15 Stadieneinteilungen, FANNING mit 20 Stadieneinteilungen, MOORREES et al. mit 13, 14 und 20, ANDERSON mit 14 und HAAVICKO mit 12 Stadien. Hinter dieser Differenzierung stand das Ziel, die altersspezifischen Stadieneinteilungen so genau und spezifisch wie nur möglich zu gestalten. Für die Anwendung in der Praxis kann die übermäßige Differenzierung Fehlerquellen bedingen und zu Ungenauigkeiten führen, da der Unterschied zwischen den verschiedenen Stadien oft so minimal ist, dass die Zuordnung dem subjektiven Ermessen des Beobachters unterliegt. Das Einordnen in ein nächstes Stadium aber kann u. U. bereits eine zeitliche Differenz von bis zu zwei Jahren bedeuten. Besonders problematisch sind Stadieneinteilungen mit vielen Stadien hinsichtlich der späteren Wurzellänge zu bewerten, wie die Unterscheidung nach Vierteln (1/4, 1/2, 3/4) oder auch Dritteln (1/3, 2/3) der späteren Wurzellänge bei GLEISER und HUNT (1955), NANDA und

CHAWLA (1966) und FANNING (1961). Da es sich immer um angenommene Wurzellängen handelt, dürfte hier der zu erwartende subjektive Beobachterfehler relativ hoch ausfallen.

Eine weitere mögliche Fehlerquelle kann bei so starker Differenzierung schon allein durch die technische Qualität der Röntgenaufnahme entstehen, wenn z.B. die Schärfe der Abbildungen nicht in vollem Umfang gegeben ist und die ohnehin kaum erkennbaren Unterschiede mit dem Auge nicht deutlich wahrzunehmen sind.

### **Stadieneinteilungen mit weniger als 10 Mineralisationsstadien**

Andere Studien zur Altersbestimmung unter Verwendung der Zahnmineralisation gehen von wenigen, klar unterscheidbaren Einteilungen, 3 bis 8 Stadien aus.

Die von SCHOUR und MASSLER (1940) vorgenommene Einteilung der Mineralisation der dritten Molaren, die in den 50er Jahren des letzten Jahrhunderts in einem amerikanischen Handbuch über biologische Daten (SPECTOR 1956) veröffentlicht wurde, unterscheidet drei einfache Stadien: 1. Den Beginn der Mineralisation, der bei Jungen und Mädchen im Alter zwischen sieben und zehn Jahren lag, 2. die Kronenbildung, die zwischen 12 und 16 Jahren abgeschlossen war und 3. den Abschluss der Wurzelbildung, der zwischen dem 18. und dem 25. Lebensjahr erfolgte.

Hinsichtlich der Studien von GUSTAFSON und KOCH (1974) und GARN et al. (1958) wird auf die Vorkapitel verwiesen.

DEMIRJIAN et al (1973) untersuchten die Orthopantomogramme der ersten sieben Zähne des dritten Quadranten von 1446 Jungen und 1482 Mädchen aus dem frankokanadischen Raum im Alter von 3 bis 17 Jahren. Nach dem Grad der Mineralisation wurden acht Grund- Entwicklungsstadien festgelegt, die den Prozess vom ersten Auftreten der Kalzifikationspunkte bis zum Schluss des Apex beschrieben. Dabei wurden nicht nur Längenzuwachs der Zähne, sondern auch andere Mineralisationsmerkmale, wie parallel verlaufende Wurzelwände oder trichterartige Endungen der Wurzel berücksichtigt, welche als Merkmale im Einzelfall eindeutiger zu beurteilen waren. Eine weitere Vereinfachung erfolgte von Mincer et al. (1993).



KULLMAN et al. (1992) beschrieben 7 Stadien der Mineralisation, wobei sich die Autoren lediglich auf die Stadien der Wurzelentwicklung beschränkt haben. Die Entwicklung der Krone wurde in die Untersuchungen nicht mit einbezogen.

Auch HARRIS und NORTJE (1984), welche 407 Orthopantomogramme von Jugendlichen im Alter von 15 bis 21 Jahren untersucht haben, beschränkten sich auf die Entwicklung der Wurzel, für welche 5 Stadien bezogen auf die Wurzellänge und die Wurzelkanalwände beschrieben wurden. Hinsichtlich der Wurzellänge des unteren rechten 3. Molaren wurde ein 1. Stadium mit Erreichen von  $1/3$ , ein 2. Stadium mit Erreichen der halben und ein 3. Stadium mit dem Erreichen von  $2/3$  der späteren Wurzellänge eingeteilt. Da die tatsächliche Wurzellänge eine nicht bekannte Größe ist und demnach einen geschätzten Wert darstellt, unterliegen die Stadien 1 bis 3 in besonderem Maße der subjektiven Einschätzung durch den Beobachter. Das 4. und das 5. Stadium, welche durch divergierende bzw. konvergierende Wurzelkanalwände gekennzeichnet war, ließen sich jeweils besser abgrenzen.

### **Vergleichende Studien zur Validität**

Zwischenzeitlich liegt eine Anzahl von Arbeiten vor, welche verschiedene Stadieneinteilungen hinsichtlich ihrer Validität vergleichen. Insbesondere die skandinavischen Studien setzen sich mit der Frage auseinander, in wieweit die Methoden zur Altersbestimmung, die Demirjian et al. (1973) an einer franko-kanadischen Population gewonnen haben, auf die Population in Skandinavien angewendet werden könne.

HÄGG und MATSSON (1985) untersuchten insgesamt 300 schwedische Kinder im Alter von 3,5 bis 12,5 Jahren unter Verwendung der Stadieneinteilungen nach LILLEQUIST und LUNDBERG (1971), DEMIRJIAN et al. (1973) und GUSTAFSON und KOCH (1974). Im Rahmen von precision tests wurden jeweils der Binnen- und Zwischenbeobachtungsfehler für die einzelnen Methoden bestimmt. Hier wurden jeweils 60 Röntgenaufnahmen nochmals vom Erstuntersucher und nachfolgend vom Zweituntersucher beurteilt. Einen geringen Binnen- und Zwischenbeobachterfehler wiesen die Methoden nach DEMIRJIAN et al. (1973) und LILLEQUIST und LUNDBERG (1971) auf. Größere Binnen- und Zwischenbeobachtungsfehler ergaben sich für die Methode nach GUSTAFSON und KOCH (1974).

Im Rahmen von accuracy tests wurden die mittlere Abweichung und der Anstieg der linearen Korrelation zwischen geschätztem und chronologischem Alter bestimmt.

Eine hohe diesbezügliche Übereinstimmung ergab sich bei der Anwendung der Demirjian- Methode bei den 3,5 bis 6,5 Jahre alten Kindern. Bei den älteren Kindern zeigte die Methode von Demirjian eine geringere „accuracy“. Die „accuracy“ war bei Verwendung der Methode nach LILLEQUIST und LUNDBERG (1971) in allen Altersgruppen gering, wobei sich insgesamt ein Trend zur Unterschätzung ergab. Die „accuracy“ war bei Anwendung der von GUSTAFSON und KOCH (1974) beschriebenen Methode lediglich bei Anwendung auf männliche Probanden hoch.

PÖYRY, NYSTRÖM und RANTA (1986) verglichen die Stadieneinteilung von HAAVIKKO (1970), eine modifizierte Methode nach GLEISER und HUNT (1955) (Methode A), mit der Stadieneinteilung von DEMIRJIAN et al. (1973) (Methode B). Zwei Beobachter untersuchten die Mineralisation der jeweils 7 unteren linken Zähne anhand von 96 Orthopantomogrammen von 48 männlichen Probanden im Alter von 3 bis 14 Jahren, wobei sie jede Aufnahme nach einem zeitlichen Abstand ein zweites Mal beurteilten. Nachfolgend wurde jeweils der Binnen- und Zwischenbeobachterfehler bestimmt. Der Methode A lagen Daten zugrunde, die HAAVIKKO (1970) an einer finnischen Population gewonnen hatte. Das Gesamtschätzalter für die jeweilige Person wurde bei Verwendung der Methode A als mittleres Alter aus den sieben einzeln gewonnenen Werten ermittelt. Der Methode B lagen Daten einer kanadischen Population zugrunde. Das jeweilige Schätzalter wurde unter Zuhilfenahme der von DEMIRJIAN et al. (1973) entwickelten mathematischen Methoden ermittelt. Nach der Methode A von HAAVIKKO betrug der Binnenbeobachterfehler im Mittel 20,1% und nach der Methode B von DEMIRJIAN lediglich 10,2%. Der Zwischenbeobachterfehler lag bei Methode A (HAAVIKKO) bei 31,0% und bei Methode B (DEMIRJIAN) bei 19,2%. Bei Verwendung der Methode A unterschieden sich die Schätzergebnisse der Untersucher in 1,6% der Zähne um 2 und in 29,4% der Zähne um ein Stadium. Bei 69% der Zähne schätzten die Beobachter dasselbe Stadium. Bei Verwendung der Methode B unterschieden sich die Schätzergebnisse um maximal ein Stadium, aber insgesamt mit geringerer Tendenz als bei Verwendung der Methode A. Der Eckzahn war mit beiden Methoden am schwierigsten zu schätzen: Der Binnenbeobachterfehler betrug bei Methode A 31% und bei Methode B 19%, der Zwischenbeobachterfehler bei Methode A 36% und bei Methode B 27%.

Als schwierig zu schätzende Stadien erwiesen sich die Stadien Cco (coalescence of cups), Cr1/2 (crown 1/2 complete) und Crc (crown complete) der Methode A mit Binnenbeobachterfehlern von 37, 32 bzw. 35% und Zwischenbeobachterfehlern von 48, 45 bzw. 80% und das Stadium G (root walls are parallel, but apices remain open) der Methode B mit einem Binnenbeobachterfehler von 16 und einem Zwischenbeobachterfehler von 35%. Der Vorteil der von HAAVIKKO (1970) modifizierten Stadieneinteilung besteht nach Ansicht der Autoren darin, dass das Alter der Personen auch bei einer unvollständigen Dentition geschätzt werden kann. Der Vorteil der Stadieneinteilung nach Demirjian läge in der geringeren Anzahl der Stadien. Unter Verwendung der Methode von DEMIRJIAN et. al. (1973) unterschied sich das Schätzalter nur wenig vom chronologischen Alter, während unter Verwendung der Stadieneinteilung nach HAAVIKKO eine Differenz von 6 bis 12 Monaten auftrat.

STAAF, MÖRNSTAD und WELANDER (1991) prüften die Validität von drei Methoden (DEMIRJIAN, HAAVIKKO, LILIEQUIST u. LUNDBERG) zur Zahnalterbestimmung anhand der Orthopantomogramme von 541 schwedischen Kindern beiderlei Geschlechts im Alter von 5,5 bis 14,5 Jahren. 37 zufällig ausgewählte Orthopantomogramme wurden von demselben Beobachter ein zweites Mal geprüft. Die Verwendung der Stadieneinteilungen nach HAAVIKKO (1970) und LILLIEQUIST und LUNDBERG (1971) erbrachte bessere Ergebnisse als die Verwendung der Stadieneinteilung nach DEMIRJIAN et al. (1973); welche zu einer geringen, aber konstanten Überschätzung des Zahnalters bei den schwedischen Kindern führte. Bei Verwendung der Stadieneinteilung nach DEMIRJIAN et al. (1973) wurden beide Geschlechter etwa 6–10 Monate überschätzt. Bei der Anwendung der Stadieneinteilungen von HAAVIKKO (1970) bzw. LILIEQUIST und LUNDBERG (1971) zeigte sich eine geringere Unter- bzw. Überschätzung von 6-7 bzw. 7 Monaten. Der Binnenbeobachterfehler war bei allen drei verwendeten Methoden gering und nicht signifikant. Aufgrund der geringen Validität der Stadieneinteilung nach DEMIRJIAN et al. (1973) diskutieren die Autoren mögliche ethnische Differenzen zwischen der ursprünglichen Referenzpopulation und den hier untersuchten Probanden.

Zu vergleichbaren Aussagen hinsichtlich der ethnischen Differenzen kamen MÖRNSTAD, REVENTLID und TEIVENS (1995), welche vier verschiedene Methoden der Zahnalterbestimmung hinsichtlich ihrer Validität für die schwedische

Bevölkerung geprüft haben. Die Autoren werteten 197 Orthopantomogramme von schwedischen Kindern im Alter von 5, 6, 9 und 12 Jahren aus und ließen den Stand der Mineralisation der unteren sieben Zähne nach den Stadieneinteilungen von DEMIRJIAN et al. (1973) HAAVIKKO (1970, 1974), GUSTAFSON u. KOCH (1974) und LILIEQUIST und LUNDBERG (1975) von 13 unabhängigen Kinderzahnärzten, Radiologen und forensischen Odontologen bestimmen. Hinsichtlich der Übereinstimmung zwischen dem geschätzten und dem chronologischen Alter ergab die Methoden von DEMIRJIAN et al (1973), bei den schwedischen Kindern ebenfalls eine konstante Überschätzung des Alters von bis zu einem Jahr und teilweise auch darüber: Bei den fünfjährigen Jungen und Mädchen betrug die Überschätzung jeweils 0,4-1,5 Jahre bzw. 1,1-1,7 Jahre, bei den sechsjährigen Jungen waren es 0,9-1,3 Jahre und bei den Mädchen 1,0-1,3 Jahre. Bei den Neunjährigen war die Überschätzung des Alters vergleichsweise gering, für Jungen betrug sie 0,5 Jahre und für Mädchen 0,5-0,7 Jahre. Bei den Zwölfjährigen war die Überschätzung des Alters für Jungen (0,6-1,8 Jahre) und für Mädchen (0,5-1,8) fast gleich hoch. Die Autoren bezogen die in einer Studie von KATAJA et al. (1989) unter Verwendung der Kriterien von DEMIRJIAN et al. (1973) an einer finnischen Population gewonnenen Referenzwerte in die Studie ein. Die Altersüberschätzung fiel bei Verwendung der von KATAJA et al. (1989) mitgeteilten skandinavischen Referenzwerte insgesamt geringer aus und betrug lediglich 0,1-0,8 Jahre. Damit erreichte die Stadieneinteilung nach DEMIRJIAN die beste Übereinstimmung zwischen dem geschätzten und dem chronologischen Alter. Als Schlussfolgerung erheben die Autoren die Forderung nach populationsspezifischen Referenzdaten, um die Aussagesicherheit der Schätzergebnisse zu erhöhen.

KULLMAN (1995) setzte bei einer Studie an 72 schwedischen Jugendlichen (Jungen und Mädchen) im Alter von 12-19 Jahren zwei dentale und eine skelettale Untersuchungsmethode (Atlasmethode nach Greulich und Pyle) zur Altersschätzung ein und verglich diese hinsichtlich der Übereinstimmung der jeweils ermittelten Schätzalter mit dem entsprechenden chronologischen Alter (accuracy). Ziel der Studie war die Feststellung der zur Altersschätzung am besten geeigneten Methode sowie die Gewinnung von Erkenntnissen hinsichtlich einer möglichen Erhöhung der Aussagesicherheit durch Kombination zweier oder mehrerer Methoden. Untersucht wurden die entsprechenden Handröntgenaufnahmen und Orthopantomogramme. Alle drei Methoden führten zu einer Überschätzung des chronologischen Alters. Bei der

Anwendung der skelettalen Methode betrug die durchschnittliche Überschätzung 0,4 Jahre. Bei der Anwendung der subjektiven dentalen Methode wurden die Probanden im Mittel 1,2 Jahre und bei der metrischen dentalen Messmethode im Mittel 1,5 Jahre älter eingeschätzt. Die einfache Standardabweichung betrug je nach Geschlecht für die skelettale Methode 1.0 bis 1.1, für die subjektive dentale Methode 1.0 bis 1.4 und für die metrische dentale Methode 1.1 bis 1.2 Jahre. Die dentalen Methoden wiesen demnach in der untersuchten Altersgruppe eine geringere accuracy auf als die verwendete Atlasmethode nach Greulich und Pyle. Als mögliche Erklärung komme nach Ansicht des Autors die Tatsache in Betracht, dass Unterschiede zwischen der kanadischen Referenzpopulation und der aktuell untersuchten schwedischen Population bestehen und das Untersuchungsergebnis beeinflusst haben könnten (subjektive dentale Methode). Eine mögliche Ursache für die geringere accuracy könne darin bestehen, dass als Referenzpopulation für die metrische dentale Methode eine relativ homogene Population aus der Region um Stockholm diente, während die hier untersuchten Probanden aus der Region Südschweden kamen. Darüber hinaus sei die untersuchte Stichprobe eher klein gewesen. Der Autor diskutiert die Homogenität und die Besetzung der Altersgruppen kritisch.

REVENTLID et al. (1996) verglichen die Methoden nach GUSTAFSON und KOCH (1974), LILIEQUIST und LUNDBERG (1971), DEMIRJIAN et al. (1973) und HAAVIKKO (1974) hinsichtlich der jeweiligen Binnen- und Zwischenbeobachterfehler. Die Orthopantomogramme von 197 schwedischen Kindern im Alter von 5, 6, 9 und 12 Jahren wurden von 13 unabhängigen Beobachtern beurteilt, wobei 28 Orthopantomogramme von 12 Beobachtern nach etwa zwei Jahren ein zweites Mal untersucht wurden. Eine Kalibrierung der Beobachter wurde an jeweils einem Orthopantomogramm aus jeder Altersgruppe durchgeführt. Eine weitergehende Einarbeitung der Untersucher wurde somit vermieden, um möglichst realitätsnah den Zwischenbeobachterfehler bestimmen zu können. Der Binnenbeobachterfehler betrug im Mittel 0,03 bis 0,20 Jahre. Statistisch signifikante Unterschiede ergaben sich in der Altersgruppe der 6- und 9-Jährigen bei Verwendung der Methode von HAAVIKKO (1974) und in der Altersgruppe der 12jährigen bei Verwendung der Stadieneinteilung nach GUSTAFSON und KOCH (1974) und DEMIRJIAN et al. (1973). Es zeigte sich keine systematische Über- oder Unterschätzung durch einen oder mehrere Untersucher.

Obwohl in einzelnen Altersgruppen bei der Anwendung bestimmter Methoden signifikante Binnenbeobachterfehler festgestellt werden konnten, betrug die mittlere Differenz der absoluten Werte lediglich 2,5 Monate. Bezüglich des Zwischenbeobachterfehlers zeigten sich signifikante Unterschiede hinsichtlich der Schätzalter bei allen Untersuchern, Altersgruppen und Stadieneinteilungen. Die Streubreite der mittleren Schätzalter betrug für alle Untersucher und Methoden 0,8 bis 1,2 Jahre. Die Streubreite der individuellen Schätzalter variierte zwischen 3,2 und 8 Jahren, wobei die Streubreite bei Verwendung der Methode nach HAAVIKKO (1974) besonders niedrig und bei Anwendung der Methode nach GUSTAFSON und KOCH (1974) besonders hoch war. Hinsichtlich der mittleren Schätzalter zeigte sich in allen Altersgruppen bei Verwendung der Methoden von GUSTAFSON und KOCH (1974) und DEMIRJIAN (1973) ein Trend zur Überschätzung des Alters. Die Anwendung der Methode nach LILIEQUIST und LUNDBERG (1971) führte in den Altersgruppen der 5- und 6jährigen zu einer Unterschätzung, während die Verwendung der Stadieneinteilung von HAAVIKKO (1974) zu einer Überschätzung derselben Altersklasse führte. In den Altersgruppen der 9 und 12jährigen ergab die Anwendung der Methode nach LILIEQUIST und LUNDBERG eine Überschätzung und die Methode nach HAAVIKKO (1974) eine Unterschätzung des chronologischen Lebensalters der Probanden. Im Ergebnis wurden unterschiedliche Schätzalter in einzelnen Altersgruppen bei Anwendung einzelner Stadieneinteilungen ermittelt. Es zeigte sich jedoch kein Trend zu einer systematischen Über- oder Unterschätzung durch einzelne Untersucher. Der Unterschied zwischen dem mittleren Schätzalter und dem chronologischen Alter betrug bis zu 1,1 Jahren, die Differenz zwischen geschätztem individuellem und tatsächlichem Alter jedoch bis zu 4 Jahre. Die Unterschiede fielen in den unteren Altersklassen geringer und in den oberen Altersklassen höher aus. Nach Ansicht der Autoren sollte die natürliche Variabilität des Entwicklungsstandes der Kinder in den unterschiedlichen Altersgruppen nicht unterschätzt werden. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass im konkreten Fall ein großer Teil der möglichen Differenz zwischen individuellem Schätzalter und chronologischem Alter aus der individuellen Variation der Zahnentwicklung und dem Zwischenbeobachterfehler resultiert, jedoch nur ein geringerer Teil aus dem jeweiligen Binnenbeobachterfehler.

Alle bisher vorliegenden vergleichenden Studien (HÄGG u. MATSSON 1985, STAAF et al 1991, KULLMAN 1995, MÖRNSTAD et al. 1995, REVENTLID et al. 1996) sind

von eingeschränkter Aussagekraft, da sie jeweils auf die meist unzulänglichen und nicht vergleichbaren Stichproben der methodenbeschreibenden (Erst-) Untersuchung Bezug nehmen. Durch das in der vorliegenden Studie gewählte Vorgehen wird eine neue Lösungsmöglichkeit dieses methodischen Problems vorgestellt.

In der vorliegenden Arbeit werden fünf verschiedene Stadieneinteilungen zur Zahnmineralisation nach Kenntnis der Autorin erstmalig unabhängig von der ursprünglich zugrunde liegenden Referenzpopulation hinsichtlich ihrer Validität verglichen, wobei eine eindeutige Zuordnung zu einer konkreten Untersuchungssystematik bewusst unterbleibt (Mineralisationsstadien/ Mineralisations- und Eruptionsstadien). Die Einbeziehung der Stadieneinteilungen von GLEISER und HUNT (1955), GUSTAFSON und KOCH (1974), HARRIS und NORTJE (1984), KULLMAN et al. (1992) sowie DEMIRJIAN et al. (1973), modifiziert von MINCER et al. (1993) in die vorliegende Studie berücksichtigt sehr unterschiedliche Einteilungsmöglichkeiten. Insbesondere war von Interesse, inwieweit die Stadienanzahl das Schätzergebnis tatsächlich beeinflussen kann.

Es wurden insgesamt 420 konventionell gefertigte Orthopantomogramme von weiblichen deutschen Probanden im Alter von 12 bis 25 Jahren untersucht. Jedes Röntgenbild wurde mit einer Identifizierungsnummer versehen, die Geburtsdaten wurden fallbezogen erfasst. Untersucht wurde ausschließlich der Mineralisationsstand des unteren linken Weisheitszahns (Zahn 38).

Die Orthopantomogramme wurden von zwei unabhängigen Beobachtern untersucht (A und B). Beobachter A untersuchte die Orthopantomogramme ein zweites Mal (A2). Zwischen beiden Untersuchungen (A1 und A2) lag ein halbes Jahr. Es wurden jeweils Binnen- und Zwischenbeobachterfehler bestimmt. Unter Verwendung aller 5 Methoden zeigte weder der Vergleich aller 3 Begutachtungen (A1, A2 und B), der Begutachtungen A1 und B, A2 und B sowie A1 und A2 signifikante Unterschiede. Den insgesamt höchsten inter- und intraindividuellen Übereinstimmungsgrad zwischen den Begutachtern (Intraklass-Korrelation) sowie die größte Übereinstimmung zwischen Schätzalter und chronologischem Alter zeigte die Stadieneinteilung nach DEMIRJIAN et al. (1973).

Zusätzlich und als Ergänzung zur Varianzanalyse wurde mittels der Berechnung des gewichteten Kappa-Koeffizienten (FLEISS 1981) für jeweils zwei (rangskalierte) Begutachtungen inter- und intraindividuell der Grad der Übereinstimmung zwischen

den Begutachtern eingeschätzt (Intraklass-Korrelation). Zu jedem ermittelten Kappa-Koeffizienten sind darüber hinaus 95% Konfidenzintervalle berechnet worden.

Es erscheint plausibel, dass die Methode, für welche die größten Übereinstimmungen bestehen, d.h. welche mit einer geringen Variabilität der Begutachtungen einhergeht, besonders günstig ist.

Die Einschätzung der Übereinstimmung der aus der jeweiligen Methode erhaltenen Stadien/Scores in Bezug zum tatsächlichen Alter geschah mittels direktem Vergleich der kategorial- skalierten Stadien/Score-Beurteilung mit dem intervall- skalierten Alter durch den Eta-Koeffizienten (SIEGEL 1956).

Diejenige Methode mit der höchsten Übereinstimmung gilt als die beste. Im Sinne der oben angeführten Argumentationen erweist sich die Methode „Demirjian“ als die günstigste unter den 5 ausgewählten Methoden.

Es wird geschlussfolgert, dass zur Bestimmung des Mineralisationsstandes der dritten Molaren die Stadieneinteilung von DEMIRJIAN et al. (1973) modifiziert nach MINCER et al. (1993) verwendet werden sollte, welche eine das Schätzergebnis anscheinend günstig beeinflussende Anzahl von Mineralisationsstadien unterteilt. Die Verwendung von Stadieneinteilungen, welche nur wenige Stadien unterscheiden, erweist sich in der Altersschätzungspraxis als unvorteilhaft, da wegen des höheren Altersabstandes zwischen den Stadien bei Bestimmung eines falschen Stadiums schnell ein entsprechend großer Schätzfehler resultiert. Die Verwendung von Stadieneinteilungen, welche einerseits durch zahlreiche und andererseits durch vor allem von spekulativen Längenschätzungen geprägte Stadien gekennzeichnet sind, führt ebenfalls zu einer Verschlechterung des Schätzergebnisses. Hierbei scheint der Nachteil der stark subjektiv geprägten Vorgehensweise und der schlechten Abgrenzbarkeit der einzelnen Stadien den Vorteil des geringeren Altersabstandes zwischen den Stadien zu kompensieren (OLZE et al. 2005).



## 7. Zusammenfassung

Die Untersuchung der komplexen entwicklungsbiologischen Vorgänge von Zahnmineralisation und -durchbruch prägte in den letzten Jahren die Forschungstätigkeit auf dem Gebiet der forensischen Altersdiagnostik bei Lebenden maßgeblich. Zwischenzeitlich liegen valide Referenzwerte hinsichtlich des zeitlichen Durchlaufens der verschiedenen Stadien der Weisheitszahnmineralisation und -eruption für die ethnischen Hauptgruppen vor. Die forensische Altersschätzung Lebender sollte unter Verwendung von populationsspezifischer Referenzdaten erfolgen (OLZE et al. 2001; OLZE et al. 2003a, 2003b, 2003c; OLZE et al. 2004; OLZE et al. 2007a, 2007b; OLZE et al. 2008a, 2008b)

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit haben nicht unerheblich die Wahl des in den von der Berliner Arbeitsgruppe durchgeführten Referenzstudien verwendeten Methodenspektrums beeinflusst, da aufgrund des unterschiedlichen Designs der zur Verfügung stehenden Studien zunächst unklar war, welche Stadieneinteilung für die Beurteilung des zeitlichen Ablaufs der Weisheitszahnmineralisation geeignet wäre.

Es wurden fünf verschiedene Stadieneinteilungen zur Zahnmineralisation nach Kenntnis der Autorin erstmalig unabhängig von der ursprünglich zugrunde liegenden Referenzpopulation hinsichtlich ihrer Validität verglichen (GLEISER und HUNT 1955, GUSTAFSON und KOCH 1974, HARRIS und NORTJE 1984, KULLMAN et al. 1992 sowie DEMIRJIAN et al. 1973, modifiziert von MINCER et al. 1993).

Zur Untersuchung kamen insgesamt 420 konventionell gefertigte Orthopantomogramme von weiblichen deutschen Probanden im Alter von 12 bis 25 Jahren. Jedes Röntgenbild wurde mit einer Identifizierungsnummer versehen, die Geburtsdaten wurden fallbezogen erfasst. Untersucht wurde ausschließlich der Mineralisationsstand des unteren linken Weisheitszahns (Zahn 38). Die Orthopantomogramme wurden von zwei unabhängigen Beobachtern untersucht (A und B). Beobachter A untersuchte die Orthopantomogramme ein zweites Mal (A2). Zwischen beiden Untersuchungen (A1 und A2) lag ein halbes Jahr. Es wurden jeweils Binnen- und Zwischenbeobachterfehler bestimmt.

Zusätzlich und als Ergänzung zur Varianzanalyse wurde mittels der Berechnung des gewichteten Kappa-Koeffizienten (FLEISS 1981) für jeweils zwei (rangskalierte) Begutachtungen inter- und intraindividuell der Grad der Übereinstimmung zwischen den Begutachtern eingeschätzt (Intraklass-Korrelation).

Die Einschätzung der Übereinstimmung der aus der jeweiligen Methode erhaltenen Stadien/Scores in Bezug zum tatsächlichen Alter geschah mittels direktem Vergleich der kategorial-skalierten Stadien/Score-Beurteilung mit dem intervall-skalierten Alter durch den Eta-Koeffizienten (SIEGEL 1956).

Im Ergebnis der vorliegenden Studie wird geschlussfolgert, dass zur Bestimmung des Mineralisationsstandes der dritten Molaren die Stadieneinteilung von DEMIRJIAN et al. (1973), modifiziert von MINCER et al. (1993) verwendet werden sollte, da sie von allen hier geprüften Methoden die größte Validität, d.h. Übereinstimmung zwischen dem geschätzten und dem chronologischen Alter, aufweist (OLZE et al. 2005).

## 8. Literaturverzeichnis

1. Aitasalo K, Lehtinen R, Oksala M (1972): An orthopantomographic study of prevalence of impacted teeth. *Int J Oral Surg*. Vol. 1: 117-120
2. Alt KW, Rösing FW, Teschler-Nicola M (Hsg.) (1997): *Dental anthropology. Fundamentals, limits and prospects*, Wien, New York
3. Anderson D.L., Thompson GW, Popovich F (1976): Age of attainment of mineralization stages of the permanent dentition. *J Forensic Science*, Vol. 21: 191–200
4. Angenendt S (1999): Menschenströme. Die weltweite Migration. *Internationale Politik*, 54: 1-10
5. Berkowitz BKB, Bass TP (1976): Eruption rates of human upper third molars. *J Dent Res* 55: 460-464
6. Billewicz WZ, McGregor I A (1975): Eruption of permanent teeth in West African (Gambian) children in relation to age, sex, and physique. *Ann. Hum. Biol* Vol 2: 117-127
7. Björk A, Jensen E, Palling M (1956): Mandibular growth and third molar impaction. *Acta Odontol Scand* Vol. 14: 231-272
8. Brächer T (1999): Computergestützte Altersbestimmung Jugendlicher durch Beurteilung des Wachstums der 3. Molaren in Orthopantomogrammen. Inaug Diss, Frankfurt am Main
9. Brauer JC, Bahador MA (1942): Variations in calcification and eruption of the deciduous and permanent teeth. *J Amer Dental Ass* Vol. 29: 1373–138
10. Cameriere R, Ferrante L, De Angelis D, Scarpino F, Galli F (2008): The comparison between measurement of open apices of third molars and Demirjian stages to test chronological age of over 18 year olds in living subjects. *Int J Legal Med* 122(6):493-497
11. Carr LM (1962): Eruption ages of permanent teeth. *J Austr Dent* Vol. 7: 367-373
12. Clements EMB, Davies-Thomas E, Pickett KG (1953): Time of eruption of permanent teeth in British Children in 1947/48. *J Brit Med* 67: 1421
13. Clow JM (1984): A radiographic survey of third molar development: A comparison. *British J orthodont* 11, Vol. 1: 9–15
14. Cohen JT (1928): The dates of eruption of the permanent teeth in a group of Minneapolis children: A preliminary report. *J Amer Dent Ass*. 15: 2337

15. Dahlberg AA, Menegaz-Bock R (1958): Emergence of the permanent teeth in Pima Indian Children. *J Dent Res* 37:1123–1140
16. Dahlberg G, Manusbach AB (1948): The eruption of the permanent teeth in the normal population of Sweden. *Acta genet* 1: 77
17. Demirjian A, Goldstein H, Tanner JM (1973): A new system of dental age assessment. *Hum Biol* 45: 221-227
18. Demirjian A, Goldstein H (1976): A new system for dental maturity based on seven and four teeth. *Ann Hum Biol*, Vol. 3: 411–421
19. Demirjian A (1978): The Dentition. In: Falkner, F., Tanner, J. M. *Human Growth*, Vol. 2, Plenum Press New York
20. Demirjian A, Levesque GY (1980): Sexual Differences in Dental Development and Prediction of Emergence. *J Dent Res*, Vol. 59, No. 7: 1110–1122
21. Demirjian A, Levesque GY, Tanguay R (1981): Sexual dimorphism in the development, emergence and agenesis of the mandibular third molar. *J Dent Res*, Vol. 60, No.10: 1735–1741
22. Demirjian A (1986): Dentition. In: Falkner, F., Tanner, J. M. (eds). *Human growth*. Academic Press, New York, London: 269 - 298
23. Demisch A , Wartmann P (1956): Calcification of the mandibular third molar and its relation to skeletal and chronological age in children. *Child Dev* 13: 113
24. Dünkel F, van Kalmthout A, Schüler-Springorum H (Hrsg.) (1997): *Entwicklungstendenzen und Reformstrategien im Jugendstrafrecht im europäischen Vergleich*. Forum, Mönchengladbach
25. Engström C, Engström H, Sagne S (1983): Lower third molar development in relation to skeletal maturity and chronological age. *Angle Orthod* Vol. 53: 97-106
26. Eveleth PB (1966): Eruption of permanent dentition and menarche of American children living in the tropics. *Human Biol*, Vol. 38: 60-70
27. Eveleth PB, Tanner JM (1976): *Worldwide variation in human growth*. Cambridge University Press: 198–261
28. Falkner F, Tanner JM (Hrsg.) (1986): *Human Growth. A comprehensive treatise*. Second edition. Vol. 2: *Postnatal Growth Neurobiology*. New York a. London

29. Fanning EA (1961): A longitudinal study of tooth formation and root resorption. *N Z Dent*. Vol. 57: 202
30. Fleischer-Peters A (1987): Die Bedeutung der Zähne für die Altersschätzung von Findelkindern. *Dtsch Zahnärztl Z*, Nr. 42: 712 – 718
31. Garcia P (1944): Contribución al estudio de la cronología de la calcificación y erupción dentaria. Doctoral thesis, School of Odontology, University of Buenos Aires
32. Garn SM, Lewis AB, Polacheck DL (1958): Variability of tooth formation in man. *Science* 128: 1510
33. Garn SM, Lewis A, Vicinius J (1963): Third molar polymorphism and its significance to dental genetics. *J Dent Res*, Vol. 42, Nr. 6: 1344–1363
34. Garn SM, Lewis AB, Koski K, Polacheck DL (1985): The Sex Difference in Tooth Calcification. *J Dent Res*, Vol. 37: 561–567
35. Garn SM, Lewis AB, Bonné B (1962): Third molar Formation and its Development Course. *Angle Orthod*, Vol. 32: 270–279
36. Garn SM, Lewis AB, Kerewsky RS (1965): Genetic, nutritional and maturational correlates of dental development. *J Dent Res*, Vol. 44: 228-243
37. Garn SM, Russell AL (1971): The effect of nutritional extremes on dental development. *Am. J Clin Nutr*, Vol. 24: 285–286
38. Gates RE (1964): Eruption of permanent teeth in New South Wales school children. *Austr Dent J*, Vol. 9:S. 211-218
39. Geserick G, Schmeling A (2001): Übersicht zum gegenwärtigen Stand der Altersschätzung Lebender im deutschsprachigen Raum. In: Oehmichen, M. und Geserick, G.: *Osteologische Identifikation und Altersschätzung*. *Research in Legal Medicine*, Vol 26: 255–261
40. Geserick, G., Reisinger, W., Schmeling, A., Olze, A. (2002): Forensische Altersdiagnostik. In: Söseman, B. (Hrsg.): *Jahrbuch 2001 der Berliner Wissenschaftlichen Gesellschaft*, Berlin: Berlin Verlag, Arno Spitz GmbH: 95-105
41. Gleiser I, Hunt EE (1955): The Estimation of Age and Sex of praeadolescent Children from Bones and Teeth. *Am J Phys Anthr*, Vol. 13: 479-488
42. Gleiser I, Hunt EE JR (1995): The permanent mandibular first molar: its calcification, eruption and decay. *Am J Phys Anthr*, Vol.13: 253–284

43. Gorgani N, Sullivan RE, DuBois L (1990): A Radiographic Investigation of Third-Molar Development. *J Dent for Children*, Vol. 57, No. 2: S106–110
44. Gustafson G. (1955): Altersbestimmungen an Zähnen. *Dtsch Zahnärztl Z* Jg.10: 1763-1768
45. Gustafson G, Koch G (1974): Age estimation up to 16 years of age based on dental development. *Odont Rev*, Vol. 25:297-306
46. Hägg U, Matsson L.(1985): Dental maturity as an indicator of chronological age: the accuracy and precision of three methods. *Eur J Orthod*, Vol: 7: 25-34
47. Harris MJP, Nortje CJ (1984): The mesial root of the third mandibular molar. A possible indicator of age. *J Forens Odontostomatol*: 39-43
48. Harris EF, Mc Kee JH (1990): Tooth Mineralization Standards for Blacks and Whites from the Middle Southern United States. *J For Sci*, Vol. 35, No. 4: 859–872
49. Harris EF (1992): Regional differences in tooth and bone development. *Am J Orthod Dentofac Orthop*, Vol. 101, Number 2: 151
50. Haavikko, K. (1970): The formation and the alveolar and clinical eruption of the permanent teeth. An orthopantomographic study. Thesis. *Suom Hammaslääk Toim*, 66: 103
51. Heida T (1989): Calcification of the permanent first molars observed in panoramic radiographs. *J Osaka dent*, 23: 45–55
52. Hess AF, Lewis JM, Roman B (1932): A radiographic study of calcification of the teeth from birth to adolescence. *Dental Cosmos*, Vol.74: 1053–1061
53. Hiemer HR.(1975): Untersuchungen zur Altersbestimmung an Zähnen. Diss München
54. Hotz R (1959): The relation of dental calcification to chronological and skeletal age. *J Eur Orthod*:140
55. Hotz R, Boulanger F, Weisshaupt, H (1959): Calcification time of permanent teeth in relation to chronological and skeletal age in children. *Helvet Odont Acta*, Nr. 3: 4–9
56. Infante, PF (1974): Sex difference in the chronology of deciduous tooth emergence in white and black children. *J Dent Res*, Vol. 53: 418
57. Johanson G (1971): Age determination from human teeth, a critical evaluation with special consideration of change after 14 years of age. *Odontol Rev*, Suppl. Vol. 21: 1–126

58. Kaatsch HJ (2001): Juristische Aspekte der Altersschätzung. In: Oehmichen, M., Geserick, G. (Hrsg.). Osteologische Identifikation und Altersschätzung. Research in Legal Medicine, Vol 26, Lübeck
59. Kahl B, Schwarze CW (1988): Aktualisierung der Dentitionstabelle von Schour und Massler von 1941. Fortschr Kieferorthop; Nr. 49: 432–443
60. Kataja M, Nyström M, Aine L (1989): Dental maturity standards in southern finland. Proc Finn Dent Soc 85,: 187-197
61. Knell B, Ruhstaller P, Prieels F, Schmeling A (2009): Dental age diagnostics by means of radiographical evaluation of the growth stages of lower wisdom teeth. Int J Legal Med (Epub ahead of print)
62. Knußmann P (1988): Anthropologie. Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen, Thieme Stuttgart
63. Köhler S, Schmelze B, Loitz S, Püschel K (1994): Die Entwicklung des Weisheitszahnes als Kriterium der Lebensalterbestimmung. Ann Anat, Vol. 176: 339-345
64. Koshy S, Tandon S (1998): Dental age assessment: The applicability of Demirjian's method in South Indian children. Forens Sci Int, Vol. 94: 73–85
65. Kreitner KF, Schweden FJ, Riepert T, Nafe B, Thelen M (1998): Bone age determination based on the study of the medial extremity of the clavicle. Eur Radiol, Vol.8: 1116–1122
66. Krumholt L, Roed-Petersen B, Pindborg JJ (1971): Eruption times of the permanent teeth in 662 Ugandan children. Arch Oral Biol; Vol. 16: 1281-1288
67. Kullman L, Martinsson T (1988): The accuracy of measuring tooth lengths from intraoral radiographs using computerized registration. Dentomaxillofac Radiol; Vol. 17: 105 - 107
68. Kullman L, Johanson G, Akesson L (1992): Root development of the lower Third molar and its relation to chronological age. Swed Dent J, Vol. 16: 161-167
69. Kullman L (1995): Accuracy and precision in some dental radiographic methods. A methodological study with special considerations in age estimation in juveniles. Swed dent J, Suppl. 104: 1–38
70. Kullman L (1995): Accuracy of two dental and one skeletal age estimation method in Swedish adolescents. Forens Sci Int, Vol. 75: 225–236

71. Kullman L, Martinsson T, Zimmermann M, Welander U (1995): Computerized measurements of the lower third molar related to chronologic age in young adults. *Acta Odontol Scand*; Vol. 53: 211-216
72. Kullman L, Trontje G, Teivens A, Lundholm A (1996): Methods of reducing observer variation in age estimation from panoramic radiographs. *Dentomaxillofac Radiol*, Vol. 25: 173–178
73. Kvaal S I, Sellevold BJ, Solheim T (1994): A Comparison of Different Non-destructive Methods of Age Estimation in Skeletal Material. *Int J Osteoarch*, Vol. 4: 363-370
74. Kvaal SI, Kolltveit KM, Thomsen IO, Solheim T (1995): Age estimation from adults from dental radiographs. *Forens Sci Int*, Vol. 28: 175-185
75. Lampe H, Röttscher K (1994): Forensic odontology, age determination from adult human teeth. *Medical law*, Heft 13, S. 623 – 628
76. Levesque GY, Demirjian A (1981): The Inter-Examiner Variation in Rating Dental Formation from Radiographs. *J Dent Res*, Vol. 59, No. 7: 1123–1126
77. Lewis AB, Garn SM (1960): The relationship between tooth formation and other maturational factors. *Angle Orthod*, Vol. 30: 70-77
78. Liliequist B, Lundberg M (1971): Skeletal and tooth development. A methodologic investigation. *Acta Radiol Diagn*, Vol. 11: 97-112
79. Liversidge H, Herdeg B, Rösing FW (1998): Dental age estimation of non-adults. A review of methods and principles. In: Alt, K.W., Rösing, F.W., Teschler-Nicola, M. (eds) *Dental anthropology. Fundamentals, limits, and prospects*. Berlin, Heidelberg, New York: 419–442
80. Lockemann U, Fuhrmann A, Gehl A, Püschel K (2001): Altersschätzung bei syllsuchenden und Straftätern in Hamburg. In: Oehmichen, M., Geserick, G. Hrsg.). *Osteologische Identifikation und Altersschätzung. Research in Legal Medicine*, Vol 26, Lübeck
81. Logan W, Kronfeld R (1933): Development of the human jaws and surrounding structures from birth to the age of fifteen years. *J Amer Dent Ass.*, 20: 379
82. Loitz C (1992): Untersuchungen zur Entwicklung des Weisheitszahnes als ein Kriterium der Alterbestimmung. *Diss Hamburg*



83. Lucy D, Pollard AM (1995): Further comments on the estimation of error associated with the Gustafson dental age estimation method. *J Forens Sci*, Vol. 40: 222 – 227
84. Marshall WA, Tanner JM (1969): Variations in pattern of pubertal changes in girls. *Arch Dis Child* 44 (235): 291-303
85. Marshall WA, Tanner JM (1970): Variations in pattern of pubertal changes in boys. *Arch Dis Child* 45 (239): 13-23
86. Massler M, Schour I, Poncher HG (1941): Developmental pattern of the child as reflected in the calcification pattern of the teeth. *Am J Children*, Vol. 62: 33–67
87. Mincer HM, Harris EF, Berryman H E (1993): The A.B.F.O. Study of third molar development and its use as an estimator of chronological age. *J Forens Sci*, Vol. 38, No.2: 379–390
88. Mörnstad H, Staaf V, Welander, U (1994): Age estimation with the aid of tooth development: a new method based on objective measurements. *Scand J Dent Res*, Munksgaard, Vol. 102: 137-143
89. Mörnstad H, Reventlid M, Teivens M (1995): The validity of four methods for age determination by teeth in Swedish children. *Swed Dent J* 19: 121-130
90. Moorrees CFA, Fanning EA Hunt, E E (1963a): Age variation of formation stages for ten permanent teeth. *J Dent Res*, Vol. 42, No. 6: 1490–1502
91. Moorrees CFA, Fanning EA, Hunt EE (1963 b): Formation and resorption of three deciduous teeth in children. *Am J Phys Anthropol* Vol 21: 205-213
92. Moyers RE (1963): *Handbook of Orthodontics*. B. Development of the dentition and occlusion. The Year Book Medical Publishers, Inc., Chicago: 51
93. Müller HR (1983): Eine Studie über die Inkonstanz des dritten Molaren (Fehlen, Anlage, Durchbruch). Diss Dresden
94. Müller N (1990): Zur Altersbestimmung beim Menschen unter besonderer Berücksichtigung der Weisheitszähne. Diss Erlangen-Nürnberg
95. Nanda RS (1960): Eruption of human teeth. *Am J Orthod*, Vol. 46: 363 – 378
96. Nanda RS, Chawla TN (1966): Growth and development of dentition of Indian children. I. Development of permanent teeth. *Am J Orthod*, Vol. 52: 837
97. Niswander J D (1963): Effects of heredity and environment on development of dentition. *J Dent Res*, Vol. 42: 1288–1296

98. Nolla CM (1960): The Development of the Permanent Teeth. *J Dent Children*. Vol. 27: 254–266
99. Nortje CJ (1983): The permanent mandibular third molar. *J Forens. Odonto-Stomatol*, Vol.1: 27-31
100. Nykänen R, Espeland L, Kvaal S, Krogstad O (1998): Validity of the Demirjian method for dental age estimation when applied to Norwegian children. *Acta Odontol Scand*, Oslo, Vol: 238-244
101. Ocholla, T. J. O. The accuracy and reliability of radiographically determined dental age: observations from two groups of 4-16 year-olds
102. Olze A, Schmeling A, Reisinger W, Geserick G (2000): Berlin experience with forensic-odontologic age estimation in living individuals. Abstract in: Willems, G. (ed.): *Forensic odontology. Proceedings of the European IOFOS Millennium meeting Leuven, Belgium, August 23 – 26, 2000*, Leuven, Leuven University Press: 196
103. Olze A, Schmeling A, Reisinger W, Geserick G (2000): Forensisch-odontologische Altersschätzung bei Lebenden an der Berliner Charité. 79. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin, Essen. Abstract in: *Rechtsmedizin Suppl. 1 zu Bd. 10*: 28
104. Olze A, Schmeling A, Geserick G, Rieger K, Kalb G (2001): Untersuchungen zum Mineralisationsstand der dritten Molaren an einer europäischen Population. *Newsletter AKFOS*, Jg. 8, No. 2: 47 – 50
105. Olze A, Taniguchi M, Schmeling A, Zhu BL, Yamada Y, Maeda H, Geserick G (2003a): Comparative study on the chronology of third molar mineralization in a Japanese and a German population. *Legal Medicine* 5: 256 - 260
106. Olze A, Schmeling A, van Niekerk P, Bernitz H, Kalb G, Geserick G (2003b): Untersuchungen zum zeitlichen Verlauf der Weisheitszahneruption bei einer schwarzafrikanischen Population. Abstract in: *Rechtsmedizin* 13: 257
107. Olze A, Taniguchi M, Schmeling A, Zhu BL, Yamada Y; Maeda H, Geserick G (2003c): Studies on the chronology of third molar mineralization in a Japanese and a German population. *Leg Med (Tokyo)* 5 Suppl1: 256-260
108. Olze A, Schmeling A, Taniguchi M, Maeda H, van Niekerk P, Wernecke KD, Geserick G (2004): Forensic age estimation in living subjects: the ethnic factor in wisdom tooth mineralization. *Int J Legal Med* 118(3): 170-173

109. Olze A, Bilang D, Schmidt S, Wernecke KD, Geserick G, Schmeling A (2005): Validation of Common classification systems for assessing the mineralization of third molars. *Int J Legal Med* 119(1): 22-26
110. Olze A, Van Niekerk P, Schulz R, Schmeling A (2007a): Studies of the chronological course of wisdom tooth eruption in a Black African Population. *J Forensic Sci* 52(5): 1161-1163
111. Olze A, van Niekerk P, Ishikawa T, Zhu BL, Schulz R, Maeda H, Schmeling A (2007b): Comparative study on the effect of ethnicity on wisdom tooth eruption. *Int J Legal Med* 121(6): 445-448
112. Olze A, Ishikawa T, Zhu BL, Schulz R, Heinecke A, Maeda H, Schmeling A (2008a): Studies of the chronological course of wisdom tooth eruption in a Japanese population. *Forensic Sci Int* 174 (2-3): 203-206
113. Olze A, Peschke C, Schulz R, Schmeling A (2008b): Studies of the chronological course of wisdom tooth eruption in a German population. *J Forensic Leg Med* 15(7): 426-429
114. Orban B (1957): *Oral histology and embryology*. C. V. Mosby Co., 4.ed.
115. Ostermeier M (1985): *Untersuchungen zur Genauigkeit verschiedener Methoden zur Zahnalterbestimmung* Diss Erlangen-Nürnberg
116. Owings-Webb P A, Myers-Suchy J (1985): Epiphyseal union of the anterior crest and medial clavicle in a modern multiracial sample of american males and females. *Am J Physiol Anthropol* 68: 457–466
117. Pasler FA (1995): *Zahnärztliche Radiologie* (3. vollständig überarbeitete Auflage), Thieme Verlag Stuttgart u. New York
118. Pfau RO; Sciulli PW. (1994): A method for establishing the age of subadults. *J Forens Sci*, Vol. 39: 16–176
119. Pöyry M, Nyström M, Ranta R (1986): Comparison of two tooth formation rating methods. *Proc Finn Dent Soc* 82: 127–133
120. Quirnbach F, Ramsthaler F, Verhoff MA (2009): Evaluation of the ossification of the medial clavicular epiphysis with a digital ultrasonic system to determine the age threshold of 21 years. *Int J Legal Med* 123 (3): 241-245
121. Reventlid M, Mörnstad H, Teivens A (1996): Intra- and inter-examiner variations in four dental methods for age estimation of children. *Swed Dent J* 20: 133–139

122. Richter, H. (1981): Vergleich verschiedener Methoden zur Altersbestimmung anhand oraler Befunde. Diss Berlin
123. Ritz S, Kaatsch HJ (1996): Methoden der Altersbestimmung an lebenden Personen: Möglichkeiten, Grenzen, Zulässigkeit und ethische Vertretbarkeit. Rechtsmedizin, 6: 171-176
124. Ritz-Timme S, Cattaneo C, Collins MJ, Waite ER, Schütz HW, Kaatsch HJ, Borrmann HIM (2000): Age estimation: The state of the art in relation to the specific demands of forensic practise. Int J Legal Med 113: 129–136
125. Röse C (1909): Über die mittlere Durchbruchzeit der bleibenden Zähne der Menschen. Dtsch Monatsschr Zahnheilk, 27: 553
126. Rosen AA, Baumwell J (1981): Chronological development of the dentition of medically indigent children: an new perspective. J Dent Child, Vol. 48: 437-442
127. Saito H (1936): Röntgenologische Untersuchungen über die Entwicklung des dritten Molaren. Kakubuo-Gakka-Zasslis, Vol.10: 156
128. Sapoka AAM, Demirjian A (1971): Dental development of the French Canadian children. J. Can Dent Assoc Vol. 37: 100-104
129. Saunders, E. (1837): The Teeth a Test of Age, Considered with Reference to the Factory Children. London
130. Schmeling A, Olze A, Reisinger W, Geserick G (2000): Forensisk aldersvurdering av levende. Abstract in: Nordisk Rettsmedisin – Scand J Forens Sci 6: 45
131. Schmeling A, Olze A, Reisinger W, Geserick G (2001): Age estimation of living people undergoing criminal proceedings. Lancet 358: 89–90
132. Schmeling A, Olze A, Reisinger W, Geserick G (2001): Der Einfluss der Ethnie auf die bei strafrechtlichen Altersschätzungen untersuchten Merkmale. Rechtsmedizin 3-4: 78–81
133. Schmeling A, Olze A, Reisinger W, König M, Geserick G (2003): Statistical analysis and verification of forensic age estimation of living persons in the Institute of Legal Medicine of the University Hospital Charité. Legal Medicine 5: 367–371

134. Schmeling A, Grundmann C, Fuhrmann A, Kaatsch HJ, Knell B, Ramsthaler F, Reisinger W, Riepert T, Ritz-Thimme S, Rösing FW, Rötzscher K, Geserick G (2008): Criteria for age estimation in living individuals. *Int J Legal Med* 122(6): 457-460
135. Schmidt S, Nitz I, Schulz R, Schmeling A (2008a): Applicability of the skeletal age determination method of Tanner and Whitehouse for forensic age diagnostics. *Int J Legal Med* 122(4): 309-314
136. Schmidt S, Koch B, Schulz R, Reisinger W, Schmeling A (2008b): Studies in use of the Greulich-Pyle skeletal age method to assess criminal liability. *Leg Med (Tokyo)* 10(4): 190-195
137. Schour I, Massler M (1941): The development of the human dentition. *J Am Dent Ass* 28: 1153
138. Schröder HE (1992): *Orale Strukturbiologie. Entwicklungsgeschichte, Struktur und Funktion normaler Hart- und Weichgewebe der Mundhöhle und des Kiefergelenks (4.Auflage)*, Georg Thieme Verlag Stuttgart New York
139. Schulz R, Zwiesigk P, Schiborr M, Schmidt S, Schmeling A (2008): Ultrasound studies on the time course of clavicular ossification. *Int J Legal Med* 122(2): 163-167
140. Sjöberg C (1961): Mjölktandsgenombrott. *Svensk tandläk. T.* 54: 125
141. Solheim T, Sundnes PK (1980): Dental age estimation of norwegian adults – a comparison of different methods. *Forens Sci Int*; Vol. 16: 7-17
142. Solheim T (1993): A new method for dental age estimation in adults. *Forens Sci Int*, Vol. 59: 137–147
143. Spector W S (1956): *Handbook of biological data*. Saunders, Philadelphia
144. 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
145. Stuart HC (1939): *Studies from the Center for Research in Child Health and Development. School of Public Health, Harvard University, I. Monogr Research in Child Development, IV: 1*
146. Tanner JM (1962): *Growth and adolescence*. Blackwell Scientific Publications, Oxford

147. Thevissen PW, Fieuws S, Willems G (2009): Human dental age estimation using third molar developmental stages: does a Bayesian approach outperform regression models to discriminate between juveniles and adults? *Int J Legal Med* (Epub ahead of print)
148. Thorson J, Hägg U (1991): The accuracy and precision of the third mandibular molar as an indicator of chronological age. *Swed Dent J*, 15: 15-22
149. Weise W; Bruntsch E (1965): Röntgenologische Untersuchungen zum Nachweis und zur Entwicklung des Weisheitszahnes. *Zahnärztl. Rundschau*, 74: 205–216, 245–249
150. Wolanski N (1966): A new method for the evaluation of tooth formation. *Acta Genet Stat Med* 16(2): 186-197

## **9 Eidesstattliche Erklärung**

„Ich, Dominique Bilanz, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertationsschrift mit dem Thema: „Vergleichende Analyse verschiedener Stadieneinteilungen zur Beurteilung der Weisheitszahnmineralisation“, selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.“

Datum

Unterschrift

## **10. Lebenslauf**

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.



## **11. Danksagung**

Hiermit danke ich Herrn Prof. Dr. Geserick, emeritierter Direktor des Instituts für Rechtsmedizin der Charité für die Überlassung des Themas.

Herrn Priv.-Doz. Dr. med. dent. Andreas Olze danke ich ganz besonders für die Betreuung der Arbeit und Herrn Priv.-Doz. Dr. med. Andreas Schmeling gilt mein herzlicher Dank für die konstruktiven Anregungen.

Herrn Prof. Dr. Klaus-Dieter Wernecke und Herrn Dipl.-Ing. Gerd Kalb gebührt mein Dank für die verlässliche Hilfestellung bei der Bewältigung statistischer Herausforderungen.

Herrn Prof. Dr. Klaus-Peter Lange danke ich für die freundliche Bereitstellung der Orthopantomogramme.

Besonderer Dank gilt meiner Mutter, Dr. phil. Karla Bilang.