

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Philipps-Universität Marburg
Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. Ulrich Lotzmann

Abteilung für Kieferorthopädie
Leiter: Professor Dr. J.M.H. Dibbets

**Vorstellung und Verifizierung einer modifizierten Methode
zur dentalen Altersbestimmung.
Eichung des dentalen und skelettalen Alters
für Nord- und Mittelhessen**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin

Dem Fachbereich Humanmedizin der
Philipps-Universität Marburg
vorgelegt von

Christiane Charlotte Drücke
aus Marburg

Marburg an der Lahn 2003

Angenommen vom Fachbereich Humanmedizin
der Philipps-Universität Marburg am 24.07.2003

Gedruckt mit freundlicher Genehmigung des Fachbereichs

Dekan: Professor Dr. B. Maisch

Referent: Professor Dr. J.M.H. Dibbets

Korreferent: Professor Dr. K. Pieper

GEWIDMET MEINEM BRUDER
JAN

Inhalt

1.	Einleitung	1
1.1	Physiologisches Alter in der Kieferorthopädie,	
1.2	Definition der Begriffe <i>Dentale Reife</i> , <i>Dentales Alter</i> , <i>Skelettale Reife</i> und <i>Skelettales Alter</i>	3
1.3	Herleitung der Methode zur Bestimmung des dentalen Alters	5
1.4	Ziele dieser Studie	12
2.	Probanden und Methoden	13
2.1	Probanden	13
2.2	Methoden	15
2.2.1	Altersbestimmung und Einteilung der Probanden in Altersklassen	15
2.2.2	Bestimmung der dentalen Reife und Eichung des dentalen Alters für Nord- und Mittelhessen	15
2.2.3	Bestimmung der skelettalen Reife und Eichung des skelettalen Alters für Nord- und Mittelhessen	19
2.3	Statistische Methoden	20
2.3.1	Signifikanzniveau	20
2.3.2	Mittelwert und Standardabweichung	20
2.3.3	Berücksichtigung von Extremwerten	21
2.3.4	Methodenfehler	21
2.3.4.1	Intraindividueller Methodenfehler	22
2.3.4.2	Interindividueller Methodenfehler	22
2.3.5	Streudiagramme	23
2.3.6	Korrelationsberechnungen	23
3.	Ergebnisse	25
3.1	Methodenfehler	25
3.1.1	Intraindividueller Methodenfehler	25
3.1.2	Interindividueller Methodenfehler	25
3.2	Mittelwerte	27
3.3	Streudiagramme	27
3.3.1	Entwicklung der Zähne 41 bis 47	27

3.3.2	Dentales Alter männlicher und weiblicher Probanden ermittelt anhand der Summenwerte der Zähne 41 bis 47	30
3.3.3	Dentales Alter männlicher und weiblicher Probanden ermittelt anhand verschiedener Zahnkombinationen	31
3.3.4	Skelettales Alter männlicher und weiblicher Probanden	33
3.3.5	Beziehung der Summenwerte der Zähne 41 bis 47 zu dem skelettalen Alter männlicher und weiblicher Probanden	34
3.3.6	Beziehung der Summenwerte verschiedener Zahnkombinationen zu dem skelettalen Alter männlicher und weiblicher Probanden	35
3.4	Rang-Korrelationskoeffizienten nach Spearman	37
4.	Diskussion	38
4.1	Methodenfehler	38
4.1.1	Betrachterabhängiger Methodenfehler	39
4.1.1.1	Intraindividueller Methodenfehler	39
4.1.1.2	Interindividueller Methodenfehler	40
4.2	Lineare Abhängigkeit der Zahnentwicklung vom Alter	44
4.3	Korrelation der Reifesysteme Alter, dentale Reife und skelettale Reife bei Kindern Nord- und Mittelhessens	48
4.3.1	Skelettale Reife in Relation zum Alter	48
4.3.2	Zahnentwicklung in Relation zum Alter	52
4.3.3	Zahnentwicklung in Relation zur skelettalen Reife	58
5.	Zusammenfassung	61
6.	Schlussbemerkung	63
7.	Literaturverzeichnis	64
8.	Anhang	

1. Einleitung

1.1 Physiologisches Alter in der Kieferorthopädie

Das durch das Geburtsdatum festgelegte Alter eines heranwachsenden Kindes entspricht nicht immer dessen physiologischem Alter, d. h. dem körperlichen Entwicklungsstand. Gleichaltrige Kinder können in ihrer Körperreife stark variieren. Die Informationen für den somatischen Reifezustand sind durch die verschiedenen Gewebesysteme und Funktionen des Körpers gegeben. Neben vielen anderen Indikatoren für die körperliche Reife heranwachsender Kinder, wie z. B. die sekundären Geschlechtsmerkmale oder die Menarche, sind in der Kieferorthopädie zwei Wachstumsbereiche von großer Bedeutung: Die Gebissentwicklung und die skelettale Entwicklung. Für den Kieferorthopäden ist es unerlässlich, das physiologische Alter des jeweiligen Wachstumsbereichs bei jedem seiner Patienten zu kennen, da die Planung, der Beginn, die Art und Dauer der Durchführung sowie die Prognose einer kieferorthopädischen Therapie von diesem abhängig ist. Nur die Kenntnis des physiologischen Alters der betrachteten Gewebe ermöglicht ein angemessenes Eingreifen in den Wachstumsprozess im Sinne einer gezielten Wachstumssteuerung zur Regulierung von Gebiss- und oder Kieferanomalien.

Die Entwicklung der Zähne stellt einen kontinuierlichen, progressiven Prozess dar, der vom Beginn (Kryptenstadium) bis zum Ende (Verschluss des Apex) röntgenologisch abgebildet und somit beurteilt werden kann. Es gibt verschiedene Methoden, den Reifegrad eines Gebisses zu ermitteln und anhand dessen das physiologische Zahnalter, das dentale Alter, zu bestimmen. Eine früher fast ausschließlich angewandte Methode ist das Abzählen der durch die Gingiva durchgebrochenen und in der Mundhöhle erschienenen Zähne. Der Anzahl dieser Zähne wird ein Alter in Jahren zugeordnet, das dem dentalen Alter entspricht. Dieses Verfahren hat jedoch Nachteile: Der Reifegrad des Gebisses kann nur in gewissen Phasen des Gesamtprozesses der Zahnentwicklung genauer abgeschätzt werden, nämlich beim Durchbruch der Milchzähne und in der ersten und zweiten Wechselphase des permanenten Gebisses. In den Ruhephasen der Gebissentwicklung ist das dentale Alter

anhand dieser Methode zwar bestimmbar, es differiert aber nicht. Weiterhin ist der Zahndurchbruch von verschiedenen äußeren Faktoren, wie beispielsweise Ankylose, Karies oder Engstand, beeinflussbar und somit kein verlässlicher Indikator zur Einschätzung des dentalen Alters. Mit der seit Anfang des vorigen Jahrhunderts immer häufigeren Anwendung von Röntgenuntersuchungen konnte die Entwicklung der Zähne im Kieferknochen als zunehmender Mineralisationsprozess betrachtet werden. Anfänglich wurden die Zahnängen auf den Bildern gemessen, später konzentrierte man sich stärker auf die Relationen von Krone und Wurzel eines Zahnes, als auf die absoluten Längenmessungen. Es wurden Mineralisationsstadien definiert, die jeder Zahn während seiner Entwicklung durchläuft und deren Charakteristika leicht wiederzuerkennen sind. Sowohl die verschiedenen Längen der betrachteten Zähne als auch deren Mineralisationsstadien können in ein dentales Alter umgewandelt werden. Methoden, den Stand der Gebissentwicklung anhand von Mineralisationsstadien abzuschätzen, existieren mittlerweile in einer Vielzahl. Sie unterscheiden sich beispielsweise hinsichtlich der Definition und der Anzahl der Mineralisationsstadien sowie der Anzahl und der Art der untersuchten Zähne. Ferner kann die Gebissreife eingeschätzt werden, indem der Mineralisationsgrad der Zähne des untersuchten Individuums mit Standardröntgenbildern verglichen wird, die ein bestimmtes dentales Alter veranschaulichen. Zur dentalen Alterseinschätzung ist heute die Methode der Stadieneinteilung auf der Basis der Relationen der Zahnanteile die gebräuchlichste, wobei wohl die Methode nach Demirjian *et al.* (1973) am häufigsten verwendet wird.

Dentales und skelettales Alter eines Individuums können sowohl von dessen Alter abweichen als auch untereinander beträchtlich variieren. Letzteres kann zu mehr oder minder stark ausgeprägten Dysgnathien führen. Anhand des Grades der Knochenreife kann abgeschätzt werden, welches Wachstum im kieferorthopädisch wichtigen Bereich des Splanchnokraniums erwartet werden kann und mit welcher Geschwindigkeit dies voraussichtlich erfolgen wird. Somit ist nicht nur die Kenntnis des Stadiums der Gebissentwicklung, sondern auch die skelettale Reife eines kieferorthopädisch behandlungsbedürftigen Patienten von Bedeutung. Die Bestimmung des Reifegrades dieser beiden Gewebe-

systeme und die Analyse, inwieweit das entsprechende physiologische Alter des einen Systems mit dem anderen übereinstimmt oder von diesem abweicht, entscheidet über die gesamte kieferorthopädische Behandlungsstrategie und deren Erfolg. Zur Bestimmung der skelettalen Reife gibt es ebenfalls verschiedene Methoden. Während auch hier in früheren Zeiten vornehmlich Längen- und Breitenmessungen von Knochen auf Röntgenaufnahmen verschiedener Bereiche des Skeletts erfolgten und in ein physiologisches Alter, das skelettale Alter umgewandelt werden konnten, hat sich bis heute die Atlasmethode vermehrt durchgesetzt. Dabei wird das Röntgenbild eines Individuums mit Standardaufnahmen verglichen, die charakteristische skelettale Reifezustände verdeutlichen, denen jeweils ein entsprechendes skelettales Alter zugeordnet ist. In der Kieferorthopädie hat sich zur Bestimmung des skelettalen Alters die Handröntgenaufnahme durchgesetzt. Es handelt sich um einen kleinen, röntgenologisch gut abzubildenden Körperteil, bei dem auf kleinem Raum eine große Zahl an Ossifikationszentren einsehbar ist. Die Verknöcherung dieser Ossifikationszentren erfolgt zu unterschiedlichen Zeitpunkten. So kann während des gesamten skelettalen Entwicklungsprozesses die Knochenreifung und das skelettale Alter eines heranwachsenden Kindes verfolgt und beurteilt werden.

1.2 Definition der Begriffe *Dentale Reife*, *Dentales Alter*, *Skelettale Reife* und *Skelettales Alter*

In der Literatur findet man oft den Begriff *dentales Alter*. Für diesen Ausdruck existiert jedoch keine allgemein anerkannte Definition. In der vorliegenden Querschnittsstudie wird dieser Begriff in Anlehnung an Demirjian *et al.* (1973) folgendermaßen interpretiert: Je nach angewandter Methode zur Bestimmung des Zahnalters kann der Reifegrad eines Gebisses direkt ermittelt werden. In unserer Untersuchung wird der Reifegrad durch einen Summenwert beschrieben, der sich aus Mineralisationsstadienwerten von einzelnen Zähnen ergibt (Methode siehe 2.2.2, Seite 18 ff). Der Summenwert kann anhand einer Tabelle oder einer Grafik in eine Jahreszahl umgewandelt werden. Diese Angabe in Jahren entspricht dem physiologischen Alter, das von dem Entwicklungsstand

der Zähne abgeleitet wurde, und wird als dentales Alter bezeichnet. Ergibt sich bei Kindern aus verschiedenen Populationen derselbe Summenwert, d. h. der momentane Mineralisationszustand ihres Gebisses bzw. ihre dentale Reife befindet sich auf demselben oder einem sehr ähnlichen Niveau, kann daraus jedoch nicht gefolgert werden, dass diese Kinder auch dasselbe dentale Alter haben. Man könnte die Summenwerte als separaten Reifeindikator ansehen, der einen direkten Vergleich der dentalen Reife gleichaltriger Kinder ermöglicht. Dies ist jedoch in unserer Studie nicht von Interesse und dient an dieser Stelle dem Verständnis. Das dentale Alter ist ein aus den Summenwerten folgender populationsspezifischer Reifeindikator. Die in der vorliegenden Arbeit angewandte Methode zur Bestimmung der dentalen Reife und die daraus resultierenden Summenwerte sind also universell anwendbar, die Umwandlung in ein dentales Alter ist jedoch von der untersuchten Population abhängig. Somit müssen, der Forderung Demirjians *et al.* (1973) entsprechend, populations-spezifische Eichungen des Zahnalters vorgenommen werden, um das dentale Alter eines Kindes in Anbetracht der regionalen Besonderheiten richtig einschätzen und interpretieren zu können.

Für das skelettale Alter gilt prinzipiell dasselbe wie oben erläutert für das dentale Alter. Der Mineralisationsgrad der Knochen, die skelettale Reife, kann direkt ermittelt werden. In unserer Querschnittsstudie erfolgte dies anhand der universell anwendbaren Atlasmethode nach Greulich und Pyle (1959), wobei die Reifegrade des Handskeletts in Form von Standardtafeln verdeutlicht sind (siehe 2.2.3, Seite 19). Jedem Reifegrad (Standardtafel) ist ein skelettales Alter in Jahren zugeordnet. Dieses skelettale Alter beschreibt jedoch die Entwicklungsverhältnisse in der von Greulich und Pyle untersuchten Population. Es ist demnach erforderlich zu prüfen, ob das skelettale Alter bei Greulich und Pyle (1959) dem skelettalen Alter der jeweils untersuchten Population gleicht, oder ob auch für das skelettale Alter eine populationsspezifische Eichung vorzunehmen ist.

In unserer Querschnittsstudie werden die Begriffe *dentale Reife*, *dentales Alter*, *skelettale Reife* und *skelettales Alter* wie folgt definiert und in dieser Bedeutung verwendet:

Der Begriff *dentale Reife* beschreibt den Mineralisationszustand der Gebissentwicklung und wird in Form eines Summenwertes ausgedrückt, der aus den Entwicklungsstadien von einzelnen Zähnen gebildet wird.

Der Begriff *dentales Alter* beschreibt den Mineralisationszustand der Gebissentwicklung und wird anhand einer populationsspezifischen Normtabelle oder –grafik aus dem Summenwert für die Gebissentwicklung abgeleitet. Das in Jahren angegebene dentale Alter entspricht dabei dem Alter (bzw. der Altersklasse), für das (die) der entsprechende mittlere dentale Entwicklungsstand (Summenwert) ermittelt wurde (siehe 2.2.2, Seite 15 ff).

Der Begriff *skelettale Reife* beschreibt den Mineralisationszustand der Skelettentwicklung. Die *skelettale Reife* wird aus einer Handröntgenaufnahme bestimmt (Greulich und Pyle 1959) und als „*skelettales Alter nach Greulich und Pyle*“ in Form einer Jahreszahl ausgedrückt, die sich aus einer Standardtafel ableitet.

Der Begriff *skelettales Alter* beschreibt den Mineralisationszustand der Skelettentwicklung und wird anhand einer populationsspezifischen Normtabelle oder –grafik aus dem „*skelettalen Alter nach Greulich und Pyle*“ abgeleitet. Dann entspricht das ebenfalls in Jahren angegebene *skelettale Alter* dem mittleren Alter für den jeweiligen skelettalen Entwicklungsstand (*skelettales Alter nach Greulich und Pyle*) in der betrachteten Population.

1.3 Herleitung der Methode zur Bestimmung des dentalen Alters

Die Methode zur Bestimmung des dentalen Alters, die in dieser Querschnittsstudie und in der kieferorthopädischen Abteilung der Universitätszahnklinik Marburg angewendet wird, setzt sich aus verschiedenen bekannten Verfahren

zusammen. Die Grundlage bildet die Methode von Carmen M. Nolla (1960). Nolla hatte das Ziel, eine einfache und unkomplizierte Technik zur detaillierten Beurteilung des Kalzifizierungsprozesses des permanenten Gebisses zu entwickeln, die bei jedem Kind mit einem vollständig angelegten permanenten und gesunden Gebiss anwendbar sein sollte. Anhand ihrer Forschungsergebnisse wollte sie Wachstumskurven für Jungen und Mädchen anfertigen, welche die durchschnittliche Zahnreife in Relation zum Alter repräsentieren. Die neue Methode und die Normwachstumskurven sollten es Zahnärzten darauf hin ermöglichen, den Stand der Gebissentwicklung ihrer jungen Patienten leicht zu bestimmen und besser einzuschätzen. Nolla führte eine Longitudinalstudie an 25 Jungen und 25 Mädchen durch. Dazu wurden von jedem Kind einmal jährlich um den Geburtstag herum sechs Röntgenbilder (rechts- und linkslaterale extraorale sowie intraorale Aufnahmen) angefertigt, bei den Mädchen von 2 bis 23,3 und bei den Jungen von 3,4 bis 23 Jahren. Sie formulierte zehn Reifestadien sowohl für ein- als auch für mehrwurzelige Zähne bemessen an der fortschreitenden Kalzifizierung, die jeder Zahn während seiner Entwicklung durchläuft und stellte diese auch grafisch dar (Abbildung 1). Bei jedem Probanden – unabhängig welchen Geschlechts – wurde in allen vier Quadranten jeder Zahn (einschließlich des 3. Molaren) mit diesen Reifestadien verglichen. War das zutreffende Stadium identifiziert, wurde eine diesem Reifegrad entsprechende Zahl zugeordnet. Konnte ein Stadium nicht exakt zugeordnet werden, wurden Unterteilungen mit Dezimalstellen vorgenommen. Pro Quadrant wurden aus den Einzelwerten deren Summe berechnet. Sowohl Einzel- als auch Summenwerte der Zähne aller Kinder wurden pro Geschlecht und Altersklasse statistisch ausgewertet. Durch vergleichende Analysen ergab sich, dass die Bewertung der Zähne einer Gesichtshälfte für das gesamte Gebiss repräsentativ waren, was den Vorteil der Zeitersparnis in der klinischen Anwendung mit sich brachte. Die Wachstumskurven erhielt Nolla, indem sie das arithmetische Mittel der Summenwerte grafisch gegen das Alter auftrug. Hat man den Summenwert der Zähne eines Individuums ermittelt, kann man nun mit Hilfe eines derartigen Diagramms das dentale Alter direkt ablesen.

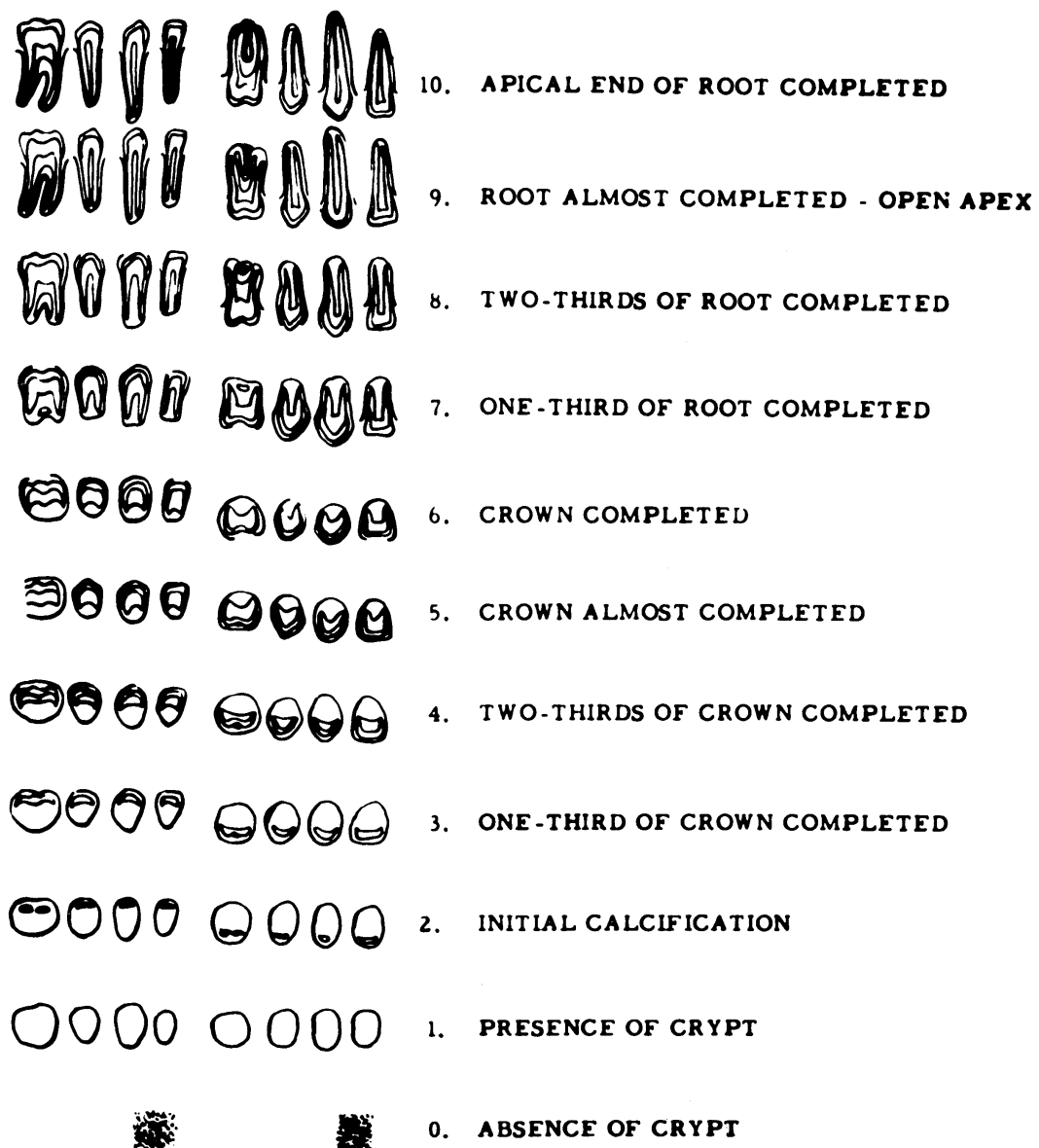


Abbildung 1: Mineralisationsstadien von C. M. Nolla (1960)

Liliequist und Lundberg (1971) führten eine Querschnittsstudie mit 139 Mädchen und 148 Jungen im Alter von 6,5 bis 14,5 Jahren durch, von denen jeweils 6 Röntgenbilder (schräg-laterale extraorale und intraorale Aufnahmen) beurteilt wurden. Sie versuchten, die vorangegangene Methode von Nolla zur Bestimmung der Gebissreife anhand von Kalzifizierungsstadien zu vereinfachen. Dies sollte zum einen durch eine Reduzierung der Anzahl an Mineralisationsstadien, zum anderen durch eine Reduzierung der Anzahl an Röntgenbildern und somit der Strahlenexposition der Patienten erreicht werden. Die Beurteilung der Zähne erfolgte mit nur acht Reifestadien (Abbildung 2).

Die Stadienzuordnung und die Summenwertbildung erfolgte gemäß der Methode von Nolla. Eine feinere Unterteilung zwischen aufeinanderfolgenden Stadien fand jedoch nicht statt. Ergebnis der Untersuchung war, dass eine differenziertere Unterteilung nicht nötig ist, und dass die Bewertung von sieben permanenten Zähnen (1 bis 7) eines Unterkieferquadranten ausreichte, um den Reifezustand des Gebisses präzise abzuschätzen. Ausgewählt wurde ein Unterkieferquadrant (links), da im Unterkiefer die Wurzelanatomie der Zähne im Vergleich zum Oberkiefer weniger kompliziert und eindeutiger zu beurteilen war.

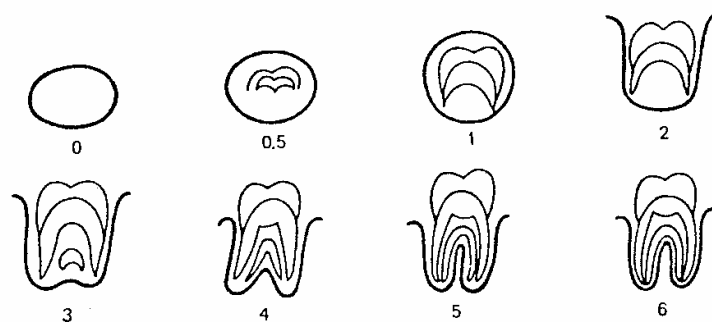


Abbildung 2: Mineralisationsstadien von Lilliequist und Lundberg (1971)

Demirjian *et al.* veröffentlichten 1973 eine neue Methode zur dentalen Altersbestimmung, die ebenfalls auf der Beurteilung der Kalzifizierungsstadien der permanenten Zähne basiert. Sie definierten die ersten drei Stadien von Lilliequist und Lundberg (1971) neu (Abbildung 3). Die Stadienzuordnung erfolgte bei beiden Geschlechtern gleichermaßen. Den Stadien wurden jedoch dann - nach einem von Tanner *et al.* (1973) entwickelten Verfahren - bei den Jungen andere sogenannte Scorewerte zugeordnet als bei den Mädchen. Dies berücksichtigt die zeitlichen Unterschiede der Zahnentwicklung zwischen den Geschlechtern. Die Scorewerte konnten anhand von Tabellen in ein dentales Alter umgewandelt werden. Es wurden die Zähne 1 bis 7 des dritten Quadranten beurteilt. Analog des bei Nolla erwähnten Verfahrens wurden Wachstumskurven erstellt. Die Ergebnisse basieren auf den Daten (Panoramaaufnahmen) eines Kollektivs von 1482 weiblichen und 1446 männlichen Probanden im Alter von 2 bis 20 Jahren, das bei Demirjian *et al.* (1973) erwähnt wird. Demirjian *et al.* (1973) legten Wert auf ein großes Kollektiv, da eine größere Anzahl an Probanden die tatsächlichen Verhältnisse einer Population besser repräsentiert.

DEVELOPMENTAL STAGES OF THE PERMANENT DENTITION

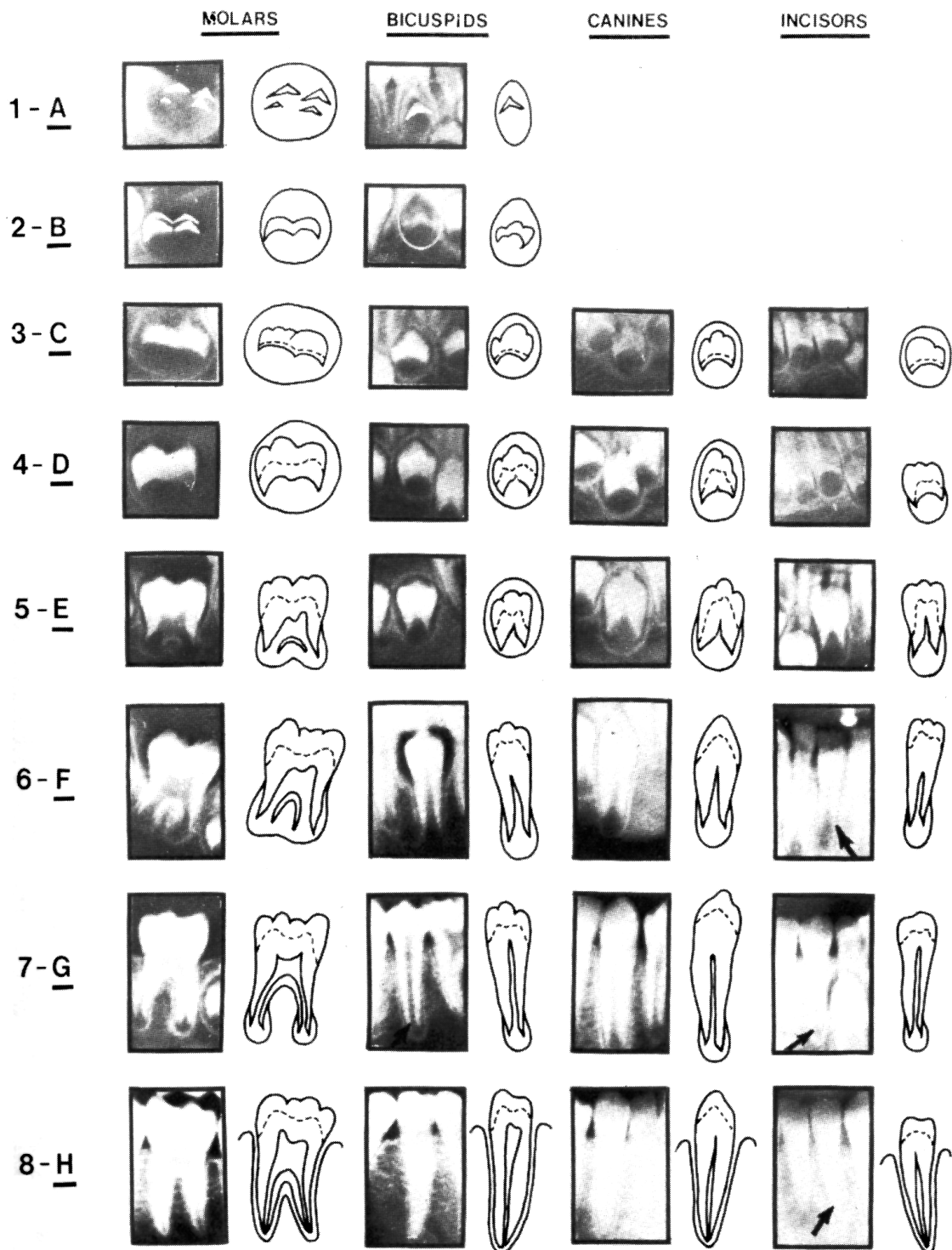


Abbildung 3: Mineralisationsstadien von Demirjian *et al.* (1973)

Die Methode, die in unserer Querschnittsstudie zur Beurteilung des dentalen Alters angewendet wurde, entwickelt sich aus den beschriebenen Verfahren. Sie basiert insofern auf der Methode von Nolla (1960), dass ebenfalls die Kalzifizierungsstadien der Zähne, wie sie im Röntgenbild erscheinen, beurteilt wurden. Wie bei Nolla (1960) und bei Liliequist und Lundberg (1971) wurde bei der Kennzeichnung der Mineralisationsstadien durch Zahlenwerte kein Unterschied zwischen den Geschlechtern gemacht, wie es bei Demirjian *et al.* (1973) in Form der unterschiedlichen Scorewerte pro Mineralisationsstadium für das jeweilige Geschlecht erfolgte.

Die Ergebnisse der Untersuchung von Liliequist und Lundberg (1971) zeigen, dass ihre Methode ausreicht, das dentale Alter präzise zu bestimmen. Somit wurde das Zahnalter anhand von nur acht Mineralisationsstadien - ohne feinere Differenzierung in Form von Dezimalstellen wie bei der Methode von Nolla - in nur einem Quadranten, einem Unterkieferquadranten (rechts), bestimmt.

Von Demirjian *et al.* (1973) wurden die acht Kalzifizierungsstadien übernommen, die mit Zahlen anstatt mit Buchstaben gekennzeichnet wurden (dabei entspricht A = 1, B = 2, ..., H = 8) und anhand derer die Bildung der Summenwerte erfolgte. Demirjian *et al.* (1973) zogen, wie auch Liliequist und Lundberg, den dritten Quadranten zur Beurteilung der dentalen Reife heran. In unserer Studie wurden die Daten der Zähne des vierten Quadranten für die statistischen Auswertungen verwendet, da bei der Mehrzahl der untersuchten Probanden im vierten Quadranten die Zähne 1 bis 7 angelegt bzw. vollständig vorhanden waren, im Gegensatz zum dritten Quadranten. Die Datenerhebung erfolgte wie bei Demirjian *et al.* (1973) an Panoramaaufnahmen, speziell an Orthopantomogrammen.

Die acht Stadien von Demirjian *et al.* (1973) wurden von Prah-Andersen und van der Linden (1972) zeichnerisch klar dargestellt, weshalb diese als grafische Anhaltspunkte dienen (Abbildung 4).

Die Beschreibung der in unserer Studie angewandten Methode und das Vorgehen im Einzelnen ist im Kapitel Methoden (siehe 2.2.2, Seite 15 ff) erläutert.

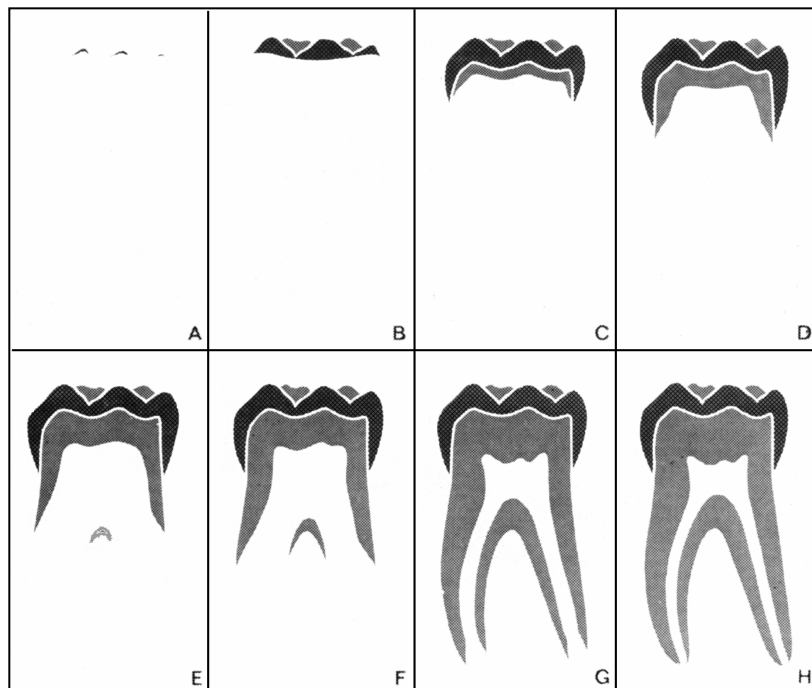
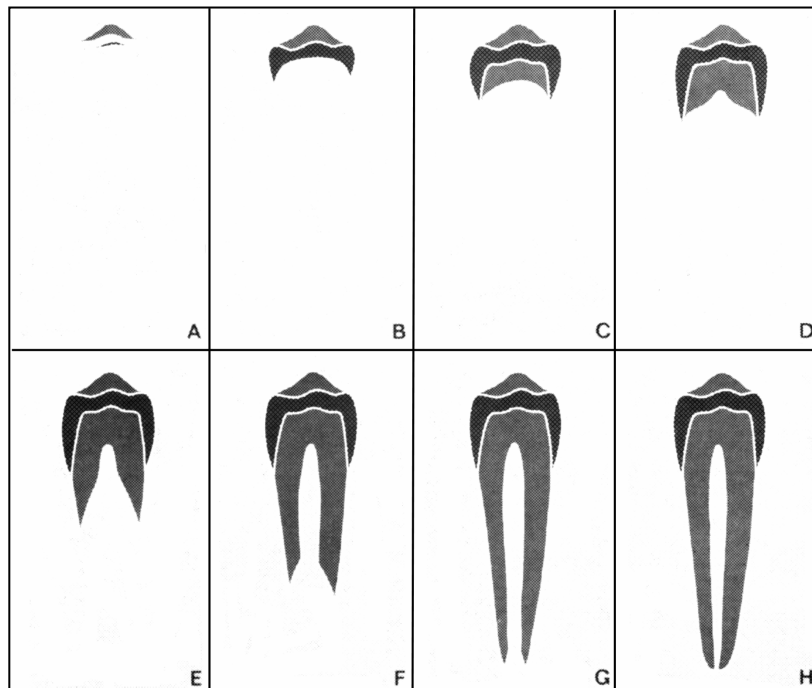


Abbildung 4: Mineralisationsstadien von Prahl-Andersen und van der Linden (1972)

1.4 Ziele dieser Studie

Es wird eine modifizierte Methode zur dentalen Altersbestimmung vorgestellt, die in der kieferorthopädischen Abteilung der Universitätszahnklinik Marburg angewendet wird. Diese Methode soll auf ihre Reproduzierbarkeit überprüft werden.

Weiterhin wird das dentale Alter (anhand der modifizierten Methode) und das skelettale Alter (anhand der Atlasmethode nach Greulich und Pyle 1959) von Kindern des nord- und mittelhessischen Raumes bestimmt und für diese Region geeicht. Diese Eichung soll ihren Ausdruck in geschlechtsspezifischen Normgrafiken und –tabellen finden.

In der Praxis können häufig nicht alle permanenten Zähne (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7) eines Quadranten zur Bestimmung des dentalen Alters herangezogen werden (z. B. Nichtanlagen, Extraktionen). Die Frage, ob die modifizierte Methode ausreichend präzise ist, wenn nicht alle sieben genannten Zähne zur Einschätzung des dentalen Alters herangezogen werden können, soll geklärt werden.

Schließlich interessieren die Korrelationen zwischen den Reifeindikatoren Alter, dentale Reife und skelettale Reife für weibliche und männliche Probanden im nord- und mittelhessischen Raum. Die Zusammenhänge sollen durch Korrelationskoeffizienten verdeutlicht und auch grafisch dargestellt werden.

2. Probanden und Methoden

2.1 Probanden

Grundlage dieser Querschnittsstudie sind Röntgenbilder von 1161 Kindern, 603 Mädchen und 558 Jungen. Es wurden pro Kind jeweils ein Orthopantomogramm (OPG) und eine Handröntgenaufnahme (HA) beurteilt. Die Aufnahmen wurden den laufenden Patientenkarteien sowie den Archiven der kieferorthopädischen Abteilungen der Universitätszahnkliniken Marburg und Gießen entnommen. Bei dem Patientengut handelt es sich um eine Stichprobe kieferorthopädisch behandlungsbedürftiger Kinder aus dem nord- und mittelhessischen Raum. Voraussetzungen für die Aufnahme in das Untersuchungsgut waren: Die Probanden durften nicht jünger als 7,50 und nicht älter als 16,49 Jahre sein. Eine kieferorthopädische Behandlung durfte bis zum Zeitpunkt der zu untersuchenden Röntgenaufnahmen nicht stattgefunden haben. In einem Unterkieferquadranten mussten alle Probanden ein vollständig angelegtes permanentes Gebiss – mit Ausnahme des Weisheitszahnes - aufweisen, und die Aufnahmezeitpunkte des OPG und der HA eines jeden Probanden durften nicht weiter als 60 Tage auseinander liegen. Bei 95 % der Kinder wurden das OPG und die HA an demselben Tag aufgenommen, in 5 % der Fälle bestand eine zeitliche Differenz von maximal 8 Wochen.

Tabelle 1 Anzahl der männlichen und weiblichen Probanden ohne und mit zeitlicher Differenz zwischen der Aufnahme des OPG und der HA.

Prozentualer Anteil an der Gesamtstichprobe N = 1161 (% von N)

Prozentualer Anteil am jeweiligen Geschlecht (% von m; % von w)

Zeitdifferenz zwischen der Aufnahme des OPG und der HA in Wochen	Männlich (m = 558)			Weiblich (w = 603)		
	Anzahl	% von N	% von m	Anzahl	% von N	% von w
0	529	45,6	94,8	570	49,1	94,5
1	6	0,5	1,1	5	0,4	0,8
2	3	0,3	0,5	7	0,6	1,2
3	2	0,2	0,4	2	0,2	0,3
4	7	0,6	1,3	10	0,9	1,7
5	4	0,4	0,7	6	0,5	1,0
6	4	0,4	0,7	1	0,1	0,2
7	1	0,1	0,2	1	0,1	0,2
8	2	0,2	0,4	2	0,2	0,3

Tabelle 2 Anzahl der männlichen und weiblichen Probanden pro Altersklasse

Prozentualer Anteil an der Gesamtstichprobe N = 1161 (% von N)

Prozentualer Anteil am jeweiligen Geschlecht (% von m; % von w)

Altersklasse	Männlich (m = 558)			Weiblich (w = 603)		
	Anzahl	% von N	% von m	Anzahl	% von N	% von w
8	19	1,6	3,4	13	1,1	2,2
9	52	4,5	9,3	74	6,4	12,3
10	90	7,8	16,1	114	9,8	18,9
11	95	8,2	17,0	117	10,1	19,4
12	118	10,2	21,2	99	8,5	16,4
13	93	8,0	16,7	94	8,1	15,6
14	60	5,2	10,8	47	4,1	7,8
15	21	1,8	3,8	30	2,6	5,0
16	10	0,9	1,8	15	1,3	2,5

Die Abbildungen 5 und 6 stellen die Anzahl der männlichen und weiblichen Probanden grafisch dar.

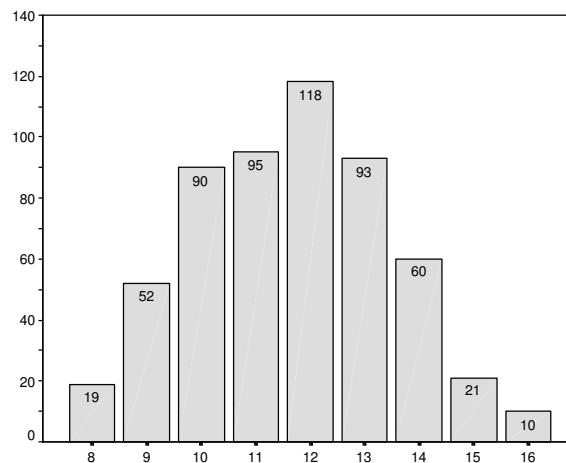
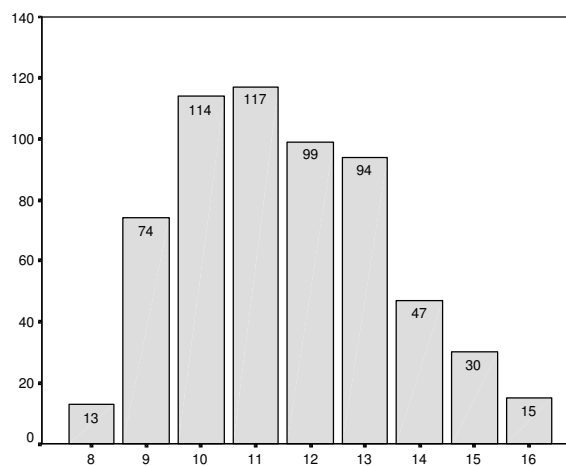


Abbildung 5: Anzahl der männlichen Probanden pro Altersklasse



2.2 Methoden

2.2.1 Altersbestimmung und Einteilung der Probanden in Altersklassen

Das Alter entspricht dem kalendarischen Alter der Probanden zum Zeitpunkt der Röntgenaufnahmen. Seine Bestimmung erfolgte, indem das Geburtsdatum vom Aufnahmedatum des Orthopantomogrammes des jeweiligen Probanden subtrahiert wurde. Das Ergebnis des Alters in Jahren, Monaten und Tagen wurde in Tage umgerechnet und durch 365,25 dividiert. Der Divisor 365,25 wurde von dem verwendeten Statistikprogramm für den jeweiligen Untersuchungszeitraum als Jahrestagezahl definiert. Anschließend wurden Altersklassen gebildet. Allen Probanden, deren Alter in dem Intervall von z. B. 7,50 Jahren bis 8,49 Jahren lag, wurde die Altersklasse von 8 Jahren zugeteilt. Probanden mit einem Alter zwischen 8,50 Jahren und 9,49 Jahren sind der Altersklasse von 9 Jahren zugeordnet. Analog wurde bei den weiteren Altersklassen verfahren.

2.2.2 Bestimmung der dentalen Reife und Eichung des dentalen Alters für Nord- und Mittelhessen

Die Beurteilung der Orthopantomogramme erfolgte durch zwei Untersucher, die vor Beginn dieser Querschnittsstudie durch eine diese Methode sicher beherrschende Assistenz Zahnärztin der kieferorthopädischen Abteilung der Universitätszahnklinik Marburg mit dem Verfahren vertraut gemacht und anhand von 20 Quadranten kalibriert wurden. Die Autorin dieser Arbeit wertete 81 % der Orthopantomogramme aus, der zweite Untersucher 19 %.

Jedes Orthopantomogramm wurde auf einem Lichttisch mit bloßem Auge betrachtet. Zunächst wurde ermittelt, ob die Zähne 1 bis 7 beider Unterkieferquadranten vorhanden und beurteilbar waren. War dies nur in einem Unterkieferquadranten der Fall, wurde nur dieser zur Bestimmung der dentalen Reife herangezogen. Probanden, bei denen in beiden Unterkieferquadranten Agensien auftraten, Zähne extrahiert oder nicht beurteilbar waren, wurden nicht in

das Untersuchungsgut aufgenommen (eine Zahnüberzahl war in keinem der Fälle zu beobachten). Waren alle 14 genannten Unterkieferzähne beurteilbar, wurden deren Mineralisationszustände mit den acht von Demirjian *et al.* (1973) formulierten Reifestadien (Tabelle 3) und mit der grafischen Darstellung dieser Stadien von Prah-Andersen und van der Linden (1972) (Abbildung 4, Seite 11) verglichen. Demirjian *et al.* (1973) und Prah-Andersen und van der Linden (1972) kennzeichneten die Stadien mit Buchstaben (A bis H), bei der hier angewandten modifizierten Methode wurden die Buchstaben in Zahlenwerte umgewandelt, wobei A = 1, B = 2, ..., H = 8 entspricht. Jedem Zahn wurde das Mineralisationsstadium zugeordnet, welches am stärksten mit dem untersuchten Reifegrad übereinstimmt, und der zugehörige Zahlenwert wurde notiert. War eine eindeutige Zuordnung nicht sicher möglich, wurde das unmittelbar vorhergehende, niedrigere Stadium ausgewählt. Bei der Beurteilung der Zähne wurde kein Unterschied zwischen den Geschlechtern gemacht. Am Ende der Datenerhebung wurde ermittelt, ob der dritte oder der vierte Quadrant häufiger vollständig (Zähne 1 bis 7) zu beurteilen war. Ergebnis dieser Untersuchung ist, dass durch die Auswertung des vierten Quadranten mehr Patienten in die Studie einbezogen werden konnten. Dieses Verfahren ist zulässig, da es in einem Kiefer keinen Unterschied macht, ob man den rechten oder den linken Quadranten zur dentalen Altersbestimmung heranzieht (Liliequist und Lundberg 1971, Liedel 2002).

Tabelle 3 Definitionen der Reifestadien der permanenten Dentition nach Demirjian *et al.* (1973)

Ist kein Anzeichen für eine Kalzifizierung vorhanden, wird der Wert Null zugeordnet. Die Entwicklung der Krypte als röntgenologische Aufhellung wird nicht als nachweisbare Zahnanlage interpretiert.

Stadium 1 (A):

Sowohl in ein- als auch in mehrwurzeligen Zähnen ist eine beginnende Kalzifizierung im oberen Bereich der Krypte in Form eines oder mehrerer invertierter Kegel sichtbar, zwischen denen keine Verbindung besteht.

Stadium 2 (B):

Die Vereinigung der Kalzifizierungspunkte bildet eine oder mehrere Spitzen, die sich zu einer regelmäßig umrandeten okklusalen Oberfläche vereinigen.

Stadium 3 (C):

- a) Die Schmelzbildung an der Okklusalfäche ist abgeschlossen. Ihre Verlängerung und Konvergenz in Richtung Zahnhalsregion ist sichtbar.
- b) Der Beginn einer Dentinablagerung ist sichtbar.
- c) Die Kontur des Pulpenkavums ist in Richtung Okklusalfäche gekrümmt.

Stadium 4 (D):

- a) Die Zahnkronenbildung ist bis zur Schmelz-Zement-Grenze erfolgt.
- b) Die obere Pulpahöhlenbegrenzung hat in den einwurzeligen Zähnen ihre endgültige gekrümmte Form erreicht, eine Konkavität zur Zervikalregion. Bei den Molaren hat das Pulpenkavum trapezförmige Gestalt.
- c) Der Beginn der Wurzelbildung ist als nadelförmiger Fortsatz sichtbar.

Stadium 5 (E):

Einwurzelige Zähne:

- a) Die Pulpenkavumwände bilden gerade Linien, deren Kontinuität durch das Pulpenhorn unterbrochen ist, das nun größer ist als im vorherigen Stadium.
- b) Die Wurzellänge ist geringer als die Kronenhöhe.

Molaren:

- a) Der Beginn der Bildung der radikulären Bifurkation äußert sich entweder als Kalzifizierungspunkt oder als halbmondförmige Gestalt.
- b) Die Wurzellänge ist geringer als die Kronenhöhe.

Stadium 6 (F):

Einwurzelige Zähne:

- a) Die Wände des Pulpenkavums bilden ein mehr oder weniger gleichschenkliges Dreieck. Das Ende des Apex ist trichterförmig.
- b) Die Wurzellänge entspricht der Kronenhöhe oder ist länger als diese.

Molaren:

- a) Die kalzifizierte Region im Bereich der Bifurkation hat sich aus ihrem Halbmondstadium in Richtung Apex entwickelt und gibt der Wurzel nun einen klarer definierten und charakteristischen Umriss mit trichterförmigen Enden.
- b) Die Wurzellänge entspricht der Kronenhöhe oder ist länger als diese

Stadium 7 (G):

Die Wände des Wurzelkanals sind nun parallel und das apikale Ende ist immer noch teilweise offen (distale Wurzel der Molaren).

Stadium 8 (H):

- a) Das apikale Ende des Wurzelkanals ist vollständig verschlossen (distale Wurzel der Molaren).
- b) Der Parodontalspalt hat eine einheitliche Breite um Wurzel und Apex.

Jedem Zahn war nun ein Reifestadium in Form eines ganzen Zahlenwertes zwischen 0 und 8 zugeordnet. Durch Addition dieser Einzelwerte eines Individuums pro Quadrant erhält man einen Summenwert, der das Reifestadium der beurteilten Zähne dieses Quadranten bzw. des gesamten Gebisses (Liliequist und Lundberg 1971) und somit die dentale Reife, repräsentiert.

In der Praxis ist häufig zu beobachten, dass der zweite Prämolare nicht angelegt ist. Außerdem kommt es oft vor, dass der erste Prämolare zum Beispiel wegen Platzmangels extrahiert ist. Damit auch in diesen Fällen künftig ein dentales Alter bestimmt werden kann, wurden nicht nur die Summenwerte der Zähne 41 bis 47 mit dem Alter korreliert, es wurden auch die Zusammenhänge zwischen den Summenwerten verschiedener Zahnkombinationen der zweiten Wechselphase mit dem Alter dargestellt. Summenwerte wurden für verschiedene Zahnkombinationen gebildet: für die Zähne 41 bis 47, für die Zähne 43, 44, 45 und 47, für die Zähne 43, 44 und 47 sowie für die Zähne 43, 45 und 47.

Die Ermittlung des dentalen Alters der in dieser Querschnittsstudie untersuchten nord- und mittelhessischen Kinder erfolgte, indem pro Geschlecht und Altersklasse arithmetischer Mittelwert und Standardabweichung der Summenwerte der verschiedenen oben erwähnten Zahnkombinationen gebildet wurden und die Mittelwerte tabellarisch sowie grafisch in Bezug zur Altersklasse dargestellt wurden. Somit ist eine populationsspezifische Eichung des dentalen Alters für Nord- und Mittelhessen erfolgt (siehe Statistische Methoden).

2.2.3 Bestimmung der skelettalen Reife und Eichung des skelettalen Alters für Nord- und Mittelhessen

Die Bestimmung der skelettalen Reife erfolgte anhand der Atlasmethode nach Greulich und Pyle (1959). Der Atlas enthält Abbildungen von Handröntgenaufnahmen, sogenannte Standardtafeln, die nach Geschlechtern getrennt die verschiedenen Reifungsstadien des Handskeletts in chronologisch aufsteigender Reihenfolge zeigen. Den Standards ist jeweils direkt ein skelettales Alter in Jahren zugeordnet.

Zur schnelleren Einschätzung der skelettalen Reife wurde die Handröntgenaufnahme (HA) zunächst nach der Methode von Björk (1972) sowie Grave und Brown (1976) auf charakteristische Reifekriterien inspiziert. Als erstes wurde das ulnare Sesambein am metakarpophalangealen Gelenk des Daumens gesucht. War dieses Reifestadium noch nicht erreicht, ist die Röntgenaufnahme auf das Vorhandensein des Os pisiforme kontrolliert worden. In dieser Weise wurde die HA in der definierten absteigenden Reihenfolge der Stadien weiter untersucht. War das ulnare Sesambein am metakarpophalangealen Gelenk des Daumens bereits vorhanden, erfolgte die Kontrolle auf Reifekriterien, die eine fortgeschrittenere skelettale Reife anzeigen. Zuerst wurde überprüft, ob die Epiphysenlinie der distalen Phalange des Mittelfingers bereits verknöchert war. Konnte dies nicht festgestellt werden, wurde die mittlere Phalange des Mittelfingers begutachtet, und es wurde erforscht, ob die Umkapselung der Diaphyse durch die Epiphyse bereits stattgefunden hatte. Bestand die Verschmelzung von Diaphyse und Epiphyse der distalen Phalange

des Mittelfingers schon, erfolgte die weitere Orientierung entsprechend der definierten Stadien nach Björk (1972) und Grave und Brown (1976) in der aufsteigenden Reihenfolge. War das zutreffende Stadium der Handknochenmineralisation im Röntgenbild identifiziert, konnte die konforme Standardtafel im Atlas schnell aufgefunden werden. Es wurden sowohl die unmittelbar vorhergehenden als auch die direkt folgenden Standardtafeln begutachtet. Das skelettale Alter der Standardtafel mit der größten Übereinstimmung mit der Handröntgenaufnahme wurde notiert.

Dieses skelettale Alter ist jedoch charakteristisch für die bei Greulich und Pyle (1959) erwähnte Population. Um das skelettale Alter für Nord- und Mittelhessen zu eichen, wurden pro Geschlecht und Altersklasse der arithmetische Mittelwert und die Standardabweichung der ermittelten skelettalen Reife (skelettales Alter nach Greulich und Pyle) berechnet. Die jeweiligen Mittelwerte wurden tabellarisch und grafisch den entsprechenden Altersklassen unserer Probandengruppe gegenübergestellt.

2.3 Statistische Methoden

Alle statistischen Tests wurden in SPSS für Windows Version 10.0 durchgeführt.

2.3.1 Signifikanzniveau

In der vorliegenden Querschnittsstudie ist das Signifikanzniveau α auf 0,05 festgelegt. Für Fälle, in denen die Irrtumswahrscheinlichkeit $p \leq \alpha$ ist, wird die Nullhypothese (kein Zusammenhang) verworfen.

2.3.2 Mittelwert und Standardabweichung

Für Jungen und Mädchen separat wurde in jeder Altersklasse für die Variablen „Summenwerte des 4. Quadranten“, „Summenwerte der Zähne 43, 44, 45, 47“, „Summenwerte der Zähne 43, 44, 47“, „Summenwerte der Zähne 43, 45, 47“ und „Skelettales Alter nach Greulich und Pyle“ der arithmetische Mittelwert und die Standardabweichung sowie der Minimum- und der Maximumwert bestimmt.

2.3.3 Berücksichtigung von Extremwerten

Bei einem Ausreißer handelt es sich um einen „extrem“ großen oder „extrem“ kleinen Merkmalswert in einer Gesamtheit. Ausreißer wirken sich stark auf das arithmetische Mittel aus. In unserer Querschnittsstudie sind Ausreißer präzisiert als Werte einer Variable, die sich außerhalb der dritten Standardabweichung jeweils eines arithmetischen Mittelwertes befinden (siehe unten). Die dritte Standardabweichung bedeutet, dass sich 99 % der Fälle innerhalb eines bestimmaren Streuungsbereiches um den Mittelwert befinden.

Das gesamte Datenmaterial wurde auf Ausreißer geprüft. Dafür wurde pro Altersklasse von dem Mittelwert der Variablen *Summenwerte des 4. Quadranten* und *Skelettales Alter nach Greulich und Pyle* (siehe 2.3.2, Seite 20) die dritte Standardabweichung gebildet. Die Daten derjenigen Probanden, deren entsprechende Werte sich außerhalb dieses Streuungsbereiches befanden, wurden eruiert. Diese wurden erneut beurteilt, um zu kontrollieren, ob dem Untersucher bei der Auswertung Fehler unterlaufen sind.

Ergebnis dieser erneuten Durchsicht ist, dass kein Fehler seitens des Untersuchers vorlag, sondern es sich tatsächlich um Extremwerte handelt. Auf diese Weise wurden die Daten von 56 Probanden aus dem Untersuchungsgut aussortiert und nicht in die statistischen Berechnungen einbezogen.

2.3.4 Methodenfehler

In dieser Querschnittsstudie wurde eine modifizierte Methode zur Bestimmung des dentalen Alters angewandt, die in der kieferorthopädischen Abteilung der

Universitätszahnklinik Marburg genutzt wird. Da diese Methode bereits in der Praxis verwendet wird und in dieser Studie von zwei Beobachtern genutzt wurde, ist es wichtig zu wissen, wie reproduzierbar das Verfahren ist. Aber nicht nur die interindividuelle Präzision (zwischen verschiedenen Beurteilern), sondern auch die Reproduzierbarkeit der Methode durch denselben Beurteiler (intraindividuell) muss gesichert sein.

2.3.4.1 Intraindividueller Methodenfehler

Direkt nach Beendigung der Datenauswertung (1. Durchsicht) wurden nach dem Zufallsprinzip die Orthopantomogramme von 25 Mädchen und 25 Jungen aus dem Gesamtdatenmaterial entnommen und durch die Autorin dieser Arbeit, die den Hauptanteil der Gesamtdaten (81 %) sichtet, erneut beurteilt (2. Durchsicht). 14 Tage später wurden dieselben 50 Daten ein drittes mal bewertet (3. Durchsicht). Zur Ermittlung des intraindividuellen Methodenfehlers wurde für jeden der Zähne 41 bis 47 eine Kreuztabelle erstellt, die jeweils die Werte einer Doppelbeurteilung (1. und 3. Durchsicht) darstellt (Tabelle 8.2.1.1 bis 8.2.1.7 im Anhang). Anhand dieser Kreuztabellen wurde die prozentuale Übereinstimmung und Abweichung der Beurteilungen pro Zahn relativ zur Anzahl der Probanden und somit die Reproduzierbarkeit der Methode ermittelt und in Tabelle 5 (Seite 25) dargestellt.

2.3.4.2 Interindividueller Methodenfehler

Um den interindividuellen Methodenfehler ermitteln zu können, wurden die unter 2.3.4.1 genannten 50 Orthopantomogramme durch einen zweiten Untersucher beurteilt und den Ergebnissen der zweiten Durchsicht des ersten Beobachters gegenübergestellt. Für die Zähne 41 bis 47 wurde jeweils eine Kreuztabelle erstellt (Tabellen 8.2.2.1 bis 8.2.2.7 im Anhang), welche die Beurteilungen der beiden Untersucher zeigt. Anhand dieser Kreuztabellen wurde die prozentuale Übereinstimmung und Abweichung der Beurteilungen

beider Untersucher pro Zahn relativ zur Anzahl der Probanden ermittelt und in Tabelle 6 (Seite 26) dargestellt.

Ferner wurde geprüft, bei welchen Mineralisationsstadien die größte Diskrepanz zwischen den beiden Beobachtern herrscht. Dies erfolgte anhand der Kreuztabellen 8.2.2.1 bis 8.2.2.7 (Anhang), indem analysiert wurde, wie oft jeder Beobachter jedes Mineralisationsstadium vergeben hat. Die prozentualen Abweichungen relativ zur Gesamtzahl der Beurteilungen zeigt Tabelle 7 (Seite 26).

2.3.5 Streudiagramme

Streudiagramme sind Korrelationsdiagramme, die bei Vorliegen von verbundenen Beobachtungen zweier Merkmale diese in einem Koordinatensystem durch entsprechende Punkte grafisch veranschaulichen. Streudiagramme können dann der Erkundung der Stärke eines Zusammenhanges dienen.

Es wurden Streudiagramme erstellt, in denen für Jungen und Mädchen die Beziehungen der Mittelwerte (pro Altersklasse) der „Summenwerte der Zähne 41 bis 47“, der „Summenwerte der Zähne 43, 44, 45, 47“, der „Summenwerte der Zähne 43, 44, 47“ sowie der „Summenwerte der Zähne 43, 45, 47“ zur Altersklasse und zum „skelettalen Alter nach Greulich und Pyle“ verdeutlicht werden. Weiterhin erfolgte die grafische Darstellung des Zusammenhanges zwischen „skelettalem Alter nach Greulich und Pyle“ und Altersklasse. Schließlich wurde die Entwicklung der Einzelzähne in Relation zur Altersklasse gesetzt.

Um die grafischen Darstellungen miteinander vergleichen zu können, erfolgte die Skalierung der Achsen für die jeweils betrachteten Größen identisch.

2.3.6 Korrelationsberechnungen

Korrelationen bezeichnen in der Statistik die Stärke eines Zusammenhangs zweier quantitativer Merkmale. Positive Korrelation liegt vor, wenn zu einem hohen Wert des einen Merkmals tendenziell auch ein hoher Wert des zweiten Merkmals gehört. Negative Korrelation besteht, wenn zu einem hohen Wert des einen Merkmals tendenziell ein niedriger Wert des anderen Merkmals gehört. Die Messung der Korrelation zweier Merkmale aus vorliegenden Wertepaaren erfolgt durch einen Korrelationskoeffizienten r , der Werte zwischen -1 und $+1$ annehmen kann. Das Vorzeichen gibt die Richtung des Zusammenhangs an und sein Absolutwert die Stärke. Nähern sich die Absolutwerte an $+1$, deuten sie auf stärkere positive Zusammenhänge hin. Findet eine Annäherung an -1 statt, bedeuten sie stärkere negative Zusammenhänge. Je mehr eine Annäherung an die Absolutwerte erfolgt, desto besser kann der Zusammenhang durch eine Regressionsgerade beschrieben werden. Liegt kein linearer Zusammenhang vor, ist $r = 0$.

In der vorliegenden Arbeit wurde der Rang-Korrelationskoeffizient nach Spearman angewendet, der ein nichtparametrisches Maß für die Korrelation zwischen zwei ordinalen Variablen darstellt.

Korrelationsberechnungen wurden für alle Kombinationen der Variablen „Altersklasse“, „Summenwerte der Zähne 41 bis 47“, „Summenwerte der Zähne 43, 44, 45, 47“, „Summenwerte der Zähne 43, 44, 47“, „Summenwerte der Zähne 43, 45, 47“ sowie „Skelettales Alter nach Greulich und Pyle“ durchgeführt.

Zur verbalen Beschreibung der Größe des Betrages des Korrelationskoeffizienten sind laut Bühl und Zöfel (1999) folgende Abstufungen üblich:

Tabelle 4 Aussage des Korrelationskoeffizienten nach Bühl und Zöfel (1999)

Wert	Interpretation
bis 0,2	Sehr geringe Korrelation
bis 0,5	Geringe Korrelation

bis 0,7	Mittlere Korrelation
bis 0,9	Hohe Korrelation
über 0,9	Sehr hohe Korrelation

3. Ergebnisse

3.1 Methodenfehler

3.1.1 Intraindividueller Methodenfehler

Der intraindividuelle Methodenfehler bei der Einschätzung der dentalen Reife wurde ermittelt, indem Doppelbeurteilungen von 50 Orthopantomogrammen durch denselben Untersucher verglichen wurden. Anhand der sich im Anhang befindlichen Kreuztabellen 8.2.1.1 bis 8.2.1.7 wurde die Anzahl der übereinstimmenden und abweichenden Doppelbeurteilungen der Zähne 41 bis 47 bestimmt und in Tabelle 5 angegeben. Weiterhin wurde ihr prozentuales Verhältnis in Relation zur Anzahl der Probanden dargestellt.

Tabelle 5 Intraindividueller Methodenfehler pro Zahn

Prozentuale Übereinstimmung und Abweichung relativ zur Anzahl der Probanden. Die Werte in Klammern entsprechen der Anzahl der übereinstimmenden bzw. abweichenden Beurteilungen.

Zahn	Anzahl	Übereinstimmung	Abweichung
41	50	100 % (50)	0 % (0)
42	50	96 % (48)	4 % (2)
43	50	96 % (48)	4 % (2)
44	50	100 % (50)	0 % (0)
45	50	94 % (47)	6 % (3)
46	50	98 % (49)	2 % (1)
47	50	96 % (48)	4 % (2)

Die abweichenden Beurteilungen desselben Beobachters waren in keinem der Fälle größer als ein Mineralisationsstadium.

3.1.2 Interindividueller Methodenfehler

Die Ermittlung des interindividuellen Methodenfehlers bei der Einschätzung der dentalen Reife erfolgte durch den Vergleich der Beurteilungen von zwei Beobachtern an 50 Orthopantomogrammen. Anhand der sich im Anhang befindlichen Kreuztabellen 8.2.2.1 bis 8.2.2.7 wurden die übereinstimmenden

und abweichenden Beurteilungen der Zähne 41 bis 47 bestimmt und in Tabelle 6 in Form der Anzahl und prozentual als Relation zur Anzahl der Probanden dargestellt.

Tabelle 6 Interindividueller Methodenfehler pro Zahn

Prozentuale Übereinstimmung und Abweichung relativ zur Anzahl der Probanden. Die Werte in Klammern entsprechen der Anzahl der übereinstimmenden bzw. abweichenden Beurteilungen.

Zahn	Anzahl	Übereinstimmung	Abweichung
41	50	96 % (48)	4 % (2)
42	50	88 % (44)	12 % (6)
43	50	76 % (38)	24 % (12)
44	50	72 % (36)	28 % (14)
45	50	82 % (41)	18 % (9)
46	50	92 % (46)	8 % (4)
47	50	82 % (41)	18 % (9)

Eine weitere Analyse sollte klären, bei welchen Mineralisationsstadien am häufigsten Abweichungen zwischen den Beurteilungen der Prüfer auftraten. Dazu wurde anhand der Kreuztabellen 8.2.2.1 bis 8.2.2.7 ermittelt, wie oft das jeweilige Mineralisationsstadium von den Prüfern vergeben wurde. Die Ergebnisse sind der Tabelle 7 zu entnehmen.

Tabelle 7 Interindividueller Methodenfehler pro Mineralisationsstadium

Gesamtzahl der Beurteilungen pro Untersucher N = 350.

Die Übereinstimmungen sind fettgedruckt hervorgehoben.

	Mineralisationsstadien	Untersucher 2				Gesamt Untersucher 1	Abweichung von Untersucher 2 zu 1
		5	6	7	8		
Untersucher 1	5	14	2			16	12,5 %
	6	5	100	1		106	5,7 %
	7		27	27	6	60	55,0 %
	8			15	153	168	8,9 %
Gesamt Untersucher 2		19	129	43	159	350	

Zwischen den Beurteilungen der Untersucher war die Differenz in keinem der Fälle größer als eine Mineralisationsstufe.

3.2 Mittelwerte

Die Tabellen über arithmetische Mittelwerte, Standardabweichungen, Minimum- und Maximumwerte für die Variablen „Summenwerte der Zähne 41 bis 47“, „Summenwerte der Zähne 43, 44, 45, 47“, „Summenwerte der Zähne 43, 44, 47“, „Summenwerte der Zähne 43, 45, 47“ sowie „Skelettales Alter nach Greulich und Pyle“ pro Altersklasse befinden sich für Jungen und Mädchen separat im Anhang (Tabellen 8.1.1 und 8.1.2).

3.3 Streudiagramme

Die folgenden Jahresangaben in den Erläuterungen zu den jeweiligen Grafiken beziehen sich auf die entsprechenden Altersklassen.

Bei allen Streudiagrammen ergeben sich die dargestellten Kurven aus Geraden, die jeweils benachbarte Punkte miteinander verbinden (Polygonzug).

Es sei vorweggenommen, dass die Kurven, die in Zusammenhang mit den Mineralisationsstadien des Zahnes 47 (Jungen und Mädchen) und mit den Summenwerten der weiblichen Probanden stehen, ab der Altersklasse von 15 Jahren negative Steigungen aufweisen. Der Prozess der Mineralisation der Zähne nimmt aber physiologisch zu. Der Fehler bei dem Mittelwert für den Summenwert in der Altersklasse von 15 Jahren ist aufgrund der geringen Anzahl an Probanden, die ein geringes Zahnalter aufweisen, beträchtlich.

3.3.1 Entwicklung der Zähne 41 bis 47

In den Abbildungen 7 und 8 wird die Entwicklung der Zähne 41 bis 47 bei Jungen und Mädchen betrachtet. Für jeden Zahn wurde der Mittelwert seiner zugeordneten Mineralisationsstadien pro Altersklasse und Geschlecht ermittelt und grafisch gegen die Altersklasse dargestellt.

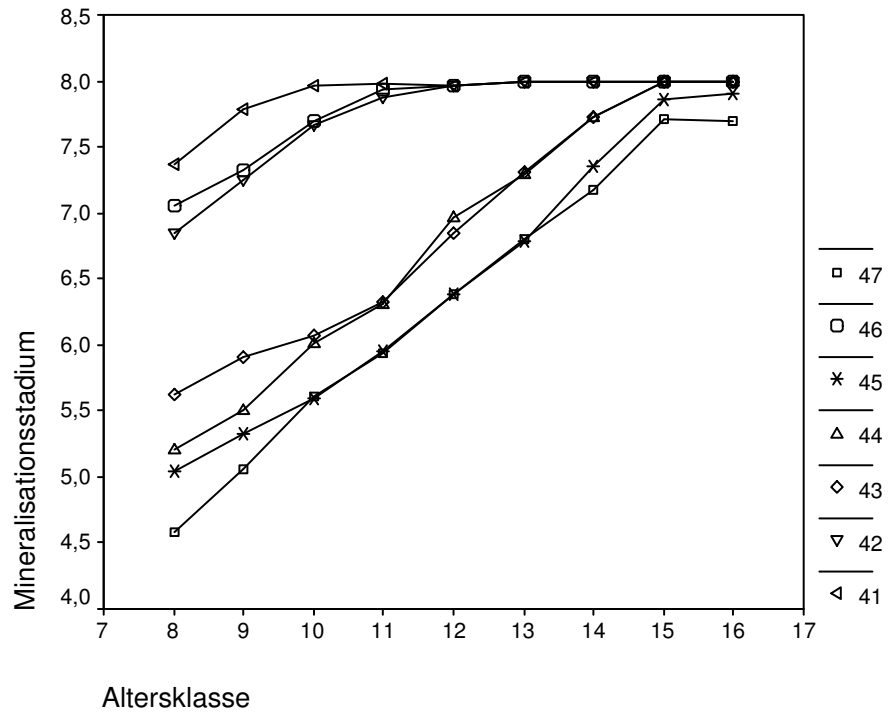


Abb. 7: Mittelwerte der Mineralisationsstadien der Zähne 41 bis 47 männlicher Probanden pro Altersklasse auf der Ordinate aufgetragen gegen die Altersklasse auf der Abszisse

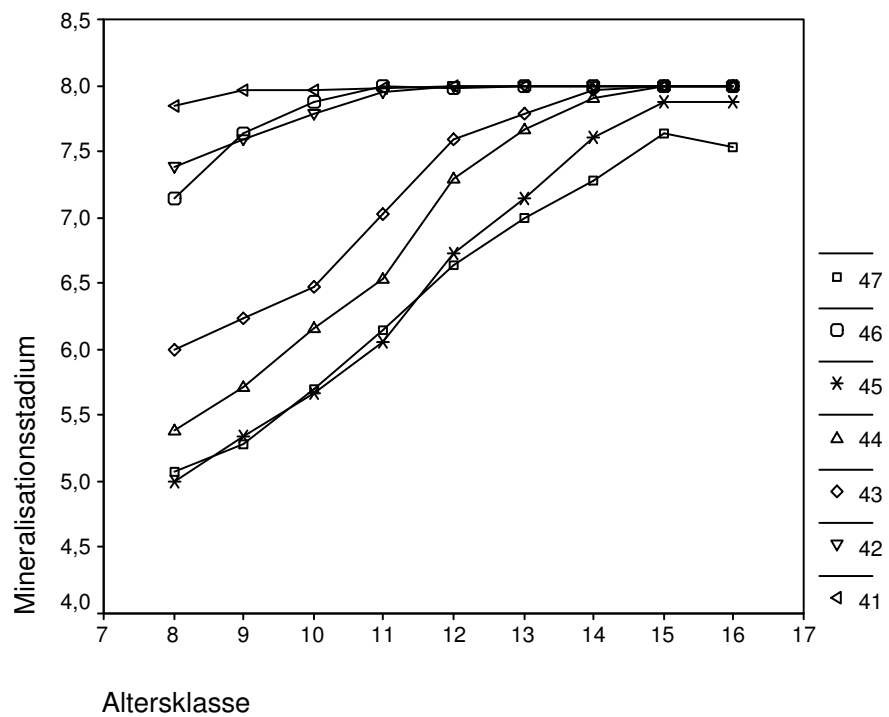


Abb. 8: Mittelwerte der Mineralisationsstadien der Zähne 41 bis 47 weiblicher Probanden pro Altersklasse auf der Ordinate aufgetragen gegen die Altersklasse auf der Abszisse

Dabei fällt auf, dass den Schneidezähnen und dem ersten Molar zu früheren Zeitpunkten höhere Mineralisationsstadienwerte zugeordnet sind. Diese Zähne gehören der ersten Wechselphase des bleibenden Gebisses an und sind somit in ihrer Entwicklung weiter fortgeschritten als die restlichen Zähne eines Quadranten. Man kann sie einem zeitlich früher reifenden System zuordnen. Da die Zähne 41, 42 und 46 im untersuchten Zeitraum nur noch Mineralisationsstadienwerte von hauptsächlich 7 und 8 aufweisen, und ab 10 Jahren durchschnittlich nur noch Werte von 8 auftreten, sind sie für den Kieferorthopäden in dem untersuchten Altersbereich von 8 bis 16 Jahren für die Bestimmung des dentalen Alters von geringerem Interesse.

Bei Betrachtung der Kurven für die Zähne 43, 44, 45 und 47 der Jungen (Abbildung 7) fällt auf, dass 43 zu Beginn des Untersuchungszeitraums den höchsten Mineralisationsstadienwert hat, gefolgt von 44, 45 und 47. Die Zähne 43 und 44 befinden sich während des gesamten Untersuchungszeitraums auf einem höheren Mineralisationsstadienniveau als 45 und 47. Es ist auffällig, dass 43 und 45 sowie 44 und 47 jeweils einen ähnlichen Kurvenverlauf aufweisen. Ab 10 Jahren decken sich die Kurven der Zähne 43 und 44 annähernd, die Kurven der Zähne 45 und 47 sind bis zur Altersklasse von 13 Jahren deckungsgleich. Während dann 43 und 44 dieselbe Entwicklung in ihrer Mineralisation aufweisen, verläuft die Entwicklung der Zähne 45 und 47 ab diesem Zeitpunkt nicht mehr kongruent. 43 und 44 haben ihren Mineralisationsprozess mit der Altersklasse von 15 Jahren abgeschlossen, 45 und 47 erreichen das Ende ihres Mineralisationsprozesses im untersuchten Zeitraum nicht.

Bei den Mädchen hat der Zahn 43 zu Beginn des Untersuchungszeitraums wie bei den Jungen den höchsten Mineralisationsstadienwert (Abbildung 8), gefolgt von 44, 47 und 45. 43 und 44 befinden sich während des gesamten Untersuchungszeitraums auf einem höheren Stadienniveau als 45 und 47. Die Zähne 43, 44 und 45 weisen einen ähnlichen Kurvenverlauf auf. Bis zur Altersklasse von 11 Jahren decken sich die Kurven der Zähne 45 und 47 annähernd. Anschließend beschleunigt sich die Entwicklung von 45 gegenüber 47. 43 und 44 haben ihre Entwicklung mit 15 Jahren abgeschlossen, 45 und 47 erreichen das Ende ihres Mineralisationsprozesses im untersuchten Zeitraum nicht.

3.3.2 Dentales Alter männlicher und weiblicher Probanden ermittelt anhand der Summenwerte der Zähne 41 bis 47

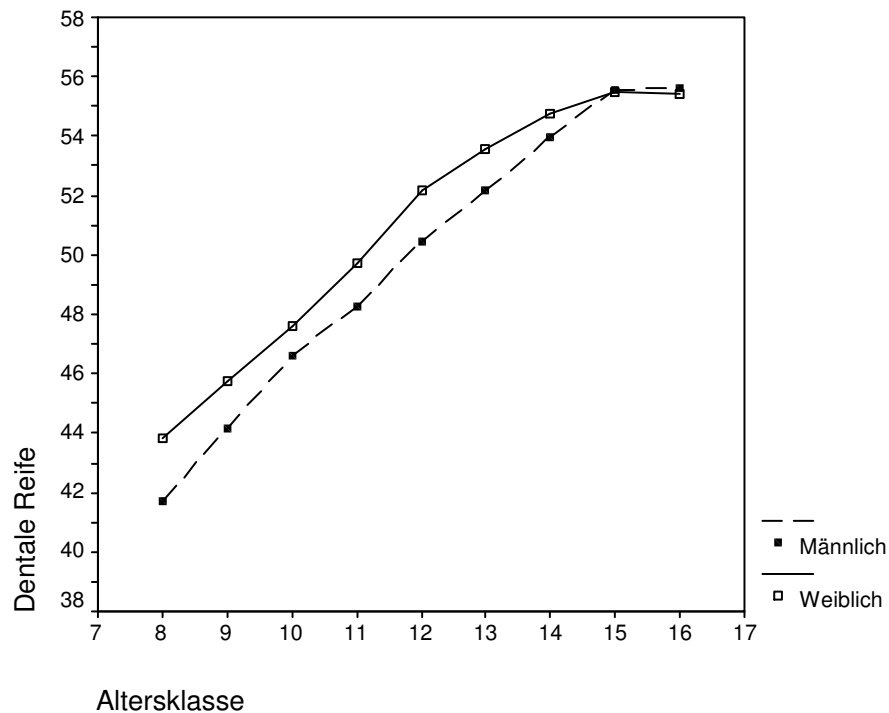


Abb. 9: Mittelwerte der Summenwerte des 4. Quadranten männlicher und weiblicher Probanden pro Altersklasse auf der Ordinate aufgetragen gegen die Altersklasse auf der Abszisse

Die grafische Darstellung zeigt die Abhängigkeit der Mittelwerte der Summenwerte der Zähne 41 bis 47 von der Altersklasse für Jungen und Mädchen. Dabei fällt auf, dass die Kurve für die Mädchen bis zur Altersklasse von 15 Jahren auf einem höheren Summenwertniveau verläuft als die Kurve für die Jungen. Der Schnittpunkt der beiden Kurven liegt bei der Altersklasse von 15 Jahren.

Die Kurve für die Jungen hat bis zur Altersklasse von 15 Jahren einen starken linearen Charakter, es bestehen geringere Steigungsänderungen als bei den Mädchen. Bei diesen ist die Geschwindigkeit der Mineralisation zwischen 11 und 12 Jahren am höchsten. Anschließend wird sie zunehmend geringer.

3.3.3 Dentales Alter männlicher und weiblicher Probanden ermittelt anhand verschiedener Zahnkombinationen

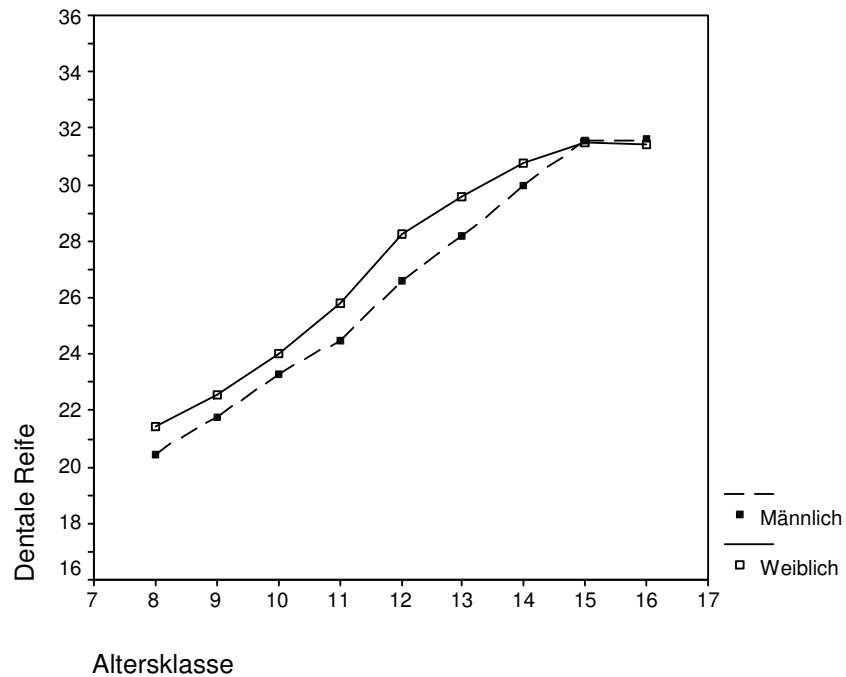


Abb. 10: Mittelwerte der Summenwerte der Zähne 43, 44, 45 und 47 männlicher und weiblicher Probanden pro Altersklasse auf der Ordinate aufgetragen gegen die Altersklasse auf der Abszisse

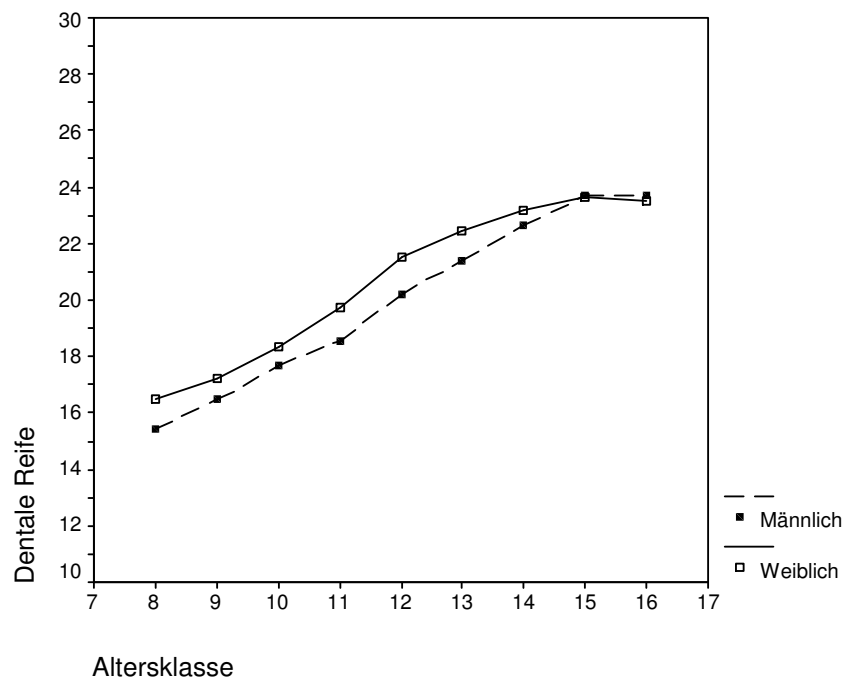


Abb. 11: Mittelwerte der Summenwerte der Zähne 43, 44 und 47 männlicher und weiblicher Probanden pro Altersklasse auf der Ordinate aufgetragen gegen die Altersklasse auf der Abszisse

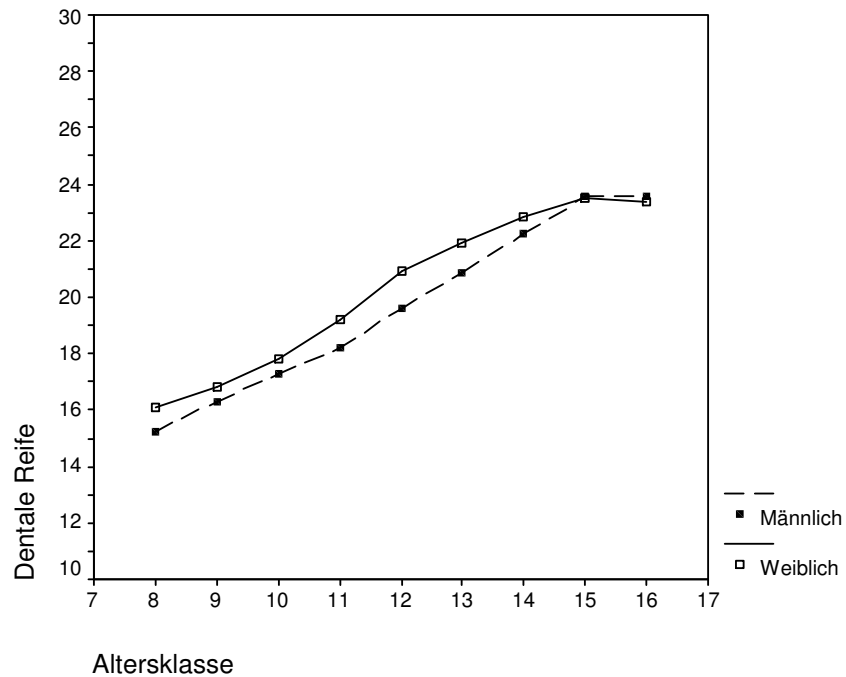


Abb. 12: Mittelwerte der Summenwerte der Zähne 43, 45 und 47 männlicher und weiblicher Probanden pro Altersklasse auf der Ordinate aufgetragen gegen die Altersklasse auf der Abszisse

Die Grafiken 10, 11 und 12 zeigen die Abhängigkeit des Mittelwertes der Summenwerte der verschiedenen Zahnkombinationen (43 / 44 / 45 / 47, 43 / 44 / 47, 43 / 45 / 47) vom Alter für Jungen und Mädchen.

Die Kurvenverläufe der verschiedenen Zahnkombinationen für die männlichen und weiblichen Probanden entsprechen in ihrer Charakteristik den Kurven in Abbildung 9, welche die Abhängigkeit der Summenwerte der Zähne des 4. Quadranten (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7) vom Alter verdeutlichen.

Die Skalierung der Ordinaten unterscheidet sich bei den Grafiken 9 bis 12, da mit abnehmender Anzahl an Zähnen, die zur Summenwertbildung herangezogen werden, sich dieser entsprechend verringert. Berechnet man den Summenwert anhand der Zähne 41 bis 47, ergibt sich ein Summenmaximalwert von 56 (7 Zähne x 8 mögliche Mineralisationsstadienwerte). Bei der 4-Zahn-Kombination ergibt sich demzufolge ein Summenmaximalwert von 32, bei den 3-Zahn-Kombinationen von jeweils 24.

3.3.4 Skelettales Alter männlicher und weiblicher Probanden

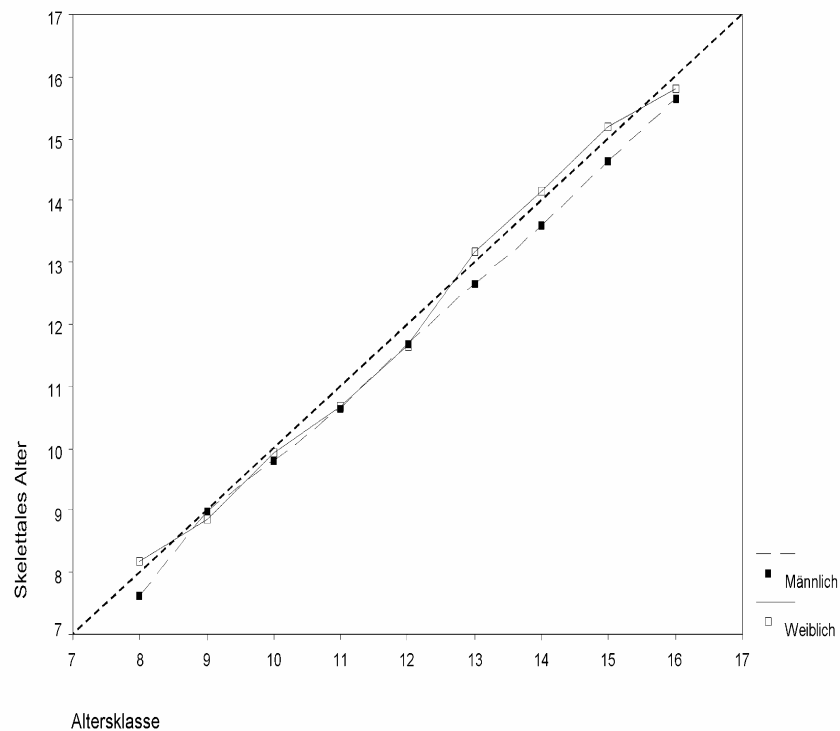


Abb. 13: Mittelwerte des skelettalen Alters nach Greulich und Pyle männlicher und weiblicher Probanden pro Altersklasse auf der Ordinate aufgetragen gegen die Altersklasse auf der Abszisse

Abbildung 13 zeigt den Zusammenhang zwischen dem skelettalen Alter nach Greulich und Pyle (skelettale Reife) und dem Alter männlicher und weiblicher Probanden Nord- und Mittelhessens. Durch die Verknüpfung dieser beiden Variablen ergibt sich das skelettale Alter der von uns untersuchten Population, wobei dieses dem Alter auf der Abszisse entspricht. Es fällt auf, dass sich das skelettale Alter beider Populationen kaum unterscheidet. Aus der Grafik 13 und den Tabellen 8.1.1 und 8.1.2 im Anhang ist ersichtlich, dass die Differenz des durchschnittlichen skelettalen Alters beider Populationen nie größer als ein halbes Jahr ist. Das skelettale Alter der von uns untersuchten Population entspricht dem der Population bei Greulich und Pyle (1959) (siehe 4.3.1, Seite 50 f).

In den folgenden Grafiken wird daher nicht mehr zwischen skelettalem Alter nach Greulich und Pyle (skelettaler Reife) und skelettalem Alter differenziert.

3.3.5 Beziehung der Summenwerte der Zähne 41 bis 47 zu dem skelettalen Alter männlicher und weiblicher Probanden

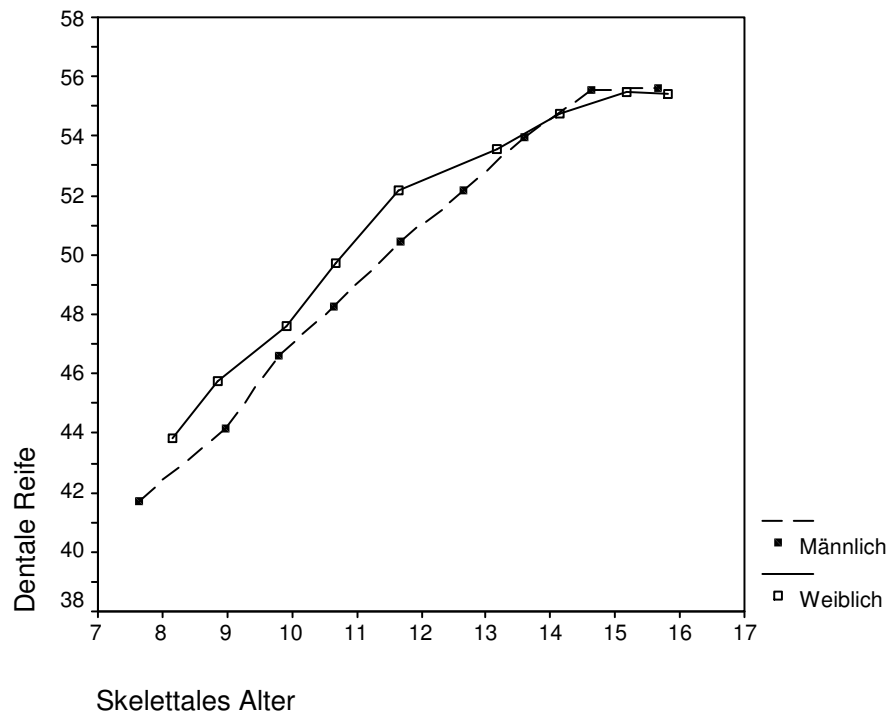


Abb. 14: Mittelwerte der Summenwerte der Zähne 41 bis 47 männlicher und weiblicher Probanden pro Altersklasse auf der Ordinate aufgetragen gegen die Mittelwerte des skelettalen Alters auf der Abszisse

Stellt man die Mittelwerte der Summenwerte der Zähne 41 bis 47 pro Altersklasse gegen das mittlere skelettale Alter pro Altersklasse grafisch dar, ist festzustellen, dass die Kurve für die männlichen Probanden einen starken linearen Charakter aufweist. Es finden zwei nennenswerte Steigungsänderungen statt: zwischen 9 und 10 sowie ab 14,5 Jahren skelettalen Alters. Bei den Mädchen sind stärkere Steigungsänderungen ersichtlich, zwischen 8 und 9 sowie zwischen 10 und 11,5 Jahren skelettalen Alters sind diese am stärksten. Von 11,5 bis 15 Jahren skelettalen Alters hat dann auch die Kurve der Mädchen einen starken linearen Charakter. Während die Kurve für die weiblichen Probanden bis zu einem skelettalen Alter von ca. 13,5 Jahren über dem Summenwertniveau der Kurve für die Jungen verläuft, befindet sich hier der Schnittpunkt, ab dem die Kurve für die weiblichen Probanden dann unterhalb der Kurve für die Jungen verläuft.

3.3.6 Beziehung der Summenwerte verschiedener Zahnkombinationen zu dem skelettalen Alter männlicher und weiblicher Probanden

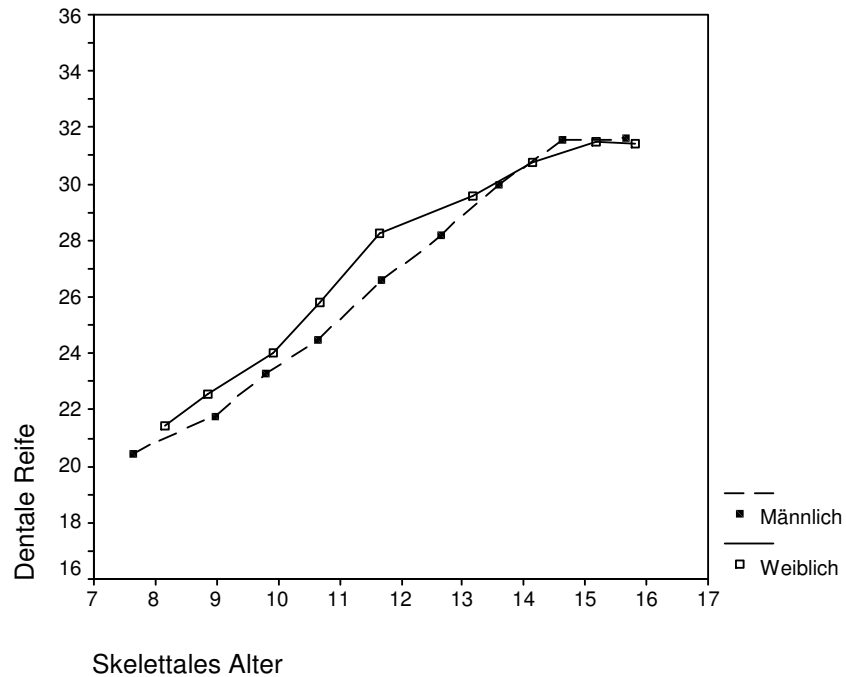


Abb. 15: Mittelwerte der Summenwerte der Zähne 43, 44, 45 und 47 männlicher und weiblicher Probanden pro Altersklasse auf der Ordinate aufgetragen gegen die Mittelwerte des skelettalen Alters auf der Abszisse

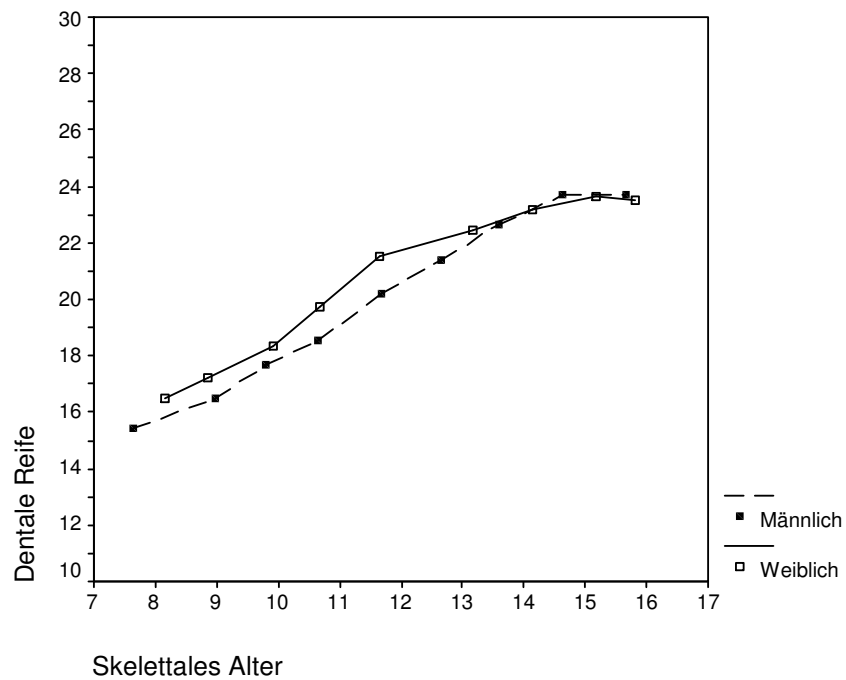


Abb. 16: Mittelwerte der Summenwerte der Zähne 43, 44 und 47 männlicher und weiblicher Probanden pro Altersklasse auf der Ordinate aufgetragen gegen die Mittelwerte des skelettalen Alters auf der Abszisse

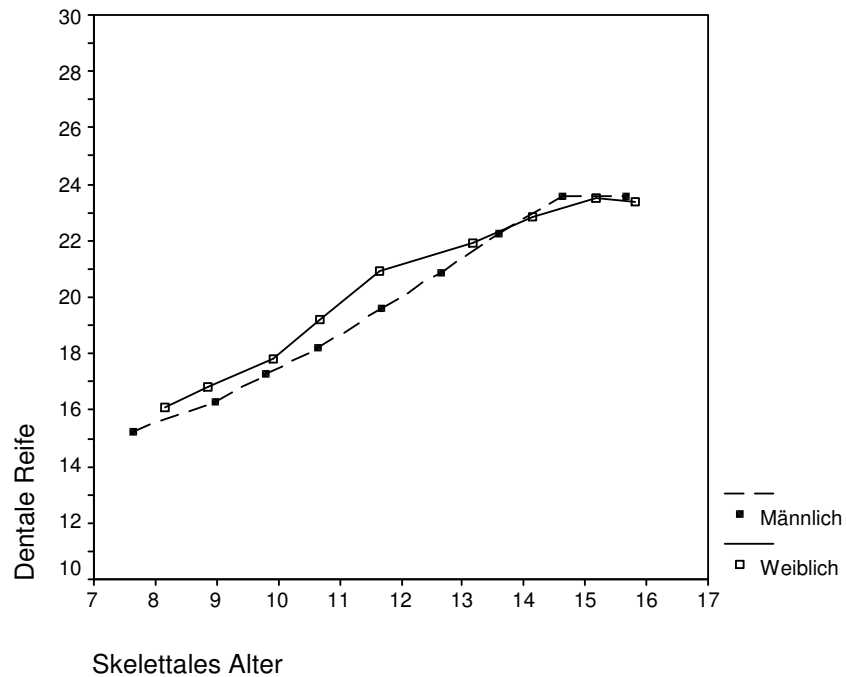


Abb. 17: Mittelwerte der Summenwerte der Zähne 43, 45 und 47 männlicher und weiblicher Probanden pro Altersklasse auf der Ordinate aufgetragen gegen die Mittelwerte des skelettalen Alters auf der Abszisse

Die Grafiken 15, 16 und 17 zeigen die Abhängigkeit des Mittelwertes der Summenwerte der verschiedenen Zahnkombinationen (43 / 44 / 45 / 47, 43 / 44 / 47, 43 / 45 / 47) vom skelettalen Alter für Jungen und Mädchen.

Die Kurvenverläufe der verschiedenen Zahnkombinationen für die männlichen und weiblichen Probanden entsprechen in ihrer Charakteristik den Kurven in Abbildung 14, welche die Abhängigkeit der Summenwerte aller Zähne des 4. Quadranten (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7) vom skelettalen Alter verdeutlichen. Es fällt auf, dass die Kurven mit abnehmender Anzahl an Zähnen weniger starke Steigungsänderungen aufweisen.

Bei den Grafiken 14 bis 17 unterscheidet sich die Skalierung der Ordinaten. Die Erläuterung hierfür ist unter 3.3.3 (Seite 32) nachzulesen.

3.4 Rang-Korrelationskoeffizienten nach Spearman

Die Tabelle 8 zeigt die Korrelationen zwischen allen Kombinationen der untersuchten Reifeindikatoren Alter, Summenwerte (dentale Reife) und skelettales Alter nach Greulich und Pyle (skelettale Reife) männlicher und weiblicher Probanden.

Tabelle 8 Rang-Korrelationskoeffizienten nach Spearman für männliche und weibliche Probanden.

Die Korrelationskoeffizienten der männlichen Probanden sind fettgedruckt hervorgehoben.

	Alter	Summen- werte 41 bis 47	Summen- werte 43, 44, 45, 47	Summen- werte 43, 44, 47	Summen- werte 43, 45, 47
Summenwerte 41 bis 47	0,85 0,88				
Summenwerte 43, 44, 45, 47	0,85 0,88	0,99 1,00			
Summenwerte 43, 44, 47	0,85 0,88	0,98 0,99	0,99 0,99		
Summenwerte 43, 45, 47	0,84 0,87	0,99 0,99	0,99 0,99	0,98 0,98	
Skelettales Alter nach Greulich und Pyle	0,87 0,88	0,78 0,81	0,78 0,81	0,78 0,81	0,77 0,81

Die Ergebnisse der Korrelationsberechnungen sind alle auf dem Niveau von 0,01 signifikant, d. h. es besteht eine statistisch gesicherte Abhängigkeit zwischen den jeweils betrachteten Reifesystemen.

Die Korrelation zwischen den Summenwerten, gebildet aus den unterschiedlichen Zahn-Kombinationen ist sehr hoch. Alle anderen Reifeindikatoren korrelieren in hohem Maße.

4. Diskussion

4.1 Methodenfehler

Die Präzision bei der Auswertung von Röntgenbildern kann von einer Reihe von Faktoren negativ beeinflusst werden. Zu nennen sind die Mitarbeit des Patienten während der Aufnahme der Röntgenbilder, er sollte sich z. B. nicht bewegen, um Verwacklungen und somit Unschärfen zu vermeiden. Im Fall des Orthopantomogrammes (OPG) muss beispielsweise die Zunge am Gaumen liegen, da anderenfalls Aufhellungen im Bereich des Gaumens die Wurzelanatomie der Oberkieferzähne verfälschen können. Dies ist allerdings für die vorliegende Arbeit nicht von Interesse, da nur Zähne eines Unterkieferquadranten beurteilt wurden. Der Patient muss im Aufnahmegerät exakt nach standardisierten Bezugspunkten positioniert werden. Anderenfalls entstehen neben weiteren projektionsbedingten Abweichungen unerwünschte Überlagerungen wichtiger zu beurteilender Strukturen. Teilweise werden auch anatomische Verhältnisse des Patienten die Genauigkeit der Beurteilung beeinflussen, z. B. ruft die Überlagerung durch die Wirbelsäule eine Unschärfe im Frontzahnbereich hervor. Weiterhin wirkt sich eine nicht achsengerechte Stellung von Zähnen im Zahnbogen negativ auf die Exaktheit der Beurteilung aus, da die Relationen nicht naturgetreu wiedergegeben werden können. So verändert sich z. B. das Kronen- zum Wurzelverhältnis bei nach oral bzw. vestibulär inklinierten Zähnen. Die Aufnahmetechnik spielt ebenfalls eine Rolle. Bei dem OPG als einer Schichtaufnahme mit ellipsoidem Röntgenstrahlenverlauf um den Kopf herum findet zwar eine Annäherung an die natürliche Kopfform statt, die individuellen Verhältnisse des einzelnen Patienten können aber aus technischen Gründen derzeit nicht exakt berücksichtigt werden. Somit kann es zu Verzeichnungen kommen, da teilweise nicht nur die relevanten Schichten abgebildet werden. Schließlich können sich auch das Entwicklungsverfahren und die Lagerung auf die Qualität von Röntgenaufnahmen negativ auswirken. So können die Bilder beim Entwicklungsvorgang Schäden davontragen, wenn z. B. die Entwicklerflüssigkeiten verunreinigt oder zu alt sind. Eine unsachgemäße Lagerung kann u. a. dazu führen, dass Röntgenbilder verblassen und somit weniger gut beurteilbar sind. Qualitativ minderwertige Aufnahmen wurden nicht in das Untersuchungsgut aufgenommen.

4.1.1 Betrachterabhängiger Methodenfehler

Die in dieser Querschnittsstudie angewandte Methode zur Bestimmung der dentalen Reife wird in der Praxis bereits angewendet. Aus diesem Grund und wegen der Tatsache, dass 19 % der Orthopantomogramme dieser Studie von einem zweiten Beobachter ausgewertet wurden, ist es wichtig zu wissen, wie reproduzierbar das Verfahren ist. Somit fand eine Auswertung der intra- und interindividuellen Beurteilungen statt.

4.1.1.1 Intraindividueller Methodenfehler

Wie in Kapitel 2.3.4.1 (Seite 22) erläutert, wurden die Beurteilungen der ersten und der dritten Durchsicht der 50 Orthopantomogramme durch einen Beurteiler verglichen. Genau diese beiden Durchsichten wurden für die statistischen Untersuchungen herangezogen, da hier die größte Zeitspanne zwischen den Mehrfachbeurteilungen existiert. Dies berücksichtigt den Lerneffekt bei dem Untersucher, und es liegen 14 auswertungsfreie Tage zwischen den Beurteilungen, was Rückschlüsse auf die Reproduzierbarkeit zulässt.

Die Ergebnisse in bezug auf den intraindividuellen Methodenfehler bei der Bestimmung der dentalen Reife zeigen eine perfekte Übereinstimmung der Doppelbewertung bei zwei Zähnen (41, 44). Die größte Abweichung trat bei dem Zahn 45 mit 94 %iger Übereinstimmung auf. Insgesamt überschritt die Differenz zwischen den Beurteilungen in keinem der Fälle ein Mineralisationsstadium.

Die Ergebnisse sind in ihrer Gesamtheit sehr gut, und im Vergleich mit den Ergebnissen anderer Studien (Nyström *et al.* 1986 und 1988, Frucht *et al.* 2000) besteht in unserer Arbeit eine höhere Konkordanz. Dennoch sollte durch häufige Kontrolle seitens des Beurteilers mit eigenen Referenzdaten und den Methodenstandards eine permanente Kalibrierung erfolgen, um den intraindividuellen Methodenfehler auf ein Minimum zu reduzieren bzw. ihn zu eliminieren.

Die Auswertung der Röntgenaufnahmen erfolgte anhand der Mineralisationsstadien von Demirjian *et al.* (1973) und anhand der grafischen Darstellungen dieser von Prahl-Andersen und van der Linden (1972). Die Definitionen wurden studiert und im weiteren Verlauf der Auswertungen wurden hauptsächlich die grafischen Darstellungen zur Einschätzung der Mineralisationsstadien der Zähne verwendet. Aus den Ergebnissen bezüglich der Reproduzierbarkeit der Methode kann man schließen, dass die grafischen Darstellungen von Prahl-Andersen und van der Linden geeignet sind, die dentale Reife zu beurteilen.

4.1.1.2 Interindividueller Methodenfehler

Die unter 2.3.4.2 (Seite 22) genannten Durchsichten wurden statistisch ausgewertet, da genau mit diesen Auswertungen bei beiden Untersuchern dieselben Voraussetzungen vorliegen. Beide Beobachter beurteilten Orthopantomogramme nach der vorgestellten modifizierten Methode. Nach jeweiliger Beendigung der Auswertung sichteten beide Beurteiler sofort dieselben 50 Orthopantomogramme. Somit waren für die interindividuelle Vergleichbarkeit in bezug auf den Zeitpunkt und somit auf den Lerneffekt und die Reproduzierbarkeit dieselben Voraussetzungen gegeben.

Der interindividuelle Methodenfehler bei der Bestimmung der dentalen Reife wird zum einen dargestellt als prozentuales Verhältnis der übereinstimmenden Beurteilungen von zwei Beobachtern pro Zahn gegenüber der Anzahl der Fälle. Zum anderen wird die Übereinstimmung in bezug auf die Gesamtzahl der Beurteilungen gezeigt.

Die größte Übereinstimmung liegt vor bei dem Zahn 41, bei welchem die Prüfer in 48 von 50 Fällen (96 %) dasselbe Mineralisationsstadium zuordneten. Eine ebenfalls hohe Konformität ist bei dem Zahn 46 mit 92 % zu finden. Zahn 42 wurde mit 88 %iger Übereinstimmung, 45 und 47 mit jeweils 82 %iger Konkordanz beurteilt. Zu 76 % wurde der Zahn 43 übereinstimmend beurteilt. Die geringste Konkordanz liegt bei dem Zahn 44 mit 72 % vor.

In Bezug auf die Gesamtzahl der Beurteilungen tritt eine Übereinstimmung in 84 % der Fälle auf. Dies ist z. B. im Vergleich zu Demirjian *et al.* (1973) ein niedriger Prozentsatz. Betrachtet man den interindividuellen Methodenfehler bei den verschiedenen Zahn-Teilsystemen zur Bestimmung der dentalen Reife (berechnet anhand der Kreuztabellen 8.2.2.3, 8.2.2.4, 8.2.2.5 und 8.2.2.7 im Anhang), ergibt sich bei den Zähnen 43, 44, 45 und 47 eine Übereinstimmung in 78 % der Fälle, bei 43, 44 und 47 in 76,7 % der Fälle und bei 43, 45 und 47 in 80 % der Fälle. Bei der Beurteilung der Zähne 41 bis 47 ist also mit 84 %iger Übereinstimmung der geringste Methodenfehler aufgetreten. Die Reduktion der Anzahl der Zähne bringt demzufolge keine Verringerung des interindividuellen Methodenfehlers mit sich.

Normalerweise sollte jedes Mineralisationsstadium eindeutig zu identifizieren und zu bewerten sein. Eine gleichartige Beurteilung eines Zahnes von zwei Untersuchern in 72 % der Fälle, was bei 50 Beurteilungen eine Anzahl von 36 ausmacht, ist eher gering. Auf die Eindeutigkeit der Beurteilung kann sich die oben bereits erwähnte Qualität der Röntgenbilder limitierend auswirken, sodass sich Beurteiler trotz exakter Kenntnis der Beurteilungskriterien unsicher sein können und die nächst niedrigere Mineralisationsstufe wählen. Es ist zu beachten, dass die Prüfer vor Beginn der Studie zwar kalibriert wurden, sich jedoch eine gewisse Erfahrung und Routine erst im Verlauf der Untersuchung aneigneten. Weiterhin können Unsicherheiten von Beurteilern aus nicht ausreichenden Kenntnissen der Bewertungskriterien resultieren.

Betrachtet man die Ergebnisse der Korrelationsanalyse bezüglich der Summenwerte mit dem Alter in der vorliegenden Studie, befinden sich die Ergebnisse im Bereich der Resultate anderer Studien (Frucht *et al.* 2000, Schopf 1970). Der aufgetretene interindividuelle Methodenfehler scheint das Gesamtergebnis somit nicht sehr stark beeinflusst zu haben.

Die Analyse, die klären sollte, bei welchen Mineralisationsstadien die stärkste Differenz zwischen den beiden Beobachtern auftrat, ergibt den größten Unterschied, wenn Beobachter 1 das Stadium 7 vergab. Beobachter 2 wählte in diesem Fall zu 45 % das Mineralisationsstadium 6 und zu 10 % das Mineralisa-

tionsstadium 8. Die nächsthöchste Differenz zwischen den Beurteilungen beider Beobachter trat auf, wenn Untersucher 1 das Mineralisationsstadium 5 wählte. Dann urteilte Beobachter 2 zu 12,5 % mit Stadium 6. Entschied sich Beobachter 1 für das Stadium 6, wählte Beobachter 2 zu 4,7 % das Stadium 5 und zu 0,9 % das Stadium 7. Die geringste Abweichung trat auf, wenn Beobachter 1 das Stadium 8 vergab. Zu 8,9 % wählte Beobachter 2 in diesem Fall das Stadium 7.

Ursächlich für die hohe Diskrepanz zwischen den Mineralisationsstadien 6 und 7 kann die Definition dieser Stadien laut Demirjian *et al.* (1973) sein (Tabelle 3, Seite 16 ff). Bei der Beurteilung hat der Untersucher einen gewissen Spielraum. Die Grenze zwischen diesen beiden Stadien ist bei einwurzeligen Zähnen nicht eindeutig definiert. Jeder Beobachter entscheidet individuell, wo genau er diese Grenze sieht. Erst wenn bei Molaren die mesiale Wurzelspitze verschlossen, die distale aber noch offen ist, liegt definitiv das Stadium 7 vor.

Es ist gelegentlich schwierig zu entscheiden, ob das Mineralisationsstadium 8 erreicht ist. Teilweise kann man noch einen feinen Spalt am Ende des Wurzelkanals ausmachen, obwohl die weiteren Kriterien der Anatomie der direkten Wurzel- und Wurzelspitzenumgebung laut Demirjian *et al.* (1973) für das letzte Mineralisationsstadium (Tabelle 3, Seite 16) bereits erfüllt sind. Dies kann den Beurteiler zu der Vermutung führen, der Mineralisationsprozess sei abgeschlossen. Die Illustration von Prah-Andersen und van der Linden (1972) ist hier nicht eindeutig, der Apex ist bei dem Mineralisationsstadium 8 noch verhältnismäßig weit geöffnet. Der in der Röntgenanatomie erfahrene Zahnarzt richtet sich in diesen Fällen wahrscheinlich eher nach Demirjian *et al.* (1973) und entscheidet sich für das geringere Mineralisationsstadium.

Bei einem geringen Anteil der Fälle lagen Diskrepanzen zwischen den Stadien 5 und 6 vor. Hier ist die Definition der Stadien klar und die Beurteilung hätte von diesem Standpunkt aus exakt sein müssen. Eine Möglichkeit der voneinander abweichenden Beurteilung ist die falsche Einschätzung der Relation der Kronen- zur Wurzelhöhe. Es wurde nicht immer eine exakte Längenmessung vorgenommen, sondern es wurden die Relationen zum Großteil mit dem bloßen Auge abgeschätzt. Lediglich in Zweifelsfällen wurde ein Hilfsmittel benutzt, um

die Relation der Kronen- zur Wurzelhöhe genau zu bestimmen. Selbst hier ist aber ein gewisser Fehler vorprogrammiert, da ein Messbehelf nicht immer exakt nach denselben Bezugspunkten ausgerichtet werden kann.

Hägg und Matsson (1985) untersuchten die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit verschiedener Methoden zur Bestimmung der dentalen Reife. Es ergaben sich bei ihrer Analyse des interindividuellen Methodenfehlers Korrelationskoeffizienten, die alle gleich oder größer als 0,97 sind, was einer sehr hohen Korrelation entspricht. Es ist hervorzuheben, dass bei der zitierten Studie Kalibrierungen von zwei Untersuchern sowohl vor Beginn als auch während der Untersuchungen durchgeführt wurden. Auch bei Demirjian *et al.* (1973) wurden am Abend eines jeden Untersuchungstages Kalibrierungen vorgenommen. In der vorliegenden Studie fand eine Kalibrierung der beiden Prüfer lediglich vor Beginn der Auswertung statt. Die Ergebnisse von Hägg und Matsson (1985) sowie auch anderer Forscher verdeutlichen, dass eine Kontrolle der Beurteilungen mehrerer Untersucher auch im Verlauf einer Studie sinnvoll ist. Dadurch können Differenzen aufgedeckt und diskutiert werden, was einer neuen Kalibrierung entspricht, die zur Verbesserung der interindividuellen Konkordanz führt.

Die modifizierte Methode, die in der kieferorthopädischen Abteilung der Universitätszahnklinik Marburg zur Bestimmung der dentalen Reife angewendet wird, ist präzise und reproduzierbar. Wird die Einschätzung der dentalen Reife von einem Untersucher durchgeführt, erhöht sich die Reproduzierbarkeit der Methode. Die Feststellung, dass Präzision und Reproduzierbarkeit durch nur einen Untersucher erhöht werden, ist bereits bekannt (Nyström *et al.* 1988).

Schlussendlich ist - vor allem bei mehr als einem Beobachter - eine exakte Einarbeitung und fortlaufende Kalibrierung notwendig, um die Genauigkeit einer Methode zu erhöhen und das Ergebnis zu perfektionieren.

4.2 Lineare Abhängigkeit der Zahnentwicklung vom Alter

In den grafischen Darstellungen über den Mineralisationsprozess der einzelnen Zähne des vierten Quadranten in Abhängigkeit vom Alter ist erkennbar, dass im untersuchten Altersbereich von 8 bis 16 Jahren die Kurven der Zähne 43, 44, 45 und 47 sowohl einzeln (Abbildungen 7 und 8, Seite 28) als auch in ihrer Summe (Abbildungen 10 - 12, Seite 31 f) einen annähernd linearen Verlauf aufweisen. Dieses Phänomen ist bei den männlichen Probanden stärker ausgeprägt als bei den weiblichen. Bei den Mädchen ist die Abhängigkeit der dentalen Entwicklung (v. a. der Zähne 43 und 44) vom Alter weniger stark linear. Es wird jedoch angenommen, dass auch bei den weiblichen Probanden eine starke lineare Abhängigkeit der Zahnentwicklung vom Alter besteht, und die Kurven, die das dentale Alter der Mädchen darstellen durch die Auswahl des untersuchten Altersbereiches (bis 16 Jahre) verzerrt dargestellt werden (Seite 46).

Die Erkenntnis, dass der Mineralisationsprozess der einzelnen Zähne eine starke lineare Abhängigkeit vom Alter hat, untermauert das Methodenvorgehen. Addiert man Daten, die einer linearen Funktion folgen, hat deren Summe ebenfalls eine lineare Abhängigkeit von der Vergleichsgröße. Das heißt, dass die Summenwerte, die aus den Mineralisationsstadienwerten der Einzelzähne gebildet werden, folglich auch eine lineare Abhängigkeit vom Alter haben. In den einleitend beschriebenen Methoden wurden zwar auch Summenwerte gebildet, eine mathematische Begründung diesbezüglich erfolgte jedoch nicht.

Die Kurven, die den Fortschritt der Mineralisation der Schneidezähne und des ersten Molaren verdeutlichen, bewegen sich im Bereich der Mineralisationsstadien 7 und 8, was den Endstadien des Entwicklungsprozesses entspricht. Die Zähne 41, 42 und 46 gehören zu den permanenten Zähnen, die im Rahmen der ersten Wechselphase in der Mundhöhle erscheinen. Sie sind somit in ihrem Kalzifizierungsprozess entsprechend weiter fortgeschritten, und sie haben im untersuchten Zeitraum ihre Entwicklung nahezu oder vollständig abgeschlossen (Prah-Andersen und van der Linden 1972). Aus diesem Grund sind die Inzisivi und der erste Molar im untersuchten Zeitraum für den Kieferorthopäden nicht mehr von demselben Interesse wie die Zähne der zweiten Wechselphase.

In der Literatur findet man in bezug auf die Abhängigkeit der Zahnentwicklung vom Alter auch andere Ergebnisse (Demirjian *et al.* 1973, Kahl 1986). Es wird ein Vergleich der Resultate dieser Querschnittsstudie mit denjenigen von Kahl (1986) angestellt. Dazu wurde das mittlere Alter bestimmt, bei dem jeder der Zähne 43, 44, 45, und 47 die jeweiligen Mineralisationsstadien erreicht hat. Die Ergebnisse wurden in einem Streudiagramm am Beispiel männlicher Probanden grafisch verdeutlicht (Abbildung 18).

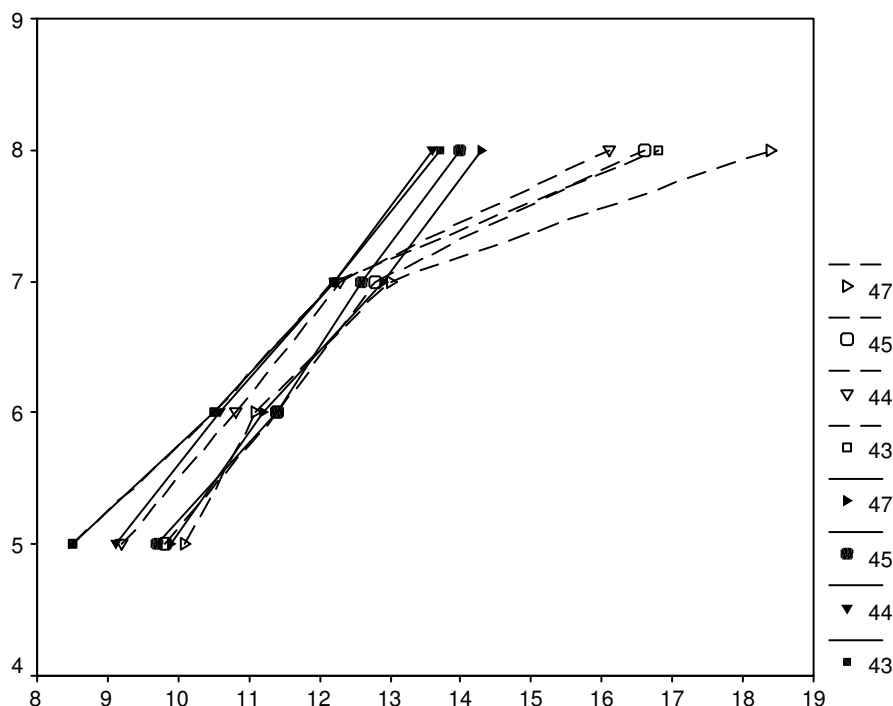


Abb. 18: Entwicklung der Zähne 43, 44, 45 und 47 männlicher Probanden. Mineralisationsstadien auf der Ordinate, Alter auf der Abszisse. — Ergebnisse dieser Arbeit - - - Ergebnisse der Arbeit von B. Kahl (1986)

Aus den Daten der vorliegenden Arbeit ergeben sich annähernd lineare Kurvenverläufe. Schon Nolla (1960) stellte fest, dass das Fortschreiten der Zahnentwicklung offensichtlich einer linearen Funktion folgt. Die Ergebnisse von Kahl liefern Kurven mit anderer Charakteristik. Bis zu dem Mineralisationsstadium 7 sind diese Kurven ebenfalls fast linear. Zwischen den Mineralisationsstadien 7 und 8 nimmt die Steigung bei allen Zähnen ab, die Kurven nähern sich mit geringerer Steigung dem Maximalwert des Mineralisationsstadiums 8. Interpretiert man die Abbildung 18, so ist die Zahnentwicklung der Probanden der vorliegenden Querschnittsstudie in ihrer Gesamtheit ein gleich-

mäßig voranschreitender Prozess. Die Probandengruppe, deren Daten von Frau Kahl untersucht wurden, zeigt eine Verzögerung in der Zahnentwicklung bei dem letzten Entwicklungsstadium, das Ende des Mineralisationsprozesses wird bei ihren Probanden teilweise über 4 Jahre später erreicht. Es ist allerdings anzunehmen, dass die Zähne dieser Kinder in der Endphase der Mineralisation ebenfalls eine Entwicklung durchlaufen, die der hiesigen entspricht. Man muss berücksichtigen, dass der Untersuchungszeitraum bei Frau Kahl (5 bis 24,5 Jahre) ein größerer ist, als derjenige dieser Arbeit (7,50 bis 16,49 Jahre). Über den Altersbereich unterhalb von 7,50 Jahren sind keine Aussagen möglich. In der oberen Grenze liegt jedoch die Begründung für die unterschiedlichen Kurvenverläufe. Aus der vorliegenden Arbeit wird deutlich, dass das Endstadium (Stadium 8) der Zahnentwicklung durchschnittlich zwischen 13,5 und 14,5 Jahren bei den Jungen und zwischen 13,0 und 14,5 Jahren bei den Mädchen erreicht ist. Prahl-Andersen und van der Linden (1972) fanden bei ihren Untersuchungen heraus, dass der Mineralisationsprozess der permanenten Zähne (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7) mit 15 Jahren abgeschlossen ist. Erstreckt sich der Untersuchungszeitraum über das Durchschnittsalter des Endstadiums in Richtung eines höheren Alters - wie es z. B. bei Kahl mit einem Altersmaximum von 24,5 Jahren der Fall ist - steigert sich das Durchschnittsalter, in dem das Endstadium 8 erreicht wird, zunehmend mit der oberen Altersgrenze der untersuchten Probanden.

Anhand dieses Beispiels wird deutlich, dass die Ergebnisse über den Zeitpunkt, der das Ende der Zahnentwicklung anzeigt, einer genauen Prüfung bedürfen. Es kann nicht einfach davon ausgegangen werden, dass durch Einbeziehen aller Probanden in die statistischen Berechnungen das präzise Alter ermittelt werden kann, bei dem der Mineralisationsprozess beendet ist. Das Problem kann gelöst werden, indem das Alter ermittelt wird, bei dem zum letzten Mal das vorletzte Mineralisationsstadium (Stadium 7) bestimmt wurde. Alle älteren Probanden haben somit in der Entwicklung der entsprechenden Zähne das Mineralisationsstadium 8 erreicht, womit das Ende der Zahnentwicklung festgelegt ist. Unsere Ergebnisse zeigen durch den gewählten Altersbereich (7,50 bis 16,49 Jahre) eine sehr gute Annäherung an diesen Lösungsvorschlag, obwohl dieser in der vorliegenden Studie nicht durchgeführt wurde.

Abschließend kann man den beiden verglichenen Studien entnehmen, dass die Zahnentwicklung der jeweils untersuchten Probandengruppe im betrachteten Zeitraum von 8 bis 16 Jahren im Bereich von 8 bis ca. 12 bzw. ca. 13 Jahren (zahnabhängig) annähernd identisch ist. Es handelt sich bei den Probanden um Kinder einerseits aus Nord- und Mittelhessen, andererseits aus dem Raum Köln. Die beiden Probandengruppen setzen sich unterschiedlich zusammen. In der vorliegenden Arbeit wurden nur Daten von Kindern ausgewertet, die zwar in einer kieferorthopädischen Abteilung vorstellig wurden, aber noch nicht kieferorthopädisch behandelt waren, im Gegensatz zu der Stichprobe bei Kahl, die sich aus Probanden zusammensetzt, die sich in allen Phasen einer kieferorthopädischen Therapie befanden. Weiterhin existieren Unterschiede hinsichtlich der Herkunft der Kinder. In der Kölner Studie sind die untersuchten Kinder europäischer Herkunft. Die Probanden der vorliegenden Arbeit sind überwiegend ebenfalls europäischer Abstammung, zu einem sehr geringen Anteil wahrscheinlich auch US-amerikanischer Herkunft. Bei einigen Daten, die aus der Gießener Zahnklinik stammen, fiel auf, dass diese Kinder amerikanische Namen haben. Dies kann durch die Stationierung der US Armee in Gießen herrühren. Trotz der regionalen Unterschiede und der andersartig zusammengesetzten Stichproben sind die Ergebnisse in bezug auf das dentale Alter fast deckungsgleich, lässt man die oben erläuterte Problematik des Endstadiums der Zahnentwicklung außer acht. Die örtliche Distanz zwischen den Populationen der beiden verglichenen Studien beträgt ca. 250 km. In der Studie von Nyström *et al.* (1988) wird das dentale Alter zweier Populationen desselben Landes verglichen, einer aus Südfinnland (Helsinki), einer aus Nordostfinnland (Kuhmo). Es wurden Unterschiede in der Geschwindigkeit der Zahnentwicklung festgestellt, was die Forderung Demirjans (1973) nach regionalen Zahnalterstabellen oder -grafiken unterstützt. Die Distanz zwischen beiden Lokalisationen beträgt rund 500 km. Es wäre interessant zu klären, mit welcher Entfernung ein signifikanter Unterschied in der Zahnentwicklung von Kindern existiert, sowohl innerhalb desselben Landes als auch über Landesgrenzen hinaus. Es ist heute offensichtlich, dass Kinder verschiedener Länder unterschiedlich weit in ihrer Zahnreife sind (Nyström *et al.* 1986, Frucht 2000).

4.3 Korrelationen der Reifesyteme *Alter, dentale Reife* und *skelettale Reife* bei Kindern Nord- und Mittelhessens

Ziel dieser Studie war unter anderem, die Beziehungen zwischen den drei Reifesytemen Alter, dentale Reife und skelettale Reife bei nord- und mittel-hessischen Kindern zu untersuchen und tabellarisch sowie grafisch darzustellen.

Die Resultate liefern für alle Vergleiche der drei Reifesyteme untereinander positive, hohe Korrelationen. Es besteht eine statistisch gesicherte Abhängigkeit zwischen den verglichenen Reifesytemen auf dem Niveau von 0,01.

4.3.1 Skelettale Reife in Relation zum Alter

Den stärksten Zusammenhang der drei beurteilten Reifesyteme findet man zwischen der skelettalen Reife und dem Alter (Tabelle 8, Seite 37), wobei die höchste Korrelation bei den Mädchen mit einem Korrelationskoeffizienten r von 0,88 vorliegt. Bei den Jungen ist der Zusammenhang $r = 0,87$.

Die folgenden Jahresangaben bezüglich der skelettalen Reife sind Mittelwerte pro Altersklasse des jeweiligen Geschlechtes. Die Angaben für das Alter beziehen sich auf die Altersklasse.

Wie im Kapitel Probanden (Seite 13) beschrieben, wurden auch Kinder in die Studie aufgenommen, bei denen eine Differenz zwischen dem Aufnahmezeitpunkt des Orthopantomogrammes und der Handaufnahme besteht. Diese Differenz betrug im Maximum 60 Tage (Tabelle 1, Seite 13). Das Alter wurde bei allen Probanden anhand des Aufnahmedatums des OPG berechnet, da eine Differenz zur Handaufnahme von 60 Tagen bzw. 2 Monaten eine vernachlässigbar kleine ist, was den Fortschritt der Mineralisation der Knochen betrifft. Im folgenden werden dementsprechend die Ergebnisse, die weniger als 2 Monate beim Vergleich der beiden Alterssysteme ausmachen, mit der Vergleichsgröße übereinstimmend interpretiert.

Die skelettale Reife der männlichen Probanden (Abbildung 13, Seite 33) ist fast im gesamten Untersuchungszeitraum geringer als das Alter. In der Altersklasse von 8 Jahren sind die Jungen in ihrer skelettalen Reife im Durchschnitt etwas mehr als 4 Monate gegenüber dem Alter in Verzug. Zwischen den Altersklassen von 8 und 9 Jahren findet eine Beschleunigung der Skelettreifung statt, mit 9 Jahren entspricht sich das Alter der beiden Reifesyteme. Bis zur Altersklasse von 10 Jahren verringert sich die Geschwindigkeit der Knochenmineralisation, mit 10 Jahren beträgt der Unterschied zwischen skelettaler Reife und Alter etwas mehr als 2 Monate. In den nächsten 3 Jahren findet eine zeitlich relativ gleichmäßige Knochenreifung statt, die skelettale Reife liegt im Schnitt 4 Monate unter dem Alter. Mit der Altersklasse von 14 Jahren findet wieder eine geringe Abnahme der Mineralisationsgeschwindigkeit der Knochen statt, die in ihrer Reife nun 5 Monate gegenüber dem Alter in Verzug sind. Bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes erfolgt wieder eine leichte Beschleunigung, mit der Altersklasse von 16 Jahren beträgt der Unterschied zwischen skelettalem Alter und Alter noch 4 Monate.

Bei den Mädchen zeigen sich in bezug auf den Mineralisationsprozess des Skeletts stärkere Schwankungen (Abbildung 13, Seite 33). Das skelettale Alter entspricht dem Alter bis zur Altersklasse von 10 Jahren. Zwischen 10 und 12 Jahren nimmt die Geschwindigkeit der Skelettreifung ab. Es besteht nun eine Differenz von 4 Monaten zwischen der geringeren skelettalen Reife und dem höheren Alter. Im folgenden Jahr findet eine starke Beschleunigung der Knochenreifung statt, die Skelettreife holt um 6 Monate auf und befindet sich nun 2 Monate über dem Alter von 13 Jahren. Weiterhin erfolgt eine gleichmäßige Mineralisationsgeschwindigkeit der Handknochen bis zur Altersklasse von 15 Jahren. Mit 16 Jahren ist die skelettale Reife wieder etwas über 2 Monate geringer als das Alter.

Vergleicht man die skelettale Reife beider Geschlechter miteinander, ist festzustellen, dass die Mädchen in ihrer skelettalen Reife den Jungen fast im gesamten Untersuchungszeitraum voraus sind. Lediglich bei den Altersklassen von 9 und 12 Jahren sind die Jungen skelettal älter, maximal aber 2 Monate, was per definitionem (Seite 48) fast der skelettalen Reife der Mädchen

entspricht. Ebenfalls als skelettal gleichaltrig kann man die Geschlechter mit 10, 11 und 16 Jahren betrachten, hier sind die Mädchen zwar skelettal geringfügig älter als die Jungen, die größte Differenz beträgt aber nur knapp 2 Monate. In der Altersklasse von 8 Jahren und von 13 bis 15 Jahren sind die weiblichen Probanden in ihrer Skelettreife den männlichen in stärkerem Maß voraus. In diesen Altersbereichen beträgt die Differenz der Knochenreife zwischen den Geschlechtern mindestens 6 und höchstens 7 Monate. Die Skelettreifung der Jungen weist im Vergleich zu den Mädchen ein gleichmäßigeres Fortschreiten auf.

Die maximale Differenz der bei jedem Probanden ermittelten skelettalen Reife (Standardtafel bei Greulich und Pyle 1959) pro Altersklasse zur mittleren skelettalen Reife pro Altersklasse beträgt bei den Mädchen + 3,1 Jahre in der Altersklasse von 10 Jahren und – 3,2 Jahre in den Altersklassen von 13 und 14 Jahren. Bei den männlichen Probanden findet man die größte Differenz zwischen skelettaler Reife und mittlerer skelettaler Reife pro Altersklasse mit + 3,3 Jahren in der Altersklasse von 16 Jahren und – 2,8 Jahren in der Altersklasse von 10 Jahren. Bei der Betrachtung der Minimum- und Maximumwerte der skelettalen Reife im Vergleich mit der Altersklasse beträgt die maximale Differenz bei den Mädchen + 3 Jahre in den Altersklassen von 10, 13, 14, und 15 Jahren und - 3,2 Jahre in der Altersklasse von 12 Jahren. Bei den Jungen besteht der größte Altersunterschied in der Altersklasse von 16 Jahren mit + 3 Jahren und in der Altersklasse von 10, 11 und 12 Jahren mit - 3 Jahren.

In seiner Gesamtheit entspricht die ermittelte durchschnittliche skelettale Reife fast dem Alter. Es herrscht annähernd eine Beziehung von 1:1. Differenzen zwischen beiden Alterssystemen sind bei den Mädchen zwar größer, erreichen aber in keinem der Fälle durchschnittlich ein halbes Jahr. Diese Unterschiede sind geringer als die Zeitabstände zwischen den Standardtafeln im Atlas von Greulich und Pyle (1959), wo die geringste Differenz 6 Monate beträgt. Daraus folgt, dass die Methode von Greulich und Pyle in Nord- und Mittelhessen anwendbar ist. Unsere Normtabellen sind dem Zahnarzt insofern eine Hilfe, dass er bei Bedarf für beide Geschlechter in jeder Altersklasse den Mittelwert der skelettalen Reife und somit auch des skelettalen Alters und die zugehörige

Standardabweichung eruieren kann. Er kann einschätzen, ob der Patient in seiner skelettalen Reife im nord- und mittelhessischen Durchschnitt liegt, ob er dem Durchschnitt voraus oder ob er diesem gegenüber zurückgeblieben ist.

Die Ergebnisse dieser Studie sind nicht nur dem Zahnarzt eine Hilfe. Als Referenzstudie für den nord- und mittelhessischen Raum kann sie auch bei der forensischen Altersdiagnostik zur Einschätzung des Alters anhand der Skelettreife in den Altersklassen dienen, die eine ausreichende Anzahl an Probanden umfassen (Schmeling und Geserick 2000).

Die Feststellung, dass die skelettale Reife der Probanden dieser Studie annähernd dem Alter entspricht, ist bemerkenswert. Bedenkt man, dass die Grundlage für die Einschätzung der skelettalen Reife der Atlas von Greulich und Pyle (1959) ist. Das heißt, dass die Skelettentwicklung der hier untersuchten Stichprobe nahezu identisch ist mit derjenigen bei Greulich und Pyle. Die Basis für ihre Arbeit bildeten Probanden, deren Untersuchung in 1921 begonnen und bis zum Jahre 1942 fortgeführt wurde. Alle Kinder, die an der Longitudinalstudie teilnahmen, waren weiße US-Amerikaner und beinahe alle nordeuropäischer Abstammung. In der Literatur ist beschrieben, dass sich das skelettale Alter Heranwachsender regional unterscheidet (Garn *et al.* 1967). Es war demzufolge zu erwarten, dass das skelettale Alter bei den beiden Stichproben in stärkerem Maße voneinander abweicht, bedenkt man auch die mit der unterschiedlichen Herkunft und den verschiedenen Geburtsjahrgängen verbundenen anderen Lebensumstände, Umweltbedingungen und das Nahrungsangebot.

In Bezug auf die Korrelation zwischen dem Alter und dem skelettalen Alter findet man in der Literatur ähnliche Ergebnisse. Schopf (1984) beispielsweise veröffentlichte ebenfalls hohe Korrelationskoeffizienten r von 0,816 bei den Mädchen und 0,769 bei den Jungen. So wie in unserer vorliegenden Studie erfolgt, bestimmte auch Schopf das Skeletalter nach der Methode von Greulich und Pyle (1959). Der Vergleichbarkeit von Ergebnissen verschiedener Studien sind jedoch grundsätzlich immer dann Grenzen gesetzt, wenn verschiedene Methoden zur Bestimmung derselben Größe angewendet werden (Lewis 1990), wenn also z. B. das skelettale Alter anhand verschiedener Methoden ermittelt

wurde. Dann sollte stets die Stichhaltigkeit von vergleichenden Aussagen geprüft werden. Bezüglich der Vergleichbarkeit von Ergebnissen verschiedener Studien muss im Allgemeinen bedacht werden, dass sich auch die Anzahl von Probanden und verschiedene statistische Testverfahren für dieselben Untersuchungsparameter limitierend auf die Vergleichbarkeit von Ergebnissen verschiedener Studien auswirken. Setzt sich ein Kollektiv beispielsweise aus 25 Probanden, das Vergleichskollektiv aber aus 2500 Probanden zusammen, ist die Aussagekraft des Kollektivs mit der niedrigeren Probandenanzahl sehr gering, und es werden wahrscheinlich nicht die wahren Charakteristika der zu untersuchenden Variable verdeutlicht. Ebenfalls muss bei dem Vergleich von Ergebnissen verschiedener Studien berücksichtigt werden, wie die Vergleichsgrößen jeweils in Beziehung gesetzt werden. Wird z. B. die skelettale Reife (wie in unserer Studie) mit Altersklassen korreliert oder wird sie direkt mit dem Alter verglichen? Umfassen die Altersklassen in den verglichenen Ergebnissen dasselbe Zeitintervall, haben sie dieselbe Zusammensetzung (geschlechtsspezifisch oder –übergreifend)? Um Aussagen über die Resultate verschiedener Studien ungeprüft treffen zu können, müssten diese unter denselben Voraussetzungen (vergleichbares Probandenkollektiv, ähnliche Probandenanzahl, sich gleichende Untersuchungsmethoden, u. a.) durchgeführt werden. Anderenfalls ist die Aussagekraft der Ergebnisse der verglichenen Studien genau zu prüfen.

4.3.2 Zahnentwicklung in Relation zum Alter

Am zweitstärksten korreliert die dentale Reife (Summenwerte) mit dem Alter (Tabelle 8, Seite 37). Auch hier sind – wie bei dem Vergleich der skelettalen Reife mit dem Alter - bei den Mädchen höhere Korrelationskoeffizienten festzustellen als bei den Jungen. Für den Zusammenhang zwischen dem Alter und den Summenwerten der Zähne 41 bis 47 und den Summenwerten der beiden Zahnkombinationen 43 / 44 / 45 / 47 sowie 43 / 44 / 47 resultiert bei den Mädchen jeweils ein Korrelationskoeffizient r von 0,88 und bei den Jungen von jeweils 0,85. Ein kaum geringerer Zusammenhang besteht bei beiden Geschlechtern zwischen dem Alter und den Summenwerten der Zähne 43, 45 und 47 mit $r = 0,87$ bei den Mädchen und 0,84 bei den Jungen.

Ähnliche Größenordnungen der Korrelationskoeffizienten findet man auch bei den Ergebnissen anderer Untersuchungen. Z. B. ermittelten Frucht *et al.* (2000) ebenfalls starke Zusammenhänge zwischen den Scorewerten der Zähne 31 bis 37 und dem Alter bei einem Freiburger Kollektiv von $r = 0,85$ für Mädchen und $r = 0,89$ für Jungen. Interessanterweise korreliert die dentale Reife im südwestdeutschen Raum bei den Jungen stärker mit dem Alter als bei den Mädchen, was sich im nord- und mittelhessischen Raum entgegengesetzt verhält. Die Beurteilung der Zähne auf dem Röntgenbild erfolgte bei Frucht nach der Methode von Demirjian *et al.* (1973), was sich auf die Vergleichbarkeit von Ergebnissen negativ auswirken kann (Seite 51 f).

Man erwartet, dass im untersuchten Zeitraum von 8 bis 16 Jahren die Korrelation des Alters mit den Summenwerten der Zähne der zweiten Wechselphase (3, 4, 5, 7) etwas stärker ist als diejenige mit den Summenwerten aller Zähne des 4. Quadranten (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7). Diese Erwartung wird damit begründet, dass die Schneidezähne und der erste Molar in ihrer zeitlichen Entwicklung ein früheres System bilden. Sie gehören zu den Zähnen, die in der ersten Wechselphase in der Mundhöhle erscheinen. Diese Zähne (1, 2 und 6) sind bei den jüngeren Probanden zu Beginn des Untersuchungszeitraums noch nicht ausgereift, es wird folglich nicht im gesamten untersuchten Altersbereich bei der Summenwertbildung für diese Zähne ein konstanter Wert addiert. Ein solcher gleich bleibender Wert hätte keine Auswirkung auf das Ergebnis des Korrelationskoeffizienten. Allerdings ist der Bereich, in dem die Mineralisationsstadien der Inzisivi und des ersten Molaren den Verlauf der Kurven noch mitbestimmen (bei den Mädchen bis 11 Jahre und bei den Jungen bis 12 Jahre) im untersuchten Zeitraum gering. Ferner weist der Kurvenverlauf für die Zähne der ersten Wechselphase in diesem Bereich eine den anderen Zähnen entsprechende Charakteristik auf (Abbildungen 7 und 8, Seite 28), was sich positiv auf den Korrelationskoeffizienten auswirkt. Dies erklärt, warum sich die Korrelationen des Alters mit den Summenwerten, ermittelt anhand der genannten Zahnkombinationen, nicht bzw. nur in sehr geringem Maße voneinander unterscheiden. Der Einfluss der Mineralisationsstadienwerte der Zähne 41, 42 und 46 auf den Zusammenhang zwischen Summenwerten und Alter ist in Abbildung 19 (Seite 54) für beide Geschlechter grafisch verdeutlicht.

Um die Summenwerte der verschiedenen Zahnkombinationen in einer Grafik auf demselben Summenwertniveau darstellen zu können, fand eine Parallelverschiebung der Kurven der Zahnkombination 43 / 44 / 45 / 47 statt, die Summenwerte dieser Zahnkombination wurden den Summenwerten der Zähne 41 bis 47 angepasst. Zu den Mittelwerten der Summenwerte der Zähne 43, 44, 45 und 47 wurde pro Altersklasse $3 \times 8 = 24$ addiert, als ob die nicht beachteten Zähne (41, 42, 46) ihren Maximalwert von 8 erreicht hätten. Die Differenz zwischen den Kurven eines Geschlechtes zeigt, dass die Zähne der ersten Wechselphase ab dem Alter von 12 Jahren keine neue Information mehr liefern.

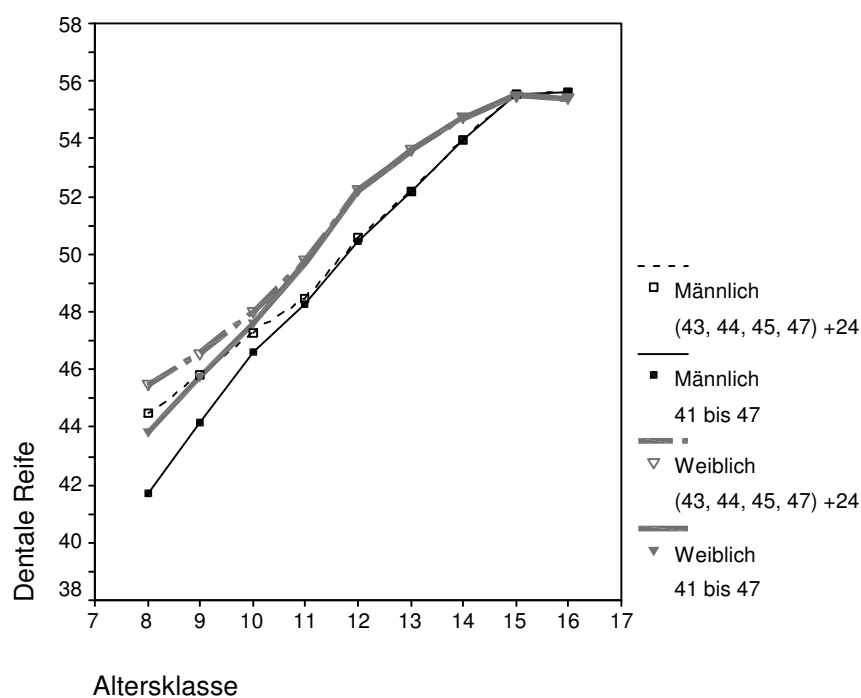


Abb. 19: Mittelwerte der Summenwerte der Zähne 41 bis 47 sowie der Zähne 43, 44, 45, 47 männlicher und weiblicher Probanden pro Altersklasse auf der Ordinate aufgetragen gegen die Altersklasse auf der Abszisse

Aufgrund der Erkenntnis, dass die Zähne der ersten Wechselphase im untersuchten Altersbereich (8 bis 16 Jahre) keinen bzw. keinen nennenswerten Einfluss auf die Korrelation der dentalen Reife mit dem Alter haben, die Zahnkombination 43 / 44 / 45 / 47 also dieselbe Wertigkeit in bezug auf die Bestimmung der dentalen Reife hat wie die Zähne 41 bis 47, wurde für die Summenwerte dieser Zahnkombination für beide Geschlechter ebenfalls eine Normtabelle und eine Normgrafik erstellt.

In der Praxis ist häufig zu beobachten, dass der erste Prämolar extrahiert oder der zweite Prämolar nicht angelegt ist. Damit auch in diesen Fällen ein dentales Alter ermittelt werden kann, wurde eine Analyse der Korrelation der Summenwerte der Zähne 43, 44 und 47 sowie der Zähne 43, 45 und 47 mit dem Alter durchgeführt und für beide Geschlechter für diese Zahnkombinationen Normtabellen und –grafiken für den nord- und mittelhessischen Raum erstellt.

Es macht keinen Unterschied, ob die dentale Reife anhand der Zähne 1 bis 7 eines Unterkieferquadranten bestimmt wird oder anhand einer der Zahnkombinationen 3 / 4 / 5 / 7 und 3 / 4 / 7. Der Zusammenhang zwischen den Summenwerten der Zähne 3 / 5 / 7 und dem Alter ist im Vergleich zu den anderen Zahnkombinationen geringer, der Unterschied des Korrelationskoeffizienten beträgt bei beiden Geschlechtern ein Hundertstel und ist somit sehr gering.

Die maximale absolute Abweichung vom Summenmittelwert pro Altersklasse beträgt bei den Zähnen 41 bis 47 bei den Mädchen + 5,4 und – 5,6 Summenwerteinheiten in der Altersklasse von 10 Jahren, bei den Jungen +/- 5,5 in der Altersklasse von 12 Jahren.

Bei der Zahnkombination 43 / 44 / 45 / 47 beträgt die höchste Differenz zu den Summenmittelwerten bei den Mädchen + 5 und – 4 Summenwerteinheiten in der Altersklasse von 10 Jahren und bei den Jungen + 5,4 in der Altersklasse von 12 Jahren sowie – 5,2 in der Altersklasse von 13 Jahren.

Betrachtet man die Zahnkombination 43 / 44 / 47 ergibt sich eine maximale Abweichung vom Summenmittelwert bei den Mädchen mit + 3,5 Summenwerteinheiten in der Altersklasse von 12 und – 3,7 in der Altersklasse von 10 Jahren. Bei den Jungen beträgt die größte Abweichung + 3,4 Summenwerteinheiten in der Altersklasse von 13 Jahren und – 3,8 in der Altersklasse von 12 Jahren.

Die maximale Abweichung vom Summenmittelwert bei der Zahnkombination 43 / 45 / 47 beträgt bei den Mädchen + 4,0 Summenwerteinheiten in der Altersklasse von 13 und – 4,2 in der Altersklasse von 10 Jahren, bei den Jungen + 3,9 in der Altersklasse von 12 und – 4,4 in der Altersklasse von 13 Jahren.

Somit ist die maximale Abweichung der Summenwerte vom jeweiligen Mittelwert pro Altersklasse wie auch die Standardabweichung bei der Zahnkombination 43 / 44 / 47 am geringsten.

Dem Zahnarzt werden verschiedene Zahnkombinationen vorgestellt, anhand derer er die dentale Reife bestimmen und das dentale Alter seiner jungen Patienten im Alter von 8 bis 16 Jahren ermitteln kann. Beurteilen künftig Zahnärzte die Zahnentwicklung nach der hier vorgestellten Methode, können sie anhand der in unserer vorliegenden Studie erstellten Normgrafiken den ermittelten Summenwert der Mineralisationsstadien eines Individuums auf der Ordinate aufsuchen und anhand der Normkurve das zugehörige Alter in Jahren abgreifen, das dem dentalen Alter entspricht. Durch den Vergleich des dentalen Alters mit dem Alter des Individuums kann nun festgestellt werden, wie sich die Gebissentwicklung dieser Person zu der durchschnittlichen Gebissentwicklung von nord- und mittelhessischen Kindern verhält.

Dass die Kombination weniger Zähne oder sogar ein einzelner Zahn zur Bestimmung des dentalen Alters ausreicht, wurde schon früher festgestellt (Prah-Andersen und van der Linden 1972, Schopf 1970). Schopf (1970) prüfte die Korrelation jedes Zahnes der zweiten Wechselphase mit dem Alter und verglich die jeweiligen Ergebnisse mit den Summenwerten dieser Zähne. Die hohen, zum Teil sehr hohen Korrelationen zeigen, dass Rückschlüsse vom Mineralisationszustand eines Zahnes auf den Entwicklungsstand des gesamten Gebisses durchaus berechtigt zu sein scheinen. Prah-Andersen und van der Linden (1972) behaupten, dass zwei Zähne ausreichen, um das dentale Alter abzuschätzen. Aus beiden genannten Studien geht jedoch hervor, dass die Präzision der Altersbestimmung mit zunehmender Anzahl der einbezogenen Zähne ansteigt. Die Ergebnisse unserer Studie zeigen, dass es bei den hier untersuchten Zahnkombinationen keinen nennenswerten Unterschied macht, ob man die dentale Reife anhand von drei, vier oder sieben Zähnen bestimmt. Es sollte jedoch angestrebt werden, möglichst alle Zähne eines Unterkieferquadranten (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7) zur dentalen Altersbestimmung heranzuziehen, da sich ein Messfehler dann weniger stark bemerkbar macht.

Aussagen über das dentale Alter der untersuchten Kinder des nord- und mittelhessischen Raumes in Vergleich mit dem dentalen Alter anderer Populationen sind zu diesem Zeitpunkt noch nicht möglich. Da eine modifizierte Methode zur Einschätzung der dentalen Reife zur Anwendung kam, bieten sich in diesem Punkt noch keine exakten Vergleichsmöglichkeiten mit anderen Studien. In der vorliegenden Arbeit wurden zur Verdeutlichung der Beziehung zwischen den beiden Reifensystemen Alter und dentale Reife Normtabellen und –grafiken für Nord- und Mittelhessen angefertigt. Diese stellen die Basis für künftige Vergleiche des Zahnalters nord- und mittelhessischer Kinder mit dem Zahnalter anderer Populationen dar, wenn die hier vorgestellte modifizierte Methode zur Bestimmung des dentalen Alters zur Anwendung kommt. Dann sind Aussagen möglich, die das dentale Alter in Jahren betreffen.

Aussagen im Vergleich mit anderen Studien sind bis jetzt nur möglich bei der Betrachtung von Einzelzähnen und deren Mineralisationsstadien, wenn wie in unserer vorliegenden Studie auch in der Vergleichsstudie die Mineralisationsstadien von Demirjian *et al.* (1973) der dentalen Altersbestimmung zugrunde liegen (wie es im Kapitel 4.2 mit einer Kölner Studie erfolgte (Seite 45 ff)). Ein Vergleich von verschiedenen Zahnkombinationen, d. h. von Summenwerten, mit unserer Studie ist momentan noch nicht möglich, da es sich entweder im Vergleich zu der hier angewendeten Methode zur dentalen Altersbestimmung um verschiedene Einheiten der Mineralisationsstadien handelt (bei der Methode von Demirjian *et al.* (1973) z. B. um sog. Scorewerte (Seite 8)) oder bei Methoden mit denselben Summenwerteinheiten (z. B. Nolla 1960) unterscheiden sich dann die Definition und die Anzahl der Mineralisationsstadien.

4.3.3 Zahnentwicklung in Relation zur skelettalen Reife

Die geringste Abhängigkeit der drei in Relation gesetzten Reifensysteme (Tabelle 8, Seite 37) existiert zwischen der dentalen Reife (Summenwerte) und der skelettalen Reife (skelettales Alter nach Greulich und Pyle), was den Ergebnissen anderer Studien entspricht (Schopf 1984, Lewis 1990). Bei den Mädchen ergibt sich für den Zusammenhang der skelettalen Reife und der dentalen Reife ermittelt anhand aller Zahnkombinationen (41 bis 47, 43 / 44 / 45 / 47, 43 / 44 / 47, 43 / 45 / 47) derselbe Korrelationskoeffizient r von 0,81. Bei den männlichen Probanden ist die Korrelation von skelettaler und dentaler Reife bei drei Zahnkombinationen mit $r = 0,78$ dieselbe (41 bis 47, 43 / 44 / 45 / 47, 43 / 44 / 47), der Korrelationskoeffizient r bezüglich der skelettalen Reife und den Summenwerten der Zähne 43, 45 und 47 ist mit 0,77 um ein Hundertstel geringer. Auch bei den hier verglichenen Reifensystemen ist der Zusammenhang bei den weiblichen Probanden stärker als bei den männlichen. Es handelt sich auch bei dem Vergleich der skelettalen Reife mit der dentalen Reife durchgängig um hohe Korrelationen.

Entsprechende Ergebnisse findet man in der Literatur bislang selten. Nur eine Studie veröffentlicht einen höheren Korrelationskoeffizienten r für den Zusammenhang von dentaler und skelettaler Reife von 0,88 (Liliequist und Lundberg 1971). Etwas geringere Resultate ermittelte Schopf (1984) mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,74 bei den Mädchen und 0,65 bei den Jungen. Lewis und Garn (1960) ermittelten eine Abhängigkeit von durchschnittlich 0,40. Lewis (1991) stellt die Behauptung auf, dass die Korrelation abhängig ist von der Methode der Altersbestimmung. Er berichtet, dass in den meisten früheren Studien über die Abhängigkeit zwischen der dentalen und der skelettalen Reife ebenfalls nur geringe Korrelationen festgestellt wurden, was er durch seine Studien (1959, 1990) bestätigt. Seine Folgerung ist, dass es sich bei der Gebiss- und der Skelettentwicklung um voneinander unabhängige Reifensysteme handelt, und das skelettales Alter nicht von dem dentalen Alter abgeleitet werden kann und umgekehrt. Dass es sich bei dentaler und skelettaler Entwicklung um voneinander unabhängige Prozesse handelt, wird auch durch die Ergebnisse einer Studie von Mappes *et al.* (1992) unterstützt, in

der die Gebissentwicklung und die skelettale Entwicklung von Kindern aus zwei verschiedenen Regionen Amerikas verglichen werden. Das dentale Alter dieser Populationen differiert, während sich das skelettale Alter entspricht. Sehr geringe Korrelationen zwischen dentaler und skelettaler Reife findet Steel (1964) bei 12-jährigen Kindern. Bei den Mädchen ist $r = 0,279$, bei den Jungen $- 0,151$, was bedeutet, dass im Alter von 12 Jahren der Zusammenhang zwischen dentaler Reife und skelettaler Reife ein annähernd willkürlicher ist. Zu beachten ist allerdings, dass nur 21 Mädchen und 21 Jungen untersucht wurden, und somit das Ergebnis nicht sehr aussagekräftig ist.

Die abweichenden Korrelationskoeffizienten für den Zusammenhang zwischen dentaler und skelettaler Reife in den verschiedenen Studien werfen Fragen auf. Welche Bestimmungsmethode ist sowohl in bezug auf die dentale Reife, als auch auf die skelettale Reife die präziseste und welcher Betrag des Korrelationskoeffizienten ist zutreffender? Sind Gebiss- und Skelettentwicklung generell zwei voneinander unabhängige Prozesse oder trifft dies nur auf bestimmte Zeitperioden zu?

Betrachtet man in der vorliegenden Studie die Summenwerte und die skelettale Reife separat in Relation zum Alter, wird deutlich, dass es sich sowohl bei der Zahn- als auch bei der Skelettentwicklung um progressive Prozesse handelt, die im untersuchten Zeitraum von 8 bis 16 Jahren einen fast linearen Zusammenhang mit dem Alter aufweisen. Dieser ist zwischen der skelettalen Reife und dem Alter etwas stärker als zwischen der dentalen Reife und dem Alter. Der in unserer Studie ermittelte hohe Korrelationskoeffizient für die Beziehung zwischen dentaler und skelettaler Reife auf einem Signifikanzniveau von 0,01 bedeutet, dass ein statistisch gesicherter, starker Zusammenhang zwischen beiden Parametern für den Altersbereich von 8 bis 16 Jahren besteht, was die gegenteiligen Behauptungen der erwähnten Studien widerlegt. Dies verdeutlicht auch die Abbildung 20, in der die beiden Kurvenverläufe für das jeweilige Geschlecht eine ähnliche Charakteristik aufweisen.

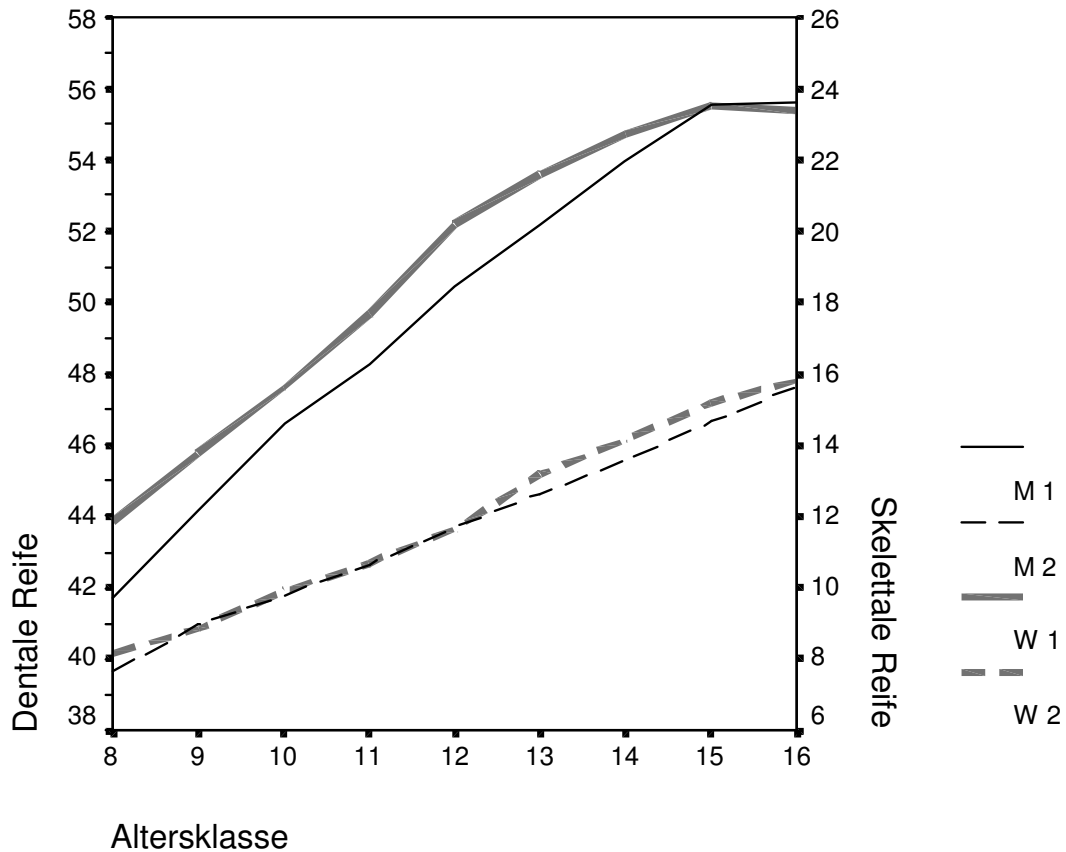


Abb. 20: Mittelwerte der Summenwerte der Zähne 41 bis 47 auf der linken Ordinate und skelettale Reife auf der rechten Ordinate aufgetragen gegen die Altersklasse.

- M 1 Dentale Reife männlicher Probanden
- M 2 Skelettale Reife männlicher Probanden
- W 1 Dentale Reife weiblicher Probanden
- W 2 Skelettale Reife weiblicher Probanden

Bei den Kindern der vorliegenden Querschnittsstudie ist der Zusammenhang zwischen dem dentalen Alter und dem skelettalen Alter ausgedrückt in Jahren nicht möglich, bzw. liefert er dasselbe Ergebnis. Die dentale Reife wurde anhand einer modifizierten Methode bestimmt. Die Summenwerte können zwar in ein dentales Alter in Jahren transformiert werden, dieses ermittelte dentale Alter entspricht aber in dieser Studie dem Alter, da dies die Basis für die Erstellung der Normtabellen und –grafiken war. Betrachtet man das dentale Alter in Jahren und vergleicht es mit dem skelettalen Alter, resultiert dasselbe Ergebnis wie bei dem Vergleich des skelettalen Alters mit dem Alter, da die verglichenen Mittelwerte des dentalen und des skelettalen Alters beide auf der Basis der Altersklassen gebildet wurden.

5. Zusammenfassung

In der vorliegenden Querschnittsstudie wurde das dentale Alter und erstmalig das skelettale Alter von Kindern Nord- und Mittelhessens bestimmt.

Die Begriffe *Dentale Reife*, *Dentales Alter*, *Skelettale Reife* und *Skelettales Alter* wurden definiert.

Es wurde eine modifizierte Methode zur dentalen Altersbestimmung (basierend auf Nolla (1960), Liliequist und Lundberg (1971), Demirjian *et al.* (1973) und Prahl-Andersen und van der Linden (1972)) vorgestellt und verifiziert.

Von 1161 kieferorthopädisch unbehandelten Kindern (603 Mädchen, 558 Jungen) im Alter von 7,50 bis 16,49 Jahren werteten zwei Untersucher den Mineralisationsgrad der permanenten Zähne 1 – 7 des vierten Quadranten nach acht Mineralisationsstadien anhand von Orthopantomogrammen aus, die den kieferorthopädischen Abteilungen der Universitätszahnkliniken Marburg und Gießen entnommen wurden. Zur Eichung des dentalen Alters für Nord- und Mittelhessen wurden Normgrafiken und –tabellen erstellt.

Das skelettale Alter im nord- und mittelhessischen Raum wurde mittels Handröntgenaufnahmen bestimmt und durch einen Beobachter nach der Atlasmethode von Greulich und Pyle (1959) ausgewertet.

Schließlich wurde die Stärke des Zusammenhangs von Alter, dentaler Reife und skelettaler Reife in Nord- und Mittelhessen in Form eines Korrelationskoeffizienten und grafisch dargestellt.

Als Ergebnisse der Untersuchung bleiben festzuhalten:

1. Die modifizierte Methode zur dentalen Altersbestimmung ist reproduzierbar. Der intraindividuelle Methodenfehler ist sehr gering (97 % Übereinstimmung). Der interindividuelle Methodenfehler bei zwei Beobachtern ist hoch (84 % Übereinstimmung). Weder die intra- noch die interindividuellen Abweichungen bei den Beurteilungen übersteigen ein Mineralisationsstadium.
2. Im Alter von 7,50 bis 16,49 Jahren macht es keinen nennenswerten Unterschied, ob das dentale Alter anhand der Zähne 1 bis 7 oder anhand einer der untersuchten Zahnkombinationen bestimmt wird.
3. Der Prozess der Zahnmineralisation folgt einer fast linearen Funktion. Um diesen Zusammenhang zu erkennen, ist insbesondere der Zeitpunkt zu beachten, an dem die Zahnentwicklung abgeschlossen ist.
4. Das durchschnittliche skelettale Alter von Kindern Nord- und Mittelhessens entspricht dem des Kollektivs bei Greulich und Pyle (1959).
5. Zwischen den drei beurteilten somatischen Reifeindikatoren besteht ein statistisch gesicherter Zusammenhang mit Korrelationskoeffizienten r von 0,78 bis 0,88.

6. Schlussbemerkung

Vor der Anwendung der in dieser Querschnittsstudie vorgestellten modifizierten Methode zur dentalen Altersbestimmung muss eine theoretische und praktische Einarbeitung stattfinden. Es wird empfohlen, das Methodenvorgehen an mindestens 20 Quadranten zu üben. Auch während der Untersuchungen sind Kalibrierungen notwendig, vor allem wenn mehr als ein Beobachter an der Datenbeurteilung für eine Studie beteiligt ist.

Die insgesamt hohen Korrelationen zwischen dem Alter und der dentalen Reife ermittelt anhand verschiedener Zahnkombinationen führen zu der Schlussfolgerung, dass es ausreichend ist, das dentale Alter anhand von nur drei Zähnen der zweiten Wechselphase zu bestimmen. Wir sind jedoch der Auffassung, dass der Methodenfehler mit einer größeren Anzahl herangezogener Zähne gesenkt und die Genauigkeit der Methode gesteigert werden kann. Es sollten so viele Zähne eines Quadranten wie möglich (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7) zur Bestimmung des dentalen Alters herangezogen werden.

Aufgrund der statistisch belegten Übereinstimmung des skelettalen Alters von Kindern Nord- und Mittelhessens mit der von Greulich und Pyle (1959) untersuchten Population ist die Atlasmethode von Greulich und Pyle ein sicheres Verfahren zur skelettalen Altersbestimmung im nord- und mittelhessischen Raum.

7. Literaturverzeichnis

Björk A 1972

Timing of interceptive orthodontic measures based on stages of maturation. Transactions of the European Orthodontic Society (Früher: European Orthodontic Society) 61-74

Bühl A, Zöfel P 1999

SPSS Version 10. Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows, 7.Auflage. Addison-Wesley, München 2000

Demirjian A, Goldstein H, Tanner JM 1973

A New System of Dental Age Assessment. Human Biology 45: 211-227

Frucht S, Schnegelsberg C, Schulte-Mönting J, Rose E, Jonas I 2000

Das Zahnalter im südwestdeutschen Raum. Eine röntgenologische Studie. Fortschritte der Kieferorthopädie 61: 318-329

Garn SM, Rohmann CG, Silverman FN 1967

Radiographic Standards for Postnatal Ossification and Tooth Calcification. Medical Radiography and Photography 43: 45-66

Grave KC, Brown T 1976

Skeletal ossification and the adolescent growth spurt. American Journal of Orthodontics 69: 611-619

Greulich WW, Pyle SI 1959

Radiographic Atlas of Skeletal Development of the Hand and Wrist. Second edition. Stanford University Press, Stanford, California

Hägg U, Matsson C 1985

Dental maturity as an indicator of chronological age: the accuracy and precision of three methods. European Journal of Orthodontics 7: 25-34

Kahl B 1986

Aktualisierung der Dentitionstabelle von I. Schour und M. Massler aus 1941 mit besonderer Berücksichtigung der Prämolaren und Weisheitszähne. Dissertation Universität Köln, 1-149.

Lewis AB, Garn SM 1960

The Relationship Between Tooth Formation and Other Maturational Factors. Angle Orthodontist 30: 70-77

Lewis AB 1991

Comparisons between dental and skeletal ages. Angle Orthodontist 61; 87-92

Liedel KJ 2002

Dentale Altersbestimmung an hessischen Kindern, Ermittlung der intermaxillären Varianz. Dissertation Universität Marburg, 1-49

Liliequist B, Lundberg M 1971

Skeletal and tooth development. Acta Radiologica Diagnosis 11:97-112

Mappes MS, Harris EF, Behrents RG 1992

An example of regional variation in the tempos of tooth mineralization and hand-wrist ossification. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics 101: 145-151

Nolla CM 1960

The Development of the Permanent Teeth
Journal of Dentistry for Children. 27: 254-266

Nyström M, Haataja J, Kataja M, Evälahti M, Peck L, Kleemola-Kujala E 1986

Dental maturity in Finnish children, estimated from the development of seven permanent mandibular teeth. Acta Odontologica Scandinavica 44: 193-198

Nyström M, Ranta R, Kataja M, Silvola H 1988

Comparisons of dental maturity between the rural community of Kuhmo in northeastern Finland and the city of Helsinki. Community Dentistry and Oral Epidemiology 16: 215-217

Prahl-Andersen B, van der Linden FPGM 1972

The estimation of dental age. Transactions of the European Orthodontic Society 48: 535-541

Schmeling A, Geserick G 2000

Empfehlungen für die Altersdiagnostik bei Lebenden. zm 91: 604-606

Schopf P 1970

Wurzelmineralisation und Zahndurchbruch im Wechselgebiss. Eine Studie an Panorama-Röntgenbildern. Fortschritte der Kieferorthopädie 31:39-56

Schopf P 1984

Die Bedeutung des skelettalen und dentalen Alters für die Auswahl des kieferorthopädischen Behandlungssystems. Fortschritte der Kieferorthopädie 45: 24-32

Steel GH 1964

A correlation study between dental and skeletal maturity. Transactions of the European Orthodontic Society 83-90

8. Anhang

8.1 Mittelwerte

Tabelle 8.1.1 Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD), Minimum (min)- und Maximumwert (max) pro Altersklasse für die Summenwerte (SW) der Zähne 41 bis 47, die Summenwerte (SW) der Zähne 43 / 44 / 45 / 47, die Summenwerte (SW) der Zähne 43 / 44 / 47, die Summenwerte (SW) der Zähne 43 / 45 / 47 sowie für das skelettales Alter nach Greulich und Pyle **männlicher** Probanden

Alters- klasse	Anzahl	SW 41 bis 47				SW 43, 44, 45, 47				SW 43, 44, 47				SW 43, 45, 47				Skelettales Alter			
		MW	SD	min	max	MW	SD	min	max	MW	SD	min	max	MW	SD	min	max	MW	SD	min	max
8	19	41,74	2,18	39	47	20,47	1,43	19	24	15,52	1,30	14	18	15,26	1,15	14	18	7,63	1,21	6,0	10,0
9	52	44,15	2,52	39	48	21,79	1,56	19	24	16,46	1,23	14	18	16,29	1,16	14	18	8,98	1,06	7,0	11,0
10	90	46,60	2,12	42	52	23,28	1,50	21	28	17,69	1,06	16	21	17,27	1,18	15	21	9,80	1,12	7,0	12,5
11	95	48,27	1,95	43	52	24,49	1,68	21	28	18,55	1,23	16	21	18,19	1,23	16	21	10,65	1,18	8,0	13,0
12	118	50,47	2,36	45	56	26,57	2,23	23	32	20,19	1,72	17	24	19,61	1,66	17	24	11,69	1,05	9,0	14,0
13	93	52,16	2,48	47	56	28,18	2,48	23	32	21,40	1,79	18	24	20,89	1,88	17	24	12,65	0,81	11,0	15,0
14	60	53,98	1,72	50	56	29,98	1,72	26	32	22,63	1,16	20	24	22,25	1,39	19	24	13,58	0,80	11,5	15,5
15	21	55,57	0,68	54	56	31,57	0,68	30	32	23,71	0,46	23	24	23,57	0,68	22	24	14,64	1,35	13,0	17,0
16	10	55,60	0,70	54	56	31,60	0,70	30	32	23,70	0,48	23	24	23,60	0,70	22	24	15,65	1,77	14,0	19,0

Tabelle 8.1.2 Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD), Minimum (min)- und Maximumwert (max) pro Altersklasse für die Summenwerte (SW) der Zähne 41 bis 47, die Summenwerte (SW) der Zähne 43 / 44 / 45 / 47, die Summenwerte (SW) der Zähne 43 / 44 / 47, die Summenwerte (SW) der Zähne 43 / 45 / 47 sowie für das skelettales Alter nach Greulich und Pyle **weiblicher** Probanden

Alters- klasse	Anzahl	SW 41 bis 47				SW 43, 44, 45, 47				SW 43, 44, 47				SW 43, 45, 47				Skelettales Alter			
		MW	SD	min	max	MW	SD	min	max	MW	SD	min	max	MW	SD	min	max	MW	SD	min	max
8	13	43,85	1,34	42	46	21,46	0,52	21	22	16,46	0,52	16	17	16,08	0,28	16	17	8,15	0,97	6,83	10
9	74	45,77	2,14	41	49	22,57	1,49	20	25	17,23	1,13	15	19	16,85	1,21	15	19	8,85	1,02	6,83	11
10	114	47,61	2,11	42	53	24,00	1,75	20	29	18,33	1,34	15	22	17,84	1,43	15	22	9,92	1,08	7,83	13
11	117	49,69	1,53	46	54	25,77	1,43	23	30	19,72	1,18	17	23	19,23	1,07	17	22	10,68	0,84	8,83	13
12	99	52,19	2,27	46	56	28,23	2,18	24	32	21,51	1,54	18	24	20,94	1,56	18	24	11,64	0,95	8,83	14
13	94	53,59	1,82	49	56	29,60	1,79	25	32	22,45	1,20	19	24	21,93	1,41	18	24	13,17	1,32	10,0	16
14	47	54,74	1,34	51	56	30,74	1,34	27	32	23,15	0,86	21	24	22,83	1,17	20	24	14,15	1,20	11,0	17
15	30	55,50	0,73	54	56	31,50	0,73	30	32	23,63	0,56	22	24	23,50	0,73	22	24	15,18	1,31	13,0	18
16	15	55,40	0,74	54	56	31,40	0,74	30	32	23,53	0,64	22	24	23,40	0,74	22	24	15,80	1,01	13,0	17

8.2 Kreuztabellen zum Methodenfehler

8.2.1 Kreuztabellen zum intraindividuellen Methodenfehler

8.2.1.1 Beurteilung des Zahnes 41

		3. Durchsicht		Gesamt
Mineralisationsstadien		8		
1. Durchsicht	8	50		50
Gesamt		50		50

8.2.1.2 Beurteilung des Zahnes 42

		3. Durchsicht		Gesamt
Mineralisationsstadien		7	8	
1. Durchsicht	7	2		2
	8	48		48
Gesamt		50		50

8.2.1.3 Beurteilung des Zahnes 43

		3. Durchsicht			Gesamt
Mineralisationsstadien		6	7	8	
1. Durchsicht	6	26			26
	7	1	14		15
	8	1		8	9
Gesamt		27	15	8	50

8.2.1.4 Beurteilung des Zahnes 44

		3. Durchsicht			Gesamt
Mineralisationsstadien		6	7	8	
1. Durchsicht	6	25			25
	7	16			16
	8			9	9
Gesamt		25	16	9	50

8.2.1.5 Beurteilung des Zahnes 45

		3. Durchsicht				Gesamt
Mineralisationsstadien		5	6	7	8	
1. Durchsicht	5	6	2			8
	6	27				27
	7	1	8			9
	8			6		6
Gesamt		6	30	8	6	50

8.2.1.6 Beurteilung des Zahnes 46

		3. Durchsicht		Gesamt
Mineralisationsstadien		7	8	
1. Durchsicht	7	1	1	2
	8		48	48
Gesamt		1	49	50

8.2.1.7 Beurteilung des Zahnes 47

		3. Durchsicht					Gesamt
Mineralisationsstadien		4	5	6	7	8	
1. Durchsicht	4		1				1
	5		8	1			9
	6			27			27
	7				12		12
	8					1	1
Gesamt			9	28	12	1	50

8.2.2 Kreuztabellen zum interindividuellen Methodenfehler

8.2.2.1 Beurteilungen des Zahnes 41 im interindividuellen Vergleich

		Untersucher 2		Gesamt
Mineralisationsstadien		7	8	
Untersucher 1	7		1	1
	8	1	48	49
Gesamt		1	49	50

8.2.2.2 Beurteilungen des Zahnes 42 im interindividuellen Vergleich

		Untersucher 2		Gesamt
Mineralisationsstadien		7	8	
Untersucher 1	7	1	2	3
	8	4	43	47
Gesamt		5	45	50

8.2.2.3 Beurteilungen des Zahnes 43 im interindividuellen Vergleich

		Untersucher 2				Gesamt
Mineralisationsstadien		5	6	7	8	
Untersucher 1	5					
	6	2	23			25
	7		5	8	1	14
	8			4	7	11
Gesamt		2	28	12	8	50

8.2.2.4 Beurteilungen des Zahnes 44 im interindividuellen Vergleich

	Mineralisationsstadien	Untersucher 2			Gesamt
		6	7	8	
Untersucher 1	6	24			24
	7	12	6	1	19
	8		1	6	7
Gesamt		36	7	7	50

8.2.2.5 Beurteilungen des Zahnes 45 im interindividuellen Vergleich

	Mineralisationsstadien	Untersucher 2				Gesamt
		5	6	7	8	
Untersucher 1	5	6	2			8
	6	1	27			28
	7		5	3		8
	8			1	5	6
Gesamt		7	34	4	5	50

8.2.2.6 Beurteilungen des Zahnes 46 im interindividuellen Vergleich

	Mineralisationsstadien	Untersucher 2		Gesamt
		7	8	
Untersucher 1	7	3	1	4
	8	3	43	46
Gesamt		6	44	50

8.2.2.7 Beurteilungen des Zahnes 47 im interindividuellen Vergleich

	Mineralisationsstadien	Untersucher 2				Gesamt
		5	6	7	8	
Untersucher 1	5	8				8
	6	2	26	1		29
	7		5	6		11
	8			1	1	2
Gesamt		10	31	8	1	50

Verzeichnis der akademischen Lehrer

Meine akademischen Lehrer waren die Damen und Herren in Marburg an der Lahn:

Aumüller, Austermann, Bruchmann, Cetin, Coca, Czubayko, Dibbets, Feuser, Flores de Jacoby, Folz, Gente, Gloerfeld, Hochbahn, Holzheidt, Katschinski, Kern, Lammel, Lehmann, Lemke, Lotzmann, Mengel, Mittag, Niessing, Pieper, Radsak, Ramaswamy, Reichardt, Stachniss, Stoll, Umstadt, Weihe und Wenz.

Danksagung

Herrn Professor J.M.H. Dibbets, Leiter der Abteilung für Kieferorthopädie am Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde in Marburg, danke ich für die Vergabe des Dissertationsthemas, seine Zeit und sein großes Engagement bei der gemeinsamen Beschäftigung mit dem Thema sowie seine immer offene, freundliche und hilfsbereite Art.

Herrn Dr. Bernd Müller danke ich für seine Unterstützung nicht nur bezüglich der EDV.

Dr. Marijam Schellhaas danke ich für die nette Betreuung zu Beginn der Arbeit.

Vielen Dank auch an alle anderen Mitarbeiter der Abteilung für Kieferorthopädie am Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde in Marburg für ihre stets freundliche und zuvorkommende Art.

Herrn Prof. Dr. H. Pancherz, Leiter der Abteilung für Kieferorthopädie der Universitätszahnklinik Gießen, danke ich für die Bereitstellung der Patientendaten. Auch bei den Mitarbeitern der Abteilung möchte ich mich für ihre nette Art und Hilfsbereitschaft bedanken, die einen reibungslosen Ablauf ermöglichten.

Im Besonderen danke ich auch meinen Eltern und meinem Bruder. Meiner zweiten Familie sage ich ebenfalls Danke.

Nicht zuletzt bedanke ich mich bei meinem Freund Aric für alles!