

Zahnklinik
an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. J. Setz



Ein Vergleich skelettaler Reifebestimmungsmethoden in der Kieferorthopädie in Relation zueinander und zum chronologischen Alter

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Zahnmedizin (Dr. med. dent.)

vorgelegt

der Medizinischen Fakultät
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

von Haleh Hakim-Djavadi
geboren am 28.03.1971 in Teheran/Iran
Betreuer: Prof. Dr. Sterzik

Datum der Einreichung: 19.03.2002

1. Gutachter: Prof. Dr. med. dent. habil. G. Sterzik
2. Gutachter: Prof. Dr. med. habil. Dr. med. dent. E. Spens
3. Gutachter: Priv. Doz. Dr. med. dent. habil. U. Langbein

Datum der Verteidigung: 9.10.2002

urn:nbn:de:gbv:3-000004941

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=nbn%3Ade%3Agbv%3A3-000004941>]

Für meine Eltern

Danksagung

Ich danke allen, die mich auf diesem Weg begleitet und unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt Prof. Sterzik für die Überlassung des Themas und persönliche Betreuung während der Erstellung der Arbeit. Der *Abteilung für Kieferorthopädie* der Zahnklinik in Halle danke ich für die Bereitstellung der Röntgenaufnahmen.

Meinem Mann möchte ich dafür danken, dass er während der Fertigstellung der Arbeit ein ruhender Pol war.

Für ihre Wegbegleitung bei meinem akademischen Werdegang möchte ich meinen Eltern herzlich danken.

Referat und bibliographische Beschreibung

Zur Erstellung eines kieferorthopädischen Behandlungsplans spielen Parameter wie chronologisches Alter und skelettale Reifung eine wichtige Rolle. In dieser Arbeit werden unterschiedliche skelettale Reifebestimmungen miteinander verglichen.

Schwerpunkt dieser Untersuchung soll die Frage sein, ob es notwendig ist, das skelettale Wachstumsmoment auf Grund der Handröntgenaufnahme zu bestimmen oder ob sich dieses nicht anhand des routinemäßig genommenen Fernröntgenseitbildes gleichwertig bestimmen lässt.

Angewandt wurden die Handröntgensauswertungsmethoden nach Björk und Fishman. Die skelettale Reifebestimmung anhand der Halswirbelkörper auf dem Fernröntgenseitbild wurde mittels des cervical vertebrae maturation index (CVMI) ermittelt. Weiter wurde die Korrelation der ermittelten Reifestadien zum chronologischen Alter der Patienten überprüft. Patienten mit Erkrankungen, die das skelettale Wachstum beeinflussen, wurden aus der Untersuchung ausgeschlossen. Es standen Röntgenaufnahmen von 167 Patienten zur Verfügung, davon 101 weibliche und 66 männliche. Sie befanden sich im Alter von 6 bis 18 Jahren.

In der Untersuchung zeigte sich bei beiden Geschlechtern eine hohe Korrelation aller skelettalen Auswertungsmethoden untereinander. Nach allen angewandten Methoden besteht eine hohe Korrelation zwischen skelettalem und chronologischem Alter. Bei den Jungen ist die Korrelation zum chronologischen Alter bei der Reifebestimmung auf dem Fernröntgenseitbild (nach der CVMI-Methode) am höchsten.

Die Anwendbarkeit des CVMI als Methode zur skelettalen Reifebestimmung wird in dieser Untersuchung bestätigt. Sie stellt eine sinnvolle Alternative zur skelettalen Reifebestimmung in der Kieferorthopädie dar. Sofern routinemäßig eine Fernröntgenseitaufnahme gemacht wird, kann auf eine zusätzliche Handröntgenaufnahme verzichtet und die damit verbundene höhere Strahlenbelastung des Patienten vermieden werden. Durch den geringeren Aufwand können in der Praxis Kosten gespart werden.

Haleh Hakim-Djavadi: Ein Vergleich skelettaler Reifebestimmungsmethoden in der Kieferorthopädie in Relation zueinander und zum chronologische Alter.

Halle, Univ., Med. Fak., Diss., 2002

Inhalt

1	Einleitung und Zielstellung	1
2	Möglichkeiten der Reifebestimmung in der Kieferorthopädie	2
2.1	Chronologisches Alter	2
2.2	Sexuelle Reifung	2
2.3	Körperhöhe und Körpergewicht	3
2.4	Gebissentwicklung	4
2.5	Skelettale Entwicklung	5
2.5.1	Faktoren, welche die skelettale Entwicklung beeinflussen	6
3	Verschiedene Auswertungsmethoden von Handröntgenaufnahmen.....	8
3.1	Die Auswertungsmethode nach Greulich und Pyle.....	8
3.2	Die Auswertungsmethode nach Tanner und Whitehouse	9
3.3	Die Auswertungsmethode nach Fishman.....	10
3.4	Reifestadien nach der Björk-Methode	14
3.5	Die Handröntgenauswertung und die Wachstumskurve.....	17
4	Die Bewertung der Reife anhand der Halswirbel auf dem Fernröntgenseitbild	19
4.1	Anatomie und Reifung der Halswirbel	19
4.2	Normale Veränderungen der Halswirbelsäule und Störungen bei Kindern und Jugendlichen	20
4.3	Zusammenhänge zwischen mandibulärem Wachstum und der Reifung der zervikalen Wirbel.....	21
4.4	Vergleich der skelettalen Altersbestimmung anhand der Handröntgenaufnahme und anhand der Halswirbel auf dem Fernröntgenseitbild	22
5	Empirische Untersuchung.....	26
5.1	Arbeitshypothese	26
5.2	Material und Methode.....	27
5.3	Statistische Berechnungen	28
6	Ergebnisse bei der männlichen Population	29
6.1	Korrelation zwischen den verschiedenen Methoden zur skelettalen Reifebestimmung	29
6.1.1	Korrelation zwischen der Methode nach Fishman und dem CVMI nach Hassel und Farman	29
6.1.2	Korrelation zwischen der Fishman-Methode und der Björk-Methode.....	30
6.1.3	Korrelation zwischen der CVMI-Methode nach Hassel und Farman und der Björk-Methode	30
6.2	Korrelation zwischen den verschiedenen skelettalen Reifebestimmungsmethoden und dem chronologischen Alter.....	32

6.2.1	Korrelation zwischen der Handröntgenauswertung nach Björk und dem chronologischen Alter.....	32
6.2.2	Korrelation zwischen der CVMI-Methode nach Hassel und Farman und dem chronologischen Alter	35
6.2.3	Korrelation der Handröntgenauswertung nach Fishman zum chronologischen Alter.....	38
7	Ergebnisse bei der weiblichen Population	43
7.1	Korrelation zwischen den verschiedenen Methoden zur skelettalen Reifebestimmung.....	43
7.1.1	Korrelation zwischen der Methode nach Fishman und der Methode des CVMI nach Hassel und Farman	43
7.1.2	Korrelation der Methode nach Fishman zur Methode nach Björk	44
7.1.3	Korrelation der CVMI-Methode nach Hassel und Farman zur Methode nach Björk	44
7.2	Korrelation zwischen den verschiedenen skelettalen Reifebestimmungsmethoden und dem chronologischen Alter.....	45
7.2.1	Korrelation zwischen der Handröntgenauswertungsmethode nach Björk und dem chronologischen Alter	45
7.2.2	Korrelation der CVMI-Methode nach Hassel und Farman zum chronologischen Alter.....	49
7.2.3	Korrelation der Handröntgenauswertungsmethode nach Fishman zum chronologischen Alter.....	52
7.3	Vergleich der Korrelation chronologisches Alter zu den angewandten skelettalen Altersbestimmungsmethoden bei Mädchen und Jungen	57
8	Diskussion	58
9	Zusammenfassung	64
10	Literatur.....	66
11	Tabellenverzeichnis	71
12	Abbildungsverzeichnis.....	73

Abkürzungsverzeichnis

CVMI	cervical vertebrae maturation index	(Hassel/ Farman)
DP3cap	dritter Finger- distale Phalanx, „Capping“ der Epiphyse	(Fishman)
DP3u	dritter Finger- distale Phalanx, Fusion von Epi- und Diaphyse (unit)	(Fishman)
DP3u	Vollständige Verknöcherung der Epi- und Diaphyse der <i>distalen</i> Phalanx des dritten Fingers.	(Björk)
MP3=	dritter Finger - mittlere Phalanx, gleiche Breite von Epi- und Diaphyse	(Fishman)
MP3=	Gleiche Breite von Epi- und Diaphyse der Mittelphalanx des dritten Fingers. Wachstumsspurt wird in ca. 2 Jahren erfolgen.	(Björk)
MP3cap	dritter Finger- mittlere Phalanx, „Capping“ der Epiphyse	(Fishman)
MP3cap	Die Epiphyse der Mittelphalanx des dritten Fingers bildet sich kappenförmig aus. Maximum des Wachstumsspurts.	(Björk)
MP3u	dritter Finger- mittlere Phalanx, Fusion von Epi- und Diaphyse (unit)	(Fishman)
MP3u	Vollständige Verknöcherung der Epi- und Diaphyse der <i>mittleren</i> Phalanx des dritten Fingers.	(Björk)
MP5=	fünfter Finger - mittlere Phalanx, gleiche Breite von Epi- und Diaphyse	(Fishman)
MP5cap	„Capping“ der Epiphyse der Mittelphalanx des fünften Fingers	(Fishman)
PP2=	Gleiche Breite von Epi- und Diaphyse der proximalen Phalanx des zweiten Fingers.	(Björk)
PP3=	dritter Finger - proximale Phalanx, gleiche Breite von Epi- und Diaphyse	(Fishman)
PP3u	dritter Finger- proximale Phalanx, Fusion von Epi- und Diaphyse (unit)	(Fishman)
PP3u	Vollständige Verknöcherung der Epi- und Diaphyse der <i>proximalen</i> Phalanx des dritten Fingers.	(Björk)
RADu	Radius, Fusion von Epi- und Diaphyse (unit)	(Fishman)
Ru	Vollständige Verknöcherung der distalen Epi- und Diaphyse des Radius. Ende des Wachstums.	(Björk)

S	Beginn der Ossifikation des ulnar gelegenen Sesamknochens des metacarpalen Daumengelenks. Wachstumsspurt wird in ca. _ bis 1 Jahr erfolgen.	<i>(Björk)</i>
SES	Ossifikation Sesamoid des Daumens	<i>(Fishman)</i>
SMI	skeletal maturation indicators	<i>(Fishman)</i>
St-abw.	Standardabweichung	

1 Einleitung und Zielstellung

Zur Erstellung eines kieferorthopädischen Behandlungsplans sind – außer der Bestimmung des Wachstumsmoments – anamnestische und klinisch-diagnostische Daten, Gebissmodelle, Röntgenbilder und Fotoaufnahmen notwendig. Zur Bestimmung der Reifestadien des Patienten können verschiedene Parameter wie chronologisches Alter, sexuelle Entwicklung dentales Alter, Körperhöhe und Körpergewicht sowie die skelettale Reifung herangezogen werden.

Körper- bzw. Gesichtswachstum und Zahnwechsel sind in ihrem Ablauf starken individuellen Schwankungen unterworfen. Die Entscheidung über den Behandlungsbeginn und den Einsatz verschiedener Apparatesysteme kann daher nicht auf Grund des chronologischen Alters getroffen werden (Schopf 1984). Ein wichtiges diagnostisches Werkzeug, welches zurzeit benutzt wird um festzustellen, in welcher Phase sich das pubertäre Wachstum befindet, ist die Handröntgenaufnahme.

Biologisches Alter, skelettales Alter, Knochenalter und skelettale Reife werden in der Fachliteratur als synonyme Begriffe benutzt, um die Stadien der Reifung eines Individuums zu beschreiben. Auf Grund individueller Dispositionen, die über Zeitpunkt, Dauer und Geschwindigkeit des Wachstums entscheiden, ist die skelettale Alterseinschätzung eine wesentliche Grundlage, um einen durchführbaren Behandlungsplan zu formulieren (Hassel und Farman 1995).

Schwerpunkt dieser Arbeit soll die Untersuchung der Frage sein, ob es notwendig ist, das skelettale Wachstumsmoment auf Grund der Handröntgenaufnahme zu bestimmen, oder ob sich dieses nicht anhand des routinemäßig genommenen Fernröntgenseitbildes gleichwertig zur Handröntgenaufnahme bestimmen lässt. Denn Untersuchungen von Hassel und Farman (1995) sowie Caltabiano, Leonardi und Zaborra (1990) belegen, dass Form und Reife der Halswirbelkörper als Wachstumskriterium ebenfalls herangezogen werden können. Im letzteren Fall wäre es möglich, auf die Handröntgenaufnahme gänzlich zu verzichten und so die Strahlenbelastung für den Heranwachsenden zu verringern.

In der vorliegenden Studie sollen auch Zusammenhänge zwischen mandibulärem Wachstum, Körperhöhe und Körpergewicht sowie der Kopfhaltung und den Halswirbeln erörtert werden. Dadurch soll verdeutlicht werden, dass auch die auf dem Fernröntgenseitbild sichtbaren Halswirbel im Rahmen der kieferorthopädischen Diagnostik und Therapieplanung herangezogen werden können.

2 Möglichkeiten der Reifebestimmung in der Kieferorthopädie

2.1 Chronologisches Alter

Für den Mediziner ist die Einschätzung des Lebensalters von diagnostischem und therapeutischem Interesse. Der Kieferorthopäde erfragt in der Anamnese das Alter des Patienten, um daraus grobe Schlüsse über dessen Reifezustand zu ziehen. Wachstum und Entwicklung laufen jedoch auf Grund ihrer Abhängigkeit vom genetischen Potenzial des Individuums und den Umweltbedingungen individuell unterschiedlich ab und werden durch das chronologische Alter nur bedingt repräsentiert. Der Kieferorthopäde kann sich deshalb nicht ausschließlich mit dem chronologischen Alter als Reifekriterium zufrieden geben.

Bei der Wahl des richtigen Zeitpunktes für die Einleitung kieferorthopädischer Maßnahmen wird häufig davon ausgegangen, dass die zweite Phase des Zahnwechsels, d.h. die Altersstufe zwischen dem neunten und zwölften Lebensjahr, als günstigste Behandlungszeit anzusehen ist. Eine derart undifferenzierte Betrachtungsweise ist jedoch aus verschiedenen Gründen nicht immer tragbar. Bei einer Reihe von Fehlstellungen ist eine kieferorthopädische Therapie bereits zu einem (wesentlich) früheren Zeitpunkt erforderlich, bei anderen Patienten ist, abhängig vom Zahnwechsel oder vom skelettalen Wachstum, möglicherweise erst ein späterer Zeitpunkt zu wählen (Schopf 1994).

Green (1961) untersuchte die Beziehung zwischen Körperhöhe, Körpergewicht, dem chronologischen, dem dentalen und dem skelettalen Alter. Dabei stellte er fest, dass das chronologische Alter am höchsten mit dem skelettalen Alter und am geringsten mit der Körperhöhe korreliert.

Hotz, Boulanger und Weisshaupt (1959) weisen darauf hin, dass das chronologische Alter höher mit dem skelettalen Alter korreliert als das dentale Alter.

2.2 Sexuelle Reifung

Die Herausbildung sexueller Reifemerkmale steht in engem Zusammenhang mit der allgemeinen körperlichen Entwicklung heranwachsender Kinder (Tanner 1962; Andersen 1968; Prader 1975). Während ein *Arzt* aus der Ganzkörperuntersuchung Schlüsse über die sexuellen Reifezeichen ziehen kann, sind beim

Kieferorthopäden die diagnostischen Möglichkeiten begrenzt. Der kieferorthopädischen Diagnostik sind jedoch drei Pubertätsmerkmale zugänglich:

- Stimmbruch (Hägg und Taranger 1980)
- Einsetzen des Bartwuchses bei Knaben
- Zeitpunkt der Menarche bei Mädchen

Die Menarche, deren zeitliches Auftreten einerseits von exogenen Faktoren und andererseits vom Körpergewicht beeinflusst wird (Tofani 1972; Prade 1975) und anamnestisch zu erfassen ist, weist eine gewisse Synchronisation zum Entwicklungsstand des gesamten Körpers auf. Beide Faktoren sind der biologischen Akzeleration unterworfen (Delit 1977; Linneweh 1980). Auf dem Weg zur körperlichen Vollreife ist die sexuelle Maturation der offensichtlichste Ausdruck für den unterschiedlichen Entwicklungsprozess beider Geschlechter. Die Menarche liegt ca. 2 Jahre früher als der Zeitpunkt der äquivalenten sexuellen Reifung bei Knaben (Medved et al. 1962). Ähnlich verhält es sich mit dem Verlauf des Körperlängenwachstums. Allerdings fallen Skeletalter und sexueller Pubertätsgipfel zeitlich nicht zusammen. Die Menstruation setzt im Durchschnitt etwa ein Jahr nach Erreichen der skelettalen Wachstumskulmination ein, d.h. bereits in der Phase der Regression des skelettalen Wachstums (Fritsch 1974; Hägg und Taranger 1980). Daraus folgt, dass das Menarchealter eine begrenzte, hauptsächlich retrospektive Bedeutung für die kieferorthopädische Diagnostik hat.

Analog verhält es sich mit dem Pubertätsgipfel bei Knaben. Etwa ein Jahr nach Erreichen des maximalen Körperlängenwachstums ist die erwachsene Stimme als charakteristisches Merkmal festzustellen (Hägg und Taranger 1980).

2.3 Körperhöhe und Körpergewicht

Körperhöhe und Körpergewicht sind leicht zu erfassende und deswegen häufig verwendete Reifekriterien. Man spricht zum einen vom so genannten „Längentalter“. Das ist das jeweilige chronologische Alter in der Vergleichspopulation, dem die gemessene Körperlänge des Kindes entspricht (Schirm 1974), sowie vom „Gewichtsalter“ und „Proportionsalter“ (Butenandt 1974). Letzteres beschreibt das altersspezifisch veränderliche Verhältnis der Länge verschiedener Körperabschnitte zueinander (Schmidt und Künle 1958). Mit Hilfe eines Somatogramms (Maaser und Droese 1979) oder durch Verwendung von Perzentilwerten (Oehmisch 1978) kann man tabellarisch Körperlänge und -gewicht mit Normwerten vergleichen. Die Körperlänge drückt das Gesamtreifeniveau eines Kindes besser

aus als das Körpergewicht, da letzteres größeren Schwankungen unterliegt (Tanner 1962).

Bedeutender als der genetische Hintergrund ist bei der Reifeinschätzung auf der Basis der Körperlänge der temporäre Ablauf der Körperlängenzunahme, die in Schüben verläuft. Dabei besitzt die Phase des zirkumpubertalen Wachstumsschubes für die Kieferorthopädie eine besondere Bedeutung (Grave 1978).

Der pubertale Wachstumsgipfel verläuft hinsichtlich seines Zeitpunkts und seines Wachstumsbetrags individuell sehr unterschiedlich. Zur Erkennung auch weniger ausgeprägter Wachstumsschübe ist eine genaue Analyse des Wachstumsverlaufs erforderlich (Hägg und Taranger 1982).

2.4 Gebissentwicklung

Die kieferorthopädischen Maßnahmen berücksichtigen bei Diagnostik und Therapie in hohem Maße den Entwicklungsstand des Gebisses. Um den Entwicklungszustand des Gebisses einschätzen zu können, beurteilt man die Zähne der zweiten Dentition – entweder klinisch als Zahl der durchgebrochenen Zähne oder röntgenologisch durch Bestimmung ihrer Mineralisation. Der ermittelte Entwicklungsgrad des Gebisses wird mit dem alterstypischen Normalbefund verglichen und meist als Zahnalter ausgedrückt. Die klinische Beurteilung erfasst die bereits durchgebrochenen Zähne der zweiten Dentition. Nach dem WHO-Standard (1971) werden nur diejenigen Zähne als klinisch durchgebrochen gewertet, deren Kronenspitzen die *Gingiva* wenigstens initial durchbrochen haben (Künzel 1976). Zur Bestimmung des Zahndurchbruchs in der zweiten Dentition existieren verschiedene Normwerttabellen, die den durchschnittlichen Durchbruchzeitpunkt einzelner Zahngattungen (Gödény 1951) oder Zahngruppen (Adler 1957; Hägg und Taranger 1981) bzw. die Gesamtzahl der durchgebrochenen Zähne in einem bestimmten chronologischen Alter (Adler-Hradecky und Adler 1958) darstellen. Die zunehmende Varianz der Dentitionstermine, verursacht durch individuell unterschiedliche Zahndurchbruchsequenzen (Nanda 1960), lokale Faktoren und die Existenz von Früh- und Spätzählern (Adler und Adler-Hradecky 1958), scheint sich mit der allgemeinen zivilisatorischen Entwicklung der Population zu verstärken (Felgentreff et al. 1977).

Einige Autoren halten die somatische Reife anhand der *röntgenologischen* Einschätzung für bedeutungsvoller als den *klinischen* Durchbruch. Dabei werden definierte Kalzifizierungsstadien im Kronen-, Wurzel- und Apexbereich permanenter Zähne eingeschätzt (Moorrees 1959; Lauterstein 1965). Da die Mineralisationserscheinungen populations- und ernährungsabhängig sind, sind spezifizierte Standards erforderlich (Nanda und Chawla 1969). Bei der Bestimmung des

dentalen Entwicklungsstandes spielen die mittels der Panoramaröntgentechnik gewonnenen Übersichtsaufnahmen eine gewisse Rolle, da im Hinblick auf die Akzeleration im Zahnwechsel auch altersbedingte Verschiebungen in der präeruptiven Phase wahrscheinlich sind (Schopf 1970). Das dentale Alter lässt sich unter Verwendung von Tabellen für den regulären Durchbruchzeitpunkt, die vertikale Position und die Mineralisation der permanenten Zähne geschlechtsspezifisch berechnen (Schopf 2000).

2.5 Skelettale Entwicklung

In der Kieferorthopädie nimmt die skelettale Reifebestimmung einen wichtigen Platz ein. Zur optimalen Behandlung einer Reihe von Dysgnathien ist einerseits anhaltendes Wachstum unerlässlich (z.B. Rückbiss, Mikrognathie etc.); andererseits können ungünstige Wachstumseinflüsse zu einer Verstärkung der Anomalie, einer Erschwerung der Behandlung und einer Verschlechterung der Prognose beitragen (z.B. Progenie, skelettal offener Biss). Kenntnisse über Stand und Ablauf der skelettalen Entwicklung sind in beiden Fällen für die Planung der kieferorthopädischen Therapie unerlässlich (Schopf 2000).

Die Skelettentwicklung verkörpert eine integrierende und mit Hilfe des Röntgenverfahrens leicht objektivierbare Komponente der Entwicklung des Gesamtorganismus (Schmid und Halden 1949).

Das Auftreten von Ossifikationszentren, deren morphologische Entwicklung und deren Verschmelzungsprozess im Bereich der Epiphysen stellt gut definierbare, diagnostisch eindeutig erfassbare Anzeichen bestimmter Reifenniveaus dar (Medved et. al. 1962; Grashey und Birkner 1964; Sousa und Schuster 1975).

Die allgemeine Skelettreife normaler Probanden kann durch den Reifezustand eines definierten Skelettabschnitts dargestellt werden, da sehr enge Beziehungen zwischen dem jeweiligen Niveau der Reifung verschiedener Teile des menschlichen Skeletts bestehen (Pelech und Pechstein 1976).

Gut geeignet für eine Reifeinschätzung wegen hoher Konzentration an Einzelknochen bei gleichzeitig geringer Strahlenbelastung des Rumpfs ist der Handskelettbereich (Moll 1964; Schmid 1974). Die Reifung des Handskeletts kann im Schulalter als repräsentativ für die des Gesamtskeletts gelten, wie zahlreiche Untersuchungen gezeigt haben (Gefferth 1970; Roche und French 1970; Braselmann 1974). Die Bestimmung der physischen Reife kann mittels einer Handskelettröntgenaufnahme objektiviert werden (Greulich und Pyle 1959). Diese Aufnahme ist hilfreich zur Erklärung festgestellter Entwicklungsunterschiede zwischen einem Kind und seinen Altersgenossen (Demisch 1955;

Hattermer 1959) sowie zur Koordination entwicklungsabhängiger Therapiemaßnahmen in Zeitpunkt, Dauer und Reihenfolge (Grave 1978).

2.5.1 Faktoren, welche die skelettale Entwicklung beeinflussen

Grundsätzlich besteht ein enger Zusammenhang zwischen der Skelettreifung und den Funktionen des endokrinen Systems. Das endokrine System bestimmt u.a. den Auftakt der Adoleszenz. Mit der verstärkten Sekretion von Hormonen findet eine Kaskade von Reaktionen statt, die Einfluss auf Genitalien, lymphatisches Gewebe, auf Maxilla und Mandibula sowie auf Muskel- und Knochengewebe hat (Proffit 1992). Daraus lässt sich ableiten, dass alle pubertätsbeeinflussenden Faktoren ebenso skelettal beeinflussende Faktoren sind. Hormonelles Ungleichgewicht beeinflusst die Knochenentwicklung (Schmid und Moll 1960; Sousa und Schuster 1975). Die Knochenentwicklung spiegelt aber auch den jeweiligen Ernährungszustand und den genetischen Hintergrund des Kindes wider (Garn und Rohmann 1975). Deshalb ist bei der Beurteilung der Skelettreife auch die pädiatrische Anamnese zu beachten (Bayley und Pinneau 1952). Zu den wesentlichen, die Skelettentwicklung beeinflussenden Faktoren zählen:

- **allgemeine genetische Einflüsse:** Das Erbgut ist sowohl familiär als auch bevölkerungsspezifisch geprägt. Beide Aspekte sind bei der Einschätzung des skelettalen Alters insofern zu beachten, als Vergleichsstandards aus einer anderen Bevölkerung nicht kritiklos als Beurteilungsgrundlage benutzt werden sollten (Tanner et al. 1975); unter Umständen sind Korrekturwerte erforderlich (Hölscher 1973). Bei homogenen Populationen, die genetisch und geographisch benachbart sind, spielt dieses Problem jedoch eine untergeordnete Rolle (Pelech und Pechstein 1976; Bery 1979).
- **Umwelteinflüsse:** Aus den Untersuchungen von Greulich und Pyle (1959) geht hervor, dass die Akzeleration der Skelettreifung zu einem Teil auf Umwelteinflüsse zurückzuführen ist. Die Knochenreifung wird durch besondere Umweltbedingungen beeinträchtigt, z.B. durch eine permanente, industriell bedingte Luftverschmutzung. Bei Kindern aus betroffenen Regionen konnte eine signifikante Retardierung der Skelettreife beobachtet werden (Bab 1970).
- **Ernährungsbedingungen:** Glaser (1977) stellte fest, dass Maldigestion, Malabsorption, Nährstoffintoleranzen und eine permanente Mangelernährung die Skelettreifung beeinträchtigen. Dieses kann bei nachhaltiger therapeutischer Normalisierung der Ernährungssituation teilweise oder ganz ausgeglichen werden.

- **Spezifische Erkrankungen:** Einige Krankheiten und Syndrome beeinflussen unter anderem den Reifungsprozess des Skeletts. Es kommt zu Proportionsveränderungen, Beschleunigungen und Verzögerungen beim Knochenwachstum (Schmid und Hofmann 1958; Sannwald 1961).

Zu Ossifikations*verzögerungen* führen nach Schmid (1949):

- Dysostosis cleidocranialis und Dysostosis mandibulofacialis,
- hypophysärer Zwergwuchs,
- Osteogenesis imperfecta,
- Chondrodystrophie,
- cerebrale Störungen, meist mit Asymmetrien einhergehend (Salzmann 1954).

Zu Ossifikations*beschleunigungen* führen nach Schmid und Moll (1960):

- Akromegalie,
- Pubertas praecox,
- hypophysärer Riesenwuchs,
- Hyperthyreose

Bei der Beurteilung des skelettalen Reifezustands sollten die Abweichungen auf Grund dieser Anomalien berücksichtigt werden (vgl. auch 5.2).

3 **Verschiedene Auswertungsmethoden von Handröntgenaufnahmen**

Die Röntgenaufnahme der Hand ist in der Pädiatrie seit längerem zur Bestimmung des skelettalen Reifezustandes eines Kindes gebräuchlich (Schopf, 1984). Im Rahmen der *kieferorthopädischen* Befunderhebung spielt die skelettale Reifebestimmung eine bedeutende Rolle, weil das Wachstum des Gesichtsschädels bzw. des Unterkiefers in vielen Fällen bedeutende Informationen für Therapie und die Prognose liefern. Generell ist daher die Anfertigung einer Röntgenaufnahme zu erwägen,

- wenn im Rahmen einer kieferorthopädischen Therapie Wachstum genutzt werden soll oder
- wenn während bzw. nach einer kieferorthopädischen Behandlung negative wachstumsbedingte Folgen befürchtet werden.

Wesentliche Aussagen des Handröntgenbildes betreffen

- die Festlegung des optimalen Behandlungsbeginns und
- die Beantwortung der Frage, ob und wann eine Behandlung bzw. eine Retention abgeschlossen werden kann (Schopf 2000).

3.1 Die Auswertungsmethode nach Greulich und Pyle

In ihrem Atlas bilden Greulich und Pyle (1959) im Rahmen von Längsschnittstudien angefertigte, nach Altersgruppen geordnete Röntgenaufnahmen der Hand bzw. der Handwurzel ab. Als *Standardaufnahmen* werden die als Normwert anerkannten, nach Altersklassen geordneten, *geschlechtsspezifisch repräsentativsten Röntgenbilder* bezeichnet (De Coster 1937). Die Spannweite der Altersgruppen beträgt im ersten Lebensjahr drei Monate, bis zum sechsten Lebensjahr sechs Monate und bis zum 16. bzw. 17. Lebensjahr ein Jahr. Der Reifezustand der Aufnahmen wurde beschrieben und ein Anhang zur Verdeutlichung weniger auffälliger Reifezeichen beigefügt. Zur Bestimmung des Reifezustands anhand einer individuellen Röntgenaufnahme wurde empfohlen, das Röntgenbild zunächst mit dem optisch ähnlichsten Standard sowie dem diesem vorhergehenden und nachfolgenden Standard zu vergleichen. Weiterhin wurde ein Vergleich einzelner diskreter Handskelettknochen mit dem ähnlichsten Standard und eine Überprüfung einzelner Strukturen mit den Reifeindikatoren im graphischen Anhang empfohlen. Zum Schluss erfolgt eine Festlegung des Gesamtreifeniveaus. Es gilt der Standard bei dem die meisten Reifezeichen dem der Patientenaufnahme entsprechen. Da die subjektive Komponente der Auswertung proble-

matisch ist, sollte jeder Untersucher seine individuelle Genauigkeit beim Einschätzen von Handskelettaufnahmen kennen (Greulich und Pyle 1959).

3.2 Die Auswertungsmethode nach Tanner und Whitehouse

Zusammen mit M.J.R. Healy schufen Tanner und Whitehouse (1962) eine neue Methode zur Skelettreifebestimmung, TW1 genannt. Sie wurde 1979 überarbeitet und unter dem Titel „Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height“ (TW2) veröffentlicht. In Langzeituntersuchungen über Zeiträume bis zu 12 Jahren wurden Serien von Röntgenaufnahmen in Abständen von sechs Monaten angefertigt (Tanner 1962). Dabei wurden vom ersten Erscheinen jedes Knochens bis ins Erwachsenenstadium die aufeinanderfolgenden Veränderungen beobachtet, die in der Form und den Schattenbildungen stattfanden. Obwohl die Weiterentwicklung eines Knochens ein kontinuierlicher Vorgang ist, wurde dieser in eine Anzahl einzelner Stadien gegliedert, von denen jedes unzweideutig sowohl verbal als auch in Form von Illustrationen und Röntgenaufnahmen für jeden einzelnen Knochen beschrieben wurde. Die TW2-Methode, die die skelettale Reifung nach einem Punktwertsystem auswertet, gibt eine kontinuierliche arithmetische Darstellung des Gesamtreifeniveaus mittels der Handskelettanalyse wieder. Zur Auswertung herangezogen werden:

- die distalen Epiphysen von Radius und Ulna,
- die acht Karpalia,
- Metacarpalia I, III, V sowie
- alle Phalangen des 1., 3. und 5. Fingers.

Die Entwicklung dieser skelettalen Elemente wird in Etappen gegliedert, wobei das Stadium „A“ die Abwesenheit des jeweiligen Handknochens und die Stadien „H“ bzw. „I“ den voll ausgereiften Knochen repräsentieren.

Da Karpalia und Röhrenknochen in unterschiedlichem Maße repräsentativ für die Gesamtreife des Skeletts sind, erfolgte eine Gliederung in drei Teilsysteme mit spezifischen Punktwerten:

TW-20 bone:	umfasst alle aufgeführten Knochen
RUS:	umfasst Radius, Ulna, Metakarpalia und Phalangen
Carpal bone:	umfasst nur die Karpalia

Das RUS-System wird von den Autoren als am repräsentativsten für das Gesamtskelett angesehen:

- Den Reifestadien der jeweiligen Knochen wird in Abhängigkeit vom jeweiligen Teilsystem und vom Probandengeschlecht tabellarisch ein spezieller Punktwert zugeordnet. Der zu errechnende Summenwert ist der direkte Ausdruck für das Reifenniveau des Skeletts.
- Eine Aussage über das den Summenwerten entsprechende Skeletalter kann, anhand einer Tabelle oder graphischer Perzentildarstellungen ermittelt werden (Tanner et al. 1975)

3.3 Die Auswertungsmethode nach Fishman

Fishman unterscheidet bei der radiologischen Bewertung der Handröntgenaufnahme elf verschiedene Stadien (siehe *Abb. 1*).

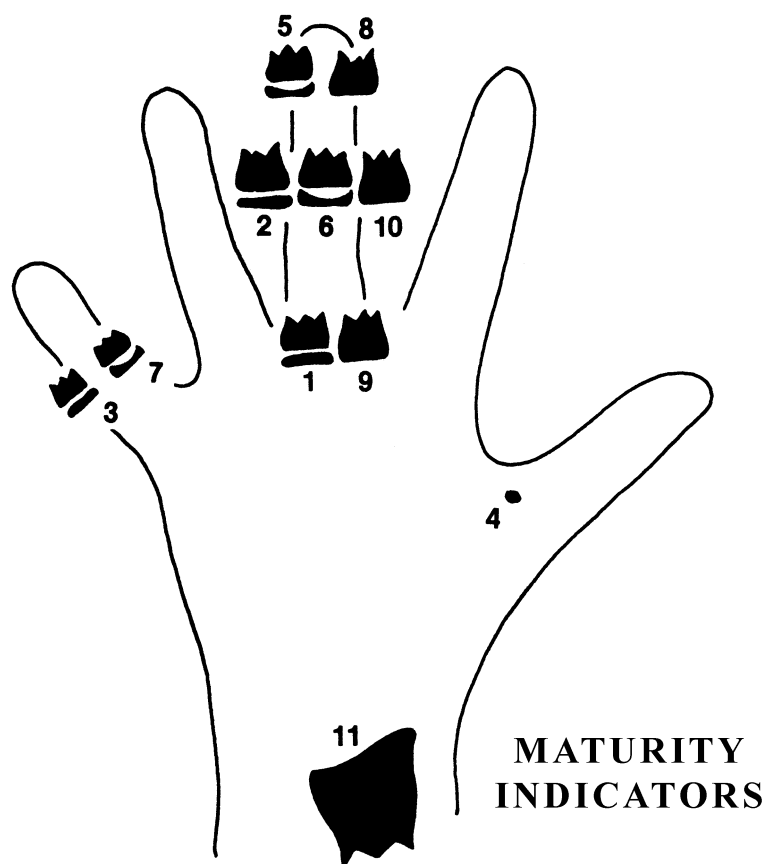


Abb. 1: Elf skelettale Reifeindikatoren (Fishman, 1982)

Diese werden durch skelettale Reifeindikatoren gekennzeichnet, die an sechs unterschiedlichen anatomischen Bereichen lokalisiert werden. Dies wird in Abb. 2a deutlich.

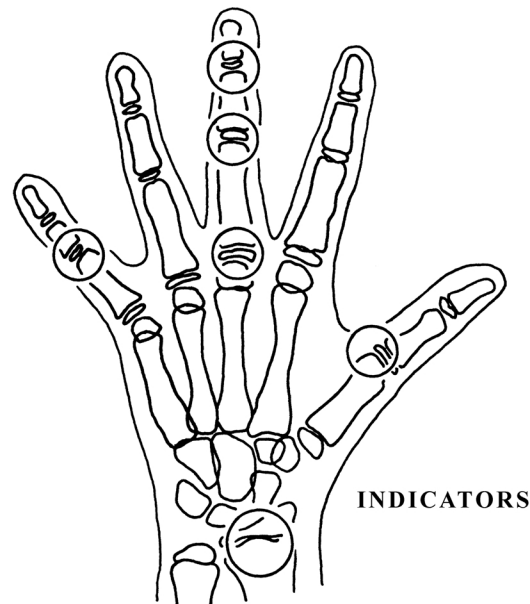


Abb. 2a: Stellen der skelettalen Reifeindikatoren (Fishman, 1982)
Die anatomischen Strukturen sind kreisförmig markiert. Es handelt sich um das distale Ende des Radius, die mittlere Phalanx des kleinen Fingers, die distale, mittlere und proximale Phalanx des dritten Fingers und das Sesamoid des Daumens. Die Stadien werden zu vier übergeordneten Phasen zusammengefasst (skeletal maturation indicators, SMI, Abb. 2b).

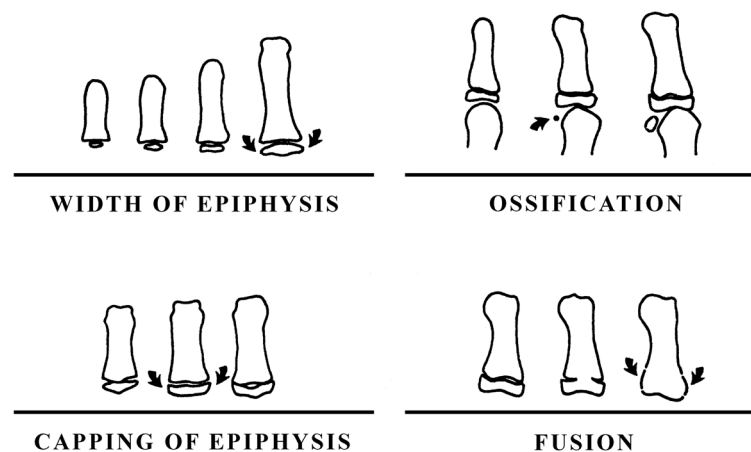


Abb. 2b : Röntgenologische Identifikation der Reifeindikatoren (Fishman, 1982)

- A. Gleiche Breite von Epiphyse und Diaphyse.
- B. Ossifikation
- C. „Capping“ der Epiphyse
- D. Fusion von Epi- und Diaphyse

Die Sequenz der Ossifikationsstadien beginnt mit der Verbreiterung der Epiphysen ausgesuchter Finger, der Ossifikation des Sesamoids des Daumens. Sie schreitet fort mit der „Kappenbildung“ an ausgesuchten Fingern und erstreckt sich bis zur Fusion der ausgewählten Epiphysen und Diaphysen. Die relative Verbreiterung der Epiphyse zu ihrer Diaphyse ist ein fortschreitender Prozess. Die Epiphyse erscheint zunächst als ein kleines Ossifikationszentrum. Wenn es sich lateral zur Diaphyse entwickelt hat, tritt die Epiphyse in das erste Stadium ein, das vom SMI (skeletal maturation index) erfasst wird. Die Ossifikation des Sesamoids erscheint zunächst als kleines, rundes Ossifikationszentrum der kleinen Phalanx medial der Verbindung von Epi- und Diaphyse. Dieses wird dann fortschreitend dichter und größer.

Das *erste* Auftreten des Sesamoids leitet die vierte Phase des SMI (SES) ein. Es liegt zwischen der epiphysalen Erweiterung und vor dem „Capping“. Das Capping stellt einen Übergang dar zwischen der initialen Erweiterung und der Fusion von Epi- und Diaphyse. Es ist das Stadium, in dem die abgerundeten lateralen Ränder der Epiphyse beginnen, sich abzuflachen und zur Diaphyse hin in einem spitzen Winkel hin zuzulaufen.

Dem „Capping“ folgt die Fusion von Epi- und Diaphyse. Es beginnt ebenfalls zentral und schreitet lateral fort, bis die zuvor separaten Knochenteile miteinander verschmelzen. Den Zeitpunkt der vollständigen Verschmelzung kann man als SMI-Stadium betrachten (DP3u, PP3u, MP3u, RADu; siehe Fig. 1). Dieses ist gekennzeichnet durch eine feine, glatte Kontinuität der Oberfläche der Verbindung. Knochenlinien, die Jahre nach der kompletten Fusion noch sichtbar bleiben, aber nicht relevant sind (Fishman, 1982). Die in *Abb. 2b und Abb. 1* dargestellten individuellen Reifeindikatoren werden nachfolgend in chronologischer Reihenfolge aufgelistet (Fig.1):

Fig.1: Skeletal Maturation Index (SMI)

Gleiche Breite von Epi- und Diaphyse

- | | | |
|----|------------------------------------|------|
| 1. | dritter Finger - proximale Phalanx | PP3= |
| 2. | dritter Finger - mittlere Phalanx | MP3= |
| 3. | fünfter Finger - mittlere Phalanx | MP5= |

Ossifikation

- | | | |
|----|----------------------|-----|
| 4. | Sesamoid des Daumens | SES |
|----|----------------------|-----|

„Capping“ der Epiphyse

- | | | |
|----|----------------------------------|--------|
| 5. | dritter Finger- distale Phalanx | DP3cap |
| 6. | dritter Finger- mittlere Phalanx | MP3cap |
| 7. | fünfter Finger- mittlere Phalanx | MP5cap |

Fusion von Epi- und Diaphyse

- | | | |
|-----|-----------------------------------|------|
| 8. | dritter Finger- distale Phalanx | DP3u |
| 9. | dritter Finger- proximale Phalanx | PP3u |
| 10. | dritter Finger- mittlere Phalanx | MP3u |
| 11. | Radius | RADu |

Eine systematische Übersicht wie in *Fig. 1* kann die SMI-Einschätzung vereinfachen. Mit diesem Ansatz können „Schlüsselstadien“ kontrolliert werden, bevor man die Reifeindikatoren in numerischer Folge betrachtet. Die leichte Kontrollierbarkeit der Indikatoren hat eine gute Anwendbarkeit des SMI zur Folge. Dabei ist es nützlich zu bestimmen, ob das Sesamoid sichtbar ist oder nicht. Ist es nicht sichtbar, dann befindet sich die Entwicklung noch eher im Stadium einer früheren epiphysalen Erweiterung als dem „Capping“. Ist das Sesamoid sichtbar, dann befindet sich die Entwicklung im Stadium SES oder einem späteren Stadium (siehe Abb. 3, Fishman, 1982).

HAND WRIST OBSERVATION SCHEME

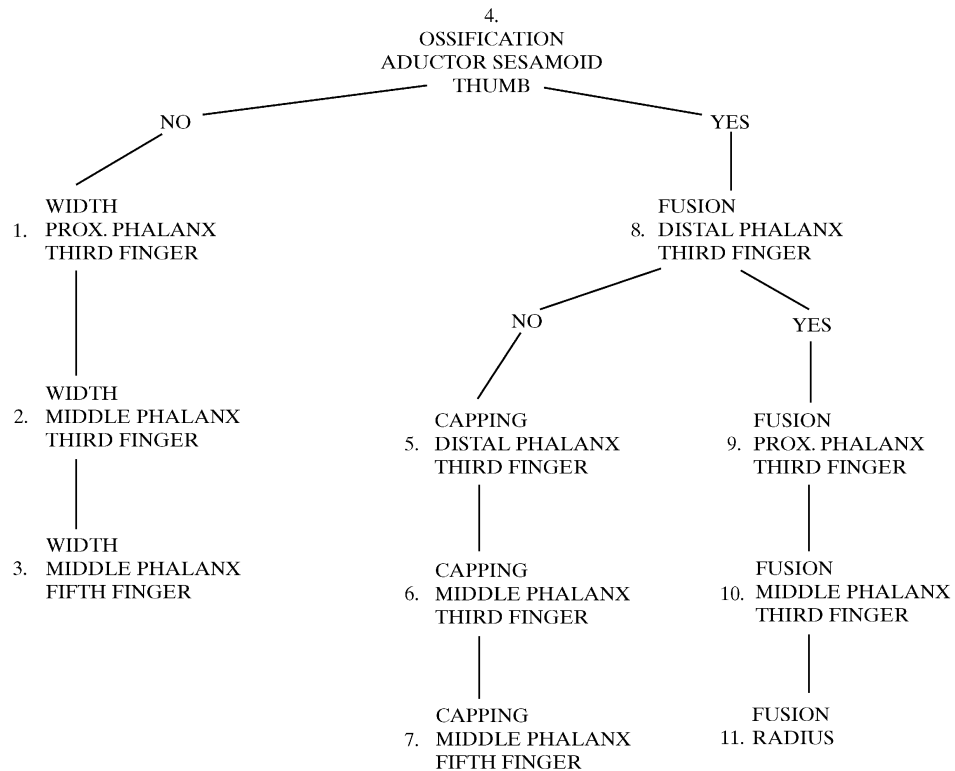


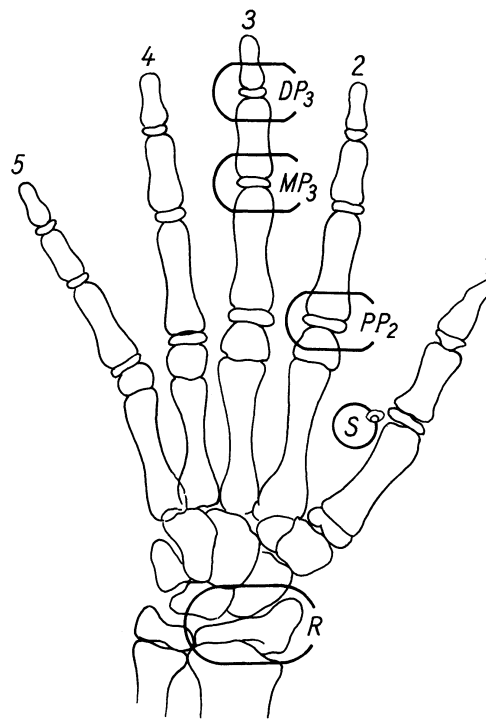
Abb. 3: Skelettale Reifebestimmung anhand der Handröntgenaufnahme nach der Fishman-Methode (skeletal maturation index).

3.4 Reifestadien nach der Björk-Methode

Um die skelettale Reife von Patienten einschätzen zu können, benutzte Björk Reifeindikatoren, die für den kieferorthopädisch interessanten Altersbereich zwischen 9 und 16 Jahren typisch sind. Ihm ging es vor allem darum, die Entwicklungsstufen zu erfassen, die um den Zeitpunkt des maximalen pubertalen Körperwachstums auftreten, da dieser Wachstumsschub bei der kieferorthopädischen Therapie eine Rolle spielt.

Im Rahmen einer Längsschnittstudie wählte er Reifeindikatoren, deren Auftreten er in zeitliche Beziehung zum Gipfel der Wachstumskurve der Körperhöhe setzte. Das Verhältnis von Dia- und Epiphysen der ersten, zweiten und dritten Phalanx sowie das Auftreten kleinerer Knochenstrukturen, z.B. des Sesamoids, wurden von dieser Methode genauer betrachtet. Bei der Entwicklung der Phalangen

werden drei Stadien unterschieden, die das Verhältnis von Epiphysen- und Diaphysenbreite charakterisieren. Die Epiphyse kann die gleiche Breite wie die Diaphyse haben (Stadium „=,“) oder diese kappenförmig umfassen (Stadium „cap“) oder aber mit der Diaphyse verschmolzen sein (Stadium „u“). Die Gliederung in Stadien wird in der Fachliteratur in zahlreichen Variationen vorgenommen. In dieser Studie wurden die in *Abb. 4* dargestellten Björk-Stadien aus Klink-Heckmann und Bredy, 1990, verwendet.



Stadien:	PP_2	MP_3	S	$MP_3 \text{ cap.}$	DP_{3u}	PP_{3u}	$MP_{3u}-R_u$
<i>Vor-stadium</i>	<i>steht noch bevor</i>	<i>unmittelbar davor</i>	<i>gerade erreicht</i>	<i>intensives Wachstum</i>	<i>pubertärer Schub bereits vorbei</i>	<i>Maximum überschritten</i>	<i>Wachstum beendet</i>

Abb. 4: Phasen der skelettalen Entwicklung nach Björk

1. PP2= Gleiche Breite von Epi- und Diaphyse der proximalen Phalanx des zweiten Fingers.
2. MP3= Gleiche Breite von Epi- und Diaphyse der Mittelphalanx des dritten Fingers.
Wachstumsspurt wird in ca. 2 Jahren erfolgen.
3. S Beginn der Ossifikation des ulnar gelegenen Sesamknochens des metacarpalen Daumengelenks.
Wachstumsspurt wird in ca. _ bis 1 Jahr erfolgen.
4. MP3cap Die Epiphyse der Grundphalanx des dritten Fingers bildet sich kappenförmig aus.
Maximum des Wachstumsspurts.
5. DP3u Vollständige Verknöcherung der Epi- und Diaphyse der *distalen* Phalanx des dritten Fingers.
6. PP3u Vollständige Verknöcherung der Epi- und Diaphyse der *proximalen* Phalanx des dritten Fingers.
7. MP3u Vollständige Verknöcherung der Epi- und Diaphyse der *mittleren* Phalanx des dritten Fingers.
8. Ru Vollständige Verknöcherung der distalen Epi- und Diaphyse des Radius.
Ende des Wachstums.

Grave und Brown (1976) haben in Ihren Studien die Reifeindikatoren erweitert. Eine Zuordnung der Reifestadien zur Wachstumskurve der Körperhöhe stellt die folgende Abb. 5 dar. Auf dieser Abbildung ist das Wachstum in cm pro Jahr in Abhängigkeit vom Lebensalter in Jahren anhand einer Kurve zu erkennen. Die einzelnen Reifestadien sind auf den Kurven jeweils gekennzeichnet. Die Kurve der Mädchen zeigt den Eintritt des Wachstumsspurts im einem wesentlich jüngeren Alter (maximales Wachstum um das zwölfte Lebensjahr) als bei den Jungen (maximales Wachstum um das vierzehnte Lebensjahr). In der Phase um den maximalen Wachstumsschub ist die Wachstumskurve sehr steil. Die Reifestadien nach Björk sind in dieser Wachstumskurve eingezeichnet.

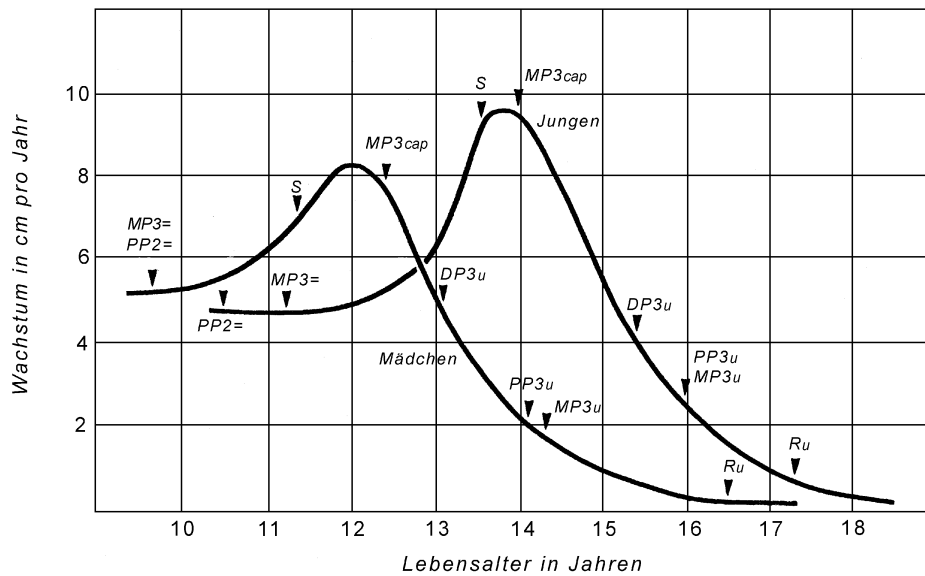


Abb. 5: Wachstumskurve nach Grave und Brown (1976)

3.5 Die Handröntgenauswertung und die Wachstumskurve

Die Wachstumskurve (Abb. 5) zeigt in ihrem Verlauf einen deutlichen Gipfel, an dem sich die Geschwindigkeit der skelettalen Entwicklung spiegelt. Der pubertäre Wachstumsgipfel ist eng korreliert mit einer bestimmten Stufe der Handskelettentwicklung, dem MP3cap-Stadium, während das S-Stadium (die sichtbare Mineralisation des Sesamoids am Daumen) den Beginn des Kurvenanstiegs zum pubertären Gipfel anzeigt. Bei den Jungen ist das S-Stadium fast am Wachstumsgipfel. Auf der Wachstumskurve der Mädchen aber ist nach dem S-Stadium noch eine deutlichere Steigerung der Wachstumsrate bis zu MP3cap auszumachen.

Typische geschlechtsspezifische Differenzen weist der Zeitpunkt des pubertären Wachstumsgipfels auf. Bei den Mädchen ist der Scheitelpunkt der Kurve durchschnittlich im Alter von 12 Jahren zu beobachten, während er bei den Jungen im Durchschnitt erst etwa 2 Jahre später liegt, also im Alter von 14 Jahren. Es bestehen allerdings große individuelle Variationsbreiten.

Wie der Kurvenverlauf aufzeigt, ist erst lange nach Überschreiten des Gipfels – im Ru-Stadium – mit einer Beendigung des Wachstums zu rechnen. Es ist davon auszugehen, dass dieser Zeitpunkt bei Mädchen mit normaler skelettaler Entwicklung mit etwa 16-17 Jahren, bei den Jungen erst mit etwa 18-19 Jahren erreicht ist.

Die Durchführung einer Therapie ist auf jeden Fall vor Erreichen des Wachstumsgipfels sinnvoll, wenn das Wachstum im Rahmen der kieferorthopädischen Behandlung genutzt werden soll. Wird ein ungünstiger Wachstumseinfluss befürchtet, so besteht dieses Risiko bis zum Erreichen des letzten Reifestadiums (Ru-Stadium). Auch operative Korrekturen skelettaler Anomalien sollten erst nach Abschluss des Wachstums durchgeführt werden (Schopf, 2000).

4 Die Bewertung der Reife anhand der Halswirbel auf dem Fernröntgenseitbild

Im Zusammenhang mit dem skelettalen Wachstum werden in der Fachliteratur u.a. die Halswirbel als Kriterium herangezogen (Hassel und Farman, 1995, Caltabiano, Leonardi und Zaborra, 1990, Hellsing, 1991) und mit anderen Parametern, vor allem im Schädel- und Gesichtsbereich, in Verbindung gebracht (Huggare, 1989 und 1994, O'Reilly und Yanniello, 1988).

4.1 Anatomie und Reifung der Halswirbel

Die Halswirbelsäule besteht aus sieben Wirbeln. Die beiden kranialen Wirbel sind Atlas und Axis (Gray und Clemente, 1985). Der erste Halswirbel, der Atlas, unterscheidet sich von den restlichen durch den fehlenden Corpus vertebrae, während das besondere Merkmal des zweiten Halswirbels der Dens Axis ist (Kahle, Leonard und Platzer, 1991). Vom dritten bis zum siebten Wirbel findet man große Ähnlichkeiten (Epstein, 1976). Die Halswirbel sind klein, da die Halswirbelsäule nur den Kopf zu tragen hat. Das Wirbelloch ist weit und hat die Form eines Dreiecks mit abgerundeten Ecken (Abb.6). Die Dornfortsätze sind kurz und bis auf den siebten Halswirbel gegabelt. Letzterer ist am längsten und stärksten und springt am meisten unter der Haut hervor (Voss und Herlinger, 1985).

Grundsätzlich besitzen alle Wirbel drei Knochenanlagen. Von diesen entstehen zwei perichondral und eine enchondral. Der enchondrale Knochenkern ist im Körper des Wirbels zu finden, die perichondralen Manschetten liegen in den Wurzeln der Wirbelbögen (Kahle, Leonard und Platzer, 1991). Sekundär erscheinen, neben den genannten Knochenbildungszentren, weitere Ossifikationsnuklei an den superioren und inferioren Oberflächen des Wirbelkörpers, an den Processus transversi und den gespaltenen Processus spinosi (Bradford 1985, 1987; Sherk und Parke 1989, Riamondi, 1989).

Die sekundären Epiphysenanlagen an den Enden der Processus transversi und Processus spinosi treten im 12.-14. Lebensjahr auf und verschmelzen mit diesen um das 20. Lebensjahr. Die Wirbelkörperepiphysen, bestehend aus einer kranialen und einer kaudalen Knochenplatte, verknöchern ab dem achten Lebensjahr nur ringförmig (Epiphysis anularis) und verschmelzen mit dem Körper ab dem 18. Lebensjahr (Kahle, Leonard und Platzer, 1991).

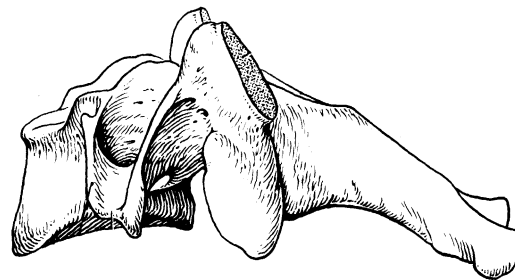
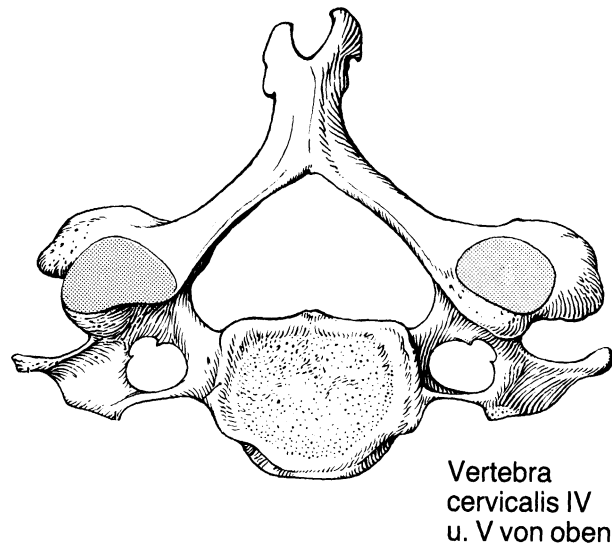


Abb. 6: Anatomische Skizze der Halswirbel (Kahle, Leonhardt und Platzer, 1991)

4.2 Normale Veränderungen der Halswirbelsäule und Störungen bei Kindern und Jugendlichen

Folgende Veränderungen der Halswirbelsäule werden von Cattell und Filtzer (1965) nach Untersuchungen an 160 Kindern als normal erachtet:

- Veränderungen durch Verschiebung von Halswirbeln, die einer Subluxation ähneln,
- Veränderungen der Krümmatur, die Spasmen und Bandverletzungen ähneln,
- Veränderungen in Bezug auf Knochenwachstumszentren, die Frakturen ähneln.

Variationen der anterioren Kontur des Dens axis traten relativ häufig auf, wie Odgen et al. 1986 herausfanden. Bayley (1952) berichtete ein häufiges Auftreten von nach vorn verlagerten zweiten und dritten Halswirbeln, die Subluxationen bei Kindern unter acht Jahren gleichen.

Zwar müssen Kieferorthopäden keine Experten in der Erkennung von Abnormitäten der Halswirbel sein. Zumindest aber sollte ihnen die normale Anatomie der Halswirbelsäule auf der FRS-Aufnahme bekannt sein.

Bis zum jungen Erwachsenenalter manifestieren sich viele der Abnormitäten der Halswirbelsäule nicht symptomatisch. Der Kieferorthopäde hat aber die Gelegenheit, einige von ihnen aufzudecken. Durch frühzeitige Erkennung fortschreitend degenerativer Schäden kann die Schwere der Konsequenzen verringert werden (Hassel und Farman, 1995). Einige Anomalien der Halswirbelsäule bei Kindern und Jugendlichen sind:

- Frakturen,
- Infektionen,
- Poliarthritis,
- Ankylose und Ankylosis spondyliaisis (Bland, 1987).

Später auftretende Schäden des Wirbelbogens, odontoide Anomalien und angeborene Schäden der Halswirbel können relativ häufig auftreten (Riamondi, 1989).

4.3 Zusammenhänge zwischen mandibulärem Wachstum und der Reifung der zervikalen Wirbel

Von einigen Autoren wird beschrieben, dass die skelettale Reife anhand der Halswirbel als Wachstumskriterium auf dem Fernröntgenseitbild erkannt werden kann (Hassel und Farman 1995; Caltabiano, Leonardie und Zaborra 1990). Die ersten Untersuchungen über das Wachstum der Halswirbel gehen auf Bench (1963) zurück. Er verglich dieses Wachstum mit dem der Mandibula und des Os hyoideum. Er erwähnte, dass die Patienten mit einem dolichofazialen Wachstum häufig eine gerade und lange Wirbelsäule haben, während sie bei solchen mit brachiofazialen Wachstum gekrümmt ist.

O'Reilly und Yaniello (1988) bestimmten auf Fernröntgenseitbildern von 13 kaukasischen Patientinnen zwischen neun und fünfzehn Jahren die Beziehung zwischen Halswirbelreifung und mandibulären Wachstumsveränderungen. Statistisch

signifikante Steigerungen der Unterkieferlänge, Corpuslänge und Ramushöhe werden in Verbindung gesetzt mit spezifischen Reifestadien der Halswirbel.

Huggare (1989) sah den ersten Halswirbel als Indikator für das Unterkieferwachstum an. Er stellte eine signifikante Korrelation zwischen dem horizontalen Wachstum der Mandibula und der Höhe des dorsalen Atlasbogens fest. Unter den behandelten Patienten hatten diejenigen mit horizontalem Wachstum vor der Behandlung einen höheren dorsalen Atlasbogen als Patienten mit mesiofazialem oder vertikalem Wachstum. Das heißt also: je flacher der posteriore Atlasbogen, desto weniger ausgeprägt ist das horizontale Wachstum der Mandibula. Je höher der Bogen ist, desto stärkeres horizontales Wachstum der Mandibula ist zu erwarten.

Bei Untersuchungen von Mitani et al. (1992) an 33 japanischen Mädchen zwischen 9 und 14 Jahren ergab sich eine enge Korrelation zwischen der Größe des Unterkiefers, der Halswirbel und der Hand. Diese Korrelation schwächt sich jedoch ab dem vierzehnten Lebensjahr ab.

Die Größenverhältnisse zeigten, dass der Unterkiefer und das Os hyoideum im Alter zwischen neun und vierzehn Jahren nicht so stark wachsen wie Handknochen, Halswirbel oder der gesamte Körper. Dies könnte nach Mitani et al. (1992) darauf hinweisen, dass die Mandibula und das Os hyoideum sich relativ früh entwickeln, nämlich vor dem neunten Lebensjahr. Seiner Meinung nach können Wachstumsindikatoren nur Wachstumstrends aufzeigen. Die Information, die diese Indikatoren für das Unterkieferwachstum bereitstellen, ist nicht präzise genug, um für die exakte Behandlungsplanung nützlich zu sein.

4.4 Vergleich der skelettalen Altersbestimmung anhand der Handröntgenaufnahme und anhand der Halswirbel auf dem Fernröntgenseitbild

In der Kieferorthopädie werden Fernröntgenseitbilder vorwiegend verwendet, um Messungen im Gesichts- und Schädelbereich durchzuführen. Aus dieser Diagnostik werden Schlussfolgerungen für die Therapie und die Wachstumsprognostik gezogen. Darunter fällt auch die Bestimmung der Wachstumsrichtung (horizontal oder vertikal) jedoch werden diese Aufnahmen nicht zur Bestimmung des Wachstumsstadiums genutzt. Die Zuordnung zu einem Wachstumsstadium erfolgt weitgehend mittels Handröntgenaufnahmen.

Ob noch Wachstum zu erwarten ist, es abgeschlossen ist oder sich der Patient im Stadium des maximalen Wachstumsschubs befindet, spielt bei der kiefer-

orthopädischen Therapieplanung eine wichtige Rolle. Lamparski (1972) nutzte die Halswirbel und erachtete sie als zuverlässig und ebenso stichhaltige Indikatoren wie das knöcherne Handskelett, um das skelettale Alter zu bestimmen. Er entwickelte eine Reihe von Maßstäben zur Bestimmung des skelettalen Alters männlicher und weiblicher Patienten.

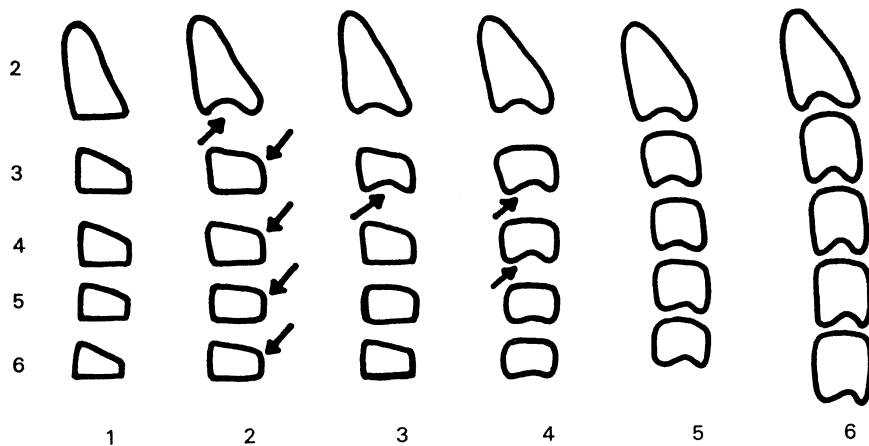


Abb. 7: Entwicklungsstadien nach O'Reilly (1988)

Auf der Grundlage der Beurteilung der Halswirbel zwei bis vier entwickelten Hassel und Farman (1995) auf der Grundlage von Lamparskis (1970) Forschungsergebnissen eine verlässliche Abstufung der Patienten nach ihrem zukünftigen Wachstumspotenzial: den CVMI (cervikal vertebrae maturation index). Als Grundlage diente das Fernröntgenseitbild (lateral cephalometric radiograph) des Patienten.

Die Körper der Halswirbel C2, C3 und C4 wurden im Hinblick auf ihre Form und Gestalt anhand des CVMI nach Hassel und Farman bewertet. Die Altersbestimmung nach der Handröntgenaufnahme erfolgte nach der Fishman-Methode (vgl. Abschnitt 3.3). Durch einen Vergleich schlussfolgerten Hassel und Farman, dass eine skelettale Altersbestimmung anhand der Halswirbelkörper möglich sei. Nach der CVMI-Methode wurden sechs verschiedene Stadien unterschieden:

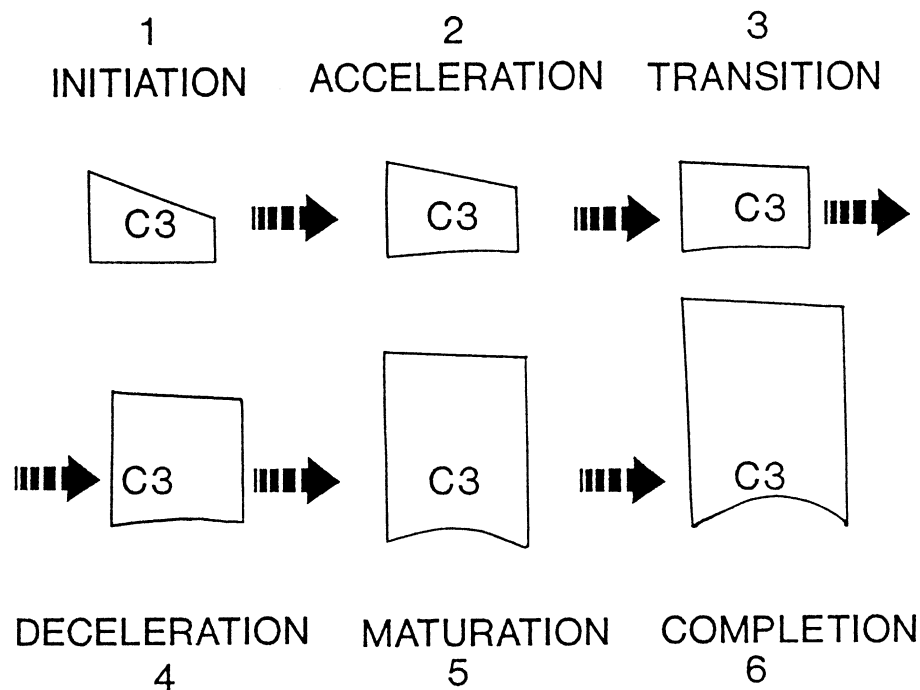


Abb. 8: Die sechs zervikalen Reifestadien nach Hassel und Farman (1995)

Fig. 2: Die sechs zervikalen Reifestadien nach Hassel und Farman (1995)

Stadium 1: *Initiation*

- Signifikantes adoleszentes Wachstum wird erwartet.
- Die inferiore Kontur der Wirbelkörper C2, C3 und C4 ist flach.
- Die superioren Wirbelkörperkonturen laufen posterior und anterior spitz zu.

Stadium 2: *Acceleration*

- Signifikantes adoleszentes Wachstum wird erwartet.
- Konkavitäten entwickeln sich an der unteren Kontur von C2 und C3.
- Die untere Kontur von C4 ist flach.
- C3 und C4 sind in ihrer Form rechteckig.

Stadium 3: *Transition*

- Moderates adoleszentes Wachstum wird erwartet.
- Deutliche Konkavitäten an der unteren Kontur von C2 und C3 sind zu erkennen.
- Es sind Konkavitäten an der unteren Kontur des Wirbelkörpers C4 herausgebildet.
- C3 und C4 sind rechtwinklig in ihrer Form.

Stadium 4: *Deceleration*

- Geringes adoleszentes Wachstum wird erwartet.
- Deutliche Konkavitäten an der unteren Kontur von C2, C3 und C4 sind erkennbar.
- C3 und C4 sind beinahe rechteckig in ihrer Gestalt.

Stadium 5: *Maturation*

- Insignifikantes adoleszentes Wachstum wird erwartet.
- Akzentuierte Konkavität der inferioren Wirbelkörper von C2, C3 und C4 ist erkennbar.
- C3 und C4 sind quadratisch in ihrer Gestalt.

Stadium 6: *Completion*

- Adoleszentes Wachstum wird erwartet.
- Tiefe Konkavität an der unteren Kontur der Wirbelkörper C2, C3 und C4 ist erkennbar.
- Die vertikale Dimension von C3 und C4 ist größer als die horizontale.

5 Empirische Untersuchung

5.1 Arbeitshypothese

In den vorangegangenen Kapiteln wurde die Notwendigkeit einer Wachstumsprognose für die kieferorthopädische Diagnostik verdeutlicht. Für therapeutische Entscheidungen ist in den meisten Fällen auch die Fernröntgenseitaufnahme erforderlich. Auf Grund dieser Aufnahme werden zahlreiche Messungen durchgeführt, welche Auskunft über die *Wachstumsrichtung* des Gesichtsskeletts geben. Die beiden Komponenten, *ob* und *wann* ein Wachstumsschub bevorsteht, spielen eine wichtige Rolle bei der Prognose, in welche Richtung der Gesichtsschädel wächst.

Die Handröntgenaufnahme hat die Funktion, Auskunft über das skelettale Alter zu geben. Sie dient der Prognose, *ob* noch ein Wachstumsschub zu erwarten ist. Das Fernröntgenseitbild beantwortet die Frage nach der *Wachstumsrichtung*. Wir wollten prüfen, ob darüber hinaus die Information über das skelettale Alter über das Fernröntgenseitbild erschließbar ist. Wenn dies der Fall ist, kann auf die Handröntgenaufnahme verzichtet werden. Damit reduziert sich die Anzahl der Röntgenaufnahmen. Dies hat Vorteile für den Therapeuten wie für den Patienten.

Für den Kieferorthopäden bedeutet diese Vorgehensweise in der Praxis einen geringeren Zeit- und Materialaufwand. Sie stellt eine übersichtliche und einfache Bewertungsmethode dar.

Medizinisch viel bedeutender sind jedoch die Auswirkungen auf den Patienten. Die Strahlenbelastung, der ein Patient bei einer zusätzlichen Handröntgenaufnahme ausgesetzt wird, entfällt, wenn sich die skelettale Reife auf dem ohnehin angefertigten Fernröntgenseitbild bestimmen lässt.

In der Literatur (vgl. die in Kapitel 3 herangezogene Literatur) werden mehrere Auswertungsmethoden für die Handröntgenaufnahme dargestellt. Davon haben wir zwei Methoden ausgewählt, die mit der Auswertungsmethode des Fernröntgenseitbildes in Beziehung gesetzt werden sollen. Es soll veranschaulicht werden, dass im Vergleich zu den beiden alternativ ausgewählten Methoden die Fernröntgenseitbildauswertung gleichwertig einsetzbar und deshalb praktikabler ist.

In dieser Untersuchung werden die oben genannten Röntgenauswertungsmethoden zur skelettalen Altersbestimmung in Beziehung zum chronologischen Alter gesetzt. Es wird herausgearbeitet, in welchen Wachstumsstadien welche

Korrelationen zum chronologischen Alter vorliegen. Ein Vergleich der diesbezüglichen Ergebnisse zwischen den unterschiedlichen Methoden wird im Schlussteil dargestellt.

Die Ergebnisse von Hassel und Farman (1995) sowie von Caltabiano et al. (1990) werden im Folgenden anhand des Hallenser Patientenguts überprüft. Über eine Relation der Fernröntgenseitbildauswertung zum chronologischen Alter wurde in der Fachliteratur bisher nichts berichtet.

5.2 *Material und Methode*

Das Probandengut setzte sich zusammen aus den von 1994 bis 1998 in der Universitätszahnklinik Halle/Saale in Behandlung befindlichen Patienten. Von jedem Patienten standen je eine Handröntgenaufnahme und ein Fernröntgenseitbild gleichen Datums zur Verfügung. Das skelettale Alter wurde jeweils anhand beider Röntgenaufnahmen bestimmt und das chronologische Alter des Patienten zum Zeitpunkt der verwendeten Röntgenaufnahmen errechnet. Aus der Probandengruppe wurden zunächst Patienten mit folgenden Krankheitsbildern ausgeschlossen:

- Uni- und bilaterale, partielle und totale Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalten,
- Gaumensegelspalte,
- Velumspalte,
- Hemiatrophia faciei,
- Ektodermales Syndrom,
- Oligodontie,
- Down Syndrom und
- Pierre Robin-Syndrom.

Darüber hinaus führten technische Gründe zum Ausschluss von Probanden:

- Fernröntgenseitbild und Handröntgenbild ungleichen Datums sowie
- Unscharfe Röntgenbilder.

Die danach verbliebenen Röntgenaufnahmen von 167 Patienten, davon 101 weibliche und 66 männliche, im Alter von 6 bis 18 Jahren, wurden im Hinblick auf das skelettale Reifealter ausgewertet.

Das skelettale Alter wurde zum Zweck der vorliegenden Untersuchung auf drei alternative Weisen bestimmt, deren Vergleich in den Kapiteln 6 und 7 dargestellt wird:

1. **Auf dem Fernröntgenseitbild:** Die Körper der Halswirbel C2, C3 und C4 wurden im Hinblick auf ihre Form und Gestalt nach dem CVMI nach *Hassel und Farman* bewertet. Nach dieser Methode wurden die sechs verschiedenen Stadien Initiation, Acceleration, Transition, Deceleration, Maturation und Completion unterschieden (vgl. dazu Abschnitt 4.4 und *Abb. 8*).
2. **Anhand von Handröntgenaufnahmen** wurden **nach dem Verfahren von Björk** hinsichtlich des skelettalen Alters in die Abschnitte vor, während und nach dem pubertalen Wachstumsschub klassifiziert. Es wurden acht verschiedene Stadien unterschieden. Betrachtet wurden Phalangen und Radius der linken Hand. Je nach Auftreten bestimmter Knochen und Veränderungen der Epiphysenform der Finger 1, 2 und 3 wurden die in Abschnitt 3.4. beschriebenen Stadien unterschieden.
3. **Anhand der skelettalen Altersbestimmung nach Fishman:** Dieser unterscheidet bei der radiologischen Bewertung der Hand insgesamt elf verschiedene Reifestadien. Das skelettale Alter um den Zeitpunkt des Wachstumsspurts wird im Skeletal Maturation Index (SMI) anhand der Finger 1, 3 und 5 beurteilt. Durch die größere Anzahl unterschiedlicher Stadien ist eine genauere Einteilung möglich (siehe dazu auch Abschnitt 3.3).

5.3 *Statistische Berechnungen*

Folgende statische Berechnungen wurden durchgeführt:

1. Bestimmung des Korrelationskoeffizienten
2. Bestimmung des Mittelwerts (Durchschnittsalter)
3. Bestimmung der Standardabweichung

Die Ergebnisse der verschiedenen skelettalen Reifebestimmungsmethoden wurden zueinander in Beziehung gesetzt. Sie sind auf dem Niveau von $r = 0,01$ (beidseitig) signifikant.

6 Ergebnisse bei der männlichen Population

6.1 Korrelation zwischen den verschiedenen Methoden zur skelettalen Reifebestimmung

6.1.1 Korrelation zwischen der Methode nach *Fishman* und dem CVMI nach *Hassel* und *Farman*

Die Ergebnisse der Handröntgenauswertung nach *Fishman* wurden zur CVMI-Auswertung in Beziehung gesetzt. Die Korrelation ist bei männlichen Probanden signifikant (mask: $r=0,833$, siehe Tab. 6.1).

Dieser Befund bestätigt für das männliche Patientengut die Ergebnisse von *Hassel* und *Farman*. Deren Studie verband die Beobachtungen der Handwurzelknochen und Veränderungen der Halswirbel während der skelettalen Reifung. Absicht ihrer Untersuchungen war es, dem Kieferorthopäden ein zusätzliches und sicheres Werkzeug zur Verfügung zu stellen, mit dessen Hilfe er das Wachstumspotenzial eines heranwachsenden jugendlichen Patienten bestimmen kann (*Hassel* und *Farman* 1995).

Das vorliegende Korrelationsergebnis bestätigt die Anwendbarkeit dieses diagnostischen „Werkzeugs“. Der hohe Korrelationswert von 0,833 bedeutet, bei dem vorgegebenen Signifikanzniveau $<1\%$, dass die beiden Methoden skelettaler Altersbestimmung einander entsprechen. Obwohl es sich um zwei unterschiedliche Methoden handelt, kann man beide gleichwertig zur Bestimmung des skelettalen Alters in der Kieferorthopädie einsetzen.

Tabelle 6.1: *Korrelation zwischen der Methode nach Fishman und dem CVMI nach Hassel und Farman*

		Fishman	CVMI
Korrelation nach Pearson	Fishman	1,000	,833**
	CVMI	,833**	1,000
Signifikanz (2-seitig)	Fishman	,	,000
	CVMI	,000	,
N	Fishman	66	66
	CVMI	66	66

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0.01 (2-seitig) signifikant

6.1.2 Korrelation zwischen der *Fishman*-Methode und der *Björk*-Methode

Der Vergleich zwischen den Methoden nach Fishman und nach Björk zeigt unabhängig vom Geschlecht eine beinahe vollständige Identität der Ergebnisse. Beim männlichen Patientengut ist die Korrelation zwischen den Ergebnissen nach Fishman und denen nach Björk auf dem Niveau von 0.01 (2-seitig) hoch signifikant (mask: $r=0.979$, siehe Tab. 6.2). Daraus folgt, dass beide Handröntgenauswertungsmethoden gleichwertig sind. Im vorigen Abschnitt wurde anhand der CVMI-Methode die skelettale Reife auf Grund des Fernröntgenseitbildes ermittelt und mit der Reifebestimmung auf dem Handröntgenbild in Relation gebracht. Nun soll die Auswertung nach Björk zum Vergleich herangezogen werden. Der Vergleich ergab signifikante Ergebnisse.

Tabelle 6.2: *Korrelation zwischen dem SMI und der Handröntgenauswertung nach Björk*

		Fishman	Björk
Korrelation nach Pearson	Fishman	1,000	,979**
	Björk	,979**	1,000
Signifikanz (2-seitig)	Fishman	,	,000
	Björk	,000	,
N	Fishman	66	66
	Björk	66	66

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0.01 (2-seitig) signifikant.

6.1.3 Korrelation zwischen der CVMI-Methode nach *Hassel und Farman* und der *Björk*-Methode

Auch die Korrelation zwischen dem CVMI und der Björk-Methode ist bei der männlichen Population hoch signifikant (mask: $r=0,839$). Hassel fand hoch signifikante Ergebnisse bei der Zuordnung der Fernröntgenseitbild-Stadien zu den Fishman-Stadien. Aus diesen Ergebnissen schloss er auf die Gleichwertigkeit der beiden Auswertungsmethoden. Seiner Meinung nach bietet der CVMI den Kieferorthopäden ein zusätzliches Werkzeug zur Bestimmung des Wachstumspotenzials (Hassel und Farman, 1995).

Tabelle 6.3: *Korrelation zwischen der CVMI-Methode und der Handröntgenauswertung nach Björk*

		Björk	CVMI
Korrelation nach Pearson	Björk	1,000	,839**
	CVMI	,839**	1,000
Signifikanz (2-seitig)	Björk	,	,000
	CVMI	,000	,
N	Björk	66	66
	CVMI	66	66

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0.01 (2-seitig) signifikant

Hassels Ergebnisse wurden in dieser Arbeit auf der Grundlage des Hallenser Patientengutes und der Handröntgenauswertung nach Björk überprüft. In dieser Untersuchung zeigte sich beim männlichen Geschlecht eine hoch signifikante Korrelation zwischen der Fernröntgenseitbild- und der Handröntgenauswertung. Unter Anwendung einer weiteren Handröntgenauswertungsmethode konnte nachgewiesen werden, dass der CVMI eine verlässliche Methode darstellt, da sie sich auch im Vergleich zur Björkschen Auswertung bestätigt.

Die Anzahl der Stadien in den verschiedenen Auswertungsmethoden variiert von 11 (Fishman), über 8 (Björk) bis zu 6 (CVMI nach Hassel und Farman) Stadien. Daraus folgt, dass die Fishman-Methodik differenzierter ist. In der kieferorthopädischen Praxis hat man es mit einer relativ langen Behandlungszeit von 3-4 Jahren zu tun. Hier geht es um die *relative* Reifezeit des Patienten. Besonderes Interesse gilt dabei der Zeit *vor* dem maximalen Wachstumsspur. In dieser Hinsicht ist eine allzu differenzierte Auswertung in *jeder* Reifephase nicht dringend erforderlich.

Die bisher dargestellten Ergebnisse für das männliche Geschlecht zeigten eine hohe Übereinstimmung auf einem hohen Signifikanzniveau zwischen allen untersuchten Auswertungsmethoden, so dass man davon ausgehen kann, dass die Auswertung nach dem CVMI in der Reifebestimmungsdiagnostik durchaus die Handröntgenauswertung ersetzen kann. Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen zumindest für die männliche Population, dass die Einschätzung der Halswirbel anhand des CVMI eine zuverlässige Methode darstellt, um den skelettalen Reifestatus eines Patienten in der Kieferorthopädie zu bestimmen.

6.2 *Korrelation zwischen den verschiedenen skelettalen Reifebestimmungsmethoden und dem chronologischen Alter*

6.2.1 *Korrelation zwischen der Handröntgenauswertung nach Björk und dem chronologischen Alter*

Um eine Relation zwischen der Handröntgenauswertung nach Björk und dem chronologischen Alter herzustellen, wurden deren Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet und diese miteinander in Korrelation gesetzt.

Tabelle 6.4: *Korrelation zwischen der Handröntgenauswertung nach Björk und dem chronologischen Alter*

		Björk	Alter
Korrelation nach Pearson	Björk	1,000	,775**
	Alter	,775**	1,000
Signifikanz (2-seitig)	Björk	,	,000
	Alter	,000	,
N	Björk	66	66
	Alter	66	66

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0.01 (2-seitig) signifikant.

Die Korrelation zwischen den Björkschen Reifestadien und dem chronologischen Alter ist hoch signifikant (siehe auch Abschnitt 7.2.3). Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen dem skelettalen und dem tatsächlichen Alter. Von einer solchen signifikanten Beziehung ausgehend, könnte man annehmen, dass diese beiden Altersmessungen so nah beieinander liegen, dass man von einem Wert auf den anderen schließen könnte. Es gibt aber durchaus feine Abweichungen. Diese werden deutlich, wenn man die einzelnen skelettalen Reifestadien mit ihrem chronologischen Durchschnittsalter und der jeweiligen Standardabweichung genauer betrachtet.

Tabelle 6.5: *Björk-Methode: Standardabweichung und durchschnittliches chronologisches Alter männlicher Probanden*

Skelettales Reifestadium	Durchschnittliches chronologisches Alter	Gesamtzahl N=66	Standardabweichung
PP2=	10,19	17	1,10
MP3=	10,63	18	1,07
S	12,69	13	1,46
MP3cap	13,69	10	1,36
DP3u	15,73	2	2,11
PP3u	10,90	1	---
MP3u	14,34	2	1,04
Ru	16,96	3	1,39
durchschn. St-abw.			1,20

Tabelle 6.6: *Björk-Methode: extremes Alter und durchschnittliches chronologisches Alter männlicher Probanden*

Skelettales Reifestadium	Durchschnittliches chronologisches Alter	Extremes Alter
PP2=	10,19	8-12
MP3=	10,63	8-13
S	12,69	9-14
MP3cap	13,69	10-15
DP3u	15,73	14-17
PP3u	10,90	10
MP3u	14,34	13-15
Ru	16,96	15-18

Der Anstieg des durchschnittlichen chronologischen Alters in den jeweiligen Stadien vollzieht sich kontinuierlich von 10,19 Jahren (PP2=) bis zu 15,73 Jahren (DP3u). Ab DP3u sinkt im vorliegenden Material die Zahl der Probanden pro Stadium auf ein Niveau, das statistische Auswertungen auf keinen Fall zulässt. Daher kann pro Stadium kein repräsentativer Durchschnittswert mehr angegeben werden. Bei der Gesamtbetrachtung aller Stadien ist jedoch ein steigendes chronologisches Alter feststellbar. Die Standardabweichungen liegen zwischen 1,04 und 2,11 (bei DP3u nur 2 Fälle).

Die Zeit vor (PP2= und MP3=) und während des maximalen Wachstumsschubs (S und MP3cap) interessiert den Kieferorthopäden am meisten. Von insgesamt 66

männlichen Patienten liegen 58 in diesem Bereich. In jedem dieser Stadien finden sich 10 bis 18 Probanden. In den darauf folgenden Stadien (siehe Tab. 6.5) DP3u, PP3u, MP3u und Ru befinden sich jeweils nur ein bis drei Probanden. Die statistische Interpretation dieser Stadien ist also auf Grund zu geringer Fallzahlen nicht möglich. Die geringe Fallzahl in diesen Stadien erklärt sich damit, dass Röntgenaufnahmen nur dann angeordnet wurden, wenn sie zur Anamnese oder Diagnose für erforderlich gehalten wurden: Kamen die Zahnärzte zu der Einschätzung „maximaler Wachstumsschub bereits überschritten“, wurde eine Röntgenaufnahme der Hand gar nicht erst angeordnet.

Im Stadium **PP2=** befinden sich insgesamt 17 Patienten. Das durchschnittliche Alter beträgt 10,19 Jahre. Die Standardabweichung beträgt 1,10. Das extreme Alter liegt bei 8 bzw. 12 Jahren.

Im Stadium **MP3=** sind 18 Patienten. Das durchschnittliche chronologische Alter liegt etwas höher bei 10,63 Jahren, die Standardabweichung beträgt 1,07.

In den Stadien **S** und **MP3cap** fallen die Standardabweichungen deutlicher auf (1,46 und 1,36). Das Durchschnittsalter bei S ist 12,69 und bei MP3cap 13,69 Jahre.

Die beiden Stadien S und MP3cap repräsentieren die Zeit kurz vor und während des maximalen Wachstumsspurts (siehe dazu Wachstumskurve der Jungen Abb. 5). Und gerade hier liegen wesentlich höhere Standardabweichungen vom Durchschnittsalter vor. Dies kann in zweierlei Hinsicht interpretiert werden. *Erstens* ist daraus zu schließen, dass während dieser skelettalen Stadien eine breite Streuung des chronologischen Alters vorliegt. Die extremen Alter liegen zwischen 9 und 14 Jahren. Es bestätigt sich die Erkenntnis, dass es nicht möglich ist, vom chronologischen Alter immer auf die skelettale Reife zurückzuschließen. In der Praxis kann ein Junge, der skelettal genau innerhalb des maximalen Wachstumsschubs liegt, einer Bandbreite verschiedener chronologischer Alter zugeordnet werden.

Daraus ergibt sich die Schlussfolgerung: Während aus dem skelettalen Alter Schlüsse auf den chronologischen Altersbereich gezogen werden können, ist ein *Rückschluss* vom chronologischen auf das skelettale Alter nicht möglich. Ein Patient im Alter von 13 Jahren kann z.B. sowohl im skelettalen Stadium S als auch MP3cap liegen. Es kann also nur von einer *statistischen* Korrelation der beiden Komponenten skelettales/chronologisches Alter gesprochen werden. Vom praktischen Standpunkt aus ist es empfehlenswert, sich auf das skelettale Alter als Reifekriterium zu stützen.

Die *zweite* Bedeutung liegt im Zeitpunkt des Beginns des Wachstumsspurtes. Das Einsetzen des maximalen Wachstumsspurtes (S und MP3cap) kann in relativ frühen ebenso wie in späteren Lebensjahren stattfinden. Durch die Ausdehnung

des Einsetztermins des Wachstumsspurts ist das chronologische Alter der Patienten stark gestreut.

6.2.2 Korrelation zwischen der CVMI-Methode nach *Hassel und Farman* und dem chronologischen Alter

Tabelle 6.7: *Korrelation der CVMI-Methode nach Hassel und Farman zum chronologischen Alter*

		CVMI	Alter
Korrelation nach Pearson	FRS	1,000	,828**
	Alter	,828**	1,000
Signifikanz (2-seitig)	FRS	,	,000
	Alter	,000	,
N	FRS	66	66
	Alter	66	66

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0.01 (2-seitig) signifikant.

Die Korrelation zwischen der Altersbestimmung anhand des CVMI und dem chronologischen Alter ist hoch signifikant (mask: $r=0,828$). Dies ist ein weiteres Indiz für die Anwendbarkeit des CVMI.

Da die CVMI-Methode eine hohe Korrelation zur den Handröntgenreifebestimmung nach Björk und Fishmann aufweist und auch ihre Beziehung zum chronologischen Alter sehr eng ist, kann man davon ausgehen, dass sie in der Praxis einsetzbar ist. Die höchste Annäherung der untersuchten Korrelationen zum chronologischen Alter weist bei der männlichen Population die CVMI-Methode auf (0,828). Die Übereinstimmung der Handröntgenreifebestimmungen mit dem chronologischen Alter fiel bei den Jungen nicht so hoch aus (Björk: 0,775; Fishman: 0,781). Dies unterstreicht Wertigkeit der CVMI-Methode (siehe auch Abschnitt 7.3.)

Tabelle 6.8: *CVMI-Methode: Standardabweichung und durchschnittliches chronologisches Alter männlicher Probanden*

Stadium	Durchschnittliches <i>chronologisches</i> Alter	Gesamtzahl	Standard- abweichung
Initiation	9,84	17	0,82
Acceleration	10,87	17	1,07
Transition	12,8	17	1,54
Deceleration	13,01	6	1,32
Maturation	15,09	5	1,56
Completion	16,12	4	2,03
durchschn. St-abw.			1,39

Tabelle 6.9: *CVMI-Methode: extremes Alter und durchschnittliches chronologisches Alter männlicher Probanden*

Stadium	Durchschnittliches <i>chronologisches</i> Alter	Extremes Alter
Initiation	9,84	8-11
Acceleration	10,87	9-13
Transition	12,8	9-15
Deceleration	13,01	11-14
Maturation	15,09	13-17
Completion	16,12	13-18

Der CVMI benutzt eine Einteilung in nur 6 Stadien (siehe Tab .6.8) gegenüber 8 Stadien bei Björk.

In den Phasen *vor* (Initiation und Acceleration) und *während* (Transition) des maximalen Wachstumsschubs finden sich 51 von insgesamt 66 Probanden (vgl. Tab. 6.8). Die restlichen 15 verteilen sich über die Stadien *nach* dem maximalen Wachstumsspur. Die größte Anzahl von Probanden (51) liegt deutlich innerhalb des für den Kieferorthopäden interessanten Bereichs. Eine ähnlich hohe Probandenzahl findet sich auch nach den Auswertungen der Handröntgenaufnahmen (Björk: 58, Fishman: 53 [Stadien bis einschließlich MP3cap]). Nach allen Methoden finden sich mehr Probandenzahlen in den Stadien bis zum maximalen Wachstumsgipfel als danach.

Dies verdeutlicht die Ergebnisse bezüglich der hohen Korrelation zwischen diesen genannten Reifebestimmungsmethoden. Die Anwendbarkeit des CVMI wird untermauert. Da beim CVMI im Vergleich sogar eine größere Verteilung der

Gesamtpatienten auf die einzelnen Stadien vorliegt, könnte man diese als eine ausgewogenere Methode zur Bestimmung der skelettalen Reife bezeichnen.

Die durchschnittliche Standardabweichung pro Stadium beträgt nach dem CVMI 1,39. Damit liegt der Wert genau zwischen dem von Björk (1,20) und von Fishman (1,41). Im Vergleich zur Handröntgenreifebestimmung nach Björk oder nach Fishman ist der CVMI als Methode durchaus anwendbar.

Nach dem CVMI beträgt die Standardabweichung bei Stadium 1 (Initiation) bei einer Anzahl von 17 Patienten 0,82. In den Stadien 2 (Acceleration) und 3 (Transition) mit der gleichen Anzahl von Patienten beträgt sie 1,07 bzw. 1,54. Innerhalb dieser drei Stadien weist Stadium 3 Transition (=Übergang) die höchste Standardabweichung, also die größte Altersspannweite auf. Das ist charakteristisch für das Übergangsstadium.

In der Phase des maximalen Wachstumsschubs variiert das Alter sehr stark. Vom Alter kann nicht auf die skelettale Reife zurückgeschlossen werden. Auf die Standardabweichung der darauf folgenden Stadien wird auf Grund der zu geringen Fallzahlen nicht eingegangen. Das durchschnittliche Alter bei der Transition ist zwar 12,8 Jahre, das chronologische Alter der Patienten konzentriert sich jedoch nicht um diesen Bereich. Das durchschnittliche Alter ist relativ weit gestreut. Das extreme Alter reicht im Stadium Transition von 9 bis 15 Jahren.

In Stadium 1 nach dem CVMI, der Initiation, liegt die Spannweite zwischen 8 und 11 Jahren. Dieses skelettale Stadium erstreckt sich also über drei Jahre. Bei Stadium 2 beträgt die Altersspanne 4 Jahre (9-13), bei Stadium 3 sind es 6 Jahre (9-15). Die restlichen Stadien weisen Altersspannen von 3 (Stadium 4) und 4 Jahren (Stadium 5 und 6) auf.

Die weite Altersspanne in Stadium 3 korrespondiert mit der großen Standardabweichung. Das bedeutet, dass der Zeitpunkt des maximalen Wachstumsspurts äußerst individuell ist und dass das chronologische Alter für diese Phase nur sehr weitläufig eingrenzbar ist. Für kieferorthopädische Zwecke wäre es also in der Phase des maximalen Wachstumsschubs zu ungenau, vom chronologischen Alter auf das skelettale zurückzuschließen.

Ab dem Stadium Deceleration beinhaltet der Datensatz zu wenige Patienten pro Stadium, um gültige statistische Aussagen zu treffen. Auffällig ist die hohe Standardabweichung beim Stadium der Completion (2,03). Bei der geringen Anzahl von vier Patienten in diesem Stadium findet sich in der Verteilung eine starke Streuung des chronologischen Alters. Der Zeitpunkt des Erreichens dieses Knochenreifegrades kann offensichtlich sehr unterschiedlich sein.

- Zusammenfassend ergibt sich im Vergleich zu den Handröntgenreifebestimmungsmethoden nach Björk und Fishman eine gute Anwendbarkeit der CVMI-Methode :
- Das extreme Alter im Bereich des maximalen Wachstumsschubes ist stärker gestreut als in den früheren Stadien. Die Standardabweichung ist hoch.. Dies verhält sich ähnlich bei der Anwendung der Methoden nach Björk und Fishman.
- Die Patientenzahlen in den Stadien nach dem Wachstumsschub sind gering. Sie sind aber dennoch höher als bei den Auswertungen nach Björk bzw. nach Fishman.
- Es befindet sich eine hohe Anzahl von Patienten in den Stadien *vor* und *während* des maximalen Wachstumsschubes. Die Verteilung der Probanden auf die einzelnen Stadien ist bei der CVMI-Methode ausgewogener.

6.2.3 Korrelation der Handröntgenauswertung nach *Fishman* zum chronologischen Alter

Die Korrelation der Fishman-Methode zum chronologischen Alter ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant ($r=0,781$). Da diese Methode deutlich mehr Stadien aufweist als die anderen angewandten Methoden, ist es erforderlich, die Signifikanz unter Einbeziehung der Tabellen 6.11 und 6.12 zu betrachten.

Tabelle 6.10: *Korrelation der Handröntgenauswertung nach Fishman zum chronologischen Alter*

		Alter	Fishman
Korrelation nach Pearson	Alter	1,000	,781**
	Fishman	,781**	1,000
Signifikanz (2-seitig)	Alter	,	,000
	Fishman	,000	,
N	Alter	66	66
	Fishman	66	66

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0.01 (2-seitig) signifikant.

Tabelle 6.11: *Fishman-Methode: Standardabweichung und durchschnittliches chronologisches Alter männlicher Probanden*

Skelettales Reifestadium	Durchschnittliches chronologisches Alter	Gesamtzahl	Standardabweichung
<PP3=	10,20	10	1,05
PP3=	10,11	8	1,18
MP3=	10,69	15	1,16
MP5=	11,23	3	1,77
SES	12,64	12	1,51
DP3cap			
MP3cap	13,73	6	1,45
MP5cap	13,62	4	1,42
DP3u	15,73	2	2,11
PP3u	10,90	1	
MP3u	14,34	2	1,10
RADu	16,96	3	1,39
durchschn.			
St-abw.			1,41

Tabelle 6.12: *Fishman-Methode: extremes Alter und durchschnittliches chronologisches Alter männlicher Probanden*

Skelettales Reifestadium	Durchschnittliches chronologisches Alter	Extremes Alter
<PP3=	10,20	8-12
PP3=	10,11	8-11
MP3=	10,69	8-13
MP5=	11,23	9-13
SES	12,64	9-14
DP3cap		
MP3cap	13,73	11-15
MP5cap	13,62	12-15
DP3u	15,73	14-17
PP3u	10,90	10
MP3u	14,34	13-15
RADu	16,96	15-18

Bei der Handröntgenauswertungsmethode nach Fishman werden 11 Stadien unterschieden (siehe auch Abschnitt 3.3, S. 10f.). Die Reifestadien beginnen mit PP3= und enden mit dem Stadium RADu. Da es in dieser Untersuchung viele junge Patienten gibt (ab 6,1 Jahre aufwärts), haben einige Patienten den Ossifikationsgrad bzw. das erste Reifestadium PP3= noch nicht erreicht. Viele waren skelettal noch zu jung für dieses früheste skelettale Reifestadium. Daher wurde von der Autorin ein zusätzliches Reifestadium eingeführt, welches diese jungen Patienten umfasst. Dieses neu eingeführte Stadium wurde „kleiner PP3 gleich“ (<PP3=) benannt. Entsprechend der oben genannten Modifikation nach Fishman werden nun also insgesamt 12 Stadien unterschieden. Im Stadium <PP3= befinden sich 10 maskuline und 11 feminine Probanden. Bei einer Gesamtzahl von 66 männlichen und 101 weiblichen Patienten stellt dies einen hohen Anteil dar.

Bei keinem der Röntgenbilder konnte das Stadium DP3cap diagnostiziert werden (vgl. Tab. 6.11). Das durchschnittliche Alter nimmt vom Stadium <PP3= zu PP3= von 10,20 auf 10,11 ab. Ebenso fällt es vom Stadium MP3cap (13,73 Jahre) zu MP5cap (13,62 Jahre) leicht ab. Allerdings ist diese Differenz von ca. einem Monat zwischen zwei in der skelettalen Entwicklung dicht aufeinander folgenden Stadien nicht hoch zu bewerten. Ginge es lediglich um eine *chronologische Altersbestimmung*, hätte man auf ein zusätzliches skelettales Stadium wie <PP3= durchaus verzichten können. Hier geht es aber vor allem um eine *skelettale Reifebestimmung*. Bei der Fishman-Methodik haben wir es im Vergleich zum CVMI und der Björk-Methode mit relativ vielen Stadien zu tun. Die Verteilung ist größer. Überschneidungen des chronologischen Alters bei so nah beieinander liegenden Stadien sind deshalb möglich.

Ab dem Stadium MP3cap nimmt die Anzahl der im jeweiligen Stadium befindlichen Patienten ab. Es finden sich nur 1-4 Patienten pro Stadium. Das bedeutet, dass die meisten in dieser Untersuchung zur Verfügung stehenden Röntgenaufnahmen von Patienten gemacht wurden, die sich kurz vor oder mitten im maximalen Wachstumsschub befanden. Bei Patienten, deren physisches Erscheinungsbild bereits auf ein reiferes Stadium hindeutete, ist davon auszugehen, dass eine Röntgenaufnahme zur Bestimmung des skelettalen Alters gar nicht erst angeordnet wurde. Mit ein bis drei Patienten pro Stadium ist keine statistische Evaluierung dieser Stadien möglich.

Die geringe Anzahl von Probanden pro Stadium nach Fishman ist auch dadurch zu erklären, dass hier insgesamt mehr Stadien zur Verfügung stehen und sich die Probanden entsprechend verteilen. Bei Björk stehen dagegen nur 8, beim CVMI sogar nur 6 Stadien zur Verfügung. Bei den Auswertungsmethoden nach Björk und nach Hassel und Farman (CVMI) streut die Verteilung über weniger Stadien und damit finden sich mehr Probanden pro Stadium. Die beiden zuletzt genannten

Methoden sind weniger differenziert, jedoch, wie sich in dieser Untersuchung zeigt, für kieferorthopädische Zwecke völlig ausreichend.

Die Standardabweichungen liegen zwischen 1,05 (bei <PP3=) und 2,11 (bei DP3u nur 2 Probanden; siehe Tab. 6.11).

In den Stadien mit den beiden höchsten Standardabweichungen (bei MP5= 1,77, bei DP3u 2,11) liegen relativ geringe Patientenzahlen vor (bei MP5= 3 Patienten, bei DP3u: 2 Patienten).

In MP3cap reicht das extreme Alter von 11 bis 15 Jahren (vgl. Tab. 6.12). Im Vergleich dazu reicht das extreme Alter bei SES von 9 bis 14 Jahren. Das heißt: die gesamte Altersspanne beträgt bei MP3cap 4 und bei SES etwa fünf Jahre. Für MP3cap beträgt die Standardabweichung 1,45. In diesem Stadium befinden sich trotz der etwas niedrigeren Standardabweichung (1,45) gegenüber S (1,51) jedoch nur 33 % innerhalb einer begrenzten Altersspannweite von 2 Jahren (± 1) vom Durchschnittsalter (13,75). Beim Stadium S ist die Standardabweichung höher (1,51), aber im Bereich der begrenzten Altersspannweite von 2 Jahren (± 1) vom Durchschnittsalter (12,64) sind 58 % der Fälle.

Das bedeutet, dass sich trotz der geringen Standardabweichung bei MP3cap relativ wenig Patienten im näheren „Umkreis“ des Durchschnittsalters befinden. Die Mehrzahl der Patienten in diesem Stadium ist weiter gestreut, während sich bei S die meisten Patienten innerhalb der ± 1 -Jahres-Spanne um das Durchschnittsalter befinden. Die höhere Standardabweichung kommt durch vereinzelte Patienten, die altersmäßig stärker vom Durchschnittsalter abweichen, zustande.

Das Stadium des maximalen Wachstums zeigt bei dieser differenzierteren Betrachtung der Fishman-Analyse eine deutliche Verteilung. Wie bei den anderen Methoden ist auch hier bezeichnenderweise eine ausgeprägte Streuung des chronologischen Alters im Bereich des maximalen Wachstumsspurts festzustellen (MP3cap). Der Wachstumsspurts kann ebenso gut bei einem 11-jährigen wie bei einem 15-jährigen einsetzen. Der chronologische Beginn des Wachstumsspurts kann individuell sehr unterschiedlich sein. Daher kann vom chronologischen Alter nicht auf das skelettale Alter geschlossen werden.

Die Verteilung auf die Stadien hat zur Folge, dass pro Stadium zu geringe Fallzahlen vorhanden sind, um die Daten einer statistischen Analyse unterziehen zu können. Die Replikation der vorliegenden Studie auf Grundlage einer erweiterten Datenbasis könnte daher Teil einer weiterführenden Ausarbeitung sein.

Während des maximalen Wachstumsschubs, also im Stadium der Transition (CVMI anhand des Fernröntgenauswertung) bzw. MP3cap (Handröntgenauswertung nach Björk ebenso wie nach Fishman) ist eine besonders große Streuung des Alters zu erkennen. Dies zeigte sich in diesem Kapitel bei allen angewandten Röntgenauswertungsmethoden. Für die Kieferorthopädie ist das *skelettale* Alter eher ausschlaggebend als das *chronologische*. Zu dessen Feststellung genügt die Auswertung eines aussagefähigen Fernröntgenseitbildes. „Aussagefähig“ bedeutet, dass die Halswirbel auf der Aufnahme deutlich erkennbar sein müssen.

7 Ergebnisse bei der weiblichen Population

Nachdem die Ergebnisse der Auswertung des *männlichen* Patientengutes dargestellt wurden, findet im Folgenden eine statistische Auswertung des *weiblichen* Patientengutes statt. Hier liegt insgesamt eine höhere Anzahl von Röntgenaufnahmen vor als bei den männlichen Patienten. Es handelt sich um 101 Patientinnen im Alter von 6,1 bis 16,6 Jahren.

7.1 Korrelation zwischen den verschiedenen Methoden zur skelettalen Reifebestimmung

7.1.1 Korrelation zwischen der Methode nach *Fishman* und der Methode des CVMI nach *Hassel und Farman*

Auch bei der weiblichen Population ist die Korrelation zwischen der Handröntgenauswertung nach *Fishman* und der Auswertung des Fernröntgenseitbildes nach dem CVMI hoch signifikant (fem: $r=0,913$, siehe Tab. 7.1). Die Signifikanz weist auf die Ähnlichkeit der beiden Methoden hin. Da sie statistisch vergleichbar sind, kann man, obwohl es sich um zwei unterschiedliche Methoden handelt, beide gleichwertig zur Bestimmung des skelettalen Alters in der Kieferorthopädie einsetzen. Demnach werden auch hier die Ergebnisse von *Hassel und Farman* bestätigt.

Tabelle 7.1: *Korrelation zwischen der Methode nach Fishman und dem CVMI nach Hassel und Farman*

		Fishman	CVMI
Korrelation nach Pearson	Fishman	1,000	,913**
	CVMI	,913**	1,000
Signifikanz (2-seitig)	Fishman	,	,000
	CVMI	,000	,
N	Fishman	101	101
	CVMI	101	101

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0.01 (2-seitig) signifikant

7.1.2 Korrelation der Methode nach Fishman zur Methode nach Björk

Tabelle 7.2: *Korrelation zwischen dem SMI und der Handröntgenauswertung nach Björk*

		Fishman	Björk
Korrelation nach Pearson	Fishman	1,000	,983**
	Björk	,983**	1,000
Signifikanz (2-seitig)	Fishman	,	,000
	Björk	,000	,
N	Fishman	101	101
	Björk	101	101

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0.01 (2-seitig) signifikant.

Hassel und Farman werten jeweils die Handröntgenaufnahme im Hinblick auf das skelettale Alter aus. Das Patientengut wurde in der vorliegenden Untersuchung diesbezüglich anhand beider Methoden untersucht. Das Ergebnis zeigt eine hoch signifikante Korrelation zwischen Fishman und Björk ($r=0,983$; vgl. Tab. 7.2). Dies verdeutlicht, dass zwischen den Ergebnissen beider Methoden eine enge Beziehung besteht. Auch hier ist ein Vergleich der Methoden möglich. Daher ist es möglich, im Folgenden die Fernröntgenseitbildauswertung nicht, wie bei Hassel und Farman, mit der Handröntgenauswertungsmethode nach Fishman (SMI), sondern mit der Handröntgenauswertungsmethode nach Björk in Korrelation zu setzen.

7.1.3 Korrelation der CVMI-Methode nach Hassel und Farman zur Methode nach Björk

Eine ebenfalls hoch signifikante Korrelation stellt sich zwischen der Altersbestimmung anhand des FRS und der Björkschen skelettalen Altersbestimmung heraus ($r=0,913$; vgl. Tab. 7.3). Während bei Hassel und Farman das skelettale Alter im Fernröntgenseitbild nach dem CVMI bestimmt wird und mit der Handröntgenauswertung nach Fishman in Bezug gesetzt wird, erfolgt hier der Vergleich mit der Björkschen Handröntgenauswertung. Die hoch signifikanten Ergebnisse zeigen, dass eine Zuordnung möglich ist. Dies entspricht den Ergebnissen der männlichen Population (vgl. 6.1.3.).

Tabelle 7.3: *Korrelation zwischen der CVMI-Methode und der Handröntgenauswertung nach Björk*

		Björk	CVMI
Korrelation nach Pearson	Björk CVMI	1,000 ,913**	,913** 1,000
Signifikanz (2-seitig)	Björk CVMI	, ,000	,000 ,
N	Björk CVMI	101 101	101 101

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0.01 (2-seitig) signifikant

7.2 Korrelation zwischen den verschiedenen skelettalen Reifebestimmungsmethoden und dem chronologischen Alter

7.2.1 Korrelation zwischen der Handröntgenauswertungsmethode nach Björk und dem chronologischen Alter

Um eine Relation zwischen der Handröntgenauswertung nach Björk und dem chronologischen Alter herzustellen, wurden diese miteinander in Korrelation gesetzt.

Tabelle 7.4: *Korrelation zwischen der Handröntgenauswertung nach Björk und dem chronologischen Alter*

		Björk	Alter
Korrelation nach Pearson	Björk Alter	1,000 ,831**	,813** 1,000
Signifikanz (2-seitig)	Björk Alter	, ,000	,000 ,
N	Björk Alter	101 101	101 101

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0.01 (2-seitig) signifikant.

Zwischen der Björkschen Handröntgenauswertung und dem chronologischen Alter besteht eine hoch signifikante Korrelation ($r=0,831$; vgl. Tab. 7.4). Das heißt auch beim weiblichen Patientengut besteht ein enger Zusammenhang zwischen dem skelettalen und chronologischen Alter. Um den präzisen Zusammenhang zwischen diesen Altersbestimmungsmethoden herzustellen, bedarf es der Auswertung folgender Statistiken:

Tabelle 7.5: *Björk-Methode: Standardabweichung und durchschnittliches chronologisches Alter weiblicher Probanden*

Skelettales Reifestadium	Durchschnittliches chronologisches Alter	Gesamtzahl N=66	Standardabweichung
PP2=	8,84	16	1,54
MP3=	10,17	24	1,07
S	10,80	11	1,01
MP3cap	11,74	22	1,16
DP3u	12,62	4	1,20
PP3u	12,52	5	0,72
MP3u	13,77	6	0,88
Ru	14,38	13	1,23
durchschn. St-abw.			1,10

Tabelle 7.6: *Björk-Methode: extremes Alter und durchschnittliches chronologisches Alter weiblicher Probanden*

Skelettales Reifestadium	Durchschnittliches chronologisches Alter	Extremes Alter
PP2=	8,84	6-13
MP3=	10,17	7-11
S	10,80	9-12
MP3cap	11,74	9-14
DP3u	12,62	11-14
PP3u	12,52	11-13
MP3u	13,77	12-15
Ru	14,38	12-16

Bei dieser Auswertung gibt es acht verschiedene skelettale Reifestadien der Hand. Da mehr weibliche als männliche Patienten zur Verfügung stehen, ist hier eine umfassendere statistische Auswertung möglich.

Die Verteilung ist bei den weiblichen Patienten ausgeglichener: Das Stadium mit der geringsten Probandenzahl ist DP3u mit 4 Probanden. Die höchste Probandenzahl befindet sich mit 24 in MP3=. Im Überblick befinden sich mehr Probanden in den ersten vier Reifestadien (PP2= bis MP3cap). Dies weist auf die bereits erfolgte klinische Einschätzung des Wachstums bzw. des skelettalen Alters durch den behandelnden Arzt hin. Bei der Einschätzung „maximaler Wachstums-spurt bereits überschritten“ wurde eine Handröntgenaufnahme gar nicht erst angeordnet. Im Stadium Ru finden sich allerdings wieder höhere Probandenzahlen

(N=13). Dies wird in der statistischen Auswertung der Ergebnisse zum Stadium Ru näher erläutert. Die höhere Patientenzahl in den ersten vier Stadien geht auch konform mit den Ergebnissen des maskulinen Patientenguts (vgl. Abschnitt 6.2.).

Wie ist das *durchschnittliche Alter* pro Stadium zu beurteilen?

Vom skelettal noch relativ „unreifen“ Stadium PP2= bis zum skelettalen Stadium Ru findet eine kontinuierliche Steigerung des durchschnittlichen chronologischen Alters statt (von PP2= mit dem Altersdurchschnitt 8,84 bis Ru mit 14,38). Mit jedem höheren skelettalen Stadium erhöht sich auch das durchschnittliche chronologische Alter. Eine Ausnahme bildet der Übergang DP3u zu PP3u. Der Grund liegt, wie oben erwähnt, in der geringen Probandenzahl in diesen Stadien. Von dieser begründeten Ausnahme abgesehen kann man von einer positiven Beziehung zwischen skelettalem und chronologischen Alter ausgehen. Um diese Korrelation genauer zu erfassen, ist es zunächst erforderlich, die Stadien im Einzelnen zu betrachten:

PP2= weist eine Standardabweichung von 1,54 auf. Im Stadium PP2= befinden sich eine Patientin im Alter von 6,1 und eine im Alter von 13,0 Jahren. Dies erklärt die Standardabweichung von 1,54. Bei der 13-jährigen Patientin muss es sich um einen ausgeprägten Fall retardierten Wachstums handeln. Eine Störung des skelettalen Wachstums im Sinne von Erkrankungen, die das skelettale Wachstum beeinflussen (z.B. Stoffwechselstörungen), war aus ihrer Akte nicht zu ersehen. Bei der sechsjährigen Patientin ist die Frage berechtigt, wieso eine Handröntgenaufnahme in einem so jungem Alter überhaupt angefertigt wurde. Vor diesem Hintergrund erklärt sich die Standardabweichung von 1,54. Trotz dieser Ausreißer befinden sich 75 % in der einer Altersspanne von 2 Jahren (± 1) vom Durchschnittsalter zwischen 7,84 und 9,84 Jahren.

Die Standardabweichungen von **MP3=** und **S** liegen bei 1,07 und 1,01, sind also sehr niedrig. In MP3= ist die Jüngste 7,74 und die Älteste 11,8 Jahre alt. In S ist die Jüngste 9, die Älteste 12 Jahre alt. Im Gegensatz zu den männlichen Patienten ist die Standardabweichung bei **S** relativ gering (fem: 1,01; mask: 1,46). Den Unterschied zwischen den beiden Geschlechtern zeigt die Wachstumskurve in Abb. 5. Nach Grave und Brown (1976) ist das Stadium **S** bei den Mädchen zeitlich weiter vom maximalen Wachstumsschub entfernt als bei den Jungen. Das maximale Wachstum setzt bei den Mädchen später, bei MP3cap, ein.

Dieses Stadium ist durch eine relativ hohe Anzahl von Patientinnen und eine breite Streuung des chronologischen Alters gekennzeichnet. Letzteres lässt sich durch die Tatsache erklären, dass *MP3cap die Phase des maximalen Wachstumsspurts* ist. Es findet in einem kurzen Zeitabschnitt ein rasantes Knochenwachstum

statt. Dieses skelettale Stadium wird, insbesondere bei Mädchen, entweder relativ früh oder erst spät in der körperlichen Entwicklung erreicht. Nach Proffit (1992) setzt bei mageren Mädchen der maximale Wachstumsspur später ein als bei adipösen. Entsprechend setzt bei adipösen Mädchen auch die Mensis eher ein.

Es ist davon auszugehen, dass der Zeitpunkt des Einsetzens der Mensis und der damit zusammenhängende maximale Wachstumsschub unter anderem auch genetisch determiniert sind. Weitere beeinflussende Faktoren sind Ernährung, Klima und Abstammung. Bei der asiatischen Bevölkerung setzt die Mensis zeitlich früher ein als bei der europäischen Bevölkerung (siehe Abschnitt 2.5, S. 5).

In der vorliegenden Untersuchung streut das Alter der Probandinnen in MP3cap von 9,1 bis 14,1 Jahren. Diese Streuung ist relativ groß. Vergleichen wir dieses Ergebnis mit dem des Stadiums PP2=, so stellen wir fest, dass dort die Altersspanne zwar von 6,1 bis 13,0 Jahre reicht; allerdings sind dort die extremen Alterswerte Ausreißer. Die meisten Probandinnen findet man dort in einer begrenzten Altersspanne von 2 Jahren (± 1) um das Durchschnittsalter (75 % bei PP2=; 68 % bei MP3cap). Dies weist darauf hin, dass das Alter speziell beim maximalen Wachstumsspur viel ausgeprägter streut als in „ruhigeren“, gleichmäßigeren Wachstumsphasen.

DP3u, **PP3u** und **MP3u** sind Stadien mit 4 bis 6 Probandinnen. Das Durchschnittsalter liegt bei 12,62, 12,52 und 13,77 Jahren. Der im untersuchten Material auftretende geringfügige Altersrückgang um 0,1 Jahre von DP3u zum skelettal reiferen Stadium PP3u ist sowohl auf Grund seiner Höhe als auch auf Grund der geringen Probandenzahl pro Stadium vernachlässigbar. In DP3u finden sich vier, in PP3u fünf Patientinnen. Die Standardabweichung beträgt bei DP3u 1,20, bei PP3u und MP3u nur 0,72 bzw. 0,88.

Im Stadium **Ru** finden sich 13 Probandinnen. Die Standardabweichung beträgt 1,23. Die maximalen Altersgrenzen sind 12 und 16 Jahre. Das Durchschnittsalter beträgt 14,4 Jahre. Da es sich hierbei um das höchste Altersstadium handelt, erfüllt dieses nicht nur die Kriterien einer normalen Untersuchungskategorie, sondern gleichzeitig diejenigen einer Residualkategorie: Eine Patientin kann zum Beispiel im Alter von 14,0 Jahren dieses Stadium erreichen. Im Alter von 18,0 Jahren würde sie bei einer erneuten Handröntgenaufnahme in das gleiche Stadium eingeordnet werden, da es bei Björk nach diesem Stadium keine weitere skelettale Differenzierung gibt. Das veranschaulicht, warum dieses Stadium eine so große Altersspanne umfasst.

7.2.2 Korrelation der CVMI-Methode nach Hassel und Farman zum chronologischen Alter

Die Korrelation zwischen der Fernröntgenseitbildauswertung (CVMI) und dem chronologischen Alter ist hoch signifikant. Die Korrelation nach Pearson beträgt $r=0,82$ (vgl. Tab. 7.7). Dies illustriert die Anwendbarkeit des CVMI (siehe auch Abschnitt 7.3). Bei der Korrelation zum chronologischen Alter weist nur die CVMI-Methode fast gleiche Werte bei Mädchen *und* Jungen auf (fem: 0,820, mask: 0,828). Die Beziehung bedarf aber im folgenden einer genaueren Analyse (siehe Tab. 7.8 und 7.9).

Tabelle 7.7: *Korrelation der CVMI-Methode nach Hassel und Farman zum chronologischen Alter*

		CVMI	Alter
Korrelation nach Pearson	CVMI	1,000	,820**
	Alter	,820**	1,000
Signifikanz (2-seitig)	CVMI	,	,000
	Alter	,000	,
N	CVMI	101	101
	Alter	101	101

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0.01 (2-seitig) signifikant

Tabelle 7.8: *CVMI-Methode: Standardabweichung und durchschnittliches chronologisches Alter weiblicher Probanden*

Stadium	Durchschnittliches chronologisches Alter	Gesamtzahl	Standard- abweichung
Initiation	8,42	14	1,12
Acceleration	10,60	22	1,02
Transition	10,71	23	1,32
Deceleration	11,59	13	1,01
Maturation	13,27	18	1,06
Completion	14,41	11	1,33
durchschn. St-abw.			1,14

Tabelle 7.9: *CVMI-Methode: extremes Alter und durchschnittliches chronologisches Alter weiblicher Probanden*

Stadium	Durchschnittliches <i>chronologisches Alter</i>	Extremes Alter
Initiation	8,42	6-9
Acceleration	10,60	8-13
Transition	10,71	8-13
Deceleration	11,59	9-13
Maturation	13,27	11-15
Completion	14,41	12-16

Die CVMI-Methode nach Hassel und Farman unterscheidet insgesamt sechs verschiedene skelettale Stadien des Corpus vertebrae. Die Anzahl der skelettalen Stadien ist geringer als in den beiden anderen in dieser Arbeit verwendeten skelettalen Auswertungsmethoden. Demzufolge ist die Fallzahl pro Stadium höher, was die statistische Auswertung erleichtert. Das heißt, dass auch die statistische Analyse in diesem Fall eine größere Aussagekraft hat. Die kleinste Anzahl liegt bei 11 im Stadium Completion (Stadium 6). Demgegenüber liegt bei der Handröntgenauswertung nach Björk die geringste Fallzahl bei vier (DP3u) und bei der Fishman-Methode gar bei zwei Patientinnen (DP3cap).

Im ersten Stadium, der **Initiation**, befinden sich 14 Probandinnen. Das durchschnittliche chronologische Alter beträgt 8,42 Jahre. Es steigt kontinuierlich von Stadium zu Stadium an. Im Stadium 6 (Completion) beträgt es 14,41 Jahre. In diesem Zusammenhang ist ein deutlicher Bezug zwischen skelettalem und chronologischem Alter festzustellen. Die Standardabweichung beträgt 1,12. Das Corpus Vertebrae von C2, C3 und C4 hat noch kein vertikales Höhenwachstum. Die untere Begrenzung des Corpus ist flach (siehe auch Abb. 8). Die jüngste und die älteste Patientin ist 6 bzw. 9 Jahre alt.

Insgesamt 22 Patientinnen wurden in das Stadium 2, **Acceleration**, eingestuft. Ihr durchschnittliches Alter beträgt 10,60 Jahre. Die Standardabweichung liegt bei 1,02. Die jüngste Patientin ist 8, die älteste 13 Jahre alt.

Im Stadium der **Transition** sind C3 und C4 rechtwinklig in ihrer Form. An C4 bilden sich Konkavitäten an der unteren Kontur des Wirbelkörpers heraus. An C2 und C3 sind deutliche Konkavitäten an der unteren Kontur erkennbar.

Es befinden sich in dieser Gruppe 23 Probandinnen mit einem durchschnittlichen Alter von 10,7 Jahren. Die Standardabweichung beträgt 1,32. Die jüngste und die älteste Patientin sind 8 bzw. 13 Jahre alt. Deutlich wird auch nach dieser Methode,

dass im Stadium der Transition eine breite Streuung des chronologischen Alters vorliegt. Gleichzeitig stellt man fest, dass, in Bezug auf die Gesamtanzahl, die meisten Patientinnen in diesem Stadium sind. Es ist das Stadium des maximalen Wachstumsspurts. Darauf folgt das Stadium der Deceleration, in dem weniger Wachstum erwartet wird.

Im Stadium der **Deceleration** sind die Konkavitäten an den Wirbeln C2, C3 und C4 deutlich. Nur noch geringes adoleszentes Wachstum wird erwartet. Das durchschnittliche Alter der insgesamt 13 Patientinnen beträgt 11,59 Jahre. Die Standardabweichung beträgt 1,01. Die Jüngste bzw. Älteste ist 9 bzw. 13 Jahre alt. Ein Anstieg des chronologischen Alters zum vorherigen Stadium ist erkennbar. Wir finden in diesem Stadium die niedrigste Standardabweichung.

Im Stadium 5, der **Maturation**, sind C3 und C4 quadratisch in ihrem Grundriss. Die untere Kontur ist betont konkav. Das Wachstum ist insignifikant. Das durchschnittliche Alter der 18 Patientinnen beträgt 13,3 Jahre. Die Standardabweichung ist mit 1,06 im Vergleich zu anderen Stadien relativ gering. Die jüngste bzw. älteste Patientin ist 11 bzw. 15 Jahre alt. Auch in diesem Stadium ist ein Anstieg des chronologischen Alters zum vorherigen Stadium zu verzeichnen.

In der **Completion**, dem sechsten und letzten Stadium, sind C3 und C4 vertikal in ihrer Dimension. Das adoleszente Wachstum ist abgeschlossen. Es sind tiefe Konkavitäten an der unteren Kontur der Wirbelkörper C2, C3 und C4 erkennbar. In diesem Stadium befinden sich 11 Patientinnen mit einem Altersdurchschnitt von 14,41 Jahren. Die Standardabweichung beträgt 1,33. Die jüngste Patientin ist 12, die älteste 16 Jahre alt.

In diesem letzten Stadium ist das Knochenwachstum abgeschlossen. Die vorgefundene Streuung ergibt sich im Unterschied zu den vorigen Stadien hier nicht in erster Linie, weil dieses Stadium zum Teil sehr früh und zum Teil sehr spät erreicht wird. Sie ergibt sich vielmehr wesentlich daraus, dass dieses Stadium als letztes ausgewiesenes Stadium die Funktion einer Residualkategorie erfüllt. Hat beispielsweise eine Patientin mit 13 Jahren ihr Knochenwachstum abgeschlossen, begibt sich aber erst mit 16 Jahren in kieferorthopädische Behandlung, dann wird in ihrem Fall das Stadium der Completion mit dem Alter von 16 und nicht mit dem von 13 Jahren assoziiert.

Damit lässt sich illustrieren, warum in diesem Stadium eine höhere Standardabweichung vorliegt. Insofern viele Patienten ihr Knochenwachstum schon in einem wesentlich geringeren als dem bei der Untersuchung festgestellten Alter abgeschlossen haben, ist der Feststellung des chronologischen Alters in diesem Stadium weniger Bedeutung zuzumessen als in den vorangegangenen.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Es ist deutlich ein kontinuierlicher Altersanstieg von Stadium 1 bis Stadium 6 erkennbar.
- Außer den Stadien der Transition und der Completion sind die Standardabweichungen gering.
- Die höchste Standardabweichung finden wir im Stadium der Transition. Wie in den anderen angewandten Auswertungsmethoden ist auch hier im Stadium des maximalen Wachstumsschubes eine starke Streuung des chronologischen Alters zu verzeichnen. Das Eintrittsalter in dieses Stadium ist sehr weit gefächert.

Die skelettale Altersbestimmung bleibt deshalb nach wie vor ein nicht ersetzbares diagnostisches Verfahren. *Diese* Methode ist für den Kliniker sehr praktikabel. Sie kann Material und Zeit sparen, da auf eine von drei Röntgenaufnahmen verzichtet wird.

Auch die Evaluierung des Reifestadiums ist sehr übersichtlich. Da nur eine *begrenzte* anatomische Region (Corpus Vertebrae von C2, C3 und C4) mit nur geringen Reifeeinteilungsmöglichkeiten betrachtet wird, ist hiermit eine übersichtlichere Anwendung gegeben. Die Handröntgenauswertung betrachtet dagegen *mehrere* Regionen der Hand. Die anatomische Region ist weiter ausgedehnt. Außerdem sind die zu beurteilenden knöchernen Strukturen viel *kleiner* als im Fall des CVMI.

7.2.3 Korrelation der Handröntgenauswertungsmethode nach Fishman zum chronologischen Alter

Tabelle 7.10: *Korrelation der Handröntgenauswertung nach Fishman zum chronologischen Alter*

		Alter	Fishman
Korrelation nach Pearson	Alter	1,000	,845**
	Fishman	,845**	1,000
Signifikanz (2-seitig)	Alter	,	,000
	Fishman	,000	,
N	Alter	101	101
	Fishman	101	101

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0.01 (2-seitig) signifikant.

Die Korrelation zwischen der Handröntgenanalyse nach Fishman und dem chronologischen Alter ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant. Die Korrelation beträgt nach Persson $r=0,845$ (vgl. Tab. 7.12). Wie bei den anderen beiden Berechnungen des Korrelationskoeffizienten (skelettale Auswertungsmethode des Handröntgenbildes nach Björk oder CVMI nach Hassel und Farman im Zusammenhang mit dem chronologischen Alter) besteht ein enger Zusammenhang zwischen dem skelettalen und dem tatsächlichen Alter. Die genauen Relationen sollen auch hier im Folgenden erläutert werden.

Tabelle 7.11: *Fishman-Methode: extremes Alter und durchschnittliches chronologisches Alter weiblicher Probanden*

Skelettales Reifestadium	Durchschnittliches chronologisches Alter	Gesamtzahl N=101	Standardabweichung
<PP3=	8,40	11	1,19
PP3=	8,99	4	0,77
MP3=	10,00	18	1,14
MP5=	11,02	7	1,09
SES	10,85	10	1,05
DP3cap	11,02	2	0,99
MP3cap	11,86	19	1,07
MP5cap	10,62	2	2,13
DP3u	12,83	3	1,37
PP3u	12,49	7	0,64
MP3u	13,96	5	0,83
RADu	14,38	13	1,23
durchschn. St-abw.			1,125

Die Handröntgenauswertungsmethode nach Fishman unterscheidet 11 Stadien (siehe Abschnitt 3.3). Die Reifestadien beginnen mit PP3= und enden mit RADu. Da es in der vorliegenden Untersuchung sehr viele junge Patientinnen gibt (ab 6,1 Jahre), haben einige von ihnen das erste Reifestadium PP3= noch nicht erreicht. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, habe ich der Fishman-Skala ein Stadium hinzugefügt: Sehr junge Patienten, die das skelettale Stadium PP3= nicht erreicht haben, wurden in die zusätzlich geschaffene Phase <PP3= (kleiner als PP3=) eingestuft. Entsprechend dieser Modifikation werden nun insgesamt 12 Stadien unterschieden.

Tabelle 7.12: *Fishman-Methode: extremes Alter und durchschnittliches chronologisches Alter weiblicher Probanden*

Skelettales Reifestadium	Durchschnittliches chronologisches Alter	Extremes Alter
<PP3=	8,40	6-9
PP3=	8,99	7-9
MP3=	10,00	7-11
MP5=	11,02	9-13
SES	10,85	9-11
DP3cap	11,02	10-11
MP3cap	11,86	9-14
MP5cap	10,62	9-12
DP3u	12,83	11-14
PP3u	12,49	11-13
MP3u	13,96	13-15
RADu	14,38	12-16

Dem Stadium **<PP3=** sind 11 Patientinnen zugeordnet. Die Standardabweichung ist 1,19. Der Altersdurchschnitt beträgt 8,4 Jahre. Das bedeutet, dass bei vielen Patientinnen im Altersbereich von 8 Jahren eine Handröntgenaufnahme gemacht wurde. Viele befinden sich noch in einer sehr frühen skelettalen Entwicklung. Die Altersspannweite reicht von 6 bis 9 Jahren.

Im nächsten Stadium **PP3=** befinden sich 4 Patientinnen. In diesem skelettalen Stadium reicht das chronologische Alter von 7 bis 9 Jahren. Drei dieser vier Patienten sind über 9 Jahre alt. Die Standardabweichung ist niedrig (0,77). Allerdings wird dieser Umstand durch die geringe Fallzahl stark relativiert.

Im Stadium **MP3=** befinden sich 18 Patientinnen. Das durchschnittliche Alter beträgt 10,0 Jahre. Im skelettalen Stadium **MP5=** befinden sich sieben Personen im durchschnittlichen Alter von 11,02 Jahren. Die Standardabweichung beträgt 1,19. Die Altersspannweite reicht von 9-13 Jahren. Bis zu diesem Stadium ist von Stadium zu Stadium ein kontinuierlicher Anstieg des Alters nachweisbar.

Beim Übergang zum nächsten Stadium **SES** ist *kein* Anstieg des chronologischen Alters nachweisbar. Der Altersdurchschnitt ist geringfügig niedriger als im vorherigen Stadium und liegt bei 10,85 Jahren. An dieser Stelle wird deutlich, dass, im Vergleich zwischen mehreren Individuen, ein reiferes skelettales Stadium statistisch nicht notwendigerweise mit einem höheren chronologischen Alter einhergehen muss. Insbesondere eine geringe Fallzahl pro Stadium kann einen

solchen Prozess der „statistischen Retardierung“ erzeugen. Der Effekt der kleinen Fallzahl wird auch an späteren Übergängen deutlich. Das chronologische Alter verteilt sich zwischen mehreren skelettalen Stadien. So kann z.B. eine 10 Jahre alte Patientin skelettal nach dieser Statistik in Stadium MP3=, MP5= oder auch SES eingeordnet werden (vgl. Tab. 7.12). Selbstverständlich ist für die kieferorthopädische Praxis die *skelettale* Reife von Bedeutung.

Bei Auswertungen der Halswirbel wurde in dieser Untersuchung ein deutlicher chronologischer Altersanstieg pro Stadium festgestellt. In diesem Fall verteilten sich die insgesamt 101 Patientinnen auf nur 6 der zur Verfügung stehenden 12 Stadien. Statistisch gesehen sind bei der CVMI-Methode genauere Aussagen im Vergleich zur Björk- bzw. Fishman-Methode möglich. Das gilt auch im Hinblick auf einen Vergleich des Anstiegs skelettaler Reife mit dem Anstieg des chronologischen Alters.

Im Stadium **DP3cap** befinden sich nur 2 Patientinnen. Der Altersdurchschnitt beträgt 11,02 Jahre. Die geringe Anzahl von Probandinnen lässt keine weiteren Aussagen zu.

In **MP3cap**, dem nächsten Reifestadium, befinden sich 19 Patientinnen im durchschnittlichen Alter von 11,86 Jahren. Die Standardabweichung von 1,07 ist relativ gering. Die meisten Patienten kumulieren also während der Phase ihres maximalen Wachstumsspurts statistisch im Bereich des chronologischen Durchschnittsalters.

Beim nächsten Stadium **MP5cap** kehrt sich dieses Bild um. Es gibt wiederum nur zwei Patientinnen im durchschnittlichen Alter von 10,62 Jahren. Es sind aber folgende Einschränkungen zu beachten: Das durchschnittliche Alter ist im Vergleich zum vorherigen Stadium gesunken, es fehlt also der direkte lineare Zusammenhang „steigende skelettale Reifung – kontinuierlicher Anstieg des chronologischen Alters“. Wegen der geringen Fallzahl ist allerdings auch die statistische Betrachtung dieses Stadiums bedeutungslos.

Auch im nächsten Stadium **DP3u** wird dies deutlich. Es sind nur 3 Patientinnen in diesem Stadium. Das durchschnittliche Alter beträgt 12,83 Jahre. Die Standardabweichung liegt bei 1,37. Eine statistische Aussage ist nicht möglich.

In **PP3u** finden sich sieben Patientinnen mit einem durchschnittlichen Alter von 12,49 Jahren. Es ist nur eine geringe Standardabweichung von 0,64 zu verzeichnen. Insofern kontrastiert dieses Stadium mit seiner nur geringen Streuung zu den vorherigen Fishman-Stadien.

Eine Gesetzmäßigkeit ist nicht erkennbar. Die Verteilung der Probandinnen auf die Stadien ist sehr unterschiedlich. Dies ist u.a. auf die für die vorliegende Fallzahl zu hohe Stadienzahl nach der Fishman-Methode zurückzuführen, durch die es zu einer zu schwachen Besetzung einiger Stadien kommt. Die Verteilung erfolgt ungleichmäßig, so dass in einigen Stadien unter Umständen zu wenige Probandinnen zu finden sind, als dass statistische Aussagen getroffen werden könnten.

Im vorletzten Stadium **MP3u** finden wir fünf Patientinnen im durchschnittlichen Alter von 14,38 Jahren. Die Standardabweichung liegt bei 0,83. Es ist ein steigendes chronologisches Alter erkennbar.

In **RADu** gibt es wieder eine höhere Probandenzahl von 13 Patientinnen. Die Standardabweichung liegt bei 1,2. Das durchschnittliche Alter beträgt 14,38 Jahre. Dieses Stadium ist charakterisiert durch eine insgesamt relativ hohe Anzahl von Probandinnen gegenüber einer relativ geringen Anzahl in der engeren Altersspannweite von 2 Jahren (± 1) vom Durchschnittsalter (14,38). Dieser Umstand ist, wie wir bereits bei der Björkschen Handröntgenauswertung gesehen haben, typisch für dieses letzte Reifestadium. Wie bei den vorherigen Auswertungen beschrieben, sind Patientinnen in weitaus höherem Alter darunter (z.B. 16,0 Jahre), die aber eventuell schon sehr viel früher das skelettale Reifestadium RADu erreicht haben. Dieses letzte Reifestadium hat die Funktion einer Residualkategorie. Dadurch können in *einem* skelettalen Reifestadium erhebliche Streuungen im chronologischen Alter entstehen.

Im Allgemeinen findet selbstverständlich ein Anstieg des chronologischen Alters von 6 bis 16 Jahren statt. Ein statistischer Altersanstieg von jeder skelettalen Stufe zur folgenden ist jedoch nicht in allen Fällen anzutreffen. Ausnahmen bilden der Übergang von MP5cap zu SES, von MP3cap zu MP5cap und von DP3u zu PP3u. Es kann keine *exakte* Relation zwischen chronologischem und skelettalem Alter bestimmt werden.

Die Standardabweichung weist teils sehr geringe, teils hohe Werte auf. Die Altersverteilung innerhalb der einzelnen Stadien ist zum Teil sehr heterogen. Auch ist die Verteilung der Patientinnen auf die Stadien sehr ungleichmäßig. Daher ist eine Evaluierung der Fishman-Auswertung im Hinblick auf Relation bzw. Korrelation der Stadien, des chronologischen Alters und der Standardabweichung kaum möglich. Für eine präzise Evaluierung wäre eine weitaus höhere Patientenzahl in einer weiterführenden Studie erforderlich.

Der Vorteil dieser Handröntgenauswertung nach Fishman liegt in der Feinheit der skelettalen Alterseinstufung. Dies mag in anderen Disziplinen von Bedeutung sein. Aus kieferorthopädischer Sicht ist diese Präzision für die Planung einer Behandlung nicht zwingend.

7.3 Vergleich der Korrelation chronologisches Alter zu den angewandten skelettalen Altersbestimmungsmethoden bei Mädchen und Jungen

Tabelle 7.13: <i>Korrelationsvergleich skelettaler Reifebestimmungsmethoden zum chronologischen Alter bei Mädchen und Jungen</i>		
Korrelationen	maskulin	feminin
Chronologisches Alter- Handröntgen nach Björk	0,775	0,831
Chronologisches Alter – CVMI	0,828	0,820
Chronologisches Alter- Handröntgen nach Fishman	0,781	0,845

Insgesamt liegen sowohl bei den Jungen als auch bei den Mädchen hohe Signifikanzen zwischen chronologischem und skelettalem Alter vor (Tab. 7.13).

Bei den Mädchen liegt der Korrelationskoeffizient nach allen drei angewandten skelettalen Reifebestimmungsmethoden bei ca. 0,8. Die Korrelationskoeffizienten der Jungen fallen nach den Handröntgenmethoden geringer aus (ca. 0,7) als nach der CVMI-Methode (ca. 0,8).

Somit ist die einzige Methode, nach der Jungen und Mädchen fast gleich hohe Korrelationen zum chronologischen Alter aufweisen, die CVMI- Methode. Dies zeigt, dass diese Methode durchaus in der Praxis die Reifebestimmung mittels der Hand ersetzen kann.

Auf eine skelettale Reifebestimmung an sich kann jedoch nicht verzichtet werden, da das chronologische Alter keine ausreichende Auskunft zur Erstellung eines Behandlungsplans gibt.

8 Diskussion

In der Kieferorthopädie ist erforderlich, den Patienten in seinem Wachstum einzuschätzen. Diese Einschätzung ist bedeutsam für die Festlegung des optimalen Behandlungsbeginns, für die Auswahl der Behandlungsmittel und die Beantwortung der Frage, ob und wann eine Behandlung bzw. Retention begonnen bzw. abgeschlossen werden kann bzw. soll.

Nach Schopf (2000) sollte in folgenden Fällen das Wachstum für die Therapie genutzt werden:

- bei Rücklage des Unterkiefers,
- beim primären und sekundären Engstand,
- bei Wachstumshemmung Mikrognathie/-genie, Pseudoprogenie etc.),
- bei Laterognathie (z.B. beim lateralen Zwangsbiss) und
- bei der Tiefbissbehandlung.

Eine Gefährdung der therapeutischen Bemühungen durch anhaltendes (ungünstiges) Wachstum ist unter anderem zu befürchten bei

- progner (makrogener) Entwicklung,
- strukturell offenem Biss sowie
- Entwicklung eines tertiären Engstandes.

Bei den genannten Fällen spielt zum einen die Festlegung des Behandlungsbeginns eine Rolle zum anderen die Dauer der Retention bzw. der Stabilisierung. Bei einem langandauernden und stark ausgeprägten Wachstum ist eine Langzeitretention erforderlich.

Wenn zu befürchten ist, dass wachstumsbedingt ein Rezidiv, eine Verstärkung der Anomalie oder eine neue Fehlstellung ausgelöst werden könnte, sind neben dem chronologischen Alter folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Wachstumsintensität und -richtung,
- Rezidivgefahr bzw. Stabilität des Behandlungsergebnisses,
- das Geschlecht sowie
- die Möglichkeit einer skelettalen Spätentwicklung (Schopf 2000)

Dies verdeutlicht die Notwendigkeit einer genauen Kenntnis der Wirkungen des Wachstums für die Behandlungsplanung. In Literatur und Praxis gibt es eine

große Bandbreite verschiedener Methoden, die zur Einschätzung des Wachstums bzw. des Entwicklungsstandes genutzt werden. Dies wurde in den ersten Kapiteln beschrieben.

Die Möglichkeiten der Reifebestimmung in der Kieferorthopädie reichen von der *chronologischen Altersbestimmung* über die *sexuelle Reifebestimmung* bis hin zur Heranziehung der *Gebissentwicklung*. Auch Körperhöhe und Körpergewicht sowie die *skelettale Entwicklung* werden zur Reifebestimmung herangezogen.

Typische geschlechtsspezifische Differenzen weist der Zeitpunkt des pubertären Wachstumsgipfels auf. Bei den Mädchen ist der Scheitelpunkt der Kurve durchschnittlich im Alter von 12 Jahren zu beobachten, während er bei den Jungen im Durchschnitt etwa zwei Jahre später liegt (Schopf, 2000).

Für die *skelettale* Reifebestimmung gibt es unterschiedliche Messmethoden. Die Handröntgenaufnahme ist eine dieser Möglichkeiten.

Die Methode nach Greulich und Pyle (1952) vergleicht die Handröntgenaufnahme mit dem optisch ähnlichsten Standard aus dem Handröntgenatlas. Dieser von den Autoren der Methode erstellte Atlas enthält auch einen eigenen graphischen Anhang zur Verdeutlichung weniger auffallender Reifezeichen. Anhand dieser Kriterien kann das Gesamtreifeniveau bestimmt werden.

Nach Tanner und Whitehouse (1962) werden die verschiedenen Handröntgenstadien verbal beschrieben, illustriert und als Aufnahme abgebildet. Den Reifestadien wird ein Punktwert zugeordnet. Der zu errechnende Summenwert ist der Ausdruck des Gesamtreifeniveaus des Skelettes.

Auch Fishman (1982) beschreibt im „skeletal maturation index“ (SMI) eine Ossifikationssequenz der Hand. Hiernach werden die dritte und fünfte Phalanx, das Sesamoid und das distale Ende des Radius betrachtet.

Die Handröntgenauswertung nach Björk beruht auf der Begutachtung der kieferorthopädisch interessanten skelettalen Wachstumszeichen. Die Reifezeichen lassen sich an der zweiten und dritten Phalanx, am Sesamoid und distalen Radiusende erkennen.

Neuere Methoden zur skelettalen Reifebestimmung beziehen sich auf die Halswirbel. Es handelt sich um die Bewertung des Reifegrads des zweiten, dritten und vierten Halswirbels anhand des Fernröntgenseitbildes. Hassel und Farman

(1995) beschrieben im *Cervical Vertebrae Maturation Index* (CVMI) sechs Reifestadien.

Hassel und Farman (1995) stellten eine signifikante Korrelation zwischen der von ihnen vorgelegten Halswirbelreifebestimmung anhand des CVMI und der Handröntgenreifebestimmung nach Fishman (SMI) fest. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, diese Korrelation auch anhand einer anderen Handröntgenauswertung zu überprüfen. Als ein weiterer Aspekt wurde die Beziehung des chronologischen Alters zum skelettalen Alter untersucht.

Zum einen konnte anhand des vorliegenden Patientengutes die hohe Korrelation zwischen dem CVMI und der Handröntgenreifebestimmung nach Fishman bestätigt werden, zum anderen stellte sich auch eine signifikante Korrelation zwischen dem CVMI und der Björkschen Handröntgenanalyse heraus. Die beiden Handröntgenreifebestimmungen nach Fishman und Björk korrelierten ebenfalls hoch und signifikant miteinander.

Das bestätigt die Anwendbarkeit des CVMI, da seine Ergebnisse auch in Bezug zu einer anderen Handröntgenauswertung (Auswertung nach Björk) signifikant sind.

Einer kritischen Betrachtung bedarf die subjektive Einstufung in unterschiedliche Reifestadien anhand des CVMI. Ein Patient, der sich skelettal im Übergang zwischen zwei Stadien befindet, kann in ein reiferes und oder in ein weniger reifes Stadium eingeordnet werden. In der Phase kurz vor bzw. kurz nach dem maximalen Wachstumsgipfel hat diese Diagnose weitreichende Folgen für die Behandlungsplanung.

In jedem Fall sind eine gewisse Übung und bzw. Erfahrung des Behandlers bei der Diagnose erforderlich. In der Praxis sollte der Behandler auch andere Reifekriterien (Körperhöhe und -gewicht, sexuelle Merkmale, Dentitionsstand) in die Diagnose einbeziehen. Krankheiten im Säuglings- und Kindesalter, die Ernährung, Umweltfaktoren und die Heredität des Patienten beeinflussen das Wachstum. Diese Faktoren sind bei der Diagnose hilfreich und können im Zweifelsfall bei der Entscheidung zur Einordnung in ein bestimmtes Stadium hilfreich sein.

Die Problematik der Einstufung im Grenzfall ist allerdings kein alleiniges Problem des CVMI, sondern taucht ebenso bei der Handröntgenauswertung auf. Je nach Verfahren muss man also diese Möglichkeiten zu Fehldiagnosen einkalkulieren. Ein gewisses Restrisiko lässt sich bei *keiner* Methode vermeiden.

Es konnte in der vorliegenden Untersuchung eine hohe Korrelation zwischen der CVMI-Auswertung und den Handröntgenauswertungen sowohl nach Björk als auch nach Fishman festgestellt werden. Zwar gibt es einen hohen Grad an Übereinstimmung zwischen diesen Reifebestimmungsmethoden, jedoch ist diese Übereinstimmung keinesfalls hundertprozentig.

Da die Verfahren eine unterschiedliche Anzahl von Stadien beinhalten, welche miteinander in Beziehung gesetzt worden sind, kann auch gar keine hundertprozentige Übereinstimmung erzielt werden. Jedoch belegen die Ergebnisse die Anwendbarkeit des CVMIs auf Grund seiner hohen Korrelation mit den angewandten Handröntgenauswertungsmethoden.

Caltabiano, Leonardi und Zaborra (1990) fanden bei einer italienischen Population von 72 Personen im Alter von 10 bis 15 Jahren eine hohe Korrelation zwischen der Ermittlung des skelettalen Alters nach der Handröntgenaufnahme und dessen Bestimmung anhand des Fernröntgenseitbildes. Die Korrelation betrug bei den Jungen 0.450 und bei den Mädchen 0.564.

In der vorliegenden Untersuchung korrelierte das skelettale Alter nach dem CVMI deutlich höher mit den Handröntgenauswertungen. Der Korrelationskoeffizient der Methode nach Fishman zum CVMI betrug 0,833 bei den Jungen und 0,913 bei den Mädchen. Auch bei der Auswertung des Handröntgenbildes nach Björk war eine hohe Korrelation zum CVMI zu verzeichnen (mask: 0,839, fem: 0,913). Nach *beiden* Handröntgenauswertungsmethoden war eine hohe Korrelation zum CVMI festzustellen. Dies bestätigt die Ergebnisse von Caltabiano, Leonardi und Zaborra.

In der vorliegenden Arbeit wurde zusätzlich der Bezug zum chronologischen Alter untersucht. Green (1961) stellte fest, dass das chronologische Alter eine hohe Korrelation sowohl zum dentalen als auch zum skelettalen Alter aufwies; die Korrelationen zwischen dentalem und skelettalem Alter waren aber niedriger.

Dies ergeben auch die Untersuchungen von Hotz, Boulanger und Weisshaupt (1959), wonach das chronologische Alter einen höheren Grad an Korrelation zum skelettalen Alter aufweist als dies beim Verhältnis des dentalen zum skelettalen Alter der Fall ist.

Caltabiano, Leonardi und Zaborra (1990) konnten bei den Jungen keinen signifikanten Zusammenhang zwischen chronologischem und skelettalem Alter feststellen. Bei den Mädchen betrug der Korrelationskoeffizient 0,535.

In unseren Untersuchungen ergab sich ein hoher Korrelationskoeffizient (zwischen 0,775 und 0,845) zwischen allen angewandten skelettalen Auswertungsmethoden und dem chronologischen Alter. Dieses Ergebnis belegt eine enge Beziehung zwischen chronologischem und skelettalem Alter.

Wenn wir die drei Methoden zur skelettalen Reifebestimmung an ihrer Übereinstimmung mit dem chronologischen Alter messen, dann weist in der Gruppe der Jungen der CVMI eine höhere Korrelation zum chronologischen Alter auf als die Handröntgenmethode. Das bedeutet, dass der CVMI in dieser Hinsicht eine zweckmäßigere Methode darstellt.

In der Mädchengruppe weist die CVMI-Methode, ebenso wie die beiden Handröntgenmethoden eine hohe Korrelation zum chronologischen Alter auf (siehe Tab. 7.13). Alle drei Methoden sind also gleichwertig einsetzbar.

Somit ist die einzige Methode, die sowohl bei den Jungen als auch bei den Mädchen fast gleich hoch mit dem chronologischen Alter korreliert, der CVMI. Dies belegt, dass in der Praxis die CVMI-Methode durchaus die Reifebestimmung an der Hand ersetzen kann.

Wie in Kapitel 6 und 7 dargestellt, wurden alle einzelnen Stadien mit dem jeweiligen chronologischen Alter der Patienten in Beziehung gesetzt. Der Durchschnittswert des chronologischen Alters wurde für jedes skelettale Alter errechnet.

Obwohl das Gesamtbild eine hohe Korrelation zwischen skelettalem und chronologischem Alter ergibt, zeigt die Betrachtung der *einzelnen skelettalen Stadien* in Bezug auf das durchschnittliche chronologische Alter ein differenzierteres Bild.

Ein Zusammenhang zwischen durchschnittlichem chronologischem Alter und durchschnittlichem skelettalem Alter über alle Stadien konnte weder bei den Jungen noch bei den Mädchen festgestellt werden. Die Ursache hierfür ist zum einen in der geringen Patientenzahl in den einzelnen Stadien zu suchen. Zum anderen lässt sich durch die Bandbreite von unterschiedlichen Altern innerhalb eines Stadiums erkennen, dass ein Rückschluss vom chronologischen Alter auf das skelettale Alter nicht erfolgen kann. Eine röntgenologische skelettale Reifebestimmung ist daher unerlässlich.

Da sich die CVMI-Methode sowohl in dieser Untersuchung als auch in anderen zuvor genannten Studien als eine verlässliche Methode zur skelettalen Altersbestimmung sowohl bei Mädchen als auch bei Jungen erwiesen hat, kann eine skelettale Reifebestimmung zur Wachstumseinschätzung in der Kieferorthopädie anhand des Fernröntgenseitbildes mit der CVMI-Methode empfohlen werden. Eine Handröntgenaufnahme mit zusätzlichen betriebs- und kassentechnischen Kosten sowie zusätzlicher Strahlenbelastung für den Patienten ist dann nicht mehr erforderlich.

9 Zusammenfassung

Die wesentlichen Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung können in folgenden Aussagen zusammengefasst werden:

- Die skelettalen Reifebestimmungen an Handröntgenaufnahmen nach der Methode von Björk als auch nach Fishman korrelieren hoch miteinander.
- Beide skelettalen Handröntgenauswertungsmethoden weisen eine hohe Korrelation zur skelettalen Reifebestimmung anhand der Halswirbel auf dem Fernröntgenseitbild auf. Die Methoden sind somit gleichwertig.
- Anhand des für die kieferorthopädische Diagnostik ohnehin erstellten Fernröntgenseitbildes kann das skelettale Alter bestimmt werden.
- Nach allen angewandten Methoden besteht eine hohe Korrelation zwischen skelettalem und chronologischem Alter .
- Bei den Jungen ist diese Korrelation am höchsten bei der Reifebestimmung auf dem Fernröntgenseitbild (nach der CVMI-Methode).
- Bei den Mädchen ist die Korrelation nach allen drei angewandten Methoden ähnlich hoch. Da die Reifebestimmung anhand der Halswirbel in Bezug zum chronologischen Alter hohe Korrelationen bei beiden Geschlechtern aufweist, lässt sie sich in der Praxis anwenden.
- Vom chronologischen Alter lässt sich allerdings nicht auf das skelettale Alter rückschließen. Auf die skelettale Reifebestimmung kann daher nicht verzichtet werden.
- In ihrer skelettalen Reifung sind die Mädchen den Jungen zeitlich nach allen drei angewandten Methoden voraus.
- Zusammenfassend lässt sich auf Grund der hohen Korrelation des CVMI zum chronologischen Alter und zu den andern Reifebestimmungsmethoden (Handröntgenauswertung nach Björk und nach Fishman) sagen, dass der CVMI in der Praxis angewendet werden kann.

- Eine zusätzliche Handröntgenaufnahme ist daher nicht erforderlich.
- Dadurch können in der Praxis Kosten gespart werden.
- Gleichzeitig bedeutet diese Vorgehensweise insbesondere eine geringere Strahlenbelastung für den Patienten.

10 Literatur

- Adler, P. (1957):** Korrigierte Tabellen zur Bestimmung des dentalen Alters nach dem Verfahren von Martiegka. Dtsch. Zahn-, Mund- und Kieferheilkd. 27, S. 190-195.
- Adler-Hradecky, Cl. und Adler P. (1958):** Die Eignung der Zahnzahl zur Bestimmung des individuellen dentalen Alters. Dtsch. zahnärztl. Z. 13, S. 1300-1304.
- Andersen E. (1968):** Skeletal maturation of Danish school children in relation to height, sexual development and social condition. Acta Paediatr. Scand.suppl. S. 185.
- Bab H. (1970):** Über die Beziehung zwischen kalendarischem und Knochenalter unter Lufthygienischen Aspekten anhand von Untersuchungen an Kinder-Parallelgruppen. Med. Diss. A Berlin.
- Bailey D.K. (1952):** The normal cervical spine in infants and children Radiology 59, S. 712.
- Bayley N. und Pinneau S.R. (1952):** Tables for adult height from skeletal age: Revised for use with the Greulich-Pyle hand standards. J. Pediatr. 34, S. 432-441.
- Belitz Br. (1977):** Ein Kartogramm zur neueren Menarcheforschung in Europa. Ärztl. Jugendkd. 68, S.82-92
- Bench R.W. (1963):** Growth of the cervical vertebrae as related to tongue, face and denture behaviour. Am. J. orthod. 49, S. 183-214.
- Bery A. (1979):** Croissance staturale et mandibulaire. Rev. Orthop. Dentofac. 13, S. 279-298.
- Bradford D.S. (1987):** Moe's text of scoliosis and other spinal deformities. 2. Aufl. WB Saunders Philadelphia.
- Bradford DS (1985):** The pediatric spine, New York: Thieme.
- Braselmann A. (1974):** Die Bestimmung des Knochenalters am kindlichen Ellenbogengelenk- Studie an 408 Kindern im Vergleich mit der Handwurzel-ossifikation. Med. Diss. Heidelberg.
- Butenandt O. (1974):** Zur Diagnostik des Proportionsalters. Kinderarzt 5, S. 495-502.
- Caltabiano M., Leonardi R. und Zaborra G. (1990):** Valutazione delle vertebre cervicali per la determinazione dell'età scheletrica. Riv. Ital. Odontoiatr. Infant. 1 (3, S. 15-20.

- Cattel H. und Filtzer D. (1965):** Pseudoluxation and other normal variations in the cervical spine in children. *J. Bone Joint surg.* 47A, S. 1295-1309.
- De Coster L. (1937):** Die Röntgenaufnahme des Handgelenks in der kieferorthopädischen Diagnostik. *Dtsch Zahn-Mund und Kieferheilk.* 4, S. 683-693.
- Demisch A (1955):** Das Röntgenbild der Hand in der Kinderzahnheilkunde. *Schweiz. Monatsschr. Zahnheilk.* 65, S. 1027-1029.
- Epstein B. (1976):** A radiological text and atlas. Philadelphia: Lea & Febiger.
- Felgentreff W., Scheffler E., Zuhrt E. und Zuhrt R. (1977):** Entwicklungsbiologische und biostatistische Aspekte des Normbegriffs bei der ersten und zweiten Dentition. *Stomat. DDR* 27, S. 431-439.
- Fishman L.S. (1982):** Radiographic evaluation of skeletal maturation- A clinical oriented method based on hand-wrist films. *Angle orthod* 52, S. 88-112.
- Fritsch R. (1974):** Untersuchung zur Bestimmung des präpubertalen Wachstumsschubes im Rahmen der kieferorthopädischen Befunderhebung. *Med. Diss., Erlangen.*
- Garn S.M. und Rohmann C.G. (1975):** Interaction of nutrition and genetics in the timing of growth and development. *Pediatr. clin. North Am* 13, S. 353-379.
- Geffert K. (1970):** Ein Verfahren zur Bestimmung des biologischen Knochenalters. *Acta Paediatr. Acad.Sci. Hung.* 11, S. 59-66.
- Glaser H (1979):** Der Ossifikationsverlauf bei Kindern mit Malabsorptionssyndrom unter Langzeittherapie. *Med. Diplomarbeit Erfurt.*
- Gödény E. (1951):** Studies on the eruption of the permanent teeth. *Acta. Genet.* 2, S. 331-339.
- Grashey R. und Birkner R. (1964):** Atlas typischer Röntgenbilder vom normalen Menschen: 10. Aufl., Urban und Schwarzenberg München, Berlin.
- Grave K.C. (1978):** Physiological indicators in the orthodontic diagnosis and treatment planning. *Aust. Orthod. J.* 5, S. 114-122.
- Grave K.C. und Brown T. (1976):** Skeletal ossification and the adolescent growth. *Am. J. Orthod.* 69, S. 611-619.
- Gray H. und Clemente C.D. (ed.) (1985):** Anatomy of the human body. 30. Aufl. Philadelphia: Lea & Febiger, S. 144-146.
- Green L.J. (1961):** The interrelationship on height, weight and chronological, dental and skeletal ages. *Angle orthod.* 31, S. 189-193.
- Greulich W.W. und Pyle S.I. (1959):** Radiographic atlas of the skeletal development of the hand and wrist. Stanford/California.

- Hägg U. und Taranger J. (1980):** Menarche and voice changes as indicators of the pubertal growth spurt. *Acta. odont. scand.* 38, S. 179-186.
- Hassel B. und Farman A.G. (1995):** Skeletal maturation evaluation using cervical vertebrae. *Am. J. orthod.* 107, S. 58-66.
- Hattemer W.N. (1959):** Welche Möglichkeiten bietet die Handwurzelaufnahme für die jugendzahnärztliche und kieferorthopädische Diagnostik? *Zahnärztl. Welt* 21, S. 643-646.
- Hellsing E. (1991):** Cervical vertebral dimensions in 8-, 11- and 15-year-old children. *Acta Odontol. Scand.* 49, S. 207-213.
- Hölscher A. (1973):** Die Größenvorhersage bei Kindern. *Med. Diss., Göttingen.*
- Hotz R., Boulanger G., Weisshaupt H. (1959):** Calcification time of permanent teeth in relation to chronological and skeletal age in children. *Helv. Odont. Acta.* 3, S. 4-9.
- Huggare J. (1989):** Head posture and cervicovertebral anatomy as mandibular growth predictors. *Eur. J. Orthod.* 11, S. 10-16.
- Huggare J. (1994):** The first cervical vertebrae as an indicator of mandibular growth. *Eur. J. Orthod.* 16, S. 175-180.
- Kahle W., Leonard H. und Platzer W. (1986):** Taschenatlas der Anatomie Bd. 1 Bewegungsapparat, Stuttgart, New York: Thieme, S.36-39.
- Klink-Heckmann U. und Bredy E. (1990):** Kieferorthopädie, 3. Aufl., Leipzig, Heidelberg: Barth, S. 69-71.
- Künzel W (1976):** Querschnittsvergleich mittlerer Eruptionstermine permanenter Zähne bei Kindern in fluorarmen und kariesprotektiv optimierten Trinkwassergebieten. *Stomatol. DDR* 26, S. 310-321.
- Lamparski D.G. (1972):** Skeletal age assessment utilizing cervical vertebrae. *Med. Diss., University of Pittsburgh.*
- Lauterstein A.M. (1965):** A cross sectional study of dental development and skeletal age. *J. Am. Dent. Assoc.* 62, S. 161-167.
- Linneweh F. (1980):** Morphologische und funktionelle Entwicklung des Kindes. In: Joppich G. und F.J. Schulte: *Lehrbuch der Kinderzahnheilkunde: 24. Aufl., Stuttgart: G. Fischer, S. 1-21.*
- Maaser R. und Droese W. (1979):** Neue Somatogramme. *Kinderarzt* 6, S. 68-69.
- Medved R. Horvat R. und Petrovcic F. (1962):** Beitrag zur Bestimmung des physiologischen Alters. *Med. Sport* 2, S. 141-144.
- Mitani H. und Sato K. (1992):** Comparison of mandibular growth with other variables during puberty. *The Angl. Orthod.* Vol. 62 No. 3, S. 217-222.

- Moll H. (1964):** Das Röntgenbild der Hand im Wachstumsalter. Diagnostische Verwendbarkeit. Chirurg. Prax. 8, S. 285-300.
- Moorrees C.F.A. (1959):** Die Orthodontie in den U.S.A. in den Jahren 1955 und 1956. Fortschr. Kieferorthop. 20, S. 86-101.
- Nanda R.S. und Chawla T.N. (1966):** Growth and development of dentitions in Indian children I. Development of permanent teeth. Am. J. orthod. 52, S. 837-853.
- Nanda R.S. (1960):** Eruption of human teeth. Am. J. orthod. 46, S. 363-378.
- O'Reilly M. und Yaniello G.J. (1988):** Mandibular changes and maturation of cervical vertebrae- A longitudinal cephalometric study. Angl. Orthod. 58, S. 179-84.
- Odgen J.A. Murphy M.J., Southwick W.O., Odgen A. (1986):** Radiology of post natal skeletal development- C1-C2 interrelationships. Skeletal. Radiol. 15, S. 433-438.
- Oehmisch W. (1978):** Körpermaße von Kindern und Jugendlichen in der DDR. In: Ärztekalendar DDR, Berlin: VEB Verlag Volk und Gesundheit, S.376-383 .
- Pelech L. und Pechstein J. (1976):** Vergleichende Untersuchungen über die Entwicklung des Skelettalters bei tschechischen und süddeutschen Kindern. Ärztl. Jugendkd.67, S. 23-28.
- Prader A. (1975):** Wachstum und körperliche Entwicklung in der Adoleszenz. Monatsschr. Kinderhkd. 123, S. 291-296.
- Proffit W.R. (1992):** Contemporary orthodontics. Mosby Year Book, St. Louis, S. 89-93.
- Riamondi A.J. (1989):** The pediatric spine. vol. 1., New York: Springer Verlag.
- Roche A.F. und French N.Y. (1970):** Differences in the skeletal maturation of the knee and hand. Am. J. Röntgen. 109, S. 307-321.
- Salzmann J.A. (1954):** General growth acceleration and retardation in relation to dentofacial development. Am. J. Orthod. 40, S. 243-258.
- Sannwald B. (1961):** Längen und Breitenverhältnis der Metacarpalia und Phalangen im Röntgenbild der normalen menschlichen Hand. Med. Diss. Heidelberg.
- Schirm H. (1974):** Zur Diagnostik des Längen und Gewichtalters. Kinderarzt 5 237-241.
- Schmid F. und Halden L. (1949):** Die postfetale Differenzierung und Größenentwicklung der Extremitäten-Knochenkerne. Fortschr. Röntgenstr. 71, S. 975-984.

- Schmid F. und Hofmann E. (1958):** Die metrische Beurteilung der Handlänge. Fortschr. Röntgenstr. 88, S. 450-452.
- Schmid F. und Moll H. (1960):** Atlas der normalen und pathologischen Handskelettentwicklung. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer.
- Schmid F. (1974):** Zur Diagnostik des Skeletalters. Kinderarzt 5, S. 319-320.
- Schmid F. (1949):** Die Handskelettossifikation als Indikator der Entwicklung. Erg. inn. Med. 1, S. 176-246.
- Schmidt F. und Künle A. (1958):** Das Längenwachstum der langen Röhrenknochen in Bezug auf Körperlänge und Lebensalter. Fortschr. Röntgenstr. 89, S. 350-356.
- Schopf P. (2000):** Curriculum Kieferorthopädie 3. Aufl., Bd. 1, Berlin, Chicago et al.
- Schopf P.M. (1984):** Die Bedeutung des skelettalen und dentalen Alters für die Auswahl des kieferorthopädischen Behandlungssystems. Fortschr. Kieferorthop. 45, S. 24-32.
- Schopf P.M. (1970):** Wurzelmineralisation und Zahndurchbruch im Wechselgebiss. Fortschr. Kieferorthop. 31, S. 39-56.
- Sherk H. und Parke W. (1989):** The cervical spine Research Society. 2nd edit. J.B. Lippincott, Philadelphia et al.
- Sousa de, F. und Schuster W. (1975):** Bestimmung des Knochenalters. Kinderarzt 6, S. 421-428.
- Tanner J.M., Whitehouse R.H., Marshall W.A., Healy M.J.R., Goldstein H. (1975):** Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW2 Method). London, New York, San Francisco: Academic Press.
- Tanner J.M. (1962):** Wachstum und Reifung des Menschen. Stuttgart: Thieme.
- Tofani M.I. (1972):** Mandibular growth at puberty. Am. J. orthod. 62, S.176-195.
- Voss H. und Herlinger R. (1985):** Taschenbuch der Anatomie 18. Aufl. Jena: Gustav Fischer Verlag.

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 6.1:	Korrelation zwischen der Methode nach Fishman und dem CVMI nach Hassel und Farman	29
Tabelle 6.2:	Korrelation zwischen dem SMI und der Handröntgenauswertung nach Björk	30
Tabelle 6.3:	Korrelation zwischen der CVMI-Methode und der Handröntgenauswertung nach Björk	31
Tabelle 6.4:	Korrelation zwischen der Handröntgenauswertung nach Björk und dem chronologischen Alter.....	32
Tabelle 6.5:	Björk-Methode: Standardabweichung und durchschnittliches chronologisches Alter männlicher Probanden	33
Tabelle 6.6:	Björk-Methode: extremes Alter und durchschnittliches chronologisches Alter männlicher Probanden	33
Tabelle 6.7:	Korrelation der CVMI-Methode nach Hassel und Farman zum chronologischen Alter	35
Tabelle 6.8:	CVMI-Methode: Standardabweichung und durchschnittliches chronologisches Alter männlicher Probanden	36
Tabelle 6.9:	CVMI-Methode: extremes Alter und durchschnittliches chronologisches Alter männlicher Probanden	36
Tabelle 6.10:	Korrelation der Handröntgenauswertung nach Fishman zum chronologischen Alter	38
Tabelle 6.11:	Fishman-Methode: Standardabweichung und durchschnittliches chronologisches Alter männlicher Probanden	39
Tabelle 6.12:	Fishman-Methode: extremes Alter und durchschnittliches chronologisches Alter männlicher Probanden	39
Tabelle 7.1:	Korrelation zwischen der Methode nach Fishman und dem CVMI nach Hassel und Farman	43
Tabelle 7.2:	Korrelation zwischen dem SMI und der Handröntgenauswertung nach Björk	44
Tabelle 7.3:	Korrelation zwischen der CVMI-Methode und der Handröntgenauswertung nach Björk	45
Tabelle 7.4:	Korrelation zwischen der Handröntgenauswertung nach Björk und dem chronologischen Alter.....	45

Tabelle 7.5: Björk-Methode: Standardabweichung und durchschnittliches chronologisches Alter weiblicher Probanden	46
Tabelle 7.6: Björk-Methode: extremes Alter und durchschnittliches chronologisches Alter weiblicher Probanden	46
Tabelle 7.7: Korrelation der CVMI-Methode nach Hassel und Farman zum chronologischen Alter	49
Tabelle 7.8: CVMI-Methode: Standardabweichung und durchschnittliches chronologisches Alter weiblicher Probanden	49
Tabelle 7.9: CVMI-Methode: extremes Alter und durchschnittliches chronologisches Alter weiblicher Probanden	50
Tabelle 7.10: Korrelation der Handröntgenauswertung nach Fishman zum chronologischen Alter	52
Tabelle 7.11: Fishman-Methode: extremes Alter und durchschnittliches chronologisches Alter weiblicher Probanden	53
Tabelle 7.12: Fishman-Methode: extremes Alter und durchschnittliches chronologisches Alter weiblicher Probanden	54
Tabelle 7.13: Korrelationsvergleich skelettaler Reifebestimmungsmethoden zum chronologischen Alter bei Mädchen und Jungen	57

12 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Elf skelettale Reifeindikatoren (Fishmann, 1982).....	10
Abb. 2a:	Stellen der skelettalen Reifeindikatoren (Fishmann, 1982).....	11
Abb. 2b:	Röntgenologische Identifikation der Reifeindikatoren	11
Fig. 1:	Skelettale Maturation Index (SMI).....	13
Abb. 3:	Skelettale Reifebestimmung anhand der Handröntgen- aufnahme nach der Fishmann-Methode (skeletal maturation index)	14
Abb. 4:	Phasen der skelettalen Entwicklung nach Björk	15
Abb. 5:	Wachstumskurve nach Grave und Brown (1976)	17
Abb. 6:	Anatomische Skizze der Haxswirbel (Kahle, Leonhardt, Platzer, 1991)	20
Abb. 7:	Entwicklungsstadien nach O'Reilly (1988).....	23
Fig. 2:	Die sechs zervikalen Reifestadien nach Hassel und Farman (1995).....	24
Abb. 8:	Die sechs zervikalen Reifestadien nach Hassel und Farman (1995).....	25

Thesen

Die wesentlichen Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung können in folgenden Aussagen zusammengefasst werden:

1. Die skelettalen Reifebestimmungen an Handröntgenaufnahmen sowohl nach der Methode von Björk als auch nach Fishman korrelieren hoch miteinander.
2. Beide skelettalen Handröntgenauswertungsmethoden weisen eine hohe Korrelation zur skelettalen Reifebestimmung anhand der Halswirbel auf dem Fernröntgenseitbild auf. Die drei Methoden sind somit gleichwertig.
3. Anhand des für die kieferorthopädische Diagnostik ohnehin erstellten Fernröntgenseitbildes kann das skelettale Alter bestimmt werden.
4. Nach allen untersuchten Methoden besteht eine hohe Korrelation zwischen skelettalem und chronologischem Alter .
5. Bei den Jungen ist , im Vergleich zu den anderen skelettalen Reifebestimmungsmethoden, die Korrelation zwischen CVMI-Methode und dem chronologischen Alter am höchsten.
6. Bei den Mädchen ist die Korrelation nach allen drei angewandten Methoden zum chronologischen Alter ähnlich hoch. Da die Reifebestimmung anhand der Halswirbel bei beiden Geschlechtern eine hohe Korrelation zum chronologischen Alter aufweist, lässt sie sich in der Praxis anwenden.
7. Vom chronologischen Alter lässt sich allerdings nicht auf das skelettale Alter rückschließen. Auf die skelettale Reifebestimmung kann daher nicht verzichtet werden.
8. In ihrer skelettalen Reifung sind die Mädchen den Jungen zeitlich nach allen drei angewandten Methoden voraus.
9. Zusammenfassend lässt sich auf Grund der hohen Korrelation des CVMI zum chronologischen Alter und zu den andern Reifebestimmungsmethoden (Handröntgenauswertung nach Björk und nach Fishman) sagen, dass der CVMI in der Praxis angewendet werden kann.
10. Eine zusätzliche Handröntgenaufnahme zum Zwecke der Reifebestimmung in der Kieferorthopädie ist daher nicht zwingend erforderlich.
11. Dadurch können in der Praxis Kosten gespart werden.
12. Gleichzeitig bedeutet diese Vorgehensweise insbesondere eine geringere Strahlenbelastung für die Patienten.

Lebenslauf

Name	Hakim-Djavadi
Vorname	Haleh
geb. am	28.03.1971
Geburtsort	Teheran /Iran
Eltern	Dr. phil. Fatemeh und Dr. med. dent. Hamid Hakim-Djavadi
Familienstand	verheiratet
1976	Umzug in die Bundesrepublik Deutschland
1977-1981	Grundschule Hohenstaufenschule in Minden
1981-1990	Schulbesuch + Abitur am Ratsgymnasium in Minden
1990-1995	Studium der Zahnmedizin an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
1995	Staatsexamen
Sept. bis Dez. 1995	Zahnmedizinische Tätigkeit in Brasilien
1996- 1998	Weiterbildungsassistentin in einer kieferorthopädischen Praxis
1998-1999	Weiterbildungsassistentin am Karolinska Institut, Stockholm
Herbst 1999	Fachzahnarztprüfung zur Kieferorthopädin in Münster
seit 2000	In kieferorthopädischer Gemeinschaftspraxis in Minden niedergelassen.

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit von mir ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt und sie bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt worden ist.