

Aus der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
Poliklinik für Kieferorthopädie
der Universität Würzburg
Leiterin: Professor Dr. med. dent. A. Stellzig-Eisenhauer

**Wurzelwachstum und Zahndurchbruch
eine röntgenologische Studie an Prämolaren
und zweiten Molaren des Unterkiefers**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der
Medizinischen Fakultät
der
Bayerischen Julius-Maximilians-Universität zu Würzburg
vorgelegt von
Juliane Nennemann
aus Leipzig

Würzburg, Dezember 2006

Referent: Prof. Dr. med. dent. E. Witt

Koreferentin: Prof. Dr. med. dent. A. Stellzig-Eisenhauer

Dekan: Prof. Dr. med. M. Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 31. Mai 2007

Die Promovendin ist Zahnärztin.

Für meine Lieben

Inhaltsangabe

1	Einleitung	1
2	Literaturstudium zum Eruptionsprozess	3
2.1	Klinische Studien.....	6
2.2	Studien zur Geschlechtsspezifität.....	7
2.3	Röntgenologische Studien.....	9
2.4	Bewertung der Panoramaschichtaufnahmetechnik	11
3	Zielsetzung und Fragestellung	14
4	Patienten und Methoden	15
4.1	Untersuchungsmaterial.....	15
4.1.1	Patienten	15
4.1.2	Orthopantomogramme	17
4.2	Vermessungsmethode.....	18
4.2.1	Allgemeines.....	18
4.2.2	Referenzpunkte und -strecken	19
4.2.3	Digitale Vermessung	23
4.3	Statistik.....	26
5	Ergebnisse	27
5.1	Absolute Werte.....	27
5.2	Veränderungswerte	28
5.2.1	Altersabhängige Veränderungen.....	29
5.2.2	Quadrantenabhängige Veränderungen	35
5.2.3	Geschlechtsspezifische Veränderungen	38
5.2.4	Individuelle Veränderungswerte	45
6	Diskussion	47
6.1	Material und Methode.....	47
6.2	Diskussion der eigenen Ergebnisse	49
6.2.1	Altersabhängige Messwerte	49
6.2.2	Messwerte im Seitenvergleich.....	54
6.2.3	Geschlechtsspezifische Messwerte.....	55
7	Zusammenfassung der Arbeit	58

8 Literaturverzeichnis 60

9 Anhang 66

Danksagung

Lebenslauf

1 Einleitung

Zahnentwicklung, Kieferwachstum und Zahndurchbruch bilden eine funktionelle Einheit (HARZER und HETZER 1987), deshalb ist die Kenntnis der Variationsbreite der Gebissentwicklung für den Kieferorthopäden von besonderer klinischer Bedeutung. Das Wissen über den Reifezustand des kindlichen Gebisses, besonders der Zahnkeime, bildet eine entscheidende Voraussetzung für die Beobachtung des Zahnwechsels und eine erforderliche therapeutische Einflussnahme.

Da das chronologische, das skelettale und das dentale Alter häufig nicht übereinstimmen, ist es wichtig, das Mineralisationsstadium und die Position der Zahnkeime durch Röntgenaufnahmen zu bestimmen. Der Röntgenbefund ist von wesentlicher Bedeutung bei der Bewertung der Gebissentwicklung. Zu diesem Zweck finden heutzutage vor allem Panoramabilder Verwendung.

Mit Hilfe der Panoramaschichtaufnahmen können die Entwicklung, die Lage und der Durchbruchsstand der Zähne bestimmt und anhand der Mineralisation der Krone bzw. der Wurzel das Zahnalter festgelegt werden. Den wichtigsten Vorteil der Panoramaschichtaufnahme gegenüber den kleinen intraoralen Röntgenaufnahmen bilden der Übersichtscharakter und die erheblich reduzierte Strahlenbelastung des Patienten. Das Orthopantomogramm bietet nicht nur einen Überblick über Ober- und Unterkiefer, einschließlich der Kiefergelenke, der Nasenhöhle und der Nasennebenhöhlen und von Teilen der Orbitae (DASKALOGIANNAKIS 2003), sondern auch Vergleichsmöglichkeiten der Entwicklung der Zahnanlagen von Ober- und Unterkiefer sowie linker und rechter Kieferhälfte (HIRSCH 2000).

Die Beurteilung der Mineralisation von Krone und Wurzel und des sich vollziehenden Zahnwechsels ist für die kieferorthopädische Therapie von entscheidender Bedeutung. Bei der Planung der Art und Dauer und speziell des Anfangs und des Abschlusses der Behandlung ist es unerlässlich, das dentale Alter zu benennen.

Die diagnostische Einschätzung der Gebissentwicklung bei Kindern und Jugendlichen bildet in der Zahnmedizin, insbesondere im Fachgebiet der Kieferorthopädie, seit jeher eine wichtige Basis für die korrekten Therapieentscheidungen bei Fehlentwicklungen. Die Panoramaschichtaufnahme ist in diesem Zusammenhang zu einer unentbehrlichen Informationsquelle in der Kieferorthopädie geworden.

2 Literaturstudium zum Eruptionsprozess

Die Eruption ist nicht als ein unmittelbares Phänomen im Moment des Durchdringens des Zahnfleisches, sondern als eine kontinuierliche Aufwärtsbewegung der Zahnknospe zu sehen (DEMIRJIAN 1986). Auch SCHROEDER (1976) bezeichnete den Zahndurchbruch als denjenigen Prozess, welcher den sich entwickelnden Zahn aus seiner Lage innerhalb des Alveolarfortsatzes in die Okklusionsebene bewegt. Diesen Bewegungsablauf gliederte er in drei Phasen:

1. Stellungsänderungen, die ein Zahnkeim während der Entstehung der Zahnglocke durchmacht, gehören zur präeruptiven Bewegungsphase.
2. Der okklusal gerichtete Zahndurchbruch, der mit der Wurzelbildung einsetzt und bei Erreichen der Okklusionsebene endet, wird als präfunktionell-eruptive Bewegungsphase bezeichnet.
3. Alle Stellungsänderungen, die ein in Funktion stehender Zahn im Laufe seiner Existenz in der Mundhöhle durchläuft, sind Ausdruck der funktionellen, (post)-eruptiven Bewegungsphase.

Er beschrieb weiter, dass das Wurzelwachstum, die Proliferation der Hertwigschen Epithelscheide, die Bildung von Pulpagewebe, das Knochenwachstum am Fundus des knöchernen Kompartimentes und im Bereich der interradiikulären Septen sowie der Knochenanbau im Bereich der Alveolar-knochenkämme und die dort verankerten desmodontalen Fasern als die treibenden Kräfte angesehen werden, die den Zahn aus dem Kieferknochen hinausdrängen oder herausziehen würden.

Studien, vorwiegend an Nagetieren, so SCHROEDER (1976), führten jedoch zur Auffassung, dass auch beim Menschen die treibenden Kräfte des Zahndurchbruchs im Desmodontalgewebe zu suchen sind. 1991 fasste SCHROEDER die Literatur, die die Ätiologie und den zeitlichen Verlauf des Zahndurchbruchs beinhalten, zusammen.

Er konstatierte, dass Zahnbewegungen im Rahmen des Durchbruchs mit zwei sehr unterschiedlichen Geschwindigkeiten ablaufen.

Der erste Geschwindigkeitsbereich mit 1 – 10 $\mu\text{m}/\text{Tag}$ ist an die Raten der Knochenapposition und -resorption gebunden. Alle intraalveolären Bewegungen laufen mit einer Geschwindigkeit von höchstens 10 $\mu\text{m}/\text{Tag}$ ab. Somit bildet die Knochenumbaurate den limitierenden Faktor für den Durchbruch der Zähne innerhalb des Alveolarfortsatzes bzw. des Kieferknochens.

Der zweite Geschwindigkeitsbereich entspricht den extraalveolären Zahnbewegungen und den Wurzelverlängerungen und beträgt 10 – 40 $\mu\text{m}/\text{Tag}$. In dieser Phase bleibt die Geschwindigkeit nicht konstant. Sie folgt einem Gradienten, bei dem die Zähne nach kurzem Anlauf zunächst sehr rasch, dann aber mit zunehmender Annäherung an die Okklusionsebene immer langsamer durchbrechen.

CARLSON (1944) fand folgendes heraus:

1. Die Durchbruchsgeschwindigkeit ist größer als die Wurzelverlängerungsrate.
2. Die Zeitspanne des relativ raschen Durchbruchs erstreckt sich bis zum ersten Antagonistenkontakt, während sich danach die Durchbruchsgeschwindigkeit verlangsamt.
3. Die Durchbruchsrates sind für verschiedene Zähne verschieden groß.
4. Die Durchbruchsbewegung geht auch nach Abschluss der Apexbildung und nach Antagonistenkontakt weiter.

Die Frage nach dem Antrieb des Zahndurchbruchs wurde von MARKS und CAHILL (1984), MARKS, GORSKI, CAHILL, WISE (1988) und CAHILL, MARKS, WISE, GORSKI (1988) mit tierexperimentellen Studien an Hunden untersucht, da dieser Vorgang anhand von kontinuierlich durchbrechenden Nagetierzähnen nicht beobachtet werden kann. Es wurde zweifelsfrei nachgewiesen, dass die treibende Kraft der intraalveolär-präfunktionellen Phase des Durchbruchs das Zahnsäckchen ist. Der koronale Anteil des Zahnsäckchens steuert die Knochen- und Milchzahnresorption, während der apikale Anteil des

Zahnsäckchens die Knochenbildung im Rücken des durchbrechenden Zahns steuert und generiert. Knochenresorption und Knochenanbau, vom Zahnsäckchen veranlasst, sind der Motor, um den Zahnkeim – ob vital oder denaturiert, mit wachsender Wurzel oder ohne Wurzelbildung, natürlich oder metallisch/plastische Replik – nach oral zu verschieben.

Bei aller gebotenen Vorsicht hinsichtlich der Interpretation tierexperimenteller Ergebnisse in Bezug auf den Menschen ist doch die Tatsache zu beachten, dass auch menschliche Zähne im Einzelfall ohne Wurzel durchbrechen und die Okklusionsebene erreichen können. Das Wurzelwachstum ist zwar unabhängig vom Antriebsmotor des intraalveolären Durchbruchs, aber mit dem Zahndurchbruch koordiniert. Wird das Zahnsäckchen entfernt oder demineralisiert, bleibt der Zahnkeim stationär, die Wurzeln aber wachsen weiter und können durch Wachstumsdruck in den Knochen vorwachsen. Druck alleine reicht jedoch nicht aus, um den Eruptionspfad zu eröffnen. Sobald die Höckerspitzen den Alveolarkamm durchbrechen, verliert die Knochenresorption an Bedeutung, während die Knochenapposition im Rücken der Bewegung weitergeht.

Es scheint möglich (MARKS, GORSKI, CAHILL, WISE 1988), dass die hohe Geschwindigkeit der extraalveolären Phase des Durchbruchs auf einer Kombination von Knochenanbau und gleichzeitiger Wurzelverlängerung beruht. Das Zahnsäckchen würde also apikal den Knochenanbau regulieren, während das Wachstum der Wurzel die Krone mit erhöhter Geschwindigkeit der Okklusionsebene entgegen schiebt. Die Durchbruchsgeschwindigkeit kann also größer als die Wurzelverlängerung sein.

MARKS und SCHROEDER (1996) vertraten die Meinung, dass die koronale Bewegung des sich entwickelnden Zahns mit dem passiven Wurzelwachstum in den resultierenden Raum zusammen hängt. GORSKI und MARKS (1992) schlossen aus zahlreiche experimentellen Beweisen, dass Änderungen im Metabolismus des Alveolarknochens und im Parodont eine Schlüsselrolle im Zahndurchbruch spielen. Der Prozess des Zahndurchbruchs basiert auf Zellproliferation, Migration, Biosynthese und Umwandlung des dentalen Follikels.

Aufgrund der technischen Weiterentwicklung der Untersuchungsmethoden konnte dieses Thema neben vielen klinischen Studien vermehrt auch röntgenologisch untersucht werden.

2.1 Klinische Studien

GRØN (1962) untersuchte an 874 kaukasischen Kindern, inwieweit man die Zeit des Durchbruchs anhand der Wurzelentwicklung, der skelettalen Entwicklung und des chronologischen Alter abschätzen kann. Sie fand heraus, dass der Zahndurchbruch scheinbar mehr mit dem Stadium der Wurzelbildung als mit dem chronologischen und skelettalen Alter zusammenhängt.

An 2.648 Kindern im Alter von 4 bis 15 Jahren wurden von JANSON (1971) neben den Durchbruchszeiten auch die Geschlechtsspezifität und die Vergleichbarkeit der rechten und linken Kieferhälfte untersucht. Sie kam dabei unter anderem zu dem Resultat, dass die Mädchen im Zahndurchbruch den Knaben im allgemeinen zeitlich überlegen sind und der Durchbruch der einzelnen Zahnpaare der rechten und linken Seite unterschiedlichen Schwankungen unterworfen ist.

DEMIRJIAN (1985) veröffentlichte einen Bericht über die Beziehungen zwischen der somatischen, skelettalen, dentalen und sexuellen Reife an 50 französisch-kanadischen Mädchen im Alter zwischen 6 und 15 Jahren. Für jedes Kind wurden fünf Zeichen der physiologischen Reife – wie zum Beispiel die Menarche und das Erscheinen des Sesambeins – aufgezeichnet. Als Schlussfolgerung ergab sich, dass somatische, skelettale und sexuelle Reife zusammenhängen und vermutlich von einem gemeinsamen Mechanismus kontrolliert werden. Die dentale Entwicklung sei aber unabhängig von den anderen Systemen; bis auf wenige Variationen steht sie in Relation zum chronologischen Alter und scheint unabhängig kontrolliert zu sein.

HELM und SEIDLER (1974) untersuchten an annähernd 8.000 dänischen Kindern die Durchbruchszeiten der permanenten Zähne und die Geschlechtsspezifität. Beim Vergleich zwischen rechter und linker Kieferhälfte konstatierten sie, dass die Zähne sporadisch rechts oder links eher durch die Schleimhaut

brechen, aber keine systematische Tendenz zu erkennen sei. Mit unterschiedlichen zeitlichen Differenzen brachen bei den Mädchen alle Zähne eher durch als bei den Jungen.

KOCHHAR und RICHARDSON (1998) veröffentlichten einen Vergleich zwischen dem Zahndurchbruch mit vorzeitigem Milchzahnverlust und ohne einen solchen, zwischen Ober- und Unterkiefer, zwischen rechter und linker Kieferseite und zwischen Mädchen und Jungen. Sie untersuchten 276 Kinder im Alter zwischen 5 und 15 Jahren. Der vorzeitige Milchzahnverlust verzögerte die Eruption der bleibenden Nachfolger, eine Ausnahme bildeten jedoch die oberen Prämolaren, die beschleunigt durchbrachen. Es wurde kein signifikanter zeitlicher Unterschied zwischen rechter und linker Seite gefunden.

2.2 Studien zur Geschlechtsspezifität

Schon BERTEN (1895) erkannte in seiner Untersuchung an 3.345 Kindern im Alter zwischen 5,5 und 13,5 Jahren die Geschlechtsspezifität der Zahnentwicklung und betrachtete Mädchen und Jungen, Ober- und Unterkiefer sowie linke und rechte Kieferseite getrennt. Frühere Durchbruchzeiten stellte er bei Mädchen sowohl für den Unterkiefer als auch die linke Seite fest. Weiter zeigte er, dass der Zahndurchbruch in engem Zusammenhang mit der Verkalkung der Zähne steht. SCHOUR und MASSLER (1941) wiesen darauf hin, dass die Mädchen den Jungen chronologisch voraus sind. Diese Geschlechtsdifferenz nimmt nach FANNING (1961) mit dem Alter zu. Auch bei SCHOPF (1970) wurden die geschlechtsspezifischen Unterschiede deutlich demonstriert. In Bezug auf die vertikale Position der Zähne war im Unterkiefer bei allen Seitenzähnen eine frühere Entwicklung der Mädchen zu beobachten. In der Studie von HELM und SEIDLER (1974) betrug der Geschlechtsunterschied zwischen 2 und 11 Monate.

ADLER (1959) eruierte in 94,9% der Werte einen zeitlichen Vorsprung der Mädchen, wobei das Ausmaß des Vorsprungs an jedem Zahn verschieden war. JANSON (1971) ermittelte für Mädchen den größten Vorsprung mit 12,31 Monaten für den Zahn 35 und den mittleren Vorsprung bei den anderen Zähnen

mit drei bis sechs Monaten. Der geschlechtsspezifische Vorsprung wird von SCHWARZ (1952) bestätigt, jedoch mit der Einschränkung, dass es zahlreiche Knaben gibt, die einzelnen Mädchen im gleichen chronologischen Alter voraus sind.

In einer Untersuchung von KAHL und SCHWARZE (1988) an 993 Panoramaschichtaufnahmen von Kölner Patienten im Alter von 5 bis 24,5 Jahren manifestierte sich der Entwicklungsvorsprung vor allem im Alter von 8,7 bis 12,8 Jahren und reichte von 0,1 bis 2,6 Jahre.

In seiner Dissertation gab KRETSCHMER (1994) an, dass sich die Zähne von Mädchen und Jungen bis zum 5. Lebensjahr gleich entwickeln. In der weiteren Entwicklung gewannen die Mädchen einen Vorsprung, der mit 12 Jahren seinen Höhepunkt erreichte. Die Jungen lagen zu diesem Zeitpunkt ein Jahr zurück. Sie erreichten ihren höchsten Reifungsgrad mit vierzehn Jahren.

Ähnliche Ergebnisse publizierten auch DEMIRJIAN und LEVESQUE (1980). Sie bestätigten, dass bis zum 5. und 6. Lebensjahr keine zeitlichen Unterschiede in der Zahnentwicklung zwischen Jungen und Mädchen zu finden waren. In den folgenden Jahren aber waren die Mädchen immer weiter entwickelt als die Jungen. Die Autoren verglichen weiter Durchbruchkurven mit Zahnentwicklung und stellten eine enge Beziehung zwischen Status der Zahnbildung und der Eruption fest. Auch 1986 bestätigte DEMIRJIAN den zeitlichen Vorsprung der Mädchen in Bezug auf den Zahndurchbruch. GARN, LEWIS, KOSKI, POLACHEK (1958) untersuchten an 255 weißen Kindern aus Ohio die geschlechtsspezifischen Unterschiede in der Zahnkalzifikation. Im Allgemeinen waren die Mädchen in Bezug auf die Kalzifikation und Eruption den Jungen um 4 bis 10 Monate voraus. In fast allen gefundenen Publikationen herrscht klare Übereinstimmung zum Thema Geschlechtsspezifik bei den Zahnungsdaten dahingehend, dass die Mädchen den Jungen bezüglich des Zahnwechsels voraus sind.

2.3 Röntgenologische Studien

Die Röntgentechnik bietet neben der klinischen Untersuchung des Zahndurchbruchs eine Möglichkeit zur Beurteilung des gesamten Entwicklungsvorgangs aller im Kieferknochen liegenden Zahnkeime (HIRSCH 2000).

SCHOPF (1970) veröffentlichte eine Arbeit, in der er Orthopantomogramme von 350 Kindern im Alter zwischen 6 bis 13 Jahren untersuchte. Die Auswertung beschränkte sich auf die Mineralisations- und Positionsstufen der Eckzähne, Prämolaren und zweiten Molaren. Die Positionsbeurteilung der Eckzähne erfolgte in anderer Weise als für die restlichen Seitenzähne. Bei letzteren bot sich der Sechsjahrmolar als Bezugsobjekt für die Vertikalentwicklung der Prämolaren und zweiten Molaren an. Für jeden Zahn wurden die Werte getrennt nach Altersklassen und Geschlecht addiert und der Mittelwert gebildet. Zwischen Mineralisations- und Positionswerten bestand eine statistisch gesicherte Abhängigkeit.

DEMIRJIAN (1973) entwickelte eine neue Methode zur Bestimmung der dentalen Reife oder des Zahnalters an Panoramaröntgenbildern von 1.446 Jungen und 1.483 Mädchen. Dabei untersuchte er die 7 Zähne der linken Seite des Unterkiefers und bestimmte für jeden Zahn 8 Stadien – vom ersten Erscheinen eines kalzifizierten Punktes bis zum Verschluss des Apex.

Eine Aktualisierung der Dentitionstabelle von SCHOUR und MASSLER (1941) nahmen KAHL und SCHWARZE (1988) vor. Ihnen standen 993 Panoramasaufnahmen von Patienten im Alter von 5 bis 24,5 Jahren zur Verfügung. Laut dieser Untersuchung waren die Mädchen den Jungen in der Zahnentwicklung voraus. Der Rechts-Links-Vergleich zeigte keine eindeutigen Entwicklungstendenzen. HEGDE und SOOD (2002) untersuchten 197 Orthopantomogramme von Kindern nach der Methode von DEMIRJIAN (1973), um zu klären, ob sie zur Beurteilung des chronologischen Alters auch bei diesen Kindern anwendbar sei. Die Methode bewies eine hohe Genauigkeit.

GARN, LEWIS, SHOEMAKER (1956) untersuchten die Kalzifikation von unteren Molaren und Prämolaren anhand der Röntgenbilder von 359 weißen Kindern aus Ohio im Alter von einem Monat bis 15 Jahren. Die unteren 6er, 4er und 8er zeigten die initiale Kalzifikation als erste, zweite und letzte. Die Kalzi-

fikation der 5er und 7er variierte in ihrem Erscheinen. Oft begann diese zur gleichen Zeit.

THANYAKARAN, HANSEN, ROHLIN, AKESSON (1992) verglichen in ihrer Studie die aktuellen Längen von 64 extrahierten Zähnen mit den radiographischen Längen der untersuchten Zähne in Panoramaaufnahmen. Dabei wurden obere 6er, 5er und untere 5er verwendet. Sowohl die Messungen der aktuellen Zahnlänge als auch die Messungen der radiographischen Zahnlänge wurden von einem Untersucher zweimal im Intervall von einem Monat durchgeführt. Die mittleren Differenzen zwischen den jeweiligen Messungen waren gering und betrugen zwischen 0,47% und 1,16% bei den aktuellen Messungen und zwischen 0,13% und 0,21% bei den radiographischen Messungen. Die vertikale Vergrößerung bei den Panoramaaufnahmen war bei unteren Prämolaren geringer (13 – 15%) als bei den oberen zweiten Prämolaren und den ersten Molaren (17 – 28%). Die stärkste vertikale Vergrößerung ergab sich bei der palatinalen Wurzel der oberen ersten Molaren. Auch LIVERSIDGE und MOLLESON (1999) fanden keinen Längenunterschied zwischen den aktuellen und den radiographischen Längen von 354 untersuchten Zähnen.

FANNING (1961) untersuchte an 99 Röntgenbildern die Veränderungen der Zähne während deren Bildung, speziell den Beginn der Kalzifikation, die Gestaltung der Knospe und die Bildung der Krone und Wurzel. Sie fand heraus, dass das Ausmaß des Wachstums sich verlangsamte, sobald die Krone fertig entwickelt war und die Entwicklung der Wurzel begann. Anschließend beschleunigte sich die Entwicklung, solange der Zahn im aktiven Durchbruch war. Das Tempo ließ nach, als die Wurzelentwicklung beendet war. Der klinisch sichtbare Zahndurchbruch der permanenten Dentition geschah im Zeitintervall, als die Wurzel zu 2/3 entwickelt war, bis zum apikalen Verschluss. Ein Zahn bricht nicht eher durch, bevor die Hälfte der Wurzel entwickelt ist, so stellte FANNING (1961) fest.

Ein gänzlich anderes Ziel verfolgte LEW (1992) in seiner Untersuchung zur Qualität der Vorhersage der Eruptionssequenz mittels Panoramiaschichtaufnahmen in der frühen Wechselgebissphase. Anhand von 78 Orthopantomogrammen von primär gesunden Mädchen zwischen dem 7. und 9. Lebensjahr,

bei denen die Eckzähne und Prämolaren noch nicht eruptiert waren, wurden in Zeitabständen von drei bis vier Monaten die Eruptionssequenzen der Zähne der zweiten Wechselgebissphase ermittelt. Unter Zugrundelegung der Studien von MOYERS (1988), die ergaben, dass Eckzähne zum Eruptionszeitpunkt das Wurzelwachstum zu 70%, Prämolaren zu 50% und Molaren zu 25 – 40% abgeschlossen haben, sowie der Untersuchung von FANNING (1962), wonach ein Eckzahn vom ersten Viertel bis zur halben ausgebildeten Wurzel durchschnittlich 2 Jahre, ein Prämolare aber nur 1,7 Jahre benötigt, dann aber für die Bildung des nächsten Wurzelviertels sowohl Eckzähne als auch Prämolaren nur ca. 1,3 Jahre benötigen, konnte LEW (1992) aus den im Ausgangsorthopantomogramm erkannten Entwicklungsstadien die etwaigen Zeitspannen bis zum Zahndurchbruch ermitteln. Diese Ergebnisse wurden berechnet und mit den realen klinisch eruierten Durchbruchsequenzen verglichen. Dabei stellte sich für alle vier Quadranten eine 95,8prozentige Übereinstimmung der errechneten und der tatsächlich abgelaufenen Zahnungsfolge heraus.

FANNING (1962) und MOORREES, FANNING, HUNT (1963) hielten eine Vorhersage des Zahndurchbruchs unter Zugrundelegung der Wurzellänge für nicht möglich. Sie machten darauf aufmerksam, dass die Eruption nur eine kurze Phase der Zahnentwicklung sei. Ihr Ziel war es, Normen für die Zahnbildung zu erstellen. Dafür benutzten sie intraorale Röntgenaufnahmen von 99 Kindern und schräglaterale Kieferaufnahmen von 246 Kindern. Die permanenten Zähne wurden in 14 Entwicklungsstadien, sechs Kronen-, sechs Wurzel- und sechs Apexstadien eingeteilt. Sie konstatierten, dass die Zeitspanne zwischen initialer Kalzifikation und kompletter Krone 2,1 bis 3,5 Jahre und die Dauer des Wurzellängenwachstums 3,3 bis 4,5 Jahre betrug.

2.4 Bewertung der Panoramaschichtaufnahmetechnik

Die von PAATERO (1952) vorgestellte Panoramaschichtaufnahme hat in sämtlichen Gebieten der Zahnheilkunde einen unschätzbaren Wert erlangt. JUNG (1962) und FLEISCHER-PETERS (1963) beschrieben die Vorteile der Panoramaröntgenaufnahme und bestätigten den unverzichtbaren Einsatz im klinischen Alltag. SCHOPF (1969) betonte die besondere Bedeutung der

Auswertung der Panoramaaufnahmen bei der Beurteilung der Mineralisation und Position der Zähne, insbesondere die Möglichkeit des Seitenvergleichs und der Darstellung der zweiten und dritten Molaren. Ebenso hob HIRSCHFELDER (1982) die Bedeutung der Darstellung beider Kiefer auf einer Aufnahme hervor, die es ermöglicht, die Mineralisation und den Entwicklungsstand der bleibenden Zahnkeime zu beurteilen und ihre vertikale Position und Durchbruchrichtung abzuschätzen. DUTERLOO (1992) kritisierte die fehlende Standardisierbarkeit im Hinblick auf wissenschaftliche Longitudinalstudien. Für klinische Übersichtsaufnahmen, Querschnittsstudien zu Wachstum und Entwicklung des Gebisses und für Zahnalterbestimmung gab er jedoch keine Einschränkungen an.

Die Studie zur metrischen Analyse von Panoramaröntgenbildern von ZÄSCHKE und SCHOPF (1975) befasste sich mit der Frage, ob die Forderung nach reproduzierbaren Aufnahmebedingungen mit ausreichender Genauigkeit erfüllt werden kann. Von 51 Probanden wurden je 2 Orthopantomogramme im Abstand von etwa 8 Tagen hergestellt und ausgewertet. Die zum Teil erheblichen Abweichungen zeigten, dass trotz sorgfältiger Einstellung der Röntgentechnik die Forderung nach situationsgleichen Röntgenbildern nicht zu erfüllen war. Auch WANGERIN (1982) hielt eine metrische Analyse der Panoramamaschichtaufnahme wegen der unterschiedlich vergrößerten und verzerrten Bildanteile für äußerst problematisch.

Zwei Jahre später analysierte WANGERIN (1984) die Problematik der Objektdoppeldarstellung in der Panoramamaschichtaufnahme. Die Vermeidung solcher Doppeldarstellungen sei anzustreben, jedoch nicht in allen Fällen möglich. Nach SCHOPF (1966) ist der Vergrößerungsfaktor im anterioren Bereich etwas kleiner als im posterioren Bereich. Die Tatsache, dass es keine einheitliche Vergrößerung für die vertikalen und horizontalen Strecken gibt und dass die Verzerrung der vertikalen Strecken nicht genau erfasst werden kann, verbietet die Anwendung des Orthopantomogramms zur quantitativen Analyse des Zahn- und Knochenbestandes. Vielmehr sollte angestrebt werden, qualitative Studien durchzuführen, die den Zahnbestand in Relation erfasst (DAHAN 1974).

MARXER (1985) war der Meinung, dass das Orthopantomogramm als Übersichtsbild dem erfahrenen Untersucher in Kombination mit klinischen

Befunden und anderen Röntgenbildern recht gute Informationen vermittele, für kephalometrische Messungen allerdings nicht geeignet sei, da die Variabilität der Bildqualität zu groß ist. BRINGEWALD (1982) untersuchte die typischen Fehler in der Panoramaschichtaufnahme und deren Vermeidung. Die größten Probleme ergaben sich bei Kindern und älteren Patienten, denen es manchmal unmöglich ist, längere Zeit in Zwangslagen zu verweilen. Wenn der Patient nicht korrekt positionier- und fixierbar ist, nicht ruhig stehen und sitzen kann oder Fremdkörper am Patienten stören, dann wird eine vollständige Übersicht erschwert oder sogar unmöglich.

Auch KRETER, LINTEL-HÖPING, WANDERS (1982) untersuchten 663 Orthopantomogramme in 6 Praxen anhand von Fehlerlisten, die für die Untersuchung erstellt wurden. Auffallend war, dass annähernd die Hälfte der Fehler ihre Ursache darin hatten, dass der Patient im Gerät falsch positioniert war. LARHEIM, SVANAES, JOHANNESSEN (1984) stellten in ihrer Studie über die Reproduzierbarkeit von Röntgenbildern mit dem Siemens OP 5 in Bezug auf das Vermessen von Zahnängen Messfehler zwischen 0,43 mm bis 0,56 mm fest. Sie konstatierten, dass die Hauptursache für die Messfehler im unsicheren Wiedererkennen der Referenzpunkten liege.

3 Zielsetzung und Fragestellung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, den Zusammenhang zwischen Vertikalentwicklung, d.h. der Durchbruchsbewegung von Zähnen bzw. von Zahnkeimen und Wurzelwachstum, zu untersuchen. Dafür wurden zweite Prämolaren und zweite Molaren des Unterkiefers ausgewählt. Für den Fall der Nichtanlage von zweiten Prämolaren gelangten die ersten Prämolaren zur Auswertung.

Folgende Fragestellungen sollten untersucht werden:

1. Wächst die Zahnwurzel in einem bestimmten Alter besonders stark und hat dies auch zur Folge, dass der entsprechende Zahn sich schneller Richtung Mundhöhle bewegt?
2. Welche Unterschiede gibt es dabei zwischen Prämolaren und zweiten Molaren des Unterkiefers?
3. Gibt es einen signifikanten Unterschied zwischen rechter und linker Kieferhälfte oder kann man von einer symmetrischen Entwicklung ausgehen?
4. In welcher Form stellen sich geschlechtsspezifische Unterschiede dar und in welchem Alter sind diese besonders auffallend?

4 Patienten und Methoden

4.1 Untersuchungsmaterial

4.1.1 Patienten

In dieser Arbeit wurden von 100 Patienten (59 Mädchen und 41 Jungen) 238 Panoramaschichtaufnahmen metrisch vermessen sowie quadranten- und geschlechtsspezifisch interpretiert. Das verwendete Patientengut entstammt der Poliklinik für Kieferorthopädie der Zahn-, Mund- und Kieferklinik der Universität Würzburg. Es handelt sich um Röntgenbilder von Kindern und Jugendlichen, die während oder nach Abschluss kieferorthopädischer Therapien aufgenommen wurden. Syndrompatienten oder Patienten mit vorzeitigem Milchzahnverlust und sekundärem Platzmangel wurden von der Studie ausgeschlossen. Der Name, das Geburtsdatum und das Datum der Aufnahmen der Röntgenbilder wurden erfasst und die Messdaten erhielten eine kodierte Nummer.

Von jedem Patienten mussten mindestens zwei Orthopantomogramme vorliegen, die in einem zeitlichen Abstand von mindestens 12 Monaten und höchstens 24 Monaten aufgenommen worden waren. Die Patienten waren zum Zeitpunkt der ersten Röntgenaufnahme zwischen 8 und 14 Jahren alt.

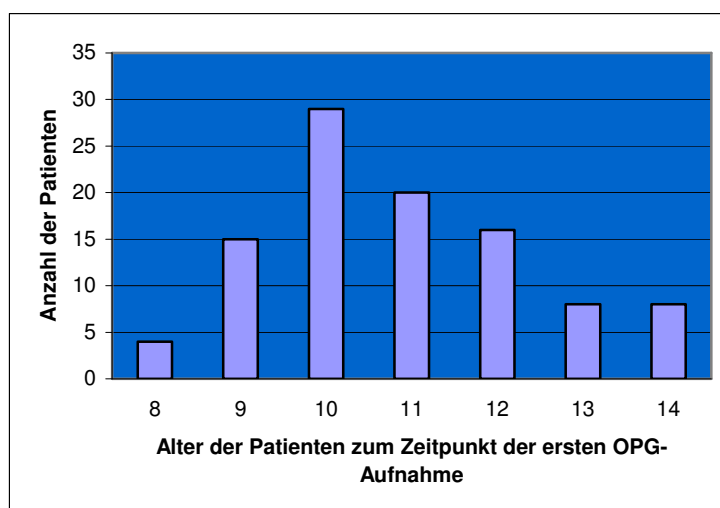


Abb. 1: Alter zum Zeitpunkt der jeweils ersten Röntgenaufnahme

Da in dieser Arbeit Veränderungen in Intervallen, also in dem Zeitraum zwischen den Röntgenaufnahmen untersucht wurden, erfolgte eine Einteilung der Patienten in gemittelte, gerundete Altersgruppen.

Erstes Beispiel:

Alter bei der ersten Röntgenaufnahme: 10 Jahre/6 Monate

Alter bei der zweiten Röntgenaufnahme: 11 Jahre/9 Monate

Daraus ergibt sich das gemittelte Alter von 11,25 Jahren. Dies wird gerundet und der Patient dem Zeitintervall 11 zugeordnet.

Zweites Beispiel:

Alter bei der ersten Röntgenaufnahme: 12 Jahre/9 Monate

Alter bei der zweiten Röntgenaufnahme: 14 Jahre/5 Monate

Daraus ergibt sich das gemittelte Alter von 13,7 Jahren. Dies wird gerundet und der Patient dem Zeitintervall 14 zugeordnet.

Herangezogen wurde das Alter am Anfang und am Ende eines Intervalls, also das Alter bei der ersten und das Alter bei der zweiten Messung, das Alter bei der zweiten und dritten Messung oder das Alter bei der dritten und vierten Messung. Daraus wurde jeweils der Mittelwert gebildet und auf- oder abgerundet.

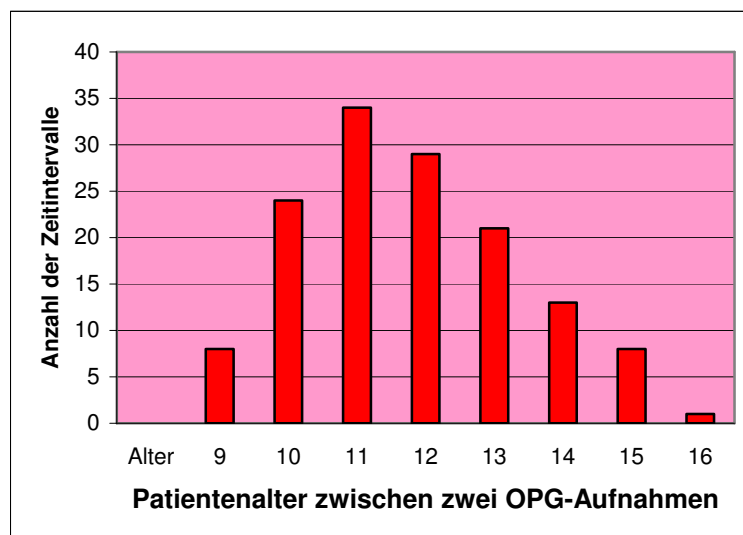


Abb. 2: Verteilung der Zeitintervalle (Alter zwischen zwei OPG-Aufnahmen)

4.1.2 Orthopantomogramme

Um das Wurzelwachstum und den Eruptionsprozess der unteren Prämolaren und der unteren zweiten Molaren metrisch zu untersuchen, wurden 238 Orthopantomogramme ausgewertet. Sie entstanden in der Röntgenabteilung der Zahnklinik Würzburg und wurden von drei Mitarbeitern hergestellt.

Von 1988 (früheste ausgewertete Aufnahme dieser Arbeit) bis 1993 wurde in der Zahnklinik Würzburg mit dem Orth Oralix FD (Firma Phillips) gearbeitet. Ab 1993 wurden der Orthophos plus der Firma Siemens und ab 1997 auch der Gendox Oralix multiscan ceph der Firma Phillips verwendet.

Zur Vermessung dienten Kopien der Originalorthopantomogramme, die sowohl in dem der Poliklinik für Kieferorthopädie zugehörigen Foto- und Röntgenlabor, als auch in der Röntgenabteilung der Klinik hergestellt wurden.

Auf den verwendeten Orthopantomogrammen sollten die unteren Prämolaren und zweiten Molaren gut und deutlich abgebildet sein. Dabei mussten die Kronen der Prämolaren auf dem ersten Röntgenbild eines jeden Patienten fertig ausgebildet bzw. durften die Wurzeln nicht weiter als zu $2/3$ entwickelt sein. Es konnten nur solche Röntgenbilder berücksichtigt werden, bei denen sowohl das erste und zweite, zweite und dritte, als auch das dritte und vierte Bild annähernd die gleiche Vergrößerung aufwiesen. Überprüft wurde das anhand der Länge der mesialen Wurzel des unteren ersten Molaren der rechten und linken Seite, die auf der ersten Aufnahme vollständig entwickelt sein mussten. Die maximale Längenabweichung durfte bis einem Millimeter betragen. Aufgrund dieser strengen Auswahl konnten viele Orthopantomogramme, somit Patienten, nicht in die Studie aufgenommen werden. Es wurden mindestens zwei und höchstens vier aufeinander folgende Röntgenbilder eines Patienten vermessen.

4.2 Vermessungsmethode

4.2.1 Allgemeines

Es fand eine erste manuelle und darauf folgend eine digitale Vermessung der Orthopantomogramme statt. Vor Beginn der eigentlichen Markierungen und Vermessungen wurde immer die Länge der mesialen Wurzel (L1/L2) der unteren ersten Molaren der rechten und linken Seite gemessen, um eine Vergrößerungsabweichung zwischen den verschiedenen Aufnahmen eines Patienten zu erkennen und um sicher zu gehen, dass das Wachstum des 6-Jahr-Molars abgeschlossen war. Weiterhin sollte dieses Auswahlkriterium Vergrößerungen und Verzerrungen durch falsche Positionierung des Patienten während der Aufnahme weitestgehend ausschließen. Konnte eine Abweichung größer als ein Millimeter bei allen Aufnahmen eines Patienten ausgeschlossen werden, wurde eine Tangente an die Höckerspitzen der unteren ersten Molaren gelegt. Diese stellte die konstante okklusale Bezugsebene dar (siehe Abb. 3).

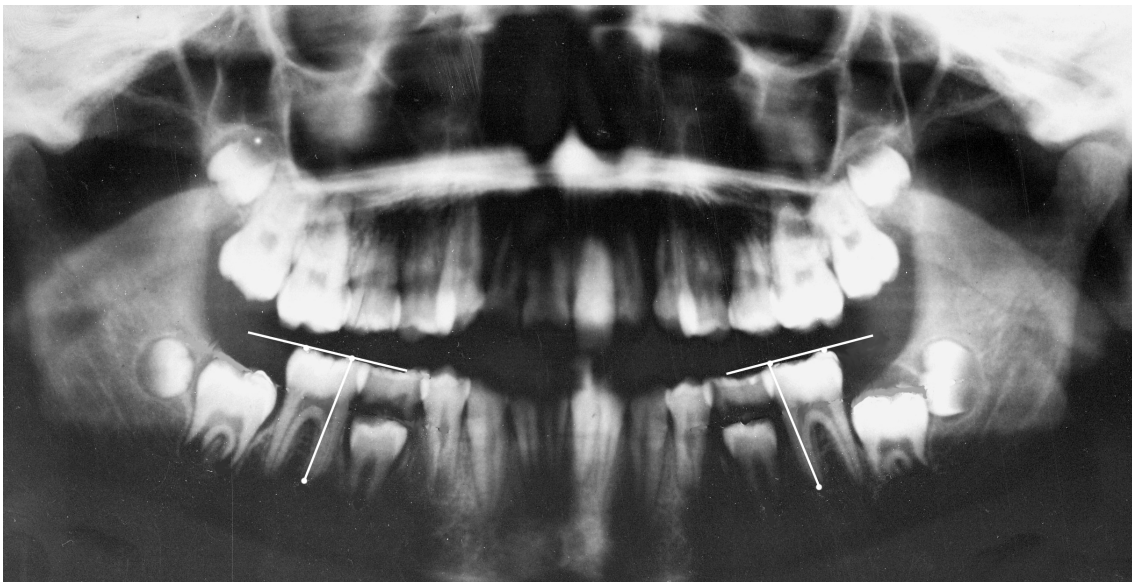


Abb. 3: Länge der mesialen Wurzel (L1/L2) der 6-Jahr-Molaren mit okklusaler Bezugsebene

Wenn die unteren Prämolaren und zweiten Molaren diese Ebene im Laufe der vertikalen Bewegung erreicht oder überschritten hatten, galt der Zahn als durchgebrochen. Eine Überschreitung der hier gewählten Bezugsebene im Laufe der Vertikalbewegung wurde bei den Berechnungen zum vertikalen Wachstum des Zahns additiv berücksichtigt.

Bei 4 Patienten (3 Mädchen, 1 Junge) gab es eine Nichtanlage der unteren zweiten Prämolaren. In diesen Fällen wurde der erste Prämolare zur Vermessung herangezogen. Bei Überlagerungen beziehungsweise moderaten Doppelstellungen der Höckerspitzen erfolgte eine Mittelung der Röntgenkontur.

Da das Wurzelwachstum bei allen Zähnen erst ca. 3 Jahre nach Durchbruch in die Mundhöhle beendet ist, wurde die auf den Orthopantomogrammen sichtbare apikale Kalzifizierung unabhängig vom Abschluss als Wurzelspitze markiert. Wenn das Foramen apikale noch offen war, wurde die Mitte der sich bildenden Wurzel als Referenzpunkt markiert.

4.2.2 Referenzpunkte und -strecken

Die Referenzstrecken wurden, wie in folgender Legende zu sehen, mit Buchstaben bezeichnet, die in den Tabellen und Grafiken wiederkehren. In den Orthopantomogrammen eines jeden Patienten wurde die jeweilige Länge des Zahns von der Höckerspitze zur Wurzelspitze gemessen. Da die Krone fertig entwickelt sein muss, wird bei der Untersuchung der Veränderungen vom Wurzelwachstum gesprochen.

Legende der Referenzstrecken

a	Abstand der Höckerspitze zur „Wurzelspitze“ – entspricht dem Wurzelwachstum des Zahns 45
b	Abstand der Höckerspitze zur okklusalen Bezugsebene – entspricht der Vertikalbewegung des Zahns 45
c	Abstand der Höckerspitze zur „Wurzelspitze“ – entspricht dem Wurzelwachstum des Zahns 35
d	Abstand der Höckerspitze zur okklusalen Bezugsebene – entspricht der Vertikalbewegung des Zahns 35
e	Abstand zwischen mesialer „Wurzelspitze“ und mesialer Höckerspitze – entspricht dem Wurzelwachstum des Zahns 47
f	Abstand der mesialen Höckerspitze zur okklusalen Bezugsebene – entspricht der Vertikalbewegung des Zahns 47
g	Abstand zwischen mesialer „Wurzelspitze“ und mesialer Höckerspitze – entspricht dem Wurzelwachstum des Zahns 37
h	Abstand der mesialen Höckerspitze zur okklusalen Bezugsebene – entspricht der Vertikalbewegung des Zahns 37
L1/L2	Abstand von mesialer Höckerspitze zu mesialer Wurzelspitze der unteren ersten Molaren –Vergleichskriterium des Vergrößerungseffektes zweier Orthopantomogramme eines Patienten

Prämolaren

Zunächst wurden bei den Prämolaren die aktuelle Wurzelspitze und die Höckerspitze markiert und die beiden Referenzpunkte miteinander verbunden. Diese Strecke von der Wurzelspitze zur Höckerspitze entspricht dem Wurzelwachstum und wird im Folgenden mit „c“ im III. und mit „a“ im IV. Quadranten definiert. Anschließend wurde eine Messstrecke im rechten Winkel von der okklusalen Bezugsebene zum Höckerspitzenmesspunkt gezogen, die dann der Vertikalbewegung des Zahnes entspricht und im Folgenden mit „d“ im III. und mit „b“ im IV. Quadranten definiert ist.

a	Abstand der Höckerspitze zur „Wurzelspitze“ – entspricht dem Wurzelwachstum des Zahns 45
b	Abstand der Höckerspitze zur okklusalen Bezugsebene – entspricht der Vertikalbewegung des Zahns 45
c	Abstand der Höckerspitze zur „Wurzelspitze“ – entspricht dem Wurzelwachstum des Zahns 35
d	Abstand der Höckerspitze zur okklusalen Bezugsebene – entspricht der Vertikalbewegung des Zahns 35

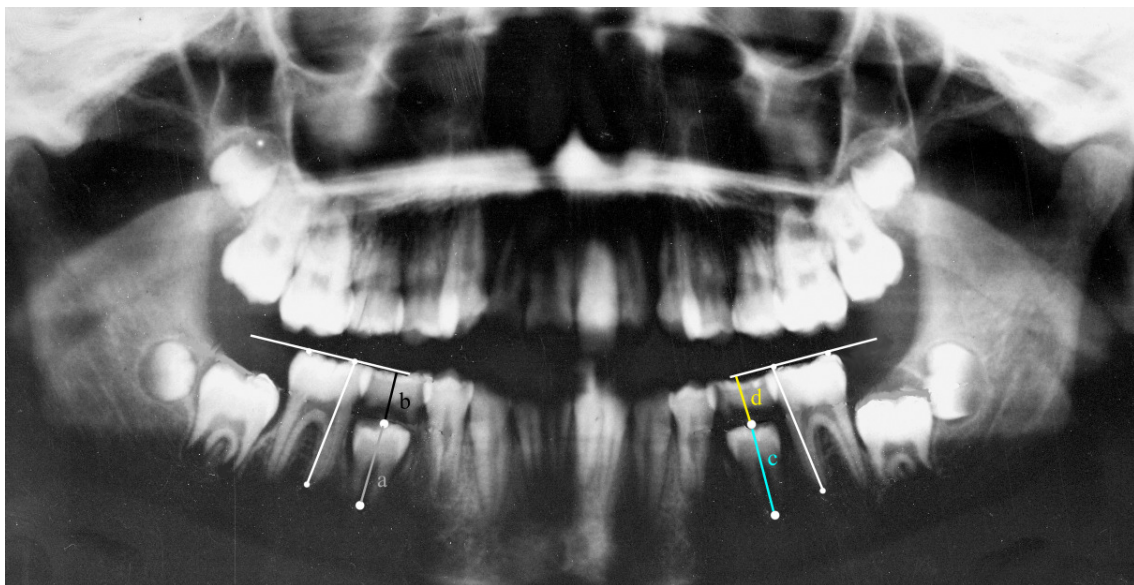


Abb. 4: Markierungen der unteren Prämolaren

Molaren

Bei den unteren zweiten Molaren wurden die mesiale Wurzelspitze und die mesiale Höckerspitze markiert und miteinander verbunden. Diese Strecke entspricht dem Wurzelwachstum und wird im Folgenden mit „g“ im III. und mit „e“ im IV. Quadranten definiert.

Die Vertikalbewegung des Zahns wurde ebenfalls durch die Strecke von mesialer Höckerspitze im rechten Winkel zur okklusalen Bezugsebene gekennzeichnet und im Folgenden mit „h“ im III. und mit „f“ im IV. Quadranten definiert.

e	Abstand zwischen mesialer „Wurzelspitze“ und mesialer Höckerspitze – entspricht dem Wurzelwachstum des Zahns 47
f	Abstand der mesialen Höckerspitze zur okklusalen Bezugsebene – entspricht der Vertikalbewegung des Zahns 47
g	Abstand zwischen mesialer „Wurzelspitze“ und mesialer Höckerspitze – entspricht dem Wurzelwachstum des Zahns 37
h	Abstand der mesialen Höckerspitze zur okklusalen Bezugsebene – entspricht der Vertikalbewegung des Zahns 37

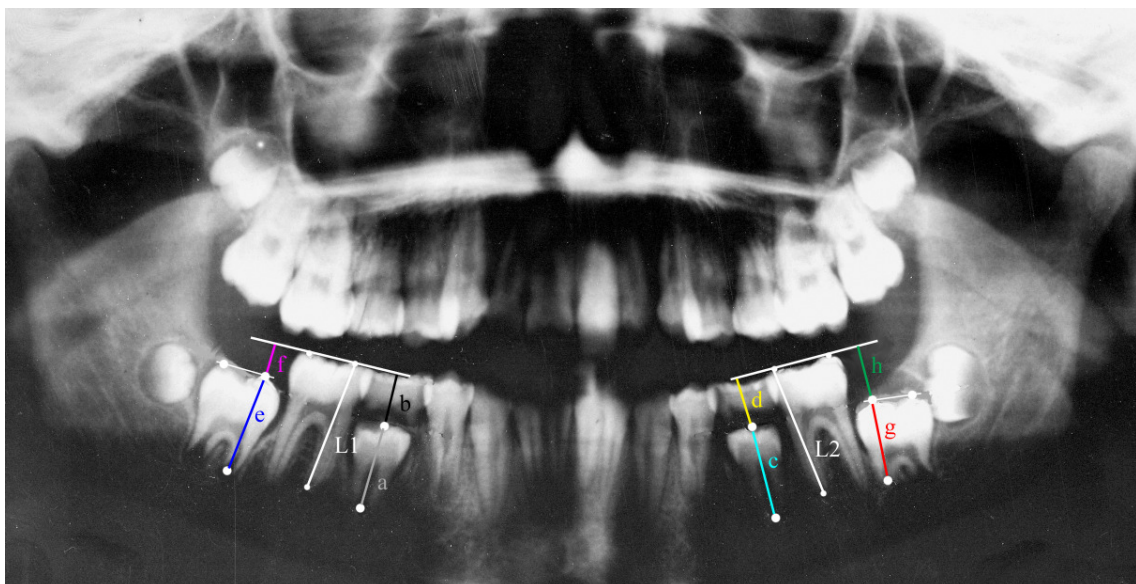


Abb. 5: Markierungen der unteren zweiten Molaren

Die manuelle Vermessung fand immer nach entsprechender Messpunktmarkierung mit einem Röntgenmarker auf einem Röntgenbildbetrachtungsgerät statt. Alle Referenzstrecken wurden mit einer KFO-Schiebelehre vermessen und in entsprechende Tabellen übertragen. Nach der manuellen Erstvermessung wurde die digitale Vermessung zum Vergleich herangezogen.

4.2.3 Digitale Vermessung

Um genauere Messungen vornehmen zu können und Messfehler zu minimieren, wurden sowohl das Markieren der Referenzpunkte als auch die Messungen zweimal durchgeführt. Die Röntgenbilder wurden beim zweiten Mal mit einem Zirkel an den entsprechenden Referenzpunkten durchstochen.

Wenn bei dieser Messung Abweichungen zur ersten auftraten, wurde ein drittes Mal gemessen. Ein eigens für die Studie entwickeltes Computerprogramm (Keph 30) ermöglichte eine digitale Vermessung mittels Digitizer. Für die erneute Erfassung aller Daten wurde die kodierte Nummer der Patienten beibehalten. Die Daten wurden in zum Programm gehörende Tabellen aufgenommen (siehe Abb. 6). Vermessungen und die durchbruchsbedingten Lageänderungen der Zähne bzw. Zahnkeime wurden graphisch im Verhältnis 2:1 dargestellt (siehe Abb. 7). Für die statistische Auswertung wurden die Ergebnisse der digitalen Vermessung herangezogen.

Datum	Zeitspanne	47			44 oder 45			46	36	34 oder 45			37						
		e	Diff.	f	Diff.	a	Diff.	b	Diff.	l1	l2	c	Diff.	d	Diff.	g	Diff.	h	Diff.
06.08.1996	-	11.2	-	10.7	-	9.0	-	17.6	-	28.3	27.3	9.5	-	16.7	-	11.1	-	10.6	-
20.01.1998	17 Monate	18.8	7.6	7.2	-3.5	11.7	2.7	15.2	-2.4	27.9	28.0	12.2	2.7	14.9	-1.8	18.9	7.8	8.7	-1.9
22.04.1999	15 Monate	21.9	3.1	2.4	-4.8	16.0	4.3	13.6	-1.6	28.3	27.2	16.3	4.1	13.7	-1.2	22.1	3.2	2.2	-6.5
Gesamt:	33 Monate		10.7		-8.3		7.0		-4.0				6.8		-3.0		11.0		-8.4

Abb. 6: Tabelle des Programms Keph 30

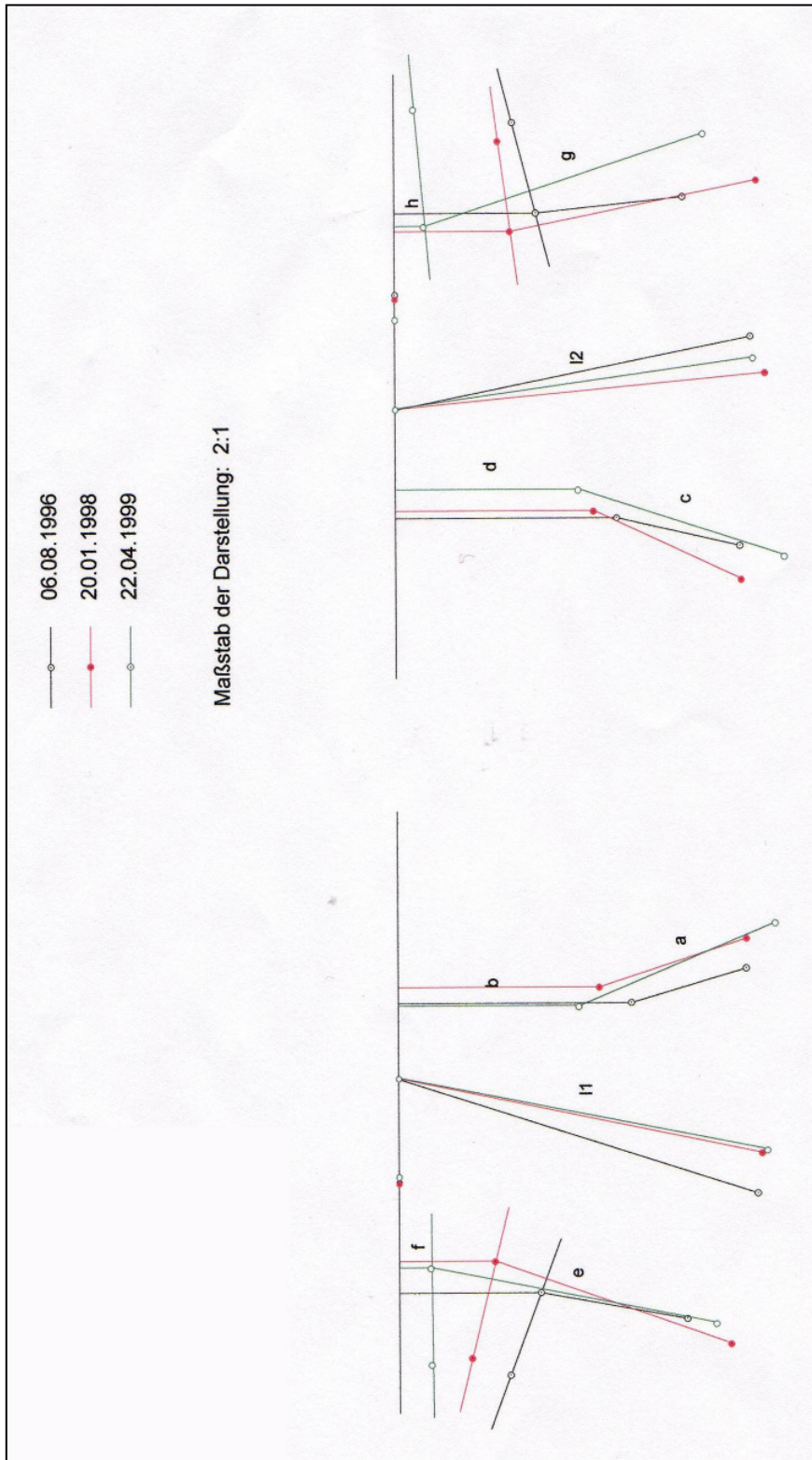


Abb. 7: Graphische Darstellung des Programms Keph 30

4.3 Statistik

Die aus den 238 Orthopantomogrammen ermittelten Rohdaten wurden unter MS Excel erfasst. Dies geschah manuell und wurde von einer zweiten Person kontrolliert.

Zur statistischen Datenanalyse erfolgte die Übergabe an das Statistik-Programm SPSS für Windows. Mit diesem wurden einzelne Messwerte sowie die daraus abgeleiteten Differenzwerte anhand von Kenngrößen wie Mittelwert, Median, Minimum, Maximum und Standardabweichung charakterisiert.

Es folgten die Darstellung von Korrelationen zweier Variablen, die graphische Ergebnisdarstellung und die prüfstatistische Auswertung.

Um die erhaltenen Messdaten den Patienten und den einzelnen Röntgenbildern zuordnen zu können und den Datenschutz zu gewährleisten, wurde jedem Patienten eine individuelle Nummer zugeteilt.

Da die Auswertung in der Studie Veränderungswerte betrifft, die innerhalb eines Zeitintervalls erfolgen, wurde das Alter der Patienten am Anfang und am Ende des jeweiligen Zeitintervalls ermittelt und dieser Mittelwert gerundet, d.h. die Patienten wurden in gemittelte, gerundete Altersgruppen eingeteilt.

5 Ergebnisse

In dieser Arbeit wurden 238 Röntgenbilder von 100 Patienten metrisch vermessen und die daraus folgenden absoluten Messwerte tabellarisch aufgeführt. Untersucht wurden Veränderungen von Strecken, die sowohl der Vertikalbewegung als auch dem Wurzelwachstum der Zähne entsprechen. Diese Werte wurden tabellarisch und graphisch erfasst und für die statistische Auswertung herangezogen. Aus den 238 Orthopantomogrammen ergab sich anhand von 18 Messpunkten je Orthopantomogramm eine Gesamtzahl von 4.284 Messpunkten. Einschließlich der Referenzstrecken an den unteren 6-Jahr-Molaren wurden 10 Referenzstrecken je Orthopantomogramm und somit insgesamt 2.380 Messstrecken erfasst. Diese Parameter wurden mittels bestimmter Kenngrößen statistisch bearbeitet und in Tabellen und Grafiken dargestellt. Die Altersgruppe 16 konnte für die Interpretation der statistischen Auswertung nicht berücksichtigt werden, da nur ein Patient dieser Gruppe angehörte.

5.1 Absolute Werte

Die aus der metrischen Vermessung der Orthopantomogramme resultierenden absoluten Werte der Strecken wurden den Altersgruppen zugeordnet und tabellarisch erfasst.

Die absoluten Werte wurden von der (mesialen) Höckerspitze zur (mesialen) Wurzelspitze gemessen. Das entsprach dem Wurzelwachstum. Der jeweilige Abstand zur Okklusionsebene wurde von der (mesialen) Höckerspitze zur okklusalen Bezugsebene gemessen und erlaubte beim Vergleich zweier Orthopantomogramme eine Aussage über die Vertikalbewegung.

Die acht von Veränderungen betroffenen Messstrecken wurden den Altersgruppen entsprechend jeweils mit Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum und Maximum berechnet.

Die Verteilung der absoluten Werte, also der ersten, zweiten, dritten und vierten Messung, ist den Tabellen 1, 2, 3 und 4 im Anhang zu entnehmen.

5.2 Veränderungswerte

Zur Beobachtung der Veränderungen von Vertikalbewegung und Wurzelwachstum der Zähne sind die Veränderungswerte von Interesse. Diese wurden ebenfalls tabellarisch erfasst (siehe Tabelle 5 im Anhang) und mit Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum berechnet. Das Alter 8 fehlt, weil zwei aufeinander folgende Röntgenaufnahmen bei den untersuchten Patienten nicht so rasch nacheinander aufgenommen werden konnten, dass sie jeweils im Mittel noch 8 Jahre alt waren.

Vor den Werten, die die Vertikalbewegung kennzeichnen, steht ein Minuszeichen, da diese Werte für eine Verringerung des Abstandes, also für eine Annäherung des Zahns an die okklusale Bezugsebene, stehen. Je größer der Minusbetrag ist, desto stärker war die Vertikalbewegung während eines Zeitintervalls.

Die Veränderungen wurden getrennt für Prämolaren und Molaren bestimmt. Die Beträge von Vertikalbewegung und Wurzelwachstum wurden für den III. und den IV. Quadranten getrennt betrachtet.

Für die Interpretation der Veränderungen der Messstrecken wurden die Mittelwerte benutzt. Diese wurden zur Vereinfachung auf eine Stelle hinter den Komma gekürzt und ab 0,5 aufgerundet.

Um die für die Interpretation benutzten Mittelwerte durch individuelle Veränderungswerte zu bestätigen und graphisch darzustellen, wurden 13 Patienten ausgesucht, von denen 3 aufeinander folgende Orthopantomogramme in den Zeitintervallen 9, 10, 11 und 10, 11, 12 existierten. Zur Vereinfachung wurden immer die Werte des IV. Quadranten genommen.

5.2.1 Altersabhängige Veränderungen

Vertikalbewegung und Wurzelwachstum der Prämolaren der rechten und linken Unterkieferseite

Alter		c34/35	d34/35	a44/45	b44/45
9	MW	4,0	-4,6	3,6	-3,7
10	MW	3,6	-4,0	3,3	-3,0
11	MW	4,0	-5,2	4,0	-5,7
12	MW	4,4	-6,0	4,7	-6,5
13	MW	3,3	-5,1	3,4	-4,7
14	MW	2,4	-2,7	2,5	-2,1
15	MW	2,6	-2,2	1,9	-1,5

c34/35	Wurzelwachstum von 35 [mm]
d34/35	Vertikalentwicklung von 35 [mm]
a44/45	Wurzelwachstum von 45 [mm]
b44/45	Vertikalentwicklung von 45 [mm]

Tabelle 5a: Veränderungen der Strecken c, d, a, b
(siehe Tabelle 5 im Anhang)

Veränderungen von Vertikalbewegung und Wurzelwachstum der Prämolaren

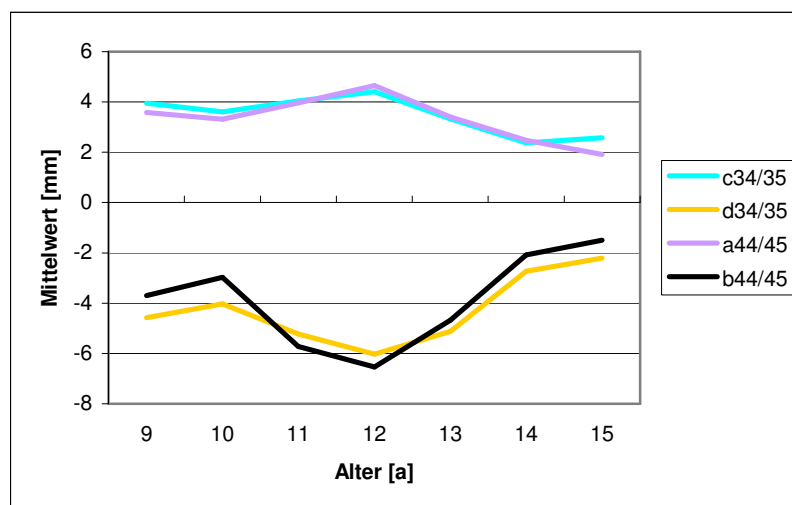


Abb. 8: Veränderung der Strecken c, d, a, b

Im Zeitintervall 9 waren Vertikalbewegungen von bis zu -4,6 mm und Wurzelwachstum von bis zu 4,0 mm festzustellen. Im folgenden Zeitintervall 10 war eine geringfügige Verlangsamung der Vertikalbewegung und des Wurzelwachstums zu beobachten.

Die stärksten Vertikalbewegungen der unteren Prämolaren erfolgten in den Zeitintervallen 11,12 und 13, das Maximum wurde mit -6,5 mm im Zeitintervall

12 erreicht. Das Wurzelwachstum war bis zum Zeitintervall 13 annähernd gleich stark. Das Maximum wurde im Zeitintervall 12 mit 4,7 mm erreicht. Nach dem Erreichen der jeweils stärksten Veränderungen zeigte sich in den folgenden Zeitintervallen eine kontinuierliche Abnahme von Vertikalbewegung und Wurzelwachstum.

Zwischen Vertikalentwicklung und Wurzelwachstum der unteren Prämolaren besteht eine statistisch gesicherte Abhängigkeit. Wie in den Tabellen 6 und 7 (siehe Anhang) dargestellt, verhalten sich die Veränderungen im Allgemeinen gegenläufig. Das heißt, je länger die Wurzel wird, desto geringer der Abstand zur Okklusionsebene. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Steigerung und Abnahme erfolgten beim Wurzelwachstum im Allgemeinen allmählicher als bei der Vertikalbewegung. In den Zeitintervallen 11, 12 und 13 bewegten sich die Prämolaren stärker in Richtung okklusaler Bezugsebene, als sich die Wurzeln verlängerten. In den Zeitintervallen 14 und 15 waren Vertikalbewegungen von bis zu -2,7 mm und Wurzelwachstum von bis zu 2,6 mm festzustellen. Die Werte müssen der kleinen Fallzahl und den daraus resultierenden möglichen Zufälligkeiten zugeschrieben werden.

Vertikalbewegung und Wurzelwachstum der zweiten Molaren der rechten und linken Unterkieferseite

Alter		e47	f47	g37	h37
9	MW	3,9	-3,8	3,2	-3,8
10	MW	2,7	-2,6	3,0	-2,4
11	MW	3,2	-4,1	3,4	-4,0
12	MW	3,2	-3,1	3,5	-2,8
13	MW	3,0	-2,6	2,7	-2,6
14	MW	1,6	-1,6	2,8	-2,0
15	MW	1,5	-1,6	1,6	-1,2

e	Wurzelwachstum von 47 [mm]
f	Vertikalentwicklung von 47 [mm]
g	Wurzelwachstum von 37 [mm]
h	Vertikalentwicklung von 37 [mm]

Tabelle 5b: Veränderungen der Strecken e, f, g, h
(siehe Tabelle 5 im Anhang)

Veränderungen von Vertikalbewegung und Wurzelwachstum der Molaren

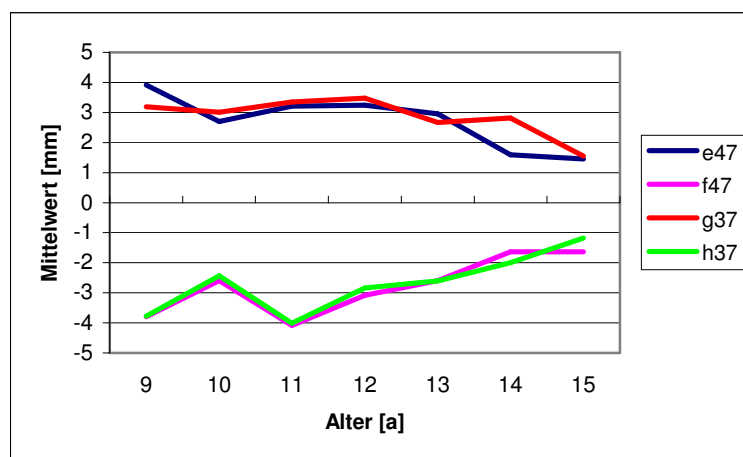


Abb. 9: Veränderungen der Strecken e, f, g, h

Im Zeitintervall 9 waren Vertikalbewegungen der Molaren von bis zu -3,8 mm und Wurzelwachstum von bis zu 3,9 mm festzustellen. Im Zeitintervall 10 verlangsamten sich sowohl die Bewegung in Richtung okklusaler Bezugsebene als auch das Wurzelwachstum, um im folgenden Zeitintervall 11 wieder zu zunehmen. Im Zeitintervall 11 war das Maximum der Vertikalentwicklung der zweiten unteren Molaren mit -4,1 mm festzustellen.

Das stärkste Wurzelwachstum waren im Zeitintervall 9 und im Zeitintervall 12 zu beobachten. Nach Erreichen der jeweiligen Maxima trat eine Reduktion der Wurzelentwicklung und der Vertikalbewegung ein.

Zwischen Wurzelwachstum und Vertikalbewegung der unteren zweiten Molaren besteht ein statistisch gesicherter Zusammenhang. Wie in den Tabellen 8 und 9 (siehe Anhang) dargestellt, verhalten sich die Veränderungen der unteren zweiten Molaren gegenläufig. Je länger die Wurzel wird, desto geringer der Abstand zur Okklusionsebene. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Auch bei den unteren zweiten Molaren zeigten sich in den Zeitintervallen 14 und 15 teilweise noch deutliche Veränderungen, die aus den relativ geringen Fallzahlen und möglichen Zufälligkeiten resultieren können.

Vergleich der Vertikalbewegung der Prämolaren und zweiten Molaren der rechten und linken Unterkieferseite

Alter		b44/45	d34/35	f47	h37
9	MW	-3,7	-4,6	-3,8	-3,8
10	MW	-3,0	-4,0	-2,6	-2,4
11	MW	-5,7	-5,2	-4,1	-4,0
12	MW	-6,5	-6,0	-3,1	-2,8
13	MW	-4,7	-5,1	-2,6	-2,6
14	MW	-2,1	-2,7	-1,6	-2,0
15	MW	-1,5	-2,2	-1,6	-1,2

b	Vertikalentwicklung von 45 [mm]
d	Vertikalentwicklung von 35 [mm]
f	Vertikalentwicklung von 47 [mm]
h	Vertikalentwicklung von 37 [mm]

Tabelle 5c: Veränderungen der Strecken b, d, f, h
(siehe Tabelle 5 im Anhang)

Vertikalbewegung der Prämolaren und Molaren

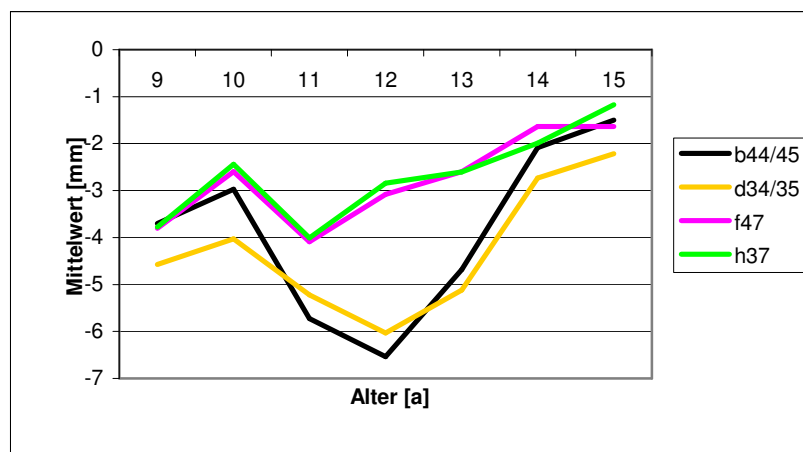


Abb. 10: Veränderungen der Strecken b, d, f, h

Vom Zeitintervall 9 zum Zeitintervall 10 trat eine Verlangsamung der Vertikalbewegung bei Molaren und Prämolaren ein. Die Vertikalbewegung der Prämolaren war in den untersuchten Zeitintervallen 11, 12 und 13 stärker als die der unteren zweiten Molaren.

Die stärksten Vertikalbewegungen traten bei den Molaren im Zeitintervall 11 mit bis zu -4,1 mm und bei den Prämolaren im Zeitintervall 12 mit bis zu -6,5 mm auf. In den folgenden Zeitintervallen verlangsamte sich die Bewegung in Richtung Okklusionsebene bei Molaren und Prämolaren kontinuierlich.

Vergleich des Wurzelwachstums der Prämolaren und zweiten Molaren der rechten und linken Unterkieferseite

Alter		a44/45	c34/35	e47	g37
9	MW	3,6	4,0	3,9	3,2
10	MW	3,3	3,6	2,7	3,0
11	MW	4,0	4,0	3,2	3,4
12	MW	4,7	4,4	3,2	3,5
13	MW	3,4	3,3	3,0	2,7
14	MW	2,5	2,4	1,6	2,8
15	MW	1,9	2,6	1,5	1,6

a	Wurzelwachstum von 45 [mm]
c	Wurzelwachstum von 35 [mm]
e	Wurzelwachstum von 47 [mm]
g	Wurzelwachstum von 37 [mm]

Tabelle 5d: Veränderungen der Strecken a, c, e, g
(siehe Tabelle 5 im Anhang)

Wurzelwachstum der Prämolaren und Molaren

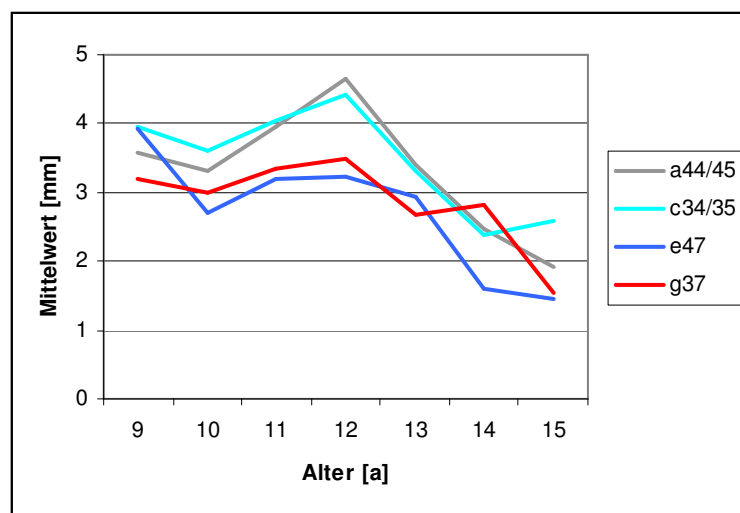


Abb. 11: Veränderungen der Strecken a, c, e, g

Im Zeitintervall 9 war das Ausmaß des Wurzelwachstum bei Prämolaren und zweiten Molaren vergleichbar. Im Zeitintervall 10 kam es zu einer geringen Abnahme des Wurzelwachstums von Prämolaren und Molaren. Die Zeitintervalle 11 und 12 waren von etwas stärkerem Wurzelwachstum bei den unteren Prämolaren im Vergleich zu den unteren zweiten Molaren gekennzeichnet. Das stärkste Wurzelwachstums der Prämolaren war im Zeitintervall 12 festzustellen. Die Werte des Wurzelwachstums der unteren Molaren ähnelten sich in den

Zeitintervallen 9, 11 und 12. Nur im Zeitintervall 10 war eine geringe Verlangsamung zu beobachten. Ab dem Zeitintervall 13 nahm das Wurzelwachstum bei Prämolaren und Molaren ab.

5.2.2 Quadrantenabhängige Veränderungen

Vertikalbewegung und Wurzelwachstum der Prämolaren im Vergleich zwischen rechter und linker Unterkieferseite

Alter		b44/45	d34/35	a44/45	c34/35
9	MW	-3,7	-4,6	3,6	4,0
10	MW	-3,0	-4,0	3,3	3,6
11	MW	-5,7	-5,2	4,0	4,0
12	MW	-6,5	-6,0	4,7	4,4
13	MW	-4,7	-5,1	3,4	3,3
14	MW	-2,1	-2,7	2,5	2,4
15	MW	-1,5	-2,2	1,9	2,6

b	Vertikalentwicklung von 45 [mm]
d	Vertikalentwicklung von 35 [mm]
a	Wurzelwachstum von 45 [mm]
c	Wurzelwachstum von 35 [mm]

Tabelle 5e: Veränderungen der Strecken b, d, a, c
(siehe Tabelle 5 im Anhang)

Veränderungen von Vertikalbewegung und Wurzelwachstum im III. und IV. Quadranten

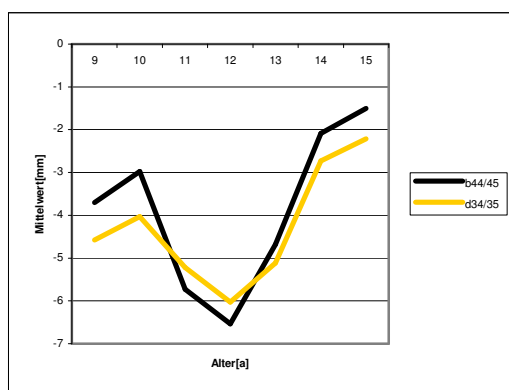


Abb. 12: Veränderungen der Strecken b, d

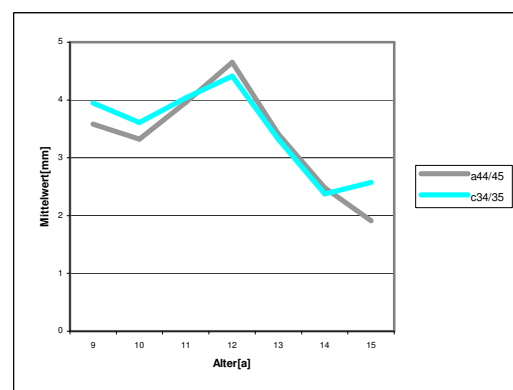


Abb. 13: Veränderungen der Strecken a, c

In den Zeitintervallen 9 und 10 herrschte im III. Quadranten eine minimal stärkere Vertikalbewegung der unteren Prämolaren als im IV. Quadranten vor. Im

Zeitintervall 12 betrug das Maximum der Vertikalbewegung -6,0 mm im III. Quadranten und -6,5 mm im IV. Quadranten. In allen Zeitintervallen fand ein nahezu seitengleiches Wurzelwachstum bei den unteren Prämolaren statt. Das Maximum des Wurzelwachstums war mit 4,4 mm im III. Quadranten und mit 4,7 mm im IV. Quadranten fast identisch.

Nach Erreichen der jeweiligen Maxima war sowohl im III. als auch im IV. Quadranten eine kontinuierliche Abnahme von Vertikalbewegung und Wurzelwachstum der unteren Prämolaren zu beobachten.

Vertikalbewegung und Wurzelwachstum der zweiten Molaren im Vergleich zwischen rechter und linker Unterkieferseite

Alter		f47	h37	e47	g37
9	MW	-3,8	-3,8	3,9	3,2
10	MW	-2,6	-2,4	2,7	3,0
11	MW	-4,1	-4,0	3,2	3,4
12	MW	-3,1	-2,8	3,2	3,5
13	MW	-2,6	-2,6	3,0	2,7
14	MW	-1,6	-2,0	1,6	2,8
15	MW	-1,6	-1,2	1,5	1,6

f	Vertikalentwicklung von 47 [mm]
h	Vertikalentwicklung von 37 [mm]
e	Wurzelwachstum von 47 [mm]
g	Wurzelwachstum von 37 [mm]

Tabelle 5f: Veränderungen der Strecken f, h, e, g
(siehe Tabelle 5 im Anhang)

Veränderungen von Vertikalbewegung und Wurzelwachstum im III. und IV. Quadranten

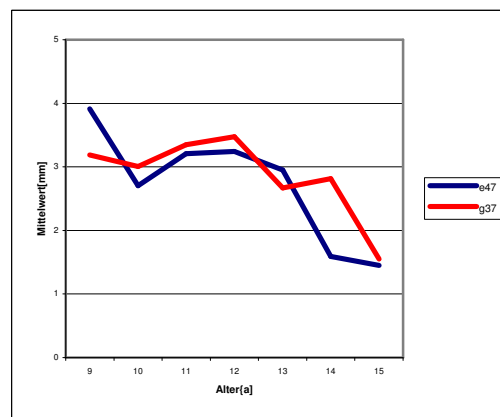
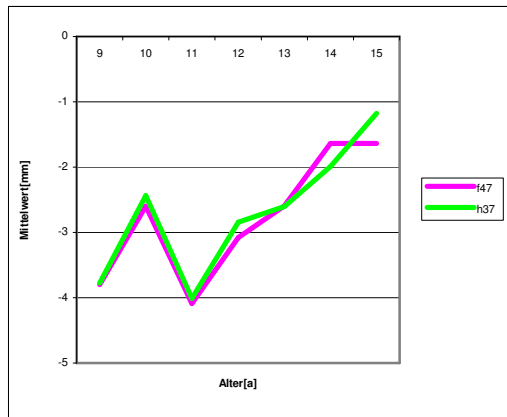


Abb. 14: Veränderungen der Strecken f, h **Abb. 15:** Veränderungen der Strecken e, g

Im Zeitintervall 9 war die Vertikalbewegung der unteren zweiten Molaren mit -3,8 mm seitengleich. Im folgenden Zeitintervall 10 war zunächst eine Verlangsamung der Vertikalbewegung in beiden Quadranten festzustellen, die im Zeitintervall 11 seitengleich die Maxima erreichten. Im Zeitintervall 9 zum Zeitintervall 10 fand eine seitengleiche Verlangsamung des Wurzelwachstums statt. Die Maxima des Wurzelwachstums der unteren zweiten Molaren lagen quadrantenunterschiedlich im Zeitintervall 9 und 12, die Differenzen im Zehntelbereich waren nicht aussagekräftig.

5.2.3 Geschlechtsspezifische Veränderungen

Die 8 Messstrecken und ihre Veränderungen wurden geschlechtsspezifisch bearbeitet: Geschlecht 1 ≈ Jungen; Geschlecht 2 ≈ Mädchen (siehe Tabelle 10 im Anhang).

Vertikalbewegung der Prämolaren im Vergleich von Jungen und Mädchen

Geschl. 1	Alter	b44/45	d34/35	Geschl. 2	Alter	b44/45	d34/35
	9 MW	-5,8	-4,0		9 MW	-3,0	-4,8
	10 MW	-4,9	-6,6		10 MW	-2,2	-3,0
	11 MW	-5,3	-4,1		11 MW	-6,0	-6,0
	12 MW	-6,8	-6,2		12 MW	-6,4	-5,9
	13 MW	-6,1	-5,0		13 MW	-3,6	-5,2
	14 MW	-2,9	-3,6		14 MW	-,2	-,8
	15 MW	-2,6	-3,6		15 MW	-,5	-,9

b	Vertikalentwicklung von 45
d	Vertikalentwicklung von 35

Tabelle 10a: Veränderungen der Strecken b, d getrennt nach Geschlecht (siehe Tabelle 10 im Anhang)

Veränderungen der Vertikalbewegung bei Jungen und Mädchen

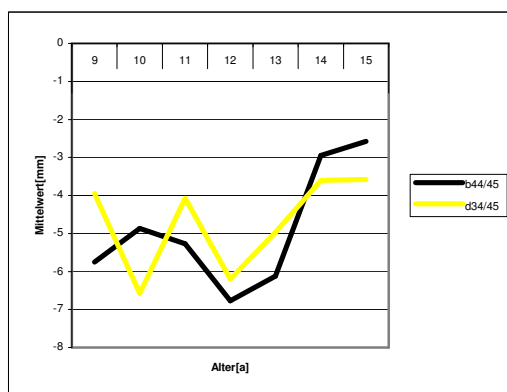


Abb. 16: Veränderungen der Strecken b, d im Geschlecht 1 (Jungen)

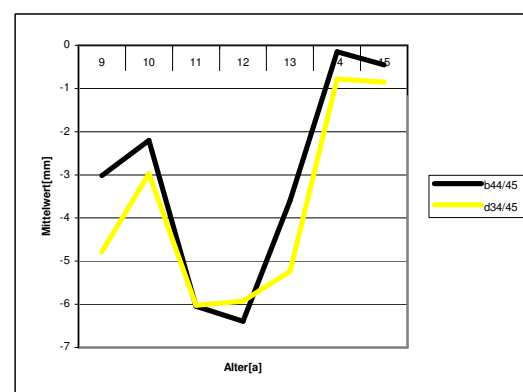


Abb. 17: Veränderungen der Strecken b, d im Geschlecht 2 (Mädchen)

Bei den Jungen war im Zeitintervall 9 eine Vertikalbewegung der unteren Prämolaren von bis zu -5,8 mm, bei den Mädchen von bis zu -4,8 mm zu beobachten. Bei den Mädchen verlangsamte sich zunächst die Vertikalbewegung im Zeitintervall 10, um im Zeitintervall 11 eine deutliche Steigerung zu erfahren. Die größten Werte der Vertikalbewegung waren bei den Mädchen in den Zeitintervallen 11 und 12 zu finden. Bei den Jungen waren konstante Vertikalbewegungen über die Zeitintervalle 9 bis 13 zwischen -4,0 mm und -6,8 mm zu beobachten. Ab dem Zeitintervall 14 nahm die Vertikalbewegung bei beiden Geschlechtern deutlich ab.

In den Zeitintervallen 14 und 15 konnten bei den Mädchen so gut wie keine Vertikalbewegungen, bei den Jungen hingegen Bewegungen von bis zu -3,6 mm beobachtet werden.

Dies könnte mit geringen Fallzahlen und den daraus folgenden möglichen Zufälligkeiten erklärt werden.

Wurzelwachstum der Prämolaren im Vergleich von Jungen und Mädchen

Geschl. 1	Alter	a44/45	c34/45	Geschl. 2	Alter	a44/45	c34/45
	9 MW	2,4	2,9		9 MW	4,0	4,3
	10 MW	4,1	4,7		10 MW	3,0	3,2
	11 MW	4,0	4,2		11 MW	4,0	3,9
	12 MW	4,9	4,8		12 MW	4,5	4,2
	13 MW	3,5	3,2		13 MW	3,4	3,4
	14 MW	3,3	2,6		14 MW	,6	2,0
	15 MW	2,6	3,6		15 MW	1,3	1,6

a	Wurzelwachstum von 45
c	Wurzelwachstum von 35

Tabelle 10b: Veränderungen der Strecken a, c getrennt nach Geschlecht (siehe Tabelle 10 im Anhang)

Veränderungen des Wurzelwachstum bei Jungen und Mädchen

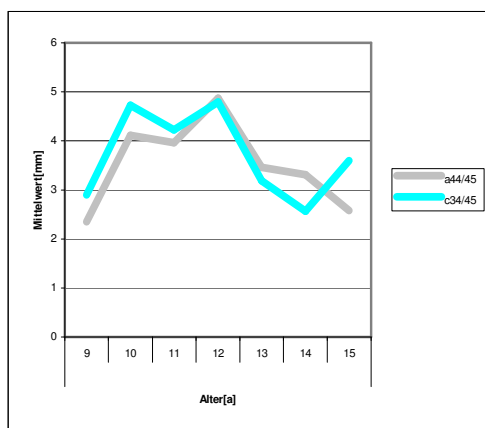


Abb. 18: Veränderungen der Strecken a, c im Geschlecht 1 (Jungen)

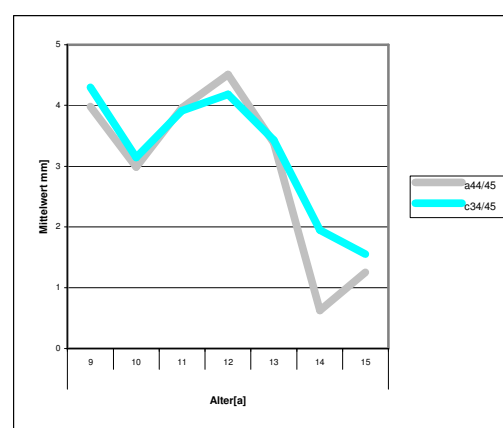


Abb. 19: Veränderungen der Strecken a, c im Geschlecht 2 (Mädchen)

Im Zeitintervall 9 war das Wurzelwachstum der unteren Prämolaren bei den Mädchen mit bis zu 4,3 mm stärker als bei den Jungen mit bis zu 2,9 mm. Im Zeitintervall 10 fand eine Zunahme des Wurzelwachstums bei den Jungen statt.

Bei den Mädchen hingegen trat zunächst eine Abnahme des Wurzelwachstums ein, das sich im folgenden Zeitintervall 11 wieder steigerte.

In den Zeitintervallen 11, 12 und 13 herrschte geschlechtsunspezifisches starkes Wurzelwachstum zwischen 3,2 mm und 4,9 mm.

Ab dem Zeitintervall 14 verlangsamte sich das Wurzelwachstum bei beiden Geschlechtern. Diese Verlangsamung verlief im geschlechtsspezifischen Vergleich bei den Jungen langsamer.

In den Zeitintervallen 14 und 15 war bei beiden Geschlechtern noch deutliches Wurzelwachstum von unteren Prämolaren festzustellen, welches mit den geringen Fallzahlen und daraus resultierenden Zufälligkeiten erklärt werden könnte.

Vertikalbewegung der Molaren im Vergleich Jungen und Mädchen

Geschl.	Alter	f47	h37	Geschl.	Alter	f47	h37
1	9	-0,7	-1,3	2	9	-4,8	-4,6
	MW				MW		
	10	-3,3	-3,1		10	-2,3	-2,2
	MW				MW		
	11	-4,4	-4,8		11	-3,9	-3,4
	MW				MW		
	12	-3,0	-2,1		12	-3,2	-3,3
	MW				MW		
13	-2,5	-2,5	13	-2,7	-2,7		
MW			MW				
14	-1,8	-2,1	14	-1,3	-1,8		
MW			MW				
15	-1,7	-1,2	15	-1,6	-1,1		
MW			MW				

f	Vertikalbewegung von 47
h	Vertikalbewegung von 37

Tabelle 10c: Veränderungen der Strecken f , h getrennt nach Geschlecht (siehe Tabelle 10 im Anhang)

Veränderungen der Vertikalbewegung bei Jungen und Mädchen

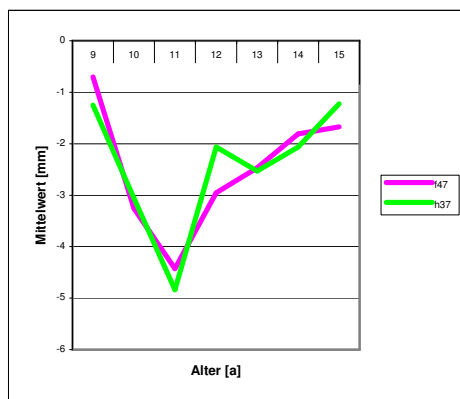


Abb. 20: Veränderungen der Strecken f , h im Geschlecht 1 (Jungen)

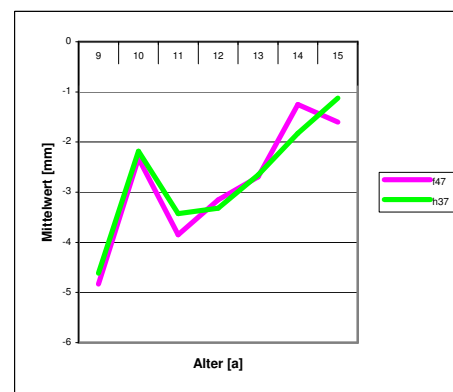


Abb. 21: Veränderungen der Strecken f , h im Geschlecht 2 (Mädchen)

Beim weiblichen Geschlecht war im Zeitintervall 9 eine stärkere Vertikalbewegung der unteren zweiten Molaren von maximal -4,8 mm als beim männlichen Geschlecht mit maximal -1,3 mm festzustellen. Bei den Jungen nahm die Vertikalbewegung der unteren zweiten Molaren im Zeitintervall 10 zu und erreicht das Maximum von -4,8 mm im Zeitintervall 11.

Bei den Mädchen lag das Maximum der Vertikalbewegung der Molaren im Zeitintervall 9. Im folgenden Zeitintervall 10 nahm die Vertikalbewegung bei den Mädchen ab, um im Zeitintervall 11 sich wieder zu steigern.

Im Zeitintervall 12 begann eine geschlechtsunabhängige kontinuierliche Abnahme der Vertikalbewegung der unteren zweiten Molaren.

Wurzelwachstum der Molaren im Vergleich Jungen und Mädchen

Geschl. 1	Alter	e47	g37	Geschl. 2	Alter	e47	g37
	9 MW	2,4	1,7		9 MW	4,4	3,7
	10 MW	3,6	4,0		10 MW	2,3	2,6
	11 MW	3,2	3,7		11 MW	3,2	3,1
	12 MW	3,7	3,7		12 MW	2,9	3,3
	13 MW	3,4	2,4		13 MW	2,6	2,9
	14 MW	1,6	3,0		14 MW	1,6	2,5
	15 MW	1,8	1,8		15 MW	1,1	1,4

e	Wurzelwachstum von 47
g	Wurzelwachstum von 37

Tabelle 10d: Veränderungen der Strecken e, g getrennt nach Geschlecht
(siehe Tabelle 10 im Anhang)

Veränderungen des Wurzelwachstums bei Jungen und Mädchen

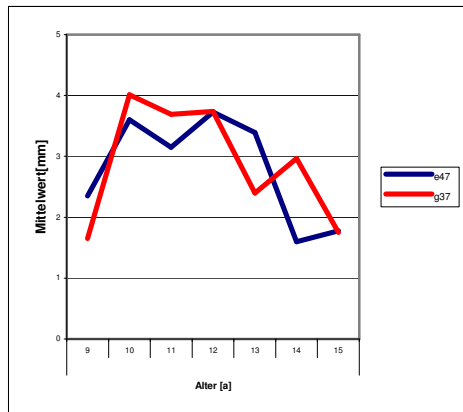


Abb. 22: Veränderungen der Strecken e, g im Geschlecht 1 (Jungen)

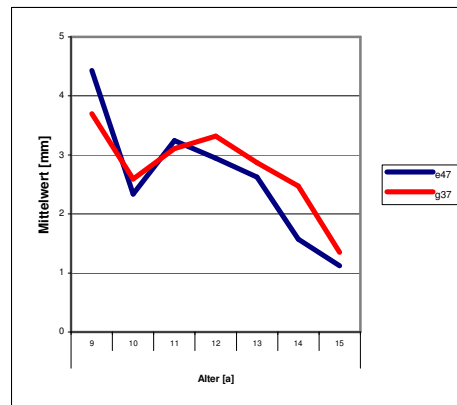


Abb. 23: Veränderungen der Strecken e, g im Geschlecht 2 (Mädchen)

Das Wurzelwachstum der Molaren war bei den Mädchen im Zeitintervall 9 stärker als bei den Jungen und erreichte das Maximum mit 4,4 mm. Das Wurzelwachstum nahm im folgenden Zeitintervall 10 bei den Mädchen zunächst ab, um im Zeitintervall 11 wieder leicht anzusteigen.

Bei den Jungen hingegen begann die stärkere Wurzelentwicklung im Zeitintervall 10. Die Maxima des Wurzelwachstums der zweiten Molaren lagen beim männlichen Geschlecht in den Zeitintervallen 10 und 12.

Ab dem Zeitintervall 12 nahm das Wurzelwachstum geschlechtsunabhängig allmählich ab.

5.2.4 Individuelle Veränderungswerte

Ob die durch Mittelwerte gewonnenen Ergebnisse auch individuell für einzelne Patienten zutreffen, wurde an 13 Patienten untersucht, von denen 3 aufeinander folgende Orthopantomogramme in den Zeitintervallen 9, 10, 11 und 10, 11, 12 zur Verfügung standen. Es wurden Veränderungswerte des IV. Quadranten getrennt nach Vertikalbewegung und Wurzelwachstum von unteren Prämolaren und unteren zweiten Molaren graphisch dargestellt.

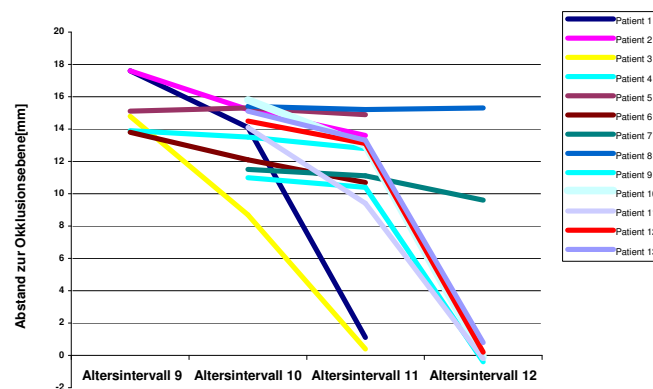


Abb. 24: Vertikalbewegung der unteren Prämolaren

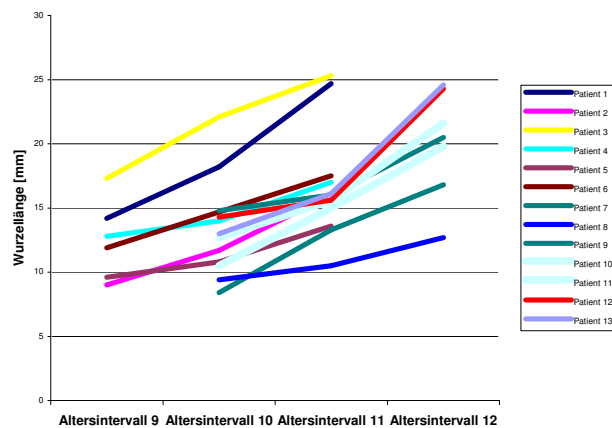


Abb. 25: Wurzelwachstum der unteren Prämolaren

Für die unteren Prämolaren wurde anhand der individuellen Werte bestätigt, dass die stärksten Vertikalbewegungen in den Zeitintervallen 11 und 12 liegen und dass im Zeitintervall 12 bei fast allen ausgewählten Patienten die Okklusionsebene erreicht wurde.

Die Gleichmäßigkeit des Anstieges des Wurzelwachstums über die dargestellten Zeitintervalle wurde bei unteren Prämolaren ebenfalls für die einzelnen Patienten ersichtlich.

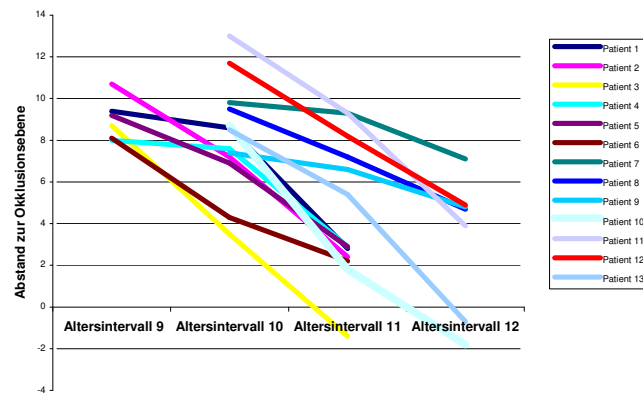


Abb. 26: Vertikalbewegung der unteren zweiten Molaren

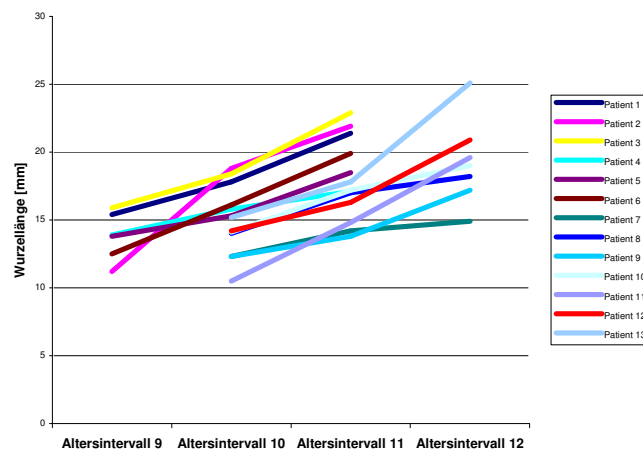


Abb. 27: Wurzelwachstum der unteren zweiten Molaren

Bei der Untersuchung der Vertikalbewegung und des Wurzelwachstums der unteren zweiten Molaren für die einzelnen Patienten konnten die Mittelwerte insofern bestätigt werden, als dass die stärksten Vertikalbewegungen in den Zeitintervallen 11 und 12 stattfanden und dass sich das Wurzelwachstum kontinuierlich über die dargestellten Zeitintervalle steigerte.

6 Diskussion

6.1 Material und Methode

In der vorliegenden Arbeit sollte untersucht werden, ob und wie die eruptive Vertikalentwicklungen bestimmter Zähne einerseits und das Wurzelwachstum andererseits in Zusammenhang stehen.

Es fand eine differenzierte Betrachtung der Patienten statt. Sie wurden nach Altersgruppen und nach dem Geschlecht eingeteilt. Außerdem wurden die rechte und die linke Seite des Unterkiefers getrennt betrachtet.

Patienten

Die in der Untersuchung verwendeten Panoramaaufnahmen entstammen dem Patientengut der Zahnklinik Würzburg. Untersucht wurden 100 Patienten (41 Jungen, 59 Mädchen), die zwischen 1978 bis 1990 geboren wurden. Die Röntgenaufnahmen entstanden zwischen 1988 und 2001 und die Auswertung fand in den Jahren 2002 bis 2003 statt.

Kritischen Anmerkungen zum Umfang des Patientenguts kann entgegnet werden, dass Longitudinalstudien, wie die hier vorliegende, mit durchaus weniger Probanden gegebenenfalls genauere Ergebnisse liefern als Querschnittsanalysen (HIRSCH 2000). Viele der ursprünglich vorgesehenen Patienten mussten wegen der strengen Auswahlkriterien, wie unter anderem der Vorvermessung der unteren 6-Jahr-Molaren, aussortiert werden. Das Alter der Patienten wurde nach dem Zeitpunkt der Röntgenaufnahme bestimmt.

Für die statistische Auswertung, speziell im geschlechtsspezifischen Vergleich, wären Orthopantomogramme in Halbjahresabständen von Vorteil. Da dies aus ethischen Gründen bedenklich ist und in dieser Arbeit deutliche erkennbare Veränderungen untersucht werden sollten, wurde ein Mindestabstand der Röntgenaufnahme von 12 Monaten festgelegt; die auch klinischen Ergebnissen entspricht. Bei der Auswahl der Patienten wurde anhand der dazu gehörigen Karteikarte darauf geachtet, dass kein vorzeitiger Milchzahnverlust vorlag, da dies den Zahndurchbruch stark beeinflussen kann und zu verfälschten Werten

führen würde. Syndrompatienten wurden ebenfalls von der Studie ausgeschlossen.

Orthopantomogramme

Die metrische Analyse von Panorama-Röntgenbildern ist in der wissenschaftlichen Literatur bisher kontrovers diskutiert worden. Die Tatsache, dass es keine einheitliche Vergrößerung für vertikale und horizontale Strecken gibt, macht die Analyse der Orthopantomogramme schwierig. DAHAN, JESDINSKY (1968) und SCHOPF (1969) hielten eine metrische Analyse für durchaus möglich. Laut DUTTERLOO (1992) spricht die fehlende Standardisierbarkeit von Orthopantomogrammen gegen eine Verwendung für Longitudinalstudien. Der systembedingte Vergrößerungsfaktor, den viele Autoren, wie WANGERIN (1982) und MARXER (1985) bei der metrischen Analyse für äußerst problematisch halten, relativiert sich in der vorliegenden Arbeit, denn es wurde ausschließlich in den jeweiligen posterioren Regionen des Unterkiefers gemessen und nicht mit anderen Gebieten verglichen. Zu den kritischen Betrachtungen der metrischen Analyse soll bemerkt werden, dass zwar zu Beginn der Arbeit quantitative Längenmessungen vorgenommen wurden, diese aber für qualitative Aussagen dienen. Die Veränderungswerte wurden miteinander verglichen und interpretiert.

KRETER (1982) kritisierte, dass die Hälfte der Fehler im Orthopantomogramm auf die falsche Positionierung des Patienten im Gerät zurückzuführen sei. Die für diese Arbeit verwendeten Röntgenbilder wurden von drei erfahrenen Mitarbeitern der Abteilung für Röntgen unter reproduzierbaren Bedingungen hergestellt, daher kann man davon ausgehen, dass sich die Einstellungsfehler in Grenzen halten (ZÄSCHKE und SCHOPF 1975). Die Vorvermessung der unteren 6-Jahr-Molaren sollte Vergrößerungen und Verzerrungen, z. B. durch falsche Positionierung des Patienten, ausschließen.

Die Vermessung der Röntgenbilder erfolgte nach entsprechender Einübung durch eine Person, so dass interindividuelle Fehler ausgeschlossen werden konnten. Rechenfehler wurden vermieden, da die verwendeten Messpunkte

mittels Digitizer in den Computer eingegeben und die Werte mittels EDV errechnet wurden.

Methode

SCHOPF (1970) wählte in seiner Studie zur Bestimmung der Mineralisations- und Positionsstufen im Orthopantomogramm den 6-Jahr-Molar als Bezugszahn für die Beurteilung der Vertikalentwicklung der Prämolaren und zweiten Molaren. Diese Methode wurde in dieser Arbeit in abgewandelter Form übernommen. Zusätzlich wurden dem Wurzelwachstum und der Vertikalbewegung bestimmte Referenzpunkte zugeordnet, die die Höckerspitze (PM), die mesiale Höckerspitze (7er), die Wurzelspitze (PM) und die mesiale Wurzelspitze (7er) kennzeichneten.

Das Problem der Objektdoppeldarstellung, vor allem der Höckerspitzen, wurde in der Arbeit durch eine Mittelung gelöst.

6.2 Diskussion der eigenen Ergebnisse

In dieser Untersuchung konnte eine statistisch gesicherte Abhängigkeit zwischen Vertikalentwicklung und Wurzelwachstum von unteren Prämolaren und unteren zweiten Molaren nachgewiesen werden. Das Wurzelwachstum war mit dem Zahndurchbruch koordiniert.

6.2.1 Altersabhängige Messwerte

Welchen Einfluss hat das Alter auf den Zusammenhang zwischen Vertikalbewegung und Wurzelwachstum der unteren Prämolaren und unteren zweiten Molaren?

Der Zahndurchbruch ist eine kontinuierliche Aufwärtsbewegung, die sich in verschiedene Phasen gliedert und mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten abläuft. Der erste Geschwindigkeitsbereich umfasst die intraalveolären Bewegungen, der zweite Geschwindigkeitsbereich die extraalveolären Bewegungen

(SCHROEDER 1991). In der Regel laufen die intraalveolären Bewegungen langsamer ab als die extraalveolären Bewegungen.

In den untersuchten Zeitintervallen 9 und 10 ist von einer intraalveolären Bewegung auszugehen, da die unteren Prämolaren mit durchschnittlich 11,35 Jahren (Mädchen) bzw. 11,44 Jahren (Jungen) und die unteren zweiten Molaren mit durchschnittlich 11,13 Jahren (Mädchen) bzw. 11,31 Jahren (Jungen) durchbrechen (SCHOPF 2000).

Nach MARKS und CAHILL (1986), MARKS, GORSKI, CAHILL, WISE (1988) und CAHILL, MARKS, WISE, GORSKI (1988) wird die intraalveoläre Bewegung ausschließlich vom Zahnsäckchen gesteuert. Knochenresorption und Knochenanbau, vom Zahnsäckchen veranlasst, sind der Motor, der den Zahnkeim nach oral verschiebt. Das Wurzelwachstum findet nach MARKS und CAHILL (1986), MARKS, GORSKI, CAHILL, WISE (1988) und CAHILL, MARKS, WISE, GORSKI (1988) unabhängig vom Antriebsmotor des intraalveolären Durchbruchs, dem Zahnsäckchen, statt. Die Wurzeln wachsen durch Druck in den Knochen vor. Dieser Wachstumsdruck ist aber nicht ausreichend, um den Eruptionspfad zu eröffnen. Interessanterweise waren trotz zweifelsfrei nachgewiesener Unabhängigkeit von Wurzelwachstum und intraalveolärem Zahndurchbruch (MARKS und CAHILL 1986, MARKS, GORSKI, CAHILL, WISE 1988 und CAHILL, MARKS, WISE, GORSKI 1988) die Veränderungswerte von Vertikalbewegung und Wurzelwachstum in den untersuchten Zeitintervallen 9 und 10 vom Umfang her gleich. Außerdem war vom Zeitintervall 9 zum Zeitintervall 10 eine Abnahme der Vertikalbewegung und des Wurzelwachstums der unteren Prämolaren und unteren zweiten Molaren festzustellen. Im folgenden Zeitintervall 11 fand hingegen eine Steigerung beider Veränderungswerte statt. Vielleicht gibt es neben dem Zahnsäckchen, welches die Knochenumbaurate steuert, andere Faktoren, die Wurzelwachstum und intraalveolären Zahndurchbruch koordinieren. Diese Faktoren würden die Ergebnisse in den Zeitintervallen 9 und 10 erklären. Im Zeitintervall 11 ist der Durchbruch des Zahnes anzunehmen.

Nach SCHROEDER (1991) nimmt die Geschwindigkeit nach dem Durchbruch, d.h. extraalveolär zu. Diese Entwicklung ist in dieser Arbeit ebenfalls nachzuweisen. Wie kommt es zu dieser Steigerung?

Die Knochenapposition im Rücken der Bewegung geht nach Durchbruch des Zahnes in die Mundhöhle weiter. MARKS, GORSKI, CAHILL, WISE (1988) halten es für möglich, dass die erhöhte Geschwindigkeit des extraalveolären Durchbruchs auf einer Kombination von Knochenanbau und gleichzeitiger Wurzelverlängerung beruht. Dies würde die höheren Werte der Vertikalbewegung von unteren Prämolaren und unteren zweiten Molaren in den Zeitintervallen 11 und 12 erklären. Es liegt die Vermutung nahe, dass das Wurzelwachstum, sobald der Zahn durchgebrochen ist und der extraalveoläre Zahndurchbruch beginnt, direkten Einfluss auf die Geschwindigkeit des Zahndurchbruchs hat. Der Eruptionspfad ist eröffnet und der Wachstumsdruck der Wurzel kann den Zahn nun mit erhöhter Geschwindigkeit nach okklusal schieben.

Die stärksten Veränderungen von Wurzelwachstum und Vertikalbewegung fanden in meiner Untersuchung bei den unteren Prämolaren und unteren zweiten Molaren in den Zeitintervallen 11 und 12 statt. Das bestätigt die Annahme, dass, sobald der Eruptionspfad eröffnet ist, die Zähne durch zusätzlichen Druck der Wurzel im Durchbruch beschleunigt werden.

Die vorliegende Untersuchung bestätigt auch folgende Aussage von SMITH (1980): Je näher der Zahn der Okklusionsebene kommt, desto langsamer bricht er durch und desto kleiner wird die Rate der Wurzelverlängerung. Nach den von starken Veränderungen geprägten Zeitintervallen 11 und 12 fand eine allmähliche Abnahme in den folgenden Zeitintervallen statt. In den Zeitintervallen 11 und 12 mit hohen Veränderungswerten fiel auf, dass die Werte von Vertikalentwicklung und Wurzelwachstum bei den Prämolaren größer sind als bei den unteren zweiten Molaren. Diese Feststellung könnte damit erklärt werden, dass Molaren gespreizte Gebilde sind, die sich langsamer entwickeln.

Weiter konnte festgestellt werden, dass in diesen Zeitintervallen bei den unteren Prämolaren die Werte der Vertikalbewegung größer als die des dazugehörigen Wurzelwachstums waren. Diese Differenzen traten bei den unteren Molaren nicht auf. Das schafft Raum für Spekulationen:

Tritt die apikale Knochenapposition bei den Molaren aufgrund zweier Wurzeln in den Hintergrund? Ist der Wachstumsdruck zweier Wurzeln ausreichend und tritt der Motor Zahnsäckchen automatisch in den Hintergrund?

Die These von SCHROEDER (1991), dass der extraalveoläre Zahndurchbruch möglicherweise auf einer Kombination von Knochenapposition und Wurzelwachstum basiert, konnte hier nur anhand der Werte der unteren Prämolaren in den Zeitintervallen 11, 12 und 13 mit Sicherheit bestätigt werden. Die Prämolaren näherten sich relativ schnell der Okklusionsebene, die Wurzel wuchs aber nicht in gleichem Maße. Deshalb kann die hohe Geschwindigkeit beim Durchbruch der unteren Prämolaren nicht nur vom Wurzelwachstum abhängig sein. Zu anderen Einflussfaktoren muss sicherlich die Knochenapposition gezählt werden. Zum Prozess des Zahndurchbruchs gehören Zellproliferation, Migration, Biosynthese und Umwandlung des dentalen Follikels.

In der vorliegenden Arbeit wurde bei den unteren Prämolaren in den Zeitintervallen 14 und 15 Vertikalbewegung von bis zu 2,2 mm und Wurzelwachstum von bis zu 2,6 mm, bei den unteren zweiten Molaren Vertikalentwicklung von bis zu 2,0 mm und Wurzelwachstum von bis zu 2,8 mm festgestellt. Obwohl die Durchbruchsbewegung nach Apexbildung und Antagonistenkontakt weiter geht (CARLSON 1986), erscheinen diese Werte sehr hoch. Eine Erklärung hierfür wären Ausreißer unter den Werten bei den so genannten Spätzahnern, die aufgrund der geringen Fallzahlen irreführend sein könnten und daher als nicht interpretationswürdige Zufälligkeiten betrachtet werden müssen.

FANNING (1962) und MOORREES, FANNING, HUNT (1963) hielten eine Vorhersage des Zahndurchbruchs unter Zugrundelegung der Wurzellänge für nicht möglich. Nach meiner Untersuchung besteht eine signifikante Korrelation zwischen eruptiver Vertikalentwicklung und Wurzelwachstum. Die Veränderungswerte zeigten aber, dass vor allem in den veränderungsstarken Zeitintervallen 11 und 12 bei den unteren Prämolaren nicht nur das Wurzelwachstum direkten Einfluss auf die Vertikalbewegung der Zähne hat.

Zu prognostischen Aussagen in der kieferorthopädischen Therapie, vor allem hinsichtlich des zu erwartenden Zahndurchbruchs, kann der Zusammenhang zwischen Wurzelwachstum und eruptiver Vertikalentwicklung genutzt werden, wenn man sich dessen bewusst ist, dass auch andere Faktoren Einfluss haben.

Die Mechanismen des Zahndurchbruchs sind nach wie vor nicht vollständig geklärt.

6.2.2 Messwerte im Seitenvergleich

Beim Vergleich zwischen rechter und linker Seite des Unterkiefers ließen sich keine eindeutigen Differenzen hinsichtlich der Vertikalbewegung beziehungsweise der Wurzelwachstums feststellen. Bei den Untersuchungen von vielen Autoren, wie zum Beispiel HELM und SEIDLER (1974), STÄDTLER und DROSCHL (1983), DEMIRJIAN (1986), KAHL und SCHWARZE (1988) und KOCHHAR und RICHARDSON (1998), ergaben sich ebenso wenig Unterschiede im Rechts-Links-Vergleich wie in der vorliegenden Untersuchung. Im Zeitintervall 9 waren die Werte von Vertikalbewegung und Wurzelwachstum von unteren Prämolaren als auch der unteren zweiten Molaren seitengleich. Im Zeitintervall 10 fand eine seitengleiche Verlangsamung von Vertikalbewegung und Wurzelwachstum statt. In den folgenden Zeitintervallen 11 und 12 steigerte sich beides.

Bei den unteren Prämolaren lag das Maximum der Vertikalbewegung und des Wurzelwachstums seitengleich im Zeitintervall 12. Das Maximum der Vertikalbewegung der unteren zweiten Molaren war seitengleich im Zeitintervall 11. Die stärksten Werte des Wurzelwachstums der Molaren lagen im III. Quadranten im Zeitintervall 12 und im IV. Quadranten im Zeitintervall 9. Die Werte differierten so gering, dass diese Seitenungleichheit zu vernachlässigen ist.

Im Zeitintervall 14 war zwischen III. und IV. Quadranten eine Differenz beim Wurzelwachstum von 1,2 mm der unteren zweiten Molaren festzustellen. Diese Differenz war so gering, dass sie auf einer Zufälligkeit beruhen kann und deswegen nicht interpretationswürdig ist.

6.2.3 Geschlechtsspezifische Messwerte

In fast allen gefundenen Publikationen bestand Übereinstimmung zum Thema Geschlechtsspezifik dahingehend, dass die Mädchen den Jungen bezüglich der Zahnentwicklung und des Zahndurchbruchs im bleibenden Gebiss voraus sind. Der zeitlichen Vorsprung der Mädchen wurde von verschiedenen Autoren unterschiedlich beziffert.

Nach KAHL und SCHWARZE (1988) beträgt der Vorsprung zwischen 0,1 bis 2,6 Jahren, nach GARN (1958) sind die Mädchen den Jungen 4 bis 10 Monate voraus und HELM und SEIDLER (1974) errechneten einen Vorsprung von 2 bis 11 Monaten. Laut SCHOPF (2000) brechen die bleibenden Zähne in der Regel bei den Mädchen 3 bis 6 Monate früher durch als bei den Jungen.

In dieser Arbeit sollte untersucht werden, ob es in den Zeitintervallen 9 bis 15 geschlechtsspezifische Unterschiede in Bezug auf die Vertikalbewegung und das Wurzelwachstum von unteren Prämolaren und unteren zweiten Molaren gab und in welchem Alter diese besonders auffallend waren.

Im Zeitintervall 9 war die Vertikalbewegung der unteren Prämolaren bei den Jungen etwas stärker als bei den Mädchen, das Wurzelwachstum dagegen bei den Mädchen stärker. Interessanterweise fand bei den Mädchen im folgenden Zeitintervall 10 eine Verlangsamung der Vertikalbewegung und des Wurzelwachstums der unteren Prämolaren statt. Diese Tendenz war im Gegensatz dazu bei den Jungen nicht festzustellen, das Wurzelwachstum erfuhr sogar eine geringe Steigerung.

Im den Zeitintervallen 9 und 10 traten geschlechtsspezifisch unterschiedliche Veränderungen auf. In diesen Zeiträumen ist von intraalveolären Entwicklungen auszugehen, bei denen das Zahnsäckchen den Zahndurchbruch steuert (SCHROEDER 1995). Warum tritt die Verlangsamung der Entwicklungen bei den Mädchen ein? Eine mögliche Erklärung wäre die in diesem Zeitraum beginnende prämenstruelle Hormonumstellung. Die hormonelle Entwicklung, die die gesamtkörperliche Entwicklung beeinflusst, könnte eine Erklärung für die kurzfristige Verlangsamung sein, denn im Zeitintervall 11 war eine deutliche

Zunahme der Vertikalentwicklung der unteren Prämolaren bei den Mädchen zu beobachten. Das Wurzelwachstum erfuhr ebenfalls eine geringe Steigerung. Nach SCHOPF (2000) brechen die unteren zweiten Prämolaren durchschnittlich mit 11,35 Jahren (Mädchen) und 11,44 Jahren (Jungen) durch. Wie schon bei 6.1.1 erklärt, nahm die Geschwindigkeit extraalveolär zu. So wäre die Steigerung von Wurzelwachstum und Vertikalentwicklung im Zeitintervall 11 beim weiblichen Geschlecht zu erklären.

Die Veränderungswerte der Vertikalbewegung und des Wurzelwachstums blieben im Zeitintervall 10 und 11 bei den Jungen gleich. Die Entwicklung der unteren Prämolaren erfolgte in diesen Zeiträumen bei ihnen wesentlich gleichmäßiger. Es war keine deutliche Zunahme oder Verlangsamung wie bei den Mädchen zu erkennen.

Im Zeitintervall 12 waren die Vertikalentwicklung und das Wurzelwachstum geschlechtsunabhängig stark. In dem Zeitintervall 13 nahmen Wurzelwachstum und Vertikalbewegung ab. Diese Verlangsamung fiel bei den Mädchen deutlicher aus. Der Zahndurchbruch der unteren Prämolaren war bei ihnen in den Zeitintervallen 14 und 15 beendet. Im Gegensatz dazu traten in diesen Zeitintervallen bei den Jungen noch relativ starke Vertikalbewegungen und starkes Wurzelwachstum der unteren Prämolaren auf. Diese hohen Werte könnten mit Zufälligkeiten, resultierend aus den geringen Fallzahlen und so genannten Ausreißerwerten, erklärt werden.

Bei den unteren zweiten Molaren waren Vertikalentwicklung und Wurzelwachstum bei den Mädchen im Zeitintervall 9 deutlich stärker als bei den Jungen. Im Zeitintervall 10 konnte eine Zunahme der Vertikalentwicklung und des Wurzelwachstums bei den Jungen beobachtet werden. Bei den Mädchen trat – wie schon bei den unteren Prämolaren beobachtet werden konnte – eine Abnahme von Vertikalentwicklung und Wurzelwachstum in diesem Zeitintervall ein. Die Erklärung hierfür könnte wiederum in der prämenstruellen Hormonumstellung liegen.

Im Zeitintervall 11, in dem der Durchbruch anzunehmen ist, vollzog sich eine geschlechtsunabhängige Steigerung von Vertikalentwicklung und Wurzelwachstum. Ab dem Zeitintervall 13 konnte bei beiden Geschlechtern eine kontinuier-

liche Verlangsamung von Vertikalentwicklung und Wurzelwachstum beobachtet werden. Bei den unteren zweiten Molaren traten in den Zeitintervallen 9 und 10 geschlechtsspezifische Unterschiede in Bezug auf die Vertikalbewegung und das Wurzelwachstum auf. Die weiteren Entwicklungen erfolgten im Geschlechtervergeich parallel.

Nach KRETSCHMAR (1994) entwickeln sich die Zähne von Jungen und Mädchen bis zum fünften Lebensjahr gleichmäßig. In der weiteren Entwicklung gewannen die Mädchen einen Vorsprung, der mit 12 Jahren seinen Höhepunkt erreicht. Die Jungen liegen in diesem Zeitraum ein Jahr zurück. Der Entwicklungsvorsprung von Mädchen wurde in dieser Arbeit an den Raten der Veränderung gemessen. Die Feststellungen von KRETSCHMAR (1994) konnten hier nicht bestätigt werden. Die größten geschlechtsspezifischen Unterschiede, gemessen an den Veränderungen von Vertikalbewegung und Wurzelwachstum, zeigten sich in der vorliegenden Arbeit in den Zeitintervallen 9 und 10. Auch die Feststellung von KAHL und SCHWARZE (1988), dass sich der zeitliche Vorsprung der Mädchen in Bezug auf den Zahndurchbruch vor allem im Alter von 8,7 bis 12,8 Jahren manifestiert, muss in Bezug auf die Veränderungswerte differenziert betrachtet werden. In dieser Arbeit glichen sich die Werte der Veränderungen von Vertikalbewegung und Wurzelwachstum nach dem anzunehmenden Durchbruch des Alveolarknochens im Zeitintervall 11 an. Wenn man davon ausgeht, dass die Stärke der Veränderungswerte gleichbedeutend mit der Schnelligkeit und Stärke des Zahndurchbruchs ist, folgt daraus, dass es in den Zeitintervallen 11 bis 13 bei den unteren Prämolaren keine geschlechtsspezifischen Unterschiede in Bezug auf Vertikalbewegung und Wurzelwachstum gab.

Bei den unteren zweiten Molaren waren ab dem Zeitintervall 11 bis einschließlich Zeitintervall 15 keine geschlechtsspezifischen Unterschiede festzustellen.

7 Zusammenfassung der Arbeit

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, den Zusammenhang zwischen Vertikalbewegungen und Wurzelwachstum von unteren Prämolaren und unteren zweiten Molaren zu untersuchen. Es sollte geklärt werden, ob die Wurzeln in einem bestimmten Alter besonders stark wachsen und ob dies zur Folge hat, dass der entsprechende Zahn sich in dieser Phase schneller Richtung Mundhöhle bewegt. Weiter wurde untersucht, welche Unterschiede es diesbezüglich zwischen Prämolaren und Molaren gibt, in welchem Alter geschlechtsspezifische Unterschiede auffallend sind und ob man von einer symmetrischen Entwicklungen zwischen rechter und linker Kieferhälfte ausgehen kann.

Zu diesem Zweck wurden von 100 Patienten 238 Orthopantomogramme digitalmetrisch vermessen. Von jedem Patienten mussten mindestens zwei Orthopantomogramme vorliegen, die in einem zeitlichen Abstand von mindestens 12 Monaten und höchstens 24 Monaten aufgenommen worden waren. Es wurden Referenzpunkte und –strecken festgelegt, deren Veränderungen der Vertikalbewegung und dem Wurzelwachstum entsprachen. Durch eine Vorvermessung der unteren 6-Jahr-Molaren sollten Vergrößerungen und Verzerrungen der Röntgenbilder eines jeden Patienten weitgehend ausgeschlossen werden. Da Veränderungen von Strecken untersucht werden sollten, die innerhalb eines Zeitintervalls – also zwischen zwei aufeinander folgenden Röntgenaufnahmen – erfolgten, wurde das Alter der Patienten zum Zeitpunkt der jeweiligen Röntgenaufnahme, also am Anfang und am Ende eines Zeitintervalls ermittelt, der Mittelwert gebildet, gerundet und der entsprechenden Altersgruppe zugeordnet. Die statistische Auswertung der gewonnen Messdaten erfolgte anhand der Mittelwerte und wurde graphisch dargestellt. Die Rohdaten wurden zunächst in MS Excel erfasst und dann zur statistischen Datenanalyse an das Programm SPSS übergeben.

Der Zusammenhang zwischen Vertikalbewegung und Wurzelwachstum ist bei unteren Prämolaren und unteren zweiten Molaren statistisch gesichert. Die

stärkste Vertikalbewegung und das stärkste Wurzelwachstum war bei unteren Prämolaren in den Zeitintervallen 11, 12 und 13 festzustellen. Die Veränderungswerte der Vertikalbewegung sind in diesen Zeiträumen etwas stärker als die des Wurzelwachstums, so dass folglich neben dem Wurzelwachstum auch andere Faktoren die Vertikalbewegung der unteren Prämolaren beeinflussen. Die stärksten Vertikalbewegungen der unteren zweiten Molaren waren in den Zeitintervallen 9 und 11 zu beobachten. Das Wurzelwachstum der unteren zweiten Molaren erfolgte über die beobachteten Zeitintervalle gleichmäßig. In den Zeitintervallen 11, 12 und 13 waren die Veränderungen von Vertikalbewegung und Wurzelwachstum von unteren Prämolaren stärker als die der unteren zweiten Molaren.

Zwischen dem III. und IV. Quadranten konnten in Bezug auf Vertikalbewegung und Wurzelwachstum unterer Prämolaren und unterer zweiter Molaren keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Geschlechtsspezifische Unterschiede waren in den Zeitintervallen 9 und 10 zu beobachten. Die Vertikalbewegung und das Wurzelwachstum der unteren Prämolaren war bei den Jungen über die beobachteten Zeitintervalle vom Umfang her gleichbleibend. Bei den Mädchen hingegen war im Zeitintervall 10 eine Verlangsamung von Vertikalbewegung und Wurzelwachstum zu beobachten. Bei den unteren zweiten Molaren setzten Vertikalbewegung und Wurzelwachstum bei den Jungen ein Zeitintervall später als bei den Mädchen, im Intervall 10, ein. Es ist von einem Zusammenhang zwischen Vertikalbewegung und Wurzelwachstum der unteren Prämolaren und unteren zweiten Molaren auszugehen, welcher für prognostische Aussagen unter klinischen Gesichtspunkten hinsichtlich des zu erwartenden Zahndurchbruchs nutzbar ist.

8 Literaturverzeichnis

Adler, P.: Die Geschlechtsspezifität im Zahnwechsel. Dtsch Zahn-Mund-Kieferheilkd 31,20-33 (1959).

Berten, J.: Über die chronologische Reihenfolge des Durchbruchs der bleibenden Zähne. Dtsch Monatsschr Zahnheilkd. 13, 266-80 (1895).

Bringewald, B.: Typische Fehler in der Panorama-Schichtaufnahme und ihre Vermeidung. Panorama-Röntgenographie, 46-9, [Till Jung, Symposium Hannover, 29.-30. Oktober] (1982).

Cahill, D.R., Marks, Jr., S.C., Wise, G.E., Gorski, J.P.: A review and comparison of tooth eruption systems used in experimentation – a new proposal on tooth eruption. Davidovitch, Z. (ed.): The biological mechanism of tooth eruption and root resorption, 1-7 (1988).

Carlson, H.: Studies of the rate and amount of eruption of certain human teeth. Am J Orthod 30, 575-88 (1944).

Dahan, J.: Diagnostische Fehler in der metrischen Auswertung der Röntgenaufnahmen. Dtsch. Zahnärztl. Z. 29, 331-40 (1974).

Dahan, J., Jesdinsky, H.J.: Die Bewertung des Orthopantomogramms für kephalometrische Untersuchungen in der Kieferorthopädie. Stoma 2/21,126-37 (1968).

Dahan, J., Jesdinsky H.J.: Die Bewertung des Orthopantomogramms für kephalometrische Untersuchungen in der Kieferorthopädie. Stoma 3/21, 200-6 (1968).

Daskalogiannakis, J.: Lexikon kieferorthopädischer Begriffe. Quintessenz Verlags GmbH, Berlin, 186 (2003).

Demirjian, A., Goldstein, H., Tanner, J.M.: A new system of dental age assessment. *Human biology*, 45, 211-27 (1973).

Demirjian A., Levesque G.Y.: Sexual differences in dental developments and prediction of emergence. *J Dent Res* 59 (7), 1110-22 (1980).

Demirjian, A., Buschang, P.H., Tanguay, R., Kingnorth Patterson, D.: Interrelationship among measures of somatic, skeletal, dental, and sexual maturity. *Am J Othod.* 88, 433-8 (1985).

Demirjian, A.: Dentition. *Human growth. Postnatal growth neurobiology.*, 269-98 (1986).

Duterloo, H.S.: Umgang mit dem Panorama-Schichtgerät. *Atlas der Gebissentwicklung. Schlüterische Verlagsanstalt*, 13-6 (1992).

Fanning, E.A.: A longitudinal study of tooth formation and root resorption. *N Z Dent J.* 57, 202-17 (1961).

Fanning E.A.: Effect of extraction of deciduous molars on the formation and eruption of their successors. *Angle Orthod.* 32, 44-53 (1962).

Fleischer-Peters, A.: Die Anwendung von Röntgenübersichtsaufnahmen in der Kieferorthopädie. *Fortschr Kieferorthop* 24 H. 2, 150-5 (1963).

Garn, S.M., Lewis, A.B., Shoemaker, D.W: The sequence of calcification of the mandibular molar and premolar teeth. *J Dent Res* 35, 555-61 (1956).

Garn, S.M., Lewis, A.B, Koski, K., Polacheck, D.L: The sex difference in tooth calcification. *J Dent Res* 37, 561-7 (1958).

Gorski, J.P., Marks, Jr., S.C.: Current concepts of the biology of tooth eruption. *Crit-Rev-Oral-Biol-and Med.* 3 (3), 185-206 (1992).

Grön, A.-M.: Prediction of tooth emergence. *J Dent Res* 41 (3), 573-85 (1962).

Harzer, W., Hetzer, G.: Zur Dentition permanenter Zähne – Längsschnittuntersuchungen an 250 Schulkindern zwischen dem 7. und 15. Lebensjahr. Zahn Mund Kieferheilkd Zentralbl 75 (8), 779-85 (1987).

Hedge, R.J., Sood, P.B.: Dental maturity as an indicator of chronological age: radiographic evaluation of dental age in 6 to 13 years children of Belgaum using Demirjans methods. J-Indian-Soc-Pedod-Prev-Dent 20 (4), 132-8 (2002).

Helm, S., Seidler, B.: Timing of permanent tooth emergence in Danish children. Community Dent Oral Epidemiol 2 (3), 122-9 (1974).

Hirsch, A.: Beurteilung des Durchbruchalters der Eckzähne und Prämolaren des Ober- und Unterkiefer in Abhängigkeit klinisch relevanter Eruptionssequenzen unter Zugrundelegung eines sächsischen Probandengutes. Med Diss, Leipzig (2000).

Hirschfelder, U.: Indikation und Kontraindikation der Panorama-Schichtaufnahme in der Kieferorthopädie. Panorama-Röntgenographie, 82-9, [Till Jung, Symposium Hannover, 29.-30. Oktober] (1982).

Janson, I.: Eine Untersuchung zur mittleren Durchbruchzeit der bleibenden Zähne des Menschen. Fortschr Kieferorthop 32 (3), 387-97 (1971).

Jung, T.: Die Panorex-Röntgenaufnahme in der Kieferorthopädie. Fortschr Kieferorthop 23, 101-7 (1962).

Kahl, B., Schwarze, C.W.: Aktualisierung der Dentitionstabelle von I. Schour und M. Massler von 1941. Fortschr Kieferorthop 49 (5), 432-43 (1988).

Kochhar, R., Richardson, A.: The chronology and sequence of eruption of human teeth in Northern Ireland. Int J Paediatr Dent 8 (4), 243-52 (1998).

Kreter, F., Lintel-Höping, A., Wanders, N.: Art und Häufigkeit von Fehlern bei Orthopantomogrammen; eine Studie in Großstadtpraxen. Panorama-Röntgenographie, 53-8, [Till Jung, Symposium Hannover, 29.-30. Oktober] (1982).

Kretschmer, R.: Die Bestimmung des dentalen Alters im Orthopantomogramm unter besonderer Berücksichtigung der Akzeleration. Med Diss, Berlin (1994).

Larheim, T.A., Svanaes, D.S., Johannessen, S.: Reproducibility of radiographs with the orthopantomograph 5: Tooth-length assessment. Oral-Surg-Oral-Med-Oral-Pathol. 58 (6), 735-41 (1984).

Leroy, R., Bogaerts, K., Lesaffre, E., Declerck, D.: The emergence of permanent teeth in Flemish children. Community-Dent-Oral-Epidemiol 31 (1), 30-9 (2003).

Lew, K.K.K.: The prediction of eruption-sequence from panoramic radiographs. Journal of dentistry for children 59, 346-9 (1992).

Liversidge, H.M., Molleson, T.I.: Developing permanent tooth length as an estimate of age. J-Forensic-Sci. 44 (5), 917-20 (1999).

Marks, Jr., S.C., Cahill, D.R.: Experimental study in the dog of the nonactive role of the eruption process. Arch Oral Biol 29, 311-22 (1984).

Marks, Jr., S.C., Gorski, J.P., Cahill, L.R., Wise, G.E.: Tooth eruption – a synthesis of experimental observations. Davidovitch, Z. (ed.): The biological mechanism of tooth eruption and root resorption., 161-9 (1988).

Marks, Jr., S.C., Schroeder, H.E.: Tooth Eruption: Theories and Facts. The Anatomical Record 245, 374-93 (1996).

Marxer, H.: Zur Beurteilung des Orthopantomogramms in der Orthodontie. Acta Orthodontica 13, Schweiz. Mschr. Zahnmed. 95 (5), 445-53 (1985).

Moorrees, C.F.A., Fanning, E.A., Hunt, Jr., E.E.: Age variation of formation stage for ten permanent teeth. J Dent Res. 42, 1490 –502 (1963).

Moyers, R.E.: Handbook of Orthodontics. Year Book Medical. Chicago: Publishers Inc., 226-8 (1988).

Paatero, Y.V.: Pantomographische Röntgenographie. Fortschr Kieferorthop 13, 115-7 (1952).

Schopf, P.: Längen- und Winkelmessungen am Orthopantomogramm. Fortschr Kieferorthop 27 H.1, 107-14 (1966).

Schopf, P.: Die Panorama-Röntgenaufnahme des Orthopantomographen als Hilfsmittel der kieferorthopädischen Befunderhebung. DDZ 23 (10), 480-4 (1969).

Schopf, P.: Wurzelmineralisation und Zahndurchbruch im Wechselgebiss. Eine Studie an Panorama-Röntgenbildern. Fortschr Kieferorthop 31(1), 39-56 (1970).

Schopf, P.: Normale Gebissentwicklung. Curriculum Kieferorthopädie I (3), 34-9 (2000).

Schour, I., Massler, M.: The development of the human dentition. J. Amer. Dent. Assoc. 28, 1153-60 (1941).

Schroeder, H.E.: Orale Strukturbiologie: Entwicklungsgeschichte, Struktur u. Funktion normaler Hart- und Weichgewebe der Mundhöhle, Georg Thieme Verlag Stuttgart, 283 (1976).

Schroeder, H.E.: Die Geschwindigkeit des Durchbruchs menschlicher Zähne. Eine Übersicht. Schweiz. Mschr. Zahnmed. 101 (3), 279-84 (1991).

Smith, R.G.: A clinical study into the rate of eruption of some human permanent teeth. Arch Oral Biol 25, 675-81 (1980).

Schwarz, A.M.: Schwierigkeiten bei der Entfaltung des bleibenden Zahnbogens. Entwicklungsstörungen beim Zahnwechsel. München: C. Hanser-Verlag, 86-99 (1952)

Thanyakarn, C., Hansen, K., Rohlin, M., Akesson, L.: Measurement of tooth length in panoramic radiographs. 1.The use of indicators. Dento-maxillo-facial-radiology 21(1), 26-30 (1992).

Wangerin, K.: Vergrößerung und Verzerrung der Panorama-Schichtaufnahme am Beispiel „Cranex DC“. Panorama-Röntgenographie, 37-40, [Till Jung, Symposium Hannover, 29.-30. Oktober] (1982).

Wangerin, K.: Lambrecht, J.T.: Objektdoppeldarstellungen in der Panoramanschichtaufnahmetechnik – Verlust von diagnostisch auswertbaren Bildanteilen. Dtsch Zahnarztl Z, 39 (12), 923-8 (1984).

Zäschke, C., Schopf, P.: Zur metrischen Analyse von Panorama-Röntgenbildern. Fortschr Kieferorthop 36, 220-30 (1975).

9 Anhang

Verteilung der Anfangswerte nach Anfangsalter (gerundet)

Alter1		Alter_1	G37_1	H37_1	E37_1	F37_1	C3435_1	D3435_1	A4445_1	B4445_1	L1_46_1	L2_36_1
8,00	Mittelwert	100,00	13,950	8,300	13,900	8,600	16,15	8,425	14,675	9,225	25,388	24,450
	N	8	4	4	4	4	4	4	4	4	8	8
	Standartabweichung	,756	,8505	1,2702	,9695	,7071	2,296	5,8528	,6652	7,7008	1,8696	1,3565
	Median	100,00	13,650	8,500	14,250	8,350	15,95	10,300	14,650	11,600	25,400	24,7500
	Minimum	99	3,3	6,6	12,5	8,1	14	,3	13,9	-1,4	22,6	22,8
	Maximum	101	15,2	9,6	14,6	9,6	19	12,8	15,5	15,1	27,9	25,8
9,00	Mittelwert	107,81	12,320	8,687	12,640	9,127	12,01	14,447	12,307	14,507	26,035	25,638
	N	37	15	15	15	15	15	15	15	15	37	37
	Standartabweichung	,777	1,6125	,4297	1,9550	1,7380	3,083	1,9820	2,6204	2,1282	2,3647	2,3484
	Median	107,00	12,300	8,800	12,400	9,200	11,90	14,400	12,700	13,900	26,300	25,700
	Minimum	102	9,7	5,4	9,8	6,6	7	11,8	8,1	11,5	21,3	20,9
	Maximum	113	16,0	11,0	15,9	12,3	17	18,4	17,3	18,1	30,2	31,4
10,00	Mittelwert	119,47	14,890	7,7621	14,990	7,990	14,94	11,307	14,890	11,193	25,703	25,633
	N	72	29	29	29	29	29	29	29	29	72	72
	Standartabweichung	3,112	2,8556	2,7687	2,5901	2,8330	3,479	4,3748	3,4307	4,7949	1,5103	1,8008
	Median	119,00	15,300	7,9000	15,200	8,300	14,90	12,700	15,200	12,700	25,800	25,600
	Minimum	114	8,5	1,70	10,1	1,2	9	-,3	8,3	-,9	22,6	22,0
	Maximum	125	20,5	13,40	19,7	13,1	23	16,5	21,2	16,4	28,6	29,3
11,00	Mittelwert	131,23	16,475	5,885	16,615	5,805	16,01	10,425	16,030	10,785	26,128	25,926
	N	47	20	20	20	20	20	20	20	20	47	47
	Standartabweichung	3,052	2,4527	3,2068	2,5345	3,3447	2,430	3,9889	2,6788	4,0863	1,3041	1,4758
	Median	131,00	16,200	6,550	16,100	6,150	15,70	11,100	16,050	11,850	26,300	26,000
	Minimum	126	13,4	1,9	13,2	1,6	12	1,5	11,1	,3	22,8	22,5
	Maximum	137	21,8	11,4	22,9	11,7	22	15,1	22,8	16,2	28,3	28,5
12,00	Mittelwert	145,58	18,369	4,294	18,081	4,837	18,18	9,681	18,344	8,938	26,903	26,726
	N	38	16	16	16	16	16	16	16	16	38	38
	Standartabweichung	3,202	2,5687	3,3463	2,4938	3,0635	3,585	4,0412	3,5740	4,8026	1,7213	1,6559
	Median	143,50	18,150	3,450	18,250	4,950	17,30	10,350	17,850	10,600	26,700	26,450
	Minimum	139	14,4	,3	12,7	,8	12	2,8	12,0	,3	23,7	23,8
	Maximum	149	23,0	11,0	23,1	10,0	26	15,3	26,1	13,9	31,2	29,4
13,00	Mittelwert	153,33	20,312	3,300	21,038	3,400	22,08	5,4008	21,150	5,975	27,433	27,394
	N	18	8	8	8	8	8	7,0161	8	8	18	18
	Standartabweichung	3,181	4,4492	3,4476	4,5147	4,2339	4,970	3,350	5,7081	6,8972	1,0398	1,3918
	Median	152,00	20,000	2,850	21,850	2,800	22,30	-1,2	23,700	5,650	27,350	27,550
	Minimum	150	15,1	,3	15,5	1,1	14	14,3	13,5	-1,3	25,7	25,0
	Maximum	158	26,2	9,5	26,7	9,9	27	27	26,2	13,3	29,2	29,5
14,00	Mittelwert	167,50	20,775	2,688	21,238	8	22,31	2,738	23,500	1,763	26,800	26,417
	N	18	8	8	8	3,6456	8	8	8	8	18	18
	Standartabweichung	3,258	2,1158	3,0367	2,3256	3,500	3,442	4,8597	2,5818	4,4278	1,9296	1,2205
	Median	166,50	21,650	2,350	21,250	,4	22,90	,350	23,700	-,200	27,100	26,500
	Minimum	163	16,8	,5	17,0	8,0	16	-,7	18,5	-1,6	23,1	24,5
	Maximum	172	23,4	7,3	24,1	24,1	26	11,5	25,1	9,5	29,8	28,7
Insgesamt	Mittelwert	29,37	16,249	6,1929	16,397	6,547	16,44	10,066	16,464	9,997	26,233	26,019
	N	238	100	100	100	100	100	100	100	100	238	238
	Standartabweichung	18,125	3,6587	3,4483	3,6793	3,4982	4,485	5,2251	4,5010	5,5684	1,7598	1,8300
	Median	126,50	16,050	6,800	15,900	7,400	16,35	12,050	16,000	11,950	26,300	25,950
	Minimum	99	8,5	1,90	9,8	1,6	7	-1,2	8,1	-1,6	21,3	20,9
	Maximum	172	26,2	13,40	26,7	13,1	27	18,4	26,2	18,1	31,2	31,4

Tabelle 1: Mittelwerte, Anzahl, Standartabweichung, Median, -Minimum- und Maximumwerte der absoluten Werte der ersten Messung

Verteilung der 2. Untersuchungswerte nach 2. Untersuchungsalter

ALTER2		G37_2	H37_2	E47_2	F47_2	C3435_2	D3435_2	A4445_2	B4445_2	L1_46_2	L2_36_2
9,00	Mittelwert	13,300	7,750	13,750	8,800	14,950	7,900	14,150	7,550	25,200	23,850
	N	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Standardabweichung	2,1213	,7778	,4950	,5657	6,0104	9,1924	7,0004	10,2530	,7071	,0707
	Median	13,300	7,750	13,750	8,800	14,950	7,900	14,150	7,550	25,200	23,850
	Minimum	11,8	7,2	13,4	8,4	10,7	1,4	9,2	,3	24,7	23,8
	Maximum	14,8	8,3	14,1	9,2	19,2	14,4	19,1	14,8	25,7	23,9
10,00	Mittelwert	16,980	5,313	16,893	5,493	17,260	8,427	16,880	9,460	26,140	25,733
	N	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	Standardabweichung	2,2973	3,3675	1,9779	3,2856	3,9086	5,5046	3,7139	5,4328	2,1738	2,2395
	Median	16,600	7,200	17,600	6,600	17,500	8,900	17,200	11,100	26,500	25,700
	Minimum	13,0	-1,2	13,7	-1,0	11,3	-1,6	10,8	-2,9	22,3	21,9
	Maximum	20,7	8,9	19,1	9,9	22,2	15,1	22,8	15,3	29,9	31,4
11,00	Mittelwert	17,908	3,992	17,613	4,179	18,283	7,896	18,225	7,633	25,667	25,862
	N	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
	Standardabweichung	3,2207	3,9034	3,2853	3,9740	3,5974	5,5816	3,6591	5,3956	1,5813	1,9812
	Median	19,200	3,150	17,750	3,200	18,000	9,550	18,200	9,800	25,800	26,100
	Minimum	11,4	-,7	11,4	-,7	11,3	-,9	8,2	-4,5	22,7	20,9
	Maximum	23,3	11,7	22,5	14,1	26,4	14,4	23,8	14,1	28,2	28,9
12,00	Mittelwert	18,972	3,216	19,216	2,892	20,260	3,772	19,960	4,272	26,012	25,680
	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	Standardabweichung	2,8559	3,6162	2,4527	3,3761	3,4404	5,4547	3,6299	5,8691	1,5205	1,5044
	Median	19,500	2,000	18,700	1,700	21,000	1,100	20,500	,500	26,000	25,700
	Minimum	12,6	-1,3	15,7	-1,1	10,3	-1,1	10,5	-1,2	22,6	22,6
	Maximum	24,1	11,1	24,4	10,3	24,6	16,1	24,6	15,2	28,5	28,5
13,00	Mittelwert	21,257	1,714	20,886	1,779	21,707	2,4615	21,857	3,143	26,586	26,657
	N	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
	Standardabweichung	2,4532	3,9465	2,6384	2,8255	2,3718	3,64430	3,1402	5,2782	1,9775	1,8317
	Median	21,350	,200	20,550	,650	21,450	1,200	21,450	,750	25,950	26,700
	Minimum	16,2	-2,2	16,4	-1,5	18,7	-,5	15,5	-1,3	23,7	23,1
	Maximum	26,0	11,1	27,3	7,6	27,1	11,60	27,9	14,4	31,2	29,4
14,00	Mittelwert	22,270	1,190	22,340	1,560	22,860	1,730	23,280	1,790	27,030	26,780
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	Standardabweichung	3,2762	2,8423	3,1430	2,5605	3,0446	3,1330	2,8778	3,5797	1,4974	1,5361
	Median	22,100	,400	21,450	,650	22,700	,550	23,850	,400	26,900	26,900
	Minimum	17,8	-1,1	18,4	-1,1	17,4	-,5	17,4	-,3	23,7	24,8
	Maximum	27,2	8,5	27,3	6,2	26,9	11,6	26,4	11,4	28,6	29,5
15,00	Mittelwert	22,870	,890	22,600	1,990	25,500	,480	24,450	,300	26,580	26,410
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	Standardabweichung	2,6039	2,3426	2,2514	2,6739	2,6268	2,3785	2,9636	2,3898	1,7862	1,2965
	Median	23,350	,250	22,050	1,350	25,450	,250	24,700	,200	26,900	26,500
	Minimum	18,8	-2,0	18,8	-,7	19,5	-1,9	19,4	-3,7	23,1	24,8
	Maximum	27,8	6,4	25,9	6,2	29,5	6,7	28,0	6,0	28,7	28,7
Insgesamt	Mittelwert	19,344	3,162	19,258	3,330	20,216	5,0899	20,012	5,119	26,171	26,015
	N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Standardabweichung	3,5098	3,7554	3,3725	3,5541	4,1522	5,70192	4,2546	5,8650	1,7393	1,8032
	Median	19,500	2,050	19,300	2,500	20,950	1,700	20,650	2,350	26,200	25,950
	Minimum	11,4	-2,2	11,4	-1,5	10,3	-1,9	8,2	-4,5	22,3	20,9
	Maximum	27,8	11,7	27,3	14,1	29,5	16,10	28,0	15,3	31,2	31,4

Tabelle 2: Mittelwerte, Anzahl, Standardabweichung, Median-, Minimum- und Maximumwerte der absoluten Werte der zweiten Messung

Verteilung der 3. Untersuchungswerte nach 3. Untersuchungsalter

ALTE		G37_	H37_	E47_	F47_	C3435	D3435	A4445	B4445	L1_46	L2_36
11,0	Mittelw	19,00	2,15	19,33	3,00	18,38	8,61	18,21	8,78	26,75	26,21
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Standardabweic	2,570	1,873	2,069	,927	4,026	6,354	3,885	6,690	2,263	2,244
	Medi	19,45	2,35	19,20	2,85	17,40	11,10	17,25	11,75	26,30	25,70
	Minim	14,	-	17,	2,	14,	,0	13,	-,4	24,	24,
	Maxim	22,	3,	21,	4,	25,	14,	24,	14,	30,	30,
12,0	Mittelw	20,35	1,38	19,58	1,45	20,52	2,91	20,58	3,40	24,78	24,22
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	Standardabweic	3,227	2,854	3,756	3,620	4,587	5,159	5,480	5,418	2,162	1,813
	Medi	20,30	,10	19,60	-	19,80	,40	21,60	,50	24,60	24,30
	Minim	16,	-	14,	-	14,	-,8	10,	-,2	22,	22,
	Maxim	24,	5,	25,	7,	25,	11,	25,	12,	28,	27,
13,0	Mittelw	22,47	1,41	22,20	1,53	21,94	3,10	22,63	2,50	26,73	26,79
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	Standardabweic	3,129	2,306	2,636	2,806	3,763	5,756	3,816	5,413	,958	1,397
	Medi	22,20	,45	22,30	,05	22,20	,45	23,40	,35	26,80	27,00
	Minim	17,	-,9	18,	-	13,	-,9	12,	-,3	25,	24,
	Maxim	27,	6,	25,	5,	27,	14,	26,	15,	28,	28,
14,0	Mittelw	20,83	4,90	21,80	2,13	22,76	2,23	21,00	3,73	26,33	26,43
	N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Standardabweic	2,182	5,246	2,645	2,285	1,650	4,554	2,128	6,595	2,858	2,874
	Medi	20,40	4,10	22,80	3,30	22,30	,50	21,40	,70	27,00	27,40
	Minim	18,	,1	18,	-,5	21,	-	18,	-,8	23,	23,
	Maxim	23,	10,	23,	3,	24,	7,	22,	11,	28,	28,
15,0	Mittelw	24,10	-	24,10	,80	24,32	,67	25,12	,02	27,42	26,72
	N	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	Standardabweic	2,135	1,347	2,395	1,659	2,731	,857	2,759	,977	1,307	2,051
	Medi	23,80	-	23,15	,60	24,15	,45	24,45	,25	27,10	27,00
	Minim	22,	-	22,	-,8	21,	-,1	22,	-	26,	24,
	Maxim	26,	,2	27,	2,	27,	1,	28,	,9	29,	28,
16,0	Mittelw	27,20	,60	26,70	,80	29,30	-	28,70	-	29,20	28,70
	N	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Standardabweic	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,
	Medi	27,20	,60	26,70	,80	29,30	-	28,70	-	29,20	28,70
	Minim	27,	,6	26,	,8	29,	-	28,	-	29,	28,
	Maxim	27,	,6	26,	,8	29,	-	28,	-	29,	28,
Insgesa	Mittelw	21,58	1,56	21,45	1,72	21,58	3,49	21,73	3,52	26,44	26,16
	N	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
	Standardabweic	3,284	2,767	3,200	2,523	4,166	5,633	4,461	5,766	1,916	2,049
	Medi	21,40	,50	21,40	1,50	21,80	,50	22,90	,50	26,60	25,90
	Minim	14,	-	14,	-	13,	-	10,	-	22,	22,
	Maxim	27,	10,	27,	7,	29,	14,	28,	15,	30,	30,

Tabelle 3: Mittelwerte, Anzahl, Standardabweichung, Median-, Minimum- und Maximumwerte
der absoluten Werte der dritten Messung

Verteilung der 4. Untersuchungswerte nach 4. Untersuchungsalter

Alter	N	g37	h37	e47	f47	c343 5	d343 5	a444 5	b4445
13,00 Mittelwert	1	22,9	-0,8	22,9	-0,5	26,9	-0,7	27	-0,5
Standartabweichung									
Median									
Minimum									
Maximum									
15,00 Mittelwert	1	24	-0,2	22,9	0,2	22,7	-0,1	22,1	1,6
Standartabweichung									
Median									
Minimum									
Maximum									
16,00 Mittelwert	2	26,3	-1,25	26,15	-1,6	28,4	-0,6	27,9	0,35
Standartabweichung									
Median									
Minimum									
Maximum									

Table 4: Mittelwerte der absoluten Werte der vierten Messung

Deskriptive Statistik der Veränderungen in Abhängigkeit vom Alter

Bericht

ALTJ		G37_D	H37_D	E47_D	F47_D	C3435_D	D3435_D	A4445_D	B4445_D
9,00	Mittelwert	3,188	-3,775	3,912	-3,800	3,950	-4,575	3,58	-3,700
	N	8	8	8	8	8	8	8	8
	Standardabweichung	2,1020	2,8629	2,0420	2,9626	1,6310	3,9100	2,250	2,6409
	Median	3,150	-3,350	4,050	-4,500	3,500	-3,800	3,45	-3,200
	Minimum	,7	-7,8	,9	-8,1	2,1	-12,9	1	-8,2
	Maximum	7,4	-,2	7,8	-,3	7,3	-1,3	8	-,4
10,00	Mittelwert	3,008	-2,438	2,704	-2,596	3,608	-4,029	3,32	-2,979
	N	24	24	24	24	24	24	24	24
	Standardabweichung	1,5929	2,3768	1,7304	2,3201	2,1685	4,2623	1,602	2,4261
	Median	3,050	-1,800	2,350	-2,200	3,250	-2,650	3,25	-2,200
	Minimum	,4	-7,3	-1,1	-6,9	-,2	-14,1	0	-8,7
	Maximum	7,8	1,0	7,6	2,1	10,3	,7	7	,2
11,00	Mittelwert	3,350	-4,009	3,206	-4,088	4,038	-5,221	3,96	-5,726
	N	34	34	34	34	34	34	34	34
	Standardabweichung	1,6932	2,6124	1,8018	2,0972	1,5932	4,4977	1,644	4,6963
	Median	3,400	-3,750	3,300	-4,000	4,100	-3,650	4,05	-4,650
	Minimum	-,1	-9,8	-,1	-8,4	-,4	-13,8	1	-13,0
	Maximum	7,0	1,4	8,5	,5	7,3	1,0	7	,4
12,00	Mittelwert	3,476	-2,841	3,241	-3,079	4,414	-6,031	4,65	-6,538
	N	29	29	29	29	29	29	29	29
	Standardabweichung	1,7964	2,4627	2,0239	2,1091	1,9813	4,8129	2,290	5,3820
	Median	3,300	-3,000	3,200	-3,300	3,800	-6,500	4,60	-8,600
	Minimum	,2	-7,4	-2,5	-7,2	1,7	-14,0	0	-13,7
	Maximum	8,2	,6	7,3	1,0	8,9	,8	9	1,9
13,00	Mittelwert	2,667	-2,605	2,952	-2,595	3,324	-5,119	3,41	-4,681
	N	21	21	21	21	21	21	21	21
	Standardabweichung	1,7954	2,2802	1,0671	1,9828	1,9852	4,4003	2,402	5,3161
	Median	2,700	-2,400	2,900	-3,000	3,600	-4,300	2,70	-2,200
	Minimum	-1,5	-6,9	1,5	-6,0	-,8	-13,2	0	-13,0
	Maximum	7,8	,8	5,3	1,4	7,6	1,8	8	1,6
14,00	Mittelwert	2,815	-1,992	1,592	-1,638	2,377	-2,731	2,48	-2,085
	N	13	13	13	13	13	13	13	13
	Standardabweichung	2,0635	2,0798	1,1176	2,4517	1,9154	3,8870	2,209	4,6708
	Median	3,700	-1,800	1,800	-1,100	2,400	-1,100	2,00	,400
	Minimum	-,4	-5,6	-,5	-7,2	-1,5	-9,5	-1	-11,7
	Maximum	5,9	,3	3,1	1,3	5,1	1,3	6	1,2
15,00	Mittelwert	1,550	-1,175	1,450	-1,638	2,575	-2,213	1,91	-1,500
	N	8	8	8	8	8	8	8	8
	Standardabweichung	1,5712	1,4743	,7982	1,7246	3,2345	3,9826	2,240	3,4197
	Median	1,400	-1,100	1,550	-1,700	2,150	-1,700	1,40	-,950
	Minimum	-,2	-3,9	,5	-4,5	-1,5	-11,3	-1	-9,3
	Maximum	4,1	,7	2,6	1,8	8,6	1,5	6	2,3
16,00	Mittelwert	-,100	-1,800	-1,100	-2,500	1,300	-6,100	,60	-5,100
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Standardabweichung	,	,	,	,	,	,	,	,
	Median	-,100	-1,800	-1,100	-2,500	1,300	-6,100	,60	-5,100
	Minimum	-,1	-1,8	-1,1	-2,5	1,3	-6,1	1	-5,1
	Maximum	-,1	-1,8	-1,1	-2,5	1,3	-6,1	1	-5,1
Insgesamt	Mittelwert	3,024	-2,893	2,843	-2,988	3,667	-4,728	3,60	-4,550
	N	138	138	138	138	138	138	138	138
	Standardabweichung	1,8068	2,4823	1,7767	2,2903	2,0529	4,4374	2,138	4,6894
	Median	2,950	-2,650	2,800	-3,200	3,650	-3,100	3,60	-3,100
	Minimum	-1,5	-9,8	-2,5	-8,4	-1,5	-14,1	-1	-13,7
	Maximum	8,2	1,4	8,5	2,1	10,3	1,8	9	2,3

Tabelle 5: Mittelwerte, Anzahl, Standardabweichung, Median-, Minimum- und Maximumwerte der Veränderungswerte

Korrelationen

		C3435_	D3435_
C3435_	Korrelation nach	1	-,655**
	Signifikanz (2-	,	,000
	N	138	138
D3435_	Korrelation nach	-,655**	1
	Signifikanz (2-	,000	,
	N	138	138

** . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 signifikant

Tabelle 6: Korrelation von Vertikalentwicklung und Wurzelwachstum von 34/35

Korrelationen

		A4445_	B4445_
A4445_	Korrelation nach	1	-,664**
	Signifikanz (2-	,	,000
	N	138	138
B4445_	Korrelation nach	-,664**	1
	Signifikanz (2-	,000	,
	N	138	138

** . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 signifikant

Tabelle 7: Korrelation von Vertikalentwicklung und Wurzelwachstum von 44/45

Korrelationen

		G37_	H37_
G37_	Korrelation nach	1	-,535**
	Signifikanz (2-	,	,000
	N	138	138
H37_	Korrelation nach	-,535**	1
	Signifikanz (2-	,000	,
	N	138	138

** . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 signifikant

Tabelle 8: Korrelation von Vertikalentwicklung und Wurzelwachstum von 37

Korrelationen

		E47_	F47_
E47_	Korrelation nach	1	-,551**
	Signifikanz (2-	,	,000
	N	138	138
F47_	Korrelation nach	-,551**	1
	Signifikanz (2-	,000	,
	N	138	138

** . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01
signifikant

Tabelle 9: Korrelation von Vertikalentwicklung und Wurzelwachstum von 47

Deskriptive Statistik der Veränderungen in Abhängigkeit vom Alter getrennt nach Geschlecht

GESCHL	ALTJ	G37_D	H37_D	E47_D	F47_D	C3435_D	D3435_D	A4445_D	B4445_D	
1	9,00	Mittelwert	1,650	-1,250	2,350	-,700	2,900	-3,950	2,35	-5,750
		N	2	2	2	2	2	2	2	2
		Standardabweichung	,6364	,3536	2,0506	1,4142	1,1314	3,7477	1,768	3,4648
		Median	1,650	-1,250	2,350	-,700	2,900	-3,950	2,35	-5,750
		Minimum	1,2	-1,5	,9	-1,7	2,1	-6,6	1	-8,2
	Maximum	2,1	-1,0	3,8	,3	3,7	-1,3	4	-3,3	
	10,00	Mittelwert	4,014	-3,057	3,600	-3,257	4,729	-6,586	4,11	-4,871
		N	7	7	7	7	7	7	7	7
		Standardabweichung	2,0692	2,6751	2,2279	1,8609	3,0043	6,0518	1,390	2,5111
		Median	3,600	-1,900	2,600	-3,500	4,800	-3,800	3,70	-4,600
		Minimum	1,3	-6,5	1,2	-6,4	1,0	-14,1	3	-8,7
	Maximum	7,8	,0	7,6	-,8	10,3	-,7	7	-1,8	
	11,00	Mittelwert	3,693	-4,836	3,150	-4,429	4,221	-4,079	3,96	-5,271
		N	14	14	14	14	14	14	14	14
		Standardabweichung	1,2493	2,7520	1,9142	1,8910	1,3526	3,9956	1,517	4,9395
		Median	3,300	-3,950	3,000	-4,550	4,100	-2,300	4,40	-3,850
		Minimum	2,3	-9,8	,8	-7,5	2,5	-11,4	2	-13,0
	Maximum	6,6	,0	8,5	-,3	7,3	-,5	7	,2	
	12,00	Mittelwert	3,736	-2,064	3,727	-2,955	4,791	-6,200	4,87	-6,773
		N	11	11	11	11	11	11	11	11
		Standardabweichung	2,4561	2,6722	1,8342	2,5797	2,6760	5,0050	2,680	5,9284
		Median	3,300	-,900	3,900	-3,100	3,800	-5,500	4,40	-9,100
		Minimum	,6	-7,4	,6	-7,2	1,7	-13,6	1	-13,7
	Maximum	8,2	,6	7,3	1,0	8,9	,5	9	,8	
	13,00	Mittelwert	2,400	-2,533	3,389	-2,467	3,189	-4,967	3,46	-6,122
		N	9	9	9	9	9	9	9	9
		Standardabweichung	1,2420	2,4834	1,3148	2,2864	1,1407	4,4244	2,421	6,4859
		Median	2,400	-2,000	3,700	-2,400	3,600	-4,300	2,50	-3,100
		Minimum	,9	-6,2	1,6	-6,0	1,3	-12,7	0	-13,0
	Maximum	5,1	,2	5,3	1,4	4,8	,7	7	1,6	
	14,00	Mittelwert	2,967	-2,067	1,600	-1,811	2,567	-3,600	3,31	-2,944
		N	9	9	9	9	9	9	9	9
		Standardabweichung	2,1529	1,9474	1,1435	2,7629	2,1674	4,3712	2,006	5,4026
		Median	3,700	-3,000	1,500	-1,100	3,200	-,500	3,70	,400
		Minimum	-,2	-4,8	-,5	-7,2	-1,5	-9,5	0	-11,7
	Maximum	5,9	,3	3,1	1,3	5,1	,6	6	1,2	
	15,00	Mittelwert	1,750	-1,225	1,775	-1,675	3,600	-3,575	2,58	-2,575
		N	4	4	4	4	4	4	4	4
		Standardabweichung	1,8448	1,8319	,9106	2,6107	3,9090	5,2955	2,943	4,5383
		Median	1,450	-,550	2,000	-2,000	3,200	-1,800	2,55	-,800
		Minimum	,0	-3,9	,5	-4,5	-,6	-11,3	-1	-9,3
	Maximum	4,1	,1	2,6	1,8	8,6	,6	6	,6	
	Insg.	Mittelwert	3,205	-2,868	2,982	-2,927	3,873	-4,834	3,82	-5,104
		N	56	56	56	56	56	56	56	56

2		Standardabweichung	1,8926	2,6528	1,7915	2,4151	2,2664	4,5869	2,126	5,1512
		Median	2,900	-2,450	2,650	-3,250	3,750	-2,950	3,80	-3,400
		Minimum	-,2	-9,8	-,5	-7,5	-1,5	-14,1	-1	-13,7
		Maximum	8,2	,6	8,5	1,8	10,3	,7	9	1,6
	9,00	Mittelwert	3,700	-4,617	4,433	-4,833	4,300	-4,783	3,98	-3,017
		N	6	6	6	6	6	6	6	6
		Standardabweichung	2,2009	2,8372	1,9222	2,6005	1,6971	4,2879	2,379	2,2631
		Median	3,850	-4,900	4,400	-5,200	3,900	-3,800	3,70	-2,400
	10,00	Minimum	,7	-7,8	1,9	-8,1	2,7	-12,9	1	-6,1
		Maximum	7,4	-,2	7,8	-,4	7,3	-1,4	8	-,4
		Mittelwert	2,594	-2,182	2,335	-2,324	3,147	-2,976	2,99	-2,200
		N	17	17	17	17	17	17	17	17
	11,00	Standardabweichung	1,1903	2,2804	1,3955	2,4838	1,6125	2,8887	1,605	1,9710
		Median	2,700	-1,700	2,000	-1,900	2,900	-2,600	2,90	-1,700
		Minimum	,4	-7,3	-1,1	-6,9	-,2	-10,0	0	-6,1
		Maximum	4,2	1,0	4,8	2,1	5,5	,7	6	,2
	12,00	Mittelwert	3,110	-3,430	3,245	-3,850	3,910	-6,020	3,96	-6,045
		N	20	20	20	20	20	20	20	20
		Standardabweichung	1,9401	2,4114	1,7686	2,2465	1,7648	4,7517	1,766	4,6209
		Median	3,450	-3,700	3,450	-3,500	4,000	-6,300	3,80	-5,550
13,00	Minimum	-,1	-7,9	-,1	-8,4	-,4	-13,8	1	-12,5	
	Maximum	7,0	1,4	5,8	,5	6,9	1,0	7	,4	
	Mittelwert	3,317	-3,317	2,944	-3,156	4,183	-5,928	4,51	-6,394	
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	
14,00	Standardabweichung	1,3021	2,2711	2,1264	1,8427	1,4509	4,8361	2,088	5,1939	
	Median	3,300	-3,600	2,950	-3,450	3,750	-6,900	4,65	-8,050	
	Minimum	,2	-6,5	-2,5	-5,8	1,7	-14,0	0	-13,1	
	Maximum	5,1	,6	7,1	,3	6,7	,8	9	1,9	
15,00	Mittelwert	2,867	-2,658	2,625	-2,692	3,425	-5,233	3,38	-3,600	
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	
	Standardabweichung	2,1534	2,2273	,7350	1,8228	2,4886	4,5755	2,495	4,2207	
	Median	2,950	-2,600	2,900	-3,200	3,350	-5,100	3,00	-1,550	
16,00	Minimum	-1,5	-6,9	1,5	-4,8	-,8	-13,2	0	-11,5	
	Maximum	7,8	,8	3,8	1,0	7,6	1,8	8	,5	
	Mittelwert	2,475	-1,825	1,575	-1,250	1,950	-,775	,63	-,150	
	N	4	4	4	4	4	4	4	4	
17,00	Standardabweichung	2,1093	2,6713	1,2285	1,8430	1,3404	1,4546	1,457	1,4911	
	Median	3,050	-1,000	1,950	-1,400	1,500	-1,150	,75	,300	
	Minimum	-,4	-5,6	-,2	-3,0	,9	-2,1	-1	-2,3	
	Maximum	4,2	,3	2,6	,8	3,9	1,3	2	1,1	
18,00	Mittelwert	1,350	-1,125	1,125	-1,600	1,550	-,850	1,25	-,425	
	N	4	4	4	4	4	4	4	4	
	Standardabweichung	1,5000	1,3074	,6131	,3464	2,5159	2,0042	1,370	1,8998	
	Median	1,300	-1,400	1,050	-1,700	1,600	-1,050	1,20	-,950	
19,00	Minimum	-,2	-2,4	,5	-1,9	-1,5	-2,8	0	-2,1	
	Maximum	3,0	,7	1,9	-1,1	4,5	1,5	3	2,3	
	Mittelwert	-,100	-1,800	-1,100	-2,500	1,300	-6,100	,60	-5,100	
	N	1	1	1	1	1	1	1	1	
20,00	Standardabweichung	,	,	,	,	,	,	,	,	
	Median	-,100	-1,800	-1,100	-2,500	1,300	-6,100	,60	-5,100	
	Minimum	-,1	-1,8	-1,1	-2,5	1,3	-6,1	1	-5,1	
	Maximum	-,1	-1,8	-1,1	-2,5	1,3	-6,1	1	-5,1	
Insgesamt	Mittelwert	2,900	-2,910	2,749	-3,030	3,527	-4,656	3,46	-4,172	
	N	82	82	82	82	82	82	82	82	
	Standardabweichung	1,7467	2,3754	1,7713	2,2152	1,8950	4,3594	2,147	4,3382	
	Median	3,000	-2,750	2,800	-3,200	3,600	-3,200	3,30	-2,550	

	Minimum	-1,5	-7,9	-2,5	-8,4	-1,5	-14,0	-1	-13,1
	Maximum	7,8	1,4	7,8	2,1	7,6	1,8	9	2,3

Tabelle 10: Mittelwerte, Anzahl, Standardabweichung, Median-, Minimum- und Maximumwerte der Veränderungswerte getrennt nach Geschlecht

Danksagung

Mein herzlicher Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. dent. E. Witt, sowohl für die Überlassung des Themas als auch für die Übernahme des Referats. Die persönliche, umfangreiche und immer freundliche Betreuung möchte ich besonders hervorheben.

Frau Prof. Dr. med. dent. Stellzig-Eisenhauer danke ich für die Übernahme des Koreferats.

Ich bedanke mich weiter bei Herrn Dr. Bartsch für die Erstellung der Statistik.

Von ganzem Herzen möchte ich mich bei meinen Eltern, meinem Großvater Gerd Nennemann, Tobias und all meinen Freunden für die Unterstützung danken.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name	Juliane Nennemann
Geburtsdatum	13.02.1979
Geburtsort	Leipzig
Familienstand	ledig
Staatsangehörigkeit	deutsch
Eltern	Dr. Dina-Michaela Nennemann, geb. Werres Dr. Uwe Nennemann
Geschwister	Antje Nennemann (Medizinstudentin im PJ)

Schulbildung

1985 – 1989	Grundschule in Leipzig
1990 – 1992	Gymnasium Pablo-Neruda in Leipzig
1992 – 1997	Gymnasium Friedrich-List in Leipzig Abschluss: Allgemeine Hochschulreife

Studium

1998 – 2004	Studium der Zahnmedizin an der Bayrischen Julius-Maximilians-Universität Würzburg
April 1999	Naturwissenschaftliche Vorprüfung
Oktober 2000	Zahnärztliche Vorprüfung
November 2004	Staatsexamen
Dezember 2004	Approbation als Zahnärztin

Beruflicher Werdegang

01.07.05 – 30.06.06	Vorbereitungsassistentin in allgemein Zahnärztlicher Praxis Dr. Th. Ehlich, Geltendorf
01.10.05 – 30.06.06	Vorbereitungsassistentin in Praxis für Kinder- und Jugendzahnheilkunde Dr. Sipeer-Cameron, Starnberg
15.07.06 – 31.12.06	Vorbereitungsassistentin in allgemein Zahnärztlicher Praxis Herold/ Dr. Kirchner, Berlin
ab 01.01.07	Weiterbildungsassistentin in kieferorthopädischer Praxis Dr. Schwartze

Berlin, im Dezember 2006

