

Aus der
Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Tübingen
Abteilung Poliklinik für Kieferorthopädie
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. Dr. G. Göz

**Zur Korrelation von Werten der
Frontzahninklination bestimmt an
Modell und Fernröntgenseitenbild**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde

der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Mark Oliver Hennies
aus Hannover

2006

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth
1. Berichterstatter: Professor Dr. Dr. G. Göz
2. Berichterstatter: Professor Dr. G. Gomez-Roman

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Hintergrund	6
1.2	Relevanz der Achsenneigung von Frontzähnen	7
1.3	Anmerkungen zur Röntgenkephalometrie	9
1.4	Fragestellung	12
1.5	Studien mit ähnlicher Fragestellung – Literaturübersicht	13
2	Material und Methode	16
2.1	Patientenkollektiv	16
2.1.1	Allgemeine Auswahlkriterien	16
2.1.2	Spezielle Kriterien der Modellauswahl	17
2.1.3	Spezielle Kriterien der FRS-Auswahl	17
2.1.4	Geschlecht, Alter und Anzahl der Patienten	17
2.2	Modell	18
2.2.1	Methode der Modellanfertigung	18
2.2.2	Messung der Inklinationwinkel und des Interinzisalwinkels	20
2.2.3	Untergruppen	22
2.3	Seitliche Fernröntgenaufnahmen	24
2.3.1	Kephalometrische Methode	24
2.3.2	Messung der Inklinationwinkel und des Interinzisalwinkels	26
2.3.3	Untergruppen	28
2.4	Untersuchung der Reliabilität	30
2.4.1	Methode und Messungen	30
2.4.2	Wiederholbarkeit	31
2.4.3	Reproduzierbarkeit	32

2.5	Auswertung	34
2.5.1	Datenerhebung	34
2.5.2	Messreihen „FRSkonv“, „FRSneu“ und „Modell“	34
2.5.3	Datenauswertung	34
2.5.4	Auswertung nach Untergruppen	35
3	Ergebnisse	36
3.1	Vorauswertung	36
3.1.1	Wiederholbarkeit der Messmethode	37
3.1.2	Reproduzierbarkeit der Messmethode	39
3.2	Hauptauswertung	41
3.2.1	Die Frontzahninklination: Messreihe „Modell / FRSkonv“	41
3.2.2	Die Frontzahninklination: Messreihe „Modell / FRSneu“	43
3.2.3	Der Interinzisalwinkel	45
3.3	Auswertung nach Untergruppen	46
3.3.1	Das Bestimmtheitsmaß	47
3.3.2	Das Referenzintervall	50
3.3.3	Standardabweichung und Regressionsgleichung	51
3.4	Mittelwerte der Winkelmessungen	52
4	Diskussion	54
4.1	Diskussion der Fragestellung	54
4.2	Methodenkritik	55
4.2.1	Modell	55
4.2.2	Seitliche Fernröntgenaufnahme	59
4.3	Diskussion der Ergebnisse	60
4.3.1	Vorauswertung	60
4.3.2	Hauptauswertung	60
4.3.3	Auswertung nach Untergruppen	63
4.3.4	Mittelwerte der Winkelmessungen	63
4.4	Schlussfolgerungen	66

5	Zusammenfassung	67
6	Literaturverzeichnis	68
7	Anhang	74
7.1	Anlage A: Verwendete Abkürzungen	74
7.2	Anlage B: Messwerte zur Prüfung der Reliabilität	75
7.3	Anlage C: Messwerte der Hauptauswertung	79
7.4	Anlage D: Auswertung nach Untergruppen	81
	Danksagung	86
	Lebenslauf	87

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Die Beurteilung der Frontzahnstellung ist ein wichtiger Aspekt der kieferorthopädischen Behandlung. Fehlstellungen der Frontzähne müssen im Rahmen der Diagnostik erkannt werden, um gegebenenfalls während der kieferorthopädischen Behandlung Korrekturen vornehmen zu können.

Um ein vollständiges Bild der Frontzahnstellung zu erhalten, wird sowohl die Position und als auch die Neigung der Zähne betrachtet. In Relation zum Zahnbogen werden Infra- und Suprapositionen, Innen- und Außenstände und Mesio- und Distopositionen der Zähne unterschieden. Bewegungen des Zahns um seine Längsachse werden als Disto- beziehungsweise Mesiorotation bezeichnet.

Die Neigung der Zahn längsachse wird in mesio-distaler Richtung durch die Angulation und in labio-lingualer Richtung durch die Inklinat ion beschrieben [4]. Die labio-linguale Inklinat ion zeigt die auf die Sagittalebene projizierte Neigung der Zahn längsachse zu einer festgelegten Referenzebene auf. Je nach der Größe des Winkels werden Zähne als re-, ortho- oder prokliniert klassifiziert. Ein großer Inklinat ionswinkel beschreibt bei fast allen Analyseverfahren einen prokliniert stehenden Zahn. Ein kleiner Winkel spricht hingegen (zumeist) für eine Reklination.

Für eine genaue kieferorthopädische Diagnostik werden die klinischen Untersuchungen, eine Modellanalyse und verschiedene bildgebende Verfahren herangezogen. Die klinische Untersuchung und die Modellanalyse liefern Informationen bezüglich der Position der Zähne im Zahnbogen. Auch über die wahrscheinliche Ausrichtung der Zahn längsachse können erste Aussagen getroffen werden. Eine präzise Bestimmung der Frontzahninklinat ion ermöglicht jedoch insbesondere die 1931 von HOF RATH und BROADBENT in die Zahnmedizin eingeführte seitliche Fernröntgenaufnahme [18, 39]. Durch die Röntgenkephalometrie mit dem seitlichen Fernröntgenbild (im Folgenden auch als FRS bezeichnet) als Grundlage war es möglich, die Zahn längsachse in der

sagittalen Dimension zu bestimmen, und die Neigung zu einer Bezugslinie zu messen.

Schon 1948 wies DOWNS nach kephalometrischen Untersuchungen an 20 Patienten mit eugnather Okklusion auf die Bedeutung der Zahnstellung in Bezug zum Gesichtsschädel hin und schlug Normwerte für am seitlichen Fernröntgenbild gemessene Frontzahninklinationswinkel vor. Wenig später schloss sich STEINER (1953) an und präsentierte Normwerte für diese Winkel [75].

In der Folge wurden viele verschiedene kephalometrische Analyseverfahren entwickelt, und Normwerte für den Inklinations- und Interinzisalwinkel vorgeschlagen. HAMDAN et al. verglichen Normwerte aus 14 Studien und errechneten für den Inklinationswinkel der Frontzähne im Oberkiefer einen Mittelwert von 109° und $93,3^\circ$ für den Inklinationswinkel der Frontzähne im Unterkiefer, wobei die Winkel jeweils zu den entsprechenden Kieferbasen gemessen wurden. Für den Interinzisalwinkel fanden sie einen Mittelwert von $132,4^\circ$ [36].

1.2 Relevanz der Achsenneigung von Frontzähnen

Eine orthoinklinierte Frontzahnstellung ist aus funktioneller und ästhetischer Sicht anzustreben [76].

DEMPSTER et al. untersuchten 1963 die Inklination und Angulation der Zahnwurzeln bei Menschen mit idealer Dentition. Sie fanden heraus, dass jedem Zahn eine bestimmte, charakteristische Achsenneigung der Wurzel zugeordnet werden kann [26].

An 120 kieferorthopädisch nicht vorbehandelten Patienten mit idealer Okklusion untersuchte ANDREWS 1972 die Anordnung und Okklusion der Zähne und formulierte sechs Punkte, die eine ideale Okklusion ausmachen. Einer der sechs Punkte verweist auf die Bedeutung der Inklination der Seiten- und Frontzähne. ANDREWS beschrieb die orovestibuläre Frontzahnneigung als wichtigen Faktor einer harmonischen Seitenzahnokklusion, eines stabilen

Frontzahnüberbisses und der Vermeidung einer unerwünschten Frontzahnelongation [4].

Dass die Achsenneigung der Frontzähne die Form des Zahnbogens beeinflusst, zeigten HUSSEL et al. 1987. Sie wiesen mathematisch den Zusammenhang zwischen dem Grad der Frontzahninklination und der Zahnbogengröße nach. Je proklinierter die Frontzähne ausgerichtet sind, desto größer ist demnach der Radius des Zahnbogens im anterioren Bereich [43].

Auch der Winkel zwischen den Längsachsen der mittleren Ober- und Unterkieferincisivi ist von funktioneller Bedeutung. HOUSTON und andere Autoren haben gezeigt, dass vor allem bei Klasse II,2 Patienten die Größe des Interinzisalwinkels mit dem Ausmaß des vertikalen Überbisses korreliert [8, 41, 47, 71, 74].

Die orolabiale Neigung der Schneidezähne beeinflusst aber auch das Weichgewebeprofil. Ein prokliniert stehender Oberkieferfrontzahn lässt beispielsweise die Oberlippe mehr hervortreten. SCHLOSSER et al. untersuchten die Abhängigkeit von Frontzahnstellung und Attraktivität anhand von Profild Fotografien und zeigten, dass vor allem retrudiert stehende Zähne als wenig attraktiv empfunden werden [65]. Bereits 1957 konnte RIEDEL zeigen, dass gemäß dem allgemeinen Schönheitsempfinden Gesichter mit orthoinklinierten Frontzähnen als attraktiver bewertet werden [62].

Desweiteren sind stark prokliniert ausgerichtete Schneidezähne häufiger von Zahnunfällen betroffen. Hier sind in besonderem Maße prokliniert und damit exponiert stehende Oberkieferincisivi anfälliger für ein dentales Trauma. PETTI und TARSITANI untersuchten in einer Studie über 800 italienische Schulkinder und belegten, dass eine ausgeprägte sagittale Stufe und die Frontzahnproklination prädisponierende Faktoren für ein dentales Trauma sind [54].

Nach BRIN et al. sind Patienten mit stark proklinierten mittleren Oberkieferfrontzähnen häufiger von Zahntraumata betroffen. Bei Werten von mehr als 30° zwischen der Zahnachse und der Strecke Nasion-Pogonion wird eine frühe kieferorthopädische Korrektur empfohlen, um Zahnunfällen vorzubeugen [17].

1.3 Anmerkungen zur Röntgenkephalometrie

In der Kieferorthopädie haben Röntgenuntersuchungen heute einen wichtigen Stellenwert. In jeder Behandlungsphase werden Aufnahmen benötigt: Vor Behandlungsbeginn zur Diagnose und Behandlungsplanung, während der Behandlung zur Verlaufskontrolle und nach der Behandlung zur Verifikation des Behandlungsergebnisses und forensischen Absicherung.

Die Kephometrie, mit dem Fernröntgenseitenbild als Grundlage, bietet unter anderem die Möglichkeit, skelettale Strukturen in sagittaler und vertikaler Lage zu beurteilen, Wachstumsprognosen anzugeben, die Lage der Kieferbasen zueinander und zur Schädelbasis zu ermitteln. Darüber hinaus gilt das FRS derzeit als wichtigstes diagnostisches Hilfsmittel zur Einschätzung der Längsachse von Frontzähnen in der sagittalen Dimension. Dabei kann einerseits die sagittale Position der Incisivi im Kiefer durch lineare Messungen beurteilt werden zur Bestimmung von Ante- oder Retropositionen. Andererseits werden anguläre Messungen zur Bestimmung der Achsenneigung durchgeführt. Bei (fast) allen Analyseverfahren beschreiben große Winkel hierbei eine Proklination, wohingegen kleine Winkel eine Reklination des Schneidezahns anzeigen.

Bei der Analyse dentaler und skelettaler Strukturen mit Hilfe der seitlichen Fernröntgenaufnahme kann es jedoch zu Problemen kommen. So konnten sowohl BROADWAY als auch BENNETT bereits 1962 und 1969 zeigen, dass vor allem Winkelmessungen, die die Längsachse von Zähnen mit einbeziehen, fehlerbehaftet sein können [14, 19]. BAUMRIND et al. untersuchten die Fehlerquellen von kephalometrischen Messungen und unterteilten in drei grundsätzliche Fehlerarten, die sich zum Gesamtfehler der Analyse addieren [10, 11]. Unterschieden werden röntgentechnische Fehler, auch Projektionsfehler genannt, Identifikationsfehler und Messfehler.

Die erste Gruppe von Fehlern, die Projektionsfehler, sind vor allem methodisch bedingt. So entsteht aus einem dreidimensionalen Objekt wie dem Schädel eine zweidimensionale, zwangsläufig zumindest in Teilen verzerrte Projektion. Der Schädel wird, mittels seiner Mediansagittalen, durch den Kephlostatt parallel zum Film und senkrecht zum Zentralstrahl ausgerichtet. Durch Schädel-

asymmetrien, die in gewissem Maße immer vorliegen, kommt es auch bei noch so exakter Ausrichtung zu Verzerrungen. Entsprechende Distorsionen treten bei jeder Struktur auf, die nicht genau in der zur Filmebene parallelen Mediansagittalen steht [29]. Auch Winkelmessungen unterliegen Verzerrungen, wenn die Winkelebene nicht parallel zum Film ausgerichtet ist [73]. Desweiteren entsteht durch die Divergenz der Röntgenstrahlen der sogenannte Parallaxefehler. Dieser Fehler hat zur Folge, dass alle paarig angelegten Strukturen als Doppelkontur abgebildet werden [2].

Der Identifikationsfehler bezieht sich auf Ungenauigkeiten bei der Lokalisation von Bezugspunkten. Er hat, im Vergleich zu röntgentechnisch bedingten Fehlern, einen größeren Anteil am Gesamtfehler der Messung [42]. Für die Messung der Inklination muss die Schneidezahnachse aus der Wurzelspitze und der Inzisalkante konstruiert werden. Besonders groß ist dabei der Identifikationsfehler, bedingt durch Überlagerungen mit Wurzeln benachbarter Zähne, bei der Festlegung der Wurzelspitze im Unterkiefer [50]. SCHMUTH gab Streubreiten als Differenz von Minimal- und Maximalwerten von 5mm in der Vertikalen und 7mm in der Horizontalen für den Apexpunkt des unteren Schneidezahns an [66]. Auch BAUMRIND et al. fanden die größte Unzuverlässigkeit bei der Festlegung des Apexpunktes von Frontzähnen im Unterkiefer [10]. Neben den Überlagerungen dentaler Strukturen gibt es eine weitere Fehlerquelle: Bezugspunkte sind mitunter nur unzureichend definiert und lassen dem Untersucher Raum für Interpretationen [40, 50]. So wird für die Messung der Unterkieferfrontzahninklination von vielen Autoren die Mandibularlinie, definiert als die Verbindung der Punkte Menton-Gonion, als Bezugsstrecke empfohlen [28, 79]. Dabei wird der Punkt Menton als unterster Punkt des Kinns im Bereich der Unterkiefersymphyse definiert. Je nach Ausrichtung der Aufnahme verändert dieser Punkt jedoch seine Position in sagittaler und vertikaler Dimension.

Der Messfehler beinhaltet unter anderem die Fehler, die beim Zeichnen von Bezugslinien und beim Messen von Winkeln und Strecken auftreten. Diese Fehlerquellen werden heute durch computergestützte Auswertung weitgehend vermieden. Es verbleiben die Folgen des Identifikationsfehlers. Diese fallen bei

Winkeln, die aus nah beieinander liegenden Bezugspunkten konstruiert wurden, wie etwa bei der Zahnachse, stärker ins Gewicht. Bei Vergleichen der Reliabilität von Winkelmessungen ist diese Problematik insbesondere für die Bestimmung der Unterkieferfrontzahninklination beschrieben worden [11].

Uneinigkeit herrscht in der Frage, zu welcher Bezugslinie die Frontzahnneigung gemessen wird. STEINER misst die Frontzahninklination des Oberkiefers zur Nasion–A-Punkt Linie und die des Unterkiefers zur Nasion–B-Punkt Linie [75]. SCHWARZ bestimmt die Inklination der Incisivi in Bezug zur entsprechenden Kieferbasis. DOWNS nutzt als Bezugsstrecken die Unterkieferbasis und die Kauebene zur Winkelmessung im Unterkiefer [28]. TWEED empfiehlt die Achsneigung des Unterkieferincisivus zur Unterkieferbasis und zur Frankfurter Horizontalen zu messen [79]. RIEDEL ermittelt die Oberkieferfrontzahninklination ebenfalls zur Frankfurter Horizontalen [62].

Letztlich muss jede Bezugslinie hinterfragt werden. Bei Messungen in Bezug auf die Kieferbasen hängt der Wert der Frontzahninklination von der Neigung der Kiefer ab. Ein anteinklinierter Oberkiefer kann den Eindruck eines reinklinierten Frontzahns erwecken. Werte der Messungen zur NA- beziehungsweise NB-Linie variieren mit der Größe des ANB-Winkels [24]. Ein großer ANB-Winkel führt zu einem vermeintlich kleineren Inklinationswinkel. Ähnliches gilt auch für die Sella-Nasion-Linie und die Frankfurter Horizontale.

Darüber hinaus sind Röntgenaufnahmen immer mit einer Strahlenbelastung der Patienten verbunden. Auch bei dentalen Röntgenaufnahmen besteht potentiell ein Gesundheitsrisiko, wenn auch in sehr geringem Ausmaß [82]. MAILLIE et al. untersuchten das auf die Strahlenbelastung von seitlichen Fernröntgenaufnahmen zurückzuführende Risiko einer Malignomentstehung. Je nach Röntgentechnik, Patientengeschlecht und -alter besteht dabei ein Risiko zwischen 0,3 und 6 pro eine Million Fernröntgenseitenaufnahmen. Dies entspricht 0,3 bis 6×10^{-6} Prozent [48].

1.4 Fragestellung

Die vorliegende Studie beschäftigt sich mit der Bestimmung der Frontzahninklination in Ober- und Unterkiefer und des Interinzisalwinkels.

Diese Winkel werden derzeit, wie eingänglich erwähnt, mit Hilfe einer Fernröntgenaufnahme bestimmt. Ob die Bestimmung dieser Winkel zwangsläufig über eine Röntgenaufnahme geschehen muss, ist fraglich. Wie unter 1.3 beschrieben, ist das FRS in einigen Punkten fehlerbehaftet und zieht für den Patienten stets eine Strahlenbelastung nach sich. In dieser Arbeit sollte deshalb untersucht werden, ob die gesuchten Inklinationswinkel auch anhand von Gipsmodellen ermittelt werden können. Modelle sind Grundlage jeder kieferorthopädischen Diagnostik und Behandlung und somit immer verfügbar. Die Herstellung ist unkompliziert, kostengünstig und für den Patienten kaum belastend. Modelle werden im Laufe einer kieferorthopädischen Behandlung mehrfach angefertigt, was eine kontinuierliche Überprüfung der Winkel ermöglicht. Das Studiendesign sah deshalb vor, die Frontzahninklinationenwinkel in Ober- und Unterkiefer unter Bezug auf die Okklusionsebene zu bestimmen. Diese Werte sollten mit den aus konventionellen kephalometrischen Analysen gewonnenen Werten verglichen werden.

In einem weiteren Schritt wurde am FRS eine Okklusionsebene eingeführt, die der am Modell genutzten Okklusionsebene bestmöglich entsprechen sollte.

Die aus dieser modifizierten Analyse gewonnenen Inklinationswerte sollten erneut mit den aus dem Modell stammenden Werten verglichen und wenn möglich korreliert werden.

Für den Fall, dass eine stabile Korrelation zwischen den am Modell und den am FRS ermittelten Werten gefunden werden konnte, sollte eine routinemäßig einsetzbare Technik entwickelt werden, die Messungen der Inklination am Modell ermöglicht.

Zusammenfassend war das Ziel dieser Untersuchung die Klärung der Frage, ob

1. die Frontzahninklinationswinkel in Ober- und Unterkiefer durch Messungen am Gipsmodell ermittelt werden können und daher nicht notwendigerweise aus einer Röntgenaufnahme (FRS) gewonnen werden müssen.
2. es möglich ist, anhand einer am FRS neu eingeführten Ebene bessere Korrelationen zwischen den am Modell und den am FRS ermittelten Werten zu erzielen als unter Verwendung der konventionellen Bezugsebenen.
3. die Entwicklung einer unter praktischen Gesichtspunkten relevanten Methode zur Ermittlung der Frontzahninklination aus dem Modell möglich ist.

1.5 Studien mit ähnlicher Fragestellung – Literaturübersicht

In der Vergangenheit wurde die Fernröntgenkephalometrie als Hilfsmittel zur Erhebung der Frontzahninklinationswinkel mehrfach in Frage gestellt.

Im Folgenden werden Studien zitiert, die alternative Wege zur Messung am Röntgenbild aufzeigen. Im Großteil der aufgeführten Studien finden Gipsmodelle, beziehungsweise digitalisierte Abbilder der Modelle, Verwendung. Einige Autoren befürworten auch am Patienten durchzuführende Messtechniken.

1945 beschrieb SALZMANN ein Messgerät („maxillator“), mit dem er die Unterkieferfrontzahninklination klinisch über einen integrierten Winkelmesser bestimmte. Ein mit dem Winkelmesser verbundener Draht wurde dabei an die Lingualfläche des betreffenden Zahns angelegt. Das Messgerät musste zur Unterkieferbasis und zur Frankfurter Horizontalen ausgerichtet werden [64].

1952 beschrieb CAREY ein Gerät, das er „incisal inclinators“ nannte, und mit dem er im Unterkiefer die Frontzahninklination am Modell bestimmte [22].

DEMPSTER et al. untersuchten 1962 die Ausrichtung von Zahnwurzeln im Kiefer. Sie fertigten Gipsmodelle von Kieferknochen an und setzten Drähte in die leeren Alveolen, um die Wurzelachsen zu simulieren. Anschließend wurden mit dem Tiefenmesser einer Schieblehre festgelegte Strecken vermessen um daraus, über einen trigonometrischen Zusammenhang, die Achsneigung der Zahnwurzeln zu berechnen [26].

BENNET maß 1965 und 1968 die Inklination mit einem abgewandelten Winkelmesser am Modell zur Unterkieferbasis und zur Frankfurter Horizontalen. Dafür wurden die Modelle schädelbezüglich mit einem modifizierten Gesichtsbogen ausgerichtet [12, 13].

CARLSSON bestimmte 1973 die Frontzahninklination mit einem speziellen Winkelmesser („Stereograph“) am Gipsmodell. Dabei legte er eine mit dem Winkelmesser verbundene Schablone in einer definierten Position an die Zahnkrone an [23].

TAKADA et al. beschrieben 1983 ein Gerät, das sie Reflexmetrograph nannten. Mit dem Reflexmetrographen werden bestimmte Messpunkte am Modell dreidimensional ermittelt und an einen Computer übertragen [77]. 1987 verwendete RICHMOND diesen Reflexmetrographen, um durch 110 abgetastete Punkte ein digitalisiertes, dreidimensionales Abbild des Modells zu erstellen. Anschließend bestimmte er mit Hilfe eines Computerprogramms die Frontzahninklinationwinkel in beiden Kiefer zur „functional occlusal plane“ in zwei und drei Dimensionen [44, 59].

1998 benutzte RICHMOND einen modifizierten Winkelmesser („tooth inclination protractor; TIP“), um die Frontzahninklination am Modell zu messen [60]. Über einen an der Labialfläche der Zahnkrone anliegenden und mit dem Winkelmesser verbundenen Draht bestimmte er die Inklination zur Kauebene und verglich sie mit traditionell am seitlichen Fernröntgenbild ermittelten Werten.

FERRARIO et al. untersuchten 2001 Veränderungen der Zahnkronenneigung in Bezug zu Alter und Geschlecht. Sie digitalisierten Gipsmodelle und errechneten die Inklination aller Zähne dreidimensional mit Hilfe eines Computerprogramms [30].

GHAHFEROKHI et al. verwendeten 2002 den von RICHMOND entwickelten „TIP“, um Inklinationwinkel zu bestimmen [33, 60]. Sie verglichen die am Modell und intraoral ermittelten Werte mit den Werten aus einem Fernröntgenseitenbild.

OVSENIK et al. verglichen 2004 die Werte der mit Hilfe eines Winkelmessers bestimmten Inklination von Frontzähnen am Modell mit intraoral gewonnenen Werten [52].

2005 beschrieben SHAH et al. eine Methode mit der sie die Inklination intraoral mit einem modifizierten Messschieber ermittelten [70]. Dieser Messschieber wird für die Messung parallel zur Frankfurter Horizontalen beziehungsweise zur Unterkieferbasis gehalten. Mit dem Tiefenmesser dieses Messschiebers ermittelten sie eine Strecke, mit deren Hilfe sie über einen geometrischen Zusammenhang die Inklination berechneten. Die erhaltenen Werte wurden mit am FRS ermittelten Werten verglichen.

Keine der beschriebenen Techniken wird heute routinemäßig eingesetzt. Die benötigten Geräte sind teils kostenaufwendig, die Datenaufnahme zeitintensiv und die Handhabung komplex. Zudem sind die Ergebnisse oft ungenau und die Korrelation zu den am FRS ermittelten Inklinationswerten nicht akzeptabel.

2 Material und Methode

2.1 Patientenkollektiv

2.1.1 Allgemeine Auswahlkriterien

Alle untersuchten Fälle stammten aus dem Patientengut der Poliklinik für Kieferorthopädie des ZZMK Tübingen. Die Fernröntgenbilder, die Abformungen und das Bissregistrat wurden vom jeweiligen Behandler im Rahmen der kieferorthopädischen Behandlung erstellt.

Um die Vergleichbarkeit von Röntgenaufnahme und Gipsmodell zu gewährleisten, war Voraussetzung, dass die dem Gipsmodell zugrunde liegenden Abformungen und die Röntgenaufnahme zeitgleich angefertigt worden waren. Im Folgenden sind die weiteren Selektionskriterien aufgeführt.

1. Es wurden nur bleibende Gebisse berücksichtigt.
2. Die Bisslage musste beidseits gleich sein.
3. Pro Patient konnten mehrere FRS-Modell-Paare unterschiedlichen Zeitpunkts in die Studie aufgenommen werden.
4. Patienten mit Extraktionen und Nichtanlagen, sofern sie nicht die ersten Molaren oder die mittleren Incisivi betrafen, wurden berücksichtigt.
5. Nicht berücksichtigt wurden Patienten mit persistierenden Milchzähnen.
6. Patienten mit Multibandapparatur zum Zeitpunkt der Anfertigung der Unterlagen wurden nicht berücksichtigt, wohingegen eine separate Bebänderung der 1. Molaren nicht zum Ausschluss führte.
7. Der am weitesten ventral stehende mittlere Frontzahn in Ober- und Unterkiefer durfte nicht mit einer prothetischen Krone versorgt worden sein.
8. Der am weitesten ventral stehende mittlere Frontzahn in Ober- und Unterkiefer durfte nicht durch konservierende Maßnahmen neu konturiert worden sein.

2.1.2 Spezielle Kriterien der Modellauswahl

Die Unter- und Oberkiefermodelle mussten im Bereich des am weitesten ventral stehenden mittleren Frontzahns die Festlegung der Bezugspunkte für die notwendigen Messungen ermöglichen. Dafür mussten die Inzisalkante und der orale und labiale Zahnfleischsaum des betreffenden Zahns erhalten und deutlich erkennbar sein. Fehlerhafte Abformungen oder beim Ausgießen und Radieren entstandene Mängel in diesen Bereichen führten zum Ausschluss.

2.1.3 Spezielle Kriterien der FRS-Auswahl

Alle für die angestrebten Messungen notwendigen Bezugspunkte mussten abgebildet sein. Als Maßstab galt die klinische Verwertbarkeit der Aufnahme für die kephalometrische Analyse.

2.1.4 Geschlecht, Alter und Anzahl der Patienten

Für Patientenalter und -geschlecht bestanden keine Einschränkungen. Das Untersuchungsgut umfasste 72 Patienten, wovon drei Patienten mit jeweils zwei Modell-FRS-Paaren vertreten waren. Es waren 49 (68,1%) Patienten weiblich und 23 (31,9%) Patienten männlich.

Das durchschnittliche Patientenalter betrug 17,5 Jahre, wobei der jüngste Patient 10,6 Jahre und der älteste Patient 40,4 Jahre alt waren (Abbildung 1).

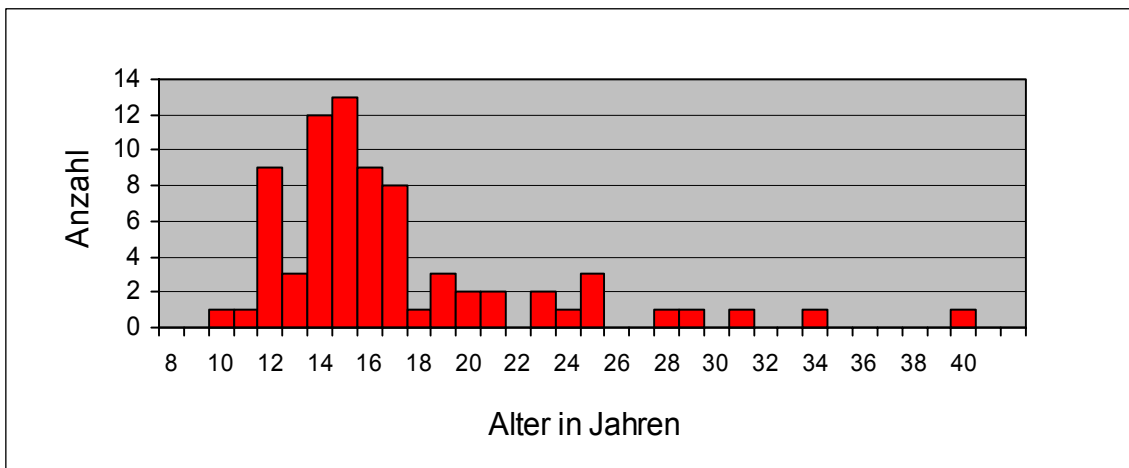


Abbildung 1 Altersverteilung der untersuchten Patienten

2.2 Modell

2.2.1 Methode der Modellanfertigung

Um weitere klinische Verwendbarkeit der in die Untersuchung einbezogenen Modelle zu gewährleisten war die Anfertigung von Duplikaten unabdingbar. Zur Duplikation diente eine Negativform des Modells, hergestellt aus additionsvernetztem Silikon (Omnidouble Dublier-Silikon, Fa. Omnident Dental-Handelsgesellschaft mbH) mit Hilfe eines Dubliergerätes (Dosper-M/4, Fa. Dreve Dentamid GmbH). Die Negativformen wurde mit Superhartgips (Vel-Mix-Stone, ISO Typ IV, Kerr Italia S.p.A.) ausgegossen.

Um die räumliche Zuordnung von Ober- und Unterkiefermodell der klinischen Situation entsprechend zu gewährleisten, erfolgte das anschließende Trimmen mit Hilfe des Bissregistrates nach den für das Trimmen eines kieferorthopädischen Modells üblichen Kriterien:

1. Getrimmt wurden die Sockelflächen der Modelle parallel zur Kauebene. Dabei definierte sich die Kauebene durch die bukkalen Höckerspitzen

der ersten Prämolaren und die mesiobukkalen Höckerspitzen der ersten Molaren im Oberkiefer.

Durch eine Supraposition des zweiten Oberkiefermolaren war in seltenen Fällen ein Trimmen nach diesen Kriterien nicht möglich, so dass dieser Zahn am Modell radiert werden musste.

Der Abstand zwischen Sockel- und Kauebene sollte nach erfolgtem Trimmen noch mindestens 5 cm betragen, um das Messen der Winkel mit Hilfe eines handelsüblichen Geodreiecks zu erleichtern.

2. Die Tuberebene der Modelle wurde rechtwinklig zur Kauebene und zur Raphe-Median-Ebene getrimmt.

Nachfolgend wurde an dem weiter labial stehenden mittleren Frontzahn in Unter- und Oberkiefer oral und bukkal die jeweils tiefste Stelle des Sulkus markiert.

In einem weiteren Schritt wurde die linke Modellseite bis zu der Ebene, in der die beiden Sulkusmarkierungen lagen, durch Trimmen entfernt. Diese Ebene war rechtwinklig zur Sockel- und zur Kauebene.

Um die räumliche Zuordnung der Modelle während des zweiten Trimmvorgangs zu erhalten, wurde der Zwischenraum zwischen Oberkiefer- und Unterkiefermodell mit einem Silikon (Silaplast Futur und cat p universal Katalysator Paste, Detax GmbH & Co. KG) gefüllt. Dieser Silikonschlüssel ersetzte in der Folge das Bissregistrat.

Abbildung 2 zeigt das für die Messungen vorbereitete Modellpaar mit dem Silikonschlüssel.

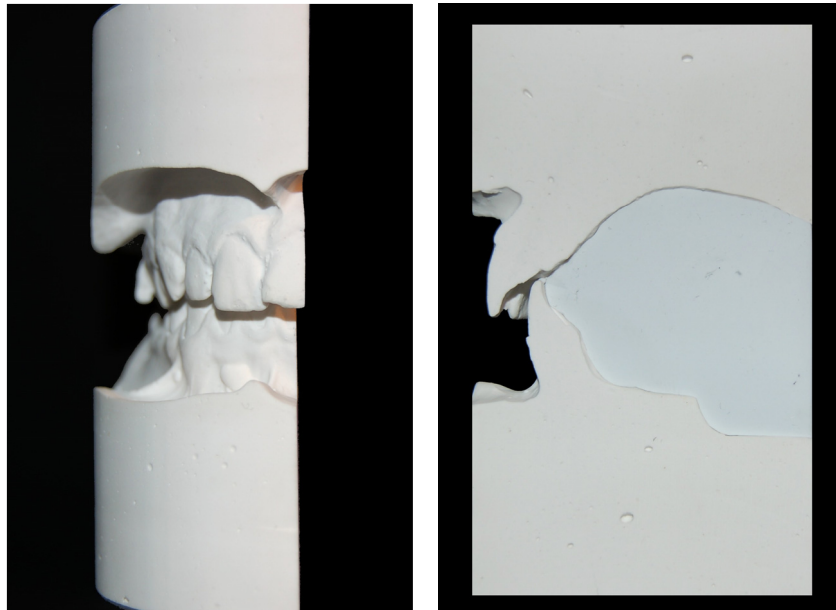


Abbildung 2 Modellpaar mit Silikonschlüssel; links von frontal und rechts in seitlicher Ansicht.

2.2.2 Messung der Inklinationwinkel und des Interinzisalwinkels

Die Messungen an Modell und FRS wurden unabhängig voneinander, das heißt nicht patientenspezifisch, erhoben. Das Festlegen der Referenzpunkte, die Konstruktion der Geraden und die Messungen selbst erfolgten mit Hilfe einer 3,6fach vergrößernden Lupenbrille (zeiss 3,6x-350 Kopflupe KS, Carl Zeiss AG), einem Druckbleistift (0,35mm) und einem Geodreieck.

Auf der durch das Entfernen der linken Modellseite entstandenen Fläche wurde der höchste Punkt der Inzisalkante markiert. Der höchste Punkt der Inzisalkante wurde definiert als der Punkt mit der größten Entfernung zur Sockelebene, bezogen auf eine Senkrechte zu dieser Ebene. Durch diesen höchsten Punkt der Inzisalkante und die Hälfte der Distanz der labio-oralen Sulkusmarkierungen wurde eine Gerade auf die Sockelebene gezogen.

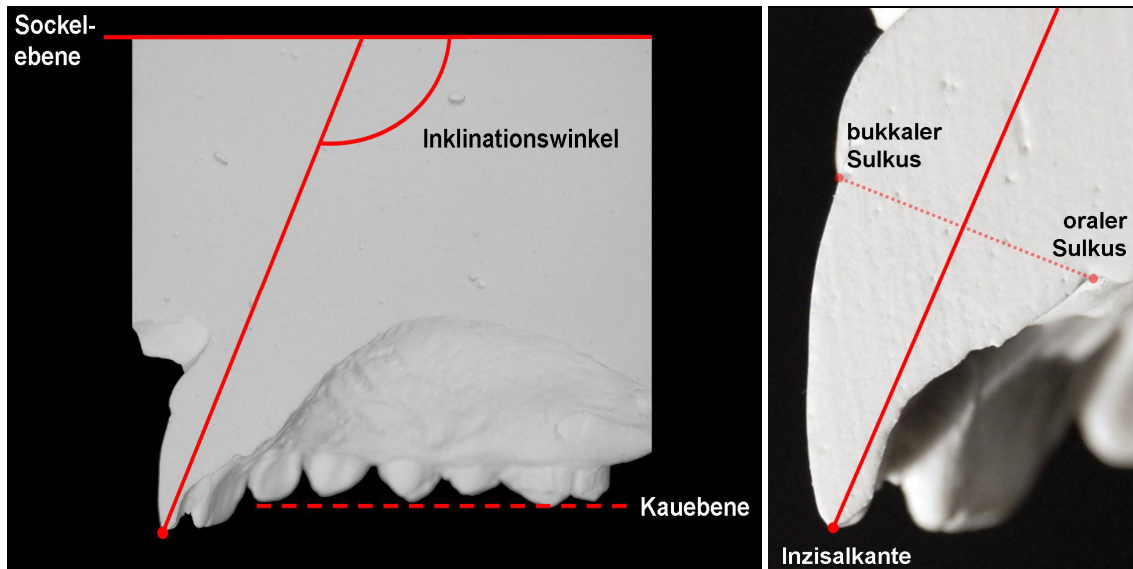


Abbildung 3 Modell mit Inklinationswinkel (links) und Großansicht der Zahnkrone mit Konstruktion der Zahnachse aus dem höchsten Punkt der Inzisalkante und der Hälfte der labio-bukkalen Distanz (rechts).

Gemessen wurde der dorsale Winkel („ModOK“ bzw. „ModUK“) zwischen dieser konstruierten Geraden und der Sockelebene am Oberkiefer- und Unterkiefermodell (Abbildung 3).

Für die Bestimmung des Interinzisalwinkels wurden Unter- und Oberkiefermodell über den Silikonschlüssel zueinander fixiert. Gemessen wurde der dorsale, durch die beiden konstruierten Geraden gebildete Winkel („ModOKUK“; Abbildung 4). Ein sich dabei möglicherweise ergebender Parallaxefehler blieb unberücksichtigt.

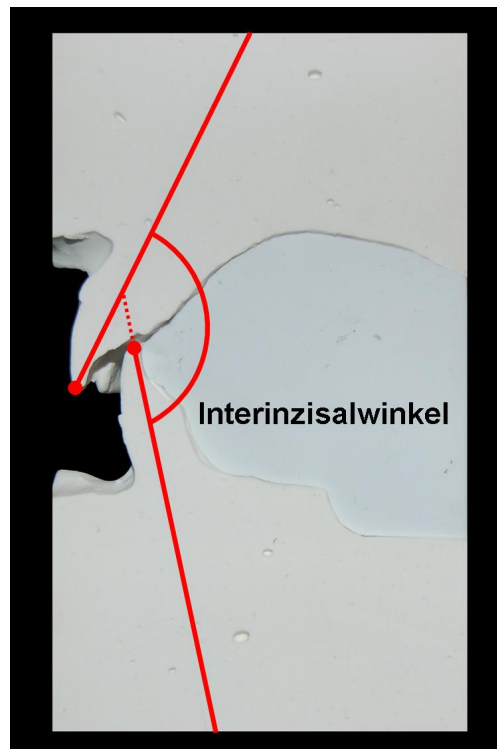


Abbildung 4 Durch den Silikonsschlüssel ausgerichtetes Modellpaar mit entsprechendem Interinzisalwinkel.

Zusätzlich beziehungsweise zur Kontrolle der Messungen wurde der Interinzisalwinkel auch aus den Ober- und Unterkieferinklinationswinkeln mit Hilfe folgender Formel berechnet:

$$\text{ModOKUK} = 360^\circ - \text{ModOK} - \text{ModUK}$$

2.2.3 Untergruppen

Im Zuge der Auswertung wurden die Ergebnisse der Messreihen an Modell und Fernröntgenbild zu verschiedenen Untergruppen in Verbindung gesetzt. Hintergrund war die Vorstellung, dass möglicherweise zu bestimmten Merkmalen oder Anomalien aufgrund von damit verbundenen spezifischen

Frontzahnstellungen eine stärkere Korrelation gefunden werden kann als zu anderen.

Am Modell wurden die Untergruppen „Angle Klasse“, „Overjet“, „Overbite“ und die „Bolton-Analyse“ erhoben:

- Angle Klasse

Unterteilt wurde nach der Klassifikation der sagittalen Okklusionsbeziehung nach ANGLE in Neutral- (Klasse I), Distal- (Klasse II) und Mesialbisslage (Klasse III).

- Overjet

Die sagittale Frontzahnstufe wurde zwischen der Labialfläche der unteren mittleren und der Inzisalkante der oberen mittleren Schneidezähne parallel zur Kauebene gemessen. Anschließend wurde nach der Größe des Overjets in drei Typen unterteilt:

Overjet	Grenzen [mm]
Typ 1	< 2,5
Typ 2	≥ 2,5 bis <5
Typ 3	≥ 5

- Overbite

Gemessen wurde die vertikale Distanz der Inzisalkanten der oberen mittleren zu den unteren mittleren Schneidezähnen. Anschließend wurde in die Typen 1 bis 3 unterteilt:

Overbite	Grenzen [mm]
Typ 1	≤ 1,5
Typ 2	>1,5 bis <3
Typ 3	≥ 3

- Bolton-Analyse

Ziel war die Bestimmung des Verhältnisses des Zahnmaterials von Ober- zu Unterkiefer. Auf die Erhebung der Zahnbreiten musste aus symmetrisch bedingten Überlegungen beim Vorliegen einer dentalen Mittellinienverschiebung verzichtet werden. Gemäß BOLTON erfolgte die Division der Breitensumme der Unterkieferzähne durch die der Oberkieferzähne. Daraus wurden zwei Untergruppen gebildet [16, 51]:

ZM Überschuss im	Grenzen [%]
Oberkiefer	> 91,3
Unterkiefer	< 91,3

2.3 Seitliche Fernröntgenaufnahmen

Alle Röntgenaufnahmen wurden im Rahmen der kieferorthopädischen Behandlung in der Röntgenabteilung des ZZMK Tübingen angefertigt.

2.3.1 Kephalometrische Methode

Zur Analyse der Fernröntgenbilder wurde eine transparente Folie über die Röntgenaufnahme gelegt und mit Klebestreifen fixiert. Die benötigten Referenzpunkte und -strecken wurden mit Hilfe eines Druckbleistiftes festgelegt. Bei Doppelkonturen erfolgte die Festlegung des entsprechenden Punktes durch eine Mittelung. Die Messung der Winkel erfolgte mit einem handelsüblichen Geodreieck.

Definition der verwendeten kephalometrischen Bezugspunkte:

Is ¹	<u>Incision superius</u>	Spitze der Inzisalkante des weiter labial stehenden mittleren oberen Schneidezahns
Is ₁	<u>Incision inferius</u>	Spitze der Inzisalkante des weiter labial stehenden mittleren unteren Schneidezahns

Ap ¹	<u>Apicale superior</u>	Wurzelspitze des weiter labial stehenden mittleren oberen Schneidezahns
Ap ₁	<u>Apicale inferior</u>	Wurzelspitze des weiter labial stehenden mittleren unteren Schneidezahns
S	<u>Sella</u>	Mitte der knöchernen Kontur der Sella turcica [61, 63]
N	<u>Nasion</u>	ventralster Punkt der Sutura nasofrontalis
T2	<u>Tangentenpunkt 2</u>	kaudalster Punkt am Unterkieferkörper im Bereich des Kieferwinkels
Go	<u>Gonion</u>	Konstruierter Schnittpunkt der Mandibular- mit der Ramuslinie
Me	<u>Menton</u>	kaudalster Schnittpunkt einer von T2 ausgehenden Tangente an der Unterkiefersymphyse [55]
OK6/UK6		distaler Kontaktpunkt der ersten Molaren; bei fehlendem Kontakt Hälfte der kürzesten Distanz der Nonokklusion
OK4/UK4		distaler Kontaktpunkt der ersten Prämolaren; bei fehlendem Kontakt Hälfte der kürzesten Distanz der Nonokklusion
A	<u>A-Punkt</u>	Scheitelpunkt der Krümmung des OK-Alveolarfortsatzes
B	<u>B-Punkt</u>	Scheitelpunkt der Krümmung des UK-Alveolarfortsatzes
Spa	<u>Spina nasalis anterior</u>	vorderster Punkt des knöchernen Nasenbodens
Spp	<u>Spina nasalis posterior</u>	hinterster Punkt des knöchernen Nasenbodens
Gn	<u>Gnathion</u>	vorderster, unterster Punkt des knöchernen Kinns

2.3.2 Messung der Inklinationwinkel und des Interinzisalwinkels

Zur Bestimmung der Inklinationwinkel und des Interinzisalwinkels wurden die Zahnachsen der labialer stehenden mittleren Frontzähne beider Kiefer durch die Inzisalkante (Is^1 bzw. Is_1) und die Wurzelspitze ermittelt (Ap^1 bzw. Ap_1). Die Oberkieferfrontzahninklination wurde zur Bezugsstrecke Sella-Nasion (SN) gemessen. Im Unterkiefer wurde der Winkel zur Strecke Menton-Gonion (MeGo bzw. MeT2) bestimmt.

Dieser, sich an herkömmlichen Bezugsstrecken der Tübinger FRS-Analyse orientierenden, Auswertung („FRSkonv“, Abbildung 5a) folgte in einem zweiten Schritt eine Bestimmung der Inklinationwinkel zur Parallelen einer, durch die distalen Kontaktpunkte der ersten Molaren und ersten Prämolaren definierten, Kauebene („FRSneu“, Abbildung 5b) [7]. Diese Kauebene wurde in Analogie der Messung der Inklination am Modell eingeführt und entsprach weitgehend der von JACOBSON angegebenen „functional occlusal plane“ [46].

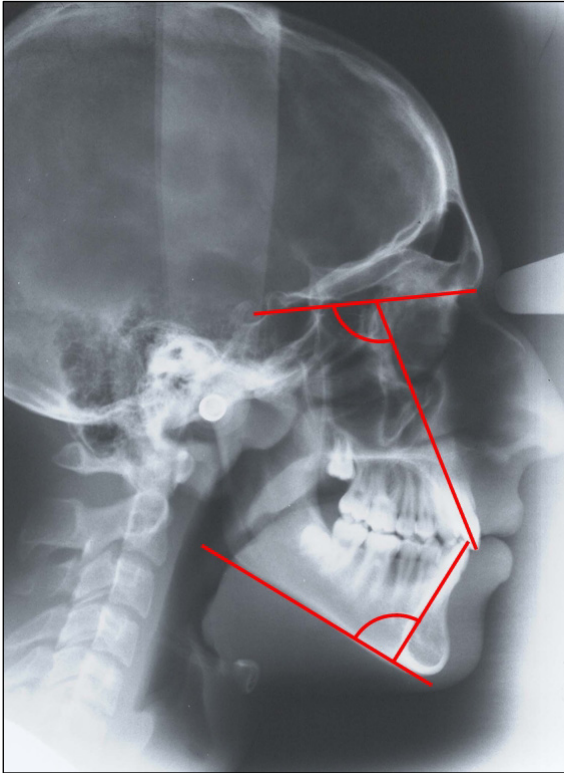


Abbildung 5a

FRS mit konventionell gemessenen Frontzahninklinationswinkeln mit den Bezugslinien Sella-Nasion im Oberkiefer und Menton-Gonion im Unterkiefer („FRSkonv“).

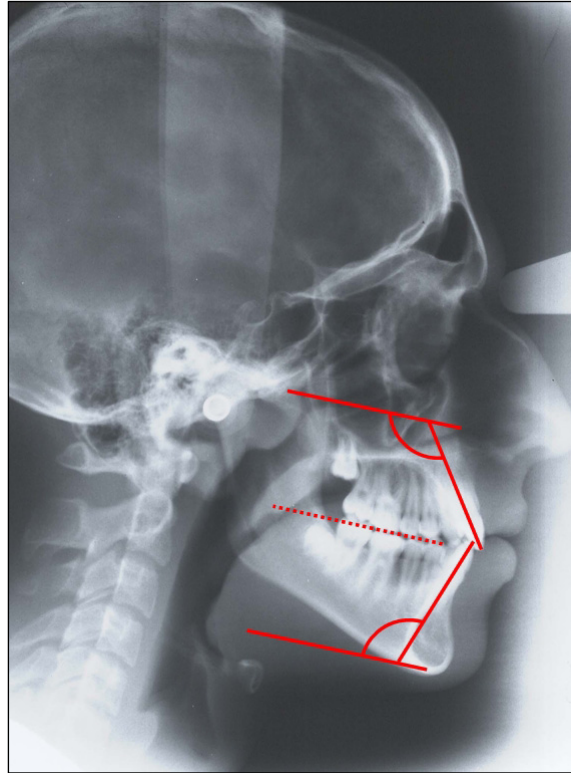


Abbildung 5b

Bestimmung der Frontzahninklination am FRS unter Bezug auf die neu eingeführten Kauebene („FRSneu“).

2.3.3 Untergruppen

Analog dem unter 2.2.3 beschriebenen Vorgehen wurden die Ergebnisse der Messreihen zu verschiedenen Untergruppen in Verbindung gesetzt.

Am FRS wurden diesbezüglich die skelettale Klasse, das Wachstumsmuster und der Wits-Wert bestimmt. Die Messung dieser Parameter erfolgte auf einer gesonderten transparenten Folie.

- Skelettale Klasse

Die Ermittlung der sagittalen skelettalen Kieferrelation erfolgte wie in der Literatur beschrieben durch den individualisierten ANB Winkel (indiv. ANB) nach folgender Formel [53]:

$$\text{individueller ANB} = -35,16 + 0,4(\text{SNA}) + 0,2(\text{SN-MeGo})$$

Es erfolgte eine Einteilung in drei skelettale Klassen gemäß folgenden Kriterien:

Klasse	Grenzen
1	ind. ANB $-1^\circ < \text{ANB} < \text{ind. ANB} + 1^\circ$
2	ANB $> \text{ind. ANB} + 1^\circ$
3	ANB $< \text{ind. ANB} - 1^\circ$

- Wachstumsmuster

Zur Bestimmung des Wachstumsmusters wurde der Basiswinkel (MeGo-SpP), die y-Achse (NS-Gn) und das Verhältnis von hinterer zu vorderer Gesichtshöhe (SGo:NMe) bestimmt. Die Einstufung in vertikales, horizontales oder neutrales Wachstumsmuster ergab sich aus den in Tübingen verwendeten Normwerten (Tabelle 1).

	Wachstumsmuster		
	„vertikal“	„horizontal“	„neutral“
MeGo-SpP	MeGo-SpP > 25°	MeGo-SpP < 25°	MeGo-SpP = 25°
NS-Gn	NSGn > 66°	NSGn < 66°	NSGn = 66°
S-Go : N-Me	$\frac{SGo}{NMe} < 0,62$	$\frac{SGo}{NMe} > 0,65$	$0,62 \leq \frac{SGo}{NMe} \leq 0,65$

Tabelle 1 Werte von Basiswinkel, y-Achse und Verhältnis von vorderer zu hinterer Gesichtshöhe bezüglich ihrer Zuordnung zu den verschiedenen Wachstumsmustern.

Die Zuordnung zu einem bestimmten Wachstumsmuster erfolgte gemäß dem Wachstumsmuster, das bei der Zuordnung der Einzelparameter am häufigsten aufgetreten war. Trat nach der Bestimmung von Basiswinkel, y-Achse und Verhältnis der Gesichtshöhen bei einem Patienten die Kombination vertikal / horizontal / neutral auf, wurde der Patient für die spätere Auswertung der Untergruppe „neutrales Wachstumsmuster“ zugeordnet.

- Wits-Wert

Für die Messung des Wits-Wertes fand nach JACOBSON eine Kauebene Verwendung, die durch die Kontaktpunkte der bukkalen Höcker der ersten Prämolaren und der mesio-bukkalen Höcker der ersten Molaren definiert ist [45].

Aus den Wits-Werten ergaben sich nach RAKOSI folgende Untergruppen [57]:

Klasse	Wits-Wert [mm]	
	weiblich	männlich
1	= 0	= 1
2	> 0	> 1
3	< 0	< 1

2.4 Untersuchung der Reliabilität

Die Reliabilität bezeichnet die Zuverlässigkeit wissenschaftlicher Untersuchungen. Das Ergebnis einer Messung mittels eines bestimmten Verfahrens unterliegt verschiedenen Einflüssen. Die angewandte Methode wird deshalb auf Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit geprüft. Unter der Bedingung der Wiederholbarkeit sollten intraindividuelle Veränderungen der Messwerte ausgeschlossen werden, wobei Messmethode, Untersucher und Messort konstant waren. Die Reproduzierbarkeit gewährleistet die Reliabilität der Messungen zwischen verschiedenen Untersuchern. Sowohl Wiederholbarkeit als auch Reproduzierbarkeit der angewandten Messmethode wurde in einer Vorauswertung überprüft.

Die Messungenauigkeiten bei der Bestimmung der Winkel am Modell und am FRS zu der neu eingeführten Kauebene („FRSneu“) wurden mit den Messungenauigkeiten der konventionellen FRS-Analyse („FRSkonv“) verglichen. Die konventionelle FRS-Analyse galt als Maßstab, die Messungenauigkeiten der am Modell und am FRS neu angewendeten Methode sollten dementsprechend kleiner oder nur geringfügig größer sein, um als reliabel eingestuft zu werden.

2.4.1 Methode und Messungen

Zur Bestimmung der Wiederholbarkeit und der Reproduzierbarkeit wurden 24 Modelle beziehungsweise entsprechende FRS-Aufnahmen in drei Messreihen untersucht:

1. „FRSkonv“, mit der Bestimmung der Inklinationwinkel zu Sellanasion bzw. Menton-Gonion und dem Interinzisalwinkel.
2. „FRSneu“, mit der Bestimmung der Inklinationwinkel zur neu eingeführten Kauebene.

3. „Modell“, mit der Bestimmung der Inklinationwinkel und des Interinzisalwinkels am Modell.

Die Untersuchungen erfolgten durch zwei Untersucher. Untersucher 1 und Untersucher 2 ermittelten jeweils zweimal die Winkel der drei Messreihen. Die beiden Messungen wurden im Abstand weniger Tage durchgeführt.

2.4.2 Wiederholbarkeit

Die Wiederholbarkeit wurde für die beiden Untersucher und für die Methoden „FRSkonv“, „FRSneu“ und „Modell“ getrennt bestimmt. Dazu wurde pro Untersucher und pro Methode eine Varianzanalyse mit den Inklinationswinkeln und dem Interinzisalwinkel als Zielgröße und dem Patienten als zufälligem Faktor durchgeführt. Als Maß der Wiederholbarkeit wird der „Root Mean Square Error (RMSE)“ der Varianzanalyse angegeben, also die Wurzel des mittleren quadratischen Fehlers. Diesen erhält man, indem man pro Patient die Varianz der Inklinationwinkel beziehungsweise des Interinzisalwinkels bestimmt, diese Varianzen über die Patienten mittelt und aus dem Mittelwert die Wurzel zieht. Anschließend wurden die RMSEs der drei Messreihen verglichen (Abbildung 6):

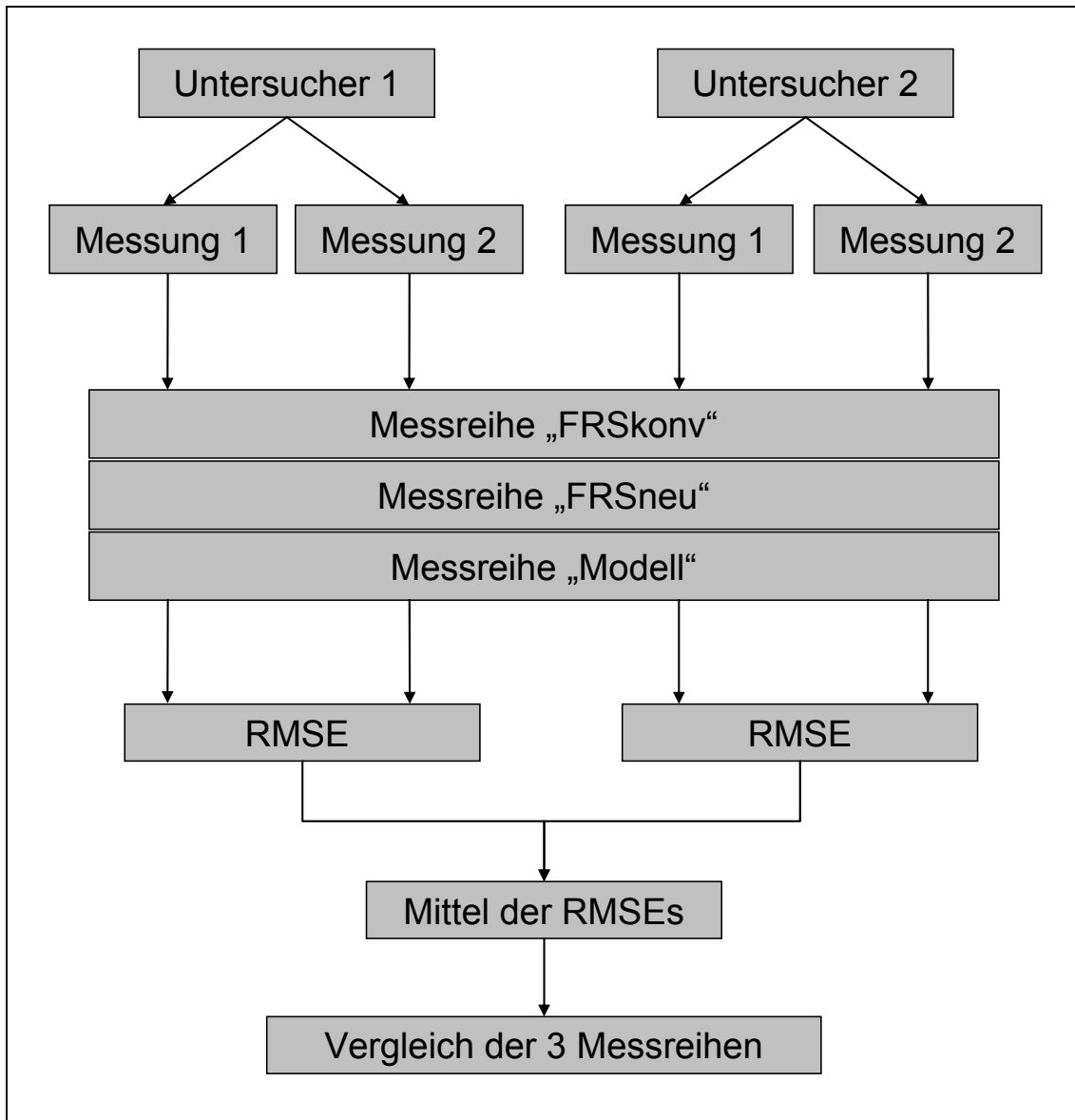


Abbildung 6 Untersuchung der Wiederholbarkeit

2.4.3 Reproduzierbarkeit

Die Reproduzierbarkeit wurde für die beiden Messungen und für die Methoden „FRSkonv“, „FRSneu“ und „Modell“ getrennt bestimmt. Dazu wurde pro Messung und pro Methode eine Varianzanalyse mit den Inklinationswinkeln und dem Interinzisalwinkel als Zielgröße und dem Patienten als zufälligem Faktor durchgeführt. Als Maß der Wiederholbarkeit wird wiederum der „Root Mean

Square Error (RMSE)“ der Varianzanalyse angegeben. Anschließend wurden die RMSEs der drei Messreihen verglichen (Abbildung 7):

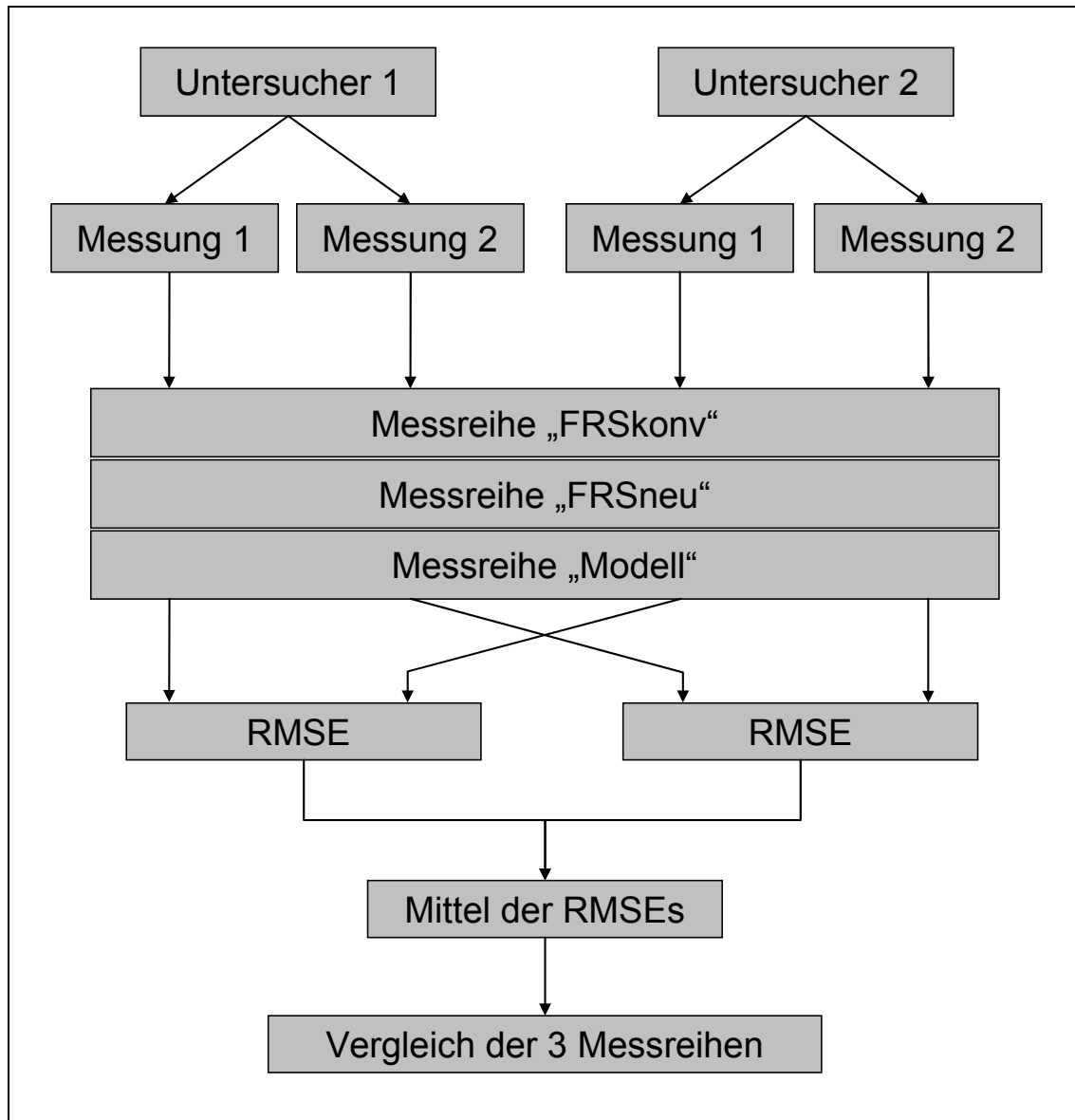


Abbildung 7 Untersuchung der Reproduzierbarkeit

2.5 Auswertung

2.5.1 Datenerhebung

Die gewonnenen Messwerte wurden auf für Modell und FRS separaten Datenerhebungsbögen handschriftlich festgehalten. Um eine Pseudonymisierung der Daten zu erreichen wurden die Patientennamen durch fortlaufende Nummern ersetzt. Anschließend wurden die Daten in das Computerprogramm JMP (Version 3.2.1, SAS Institute Inc.) eingegeben und statistisch ausgewertet.

2.5.2 Messreihen „FRSkonv“, „FRSneu“ und „Modell“

Im Zuge der Auswertung wurden die sich entsprechenden Inklinationwinkel der zwei am FRS bestimmten Messreihen mit der am Modell bestimmten Messreihe in Beziehung gesetzt. Außerdem wurden die für den Interinzisalwinkel am Modell gemessenen Werte mit den am FRS gemessenen verglichen. Es ergaben sich folgende Wertepaare aus den Messreihen:

1. „Modell / FRSkonv“ für den Unter- und Oberkieferinklinationwinkel.
2. „Modell / FRSneu“ für den Unter- und Oberkieferinklinationwinkel.
3. „Modell / FRSkonv“ für den Interinzisalwinkel.

2.5.3 Datenauswertung

Mit einer linearen Regression sollte geprüft werden, ob eine Vorhersage der Werte der Inklinationwinkel und des Interinzisalwinkel mit Hilfe der am Modell ermittelten Werten möglich ist. Die Güte des gewählten Regressionsansatzes wird durch das Bestimmtheitsmaß R^2 angegeben. R^2 kann Werte zwischen 0 (=kein kausaler linearer Zusammenhang der Variablen) und 1 (größtmöglicher Zusammenhang) annehmen. Angestrebt wurde ein Bestimmtheitsmaß von mindestens 0,8. Außerdem wurde der Vertrauensbereich bestimmt: Die Werte

des Konfidenz- beziehungsweise Referenzintervalls, das mit einer 95-prozentigen Wahrscheinlichkeit (RI 95%) gewählt wurde, sagen aus, dass dieses Intervall den wahren Wert in 95 Prozent aller Stichproben enthält. Es wurde ein Referenzintervall von $\pm 2,5^\circ$ bei 95%iger Wahrscheinlichkeit angestrebt.

2.5.4 Auswertung nach Untergruppen

Aus den sieben Merkmalen beziehungsweise Anomalien Angle Klasse, Overjet, Overbite, Verhältnis des Zahnmaterials, skelettale Klasse, Wachstumsmuster und Wits-Wert resultierten insgesamt 20 Untergruppen (Kapitel 2.2.3 und 2.3.3). Für jede Untergruppe erfolgte eine gesonderte Auswertung.

3 Ergebnisse

Im weiteren werden folgende Abkürzungen verwendet:

- n Anzahl
- R^2 Bestimmtheitsmaß
- RI Referenzintervall
- RMSE „Root Mean Square Error“ (Standardabweichung)
- \bar{x} arithmetischer Mittelwert

3.1 Vorauswertung

Eine tabellarische Zusammenstellung der Werte der Messungen von Untersucher 1 und 2, die zur Beurteilung der Reliabilitäten dienen, zeigt Anlage B (Tabellen 11-14, Kapitel 7.2).

3.1.1 Wiederholbarkeit der Messmethode

Tabelle 2 zeigt die RMSEs von erster zu zweiter Messreihe – jeweils von Untersucher 1 und Untersucher 2 – und das Mittel der RMSEs beider Untersucher:

		RMSE (1. zu 2. Messung) [°]			
		Untersucher 1	Untersucher 2	Mittelwert	
Winkel	Modell	OK ¹	0,74	1,30	1,02
		UK ¹	0,75	1,13	0,94
		Interinzisal ¹	0,95	1,58	1,27
	FRS	konv OK ²	0,92	0,94	0,93
		konv UK ²	1,14	0,92	1,03
		neuOK ³	1,46	1,24	1,35
		neuUK ³	1,41	1,07	1,24
		Interinzisal ^{2,3}	1,40	1,14	1,27
¹ Modell Mittelwert		0,81	1,34	1,08	
² FRSkonv Mittelwert		1,15	1,00	1,08	
³ FRSneu Mittelwert		1,42	1,15	1,29	

Tabelle 2 RMSE der Winkel (zwei Messungen pro Patient und Untersucher, 24 Patienten) - jeweils pro Untersucher und deren Mittel.

Die Abbildung 8 zeigt einen Vergleich der Mittelwerte der RMSEs von Untersucher 1 und 2 von am Modell gemessenen Winkeln mit am Röntgenbild bestimmten Winkeln. Bei den am Röntgenbild erhobenen Winkeln wird außerdem zwischen den konventionell verwendeten Bezugsebenen („FRSkonv“) und der Kauebene als Bezugsebene („FRSneu“) unterschieden:

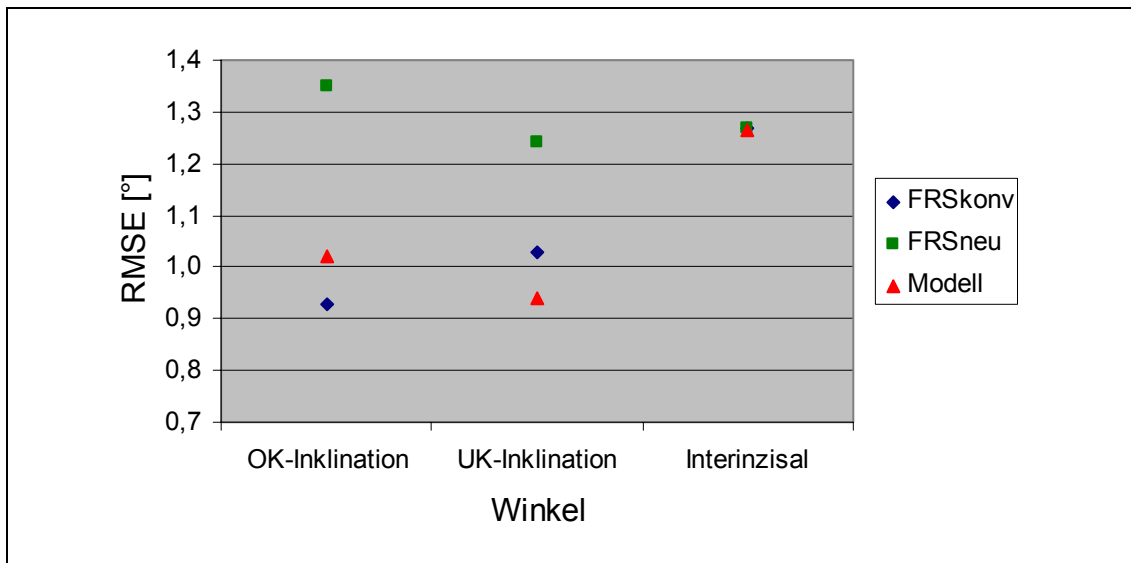


Abbildung 8 Gemittelte RMSEs von zwei Untersuchern für die drei verwendeten Methoden zur Bestimmung der Frontzahninklination und des Interinzisalwinkels („FRSkonv, FRSneu, Modell“).

Die Größe der RMSEs der Messreihen am Modell und am Röntgenbild, gemessen zu den konventionellen Bezugsebenen, war im Mittel gleich (RMSE im Mittel $1,08^\circ$). Geringfügig größer war mit $1,29^\circ$ im Mittel der RMSE der Frontzahninklination gemessen zur Kauebene („FRSneu“).

Die gewählte Methode der Bestimmung von Inklinations- und Interinzisalwinkel am Modell konnte somit als wiederholbar betrachtet werden. Der zu erwartende Fehler der Messungen am Modell entspricht dem Fehler der konventionellen Methode am Röntgenbild. Auch der intraindividuelle Fehler bei der Festlegung der neuen Bezugsebene („FRSneu“) wurde als akzeptabel eingestuft.

3.1.2 Reproduzierbarkeit der Messmethode

In Tabelle 3 sind die RMSEs der Messungen beider Untersucher, deren Mittelwert und die Mittel der RMSEs von „Modell“, „FRSkonv“ und „FRSneu“ aufgeführt:

			RMSE [°]		
			1. Messungen	2. Messungen	Mittelwert
Winkel	Modell	OK ¹	1,05	1,15	1,10
		UK ¹	1,20	1,13	1,17
		Interinzisal ¹	1,67	1,79	1,73
	FRS	konv Ok ²	1,13	1,01	1,07
		konv UK ²	1,33	1,66	1,50
		neuOK ³	1,76	1,88	1,82
		neuUK ³	2,08	2,25	2,17
		Interinzisal ^{2,3}	1,54	1,94	1,74
¹ Modell Mittelwert			1,30	1,35	1,33
² FRSkonv Mittelwert			1,33	1,54	1,44
³ FRSneu Mittelwert			1,79	2,02	1,91

Tabelle 3 *RMSE der Winkel (zwei Messungen pro Patient und Untersucher, 24 Patienten) – jeweils von den ersten und zweiten Messungen der Untersucher und deren Mittel.*

Abbildung 9 verdeutlicht graphisch, dass der RMSE der Messreihe „Modell“ im Vergleich zu „FRSkonv“ für den Inklinationswinkel im Unterkiefer kleiner und im Oberkiefer annähernd gleich groß ausfiel. Auch der RMSE des Interinzisalwinkels war bei diesen Messreihen nahezu identisch.

Der RMSE der Messreihe „FRSneu“ war für den Frontzahninklinationswinkel im Ober- und Unterkiefer um $0,75^\circ$ beziehungsweise $0,67^\circ$ größer als entsprechende RMSEs der Messreihe „FRSkonv“ (Abbildung 9).

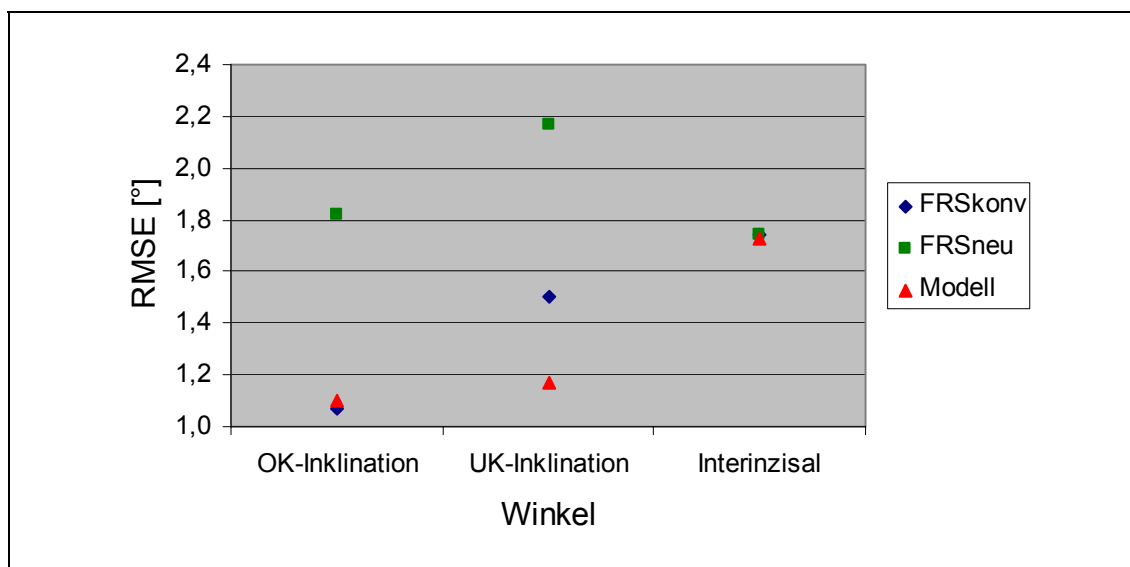


Abbildung 9 Gemittelte RMSEs der ersten und zweiten Messungen für die drei verwendeten Methoden zur Bestimmung der Frontzahninklination und des Interinzisalwinkels („FRSkonv, FRSneu, Modell“).

Die gewählte Methode der Bestimmung von Inklinations- und Interinzisalwinkel am Modell konnte somit als reproduzierbar betrachtet werden. Der zu erwartende Fehler der Messungen am Modell entspricht dem Fehler der konventionellen Methode am Röntgenbild. Auch der geringfügig größere Fehler der Messreihe „FRSneu“ wurde als noch akzeptabel eingestuft.

3.2 Hauptauswertung

Eine tabellarische Auflistung der Messwerte der 75 untersuchten Patientenfälle zeigt Anlage C (Tabelle 15 und 16, Kapitel 7.3).

In den folgenden Kapiteln werden korrespondierende Winkel, jeweils an Modell und Fernröntgenbild gemessen, mit Hilfe einer linearen Regression zueinander in Bezug gesetzt:

- Ober- und Unterkieferinklinationswinkel
 - Gemessen am Modell und am FRS zu den Bezugsebenen SN bzw. MeGo, im folgenden „FRSkonv“ genannt (Kapitel 3.2.1).
 - Gemessen am Modell und am FRS zu der Bezugsebene Kauebene, im folgenden „FRSneu“ genannt (Kapitel 3.2.2).

- Interinzisalwinkel
 - Gemessen am Modell und am FRS (Kapitel 3.2.3).
 - Gemessen am FRS und aus den am Modell bestimmten Ober- und Unterkieferinklinationswinkeln berechnet (Kapitel 3.2.3).

3.2.1 Die Frontzahninklination: Messreihe „Modell / FRSkonv“

Für die Vorhersage der Frontzahninklination aus den am Modell ermittelten Werten ergab sich ein Bestimmtheitsmaß von 0,33 für den Oberkiefer und 0,54 für den Unterkiefer. Das 95%ige Referenzintervall lag zwischen $-10,7^\circ$ und $12,2^\circ$ für den Oberkiefer und zwischen $-10,3^\circ$ und $11,6^\circ$ für den Unterkiefer. Die Standardabweichung war für Ober- und Unterkiefer annähernd gleich (Tabelle 4).

	Frontzahninklination: FRSkonv / Modell	
	Oberkiefer	Unterkiefer
Regressionsgleichung	$\text{FRSkonv} = 23,92 + 0,69 \text{ Mod}$	$\text{FRSkonv} = 8,46 + 0,81 \text{ Mod}$
Bestimmtheitsmaß R^2	0,33	0,54
RMSE [°]	5,40	5,31
RI 95% [°]	-10,7 bis 12,2	-10,3 bis 11,6

Tabelle 4 *Regressionsgleichung, Bestimmtheitsmaß (R^2), Standardabweichung (RMSE) und 95%iges Referenzintervall (RI) für Ober- und Unterkieferfrontzahninklination.*

Abbildung 10 zeigt die Verteilung der Werte um die Regressionsgerade:

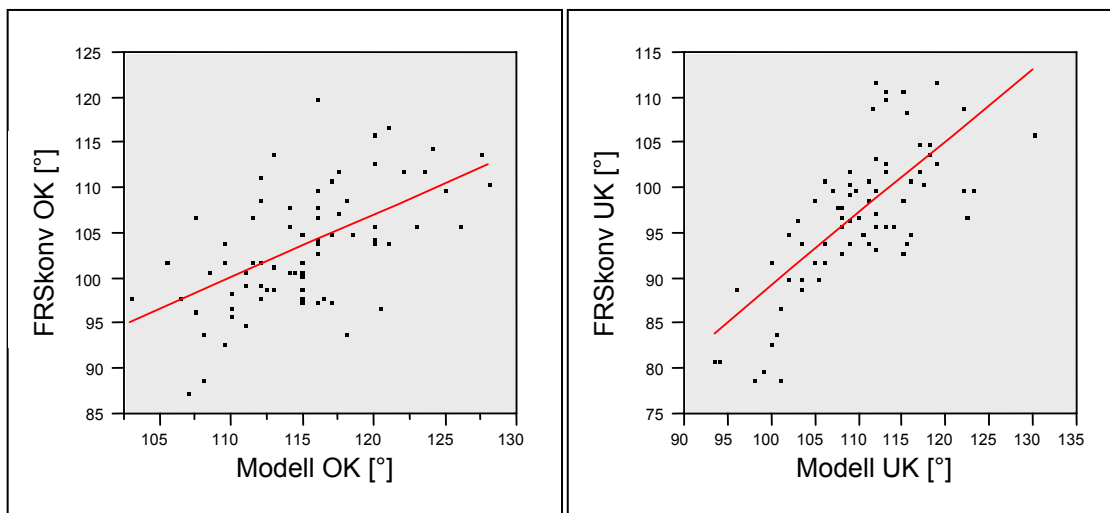


Abbildung 10 *Regressionsdiagramme von 75 Modellen und korrespondierenden Fernröntgenaufnahmen aus Modell- und konventionell ermittelten FRS-Werten für die Frontzahninklination in Ober- und Unterkiefer und jeweils entsprechender Regressionsgerade (links: Oberkiefer; rechts: Unterkiefer).*

3.2.2 Die Frontzahninklination: Messreihe „Modell / FRSneu“

Durch die Nutzung der Kauebene am FRS als Bezugsebene zur Messung der Inklination erhöhte sich im Vergleich zu FRSkonv das Bestimmtheitsmaß auf 0,53 (Oberkiefer) und 0,74 (Unterkiefer). Auch das zugehörige 95%ige Referenzintervall reduzierte sich auf Werte von $-7,2^\circ$ bis $10,8^\circ$ für den Oberkiefer und $-7,8^\circ$ bis $6,8^\circ$ für den Unterkiefer (Tabelle 5).

	Frontzahninklination: FRSneu / Modell	
	Oberkiefer	Unterkiefer
Regressionsgleichung	$\text{FRSneu} = 25,04 + 0,84 \text{ Mod}$	$\text{FRSneu} = 16,43 + 0,85 \text{ Mod}$
Bestimmtheitsmaß R^2	0,53	0,74
RMSE [°]	4,25	3,59
RI 95% [°]	-7,2 bis 10,8	-7,8 bis 6,8

Tabelle 5

Regressionsgleichung, Bestimmtheitsmaß (R^2), Standardabweichung (RMSE) und 95%iges Referenzintervall (RI) für Ober- und Unterkieferfrontzahninklination.

Die Abbildung 11 stellt die Verteilung der Messwert-Paare des Frontzahn-
inklinationswinkels von „Modell“ und „FRSneu“ graphisch dar:

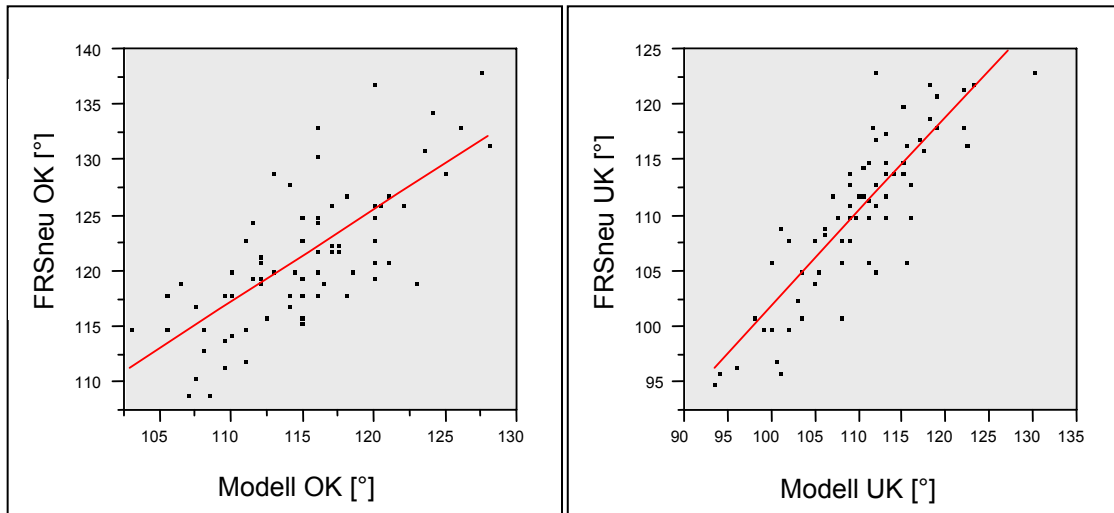


Abbildung 11 *Regressionsdiagramme von 75 Modellen und korrespondierenden Fernröntgenaufnahmen aus Modell- und zur Kauebene ermittelten FRS-Werten für die Frontzahninklination in Ober- und Unterkiefer und jeweils entsprechender Regressionsgerade (links: Oberkiefer; rechts: Unterkiefer).*

3.2.3 Der Interinzisalwinkel

Die Vorhersage des Interinzisalwinkels mit den am Modell ermittelten Werten ergab ein Bestimmtheitsmaß von 0,73 mit einem Referenzintervall von $-8,6^\circ$ bis $10,1^\circ$ (Tabelle 6, Abbildung 12).

	Interinzisalwinkel: FRS / Modell
Regressionsgleichung	$FRS = 11,75 + 0,86 \text{ Mod}$
Bestimmtheitsmaß R^2	0,73
RMSE [°]	4,54
Referenzintervall RI 95% [°]	-8,6 bis 10,1

Tabelle 6 *Regressionsgleichung, Bestimmtheitsmaß (R^2), Standardabweichung (RMSE) und 95%iges Referenzintervall (RI) für den Interinzisalwinkel.*

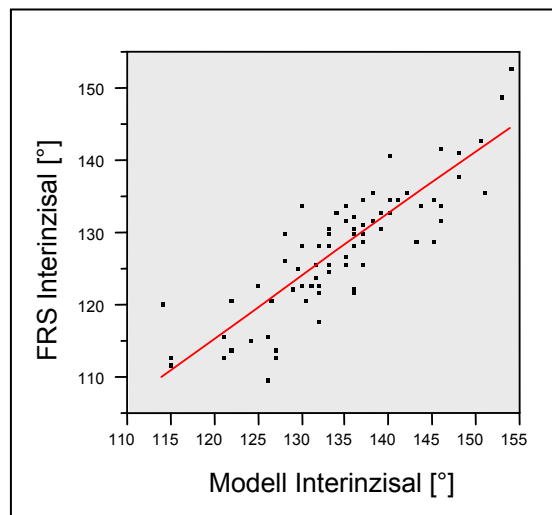


Abbildung 12 *Regressionsdiagramm von 75 Modellen und korrespondierenden Fernröntgenaufnahmen aus Modell- und konventionell ermittelten FRS-Werten für den Interinzisalwinkel und entsprechende Regressionsgerade.*

3.3 Auswertung nach Untergruppen

Die Abbildung 13 gibt einen Überblick über die Anzahl der Patienten, die der jeweiligen Untergruppe zugeordnet wurden. Die Größe der Untergruppen erstreckte sich von 5 (Wits „Klasse 1“) bis 49 Patientenfällen (Wits „Klasse 3“). Eine Auswertung für Untergruppen mit Fallzahlen kleiner als 10 erschien aufgrund der geringen statistischen Aussagekraft nicht sinnvoll. Die Untergruppen Overjet „Typ 3“ (n=8), Wachstumsmuster „neutral“ (n=6) und Wits „Klasse 1“ (n=5) wurden in den folgenden Tabellen trotzdem mit aufgeführt, sind aber mit einem „*“ gekennzeichnet:

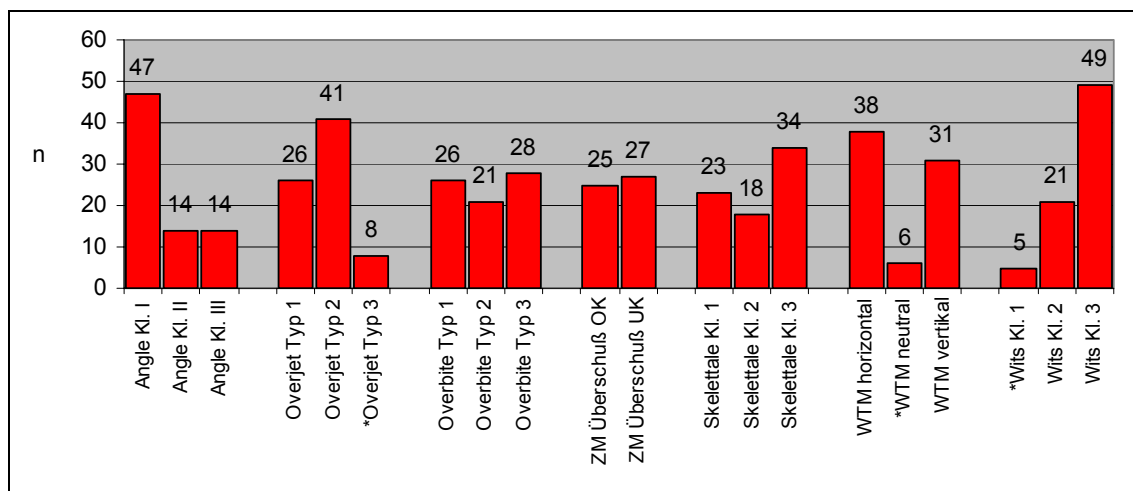


Abbildung 13 Anzahl der Patienten in jeder Untergruppe.

3.3.1 Das Bestimmtheitsmaß

Zur Beurteilung der Vorhersagbarkeit von FRS-Werten aus Modellwerten wurde für jede Untergruppe das Bestimmtheitsmaß berechnet (Tabelle 7).

	FRSkonv / Modell		FRSneu / Modell		FRS / Modell
	OK	UK	OK	UK	Interinziswinkel
Angle Kl. I	0,28	0,52	0,54	0,73	0,79
Angle Kl. II	0,37	0,37	0,48	0,73	0,55
Angle Kl. III	0,40	0,63	0,62	0,75	0,72
Overjet Typ 1	0,38	0,54	0,56	0,74	0,78
Overjet Typ 2	0,24	0,53	0,55	0,75	0,70
* Overjet Typ 3	0,56	0,56	0,49	0,79	0,75
Overbite Typ 1	0,47	0,51	0,69	0,76	0,69
Overbite Typ 2	0,22	0,63	0,47	0,74	0,76
Overbite Typ 3	0,15	0,60	0,24	0,70	0,69
ZM Überschuss OK	0,39	0,51	0,66	0,73	0,68
ZM Überschuss UK	0,27	0,57	0,48	0,80	0,71
Skelettale Kl. 1	0,44	0,52	0,75	0,86	0,81
Skelettale Kl. 2	0,33	0,10	0,64	0,59	0,58
Skelettale Kl. 3	0,28	0,71	0,45	0,68	0,80
WTM horizontal	0,34	0,44	0,40	0,70	0,69
* WTM neutral	0,60	0,79	0,75	0,94	0,98
WTM vertikal	0,42	0,59	0,63	0,73	0,65
* Wits Kl. 1	0,33	0,36	0,99	0,82	0,73
Wits Kl. 2	0,48	0,06	0,66	0,60	0,66
Wits Kl. 3	0,30	0,64	0,53	0,69	0,79

Tabelle 7 *Untergruppen und Bestimmtheitsmaß (R^2)*
(hervorgehoben: $R^2 \geq 0,8$).

Die Abbildung 14 zeigt das Bestimmtheitsmaß für die Vorhersage von konventionell ermittelten FRS-Werten für die Frontzahninklination aus am Modell erhobenen Werten, jeweils für Ober- und Unterkiefer. Keine der dargestellten Untergruppen erreichte das angestrebte R^2 von mindestens 0,8. Die größten Werte für eine Vorhersagbarkeit konnten für die Unterkieferfrontzahninklination der Untergruppen „skelettale Klasse 3“ mit $R^2 = 0,71$ und „WTM neutral“ mit $R^2 = 0,79$ bestimmt werden.

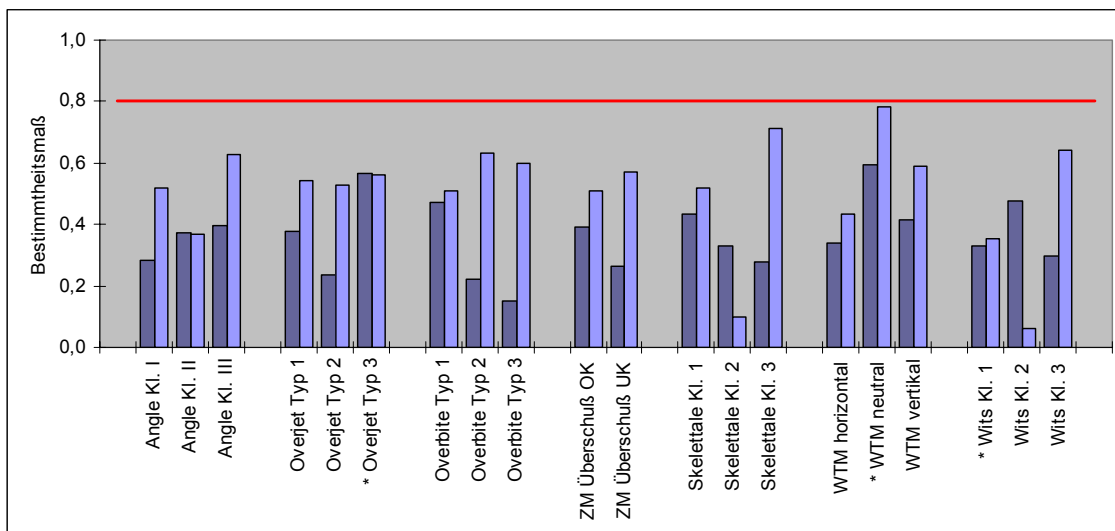


Abbildung 14 Bestimmtheitsmaße der Vorhersage von konventionell ermittelten FRS-Werten aus Modell-Werten für die Frontzahninklination; geordnet nach Untergruppen (dunkel: Oberkiefer; hell: Unterkiefer).

Entsprechend den Ergebnissen der Gesamtauswertung vergrößerten sich die Werte für R^2 durch die Verwendung der Kauebene als Bezugsstrecke. Abbildung 15 stellt die Bestimmtheitsmaße von FRS-Werten, gemessen zur Kauebene, zu Modell-Werten nach Untergruppen dar. Für die Mehrzahl der Untergruppen wurde für die Unterkieferinklination, verglichen mit der des Oberkiefers, ein größeres Bestimmtheitsmaß ermittelt. Das angestrebte R^2 von mindestens 0,8 erreichten nur die Untergruppen „Wits Klasse 1“ für den Ober- und Unterkieferinklinationwinkel mit 0,99 beziehungsweise 0,82. Bestimmtheitsmaße von größer 0,8 wurden in den Untergruppen „WTM neutral“

($R^2 = 0,94$), „skelettale Klasse 1“ ($R^2 = 0,86$) und „ZM Überschuss UK“ ($R^2 = 0,80$) bezüglich des Inklinationswinkels im Unterkiefer erreicht.

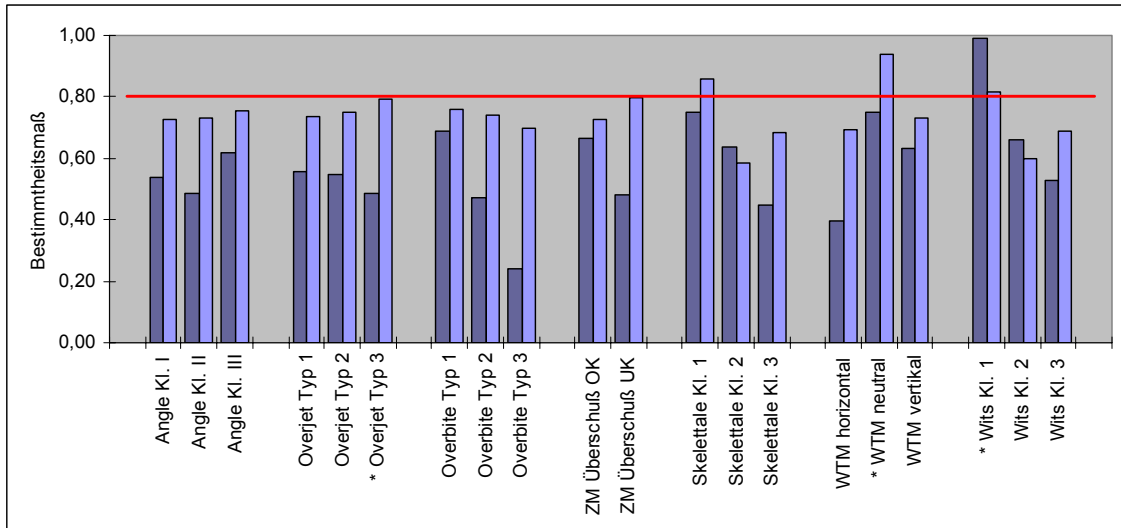


Abbildung 15 *Bestimmtheitsmaße der Vorhersage von FRS-Werten aus Modell-Werten für die Frontzahninklination mit der Bezugsebene Kauebene; geordnet nach Untergruppen (dunkel: Oberkiefer; hell: Unterkiefer).*

Bei der Vorhersage des Interinzisalwinkels aus den am Modell ermittelten Werten erreichten die Untergruppen „skelettale Klasse 1“ ($R^2 = 0,81$), „skelettale Klasse 3“ ($R^2 = 0,80$) und „WTM neutral“ ($R^2 = 0,98$) ein Bestimmtheitsmaß von mindestens 0,8 (Abbildung 16).

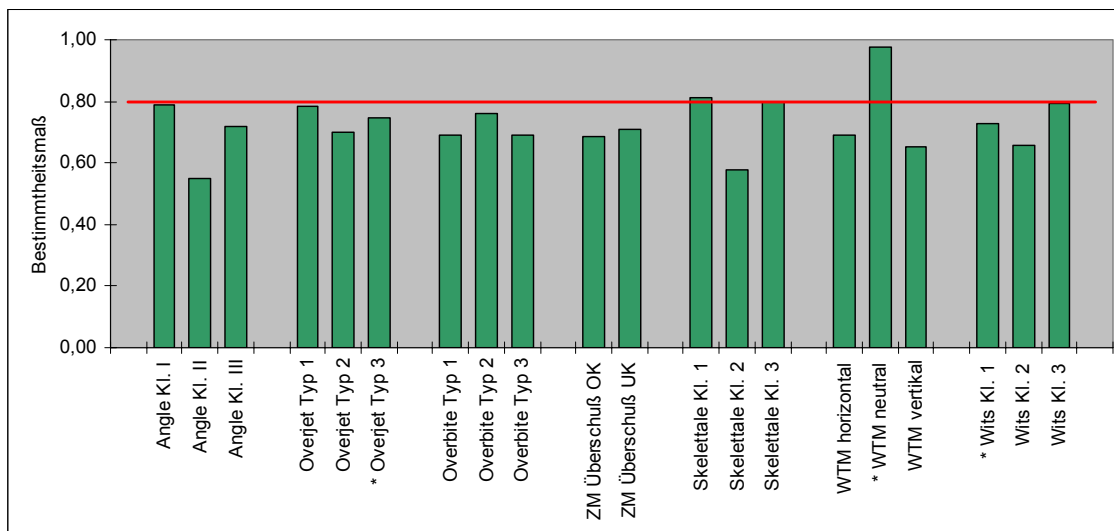


Abbildung 16 *Bestimmtheitsmaße der Vorhersage von FRS-Werten aus Modell-Werten für den Interinzisalwinkel; geordnet nach Untergruppen.*

3.3.2 Das Referenzintervall

Das angestrebte Referenzintervall von $\pm 2,5^\circ$ bei 95%iger Wahrscheinlichkeit wurde nur durch die Untergruppe „Wits Klasse 1“ mit $-0,4^\circ$ bis $+0,3^\circ$ für die Vorhersage des Unterkieferinklinationswinkels aus Modell-Werten zu FRS-Werten mit der Kauebene als Bezugsebene erreicht („FRSneu / Modell“; Tabelle 8).

Referenzintervalle mit den Grenzen $\pm 5^\circ$ wurden von drei Untergruppen erreicht: „WTM neutral“ und „Wits Klasse 1“ für die 95%igen Referenzintervalle von Modell-Werten zur Vorhersage von FRS-Werten gemessen zur Kauebene (OK und UK) und zur Vorhersage des Interinzisalwinkels. Auch die Auswertung der

Gruppe „Angle Klasse II“ ergab ein RI von gerundet $\pm 5^\circ$ für die Unterkieferinklination der Messwerte von FRSneu/Modell.

	95% Referenzintervall (RI) [°]				
	FRSkonv / Modell		FRSneu / Modell		FRS / Modell Interinzisal
	OK	UK	OK	UK	
Angle Kl. I	-11,6 - 14,8	-10,1 - 11,5	-17,2 - 10,1	-18,4 - 6,5	-9,3 - 8,1
Angle Kl. II	-10,1 - 9,1	-9,2 - 8,8	-6,0 - 5,7	-4,5 - 4,8	-7,4 - 8,8
Angle Kl. III	-6,0 - 8,4	-7,4 - 14,1	-7,3 - 10,2	-7,4 - 11,0	-8,7 - 9,2
Overjet Typ 1	-10,1 - 14,7	-9,4 - 14,3	-6,7 - 10,8	-7,4 - 10,9	-9,9 - 11,6
Overjet Typ 2	-11,3 - 11,3	-9,2 - 10,3	-6,6 - 9,3	-9,0 - 6,2	-7,9 - 8,3
* Overjet Typ 3	-6,1 - 8,1	-8,2 - 5,0	-4,8 - 6,7	-2,1 - 5,2	-3,0 - 5,9
Overbite Typ 1	-11,7 - 8,8	-9,4 - 14,5	-6,6 - 10,9	-7,7 - 10,7	-8,2 - 10,0
Overbite Typ 2	-11,1 - 15,4	-10,0 - 8,9	-6,1 - 10,3	-8,0 - 5,1	-9,9 - 10,0
Overbite Typ 3	-7,0 - 12,1	-10,4 - 8,9	-7,8 - 9,7	-9,1 - 6,5	-7,9 - 8,2
ZM Überschuss OK	-10,6 - 8,9	-11,8 - 11,0	-6,1 - 7,3	-8,2 - 6,2	-8,2 - 9,4
ZM Überschuss UK	-12,0 - 15,3	-8,5 - 10,6	-7,0 - 11,1	-7,4 - 6,3	-10,4 - 7,9
Skelettale Kl. 1	-7,4 - 8,1	-9,3 - 9,2	-5,1 - 5,5	-5,5 - 6,0	-7,7 - 6,0
Skelettale Kl. 2	-7,9 - 8,2	-7,2 - 10,6	-5,3 - 6,5	-5,7 - 9,4	-8,3 - 7,5
Skelettale Kl. 3	-9,2 - 13,7	-7,9 - 7,5	-7,4 - 10,1	-8,1 - 7,1	-8,1 - 9,8
WTM horizontal	-7,7 - 13,7	-7,6 - 10,5	-8,1 - 12,1	-7,2 - 11,0	-11,2 - 9,1
* WTM neutral	-6,9 - 9,4	-7,8 - 4,7	-4,4 - 2,9	-4,8 - 2,4	-4,2 - 2,6
WTM vertikal	-9,3 - 8,4	-7,1 - 9,6	-6,5 - 7,8	-8,4 - 5,2	-8,4 - 10,3
* Wits Kl. 1	-4,8 - 5,1	-3,6 - 6,8	-0,4 - 0,3	-3,1 - 2,2	-2,8 - 4,2
Wits Kl. 2	-8,1 - 9,1	-9,5 - 10,1	-6,5 - 5,8	-6,4 - 8,6	-7,9 - 8,3
Wits Kl. 3	-11,6 - 14,5	-8,8 - 7,8	-7,0 - 10,1	-7,5 - 6,6	-8,6 - 8,4

Tabelle 8 95%ige Referenzintervalle der verschiedenen Untergruppen (hervorgehoben: RI innerhalb $\pm 2,5^\circ$ und RI innerhalb $\pm 5^\circ$).

3.3.3 Standardabweichung und Regressionsgleichung

Aus Übersichtsgründen wurde auf eine Auflistung der Regressionsgleichungen und der Standardabweichungen der 20 Untergruppen in diesem Kapitel verzichtet (siehe Anlage D, Tabellen 17-21, Kapitel 7.4).

3.4 Mittelwerte der Winkelmessungen

In Tabelle 9 sind die Mittelwerte (\bar{x}) und die Standardabweichungen (RMSE) der an 75 Modellen und korrespondierenden Fernröntgenaufnahmen durchgeführten Winkelmessungen der Frontzahninklination in Ober- und Unterkiefer und des Interinzisalwinkels aufgeführt. Am Fernröntgenseitenbild wurde zwischen konventionell („konv“) und zur Kauebene ermittelten Werten („neu“) der Frontzahninklinationwinkel unterschieden.

	FRS					Modell		
	konv OK	konv UK	neu OK	neu UK	Inter- inzisal	OK	UK	Inter- inzisal
\bar{x} [°]	103,6	97,1	121,4	110,3	127,9	114,9	109,9	134,5
RMSE [°]	6,5	7,7	6,2	7,0	8,7	5,4	7,0	8,6

Tabelle 9 Mittelwerte (\bar{x}) und Standardabweichung (RMSE) der an 75 Modellen und korrespondierenden Fernröntgenaufnahmen durchgeführten Winkelmessungen aus Modell-, konventionell und zur Kauebene ermittelten FRS-Werten.

Die Messungen des Oberkieferinklinationswinkels, gemessen zur Strecke Sella-Nasion („FRSkonv“) an 75 seitlichen Fernröntgenaufnahmen, ergaben einen Mittelwert von 103,6°. Durch die Bestimmung dieses Winkels zur neu eingeführten Kauebene („FRSneu“) vergrößerte sich der Mittelwert der Messungen um etwa 18° auf 121,4°. Der für die Messungen am Modell bestimmte Mittelwert des Oberkieferfrontzahninklinationswinkels (114,9°) war um 11,3° größer als der Mittelwert der Messreihe „FRSkonv“ und um 6,5° kleiner als Mittelwert der Messreihe „FRSneu“.

Die Messungen des Unterkieferinklinationswinkels, gemessen zur Unterkieferbasis Menton-Gonion („FRSkonv“) an 75 seitlichen Fernröntgenaufnahmen, ergaben einen Mittelwert von 97,1°. Durch die Bestimmung dieses Winkels zur neu eingeführten Kauebene („FRSneu“) vergrößerte sich der

Mittelwert der Messungen um etwa 13° auf $110,3^\circ$. Der für die Messungen am Modell bestimmte Mittelwert des Unterkieferfrontzahninklinationswinkels entsprach mit $109,9^\circ$ in etwa dem der Messreihe „FRSneu“.

Die Messungen des Interinzisalwinkels am FRS ergab einen Mittelwert von $127,9^\circ$. Für die Messungen am Modell vergrößerte sich dieser Wert um $6,6^\circ$ im Mittel auf $134,5^\circ$.

4 Diskussion

4.1 Diskussion der Fragestellung

Ziel der Untersuchung war die Klärung der Frage, ob die Frontzahninklinationswinkel in Ober- und Unterkiefer und der Interinzisalwinkel durch Messungen am Gipsmodell ermittelt werden können und daher nicht notwendigerweise, wie derzeit üblich, aus einer seitlichen Fernröntgenaufnahme gewonnen werden müssen. Verschiedene Autoren haben bereits diagnostische Alternativen zu kieferorthopädisch indizierten Röntgenaufnahmen aufgezeigt [33, 35, 60, 70].

Eine Bestimmung der Frontzahninklinationswinkel und des Interinzisalwinkels anhand von Gipsmodellen bringt unter anderem folgende Vorteile mit sich: Modelle sind kostengünstig, einfach und für den Patienten wenig belastend herzustellen und ohnehin als Grundlage jeder kieferorthopädischen Diagnostik und Behandlung verfügbar. Hierdurch könnte – bei Bedarf – eine Kontrolle entsprechender Winkel in beliebigen Intervallen stattfinden. Fernröntgen-seitenbilder werden hingegen im Laufe einer kieferorthopädischen Behandlung im Regelfall nur zwei- bis dreimal angefertigt. Darüber hinaus wäre durch eine auf Gipsmodellen basierende Messmethode die Bestimmung des Inklinationswinkels eines jeden Frontzahns denkbar, was auch von anderen Autoren bereits angedacht wurde [30, 33, 59, 60].

Anhand einer am FRS neu eingeführten Okklusionsebene sollte untersucht werden, ob durch die Bestimmung betreffender Winkel zu dieser Referenzebene bessere Korrelationen zwischen den am Modell und den am FRS ermittelten Werten zu erzielen sind als unter Verwendung der konventionellen Bezugsebenen. Die Achsenneigungen der Frontzähne am FRS in Relation zur Kauebene zu beurteilen wurde in ähnlicher Form bereits von anderen Autoren beschrieben und erfolgte in Anlehnung an die am Modell verwendete Bezugsebene mit dem Ziel, dieser bestmöglich zu entsprechen [5-7, 15, 28, 69].

Da zwischen den konventionellen Bezugsebenen und der Kauebene keine interindividuell konstanten, angulären Zusammenhänge bekannt sind, erschien eine zuverlässige Vorhersage aus den am Modell ermittelten Werten

problematisch. Messungen unter Bezugnahme auf die zusätzlich am FRS eingeführte Kauebene wurden deshalb notwendig.

Letztlich sollte eine unter praktischen Gesichtspunkten relevante Methode zur Ermittlung der Frontzahninklination anhand eines Modells entwickelt werden. Eine den klinischen Anforderungen genügende Messtechnik muss einfach, schnell, kostengünstig und mit der erforderlichen Messgenauigkeit durchzuführen sein. Eine diesbezügliche Weiterentwicklung würde idealerweise auf die Duplikation der Modelle verzichten und gleichzeitig die weitere klinische Verwendbarkeit der Modelle gewährleisten können.

4.2 Methodenkritik

4.2.1 Modell

Der Frontzahninklinationwinkel im Ober- und Unterkiefer wurde bei beiden am Fernröntgenseitenbild durchgeführten Messreihen zwischen der jeweiligen Zahnlängsachse des jeweils labialer stehenden mittleren Frontzahns und der entsprechenden Bezugslinie gemessen. Der Interinzisalwinkel wurde durch die Längsachsen der jeweils labialer stehenden mittleren Ober- und Unterkieferfrontzähne gebildet. Die zur Messung dieser Winkel benötigten Zahnlängsachsen wurden aus dem Apexpunkt (Ap^1 bzw. Ap_1) und der Spitze der Inzisalkante (Is^1 bzw. Is_1) konstruiert.

Die Bestimmung des Frontzahninklinationswinkels im Ober- und Unterkiefer und des Interinzisalwinkels am Modell musste sich auf abgeformte Strukturen stützen. Der Wurzelapex war als Referenzpunkt zur Konstruktion der Zahnlängsachse nicht verfügbar. Die für die Messungen der Winkel benötigte Längsachse definierte sich, wie in 2.2.2 näher beschrieben, durch die Spitze der Inzisalkante und die Hälfte der Distanz der labio-oralen Sulkusmarkierungen. Diese Längsachse entsprach in etwa der von verschiedenen Autoren erwähnten Definition der Kronenlängsachse [20, 23, 25, 38, 80].

Dass die Zahnlängsachse nicht mit den Längsachsen von Zahnkrone und -wurzel gleichzusetzen ist, haben bereits einige Autoren gezeigt [20, 23, 25, 38, 67, 80, 83, 84]. Die Relation der Zahnkrone zur -wurzel kann morphologischen

Variationen unterliegen [78]. In der sagittalen Dimension betrachtet kann die Krone in Bezug zur Wurzel nach labial oder nach lingual geneigt erscheinen [31, 49].

Der Kollumwinkel und der zum Kollumwinkel kongruente Kronen-Wurzel-Winkel beschreiben das Ausmaß der Divergenz von Kronen- und Wurzellängsachse (Abbildung 17).

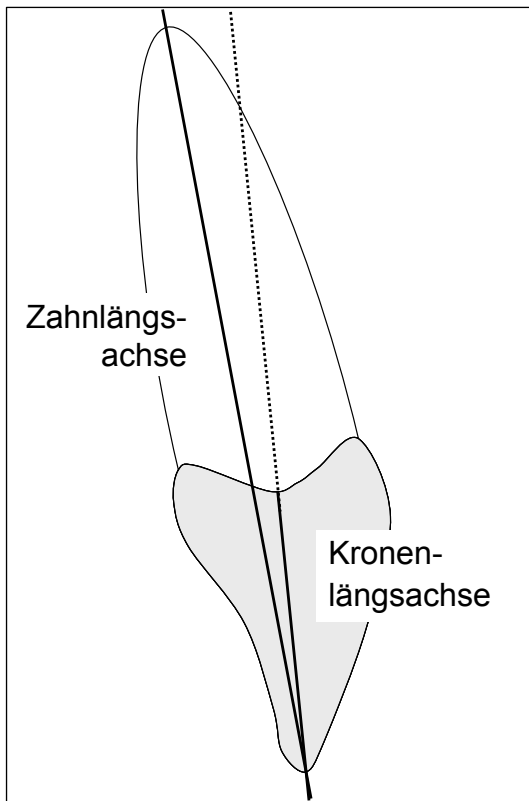


Abbildung 17a

Schematische Darstellung eines mittleren Oberkieferfrontzahns als sagittales Schnittbild mit divergierender Zahn- und Kronenlängsachse.

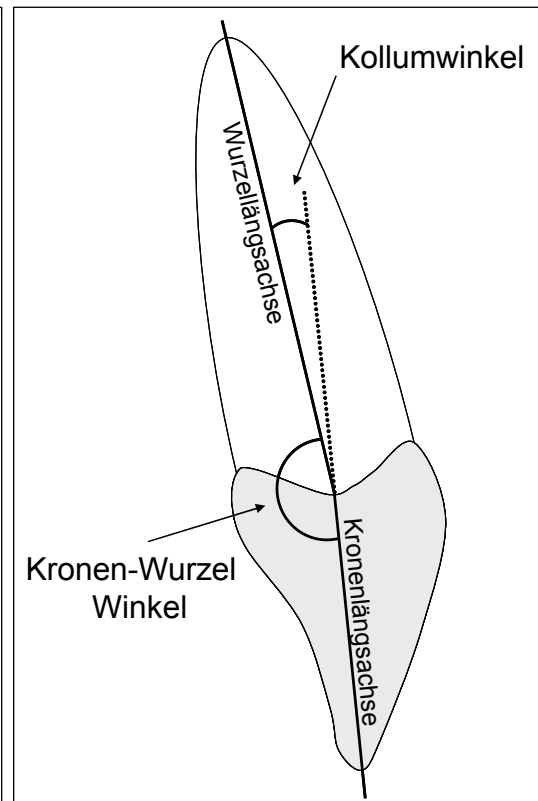


Abbildung 17b

Schematische Darstellung eines mittleren Oberkieferfrontzahns als sagittales Schnittbild mit Kronen- und Wurzellängsachse und entsprechendem Kronen-Wurzel- bzw. Kollumwinkel.

Verschiedene Autoren haben den Kronen-Wurzel-Winkel mittlerer Oberkieferfrontzähne untersucht (Tabelle 10) [20, 25, 38, 80].

Autoren		n	Kronen-Wurzel-Winkel				Studiendesign
			\bar{x} (SD)	Min.	Max.	Streu- breite	
CARLSSON und RÖNNERMANN (1973)*	Gr. 1	34	179,6 (3,1)	175,0	186,0	11,0	Messung an extrahierten Zähnen; Unterscheidung nach Abrasionsgrad der Inzisalkante in 3 Gruppen (1: wenig abrasiv; 3: sehr abrasiv)
	Gr. 2	29	180,0 (3,6)	174,5	187,5	13,0	
	Gr. 3	25	177,4 (3,1)	177,5	189,0	11,5	
DELIVANIS und KUFTINEC (1980)*	Kl. II,2	53	173,9 (5,9)	156,0	184,0	28,0	Messung am FRS; unterteilt in Klasse II,2 Patienten und Kontrollgruppe
		53	178,5 (4,4)	166,0	186,0	20,0	
BRYANT et al. (1984)		98	178,9 (4,5)	166,5	188,5	22,0	Messung an 98 extrahierten Zähnen und 100 FRS; unterteilt nach Angle- Klassen
	Kl. I	25	177,5 (4,5)	168,0	185,5	17,5	
	Kl. II,1	25	179,4 (4,0)	173,0	187,0	14,0	
	Kl. II,2	25	175,2 (5,1)	165,5	184,0	18,5	
	Kl. III	25	178,6 (4,7)	171,5	191,0	19,5	
HARRIS et al. (1993)*	Kl. I	24	174,4 (6,4)				Messung am FRS; unterteilt nach Angle- Klassen
	Kl. II	34	173,9 (7,4)				
	Kl. III	21	168,1 (6,3)				
VAN LOENEN et al. (2005)		81	183,9 (6,2)	170,7	194,8	24,1	Messung an extrahierten Zähnen

Tabelle 10

Übersicht der Untersuchungsergebnisse verschiedener Studien zum Ausmaß des Kronen-Wurzel-Winkels bei mittleren Oberkieferfrontzähnen [20, 23, 25, 38, 80].

(* Werte berechnet aus dem zum Kronen-Wurzel-Winkel kongruentem Kollumwinkel)

Die in diesen Studien jeweils genannten Mittelwerte für den Kronen-Wurzel-Winkel erstrecken sich von 168° bis 184° [38, 80]. Die meisten Autoren fanden je nach Malokklusion der untersuchten Patienten, Abrasionsgrad der Inziskante und Messmethode Mittelwerte, die einer geringfügig nach lingual geneigten Krone entsprechen [20, 23, 25, 38].

Die je nach Studie unterschiedlich großen Standardabweichungen der Mittelwerte und Streubreiten deuten darauf hin, dass die Divergenz der Längsachsen nicht konstant, sondern individuell unterschiedlich stark ausgeprägt ist [20, 23, 25, 38, 80].

Bei einem Kollumwinkel von null Grad beziehungsweise einem Kronen-Wurzel-Winkel von 180° sind die Wurzel- und die Kronenlängsachse parallel ausgerichtet. In diesem Fall entspricht die Zahnlängsachse sowohl der Wurzel- als auch der Kronenlängsachse. BRYANT et al. fanden bei 9% der untersuchten 98 extrahierten mittleren Oberkieferfrontzähnen und bei 6% der untersuchten 100 Fernröntgenaufnahmen einen Kronen-Wurzel-Winkel von genau 180° [20]. DELIVANIS und KUFTINEC maßen bei 13% der 53 seitlichen Fernröntgenaufnahmen von Klasse II,2 Patienten und bei 36% der 53 Kontrollpatienten einen Kronen-Wurzel-Winkel von 180° [25]. Demzufolge sind beim Vergleich der am Modell mit den am FRS durchgeführten Winkelmessungen entsprechende Abweichungen zu erwarten.

Daneben könnten Fehler während der Modellherstellung zu Messungenauigkeiten führen. In Vorbereitung der Bestimmung der Frontzahninklinationswinkel und des Interinzisalwinkels am Modell wurden die Modelle nach bestimmten, in 2.2.1 näher beschriebenen Kriterien getrimmt. Das Ziel war, die Modellsockelebene parallel zur Kauebene auszurichten. Eine Divergenz zwischen Kau- und Sockelebene kann trotz sorgfältiger Durchführung in der Folge die zur Sockelebene gemessenen Werte der Frontzahninklinationswinkel beeinflussen.

Deshalb erscheint der gedankliche Ansatz, die Präzision der Messungen am Modell zukünftig durch eine computergestützte Auswertung weiter zu verbessern, als sinnvoll. Die digitale, kieferorthopädische Diagnostik ist heute

bereits in Form von digitalen Röntgenaufnahmen und Fotografien mit anschließender softwaregestützter Analyse technisch möglich und in vielen Fällen bereits realisiert [72]. Computergestützte Modellanalysen sind ebenfalls bereits möglich. Neben einfachen fotografischen Verfahren existieren Techniken, bei denen über einen Messschieber Punkte am Modell abgetastet und an einen Computer übertragen werden können [72]. Technisch bedingt sind diese Verfahren, neben weiteren Nachteilen, aber meist auf 2 erfasste Dimensionen begrenzt [72]. Neuere, allerdings noch nicht weit verbreitete Verfahren erlauben das dreidimensionale Scannen von Gipsmodellen in hoher Auflösung [27, 37]. Anhand des digitalisierten Gipsmodells und einer entsprechenden Software wäre eine nicht durch das manuelle Trimmen beeinflusste, die Modelle erhaltende und möglicherweise auch sämtliche Frontzähne mit einbeziehende Messmethode zukünftig vorstellbar.

4.2.2 Seitliche Fernröntgenaufnahme

Die seitliche Fernröntgenaufnahme ist derzeit das etablierte diagnostische Hilfsmittel zur Bestimmung der Frontzahninklination. Die Fernröntgenanalyse ist jedoch nicht frei von methodisch bedingten Fehlern sowie von Messungenauigkeiten und ist zudem für den Patienten mit einer Strahlenbelastung verbunden (siehe Kapitel 1.3) [1-3, 9-11, 14, 19, 21, 29, 32, 34, 40, 42, 48, 50, 58, 66, 68, 73, 81, 82].

4.3 Diskussion der Ergebnisse

4.3.1 Vorauswertung

Im Zuge einer Voruntersuchung wurden die Wiederholbarkeit und die Reproduzierbarkeit der Winkelmessungen der Messreihen „Modell“ und „FRSneu“ mittels der „Root Mean Square Errors“ (RMSEs) einer Varianzanalyse untersucht und mit dem konventionellen Analyseverfahren am FRS verglichen.

Die zu erwartenden Messungsgenauigkeiten der Messreihe am Modell waren, sowohl die Wiederholbarkeit als auch die Reproduzierbarkeit betreffend, gleichgroß, respektive kleiner als die Messungsgenauigkeiten der Messreihe am FRS mit konventionellen Bezugsstrecken.

Die Untersuchung der Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit der Messreihe „FRSneu“ mit der Kauebene als Bezugsstrecke ergab, im Vergleich zu der Messreihe „FRSkonv“, eine um $0,2^\circ$ (Wiederholbarkeit) beziehungsweise $0,5^\circ$ (Reproduzierbarkeit) größere Messungsgenauigkeit. Diese geringfügig größere Ungenauigkeit bei der Konstruktion der Kauebene könnte auf Identifikationsfehler, bedingt durch röntgenologische Überlagerungen der Zähne, zurückzuführen sein. Auch BAUMRIND und FRANTZ, die die Reliabilität von kephalometrischen Winkelmessungen untersucht haben, fanden für den zur Kauebene gemessenen Frontzahninklinationswinkel eine im Vergleich zu anderen Bezugsstrecken größere Standardabweichung [11]. Die Messgenauigkeit der Messreihe „FRSneu“ wurde aufgrund der geringen Abweichung ebenfalls als wiederhol- und reproduzierbar eingestuft.

4.3.2 Hauptauswertung

Die Korrelation zwischen der Messreihe am Modell und den beiden am Fernröntgenbild durchgeführten Messreihen war für eine den klinischen Anforderungen genügende Vorhersagbarkeit der Winkelwerte zu gering. Weder die konventionell am FRS ermittelten noch die zur Kauebene ermittelten Werte konnten aus am Modell ermittelten Werten mit dem angestrebten

Bestimmtheitsmaß von mindestens 0,8 und/oder einem 95-prozentigen Referenzintervall von maximal $\pm 2,5^\circ$ vorhergesagt werden.

Für die Vorhersage der konventionell am seitlichen Fernröntgenbild gemessenen Frontzahninklinationswinkel aus am Modell ermittelten Werten betrug das Bestimmtheitsmaß 0,33 (95% RI: $-10,7^\circ$ bis $12,2^\circ$) im Oberkiefer und 0,54 (95% RI: $-10,3^\circ$ bis $11,6^\circ$) im Unterkiefer. Die Vorhersage des Interinzisalwinkels erfolgte mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,73 und einem 95%igen Referenzintervall von $-8,6^\circ$ bis $10,1^\circ$. Andere Autoren gaben bei Studien mit vergleichbarer Fragestellung ähnliche Ergebnisse an. RICHMOND et al., die die am Modell mit Hilfe eines modifizierten Winkelmessers bestimmten Werte des Frontzahninklinationswinkels den am FRS ermittelten Werten gegenüberstellten, fanden mit 0,59 im Unterkiefer ein vergleichbares und für die Vorhersage des Frontzahninklinationswinkels im Oberkiefer ein Bestimmtheitsmaß von 0,77 [60]. Im Unterschied zur vorliegenden Untersuchung nutzten RICHMOND et al. jedoch die Oberkieferbasis als Bezugsstrecke. Auch SHAH et al. fanden nach dem Vergleich von intraoral ermittelten und am FRS zur jeweiligen Kieferbasis bestimmten Werten der Frontzahninklinationswinkel mit 0,47 im Oberkiefer und 0,46 im Unterkiefer Bestimmtheitsmaße, die eine nur begrenzt zuverlässige Vorhersagbarkeit ausdrücken [70].

Durch die Kauebene als Bezugsebene der Messungen am seitlichen Fernröntgenbild erhöhten sich die Bestimmtheitsmaße für die Vorhersage der Frontzahninklinationswinkel auf 0,53 im Oberkiefer und 0,74 im Unterkiefer. Die zugehörigen 95%igen Referenzintervalle reduzierten sich auf $-7,2^\circ$ bis $10,8^\circ$ im Oberkiefer und auf $-7,8^\circ$ bis $6,8^\circ$ im Unterkiefer. Jedoch erschien auch diese Steigerung der Bestimmtheitsmaße mit gleichzeitiger Reduktion der Referenzintervalle für eine Vorhersagbarkeit mit akzeptabler Güte zu gering.

Desweiteren fand sich für den Frontzahninklinationswinkel im Unterkiefer für beide am seitlichen Fernröntgenbild durchgeführten Messreihen eine bessere Vorhersagbarkeit aus am Modell ermittelten Werten im Vergleich zum entsprechenden Winkel im Oberkiefer. Entsprechend ergaben sich im Unterkiefer größere Bestimmtheitsmaße (Unterkiefer: „FRSkonv“ $R^2=0,54$ und

„FRSneu“ $R^2=0,74$) als im Oberkiefer (Oberkiefer: „FRSkonv“ $R^2=0,33$ und „FRSneu“ $R^2=0,53$).

Grundsätzlich scheint ein Vergleich von Messwerten der beiden untersuchten diagnostischen Hilfsmittel zur Bestimmung der Frontzahninklination problematisch. Am seitlichen Fernröntgenbild wird die Frontzahninklination üblicherweise durch die Zahnachse beschrieben, wobei Abweichung zwischen der Kronen- und der Wurzelachse keine Berücksichtigung finden. Am Modell wurde die Frontzahninklination mit Hilfe der Kronenachse bestimmt. Die häufig auftretende Divergenz beider Achsen wurde mehrfach untersucht [20, 23, 25, 38, 80]. Auf die bei einem Vergleich dieser Methoden resultierenden Probleme haben bereits Autoren hingewiesen [33, 60, 70]. Dass die Größe des Kollumwinkels auch interindividuell variabel ist (siehe 4.2.1) erschwert eine statistisch gesicherte Vorhersage der Werte für den Einzelfall. Die für den Frontzahninklinationwinkel im Unterkiefer bessere Vorhersagbarkeit lässt sich möglicherweise auf eine im Vergleich zu mittleren Oberkieferfrontzähnen kleinere Divergenz zwischen Kronen- und Zahnlängsachse an Unterkieferfrontzähnen schließen. Diese Vermutung lässt sich jedoch schwer valide belegen, da zumeist der Kollumwinkel an mittleren Oberkieferfrontzähnen untersucht wurde [20, 23, 25, 38, 49, 80].

Ein weiterer Grund für die fehlende Präzision der Vorhersage könnten sowohl am FRS als auch am Modell auftretende Fehlerquellen darstellen. Am FRS können zum Beispiel durch röntgenologische Überlagerungen Ungenauigkeiten auftreten (Kapitel 1.3), wohingegen am Modell Fehler beim Trimmvorgang auftreten können (Kapitel 4.2.1).

Zusammenfassend erscheint es jedoch schwierig, eine auf dem Gipsmodell basierende Methode mit dem seitlichen Fernröntgenbild zu vergleichen. Methodische Unterschiede und die beschriebenen Fehlerquellen erschweren das Finden eines statistisch gesicherten Zusammenhangs.

4.3.3 Auswertung nach Untergruppen

Das Patientenkollektiv wurde hinsichtlich sieben verschiedener kieferorthopädischer Merkmale untersucht und infolgedessen in 20 Untergruppen unterteilt (Kapitel 2.2.3 und 2.3.3). Für jede dieser Untergruppen erfolgte eine gesonderte Auswertung.

Keine Untergruppe erreichte für jeweils alle drei betrachteten Winkel das angestrebte Bestimmtheitsmaß für die Vorhersage der am FRS ermittelten Werte aus am Modell ermittelten Werten von mindestens 0,8. Die Untergruppen* „skelettale Klasse 1“, „skelettale Klasse 3“ und „ZM Überschuss UK“ erreichten jeweils für den Frontzahninklinationswinkel im Unterkiefer und/oder den Interinzisalwinkel Bestimmtheitsmaße zwischen 0,8 und 0,86. Das angestrebte 95%ige Referenzintervall von maximal $\pm 2,5^\circ$ wurde jedoch in keinem Fall erreicht.

Analog den Ergebnissen der Hauptauswertung konnte in nahezu jeder Untergruppe durch die Kauebene als Bezugsstrecke am FRS eine bessere Vorhersagbarkeit der Frontzahninklinationswinkel erreicht werden.

Zusammenfassend ergab die Auswertung keine wesentlichen Verbesserungen für die untersuchten Untergruppen bezüglich einer gesteigerten Korrelation zwischen am Modell und am seitlichen Fernröntgenbild bestimmten Werten.

4.3.4 Mittelwerte der Winkelmessungen

Der Mittelwert des an 75 seitlichen Fernröntgenaufnahmen zur Strecke Sella-Nasion gemessenen Frontzahninklinationswinkels im Oberkiefer betrug $103,6^\circ$. Ein entsprechender Durchschnitts- beziehungsweise Sollwert wurde von verschiedenen Autoren angegeben [56, 75].

Der Mittelwert aller am FRS durchgeführten Messungen des Frontzahninklinationswinkels im Unterkiefer zur Strecke Menton-Gonion betrug 97° . Die Messungen des Interinzisalwinkels ergaben im Mittel $127,9^\circ$. Diese

* Die Auswertung der Untergruppen „Overjet Typ 3“, „WTM neutral“ und „Wits Klasse 1“ ergab teilweise auch ein R^2 von mindestens 0,8 bzw. 95%ige RI innerhalb von $\pm 2,5^\circ$. Aufgrund der geringen Patientenzahl ($n < 10$) und der damit verbundenen fehlenden statistischen Aussagekraft wurde auf betreffende Untergruppen nicht eingegangen.

Mittelwerte weichen geringfügig von den in anderen Studien angegebenen Werten ab. HAMDAN et al. verglichen Normwerte aus 14 Studien und errechneten mit $93,3^\circ$ einen um $3,7^\circ$ kleineren Mittelwert für den Frontzahninkinationswinkel im Unterkiefer [36]. Für den Interinzisalwinkel wurde ein um $4,5^\circ$ größerer Mittelwert von $132,4^\circ$ beschrieben [36]. Diese Differenzen beruhen möglicherweise auf unterschiedlichen Patientenkollektiven. Viele Autoren, die Normwerte vorgeschlagen haben, untersuchten kieferorthopädisch nicht behandelte Patienten mit eugnathem Gebiss oder Patienten, die als besonders attraktiv bewertet wurden [28, 62].

Durch die Kauebene als Bezugsstrecke vergrößerte sich der Mittelwert des an 75 seitlichen Fernröntgenaufnahmen bestimmten Frontzahninkinationswinkels im Oberkiefer um $17,8^\circ$ auf $121,4^\circ$ und im Unterkiefer um $13,2^\circ$ auf $110,3^\circ$. Die Differenz der Mittelwerte der Messreihen „FRSneu“ und „FRSkonv“ entsprach damit annähernd der Divergenz der verwendeten Bezugslinien von 18° (Sella-Nasion – Okklusionsebene) und 14° (Okklusionsebene – Menton-Gonion) [55]. SCHUDY untersuchte 400 seitliche Fernröntgenbilder und fand mit $121,4^\circ$ im Oberkiefer den gleichen, beziehungsweise mit $110,7^\circ$ im Unterkiefer einen nahezu identischen Mittelwert für die zur Kauebene bestimmten Frontzahninkinationswinkel [69]. Auch andere Autoren gaben vergleichbare Werte an [7, 15].

Im Mittel ergaben die an 75 Modellpaaren durchgeführten Messungen der Frontzahninkinationswinkel im Oberkiefer 115° und im Unterkiefer 110° .

Der Mittelwert des Frontzahninkinationswinkels im Oberkiefer war damit im Vergleich zur der am FRS mit der analogen Bezugsstrecke durchgeführten Messreihe um $6,5^\circ$ kleiner. Zumindest in Teilen könnte diese Differenz der Mittelwerte auf den Kronen-Wurzel-Winkel zurückzuführen sein. Nach CARLSSON & RÖNNERMANN, DELIVANIS & KUFTINEC, BRYANT et al. und HARRIS et al. ist die Kronenlängsachse im Bezug zur Wurzellängsachse bei mittleren Oberkieferfrontzähnen nach lingual geneigt [20, 23, 25, 38]. Eine Kronenlängsachse, wie sie in etwa für die Messungen am Modell bestimmt wurde, die nach lingual geneigt ist, hätte einen vermeintlich vergrößerten Frontzahninkinationswinkel im Oberkiefer im Vergleich zu der am FRS

durchgeführten Messung zur Folge. Gleiches lässt sich für den aus den Messungen am Modell bestimmten und in Relation zu den Messungen am seitlichen Fernröntgenbild um $6,6^\circ$, jetzt geometrisch bedingt, größeren Mittelwert des Interinzisalwinkels vermuten.

Die Mittelwerte der am Modell und der am FRS zur Kauebene durchgeführten Messungen des Frontzahninklinationswinkels im Unterkiefer glichen sich hingegen. Hier trat nur eine Differenz von $0,4^\circ$ auf, die in einer besseren Übereinstimmung der Kronen- und Zahnlängsachse bei Unterkieferfrontzähnen begründet sein könnte.

4.4 Schlussfolgerungen

Zusammenfassend können folgende Aussagen getroffen werden:

1. Für die Messung der Frontzahninklinationswinkel im Ober- und Unterkiefer und des Interinzisalwinkels ist die seitliche Fernröntgenaufnahme das derzeit besser geeignete diagnostische Hilfsmittel. Das Gipsmodell kann mit der in dieser Studie untersuchten Methode das Fernröntgenseitenbild als Grundlage der Bestimmung betreffender Winkel nicht ersetzen.
2. Methodische Unterschiede der am seitlichen Fernröntgenbild und am Modell untersuchten Messtechniken erschweren einen Vergleich der Messungen.
3. Durch die Messung der Frontzahninklinationswinkel zur Kauebene am seitlichen Fernröntgenbild kann die Güte der Vorhersagbarkeit aus am Modell ermittelten Werten gesteigert werden.
4. Zukünftig erscheint es denkbar, durch eine computergestützte Bestimmung der Winkel anhand von digitalisierten Gipsmodellen die Präzision der Methode zu erhöhen.

5 Zusammenfassung

Anhand von 75 seitlichen Fernröntgenaufnahmen und korrespondierenden Gipsmodellen wurde untersucht, ob die konventionell am FRS gewonnenen Werte der Frontzahninklinationwinkel im Ober- und Unterkiefer und des Interinzisalwinkels aus am Modell bestimmten Werten berechnet werden können.

Nach der Modellduplikation erfolgte die Entfernung der linken Seite durch Trimmen. Durch den höchsten Punkt der Inzisalkante und die Hälfte der labio-oralen Distanz, gemessen zwischen den tiefsten Punkten des Sulkus, wurde eine Gerade auf die zur Kauebene parallelen jeweiligen Sockelebenen gezogen, der dorsale Winkel gemessen und mit entsprechenden Messwerten aus dem FRS verglichen. In einem weiteren Schritt wurden in Analogie der Messungen am Modell die Frontzahninklinationen auf eine am FRS neu eingeführte Kauebene bezogen. In einer Vorauswertung wurden diese Messmethoden als reproduzierbar und wiederholbar bestätigt.

Die mit Hilfe einer linearen Regression untersuchte Vorhersagbarkeit der am FRS ermittelten Werte für die Frontzahninklinationwinkel im Ober- und Unterkiefer ($R^2 = 0,33/0,54$) und den Interinzisalwinkel ($R^2 = 0,73$) aus am Modell bestimmten Werten erreichte nicht die klinisch erforderliche Präzision. Am FRS konnte im Vergleich zu den konventionell verwendeten Bezugsebenen durch die Messung der Frontzahninklinationwinkel zur Kauebene die Güte der Vorhersagbarkeit aus am Modell ermittelten Werten gesteigert werden ($R^2 = 0,53/0,74$). Eine Auswertung nach Angle Klasse, skelettaler Klasse, Wachstumsmuster, Overjet, Overbite und dem Verhältnis des Zahnmaterials beider Kiefer ergab keine wesentliche Verbesserung der Vorhersagbarkeit.

Das Gipsmodell kann derzeit das FRS als diagnostische Grundlage zur Bestimmung betreffender Winkel nicht ersetzen. Methodische Unterschiede der am FRS und am Modell untersuchten Messtechniken und auf beiden Seiten bestehende Fehlerquellen erschweren einen Vergleich der Messungen.

Zukünftig erscheint es denkbar, durch eine computergestützte Bestimmung der Winkel anhand von digitalisierten Gipsmodellen die Präzision der Methode zu erhöhen.

6 Literaturverzeichnis

1. Ahlqvist J, Eliasson S, Welander U. The cephalometric projection. Part II. Principles of image distortion in cephalography. *Dentomaxillofac Radiol* 1983;12:101-108.
2. Ahlqvist J, Eliasson S, Welander U. The effect of projection errors on cephalometric length measurements. *Eur J Orthod* 1986;8:141-148.
3. Ahlqvist J, Eliasson S, Welander U. The effect of projection errors on angular measurements in cephalometry. *Eur J Orthod* 1988;10:353-361.
4. Andrews LF. The six keys to normal occlusion. *Am J Orthod* 1972;62:296-309.
5. Arnett GW, Bergman RT. Facial keys to orthodontic diagnosis and treatment planning. Part I. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993;103:299-312.
6. Arnett GW, Bergman RT. Facial keys to orthodontic diagnosis and treatment planning. Part II. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993;103:395-411.
7. Arnett GW, Jelic JS, Kim J, Cummings DR, Beress A, Worley Jr. CM, Chung B, Bergman R. Soft tissue cephalometric analysis: diagnosis and treatment planning of dentofacial deformity. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;116:239-253.
8. Backlund E. Overbite and the incisor angle. *Trans Eur Orthod Soc* 1958;277-286.
9. Battagel JM. A comparative assessment of cephalometric errors. *Eur J Orthod* 1993;15:305-314.
10. Baumrind S, Frantz RC. The reliability of head film measurements. 1. Landmark identification. *Am J Orthod* 1971a;60:111-127.
11. Baumrind S, Frantz RC. The reliability of head film measurements. 2. Conventional angular and linear measures. *Am J Orthod* 1971b;60:505-517.
12. Bennett DT, Smales FC. Comparison of methods available for recording the angular changes occurring in the incisor teeth as a result of removable orthodontic appliance therapy. *J Dent Res* 1965;44:1186.
13. Bennett DT, Smales FC. Orientated study models. *Dent Pract Dent Rec* 1968;18:353-355.

14. Bennett DT, Smales FC. Accuracy of angular measurements obtained from radiographic cephalometric analysis. *J Dent Res* 1969;48:595.
15. Björk A. The face in profile. *Svensk tandläkare-tidskrift* 1947;40:1-180.
16. Bolton AW. Disharmony in tooth size and its relation to the analysis and treatment of malocclusion. *Angle Orthodont* 1958;28:113-130.
17. Brin I, Ben-Bassat Y, Heling I, Brezniak N. Profile of an orthodontic patient at risk of dental trauma. *Endod Dent Traumatol* 2000;16:111-115.
18. Broadbent BH. A new technique and its application to Orthodontics. *Angle Orthod* 1931;1:45.
19. Broadway ES, Healy MJ, Poyton HG. The accuracy of tracings from cephalometric lateral skull radiographs. *Dent Pract* 1966;12:455-460.
20. Bryant RM, Sadowsky PL, Hazelrig JB. Variability in three morphologic features of the permanent maxillary central incisor. *Am J Orthod* 1984;86:25-32.
21. Buschang PH, Tanguay R, Demirjian A. Cephalometric reliability. A full ANOVA model for the estimation of true and error variance. *Angle Orthod* 1987;57:168-175.
22. Carey CW. Diagnosis and case analysis in orthodontics. *Am J Orthod* 1952;38:149-161.
23. Carlsson R, Ronnerman A. Crown-root angles of upper central incisors. *Am J Orthod* 1973;64:147-154.
24. Corelius M, Linder-Aronson S. The relationship between lower incisor inclination and various reference lines. *Angle Orthod* 1976;46:111-117.
25. Delivanis HP, Kuflinec MM. Variation in morphology of the maxillary central incisors found in class II, division 2 malocclusions. *Am J Orthod* 1980;78:438-443.
26. Dempster WT, Adams WJ, Duddles RA. Arrangement in the Jaws of the Roots of the Teeth. *J Am Dent Assoc* 1963;67:779-797.
27. Dirksen D, Diederichs S, Runte C, von Bally G, Bollmann F. Three-dimensional acquisition and visualization of dental arch features from optically digitized models. *J Orofac Orthop* 1999;60:152-159.
28. Downs WB. Variations in facial relationships: their significance in treatment and prognosis. *Am J Orthod* 1948;34:812-840.
29. Eliasson S, Welander U, Ahlqvist J. The cephalographic projection. Part I: General considerations. *Dentomaxillofac Radiol* 1982;11:117-122.

30. Ferrario VF, Sforza C, Colombo A, Ciusa V, Serrao G. Three-dimensional inclination of the dental axes in healthy permanent dentitions--A cross-sectional study in a normal population. *Angle Orthod* 2001;71:257-264.
31. Fredericks CD. A method for determining the maxillary incisor inclination. *Angle Orthod* 1974;44:341-345.
32. Freisfeld M. Fehlerquellen an Einzeichnungsserien kephalometrischer Bezugspunkte. *Fortschr Kieferorthop* 1973;34:296.
33. Ghahferokhi AE, Elias L, Jonsson S, Rolfe B, Richmond S. Critical assessment of a device to measure incisor crown inclination. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002;121:185-191.
34. Gilda JE, Maillie HD. Dosimetry of absorbed radiation in radiographic cephalometry. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1992;73:638-643.
35. Good S, Edler R, Wertheim D, Greenhill D. A computerized photographic assessment of the relationship between skeletal discrepancy and mandibular outline asymmetry. *Eur J Orthod* 2006;28:97-102.
36. Hamdan AM, Rock WP. Cephalometric norms in an Arabic population. *J Orthod* 2001;28:297-300.
37. Harrell Jr. WE, Hatcher DC, Bolt RL. In search of anatomic truth: 3-dimensional digital modeling and the future of orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002;122:325-330.
38. Harris EF, Hassankiadeh S, Harris JT. Maxillary incisor crown-root relationships in different angle malocclusions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993;103:48-53.
39. Hofrath H. Die Bedeutung der Röntgenfern- und Abstandsaufnahme für die Diagnostik der Kieferanomalien. *Fortschr Kieferorthop* 1931;1:232-258.
40. Houston WJ. The analysis of errors in orthodontic measurements. *Am J Orthod* 1983;83:382-390.
41. Houston WJ. Incisor edge-centroid relationships and overbite depth. *Eur J Orthod* 1989;11:139-143.
42. Houston WJ, Maher RE, McElroy D, Sherriff M. Sources of error in measurements from cephalometric radiographs. *Eur J Orthod* 1986;8:149-151.
43. Hussels W, Nanda RS. Effect of maxillary incisor angulation and inclination on arch length. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1987;91:233-239.

44. Jacobson A. The "Wits" appraisal of jaw disharmony. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1975;124:470-479.
45. Jacobson A. Application of the "Wits" appraisal. *Am J Orthod* 1976;70:179-189.
46. Jacobson A. Update on the Wits appraisal. *Angle Orthod* 1988;58:205-219.
47. Ludwig M. A cephalometric analysis of the relationship between facial pattern, interincisal angulation and anterior overbite changes. *Angle Orthod* 1967;37:194-204.
48. Maillie HD, Gilda JE. Radiation-induced cancer risk in radiographic cephalometry. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1993;75:631-637.
49. McIntyre GT, Millett DT. Crown-root shape of the permanent maxillary central incisor. *Angle Orthod* 2003;73:710-715.
50. Miethke RR. Zur Lokalisationsgenauigkeit kephalometrischer Referenzpunkte. *Prakt Kieferorthop* 1989;3:107-122.
51. Nötzel F, Schultz C. Modellanalyse. In: Nötzel F, Schultz C. Leitfaden der kieferorthopädischen Diagnostik: Analysen und Tabellen für die Praxis. Köln, München: Deutscher Zahnärzte Verlag, DÄV-Hanser, 2001:59-61.
52. Ovsenik M, Farcnik FM, Verdenik I. Comparison of intra-oral and study cast measurements in the assessment of malocclusion. *Eur J Orthod* 2004;26:273-277.
53. Panagiotidis G, Witt E. Der individualisierte ANB-Winkel. *Fortschr Kieferorthop* 1977;38:408-416.
54. Petti S, Tarsitani G. Traumatic injuries to anterior teeth in Italian schoolchildren: prevalence and risk factors. *Endod Dent Traumatol* 1996;12:294-297.
55. Rakosi T. Besondere Aspekte der Fernröntgenanalyse bei Planung der funktionskieferorthopädischen Therapie. In: Rakosi T. Funktionelle Therapie in der Kieferorthopädie. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1984:86,90.
56. Rakosi T. Bedeutung der angulären und linearen Messungen in der dento-skelettalen Analyse. In: Rakosi T. Atlas und Anleitung zur praktischen Fernröntgenanalyse. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1988:83-84.
57. Rakosi T. Kephalmetrie und Fernröntgenanalyse. In: Rakosi T. Atlas und Anleitung zur praktischen Fernröntgenanalyse. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1988:72-73.

58. Richardson A. An investigation into the reproducibility of some points, planes, and lines used in cephalometric analysis. *Am J Orthod* 1966;52:637-651.
59. Richmond S. Recording the dental cast in three dimensions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1987;92:199-206.
60. Richmond S, Klufas ML, Sywanyk M. Assessing incisor inclination: a non-invasive technique. *Eur J Orthod* 1998;20:721-726.
61. Ricketts RM, Schulhof RJ, Bagha L. Orientation-sella-nasion or Frankfort horizontal. *Am J Orthod* 1976;69:648-654.
62. Riedel RA. An analysis of dentofacial relationships. *Am J Orthod* 1957;43:103-119.
63. Riolo ML, Moyers RE, McNamara Jr. JA, Hunter WS. Landmark Definitions. In: Riolo ML, Moyers RE, McNamara Jr. JA, Hunter WS. *An atlas of craniofacial growth: Cephalometric Standards from the University School Growth Study, The University of Michigan*. Ann Arbor, Michigan: Center for Human Growth and Development, The University of Michigan, 1979:18.
64. Salzmann JA. The maxillator: a new instrument for measuring the frankfort-mandibular base angle, the incisor mandibular and other component parts of the face and jaws. *Am J Orthod* 1945;31:608-617.
65. Schlosser JB, Preston CB, Lampasso J. The effects of computer-aided anteroposterior maxillary incisor movement on ratings of facial attractiveness. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005;127:17-24.
66. Schmuth GPF. Methodische Schwierigkeiten bei der Anwendung der Röntgenkephalometrie in der Kieferorthopädie. *Fortschr Kieferorthop* 1971;32:317-325.
67. Schmuth GPF. Dysgnathie und Eugnathie. In: Schmuth GPF, Vardimon AD. *Kieferorthopädie*. Stuttgart, New York: Thieme Verlag, 1994:10-11.
68. Schmuth GPF, Altuna G. Wie genau sind röntgenkephalometrische Befunde? Eine Studie über die Bestimmung der Bißlage durch den ANB-Winkel. *Osterr Z Stomatol* 1971;68:370-381.
69. Schudy FF. The cant of the occlusal plane and axial inclination of teeth. *Angle Orthod* 1963;33:69-82.
70. Shah N, Spary DJ, Rock WP. A jig for measuring incisor inclination. *Eur J Orthod* 2005;27:252-257.
71. Simons ME, Joondeph DR. Changes in overbite: a ten-year post-treatment study. *Am J Orthod* 1973;64:349-367.

72. Sipeer SM. Digitale Diagnostik und Dokumentation in der Kieferorthopädie - Entwicklung eines Modells mit den derzeit bestehenden technischen Möglichkeiten. Med Diss: Tübingen: Poliklinik für Kieferorthopädie, Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Eberhard-Karls-Universität, 2003:1-87.
73. Skotnicky F. Problem der Projektionsverzerrung bei Fernröntgenaufnahmen des Schädels. *Fortschr Kieferorthop* 1972;33:277-303.
74. Solow B. The pattern of craniofacial associations. *Acta Odontol Scand* 1966;24(Suppl.46):1-174.
75. Steiner CC. Cephalometrics for you and me. *Am J Orthod* 1953;39:734-737.
76. Sui Z, Agrawal KR, Corke H, Lucas PW. Biting efficiency in relation to incisal angulation. *Arch Oral Biol* 2006;51:491-497.
77. Takada K, Lowe AA, DeCou R. Operational performance of the Reflex Metrograph and its applicability to the three-dimensional analysis of dental casts. *Am J Orthod* 1983;83:195-199.
78. Taylor RM. Variation in form of human teeth: I. An anthropologic and forensic study of maxillary incisors. *J Dent Res* 1969;48:5-16.
79. Tweed CH. Frankfort-Mandibular incisor angle (FMIA) in orthodontic diagnosis, treatment planning and prognosis. *Angle Orthod* 1954;24:121.
80. van Loenen M, Degrieck J, De Pauw G, Dermaut L. Anterior tooth morphology and its effect on torque. *Eur J Orthod* 2005;27:258-262.
81. Wall BF, Kendall GM. Collective doses and risks from dental radiology in Great Britain. *Br J Radiol* 1983;56:511-516.
82. White SC. 1992 assessment of radiation risk from dental radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 1992;21:118-126.
83. Williams A, Woodhouse C. The crown to root angle of maxillary central incisors in different incisal classes. *Br J Orthod* 1983;10:159-161.
84. Zak B. Statistische Überprüfung anatomischer Werte der oberen Schneidezähne. *Dtsch Stomatol* 1969;19:358-365.

7 Anhang

7.1 Anlage A: Verwendete Abkürzungen

FRS	seitliches Fernröntgenbild
FRSkonv	Frontzahninklinationswinkel, bestimmt am FRS zu den Bezugstrecken Sella-Nasion bzw. Menton-Gonion
FRSneu	Frontzahninklinationswinkel, gemessen zur Kauebene am FRS
FRSOKUK	Interinzisalwinkel, gemessen am FRS
ModOK	Oberkieferfrontzahninklinationswinkel, gemessen am Modell
ModOKUK	Interinzisalwinkel, gemessen am Modell
ModUK	Unterkieferfrontzahninklinationswinkel, gemessen am Modell
n	Anzahl der Elemente einer Stichprobe
OK	Oberkiefer
R ²	Bestimmtheitsmaß
RI	Referenzintervall
RMSE	„Root Mean Square Error“ (Standardabweichung)
UK	Unterkiefer
WTM	Wachstumsmuster
\bar{x}	arithmetischer Mittelwert
ZM	Zahnmaterial

7.2 Anlage B: Messwerte zur Prüfung der Reliabilität

Pat.	Modell			FRS				
	OK	UK	Inter- inzisal	konv OK	konv UK	neu OK	neu UK	Inter- inzisal
1	120,0	109,0	130,0	106,0	96,5	123,0	114,0	123,0
2	118,0	109,0	132,0	94,0	100,5	118,0	113,0	128,5
3	115,0	103,5	140,0	101,0	89,0	125,0	101,0	133,0
4	112,0	111,5	136,0	109,0	109,0	119,5	118,0	122,5
5	115,0	130,0	114,0	102,0	106,0	116,0	123,0	120,5
6	126,0	100,5	133,0	106,0	84,0	133,0	97,0	130,0
7	112,0	100,0	148,0	98,0	83,0	121,5	100,0	138,0
8	122,0	116,0	122,0	112,0	101,0	126,0	113,0	121,0
9	123,0	112,0	125,0	106,0	100,0	119,0	117,0	123,0
10	116,0	112,0	132,0	104,0	93,5	130,5	111,0	118,0
11	114,0	116,0	130,5	108,0	95,0	128,0	110,0	121,0
12	115,0	100,0	145,0	97,5	92,0	119,5	106,0	135,0
13	112,0	111,0	136,0	102,0	99,0	121,0	106,0	132,5
14	115,0	111,0	135,0	98,0	94,0	118,0	110,0	132,0
15	117,0	105,5	136,0	97,5	90,0	126,0	105,0	128,5
16	113,0	96,0	150,5	99,0	89,0	120,0	96,5	143,0
17	120,0	123,0	115,0	106,0	100,0	126,0	122,0	112,0
18	125,0	119,0	115,0	110,0	112,0	129,0	118,0	113,0
19	117,0	107,5	135,0	105,0	98,0	122,5	110,0	127,0
20	111,5	122,0	126,5	102,0	100,0	119,5	118,0	121,0
21	116,0	112,0	131,5	107,0	103,5	120,0	113,0	126,0
22	105,5	109,0	146,0	102,0	94,0	118,0	108,0	134,0
23	116,0	110,5	133,0	110,0	95,0	122,0	112,0	126,0
24	108,5	115,5	135,0	101,0	108,5	109,0	116,5	134,0

Tabelle 11 Messwerte Untersucher 1 – Messung 1

Pat.	Modell			FRS				
	OK	UK	Inter- inzisal	konv OK	konv UK	neu OK	neu UK	Inter- inzisal
1	120,0	108,0	131,0	106,0	95,0	125,0	110,0	125,0
2	118,5	110,0	131,0	94,5	100,0	119,0	113,0	128,0
3	115,0	105,0	141,0	101,0	89,0	123,0	104,0	133,5
4	112,0	111,5	137,0	110,5	108,5	123,0	116,0	121,5
5	114,0	130,5	116,0	101,5	107,0	117,0	122,0	121,0
6	125,5	100,0	135,0	103,0	85,0	129,0	100,0	131,0
7	112,5	98,0	150,0	99,0	87,0	122,0	103,5	139,5
8	124,0	115,0	121,5	112,0	100,5	124,0	115,0	121,0
9	124,0	111,0	125,0	103,0	98,0	116,5	115,0	129,0
10	117,0	112,0	130,0	103,0	93,0	130,0	110,0	120,0
11	115,0	114,5	130,0	108,0	95,0	129,0	109,0	122,0
12	114,0	100,0	146,0	97,5	90,0	121,0	103,5	136,0
13	113,0	111,0	136,0	101,0	99,0	119,0	107,5	134,0
14	115,0	110,0	135,0	96,0	92,5	117,5	108,5	134,0
15	118,5	104,0	138,0	97,0	90,0	126,0	105,0	129,5
16	111,0	96,0	153,0	98,0	88,0	116,0	98,5	146,0
17	120,0	124,0	115,5	105,5	100,0	127,0	121,5	112,0
18	126,0	117,0	116,5	110,0	110,5	130,0	115,0	115,0
19	118,0	107,5	135,0	106,5	95,0	123,5	107,0	130,0
20	112,0	122,0	125,0	101,0	101,5	120,0	119,0	121,0
21	118,0	113,0	129,0	109,0	105,0	123,0	112,5	125,0
22	107,0	107,0	146,0	101,5	95,0	118,0	108,0	134,5
23	116,5	110,0	133,5	108,0	96,0	121,0	112,0	127,0
24	109,0	115,0	135,0	101,0	112,0	113,0	117,0	130,5

Tabelle 12 Messwerte Untersucher 1 – Messung 2

Pat.	Modell			FRS				
	OK	UK	Inter- inzisal	konv OK	konv UK	neu OK	neu UK	Inter- inzisal
1	119,0	106,0	135,0	106,0	96,0	122,0	113,0	124,0
2	119,0	110,0	130,0	96,0	100,5	118,0	114,0	127,0
3	116,0	107,0	136,0	101,0	87,0	128,0	98,0	135,0
4	113,0	113,5	134,0	110,0	109,5	122,0	116,0	121,0
5	116,5	130,0	113,0	102,0	108,5	115,0	124,0	119,0
6	127,0	101,0	133,0	105,5	86,0	133,0	97,0	126,5
7	111,5	98,5	150,0	97,0	84,0	118,0	103,0	138,5
8	124,0	116,0	120,0	111,0	100,0	127,0	113,0	123,0
9	124,0	111,0	125,0	106,5	99,0	116,0	117,0	124,0
10	116,5	111,5	133,0	101,0	90,0	126,0	109,0	124,0
11	114,0	115,0	130,0	108,5	95,0	129,0	110,0	120,5
12	114,0	101,0	145,0	97,5	91,5	122,0	103,0	135,5
13	112,5	110,0	137,0	103,0	101,5	120,0	113,0	128,5
14	111,5	115,0	133,0	95,0	96,5	117,0	111,0	131,0
15	118,0	106,5	135,0	96,5	94,0	127,0	107,5	126,0
16	114,0	97,0	148,0	97,5	89,0	116,0	110,0	145,0
17	120,0	125,0	114,0	104,0	102,0	122,0	127,5	111,0
18	122,0	119,0	118,0	107,5	110,0	126,0	117,0	116,0
19	116,0	107,0	137,0	106,5	96,0	122,0	108,0	129,0
20	113,0	125,0	122,0	99,5	103,5	117,0	122,0	120,0
21	116,5	113,0	130,0	108,5	103,0	120,0	114,0	125,0
22	108,0	109,0	143,0	101,0	93,0	118,0	105,0	134,5
23	118,0	112,5	129,0	107,0	96,0	118,0	113,0	128,0
24	110,0	115,5	136,0	100,5	108,5	114,0	111,0	134,0

Tabelle 13 Messwerte Untersucher 2 – Messung 1

Pat.	Modell			FRS				
	OK	UK	Inter- inzisal	konv OK	konv UK	neu OK	neu UK	Inter- inzisal
1	121,0	109,0	131,0	104,0	96,0	121,0	114,0	124,0
2	118,0	112,0	130,0	93,5	102,0	115,0	117,0	128,0
3	119,0	105,0	135,0	99,0	89,0	125,0	98,0	135,0
4	112,0	113,0	135,0	108,0	108,5	121,0	116,0	123,0
5	115,0	130,5	114,0	102,0	107,5	117,0	124,0	119,0
6	125,5	101,0	133,0	106,0	84,0	132,0	100,0	129,0
7	112,5	99,0	148,0	97,0	84,0	120,0	102,0	138,0
8	122,5	115,0	123,0	112,0	101,0	125,0	112,5	121,0
9	126,5	110,5	122,0	104,5	99,0	117,0	116,0	126,0
10	117,5	112,0	129,5	103,0	89,0	127,0	108,0	124,0
11	115,5	116,0	128,0	109,0	96,0	126,0	112,0	119,0
12	116,0	101,0	143,0	97,0	91,0	120,0	104,0	136,5
13	110,5	113,0	135,5	102,0	104,0	119,0	112,0	126,5
14	114,5	112,0	133,0	94,0	96,5	116,0	112,0	132,0
15	118,5	107,0	134,0	96,0	92,0	126,0	106,0	127,5
16	113,0	96,0	151,0	96,0	90,0	114,0	111,0	144,0
17	120,5	124,5	114,0	105,0	103,0	122,0	126,0	109,0
18	124,5	118,0	117,0	109,0	112,0	127,0	119,0	113,0
19	117,5	107,5	134,0	107,0	94,0	119,0	111,0	130,0
20	110,0	124,0	126,0	101,0	104,0	117,0	124,0	118,0
21	117,5	116,0	126,0	110,0	104,0	122,0	114,0	122,0
22	106,0	111,0	143,0	102,0	93,0	117,0	106,0	135,0
23	120,0	110,5	129,0	106,0	97,0	116,0	114,0	128,0
24	108,0	114,0	138,0	101,0	107,0	112,0	112,0	135,0

Tabelle 14 Messwerte Untersucher 2 – Messung 2

7.3 Anlage C: Messwerte der Hauptauswertung

Pat.	Modell			FRS				
	OK	UK	Inter- inzisal	konv OK	konv UK	neu OK	neu UK	Inter- inzisal
1	120,0	109,0	130,0	106,0	96,5	123,0	114,0	123,0
2	118,0	109,0	132,0	94,0	100,5	118,0	113,0	128,5
3	115,0	103,5	140,0	101,0	89,0	125,0	101,0	133,0
4	112,0	111,5	136,0	109,0	109,0	119,5	118,0	122,5
5	115,0	130,0	114,0	102,0	106,0	116,0	123,0	120,5
6	126,0	100,5	133,0	106,0	84,0	133,0	97,0	130,0
7	112,0	100,0	148,0	98,0	83,0	121,5	100,0	138,0
8	122,0	116,0	122,0	112,0	101,0	126,0	113,0	121,0
9	123,0	112,0	125,0	106,0	100,0	119,0	117,0	123,0
10	116,0	112,0	132,0	104,0	93,5	130,5	111,0	118,0
11	114,0	116,0	130,5	108,0	95,0	128,0	110,0	121,0
12	115,0	100,0	145,0	97,5	92,0	119,5	106,0	135,0
13	112,0	111,0	136,0	102,0	99,0	121,0	106,0	132,5
14	115,0	111,0	135,0	98,0	94,0	118,0	110,0	132,0
15	117,0	105,5	136,0	97,5	90,0	126,0	105,0	128,5
16	113,0	96,0	150,5	99,0	89,0	120,0	96,5	143,0
17	120,0	123,0	115,0	106,0	100,0	126,0	122,0	112,0
18	125,0	119,0	115,0	110,0	112,0	129,0	118,0	113,0
19	117,0	107,5	135,0	105,0	98,0	122,5	110,0	127,0
20	111,5	122,0	126,5	102,0	100,0	119,5	118,0	121,0
21	116,0	112,0	131,5	107,0	103,5	120,0	113,0	126,0
22	105,5	109,0	146,0	102,0	94,0	118,0	108,0	134,0
23	116,0	110,5	133,0	110,0	95,0	122,0	112,0	126,0
24	108,5	115,5	135,0	101,0	108,5	109,0	116,5	134,0
25	120,0	101,0	137,0	104,0	87,0	121,0	109,0	130,0
26	115,0	102,0	143,0	105,0	90,0	123,0	108,0	129,0
27	118,0	117,0	124,0	109,0	105,0	127,0	117,0	115,5
28	120,0	119,0	121,0	113,0	103,0	125,0	121,0	113,0
29	114,0	99,0	146,0	101,0	80,0	118,0	100,0	142,0
30	114,0	108,0	138,0	106,0	97,0	117,0	106,0	136,0
31	114,5	117,0	129,0	101,0	102,0	120,0	117,0	122,5
32	110,0	113,0	136,0	97,0	102,0	114,5	114,0	131,0
33	105,5	101,0	153,0	102,0	79,0	115,0	96,0	149,0
34	116,5	103,5	140,0	98,0	90,0	119,0	105,0	135,0
35	106,5	111,0	141,0	98,0	94,0	119,0	106,0	135,0
36	111,0	113,0	136,0	95,0	111,0	112,0	117,5	130,0
37	116,0	106,0	137,0	108,0	94,0	124,5	109,0	126,0
38	109,5	110,0	139,0	104,0	97,0	114,0	112,0	133,0

Tabelle 15

Erster Teil – Patient 1 bis 38

Pat.	Modell			FRS				
	OK	UK	Inter- inzisal	konv OK	konv UK	neu OK	neu UK	Inter- inzisal
39	111,0	98,0	151,0	101,0	79,0	123,0	101,0	136,0
40	109,5	113,0	137,0	102,0	103,0	118,0	112,0	129,0
41	111,0	118,0	129,5	99,5	104,0	115,0	119,0	125,5
42	110,0	102,0	148,0	96,0	95,0	118,0	100,0	141,5
43	107,0	122,5	130,0	87,5	97,0	109,0	116,5	134,0
44	110,0	115,5	134,0	98,5	94,0	120,0	106,0	133,0
45	113,0	108,0	139,0	101,5	98,0	120,0	108,0	131,0
46	107,5	115,0	137,0	96,5	93,0	110,5	114,0	135,0
47	124,0	109,0	127,0	114,5	102,0	134,5	111,0	114,0
48	109,5	93,5	154,0	93,0	81,0	111,5	95,0	153,0
49	116,0	115,0	128,0	97,5	99,0	118,0	115,0	126,5
50	116,0	122,0	121,0	103,0	109,0	122,0	121,5	116,0
51	117,0	110,5	131,0	111,0	95,0	122,0	114,5	123,0
52	113,0	112,0	135,0	114,0	97,5	129,0	105,0	126,0
53	112,0	109,5	137,0	111,5	100,0	119,0	110,0	131,5
54	118,5	113,0	128,0	105,0	96,0	120,0	110,0	130,0
55	115,0	105,0	140,0	100,5	99,0	115,5	104,0	141,0
56	128,0	94,0	138,0	110,5	81,0	131,5	96,0	132,0
57	107,5	115,0	136,0	107,0	111,0	117,0	120,0	122,0
58	117,5	118,0	126,0	112,0	105,0	122,0	122,0	116,0
59	123,5	114,0	122,0	112,0	96,0	131,0	114,0	114,0
60	111,5	103,0	146,0	107,0	96,5	124,5	102,5	132,0
61	120,0	112,0	126,0	104,5	112,0	119,5	123,0	116,0
62	116,0	117,5	126,0	120,0	100,5	133,0	116,0	110,0
63	103,0	111,0	145,0	98,0	101,0	115,0	115,0	129,0
64	116,0	107,0	136,0	104,5	100,0	125,0	112,0	122,5
65	121,0	109,0	130,0	104,0	102,0	121,0	110,0	128,5
66	108,0	109,0	142,0	94,0	99,5	115,0	108,0	136,0
67	120,0	108,0	132,0	116,0	93,0	137,0	101,0	122,0
68	127,5	105,0	127,0	114,0	92,0	138,0	108,0	113,0
69	121,0	106,0	131,5	117,0	92,0	127,0	108,5	124,0
70	117,5	108,0	133,0	107,5	96,0	122,5	106,0	131,0
71	120,5	106,0	133,0	97,0	101,0	126,0	109,0	125,0
72	108,0	111,0	140,0	89,0	101,0	113,0	111,5	135,0
73	112,0	103,5	143,5	99,5	94,0	121,0	105,0	134,0
74	112,5	113,0	133,0	99,0	110,0	116,0	115,0	128,5
75	115,0	112,0	132,0	99,0	96,0	123,0	113,0	123,0

Tabelle 16

Zweiter Teil – Patient 39 bis 75

7.4 Anlage D: Auswertung nach Untergruppen

		Regressionsgleichung	RMSE [°]
Angle	I	FRSkonvOK = 24,191 + 0,69198 ModOK	5,84
	II	FRSkonvOK = 30,883 + 0,62379 ModOK	5,21
	III	FRSkonvOK = 19,2594 + 0,73604 ModOK	4,56
Overjet	1	FRSkonvOK = 15,0455 + 0,77785 ModOK	5,95
	2	FRSkonvOK = 40,745 + 0,5474 ModOK	5,01
	3	FRSkonvOK = -4,803 + 0,91932 ModOK	5,39
Overbite	1	FRSkonvOK = 4,1776 + 0,86002 ModOK	5,22
	2	FRSkonvOK = 39,64667 + 0,56011 ModOK	6,02
	3	FRSkonvOK = 39,2836 + 0,55404 ModOK	5,34
ZM	OK	FRSkonvOK = 21,9327 + 0,71223 ModOK	5,00
	UK	FRSkonvOK = 26,4005 + 0,67466 ModOK	5,66
Skel. Klasse	1	FRSkonvOK = 31,8822 + 0,62331 ModOK	4,25
	2	FRSkonvOK = 17,8323 + 0,71239 ModOK	5,03
	3	FRSkonvOK = 33,0848 + 0,63128 ModOK	5,40
WTM	h	FRSkonvOK = 22,1075 + 0,72588 ModOK	5,21
	n	FRSkonvOK = -48,91 + 1,34122 ModOK	6,64
	v	FRSkonvOK = 24,2074 + 0,67035 ModOK	4,54
Wits	1	FRSkonvOK = 42,8239 + 0,54974 ModOK	5,28
	2	FRSkonvOK = 4,72277 + 0,84962 ModOK	4,37
	3	FRSkonvOK = 26,0382 + 0,67684 ModOK	5,81

Tabelle 17

Oberkieferfrontzahninklination – Regressionsgleichung und Standardabweichung Messreihe „FRSkonv / Modell“ nach Untergruppen.

		Regressionsgleichung	RMSE [°]
Angle	I	$FRSkonvUK = 7,69213 + 0,81127 \text{ ModUK}$	5,30
	II	$FRSkonvUK = 40,9331 + 0,53276 \text{ ModUK}$	4,51
	III	$FRSkonvUK = 1,70975 + 0,85879 \text{ ModUK}$	6,04
Overjet	1	$FRSkonvUK = 3,43077 + 0,84163 \text{ ModUK}$	5,91
	2	$FRSkonvUK = 12,9183 + 0,77626 \text{ ModUK}$	4,88
	3	$FRSkonvUK = 21,7727 + 0,66741 \text{ ModUK}$	5,26
Overbite	1	$FRSkonvUK = 2,6528 + 0,84702 \text{ ModUK}$	5,85
	2	$FRSkonvUK = 10,13052 + 0,78091 \text{ ModUK}$	4,77
	3	$FRSkonvUK = 1,36785 + 0,89169 \text{ ModUK}$	4,74
ZM	OK	$FRSkonvUK = 24,5274 + 0,65619 \text{ ModUK}$	5,70
	UK	$FRSkonvUK = 0,76939 + 0,87596 \text{ ModUK}$	4,92
Skel. Klasse	1	$FRSkonvUK = 19,2255 + 0,72243 \text{ ModUK}$	4,81
	2	$FRSkonvUK = 72,8347 + 0,25516 \text{ ModUK}$	5,57
	3	$FRSkonvUK = -8,7451 + 0,9471 \text{ ModUK}$	3,99
WTM	h	$FRSkonvUK = 25,8922 + 0,67502 \text{ ModUK}$	4,61
	n	$FRSkonvUK = -13,686 + 0,9947 \text{ ModUK}$	5,20
	v	$FRSkonvUK = 21,3909 + 0,66005 \text{ ModUK}$	4,25
Wits	1	$FRSkonvUK = 23,9972 + 0,69774 \text{ ModUK}$	4,57
	2	$FRSkonvUK = 78,5916 + 0,20794 \text{ ModUK}$	5,74
	3	$FRSkonvUK = -7,9838 + 0,95139 \text{ ModUK}$	4,32

Tabelle 18

Unterkieferfrontzahninkliniation – Regressionsgleichung und Standardabweichung Messreihe „FRSkonv / Modell“ nach Untergruppen.

		Regressionsgleichung	RMSE [°]
Angle	I	$FRS_{neuOK} = 24,9654 + 0,84216 \text{ ModOK}$	4,14
	II	$FRS_{neuOK} = 53,5142 + 0,57466 \text{ ModOK}$	3,82
	III	$FRS_{neuOK} = -15,239 + 1,18325 \text{ ModOK}$	4,66
Overjet	1	$FRS_{neuOK} = 27,0897 + 0,82581 \text{ ModOK}$	4,39
	2	$FRS_{neuOK} = 18,357 + 0,89649 \text{ ModOK}$	4,16
	3	$FRS_{neuOK} = 49,192 + 0,60413 \text{ ModOK}$	4,12
Overbite	1	$FRS_{neuOK} = -12,0299 + 1,15082 \text{ ModOK}$	4,40
	2	$FRS_{neuOK} = 49,96763 + 0,62733 \text{ ModOK}$	3,77
	3	$FRS_{neuOK} = 55,17848 + 0,56749 \text{ ModOK}$	4,08
ZM	OK	$FRS_{neuOK} = 17,3259 + 0,90656 \text{ ModOK}$	3,64
	UK	$FRS_{neuOK} = 22,6157 + 0,86082 \text{ ModOK}$	4,52
Skel. Klasse	1	$FRS_{neuOK} = 24,229 + 0,85003 \text{ ModOK}$	2,96
	2	$FRS_{neuOK} = 22,138 + 0,83088 \text{ ModOK}$	3,14
	3	$FRS_{neuOK} = 35,9134 + 0,758 \text{ ModOK}$	4,44
WTM	h	$FRS_{neuOK} = 34,6691 + 0,75165 \text{ ModOK}$	4,80
	n	$FRS_{neuOK} = 18,9971 + 0,88453 \text{ ModOK}$	3,05
	v	$FRS_{neuOK} = 20,5508 + 0,88073 \text{ ModOK}$	3,85
Wits	1	$FRS_{neuOK} = 65,9306 + 0,47587 \text{ ModOK}$	0,31
	2	$FRS_{neuOK} = 15,0131 + 0,89857 \text{ ModOK}$	3,14
	3	$FRS_{neuOK} = 30,8986 + 0,79821 \text{ ModOK}$	4,20

Tabelle 19

Oberkieferfrontzahninkliniation – Regressionsgleichung und Standardabweichung Messreihe „FRSneu / Modell“ nach Untergruppen.

		Regressionsgleichung	RMSE [°]
Angle	I	$FRS_{neuUK} = 18,1626 + 0,83658 \text{ ModUK}$	3,48
	II	$FRS_{neuUK} = 25,8053 + 0,77742 \text{ ModUK}$	3,03
	III	$FRS_{neuUK} = 10,9526 + 0,90252 \text{ ModUK}$	4,72
Overjet	1	$FRS_{neuUK} = 6,98568 + 0,93885 \text{ ModUK}$	4,31
	2	$FRS_{neuUK} = 17,1026 + 0,84814 \text{ ModUK}$	3,24
	3	$FRS_{neuUK} = 42,1789 + 0,6212 \text{ ModUK}$	2,81
Overbite	1	$FRS_{neuUK} = 12,6019 + 0,8898 \text{ ModUK}$	3,51
	2	$FRS_{neuUK} = 27,38346 + 0,75869 \text{ ModUK}$	3,59
	3	$FRS_{neuUK} = 10,87429 + 0,90231 \text{ ModUK}$	3,83
ZM	OK	$FRS_{neuUK} = 24,9083 + 0,77294 \text{ ModUK}$	4,19
	UK	$FRS_{neuUK} = 7,81095 + 0,93159 \text{ ModUK}$	3,04
Skel. Klasse	1	$FRS_{neuUK} = 3,42876 + 0,97334 \text{ ModUK}$	2,71
	2	$FRS_{neuUK} = 51,6177 + 0,55314 \text{ ModUK}$	3,36
	3	$FRS_{neuUK} = 17,0626 + 0,83989 \text{ ModUK}$	3,79
WTM	h	$FRS_{neuUK} = 5,72968 + 0,94926 \text{ ModUK}$	3,77
	n	$FRS_{neuUK} = -9,4707 + 1,09213 \text{ ModUK}$	2,83
	v	$FRS_{neuUK} = 30,3555 + 0,72737 \text{ ModUK}$	3,39
Wits	1	$FRS_{neuUK} = -16,045 + 1,16384 \text{ ModUK}$	2,66
	2	$FRS_{neuUK} = 50,3257 + 0,57203 \text{ ModUK}$	3,26
	3	$FRS_{neuUK} = 20,8603 + 0,80413 \text{ ModUK}$	3,28

Tabelle 20

Unterkieferfrontzahninklination – Regressionsgleichung und Standardabweichung Messreihe „FRSneu / Modell“ nach Untergruppen.

		Regressionsgleichung	RMSE [°]
Angle	I	$FRSOKUK = 1,8275 + 0,93593 \text{ ModOKUK}$	4,07
	II	$FRSOKUK = 33,6757 + 0,70405 \text{ ModOKUK}$	5,56
	III	$FRSOKUK = 19,9797 + 0,80126 \text{ ModOKUK}$	5,30
Overjet	1	$FRSOKUK = 4,97347 + 0,91195 \text{ ModOKUK}$	5,01
	2	$FRSOKUK = 6,01678 + 0,90451 \text{ ModOKUK}$	4,28
	3	$FRSOKUK = 61,0521 + 0,51607 \text{ ModOKUK}$	3,30
Overbite	1	$FRSOKUK = -0,97515 + 0,9614 \text{ ModOKUK}$	4,87
	2	$FRSOKUK = 21,3513 + 0,78176 \text{ ModOKUK}$	4,63
	3	$FRSOKUK = 17,2557 + 0,82841 \text{ ModOKUK}$	4,18
ZM	OK	$FRSOKUK = 23,0745 + 0,7808 \text{ ModOKUK}$	5,14
	UK	$FRSOKUK = 9,8683 + 0,87706 \text{ ModOKUK}$	4,48
Skel. Klasse	1	$FRSOKUK = 15,8927 + 0,82556 \text{ ModOKUK}$	3,88
	2	$FRSOKUK = 39,3423 + 0,67284 \text{ ModOKUK}$	4,44
	3	$FRSOKUK = -12,314 + 1,03542 \text{ ModOKUK}$	4,42
WTM	h	$FRSOKUK = 18,2446 + 0,81675 \text{ ModOKUK}$	4,66
	n	$FRSOKUK = -28,666 + 1,16281 \text{ ModOKUK}$	2,55
	v	$FRSOKUK = 23,0356 + 0,77444 \text{ ModOKUK}$	4,45
Wits	1	$FRSOKUK = 33,5231 + 0,67094 \text{ ModOKUK}$	3,60
	2	$FRSOKUK = 24,5597 + 0,77819 \text{ ModOKUK}$	4,83
	3	$FRSOKUK = -3,9676 + 0,97626 \text{ ModOKUK}$	4,15

Tabelle 21

Interinzisalwinkel – Regressionsgleichung und Standardabweichung der Messreihe „FRS / Modell“ nach Untergruppen.

Danksagung

Bei Herrn Professor Dr. Dr. G. Göz bedanke ich mich für die Überlassung des Themas.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. Matthias Kalwitzki für die in allen Phasen der Arbeit ausgesprochen gute Betreuung und seine umfangreiche Unterstützung bei Problemen aller Art.

Frau Dr. Tina Herberts danke ich für die Hilfe bei statistischen Fragen, die Unterstützung bei der Erarbeitung eines statistischen Konzepts und der Datenauswertung.

Desweiteren danke ich allen Mitarbeitern der Poliklinik für Kieferorthopädie, insbesondere Frau Clarissa Walker und Herrn Spiridon Moumouris für ihre Hilfsbereitschaft.

Lebenslauf

Geburtsdatum:	8. Januar 1979	
Geburtsort:	Hannover	
Schulbildung:	1985 – 1989	Grundschule Hemmingen
	1989 – 1991	Orientierungsstufe Carl Friedrich Gauß Schule Hemmingen
	1991 – 1998	Gymnasium Carl Friedrich Gauß Schule Hemmingen
	25.06.1998	Abitur Carl Friedrich Gauß Schule Hemmingen
Zivildienst:	1998 – 1999	DRK-Sozialstation Hemmingen
Praktika:	1999 – 2000	Zahntechnische Labore Hannover
Studium:	2000 – 2005	Studium der Zahnheilkunde Eberhard Karls Universität Tübingen
	29.11.2005	Zahnmedizinisches Staatsexamen Eberhard Karls Universität Tübingen