

Aus der Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

Tübingen

Abteilung Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und

Gesichtschirurgie

**Prospektive Studie über dentale und skelettale
Veränderungen durch
mediane Unterkieferdistraction**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde

der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen

vorgelegt von

Eisenhart, Gildo

2020

Dekan: Professor Dr. I.B. Autenrieth

1. Berichterstatter: Universitätsprofessor Dr. Dr. S. Reinert

2. Berichterstatter: Universitätsprofessor Dr. B. Koos

Tag der Disputation: 12.12.2019

1	Einleitung	1
1.1	Fragestellung	6
2	Material und Methoden	7
2.1	Material	7
2.1.1	Patienten und Verteilungen	7
2.1.2	Beschreibung des medianen Unterkieferdistraktors	9
2.2	Methoden	10
2.2.1	Behandlungsablauf	10
2.2.2	Mediane Unterkieferdistraktion	11
2.2.3	Modellanalyse	13
2.2.4	Röntgenologische Analyse	16
2.2.4.1	Analyse der Schädelübersichtsaufnahmen (Schädel p.-a.)	16
2.2.4.2	Analyse der Fernröntgenseitenbilder (FRS)	17
2.2.5	Parodontale Untersuchung	18
2.2.6	Statistische Auswertung	18
3	Ergebnisse	20
3.1	Einzelergebnisse der Modellanalyse	20
3.1.1	Vordere Zahnbogenbreite (VZB)	21
3.1.2	Hintere Zahnbogenbreite (HZB)	24
3.1.3	Vordere Zahnbogenlänge (VZL)	27
3.1.4	Eckzahnabstand (EZA)	30
3.1.5	Medianes Diastema (DM)	33
3.1.6	Distraktionsausmaß (Dmass)	36
3.2	Inzisalwinkel Fernröntgenseitenbild (1MeGo)	37
3.3	Parodontale Untersuchungsergebnisse	39
3.3.1	Taschentiefen	39
3.3.2	Rezessionen	40

4	Diskussion	41
4.1	Diskussion des Materials	41
4.2	Diskussion der Methodik	44
4.2.1	Modellanalyse	44
4.2.2	Röntgenologische Analyse	48
4.2.3	Parodontale Untersuchung	50
4.2.4	Statistische Auswertung	51
4.3	Diskussion der Einzelergebnisse	52
4.3.1	Vordere Zahnbogenbreite (VZB)	54
4.3.2	Hintere Zahnbogenbreite (HZB)	54
4.3.3	Vordere Zahnbogenlänge (VZL)	55
4.3.4	Eckzahnabstand (EZA)	56
4.3.5	Medianes Diastema (DM)	56
4.3.6	Protrusion, Inklination (1MeGo)	57
4.3.7	Parodontale Untersuchung	57
4.4	Schlussfolgerung	59
5	Zusammenfassung	60
6	Literaturverzeichnis	62
7	Erklärung zum Eigenanteil der Dissertationsschrift	67
8	Veröffentlichung	68
9	Danksagung	69

1 Einleitung

Das Wachstum des Gesichtsschädels vom Säugling bis zum Erwachsenen unterliegt den Einflüssen von Vererbung und Umwelt und ist sehr kompliziert. Genetische Faktoren, die Nichtanlage oder Durchbruchstörungen von Zähnen, vorzeitiger Zahnverlust sowie Habits können den normalen Ablauf stören und zu einer unharmonischen Entwicklung führen.

Beim frontalen Engstand ist der im Zahnbogen zur Verfügung stehende Raum zu klein, um alle Zähne harmonisch unterzubringen. Es kommt zu Fehlstellungen von Zähnen. Wenn die bleibenden Zähne in ihren Breiten nicht der Kiefergröße entsprechen, führt dies zu einem Platzmangel. Dadurch kommt es zu Drehungen, Kippungen, Staffelstellungen oder Retentionen der Zähne [Göz 1992, Schwarze 2000].

Das Milchgebiss besteht aus 20 Zähnen, die normalerweise im Alter vom 6. bis zum 30. Lebensmonat durchbrechen. Die Milchzähne können sich bereits bei ihrem Durchbruch in gelockerter Form einstellen, so dass in der Front Diastemata entstehen. Ein Durchtritt der Milchzähne ist zunächst aber auch lückenlos möglich und eine Lückenbildung kann später erfolgen. Die Ausprägung der Lücken ist somit vom Größenwachstum des Kiefers abhängig.

Im 6. Lebensjahr beginnt der Wechsel von Milchzähnen zu bleibenden Zähnen. Mit ca. 8 Jahren sollten sich die breiteren bleibenden Schneidezähne eingestellt haben. Das Platzproblem im Frontzahnggebiet, bei dem sich auf einem vorbestimmten Raum zwischen den beiden Milcheckzähnen die breiteren bleibenden Schneidezähne platzieren müssen, wird bei etwa der Hälfte der Milchgebisse durch das Vorhandensein von physiologischen Zahnlücken gelöst. Bei der Nichtanlage von Zähnen entsteht an der betreffenden Stelle im Zahnbogen eine Wachstumshemmung [Tränkmann 2000].

Auch die Achsenrichtung der bleibenden Schneidezähne gegenüber den Milchvorgängern ändert sich. Dies wird durch einen größeren Winkel zwischen Zahnachsen und Kieferbasen deutlich. Die bleibenden Zähne stehen protrudierter.

Darüber hinaus entsteht aufgrund des Knochenwachstums in transversaler Richtung eine Vergrößerung des Abstandes zwischen den Eckzähnen von 3-4 mm.

Bei ungenügender Kieferentwicklung, bei falscher Durchbruchrichtung oder auch bei einem Größenmissverhältnis zwischen Milch- und bleibenden Schneidezähnen kann eine Durchbruchstörung in Form einer unterminierenden Resorption eintreten, so dass es zum Einbruch der Stützzone und damit zum Platzmangel für die bleibenden Eckzähne kommt [Schwab und Funk 2006]. Zusammenfassend ergibt sich der Platzüberschuss für die bleibenden Frontzähne also durch die geringere Milchzahngröße, deren lückige Stellung, die Achsenrichtung und das Wachstum des Kiefers. Am Ende des Zahnwechsels besteht das vollständige bleibende Gebiß des Erwachsenen aus 32 Zähnen, die auf Grund ihrer anatomischen Form eine bestmögliche Okklusion ergeben [Dausch-Neumann 1987].

Für die Behandlung des frontalen Engstandes bei Kindern stehen verschiedene kieferorthopädische Therapien zur Verfügung. Mit zunehmenden Patientenalter müssen zudem chirurgische Maßnahmen ergriffen werden.

Die konservative Behandlung im Kindesalter kann zum einen die Therapie mit Schilden beinhalten. Hier wird versucht, schädigenden Einfluss abzuschirmen und günstige Wachstumseinflüsse wirken zu lassen. Mit einer Vorhofplatte werden Habits wie Daumenlutschen und Mundatmung verhindert. Auch Funktionsregler leiten eine günstige Entwicklungstendenz ein. Beim interdentalen Slicen des Zahnschmelzes werden bei leichtem bis mittleren Grad des Engstandes am Kontaktpunkt ca. 0,5mm pro Seite entfernt [Göz 1992]. Besteht ein ausgeprägter Platzmangel, kann dieser auch durch die Extraktion von Zähnen- meist der ersten Prämolaren- behoben werden. Die Entfernung von Zähnen ist die älteste Therapie zur Korrektur von Zahnstellungsanomalien [Dausch-Neumann 1987, Göz 2002]. Die dadurch entstandenen Lücken werden heute vornehmlich durch Auflösen des Engstandes, in manchen Fällen auch durch zusätzliche Retrusion der Unterkieferfrontzähne geschlossen. Dadurch reduziert sich wiederum die Unterlippenprominenz. Ein weiterer Nachteil ist ein konkaves Gesichtprofil.

Die kieferorthopädische Therapie eines transversalen Defizits im Oberkiefer kann bis zur Wechselgebissphase auch mit Dehnplatten erfolgen. Das Eingliedern einer Hyrax-Schraube zur forcierten Gaumennahterweiterung stellt in erster Linie bei jungen Patienten zwischen 10 bis 13 Jahren die kieferorthopädische Therapie der Wahl dar.

Vom 14. bis 16. Lebensjahr verknöchern die Suturen des Oberkiefers, was eine Dehnung zunehmend erschwert. Ab diesem Zeitpunkt ist eine Erweiterung nur durch eine transversale Oberkieferdistraktion möglich. Bell und Epker beschreiben erstmals 1976 die operative Möglichkeit der transversalen Oberkieferdehnung mittels zahnetragener Apparaturen. Nach operativer Mobilisation der beiden Oberkieferhälften werden diese durch eine Dehnschraube auseinander getrieben [Timms 2000, Sander 2011]. Auch bei Erwachsenen mit vorgeschädigtem Zahnhalteapparat oder reduziertem Zahnbestand kann mit einem knochengetragenen Distraktor eine Verbreiterung des Oberkiefers erreicht werden [Mommaerts 1999].

Bei transversalen Dehnungen im Unterkiefer sind die Ergebnisse aufgrund der geringen Weitung jedoch nicht befriedigend. Bisher beruhen die kieferorthopädischen Behandlungsstrategien auf einer Konstanz und Unveränderbarkeit des Unterkiefer-Eckzahnabstandes [Kahl-Nieke 2002]. Nach dem Durchbruch der unteren Eckzähne werden nach kieferorthopädischer Weitung regelmäßig Rezidive beobachtet [Profitt und Ackerman 1994, Profitt und White 1991, Wehrbein et al. 1996], die nur durch eine dauerhafte Eingliederung von Retainern begrenzt werden können. Eine bleibende Änderung der Unterkiefer-Eckzahndistanz scheint mit der neuen Technik der medianen Unterkieferdistraktion jetzt möglich!

Indikationen für die mediane Unterkieferdistraktion sind der schmale Unterkiefer, die Unterkiefer-Frontzahnprotrusion und frontale Zahnengstände. Bei schweren Formen des frontalen Unterkiefer Engstandes wird zur transversalen Erweiterung zunächst eine Distraktion durchgeführt. Ein Jahr später kann durch eine Umstellungsosteotomie die optimale Einstellung von Ober- und Unterkiefer erfolgen. Vor, während und nach einer skelettalen Distraktionsosteogenese sind meistens kieferorthopädische Behandlungsmaßnahmen indiziert [Grayson und Santiago 1999, Hanson und Melugin 1999, Fuhrmann 2002].

Die wissenschaftlichen und theoretischen Grundlagen der Distraction werden in der MKG-Chirurgie ab dem Beginn des 20. Jahrhunderts diskutiert. Die erste Unterkieferdistraction veröffentlicht Wassmund 1935 (**Abb. 1**). Er beschreibt das Verfahren Rosenthals von 1927, der in einer Operation vom Mundvorhof aus den Unterkiefer freilegte. Nach dem Anlegen von mehreren Bohrlöchern wurde mit schmalen Meißeln eine Fraktur des Alveolarfortsatzes beidseits in der Prämolarenregion sowie eine Durchtrennung des Kinnrandes in der Mittellinie durchgeführt. Die ersten Prämolaren wurden vorher entfernt, weil der Knochen damals noch nicht zwischen den Zähnen durchtrennt werden konnte. Nach Vernähen der Schleimhaut wurde eine zahnverankerte Apparatur befestigt. Damit wurde innerhalb eines Monats nach dem Eingriff durch allmähliches Drehen der Distraktoren das Unterkiefermittelstück erheblich verlängert. Zwischen zweitem Prämolaren und Eckzahn entstand so eine breite Lücke, die später knöchern verheilte.

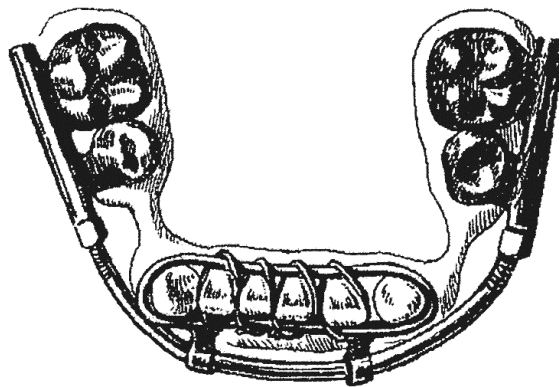


Abb. 1: Aus Wassmund [1935]: Dehnung des Unterkiefermittelstücks mit einer zahnverankerten Apparatur.

70 Jahre nach Rosenthal stellen Guerrero et al. 1997 die erste mediane Unterkieferdistraction vor. Ihre Methode basiert auf fortschreitender Osteodistraction nach vertikaler interdentaler Osteotomie. Bei zehn Patienten mit transversalem Unterkieferdefizit und signifikantem frontalem Engstand führen sie eine mediane Distraction durch. Für das kontinuierliche Weiten des Unterkiefers wurde eine

intraorale, zahnverankerte Vorrichtung oder ein knochenverankerter Distraktor verwendet. Um die Zunge nicht zu stören (**Abb. 2**) wurde die Position der Dehnschraube geändert und auf der bukkalen Seite angeordnet. Nachdem die Segmente distrahiert waren, wurden die Frontzähne mit der Multiband-Technik in den Distractionsspalt bewegt.

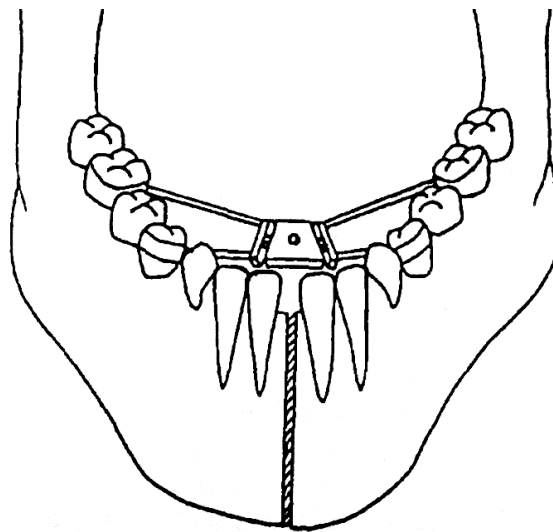


Abb. 2: Aus Guerrero et al. [1997]: Vertikale Osteotomie zwischen den mittleren unteren Schneidezähnen und zahnverankerte Dehnapparatur.

Ab 1998 werden mehrere- auch tierexperimentelle- Studien zur medianen Unterkieferdistraction veröffentlicht. Die Autoren berichten über ihre klinischen Beobachtungen, meist verbunden mit der Vorstellung von Behandlungsfällen [Alkan et al., Bayram et al., Bell et al., Boccaccio et al., Conley et al., Del Santo et al., Guerrero et al., Gunbay et al., Hollis et al., Iseri et al., King et al., Mommaerts et al., Orhan et al., Raoul et al., Seeberger et al.]. Die Entwicklung der Distractionsosteogenese ist in den letzten Jahren außerordentlich schnell verlaufen und hat sich weltweit als neue chirurgische Therapie etabliert. So stehen jetzt verschiedenste Geräte zur vertikalen, sagittalen und transversalen Distraction zur Verfügung, mit denen das Behandlungsziel erreicht werden kann [Wangerin 2000].

Um die individuellen Zahnbewegungen und Positionsänderungen der Kieferhälften zu untersuchen werden jetzt auch ausgewählte Messpunkte digitalisiert [Santler 2000]. Nach Meinung mehrerer Autoren sind weitere Studien notwendig, um die Veränderungen von Zähnen und Knochen nach Distraction genauer bewerten zu können und die Ergebnisse zu quantifizieren. Mit der vorliegenden Studie möchten wir hierzu einen Beitrag leisten.

1.1 Fragestellung

Ziel dieser prospektiven Studie ist es, die Veränderungen des Unterkieferzahnbogens, ausgelöst durch eine mediane Distraction mit begleitender kieferorthopädischer Behandlung zu untersuchen.

Zu drei verschiedenen Zeitpunkten: vor Distraction, am Ende der Distraction und nach kieferorthopädischer Behandlung soll den Fragen nachgegangen werden:

- 1.** In welcher Größenordnung führt das Distractionsausmaß durch Aktivierung des Distraktors zu einer Erweiterung des Zahnbogens?
- 2.** Sind diese Veränderungen anhand der verwendeten Bezugswerte vorhersagbar?
- 3.** Ist postoperativ eine Änderung der Protrusion durch Lückenschluss zu beobachten?
- 4.** Ergeben sich parodontale Veränderungen bei den unteren Frontzähnen?

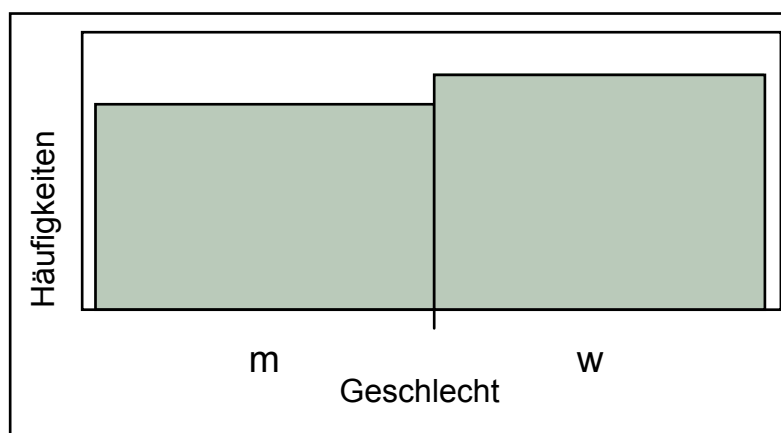
2 Material und Methoden

Aktenzeichen der Ethik-Kommission: 399/2018BO2

2.1 Material

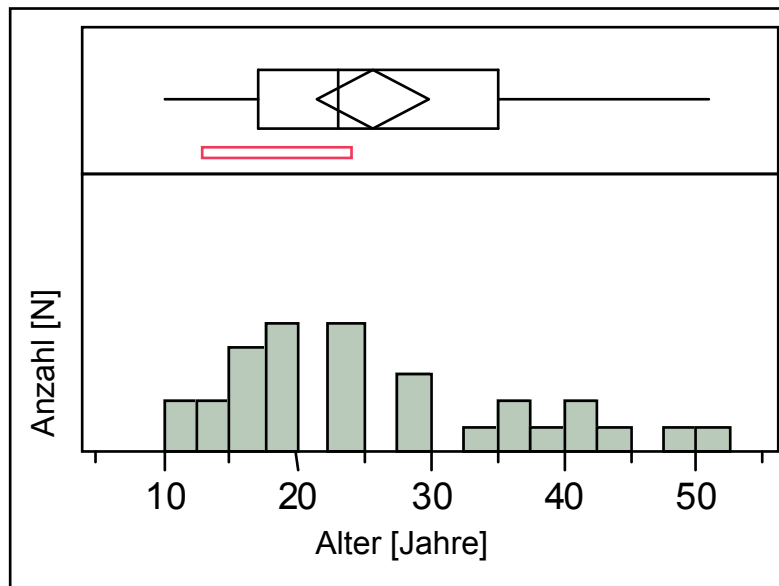
2.1.1 Patienten und Verteilungen

Bei den in die statistische Auswertung eingehenden Patienten handelte es sich um Kinder, Jugendliche und Erwachsene im Alter von 10 bis 51 Jahren. Das Zeitfenster der Operationen erstreckte sich von August 2004 bis April 2008. Die Alters- und Geschlechtsverteilung der Patienten ist in den **Abb. 3** und **4** dargestellt. Der arithmetische Mittelwert lag bei 25,7 Jahren, wobei männliche Patienten bei Operation hier 1,4 Jahre jünger waren. Bei den weiblichen Patienten wurde eine größere Streuung der Altersverteilung beobachtet (**Abb. 5**).



Häufigkeiten		
Klasse	Häufigkeiten	Wahrsch.
m	14	0,47
w	16	0,53
Summe	30	1,00

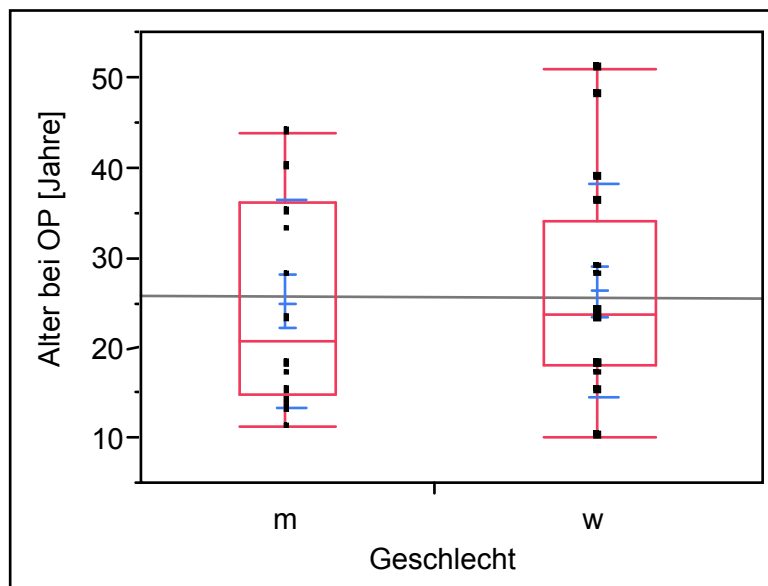
Abb. 3: Säulendiagramm der Geschlechtsverteilung der Patienten, Häufigkeiten.



Verteilungskennzahlen

Mittelwert	25,67
Std.-Abw.	11,43
Std.-Fehler Mittelwert	2,08
95% KI oben Mittelwert	29,93
95% KI unten Mittelwert	21,39
N	30

Abb. 4: Histogramm der Altersverteilung der Patienten bei Operation, Verteilungskennzahlen.



Mittelwerte und Std.-Abweichungen

Stufe	Anzahl	Mittelwert	Std.-Abw.	Std.-Fehler Mittelwert	95% KI unten	95% KI oben
m	14	24,92	11,47	3,06	18,31	31,55
w	16	26,31	11,73	2,93	20,06	32,56

Abb. 5: Einfaktorielle Analyse als Box- und Whiskerdiagramm von Alter bei Operation nach Geschlecht, Mittelwerte.

2.1.2 Beschreibung des medianen Unterkieferdistraktors

Der mediane Unterkieferdistraktor (Medicon eG, Gänsäcker 15, 78532 Tuttlingen, **(Abb. 6)**) kann zur transversalen Zahnbogenerweiterung des Unterkiefers bis 10 mm eingesetzt werden. Er ist aus Titan gefräst und besteht aus einem geschlossenen Distraktionszylinder mit einer L-förmigen Miniosteosyntheseplatte und einer durch Schraubendrehung verlängerbaren Distraktionsstange mit einer weiteren L-förmigen Miniosteosyntheseplatte. Diese Miniosteosyntheseplatten dienen zur Distraktorfixierung beidseits lateral der vertikalen, interdentalen, medianen Unterkieferosteotomie. Durch Linksdrehung der Schraube wird der Distraktor aktiviert. Eine vollständige Umdrehung entspricht einer Distraktionsstrecke von 0,4 mm. Im jugendlichen Alter sollte die Distraktionsstrecke 3 x 0,4 mm betragen, im Erwachsenenalter eher 2 x 0,4 mm täglich.

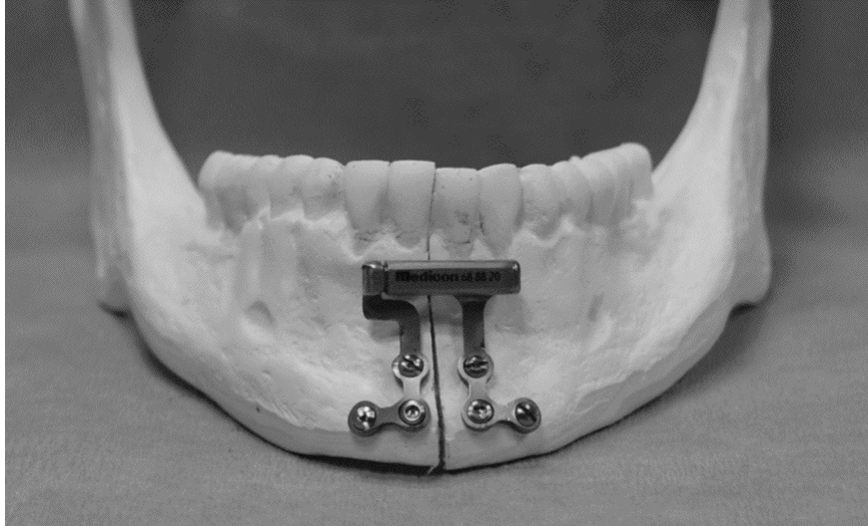


Abb. 6: Medianer Unterkieferdistraktor (Medicon eG) mit vorgebogenen Miniosteosyntheseplatten, die an einem zwischen den mittleren Schneidezähnen sagittal durchtrennten Unterkiefermodell fixiert sind.

2.2 Methoden

2.2.1 Behandlungsablauf

Die Distraktionsstrecke sollte dem kieferorthopädisch errechneten Platzbedarf zur Auflösung des Engstandes entsprechen bzw. die Zahnbogendiskrepanz zum Oberkiefer ausgleichen. Ziel der Distraktion ist ein vergrößertes Knochenangebot. Um eine unkontrollierte Wanderung der mittleren Schneidezähne in den Distraktionskallus zu verhindern, werden sie für etwa 8 Wochen mit den seitlichen Schneidezähnen und Eckzähnen verblockt. Nach Distraktion und Erreichen der geplanten Distraktionsstrecke, sowie knöcherner Konsolidierung des medianen Distraktionsspalts, kann die Verblockung entfernt werden. Die bisher eng stehenden Zähne werden dann langsam in den Distraktionsspalt hineinbewegt und der Zahnbogen kieferorthopädisch ausgeformt.

Die in die Analyse eingehenden Modelle und Röntgenaufnahmen wurden in einem Zeitraum von 2 Monaten vor und bis zu 3 Jahren und 6 Monaten nach abgeschlossener Distraction angefertigt. Um die Veränderungen durch Distraction beurteilen zu können, wurden bei den Messungen als Parameter Strecken und Winkel gewählt.

2.2.2 Mediane Unterkieferdistraction

Die Operation zur Applikation des Distraktors wird in Allgemeinnarkose mit transnasaler Intubation durchgeführt. Zusätzlich erfolgt die lokale Injektion von Lokalanästhetika mit Adrenalinzusatz im UK Vestibulum zur örtlichen Betäubung und Reduktion der Blutung. Nach einem paramarginalen Schnitt im Vestibulum Regio 33-43, unter Bewahrung des Parodonts, wird die Mentalismuskulatur vom anterioren Unterkiefer und vom Kinn abpräpariert. Es folgt die temporäre Fixation des Distraktors. Die Osteosynthesplatten des Distraktors werden unter Beachtung der UK Mittellinie an die Knochenoberfläche angebogen und temporär mit bicortikalen Miniosteosyntheseschrauben (Durchmesser 2mm) fixiert. Es wird darauf geachtet, dass die marginale Gingiva im Bereich des Distractionszylinders nicht komprimiert wird und der Distractionszylinder oberhalb der mukogingivalen Grenze zu liegen kommt.

Nach Entfernung des Distraktors wird eine vertikale Osteotomie des Unterkiefers mit der oszillierenden Säge durchgeführt, im Bereich des Alveolarfortsatzes mit flexiblen Spiralbohrern zur Schonung der Wurzeln der mittleren Schneidezähne. Für die Vervollständigung der Osteotomie kommen Meissel zum Einsatz. Anschließend erfolgt das Prüfen der Mobilität der beiden völlig voneinander getrennten Unterkiefer-Hälften, da bei jungen Patienten die Gefahr einer Grünholzfraktur besteht. Nach endgültiger Applikation des Distraktors und Fixation mit bicortikalen Minischrauben, die auch die Innenkortikalis durchdringen, wird ein mehrschichtiger Wundverschluß mit Muskel- sowie Schleimhautnaht durchgeführt, die Funktion durch Probedistraction getestet und die Narkose beendet.



Abb. 7: Operations-Situs mit Ankeren der Mittellinie, Durchtrennung des Unterkiefers und Fixierung eines medianen Unterkieferdistraktors.

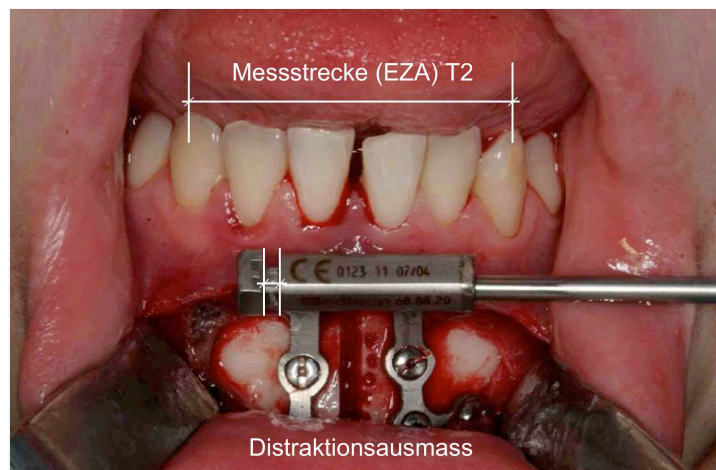


Abb. 8: Aktivierung des Distraktors aus Abbildung 7 zur Erweiterung des Unterkiefers.

2.2.3 Modellanalyse

Die Gipsmodelle der vorliegenden Studie wurden nach Alginat-Abformungen der Kiefer mit Superhartgips (α -Hemihydrat, Klasse IV) im zahntechnischen Labor des Marienhospitals Stuttgart hergestellt. Zu Beginn der Messungen wurden die Patientendaten (Alter, Geschlecht), das Operationsdatum und die Indikation zur Distractionstherapie erfasst. Die Gipsmodelle der jeweiligen Patienten wurden folgenden Zeitpunkten zugeordnet:

T1	vor Operation
T2	nach Distraction mit maximal erweitertem Zahnbogen
T3	lückenfreier, kieferorthopädisch ausgeformter Zahnbogen

Bei der Vermessung der Unterkiefer-Modelle wurden die Bezugswerte nach Weise [Weise 1992, Sander 2011] für das bleibende Gebiss zugrunde gelegt (**Abb. 9, 10, 11**):

Vordere Zahnbogenbreite (VZB)	vestibulärer Kontaktpunkt zwischen den 1. und 2. Prämolaren
Hintere Zahnbogenbreite (HZB)	distobukkale Höckerspitze des 1. Molaren
Vordere Zahnbogenlänge (VZL)	Schnittpunkt der Senkrechten auf die Verbindungslinie der Messpunkte der vorderen Zahnbogenbreite in der Raphe-Median-Ebene bis zur Labialfläche des am weitesten ventral stehenden Schneidezahns

Zudem wurden folgende Bezugswerte zugrunde gelegt:

Eckzahnabstand (EZA)	Abstand der Höckerspitzen der Eckzähne
Diastema mediale (DM)	Abstand der Mesialflächen der mittleren Schneidezähne
Distraktionsausmaß	Maß am aktivierten Distraktor zwischen Aussen- und Innenhülse

Die Messungen wurden manuell mit dem diagnostischen Besteck nach Korkhaus durchgeführt. Dabei wurden die Messpunkte mit den Zirkelspitzen aufgenommen und durch Anlegen eines Stahllineals mit Halbmillimeterteilung gemessen. Die Messung der vorderen Zahnbogenlänge erfolgte durch Auflegen eines orthodontischen Kreuzes. Um die Voraussetzungen bei den Messungen möglichst konstant zu halten, wurden sämtliche Messungen der vorliegenden Studie vom Verfasser durchgeführt. Verwendet wurden zudem immer die gleichen Messinstrumente. Zur Prüfung der Zuverlässigkeit der Methode wurden 30 Modelle von einem erfahrenen MKG-Chirurgen ein zweites Mal vermessen und mit den Ergebnissen des Verfassers verglichen.

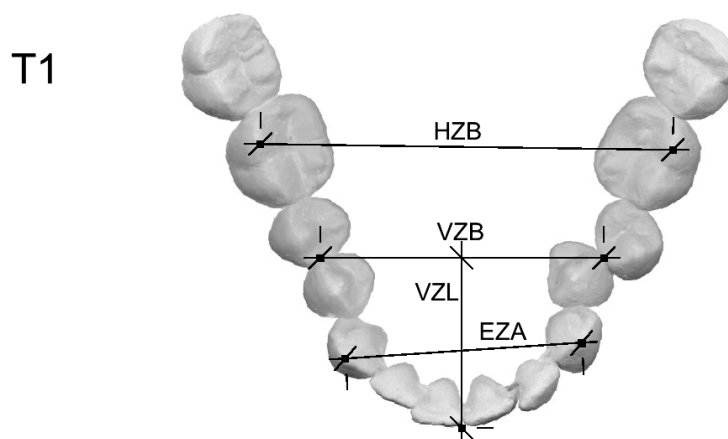


Abb. 9: Behandlungsbeispiel, Darstellung der Messstrecken zum Zeitpunkt T1

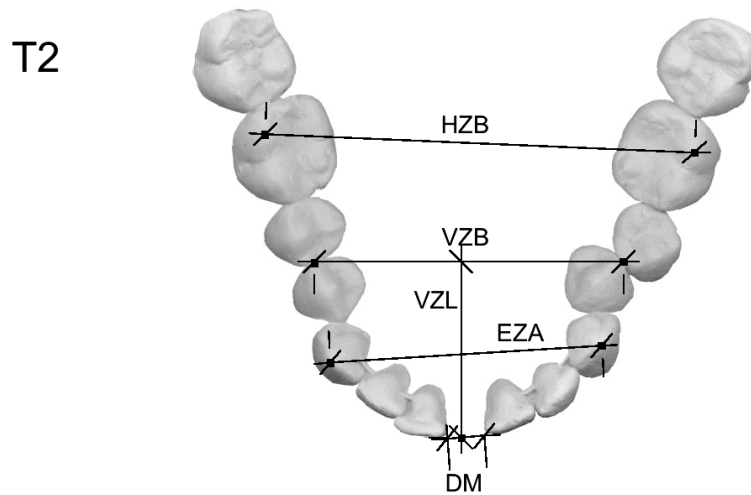


Abb. 10: Behandlungsbeispiel, Darstellung der Messstrecken zum Zeitpunkt T2

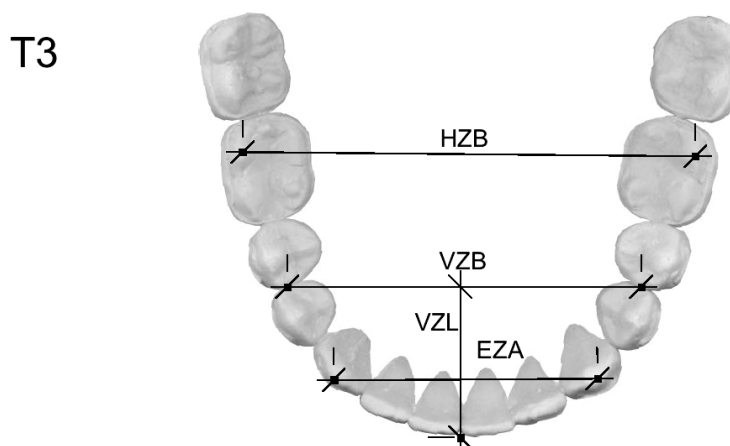


Abb. 11: Behandlungsbeispiel, Darstellung der Messstrecken zum Zeitpunkt T3

2.2.4 Röntgenologische Analyse

2.2.4.1 Analyse der Schädelübersichtsaufnahmen (Schädel p.-a.)

Für die Analyse des Distraktionsausmaßes wurden Schädelübersichtsaufnahmen in frontaler Projektion (posterior-anterior) ausgewertet. Die Aufnahmen erfolgten mit dem digitalen Röntgengerät Sirona Orthophos Plus Ceph (Sirona Dental Systems, Fabrikstraße 31, 64625 Bensheim) des Marienhospitals Stuttgart. Der Film-Fokus-Abstand betrug 2m, die Strahlzeit 4,7 - 9,4s bei einer effektiven Belichtungszeit von ca. 270ms. Gemessen wurde zum Zeitpunkt T2 bei jeweils maximaler Distraktion das Maß zwischen Innen- und Außenhülse des Distraktors sowie zum Größenvergleich das feststehende Maß des Distraktionszylinders (**Abb. 12**). Hierfür stand die Software J-Vision 3.3.13 (Tiani“Spirit“ GmbH, Fasangasse 12, A-2102 Bisamberg) zur Verfügung, wobei die im Programm für die Streckenmessung vorgesehenen Werkzeuge verwendet wurden. War in den Modellen der Distraktor mit abgeformt, wurde zudem das Distraktionsmaß direkt am Modell ermittelt. Sämtliche Messungen wurden vom Verfasser durchgeführt.

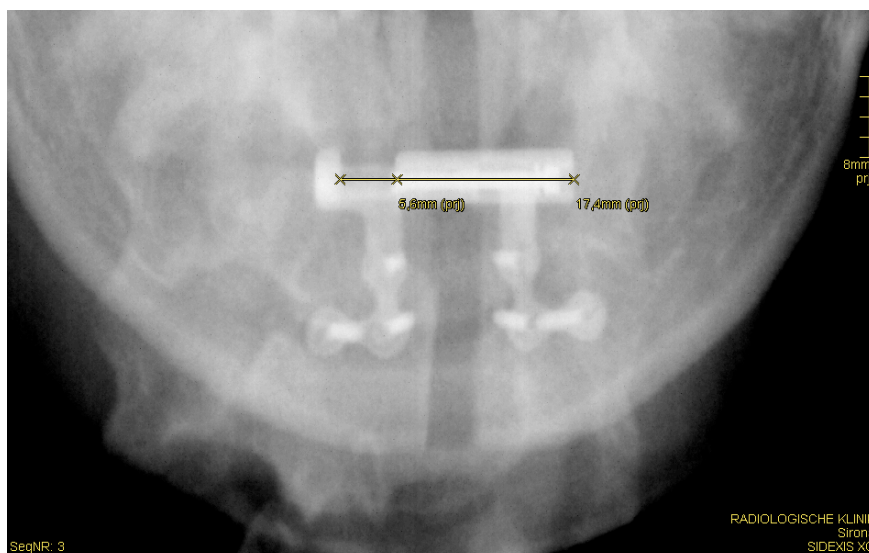


Abb. 12: Darstellung der Messung des Distraktionszylinders als unverändert bleibende Vergleichsstrecke und des Distraktionsausmaßes in der Ausschnittsvergrößerung einer Schädelübersichtsaufnahme. Der Unterkiefer ist durchtrennt und ein medianer Unterkieferdistraktor ist dargestellt.

2.2.4.2 Analyse der Fernröntgenseitenbilder (FRS)

Für die Analyse des Inzisalwinkels wurden Fernröntgenseitenbilder gewählt. Die Aufnahmen erfolgten mit dem digitalen Röntgengerät Sirona Orthophos Plus Ceph (Sirona Dental Systems, Fabrikstraße 31, 64625 Bensheim) des Marienhospitals Stuttgart. Der Film-Fokus-Abstand betrug 2m, die Strahlzeit 4,7 - 9,4s bei einer effektiven Belichtungszeit von ca. 270ms.

Entsprechend der Röntgenkephalometrie, die eine metrische Analyse ermöglicht [Drescher 2000, Sander 2011], wurde der untere Frontzahnwinkel (Winkel zwischen der Zahnachse des unteren Schneidezahnes und der Unterkieferbasis, **Abb. 13**) mit den Bezugspunkten Incisale Incisivus (Schneidekante des unteren mittleren Schneidezahnes) und Apicale Incisivus (Wurzelspitze des unteren mittleren Schneidezahnes), sowie Menton (unterster Punkt der Unterkiefersymphyse, tiefster Punkt des knöchernen Kinns) und Gonion-Tangentenpunkt anterior (Kieferwinkelpunkt, Tangentenpunkt vom Menton an den Unterrand des horizontalen Astes) definiert. Die Normgröße beträgt $90^\circ \pm 3^\circ$, wobei die Vergrößerung eine labiale Kippung und die Verkleinerung eine linguale Kippung der Unterkiefer 1 er darstellt. Zum Zeitpunkt T1 (vor Operation) und T3 (lückenfreier, kieferorthopädisch ausgeformter Zahnbogen) wurde die Änderung der Schneidezahnstellung gemessen. Hierfür stand die Software J-Vision 3.3.13 (Tiani“Spirit“ GmbH, Fasangasse 12, A-2102 Bisamberg) zur Verfügung, wobei die im Programm für die Winkelmessung vorgesehenen Werkzeuge verwendet wurden.

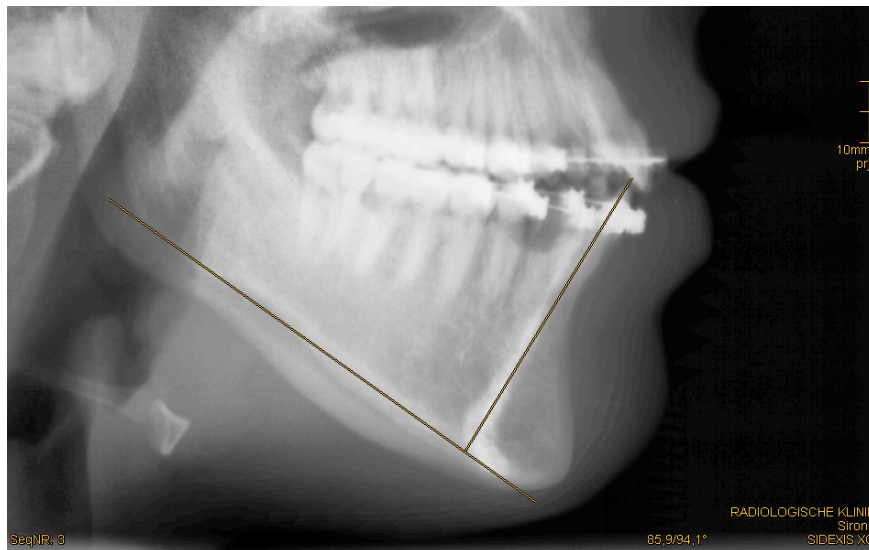


Abb. 13: Darstellung der Messung des UK-Inzisalwinkels in dem Ausschnitt eines Fernröntgenseitenbildes.

2.2.5 Parodontale Untersuchung

Die Messungen der Sondierungstiefe erfolgten in dieser Studie mit der Parodontalsonde zu den Zeitpunkten T1 und T3. An den unteren Frontzähnen 32 bis 42 sowie Eckzähnen 33 und 43 wurde je eine 4-Punktmessung (distal, mesial, oral und labial) durchgeführt.

2.2.6 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte am Institut für Medizinische Biometrie der Universität Tübingen, in Zusammenarbeit mit Herrn Dr. G. Blumenstock. Die Daten wurden in Microsoft Excel 2004 gespeichert und eingelesen. Die Auswertung erfolgte mit dem Programm JMP 7.0.2 des SAS Instituts, Cary, NC.

Ziel der Untersuchung war eine Darstellung der Zuwächse bei medianer Unterkiefer-Distraktion. Um einen Vergleich mit ähnlichen Studien zu ermöglichen, erfolgte neben der Berechnung der Differenzen eine Analyse der absoluten Bezugswerte. Bei

dem Gesamtkollektiv der Daten wurden jeweils die Absolutwerte und Differenzen in Abhängigkeit von der Zeit untersucht und die Verteilungen zu der Entwicklung vor Distraction (T1), am Ende der Distraction (T2) und nach kieferorthopädischer Behandlung (T3) dargestellt.

Bei den Daten der manuellen Messung wurden Varianzanalysen für Messwertwiederholungen (Kleinste Quadrate(KQ)-Methode) berechnet. Zur Beschreibung des vorliegenden Datengutes wurden für jeden der untersuchten Parameter zu allen drei Zeitpunkten der Mittelwert, die Standardabweichung sowie Minimum und Maximum ermittelt. Grundlage bildete die gleichzeitige Beobachtung zweier Merkmale mit so genannten bivariaten Verteilungen. Hier wird die Beziehung zwischen zwei Größen sichtbar gemacht und quantifiziert. Die graphische Darstellung der bivariaten Verteilung erfolgt als Streuungs- oder Scatterdiagramm. Jedes Paar von Messwerten wird durch einen Punkt symbolisiert.

Um eine Aussage über die statistische Beziehung zwischen der Erweiterung des Zahnbogens und dem Distraktionsausmaß zu erhalten, wurden die bivariate Verteilung berechnet und im Streudiagramm dargestellt, sowie Spearman-Rho Korrelationstests durchgeführt. Zur Beurteilung, wie stark der Zusammenhang zwischen den Größen ist, wurde der Korrelationskoeffizient errechnet [Harms 1998]. Die Angaben der Ergebnisse wurden nach den Berechnungen gerundet, was zu einer geringfügigen Abweichung führen kann.

3 Ergebnisse

3.1 Einzelergebnisse der Modellanalyse

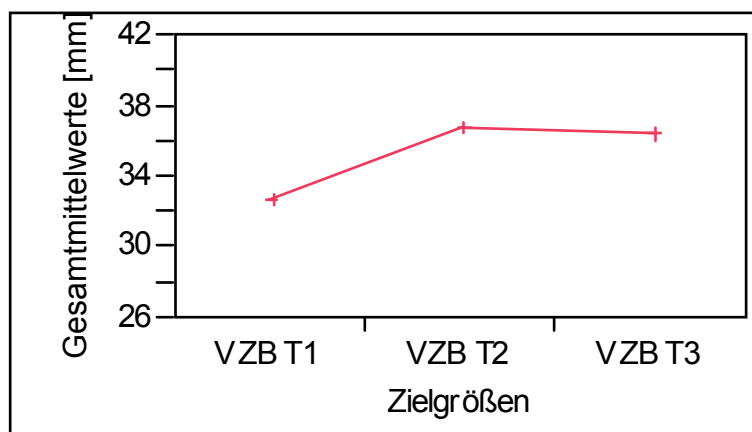
Die Vergrößerung bei den transversalen und dem Distraktor nahe liegenden Messstrecken ist am deutlichsten. Bei der in sagittaler Richtung gemessenen vorderen Zahnbogenlänge wurden die geringsten Zuwächse gefunden. Bei den Ergebnissen wurde das Phänomen einer Zweiteilung der Punktwolke in Bezug auf das Distraktionsausmaß beobachtet. Die Spearman-Rho Korrelationstests ergaben Korrelationen von -0,03 bis 0,64 bei einem Stichprobenumfang von $n=22$.

Im Anschluss werden alle relevanten und aussagekräftigen Ergebnisse der Auswertung der Rohdaten aufgeführt. Für die vordere und hintere Zahnbogenbreite, vordere Zahnbogenlänge, den Eckzahnabstand und das Diastema mediale werden die Ergebnisse zur einfachen Vergleichbarkeit jeweils gleichartig präsentiert.

3.1.1 Vordere Zahnbogenbreite (VZB)

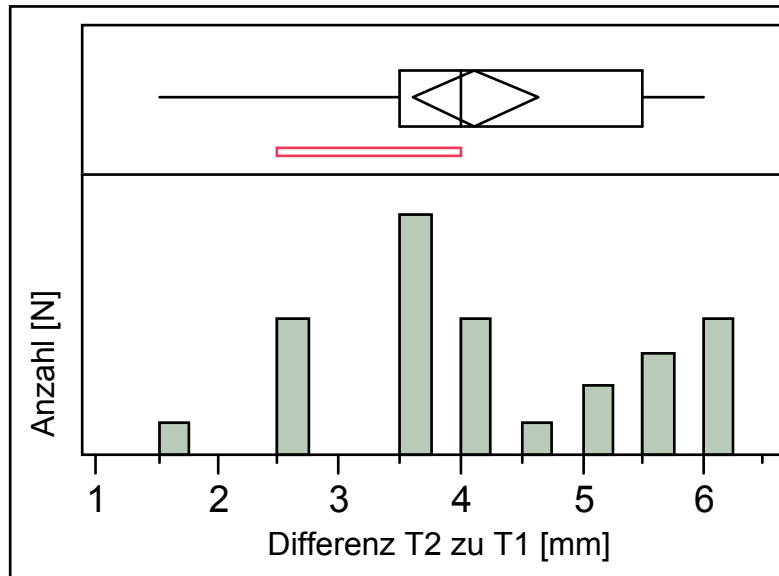
Die Entwicklung der vorderen Zahnbogenbreite (**Abb. 15** und **16**) zeigte bei manueller Messung eine Steigerung zu T1 von im Mittel 4,12 mm (T2) und 3,83 mm (T3). Die absoluten Gesamtmittelwerte (**Abb. 14**) betragen bei manueller Messung und einem Ausgangswert von 32,62 mm (T1) bei T2 36,73 mm und T3 36,44 mm. Bei der bivariaten Verteilung (**Abb. 17**) der vorderen Zahnbogenbreite in Abhängigkeit vom Distraktionsausmaß wurde ein Spearmanscher Korrelationskoeffizient von 0,64 bei $n=22$ berechnet.

Abb. 14: Gesamtmittelwerte der vorderen Zahnbogenbreite über die Zeit T1 bis T3.



Gesamtmittelwerte	VZB T1	VZB T2	VZB T3
	32,62	36,73	36,44

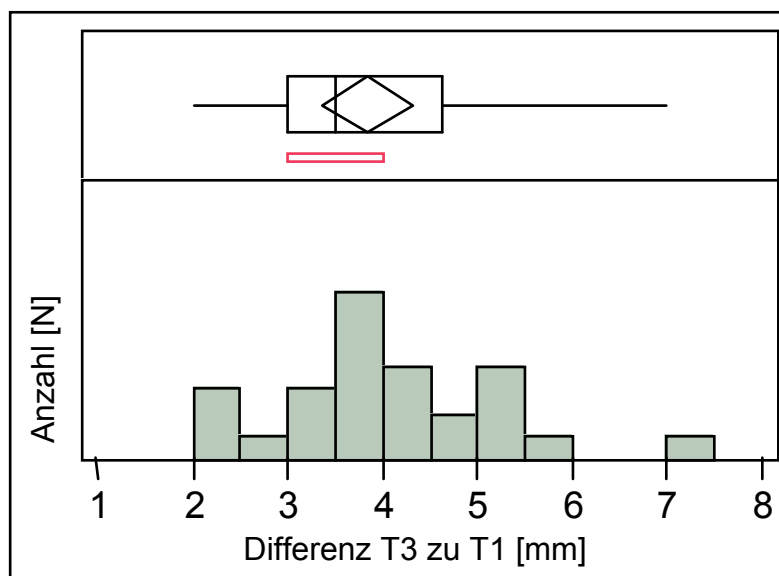
Abb. 15: Verteilung der absoluten Differenzen in mm zwischen Zeitpunkt T2 und T1 bei Messung am Modell, Verteilungskennzahlen.



Verteilungskennzahlen

Mittelwert	4,12
Std.-Abw.	1,29
Std.-Fehler Mittelwert	0,25
95% KI oben Mittelwert	4,64
95% KI unten Mittelwert	3,59
N	26

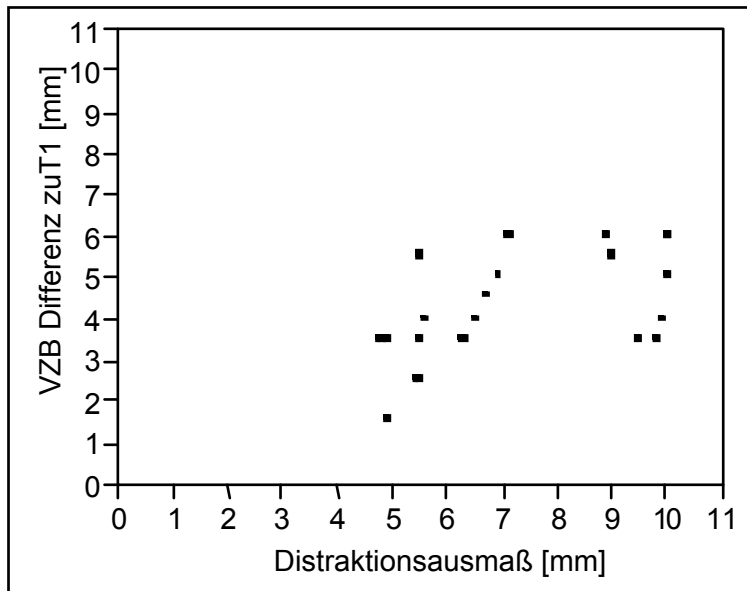
Abb. 16: Verteilung der absoluten Differenzen in mm zwischen Zeitpunkt T3 und T1 bei Messung am Modell, Verteilungskennzahlen.



Verteilungskennzahlen

Mittelwert	3,83
Std.-Abw.	1,17
Std.-Fehler Mittelwert	0,23
95% KI oben Mittelwert	4,30
95% KI unten Mittelwert	3,35
N	26

Abb. 17: Bivariate Verteilung als Streuungsdiagramm mit absoluten Zuwächsen in mm zum Zeitpunkt T2 in Bezug auf das Distraktionsausmaß, Korrelationen, Spearmanscher Rangkorrelationskoeffizient.



Paarweise Korrelationen (Pearson)

Variable	mit Variable	Korrelation	Häufigkeiten	Signif. Korrelationen
Distr.ausmaß	VZB Diff. zuT1	0,55	22	Wahrsch. 0,01

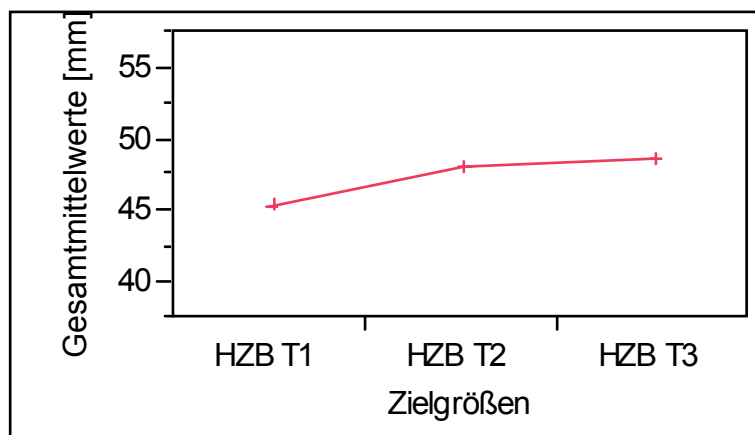
Nichtparametrisch: Spearmans ρ

Variable	mit Variable	Spearmans ρ	Wahrsch. > Diagramm
Distr.ausmaß	VZB Diff. zuT1	0,64	$ p $ 0,00

3.1.2 Hintere Zahnbogenbreite (HZB)

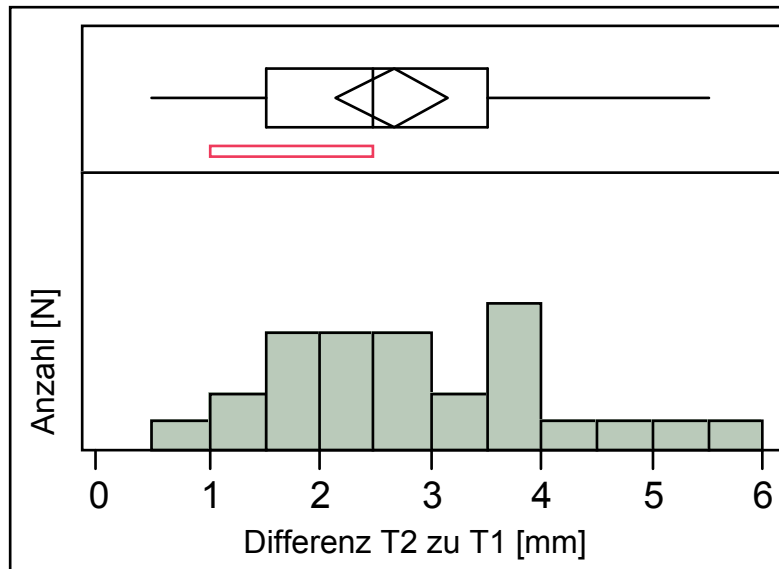
Bei Betrachtung der hinteren Zahnbogenbreite (**Abb. 19** und **20**) wurde eine Steigerung zu T1 von im Mittel 2,65 mm (T2) und 3,33 mm (T3) gefunden. Die absoluten Gesamtmittelwerte (**Abb. 18**) betragen bei manueller Messung und einem Ausgangswert von 45,29 mm (T1) bei T2 47,94 mm und T3 48,62 mm. Ein höherer T3-Gesamtmittelwert im Vergleich zu T2 wurde nur bei der hinteren Zahnbogenbreite gefunden. Bei der bivariaten Verteilung (**Abb. 21**) in Abhängigkeit vom Distraktionsausmaß wurde ein mittlerer Spearmanscher Korrelationskoeffizient von 0,62 bei $n=22$ berechnet.

Abb. 18: Gesamtmittelwerte der hinteren Zahnbogenbreite über die Zeit T1 bis T3.



Gesamtmittelwerte	HZB T1	HZB T2	HZB T3
	45,29	47,94	48,62

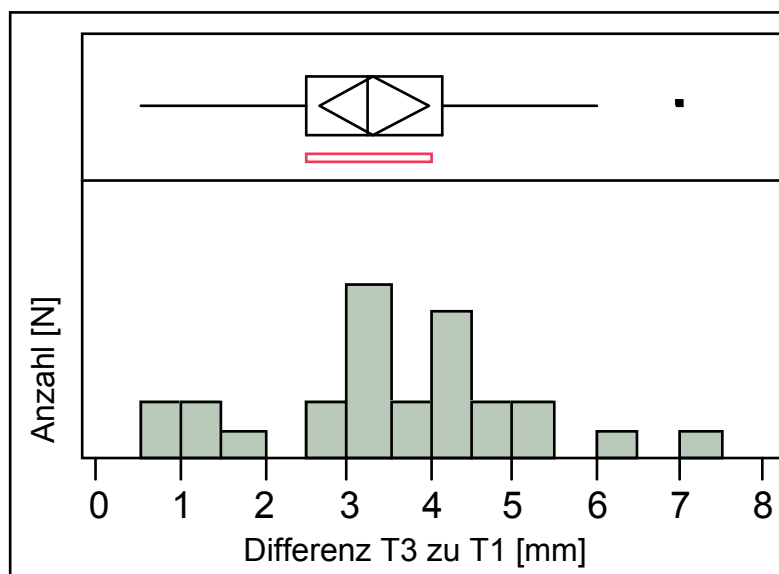
Abb. 19: Verteilung der absoluten Differenzen in mm zwischen Zeitpunkt T2 und T1 bei Messung am Modell, Verteilungskennzahlen.



Verteilungskennzahlen

Mittelwert	2,65
Std.-Abw.	1,26
Std.-Fehler Mittelwert	0,25
95% KI oben Mittelwert	3,16
95% KI unten Mittelwert	2,14
N	26

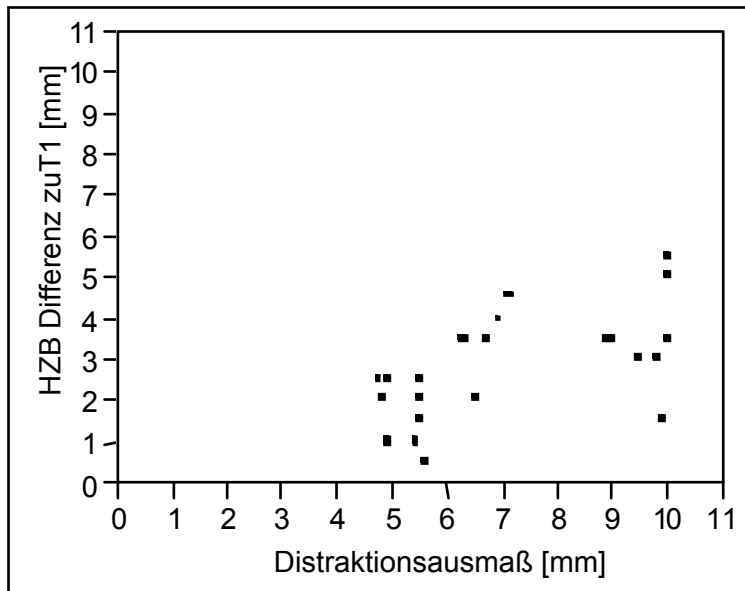
Abb. 20: Verteilung der absoluten Differenzen in mm zwischen Zeitpunkt T3 und T1 bei Messung am Modell, Verteilungskennzahlen.



Verteilungskennzahlen

Mittelwert	3,33
Std.-Abw.	1,59
Std.-Fehler Mittelwert	0,31
95% KI oben Mittelwert	3,97
95% KI unten Mittelwert	2,68
N	26

Abb. 21: Bivariate Verteilung als Streuungsdiagramm mit absoluten Zuwächsen in mm zum Zeitpunkt T2 in Bezug auf das Distractionsausmaß, Korrelationen, Spearmanscher Rangkorrelationskoeffizient.



Paarweise Korrelationen (Pearson)

Variable	mit Variable	Korrelation	Häufigkeiten
Distr.ausmaß	HZB Diff. zuT1	0,59	22

Signif. Korrelationen
 Wahrsch. 0,00

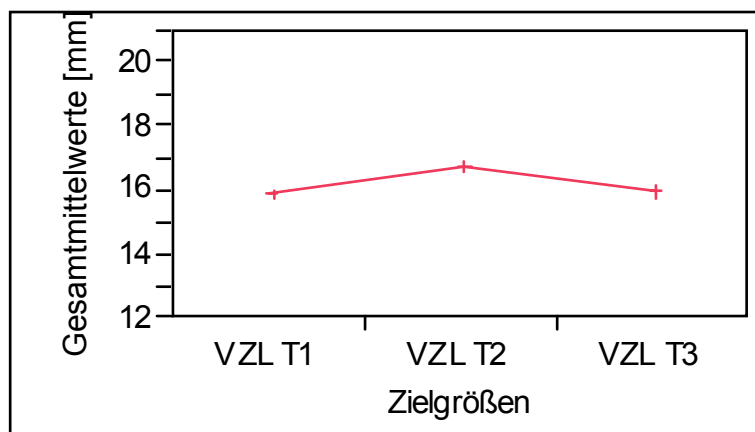
Nichtparametrisch: Spearmans ρ

Variable	mit Variable	Spearmans ρ	Wahrsch. > Diagramm
Distr.ausmaß	HZB Diff. zuT1	0,62	$ p $ 0,00

3.1.3 Vordere Zahnbogenlänge (VZL)

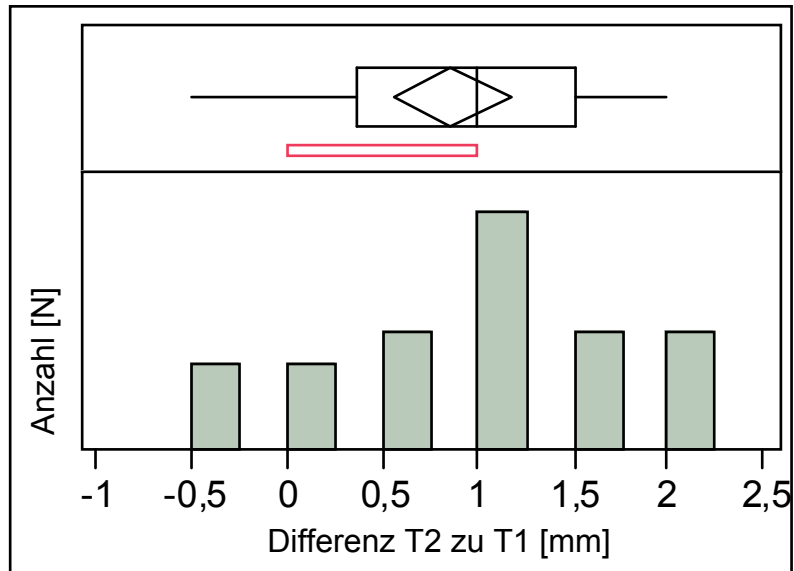
Bei der vorderen Zahnbogenlänge (**Abb. 23** und **24**) wurde bei manueller Messung eine Steigerung zu T1 von im Mittel 0,86 mm (T2) und 0,07 mm (T3) gefunden. Die absoluten Gesamtmittelwerte (**Abb. 22**) betragen bei einem Ausgangswert von 15,88 mm (T1) bei T2 16,75 mm und T3 15,96 mm. Damit werden bei T3 näherungsweise wieder Ausgangswerte gefunden. Bei der bivariaten Verteilung (**Abb. 25**) in Abhängigkeit vom Distraktionsausmaß ergab sich ein Spearmanscher Korrelationskoeffizient von -0,03 bei n=22.

Abb. 22: Gesamtmittelwerte der vorderen Zahnbogenlänge über die Zeit T1 bis T3.



Gesamtmittelwerte	VZL T1	VZL T2	VZL T3
	15,88	16,75	15,96

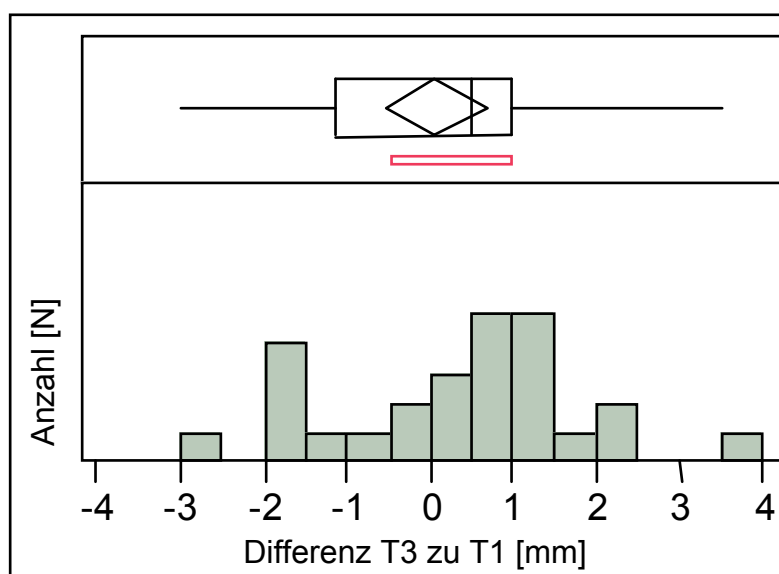
Abb. 23: Verteilung der absoluten Differenzen in mm zwischen Zeitpunkt T2 und T1 bei Messung am Modell, Verteilungskennzahlen.



Verteilungskennzahlen

Mittelwert	0,86
Std.-Abw.	0,78
Std.-Fehler Mittelwert	0,15
95% KI oben Mittelwert	1,18
95% KI unten Mittelwert	0,55
N	26

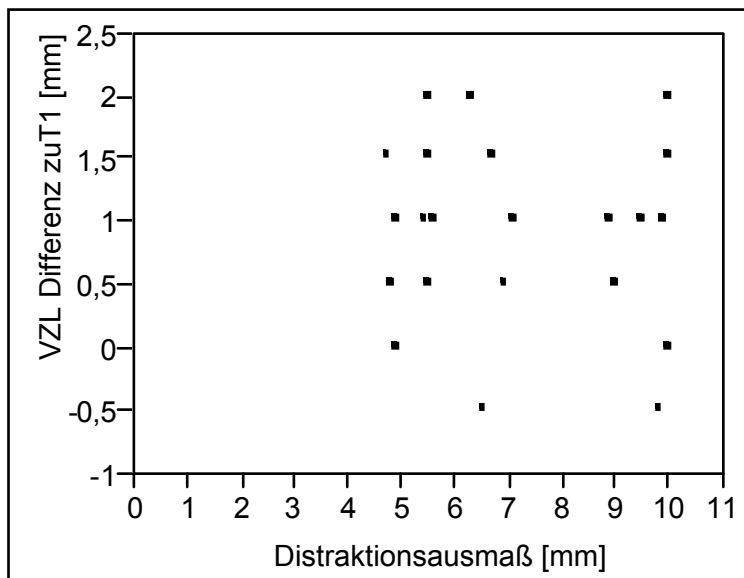
Abb. 24: Verteilung der absoluten Differenzen in mm zwischen Zeitpunkt T3 und T1 bei Messung am Modell, Verteilungskennzahlen.



Verteilungskennzahlen

Mittelwert	0,07
Std.-Abw.	1,51
Std.-Fehler Mittelwert	0,29
95% KI oben Mittelwert	0,69
95% KI unten Mittelwert	-0,53
N	26

Abb. 25: Bivariate Verteilung als Streuungsdiagramm mit absoluten Zuwächsen in mm zum Zeitpunkt T2 in Bezug auf das Distractionsausmaß, Korrelationen, Spearmanscher Rangkorrelationskoeffizient.



Paarweise Korrelationen (Pearson)

Variable	mit Variable	Korrelation	Häufigkeiten	Signif. Wahrsch.	Korr. zeichnen
Distr.ausmaß	VZL Diff. zuT1	-0,09	22	0,68	<input type="checkbox"/>

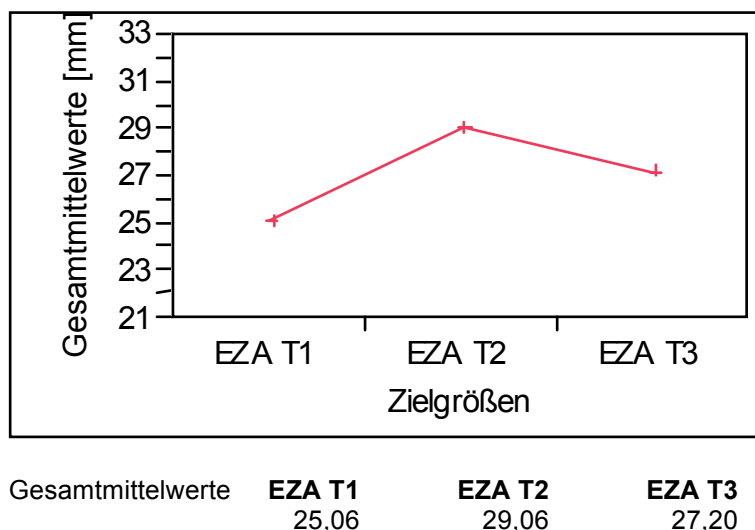
Nichtparametrisch: Spearmans ρ

Variable	mit Variable	Spearmans ρ	Wahrsch. > ρ	Diagramm
Distr.ausmaß	VZL Diff. zuT1	-0,03	0,89	<input type="checkbox"/>

3.1.4 Eckzahnabstand (EZA)

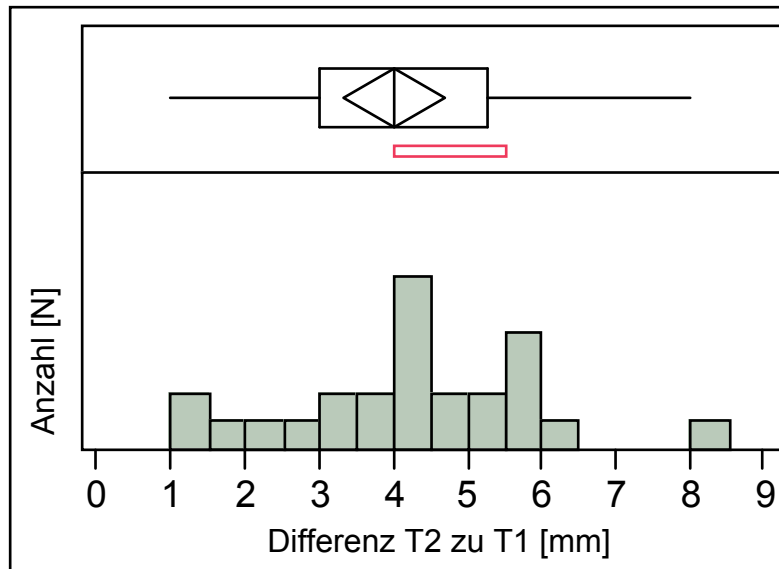
Die Entwicklung des Eckzahnabstandes (**Abb. 27** und **28**) zeigte in der statistischen Auswertung bei manueller Messung eine Steigerung zu T1 von im Mittel 4 mm (T2) und 2,14 mm (T3). Die absoluten Gesamtmittelwerte (**Abb. 26**) betragen bei einem Ausgangswert von 25,06 mm (T1) bei T2 29,06 mm und T3 27,2 mm. Bei der bivariaten Verteilung (**Abb. 29**) in Abhängigkeit vom Distraktionsausmaß wurde ein Spearmanscher Korrelationskoeffizient von 0,40 bei $n=21$ berechnet.

Abb. 26: Gesamtmittelwerte der Eckzahnabstände über die Zeit T1 bis T3.



Gesamtmittelwerte	EZA T1	EZA T2	EZA T3
	25,06	29,06	27,20

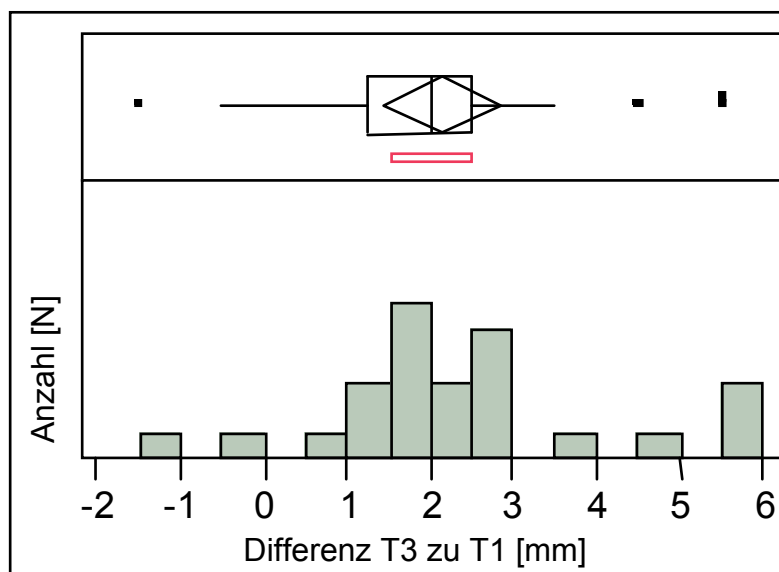
Abb. 27: Verteilung der absoluten Differenzen in mm zwischen Zeitpunkt T2 und T1 bei Messung am Modell, Verteilungskennzahlen.



Verteilungskennzahlen

Mittelwert	4
Std.-Abw.	1,64
Std.-Fehler Mittelwert	0,32
95% KI oben Mittelwert	4,67
95% KI unten Mittelwert	3,32
N	25

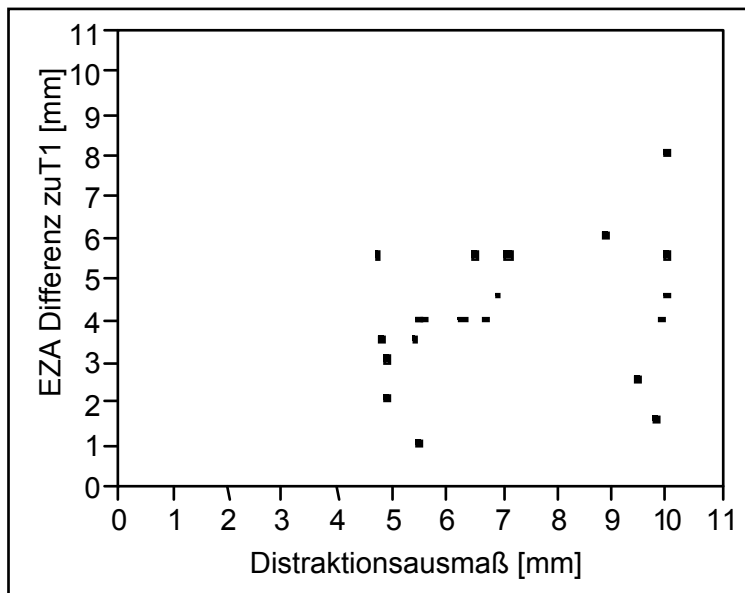
Abb. 28: Verteilung der absoluten Differenzen in mm zwischen Zeitpunkt T3 und T1 bei Messung am Modell, Verteilungskennzahlen.



Verteilungskennzahlen

Mittelwert	2,14
Std.-Abw.	1,72
Std.-Fehler Mittelwert	0,34
95% KI oben Mittelwert	2,85
95% KI unten Mittelwert	1,43
N	25

Abb. 29: Bivariate Verteilung als Streudiagramm mit absoluten Zuwächsen in mm zum Zeitpunkt T2 in Bezug auf das Distraktionsausmaß, Korrelationen, Spearmanscher Rangkorrelationskoeffizient.



Paarweise Korrelationen (Pearson)

Variable	mit Variable	Korrelation	Häufigkeiten	Signif. Wahrsch.	Korr. zeichnen
Distr.ausmaß	EZA Diff. zuT1	0,29	21	0,20	

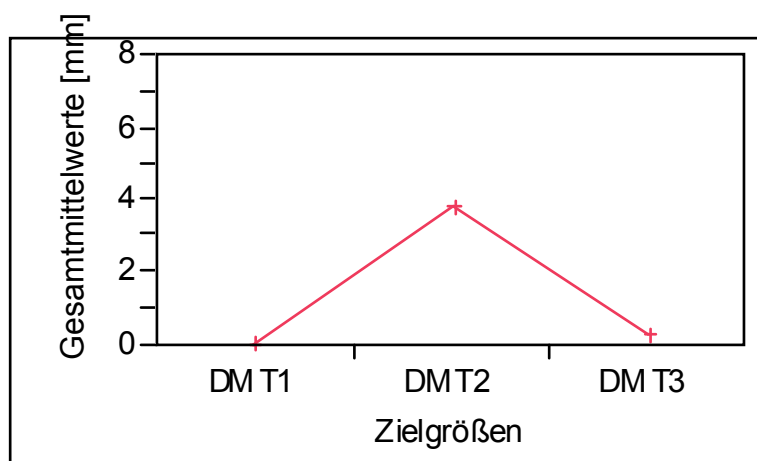
Nichtparametrisch: Spearmans ρ

Variable	mit Variable	Spearmans ρ	Wahrsch. > Diagramm
Distr.ausmaß	EZA Diff. zuT1	0,40	0,07

3.1.5 Medianes Diastema (DM)

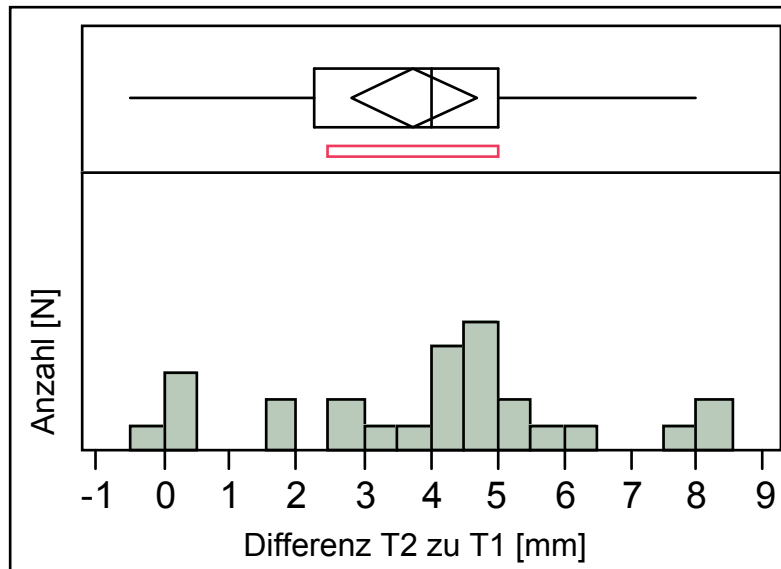
Bei Betrachtung des Medianen Diastema (**Abb. 31** und **32**) zeigte sich eine Steigerung zu T1 von im Mittel 3,75 mm (T2) und 0,25 mm (T3), weil die Zahnreihe durch die weitere kieferorthopädische Behandlung wieder geschlossen werden konnte. Die absoluten Gesamtmittelwerte (**Abb. 30**) betragen bei manueller Messung und einem Ausgangswert von 0,02 mm (T1) bei T2 3,77 mm und T3 0,27 mm. Bei der bivariaten Verteilung (**Abb. 33**) in Abhängigkeit vom Distraktionsausmaß wurde ein schwacher Spearmanischer Korrelationskoeffizient von 0,27 bei $n=22$ berechnet.

Abb. 30: Gesamtmittelwerte Diastema mediale über die Zeit T1 bis T3.



Gesamtmittelwerte	DM T1	DM T2	DM T3
	0,02	3,77	0,27

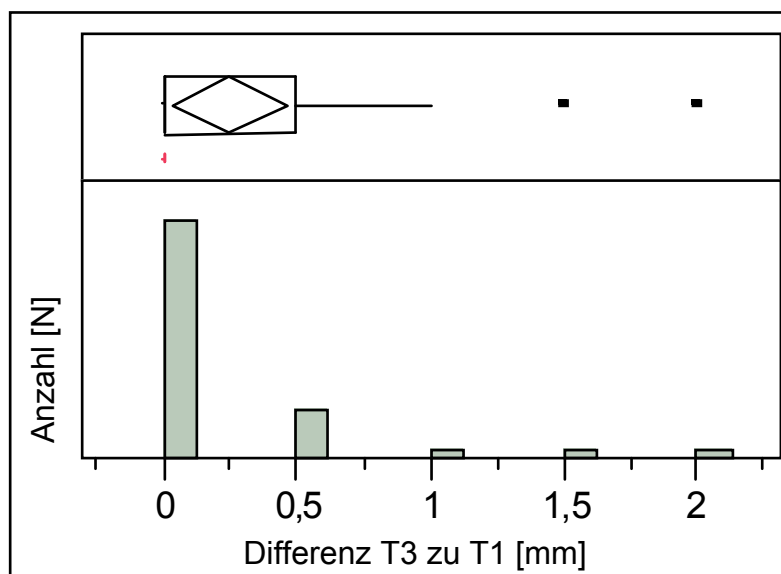
Abb. 31: Verteilung der absoluten Differenzen in mm zwischen Zeitpunkt T2 und T1 bei Messung am Modell, Verteilungskennzahlen.



Verteilungskennzahlen

Mittelwert	3,75
Std.-Abw.	2,35
Std.-Fehler Mittelwert	0,46
95% KI oben Mittelwert	4,70
95% KI unten Mittelwert	2,80
N	26

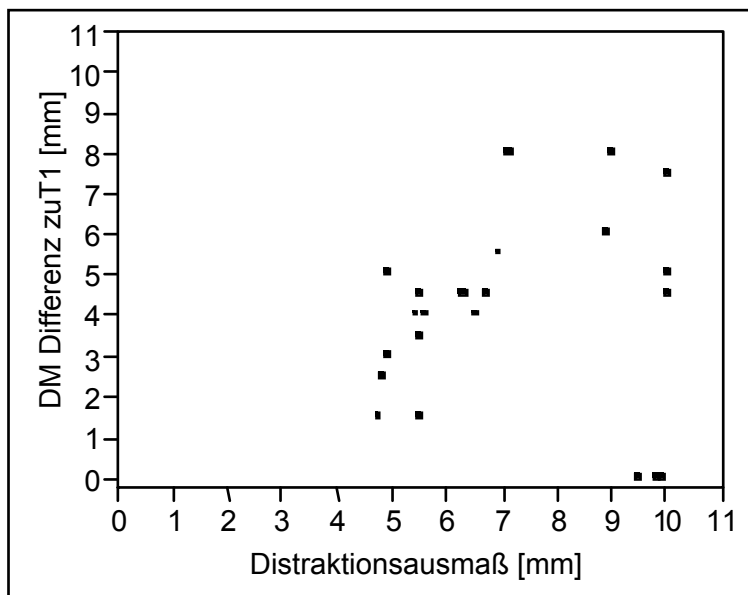
Abb. 32: Verteilung der absoluten Differenzen in mm zwischen Zeitpunkt T3 und T1 bei Messung am Modell, Verteilungskennzahlen.



Verteilungskennzahlen

Mittelwert	0,25
Std.-Abw.	0,51
Std.-Fehler Mittelwert	0,10
95% KI oben Mittelwert	0,46
95% KI unten Mittelwert	0,04
N	26

Abb. 33: Bivariate Verteilung als Streudiagramm mit absoluten Zuwächsen in mm zum Zeitpunkt T2 in Bezug auf das Distraktionsausmaß, Korrelationen, Spearmanscher Rangkorrelationskoeffizient.



Paarweise Korrelationen (Pearson)

Variable	mit Variable	Korrelation	Häufigkeiten	Signif. Wahrsch.	Korr. zeichnen
Distr.ausmaß	DM Diff. zuT1	0,06	22	0,77	<input type="text" value=""/>

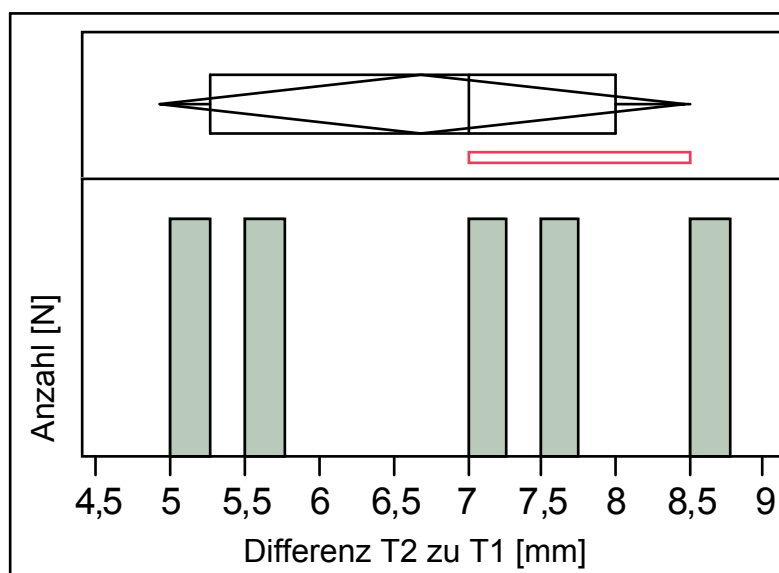
Nichtparametrisch: Spearmans ρ

Variable	mit Variable	Spearmans ρ	Wahrsch. > Diagramm
Distr.ausmaß	DM Diff. zuT1	0,27	0,22 <input type="text" value=""/>

3.1.6 Distraktionsausmaß (Dmass)

Die Betrachtung des Distraktionsausmaßes (**Abb. 34**) zeigte bei manueller Modellmessung und $n=5$ eine Steigerung zu T1 von im Mittel 6,7 mm (T2). Die arithmetischen Mittelwerte betragen bei röntgenologischer Messung und $n=22$ 7,15 mm (T2).

Abb. 34: Verteilung der absoluten Differenzen in mm zwischen Zeitpunkt T2 und T1 bei Messung am Modell, Verteilungskennzahlen.



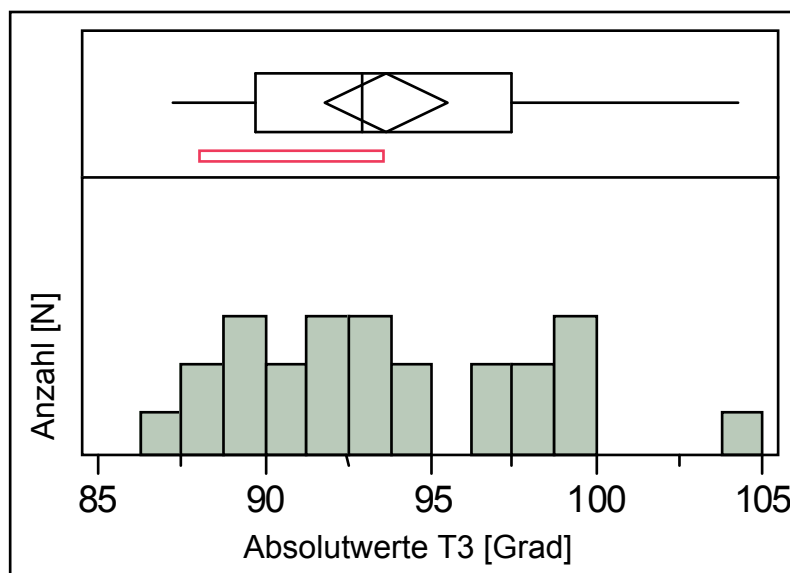
Verteilungskennzahlen

Mittelwert	6,7
Std.-Abw.	1,44
Std.-Fehler Mittelwert	0,64
95% KI oben Mittelwert	8,49
95% KI unten Mittelwert	4,91
N	5

3.2 Inzisalwinkel Fernröntgenseitenbild (1MeGo)

Die Verteilung ergab im Mittel eine Differenz von $0,5^\circ$ von T3 zu T1. Es fand sich eine Standardabweichung von $1,99^\circ$. Der Absolutwert zum Zeitpunkt T3 betrug im Mittel $93,67^\circ$.

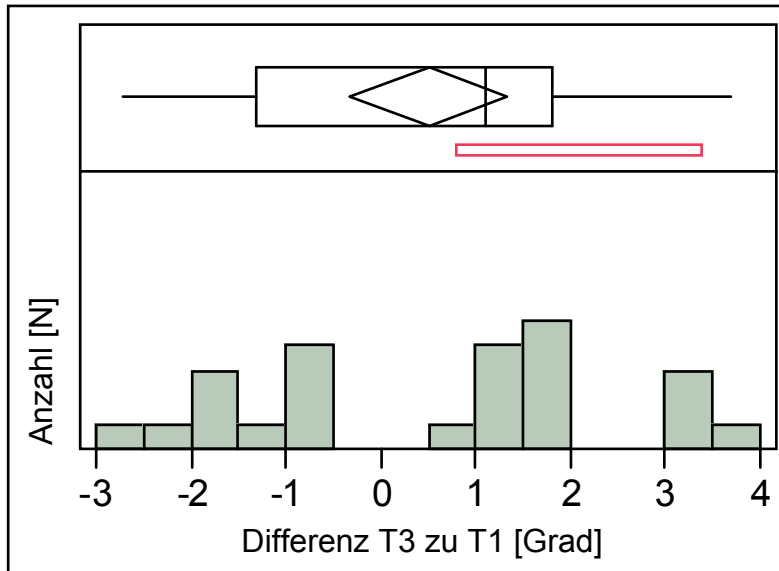
Abb. 35: Verteilung der Absolutwerte in Grad zum Zeitpunkt T3, Verteilungskennzahlen.



Verteilungskennzahlen

Mittelwert	93,67
Std.-Abw.	4,36
Std.-Fehler Mittelwert	0,89
95% KI oben Mittelwert	95,51
95% KI unten Mittelwert	91,82
N	24

Abb. 36: Verteilung der Differenzen in Grad zwischen Zeitpunkt T3 und T1, Verteilungskennzahlen.



Verteilungskennzahlen

Mittelwert	0,5
Std.-Abw.	1,99
Std.-Fehler Mittelwert	0,41
95% KI oben Mittelwert	1,34
95% KI unten Mittelwert	-0,34
N	24

3.3 Parodontale Untersuchungsergebnisse

3.3.1 Taschentiefen

In die Untersuchung konnten 17 von 30 Patienten mit gesundem Parodont einbezogen werden. Der präoperative Wert betrug an Zahn 31 distal 1,76 mm, nach kieferorthopädischer Behandlung 2,06 mm. Somit ist hier eine Erhöhung festzustellen. An diesem Zahn wurden auch die meisten Rezessionen beobachtet. Ansonsten blieben die Taschen mit Tiefen von 1 – 2 mm über die Zeit stabil.

Tab. 1: Mittelwerte der parodontalen Taschentiefen Zahn 33 - 43 zum Zeitpunkt T1 und T3.

Zahn 33: Mittelwerte(mm)

Zeit	distal	mesial	oral	labial
T1	2,19	2,19	1,38	1,31
T3	2,06	2,06	1,19	1,38

Zahn 32: Mittelwerte(mm)

Zeit	distal	mesial	oral	labial
T1	1,88	2,06	1,12	1,35
T3	2,0	1,88	1,18	1,35

Zahn 31: Mittelwerte(mm)

Zeit	distal	mesial	oral	labial
T1	1,76	2,0	1,12	1,29
T3	2,06	1,76	1,12	1,29

Zahn 41: Mittelwerte(mm)

Zeit	distal	mesial	oral	labial
T1	1,88	1,88	1,12	1,18
T3	1,88	2,12	1,24	1,29

Zahn 42: Mittelwerte(mm)

Zeit	distal	mesial	oral	labial
T1	2,12	2,0	1,06	1,24
T3	2,12	2,0	1,18	1,35

Zahn 43: Mittelwerte(mm)

Zeit	distal	mesial	oral	labial
T1	2,24	2,29	1,12	1,35
T3	2,19	2,13	1,25	1,25

3.3.2 Rezessionen

In die Untersuchung wurden 17 Patienten einbezogen. An Zahn 31 wurden zum Zeitpunkt T3 bei 7 Patienten (T1 2 Patienten) Rezessionen beobachtet, an Zahn 41 nur bei einem Patienten. Als Rezession wurde eine auf die Wurzeloberfläche eines Zahnes begrenzte, klinisch entzündungsfreie Rückbildung des Parodontiums definiert.

Tab. 2: Beobachtete Rezessionen an Zahn 31 und 41 zu den Zeitpunkten T1 und T3.
n = 17.

Zahn 31:

Zeit	ja	nein
T1	2	15
T3	7	10

Zahn 41:

Zeit	ja	nein
T1	0	17
T3	1	16

4 Diskussion

4.1 Diskussion des Materials

Die Indikation der medianen Unterkieferdistraktion ist der frontale Zahnengstand. Ebenso finden sich mandibuläre Retro- und Prognathien, sowie Bissanomalien der Angle Klasse II und III mit leichter bis schwerer Ausprägung. In der vorliegenden Studie ergab sich folgende Verteilung der Indikationen bei gesamt 30 Patienten:

• Transversale Zahnbogendiskrepanz OK und UK	3
• Engstand OK und UK-Front	4
• Schmalere OK und UK	9
• Transversale Zahnbogendiskrepanz UK	6
• Engstand UK-Front	1
• Schmalere UK	3
• Offener Biss	3
• Tiefbiss	1

Besteht im Unterkieferzahnbogen ein transversaler Platzbedarf von mehr als 5 mm und weniger als 13 mm ist die mediane Unterkieferdistraktion die Therapie der Wahl. Ist der Platzbedarf geringer, kann alternativ ein Unterkieferfrontzahn extrahiert werden. Bei einem größeren Platzbedarf von mehr als 14 mm ist die Indikation für die beidseitige Extraktion eines Prämolaren gegeben. Beide Kiefer müssen gleichzeitig distrahert werden, wenn sowohl ein skelettal schmaler Oberkiefer als auch kieferorthopädische Kriterien für einen schmalen Unterkiefer gegeben sind. Die Möglichkeit, vitalen Knochen neu zu bilden, die Kieferform transversal anzupassen und das Weichgewebe ohne Transplantationen nachzuentwickeln, sind die wesentlichen Pluspunkte der medianen Unterkieferdistraktion. Zudem ist die Invasivität der Behandlung wesentlich geringer als in der konventionellen

orthognathen Chirurgie, die neben Osteotomien meist auch Knochentransplantate erfordert.

Weitere Vorteile der medianen Unterkiefer-Distraktion sind:

- eine bleibende Änderung des Unterkiefer-Eckzahnabstandes
- eine ästhetische Verbesserung durch Verkleinerung der Bukkal Korridore und
- die Vergrößerung des Zungenraums, der funktionell nicht mehr eingeschränkt ist.

Auch ist es mit der Distraktionstherapie möglich:

- ein Gleichgewicht zwischen Zahnbreiten und Kiefergröße herzustellen und
- die unnatürliche Protrusion der Frontzähne zu vermeiden.

Bisher wurden nur wenige Studien zur Quantifizierung der Ergebnisse der medianen Kallusdistraktion am Unterkiefer veröffentlicht. Ein Problem ist sicher das noch geringe Patientengut, das verlässliche Aussagen und statistisch signifikante Aussagen erschwert. Studien mit großer Patientenzahl veröffentlichten Del Santo et al. [2000] mit 20 Patienten, King et al. mit 25 Patienten [2012], Alkan et al. [2007] mit 40 Patienten und Niculescu et al. [2014] mit 47 Patienten, die aber sowohl zahngetragene, knochenverankerte als auch kombinierte Distraktoren verwendeten. Die Verwendung von zahnverankerten Distraktoren in der Studie von Del Santo et al. bestätigt den Effekt, dass die Zähne mehr bewegt werden als der Knochen. Auch ist die Bewegung in der Front, nahe am Distraktor, größer als im Molarenbereich.

Die vorliegende Untersuchung zur medianen Unterkieferdistraktion weist die in der Literatur bisher größte bekannte Patientenzahl mit 30 Patienten bei alleiniger Verwendung von knochenverankerten Distraktoren auf. Die Vorteile des von uns verwendeten, knochenverankerten Distraktors (Medicon eG) sind dessen enorale Applikation, die Handlichkeit des Gerätes und daher unproblematische Akzeptanz durch den Patienten, die geringe Knochenauflagefläche zur Gerätefixierung und die den Osteosyntheseverfahren ähnliche operative Anwendung. Hinzu kommt die einfache Aktivierung durch den Patienten selbst.

Bei der ausschließlich kieferorthopädischen Dehnung im Unterkiefer sind regelmäßig Rezidive zu beobachten und die Ergebnisse aufgrund der geringen Weitung nicht

befriedigend. Daher sollte bei der Distractionstherapie der Gewinn von Knochenfläche im Vordergrund stehen.

Bei der Frage nach der Ätiologie der in der vorliegenden Untersuchung festgestellten Veränderungen muss differenziert werden, was von den beschriebenen Veränderungen Teil natürlicher patientenindividueller Veränderungsvorgänge, und was auf die rein mechanische Wirkung des Distraktors zurückzuführen ist. Da ein juveniles Wachstum die durch Distraction gewonnenen Vergrößerungen der entsprechenden Altersgruppe überlagern kann, ist dies bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen.

Die Spearman'schen Rangkorrelationskoeffizienten dieser Studie zeigten schwache bis mittlere Korrelationen, so dass derzeit aus dem Distractionsausmaß (Mittelwert von 6,70 mm bei Modellmessung und 7,15 mm bei röntgenologischer Messung) noch keine sicheren Vorhersagen auf eine bestimmte Erweiterung des Zahnbogens getroffen werden können, d.h. es ist nicht möglich, aus einem bestimmten Distractionsausmaß die zugehörige Zahnbogenlänge sowie die Zahnbogenbreiten zu berechnen. Die Größe des Distractionsausmaßes entspricht weitgehend dem, was Alkan et al. [2007] in ihrer Studie mit im Mittel 7,31 mm und Gunbay et al. [2009] mit 6,48 mm beschreiben. Zum Zeitpunkt T2 wurden die dentalen, transversalen Messstrecken um nur 2,65 bis 4,12 mm vergrößert, da möglicherweise die umgebende mandibuläre Gingiva sich am wenigsten dehnen lässt und keine Expansion wie die des skelettalen Distractionsausmaßes zulässt. Ein weiterer Grund könnte die Befestigung des Distraktors an der Unterkiefer Basis sein, da die Kraft dadurch exzentrisch angreift und folglich eine geringere dentale Erweiterung erreicht wird. Eventuell würde ein kombiniert dental-ossär befestigter Distraktor gleichmäßiger distrahieren.

Das größte Problem bei erheblicher medianer Unterkieferdistraction ist folglich eine Verbreiterung des Kinns, der aber eine nur geringe Zunahme der Zahnbogenbreite gegenüber steht. Abhängig vom Schweregrad des frontalen Engstandes und der Fehlbildung führt mit der Erweiterung durch Distraction insbesondere der Einfluss der kieferorthopädischen Behandlung zu einer Abflachung und einem physiologisch parabelförmigen Verlauf des vorher eher spitz zulaufenden Zahnbogens.

Die mediane Unterkieferdistraktion bedarf weiterer Untersuchungen, um so die Therapie noch gezielter einsetzen und verbessern zu können. Das optimale Alter des Patienten zum Zeitpunkt der Distraktion, das Ausschöpfen des Wachstumspotentials, die Verfeinerung der Operationsmethode einschließlich der Nachsorge und begleitenden kieferorthopädischen Therapie sowie die Weiterentwicklung der enoralen Distraktionsgeräte sind als Ziele zukünftiger Untersuchungen und Entwicklungen zu nennen.

Der frontale Unterkiefer Engstand muss in unserer Gesellschaft nicht mehr als „physiologisch“ aber unbehandelbar angesehen werden, sondern ist durch die Unterkieferdistraktion und eine begleitende kieferorthopädische Behandlung dauerhaft und erfolgreich zu behandeln.

4.2 Diskussion der Methodik

4.2.1 Modellanalyse

Im Rahmen dieser Studie hat sich die klassische Modellanalyse weiterhin als eine geeignete Methode zur Messung von dentalen Bezugsstrecken erwiesen. Sie ist biologisch unbedenklich, noninvasiv und stellt das einfachste dreidimensionale Messverfahren dar. Eine neue Methode ist die des computergestützten Auswertens mit möglichst dreidimensionalem Scannen der Modelle. Melson und Melson [2006] sehen die Entwicklung von der zweidimensionalen in die dreidimensionale Welt als logischen letzten Schritt in der Entwicklung der virtuellen KFO-Praxis. Eine aktuelle Neuerung ist das Ersetzen von Gipsmodellen durch digitale Abbildungen. Sobald hier Aufzeichnungen über längere Zeitdistanzen vorliegen, wird sich herausstellen, ob diese Methode die Präzision der manuellen Methode erreicht oder sogar übertrifft, und ob an einen routinemäßigen Einsatz zu denken ist. Größter Vorteil ist sicher die leichte elektronische Archivierung, die Kombination mit Befunden aus der Röntgenanalyse [Keß und Kolbowski, Sander und Tochtermann], der Datenaustausch zwischen verschiedenen Behandlern [Sander] und die Möglichkeit auch von dynamischen Darstellungen durch Überlagerung von Modellinformationen

zu verschiedenen Zeitpunkten (siehe auch **Abb. 39**). Dies wäre der Schritt von der Dreidimensionalität (3D) in die Vierdimensionalität (4D).

Mit der fotometrischen Vermessung wurde von Kinast 1976 eine Methode zu einer leicht durchführbaren Übertragung der Oberkiefermittellinie (Raphe palatina mediana) auf den Unterkiefer empfohlen. Durch die Möglichkeit, nun auch im Unterkiefer Fixpunkte zu besitzen, gewinnen Positionsbestimmungen der Zähne des Unterkiefers die gleiche Bedeutung wie diejenigen des Oberkiefers. Dadurch wird es möglich, ein gestecktes Behandlungsziel nach Abschluss der Therapie zu verifizieren und die einzelnen Behandlungsgeräte hinsichtlich ihrer Tauglichkeit zu überprüfen. An Hand von Beispielen zeigte Kinast, inwieweit das Behandlungsziel im Behandlungsergebnis seinen Niederschlag findet. Die Okklusionskontakte wurden mit einer gefärbten Baumwolle geschwärzt. Zur exakten fotografischen Abbildung der Kieferabgüsse verwendete Kinast einen Modellhalter. Die Kieferabgüsse wurden an eine Glasplatte mit Millimetermaßstab und einer Maschenbreite von 5mm angepresst. Die fotografische Abbildung erfolgte mit einer Spiegelreflexkamera. Das Diapopsitiv des Unterkieferabgusses wurde seitengleich so auf das des Oberkiefers gelegt, dass die habituellen Okklusionskontakte genauestens übereinstimmten. Zum Schluss wurden die Bewegungen der Zähne in einem Wegdiagramm durchgezeichnet.

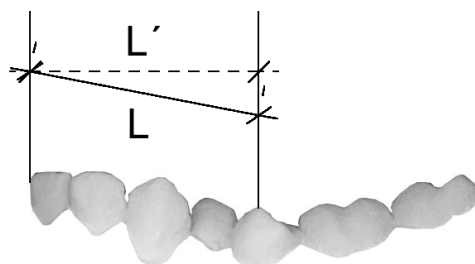


Abb. 37: Nach Korkhaus [1932]: Verzerrungen bei der Aufsichtvermessung geneigter Okklusalfächen.

In der vorliegenden Studie werden die Messstrecken (**Abb. 9, 10, 11, 38**) sowie ein Wegdiagramm nach Kinast (**Abb. 39**) anhand eines Behandlungsbeispiels mit einer computergestützten Methode grafisch darstellt. Nach dem zweidimensionalen Einscannen der Modelle wurden diese über ein Foto abgebildet. Mit Hilfe des CAD Programms VectorWorks Version 13.0.1 (Nemetschek North America, Inc., Vertrieb in Deutschland durch ComputerWorks GmbH, Schwarzwaldstraße 67, 79539 Lörrach) ist die Bemaßung importierter Bilder möglich. Gebhart [2005] erstellte mit einer ähnlichen Methode eine Modellstudie zum Wirkungsspektrum des Positioners. Aufgrund der trigonometrischen Verzerrungen insbesondere bei größeren Fehlständen und Kippungen von Zähnen ist das zweidimensionale Scannen jedoch fehlerbehaftet (**Abb. 37**). In dieser Studie werden daher von der computergestützten Methode nur Abbildungen ohne statistische Auswertung vorgestellt.

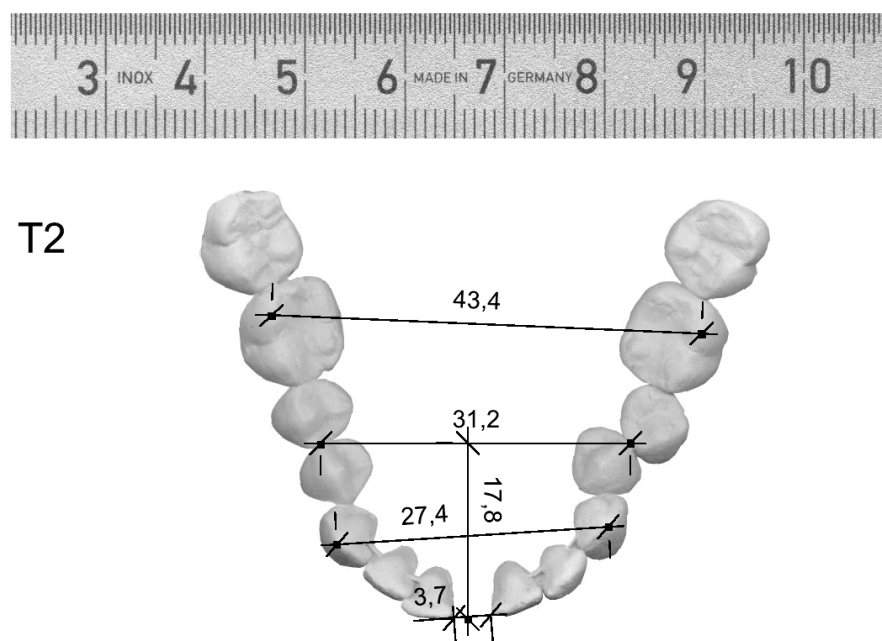


Abb. 38: Beispiel einer aufbereiteten Bildinformation zum Zeitpunkt T2 mit Messwerten des CAD Programms und Stahllineal, Distraktionsausmaß 5,5 mm, ohne Maßstab.

Für Streckenmessungen ist das Eichen der Bildinformation nötig. Die Rasterbilder wurden vom Programm automatisch in Originalgröße- hier 300 dpi- importiert. Zur Kalibrierung konnte die eingescannte und oberhalb des Modellbildes positionierte Strecke eines Stahllineals als Bezugsgröße bei der Auswertung genutzt werden. Somit wurde sichergestellt, dass der Messwert originalgetreu (1:1) wiedergegeben wird (**Abb. 38**).

In VectorWorks lässt sich den einzelnen Objekten eine bestimmte Deckkraft zwischen 0 und 100% zuweisen. Die Bewegungen zu verschiedenen Zeitpunkten können durch Überlagerung der Zahnbögen visualisiert und der Verlauf der Behandlung dargestellt werden. Als Referenzstrecke für die Überlagerung ergibt sich bei den gewählten Bezugswerten die Zahnbogenlänge mit dem Schnittpunkt zur vorderen Zahnbogenbreite. Diese Strecke stellt jedoch nicht die skelettale Mitte dar, wie dies die Raphe palatina mediana vermag. Durch diese Überlagerung ist es möglich Wegdiagramme nach Kinast mit Darstellung der Wanderung der Messpunkte im zeitlichen Verlauf zu erstellen (**Abb. 39**).

T1 T3



Abb. 39: Wegdiagramm der Messpunkte von Zeitpunkt T1 nach T3

4.2.2 Röntgenologische Analyse

Schädelübersichtsaufnahmen wurden routinemäßig bei der Planung der Therapie und bei Nachkontrollen zur Überprüfung der knöchernen Durchbauung des distrahierten Kieferabschnittes angefertigt, und waren somit für die Analyse die Röntgenaufnahmen der Wahl. Im Vergleich zu Panoramaschichtaufnahmen, bei denen sich Film und Röhre auf Kreisbahnen um den Kopf des Patienten bewegen, entstehen bei Schädelübersichtsaufnahmen mit fixiertem Zentralstrahl geringere Verzerrungen, insbesondere in der zu messenden Frontzahnregion.

Bei den Ergebnissen wurde das Phänomen der Zweiteilung der Punktwolke bei der bivariaten Verteilung im Streudiagramm in Bezug auf das Distraktionsausmaß beobachtet. Eine Erklärung hierfür könnten patientenindividuelle Unterschiede bei der Wirkung der Distraction auf das stomatognathe System sein. Auch das Auftreten von Segmentkipnungen wird diskutiert.

Wie folgendes Beispiel von Ausschnitten der Schädelübersichtsaufnahmen verdeutlicht, kann ein annähernd gleich großes Distraktionsausmaß von 5,4 bzw. 5,0 mm bei Patient I zu einem Diastema mediale von 5,0 mm und bei Patient II zu einem Diastema mediale von 2,7 mm führen (**Abb. 40** und **41**).

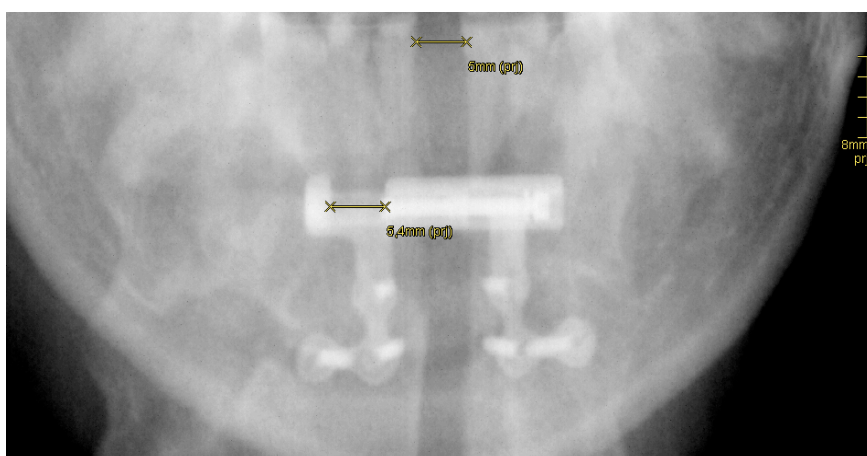


Abb. 40: Patient I: Darstellung der Messung des Distraktionsausmaßes am Distraktor und zwischen den mittleren unteren Schneidezähnen in der Ausschnittsvergrößerung einer Schädelübersichtsaufnahme. Der Unterkiefer ist durchtrennt und ein medianer Unterkieferdistraktor abgebildet.

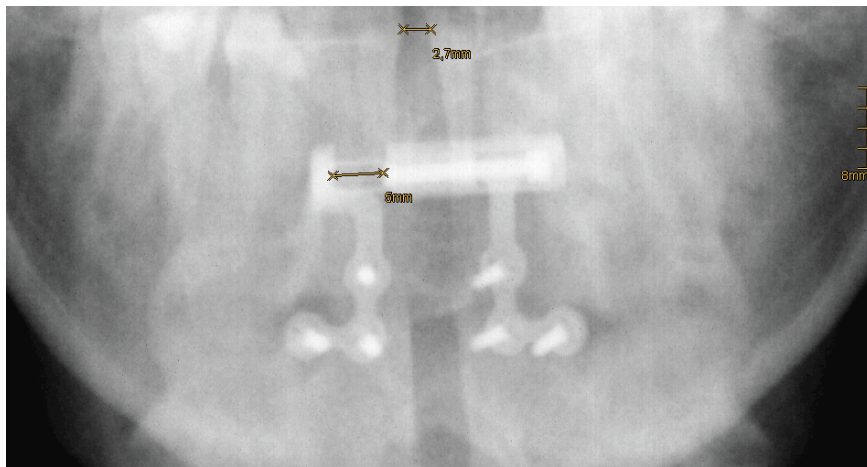


Abb. 41: Patient II: Darstellung der Messung des Distraktionsmaßes am Distraktor und zwischen den mittleren unteren Schneidezähnen in der Ausschnittsvergrößerung einer Schädelübersichtsaufnahme. Der Unterkiefer ist durchtrennt und ein medianer Unterkieferdistraktor abgebildet.

Wie beschrieben ist die dentale Expansion geringer als die skelettale Expansion am Distractionsspalt. Zudem kann das Aufheben des Platzmangels durch die Distraction zu einem Kippen der mittleren Schneidezähne in den Distractionsspalt und einer parodontalen Schädigung führen. Um dies zu verhindern, werden sie in der Regel bis zur Stabilisierung des Distractionskallus für ca. 2 Monate mit den Nachbarzähnen verblockt. Manche Patienten berichten von nur geringen Zahnstellungsänderungen durch die Erweiterung nach der aktiven Distractionphase, was in erster Linie durch eine Beurteilung der entstehenden medianen Zahnücke erfolgt. Hier wurden Werte von 0 bis zu 8,0 mm gefunden. Bei einigen Patienten waren nur seitliche Zahnücken zu beobachten. Dies erklärt den Wert von 0 mm bei der Messung der medianen Zahnücke. Eine stabile Normgröße des Frontzahnwinkels kann erhalten oder durch die begleitende kieferorthopädische Therapie erreicht werden. Voraussetzung ist jedoch ein schmaler Kiefer mit breitem Kinn.

4.2.3 Parodontale Untersuchung

Die Gingiva, als wichtigster Bestandteil des extraalveolären Parodonts, sichert über ein besonderes System der epithelialen Verbindung mit der Zahnoberfläche den dentogingivalen Verschluss der intraalveolären Strukturen sowie über die Immunreaktion den Schutz vor Noxen. Das orale Gingivaepithel geht am marginalen Rand in eine kleine Rille, den gingivalen Sulkus über, der histologisch von unverhorntem Sulkusepithel begrenzt wird. Dieser hat klinisch eine variable Tiefe von 0 bis maximal 0,5 mm. Dem Sulkusepithel schließt sich nach apikal das Saumepithel an, welches die eigentliche Epithelhaftung an der Zahnhartsubstanz vermittelt. Der klinische Sulkus, ein durch vorsichtiges Sondieren entstehender, artifiziell erzeugter Spalt zwischen Zahnoberfläche und Gingiva, ist eine für den Kliniker relevante, metrische Größe und wird beim parodontal Gesunden mit einer durchschnittlichen Tiefe von 1 bis maximal 2 Millimeter angegeben [Kleber 1998].

Die deutsche Gesellschaft für Parodontologie definierte 1988 die parodontale Rezession als eine auf die orale und/oder faciale Wurzeloberfläche eines Zahnes begrenzte, klinisch entzündungsfreie Rückbildung des Parodontiums. Gingivale Rezessionen treten in Abhängigkeit zur Ursache in traumatisch bedingter und entzündungsbedingter Erscheinungsform auf. Prädisponierende Faktoren sind prominent im Kiefer stehende Zähne, Dehiszenzen und Fenestrationsen im Alveolarknochen sowie orthodontische Zahnbewegungen durch den Knochen nach labial [Müller 2006].

Kleber beschreibt 1998, dass die interdentalen Bereiche in der Regel erhalten sind. Kieferorthopädische Behandlungen, die die Zahnwurzel nach vestibulär aus dem alveolären Knochenfach herausbewegen, können in der folgenden Zeit, ausgelöst durch traumatisierendes Zahnreinigen, zu parodontalen Rezessionen führen. Auch ein in die marginale Gingiva einstrahlendes Bändchen kann zu einer, meist mit entzündeter Gingiva, begrenzten Rezession führen.

Da bei der medianen Unterkieferdistraktion die vertikale Osteotomie zwischen den mittleren Schneidezähnen und zudem bei frontalem Engstand durchgeführt wird, besteht ein erhöhtes Risiko der Wurzelschädigung [Stephan 2008]. Uckan et. al

beobachteten in ihrer Studie 2005 nach medianer Unterkieferdistraktion gingivale Rezessionen.

Guerrero et al. beschreiben 2000, dass die der Osteotomie benachbarten Wurzeln vollständig mit Knochen bedeckt sein müssen, was schwierig ist, da das alveoläre Bett der Frontzähne im Unterkiefer sehr schwach ist. Auch ist die Zahnreinigung für den Patienten im Bereich des Distraktors schwieriger. Darüber hinaus sind die Frontzähne verblockt oder bebändert. Dies kann zu gingivalen Läsionen und einer Vergrößerung der Taschentiefen führen.

4.2.4 Statistische Auswertung

Von entscheidender Bedeutung für die Beurteilung der Übereinstimmung von Messmethoden ist die Betrachtung der Streuung der Differenzen der einzelnen Messwertepaare. Bland und Altman [1986] haben ein einfaches grafisches Verfahren vorgeschlagen, das die Verzerrung und die Streuung der Daten berücksichtigt und mit dessen Hilfe systematische Abweichungen, Ausreißer sowie Abhängigkeiten der Varianz von der Größe der Messwerte beurteilt werden können. Hierbei wird die Differenz der wiederholten Messwerte gegen den Mittelwert der beiden Messungen grafisch aufgetragen. Das Verfahren nach Bland und Altman hat sich als Verfahren der Wahl zur Auswertung von Methodenvergleichsdaten etabliert [Grouven et al. 2007] und wurde in der vorliegenden Studie verwendet.

4.3 Diskussion der Einzelergebnisse

Um den Vergleich mit den Ergebnissen anderer Arbeitsgruppen zu veranschaulichen, sind diese nachfolgend tabellarisch für die Zeitpunkte T2 und T3 dargestellt. Bei der Interpretation ist zu berücksichtigen, dass sich die Studien hinsichtlich der getroffenen Definitionen teilweise unterscheiden. Hier sind insbesondere die Festlegungen der Zeitpunkte T1, T2, T3 und die Bezugswerte zu nennen. Beispielhaft sei die vordere Zahnbogenbreite erwähnt, die bei uns als vestibulärer Kontaktpunkt zwischen den 1. und 2. Prämolaren definiert wurde. In anderen Studien wurde jedoch sowohl die Fossa der 1. als auch 2. Prämolaren gemessen. Zum besseren Vergleich wurde vom Verfasser der arithmetische Mittelwert gebildet.

Wie aus den **Tab. 3** und **4** ersichtlich, sahen mehrere andere Studien bis auf die hintere Zahnbogenbreite bei T2 um durchschnittlich 1 mm höhere Werte. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass Mommaerts et al. und Niculescu et al. kein Distraktionsausmaß angaben.

Bei King et al. und Niculescu et al. wurden sowohl Ergebnisse zu T2 als auch T3 veröffentlicht. Interessant ist, dass nach einer größeren Erweiterung des Zahnbogens (T2) bei T3 wieder ähnliche und insgesamt sogar kleinere Werte wie bei uns gesehen wurden. Der hohe Wert der hinteren Zahnbogenbreite von 5,0 mm bei Del Santo et al. erklärt sich durch die Befestigung des dentalen Distraktors mit Bändern an den 1. Molaren.

Da die Werte bei T3 in allen Studien weniger stark variieren, stellt sich die Frage, in wie weit eine größere dentale Erweiterung des Zahnbogens bei T2 sinnvoll ist. Dies muss aber auch in Hinblick auf den knöchernen Zuwachs und die Langzeitstabilität beantwortet werden.

Unter Verwendung dentaler und hybrider Distraktoren beschreiben Niculescu et al. eine größere skelettale Erweiterung des Zahnbogens bei den kombinierten Distraktoren. Die größere dentale Erweiterung war bei ihnen in der Gruppe der dentalen Distractionen zu beobachten. Während der Distraction erzielte der kombinierte Distraktor eine mehr parallele Erweiterung des basalen und alveolären Knochens als der dentale Distraktor.

Tab. 3: Vergleich der Ergebnisse mit anderen Studien. Absolute Differenzen der Bezugswerte in mm zwischen Zeitpunkt **T2 und T1** und Mittelwerte aller Studien, k.A.= keine Angabe in der Publikation

Studie	Distraktor	Distr.maß T2 (mm)	DM T2 (mm)	EZA T2 (mm)	VZB T2 (mm)	HZB T2 (mm)
vorl. Studie	ossär	6,70	3,75	4,00	4,12	2,65
Gunbay	ossär	6,48	2,14	3,85	5,43	3,71
King	kombiniert	6,37	5,75	5,68	4,90	3,14
Mommaerts	ossär	k.A.	3,50	5,90	4,40	1,30
Niculescu	dental	k.A.	5,83	4,73	6,46	2,20
Niculescu	kombiniert	k.A.	5,92	6,33	7,29	3,25
Mittelwert	-	-	4,48	5,08	5,43	2,71

Tab. 4: Vergleich der Ergebnisse mit anderen Studien. Absolute Differenzen der Bezugswerte in mm zwischen Zeitpunkt **T3 und T1** und Mittelwerte aller Studien, k.A.= keine Angabe in der Publikation

Studie	Distraktor	Distr.maß T2 (mm)	DM T3 (mm)	EZA T3 (mm)	VZB T3 (mm)	HZB T3 (mm)
vorl. Studie	ossär	6,70	0,25	2,14	3,83	3,33
Del Santo	dental	8,10	k.A.	2,40	4,20	5,00
King	kombiniert	6,37	0,28	1,87	3,88	2,60
Niculescu	dental	k.A.	0,30	1,85	4,25	2,62
Niculescu	kombiniert	k.A.	0,26	1,65	3,51	2,42
Mittelwert	-	-	0,27	1,98	3,93	3,19

4.3.1 Vordere Zahnbogenbreite (VZB)

In der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass sich durch Distraction die vordere Zahnbogenbreite bei einem Distaktionsausmaß von 6,7 mm (7,15 mm röntgenologisch ermittelt) um durchschnittlich 4,12 mm vergrößerte. Dieser Therapieerfolg blieb auch nach kieferorthopädischer Ausformung der Zahnbogens mit 3,83 mm relativ stabil. Der Spearman'sche Rangkorrelationskoeffizient zeigte mit 0,64 eine mittlere und die zugleich die höchste Korrelation aller Messstrecken. Korrelationen der Zahnbogenerweiterung in Bezug auf das Distaktionsmaß liegen von anderen Arbeitsgruppen bisher nicht vor. Jedoch beschreiben auch Niculescu et al. und King et al. unter Verwendung kombinierter Distraktoren bei ihren Modellmessungen der Prämolarenstrecken die größte Signifikanz .

Del Santo et al. beobachteten in ihrer Modellanalyse (dentale Distraction, T1-T3) einen Breitenzunahme zwischen den ersten Prämolaren von durchschnittlich 3,5 mm und den zweiten Prämolaren von durchschnittlich 4,9 mm und bestätigen damit diesen Trend. Sie setzten aber zahngetragene Distraktoren ein und geben ein Distaktionsausmaß von 8,1 mm an. Auch Mommaerts et al. berichten bei den ersten Prämolaren von einer ähnlichen Verbreiterung von 4,4 mm (ossäre Distraction, T2). Gunbay et al. fanden im Zuge ihrer Untersuchung von 7 Patienten mit knochenverankerten Distraktoren in der Modellanalyse bei einem Distaktionsausmass von 6,48 mm höhere Werte. Sie geben bei den ersten Prämolaren eine Vergrößerung von 5,78 mm und bei den zweiten Prämolaren von 5,07 mm an. Niculescu at al. sahen bei T2 die höchsten Werte aller Studien mit 6,46 mm bei dentaler und 7,29 mm bei kombinierter Distraction.

4.3.2 Hintere Zahnbogenbreite (HZB)

Analog zu den Veränderungen bei der vorderen Zahnbogenbreite ergab sich bei der hinteren Zahnbogenbreite eine Vergrößerung um durchschnittlich 2,65 mm (T2). Diese geringere Zunahme lässt sich mit der im Unterkiefer am weitesten vom Distraktor entfernten Messstrecke begründen. Auch Del Santo et al. beschreiben

einer größere anteriore und kleinere posteriore Öffnung des durch Distraction entstehenden Winkels. Die hintere Zahnbogenbreite ist die einzigste Messstrecke, bei der in T3 sogar eine weitere Ausdehnung von 3,33 mm zu beobachten war. Dies kann durch die kieferorthopädische Behandlung mit der Ausformung des Zahnbogens erklärt werden. Der Spearmansche Rangkorrelationskoeffizient zeigte auch hier mit 0,6 eine mittlere Korrelation.

Del Santo et al. beobachteten in ihrer Modellanalyse (T1-T3, Messpunkte der zentralen Fossa) eine Verbreiterung zwischen den ersten Molaren von durchschnittlich 5,0 mm und den zweiten Molaren von durchschnittlich 4,1 mm und damit höhere Werte. Sie gaben aber auch ein größeres Distaktionsmaß von 8,1 mm an und setzten an den ersten Molaren befestigte Distraktoren ein, wo folglich auch die größte Erweiterung stattfindet. Auch beschreiben sie eine Kippung der beiden Unterkieferhälften, sodass die dentoalveoläre Weitung größer war als im Bereich der Unterkieferbasis. Wie Hollis et al. [1998] beschreiben, bewegt eine zahnverankerte Distaktionsvorrichtung die Zähne signifikant mehr als den Knochen. Alkan et al. [2007] sahen bei knochenverankerten Distraktoren eine mehr symmetrische Erweiterung. Mommaerts et al. berichten bei den ersten Molaren und ossärer Distraction von einem kleineren Wert von 1,3 mm (T2).

King et al. beobachteten bei den ersten Molaren und kombinierter Distraction einen Anstieg von 2,60 mm nach kieferorthopädischer Behandlung. Auch Niculescu et al. sahen hier nahezu identische Werte mit 2,62 mm bei dentaler und 2,42 mm bei kombinierter Distraction. Von Gunbay et al. wurde eine Erweiterung von 3,71 mm beim ersten Molaren und ossärer Distraction beschrieben. Gemessen wurde hier jedoch der Abstand zwischen linker und rechter zentraler Fossa. Das Distaktionsmaß wurde mit 6,37 mm bzw. 6,48 mm angegeben.

4.3.3 Vordere Zahnbogenlänge (VZL)

Die Ergebnisse der vorderen Zahnbogenlänge änderten sich mit 0,86 mm nur wenig und blieben mit einer Verschmälerung von 0,07 mm bei T3 stabil. Ein Spearmanscher Rangkorrelationskoeffizient von 0 zeigt eine rein zufällige Verteilung, d.h. es ist nicht möglich aus einem bestimmten Distaktionsmaß die zugehörige

vordere Zahnbogenlänge zu berechnen. Dies ist auch damit zu erklären, dass diese Messstrecke als einzige senkrecht zur Distraktionsrichtung liegt. Darüber hinaus wird die vordere Zahnbogenlänge durch gleichzeitige Messung von zwei Strecken ermittelt, was Identifikations- und Messfehler der modellanalytischen Strukturen erhöht. Messungen dieser Bezugsstrecke in den anderen Studien liegen nicht vor.

4.3.4 Eckzahnabstand (EZA)

In der vorliegenden Untersuchung konnte gezeigt werden, dass die Intereckzahnbreite mit einem Zuwachs von 4 mm deutlich beeinflusst wird. Dies ist nicht überraschend, da diese transversale Messstrecke und das Diastema mediale nahe am Distraktor liegen. Dennoch zeigt sie den gleichen T2 Wert wie die vordere Zahnbogenbreite. Nach Schluss der Distraktionslücke (T3) war noch ein vergrößerter Abstand von 2,14 mm zu beobachten. Der Spearman'sche Rangkorrelationskoeffizient von 0,4 ist mittel bis schwach.

Del Santo et al. beobachteten in ihrer Modellanalyse (dentale Distraktion, T1-T3) einen Breitenzunahme zwischen den Eckzähnen von durchschnittlich 2,4 mm und bestätigen damit diesen Trend. Ebenso King et al., die einen Anstieg von 1,87 mm bei kombinierter Distraktion und nach kieferorthopädischer Behandlung beschreiben. Mommaerts et al. berichten im Eckzahnbereich von einem höheren Wert von 5,9 mm (ossäre Distraktion, T2). Auch Niculescu et al. sahen bei T2 höhere Werte mit 4,73 mm bei dentaler und 6,33 mm bei kombinierter Distraktion. Bei T3 wurde jedoch wieder von deutlich kleineren Werten mit 1,85 bzw. 1,65 mm berichtet. Gunbay et al. sahen bei ebenfalls ossärer Distraktion und T2 eine Verbreiterung von 3,85 mm, was weitgehend den Befund der vorliegenden Studie bestätigt.

4.3.5 Medianes Diastema (DM)

Mit 3,75 mm verzeichnete das Diastema mediale eine deutliche Vergrößerung und wurde nach knöcherner Konsolidierung des Distraktionsspaltens durch die kieferorthopädische Behandlung fast vollständig geschlossen. Der Spearman'sche

Rangkorrelationskoeffizient war mit 0,27 schwach. Wie bereits diskutiert, wurden hier in den Schädel p.-a. Aufnahmen patientenindividuelle Unterschiede beobachtet, was eine Ursache für die schwache Korrelation sein könnte.

4.3.6 Protrusion, Inklination (1MeGo)

Es zeigte sich, dass der Inzisalwinkel durch die Distraction und nachfolgende kieferorthopädische Behandlung nur wenig beeinflusst wird und daher über eine weitgehende Stabilität in Folge der erzielten therapeutischen Verbreiterung berichtet werden kann. Im Mittel ergab sich eine Differenz von $0,5^\circ$ von T3 zu T1 und damit eine leichte Vergrößerung des Wertes nach Auswertung der Fernröntgenseitenbilder. Bei einem Absolutwert zum Zeitpunkt T3 von im Mittel $93,67^\circ$ liegt dieser noch weitgehend im Bereich der Norm von $90^\circ \pm 3^\circ$. Die Standardabweichung beträgt $4,36^\circ$. Diese Ergebnisse decken sich jedoch nicht mit Angaben in der Literatur. Del Santo et al. fanden eine Vergrößerung von $5,8^\circ$ bei einem Mittelwert von $95,7^\circ$, dies jedoch zum Zeitpunkt nach dentaler Distraction (T2). Gunbay et al. berichten im Zuge ihrer Untersuchung von 7 Patienten mit knochenverankerten Distraktoren von einer Vergrößerung von $2,78^\circ$ bei einem absoluten Mittelwert von $95,64^\circ$, ebenfalls zum Zeitpunkt nach Distraction (T2). Übereinstimmend ist aber in allen drei Studien eine Vergrößerung- wenn auch in unterschiedlichem Ausmaß- festzustellen.

4.3.7 Parodontale Untersuchung

Während der Distractionbehandlung (T1 – T3) konnten die Taschentiefen stabil gehalten werden. Insgesamt wiesen sie physiologische Tiefen von 1 – 2 mm auf. Die Beurteilung von Behandlungserfolg bzw. Misserfolg muss jedoch unter Berücksichtigung des Auftretens von Rezessionen erfolgen. Der präoperative Wert betrug an Zahn 31 distal 1,76 mm, nach kieferorthopädischem Lückenschluss 2,06 mm. Somit ist hier eine geringere Zunahme festzustellen. An diesem Zahn wurden auch die meisten Rezessionen beobachtet.

Während Kewitt und Van Sickels [1999] sowie Sukurica et al. [2010] keine pathologischen parodontalen Veränderungen feststellten, fanden Mommaerts et al. 2005 bei 14 Patienten Taschentiefen von 2,4 mm bei den mittleren Schneidezähnen vor Operation, 3 mm am Ende der aktiven Distraktionsphase, und 2,6 mm nach einem Jahr. Sie beobachteten insbesondere direkt nach Entfernung des Distraktors und ebenfalls an Zahn 31 die deutlichste Vergrößerung der Taschentiefe, möglicherweise aufgrund reduzierter Oralhygiene.

In die Untersuchung der Rezessionen wurden in dieser Studie 17 Patienten einbezogen. An Zahn 31 wurden zum Zeitpunkt T3 bei 7 Patienten (T1 bei 2 Patienten) Rezessionen beobachtet, an Zahn 41 nur bei einem Patienten. Der Einfluss iatrogenen Faktoren im Rahmen der Distraktionsbehandlung ist nahe liegend.

4.4 Schlussfolgerung

1. Die Erweiterung des Zahnbogens durch mediane Distraction ist erwartungsgemäß bei den transversalen und dem Distraktor nahe liegenden Messstrecken am größten. Bei der in sagittaler Richtung gemessenen vorderen Zahnbogenlänge wurden demnach die geringsten Zuwächse gefunden. Bei dem Ausmaß der Erweiterung sind patientenindividuelle Unterschiede zu beobachten. Die Werte des Distaktionsausmaßes betragen im Mittel 6,70 mm bei Modellmessung und 7,15 mm bei röntgenologischer Messung. Zum Zeitpunkt T2 wurden Vergrößerungen der transversalen Messstrecken von 2,65 bis 4,12 mm gefunden. Nach kieferorthopädischer Ausformung des Zahnbogens (T3) wurden Änderungen der transversalen Werte von durchschnittlich 0,25 bis 3,83 mm zu T1 beobachtet. Die vordere Zahnbogenlänge wurde mit 0,86 mm (T2) und 0,07 mm (T3) kaum verändert.

2. Die Spearman'schen Rangkorrelationskoeffizienten dieser Studie zeigten schwache bis mittlere Korrelationen, so dass derzeit aus dem Distaktionsausmaß noch keine sicheren Vorhersagen auf eine bestimmte Erweiterung des Zahnbogens getroffen werden können, d.h. es ist nicht möglich, aus einem bestimmten Distaktionsausmaß die zugehörige Zahnbogenlänge sowie die Zahnbogenbreiten zu berechnen.

3. Es zeigte sich, dass der Inzisalwinkel und die Protrusion durch die Distraction und nachfolgende kieferorthopädische Behandlung nur wenig beeinflusst werden und daher über eine weitgehende Stabilität in Folge der erzielten therapeutischen Verbreiterung berichtet werden kann.

4. Während der Distaktionsbehandlung (T1 – T3) konnten die Taschentiefen stabil gehalten werden. Insgesamt wiesen sie physiologische Tiefen von 1 – 2 mm auf. Die Beurteilung von Behandlungserfolg bzw. Misserfolg muss jedoch unter Berücksichtigung des Auftretens von Rezessionen erfolgen. Der Einfluss iatrogenen Faktoren durch die Distaktionsbehandlung ist nahe liegend.

5 Zusammenfassung

Problematic: Wachstumsbedingte Missverhältnisse zwischen Knochen- und Zahnangebot führen im Unterkiefer zu frontalem Engstand oder Protrusionsstellung der Incisivi. Die Extraktion von Zähnen kann das Missverhältnis ausgleichen. Zum Erhalt der Zähne ist aber auch eine Vergrößerung des Kieferkörpers durch mediane Unterkieferdistraktion möglich. Die eng stehenden oder protrudierten Frontzähne werden mit kieferorthopädischer Hilfe zu einem normalen Zahnbogen ausgeformt. Mit dieser Methode wird auch eine Vergrößerung der Eckzahndistanz erreicht.

Material und Methodik: Bei 16 weiblichen und 14 männlichen Patienten im Alter von 10 bis 51 Jahren wurden in Allgemeinnarkose mediane Unterkieferdistraktionen mit einem bukkal applizierten, knochenverankerten Distraktor durchgeführt. Die dentalen und skelettalen Veränderungen wurden mit Hilfe von Modellanalysen, Röntgenbildern und parodontalen Messungen untersucht, dokumentiert und statistisch ausgewertet. Die Untersuchungszeitpunkte waren präoperativ (T1), nach Ende der Distraktion (T2) und am Ende der kieferorthopädischen Ausformung des Zahnbogens (T3).

Ergebnisse: In der Modellanalyse wurde ein Distraktionsausmaß am aktivierten Distraktor zwischen Aussen- und Innenhülse von im Mittel 6,7 mm gemessen. Durch die Distraktion wurde die vordere Zahnbogenbreite um durchschnittlich 4,12 mm =T2 vergrößert. Zum Zeitpunkt T3 blieb diese Distanz mit 3,83 mm relativ stabil. Bei der hinteren Zahnbogenbreite wurde eine Distraktion von im Mittel 2,65 mm=T2 und 3,33 mm=T3 beobachtet. Die vordere Zahnbogenlänge zeigte eine Distraktion von im Mittel 0,86 mm=T2 und 0,07 mm=T3. Der Eckzahnabstand zeigte eine Distraktion von im Mittel 4,0 mm=T2 und 2,14 mm=T3. Es bildete sich ein dentaler Distraktionsspalt von im Mittel 3,75 mm=T2, der durch die kieferorthopädische Behandlung in der Regel geschlossen wurde (0,25 mm=T3). Eine stabile Normgröße des Frontzahnwinkels kann nach röntgenologischer Analyse erhalten oder durch die

begleitende kieferorthopädische Therapie erreicht werden. Während der Distraktionsbehandlung konnten die parodontalen Taschentiefen stabil gehalten werden. Insgesamt wiesen sie physiologische Tiefen von 1 – 2 mm auf. Zum Zeitpunkt T3 wurden jedoch bei 7 von 17 Patienten an Zahn 31 Rezessionen beobachtet, an Zahn 41 bei einem Patienten.

Diskussion: Zahnbogenverlauf und Eckzahnabstand ändern sich durch die mediane Unterkieferdistaktion mit begleitender kieferorthopädischer Therapie zum Vorteil des Patienten. Weitere Vorteile sind der Platzgewinn durch die Vergrößerung des Unterkiefers und die Vermeidung der Extraktion gesunder Zähne bei Engständen. Mit den gewählten Bezugswerten lassen sich die Veränderungen im Unterkiefer nachvollziehen. Durch computergestützte Modellinformation ist es zudem möglich Wegdiagramme mit Darstellung der Wanderung der Messpunkte im zeitlichen Verlauf zu erstellen. Die gefundenen Werte werden jedoch durch patientenindividuelle, physiologische und anatomische Einflussfaktoren überlagert. Die beschriebene mediane Distaktion am Unterkiefer hat sich in der Behandlung als effizient erwiesen und neue kieferorthopädische Behandlungsmethoden ermöglicht. Schwache bis mittlere Korrelationen erschweren bisher die Vorhersagbarkeit einer bestimmten Erweiterung des Zahnbogens aus dem Distraktionsmaß. Um eine Wurzelschädigung zu vermeiden, sollten die der Osteotomie benachbarten Wurzeln vollständig mit Knochen bedeckt sein. Dies ist jedoch auch bei subtiler Chirurgie nicht immer gegeben. In unserem Patientengut bestand kein Anhalt für manifeste, parodontale Schäden. Vermutlich können aber erst Langzeituntersuchungen definitiv darüber Aufschluss geben.

Folgerung: Der Unterkieferkörper kann durch die mediane Distaktion transversal erweitert werden. Der Zahnbogen und der Eckzahnabstand werden dadurch verlässlich vergrößert. Eine Extraktion von Zähnen kann in den meisten Fällen vermieden werden. Kieferorthopädische Behandlungsmaßnahmen erweitern die Therapie. Durch die mediane Unterkieferdistaktion erhält die Zunge mehr Platz und die Funktionen im stomatognathen System werden normalisiert.

6 Literaturverzeichnis

1. Alkan A., Özer M., Bas B., Bayram M., Celebi N., Inal S., Özden B.: Mandibular symphyseal distraction osteogenesis: review of three techniques. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 2007; 36: 111-117
2. Bayram M., Özer M., Alkan A.: Mandibular symphyseal distraction osteogenesis using a bone-supported distractor. *Angle Orthod* 2007; 77(4): 745-752
3. Bell W.H, Epker B.N.: Surgical orthodontic expansion of the maxilla. *Am J Orthod* 1976; 70: 517-528
4. Bell W.H., Gonzalez M., Samchukov M.L., Guerrero C.A.: Intraoral widening and lengthening of the mandible in baboons by distraction osteogenesis. *J Oral Maxillofac Surg* 1999; 57: 548-562
5. Bland J.M., Altman D.G.: Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986; i: 307-310
6. Boccaccio A., Cozzani M., Pappalettere C.: Analysis of the performance of different orthodontic devices for mandibular symphyseal distraction osteogenesis. *Eur J Orthod* 2011; 33(2): 113-120
7. Conley R., Legan H.: Mandibular symphyseal distraction osteogenesis: diagnosis and treatment planning considerations. *Angle Orthod* 2003; 73: 3-11
8. Dausch-Neumann D., In Schwenzer N.: Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde Bd.5 Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York 1987; 13-27, 135
9. Del Santo M., Guerrero C.A., Buschang P.H., English J.D., Samchukov M.L., Bell W.H.: Long-term skeletal and dental effects of mandibular symphyseal distraction osteogenesis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2000; 118: 485-93
10. Drescher D.: Fernröntgenanalyse. In Diedrich P.: Kieferorthopädie I, Urban & Fischer Verlag München, Jena 2000; 263-280
11. Fuhrmann R.A.W.: Die kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgische Behandlung. In Diedrich P.: Kieferorthopädie III, Urban & Fischer Verlag, München, Jena 2002; 129-130
12. Gebhart F.: Das Wirkungsspektrum des Positioners. Medizinische Dissertationsschrift, München 2005

13. Göz G., Klotz J., Aschenbrenner M.: Einführung in die Kieferorthopädie, Skript zur Vorlesung, Tübingen 1992; 22-29 (Persönliche Mitteilung)
14. Göz G.: Zahnextraktionen im Rahmen der Kieferorthopädie. In Diedrich P.: Kieferorthopädie III, Urban & Fischer Verlag, München, Jena 2002; 2-18
15. Grayson B.G., Santiago P.E.: Treatment planning and biomechanics of distraction osteogenesis from an orthodontic perspective. *Sem Orthod* 5, 1999; 9
16. Guerrero C.A., Bell W.H., Contasti G.I., Rodriguez A.M.: Mandibular widening by intraoral distraction osteogenesis. *Br J Oral Maxillofac Surg* 1997; 35: 383-392
17. Guerrero C.A., Bell W.H., Gonzalez M., Leeloy S.M.: Intraoral distraction osteogenesis. In: Fonseca R.J., Betts N.J., Turvey T.A. *Oral and Maxillofacial Surgery Bd. 2*, Saunders Philadelphia 2000; 359-402
18. Grouven U., Bender R., Ziegler A., Lange S.: Vergleich von Messmethoden. *Dtsch Med Wochenschr* 2007; 132: e69-e73
19. Gunbay T., Akay M.C., Aras A., Gomel M.: Effects of transmandibular symphyseal distraction on teeth, bone, and temporomandibular joint. *J Oral Maxillofac Surg* 2009; 67 (10): 2254-65
20. Hanson P.R., Melugin M.B.: Orthodontic management of the patient undergoing mandibular distraction osteogenesis. *Sem Orthod* 5, 1999; 25
21. Harms V.: *Biomathematik, Statistik und Dokumentation*. Harms-Verlag Kiel 1998
22. Hollis B.J., Block M.S., Gardiner D., Chang A.: An Experimental Study of Mandibular Arch Widening in the Dog Using Distraction Osteogenesis. *J Oral Maxillofac Surg* 1998; 56: 330-338
23. Iseri H., Malkoc S.: Long-term skeletal effects of mandibular symphyseal distraction osteogenesis. An implant study. *European Journal of Orthodontics* 2005; 27: 512-517
24. Kahl-Nieke B.: Retention, Stabilität, Rezidiv. In Diedrich P.: Kieferorthopädie III, Urban & Fischer Verlag, München, Jena 2002; 210-214
25. Keß K., Kolbowski J.: Computergestützte dreidimensionale Modellanalyse. *Prakt. Kieferorthop* 1990; 4:213-218

26. Kewitt G.F., Van Sickels J.E.: Long-term effect of mandibular midline distraction osteogenesis on the status of the temporomandibular joint, teeth, periodontal structures, and neurosensory function. *J Oral Maxillofac Surg* 1999; 57(12): 1419-1426
27. Kinast H.: Der exakte Nachweis kieferorthopädischer Zahnbewegungen mittels der fotometrischen Vermessungsmethode. *Fortschr. Kieferorthop.* 37 1976; 3: 332-346
28. King J.W., Wallace J.C., Winter D.L., Niculescu J.A.: Long-term skeletal and dental stability of mandibular symphyseal distraction osteogenesis with a hybrid distractor. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012; 141(1): 60-70
29. Kleber B.M.: Parodontologie. Kompendium für Studierende und Zahnärzte Deutscher Ärzte-Verlag Köln 1998; 13-28, 34, 57, 130
30. Korkhaus G.: Orthodontische Diagnostik, dreidimensionale Modellvermessung. *Fortschr. Zahnheilk.* 8 1932; 719
31. Melson B., Melson C.: Die Zukunft der virtuellen KFO-Welt. Interview in: *Kieferorthopädie Nachrichten* Nr.5 Mai 2006, 4. Jahrgang: 1-6
32. Mommaerts M.Y.: Transpalatal distraction as a method of maxillary expansion. *Br J Oral Maxillofac Surg* 1999; 37(4): 268-272
33. Mommaerts M.Y., Ali N., Correia P.: The concept of bimaxillary transverse osteodistraction: a paradigm shift? *Mund Kiefer Gesichtschir* 2004; 8: 211-216
34. Mommaerts M.Y., Polsbroek R., Santler G., Correia P.E.G.S., Abeloos J.V.S., Ali N.: Anterior transmandibular osteodistraction: clinical and model observations. *J Craniomaxillofac Surg* 2005; 33: 318-325
35. Mommaerts M.Y., Spaey Y.J.E., Soares Correia P.E.G., Swennen G.R.J.: Morbidity related to transmandibular distraction osteogenesis for patients with developmental deformities. *J Craniomaxillofac Surg* 2008; 36: 192-197
36. Müller H.P.: Parodontologie, Epidemiologie gingivaler Rezessionen, mukogingivale Chirurgie. Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York 2006; 78, 207
37. Niculescu J.A., King J.W., Lindauer S.J.: Skeletal and dental effects of tooth-borne versus hybrid devices for mandibular symphyseal distraction osteogenesis. *Angle Orthod* 2014; 84(1): 68-75
38. Orhan M., Malkoc S., Usumez S., Uckan S.: Mandibular symphyseal distraction and its geometrical evaluation: report of a case. *Angle Orthod* 2003; 73(2): 194-200

39. Profitt W.R., Ackerman J.L.: Diagnosis and treatment planning in orthodontics. In: Graber T.M., Vanarsdall R.L., eds. Orthodontics: Current Principles and Techniques, 2nd edn. Philadelphia: Mosby-Year Book, 1994: 3-95
40. Profitt W.R., White R.P.: The need for surgical-orthodontic treatment. In: Profitt W.R., White R.P., eds. Surgical Orthodontic Treatment, 3rd edn. St. Louis: Mosby-Year Book, 1991: 2-33
41. Raoul G., Wojcik T., Ferri J.: Outcome of mandibular symphyseal distraction osteogenesis with bone-borne devices. J Craniofac Surg 2009; 20(2): 488-493
42. Rosenthal W., In Sonntag E. und Rosenthal W.: Lehrbuch der Mund- und Kieferchirurgie. Georg Thieme Leipzig 1930: 173-175
43. Sander C.: Gaumennahterweiterung. In Sander F.G., Schwenger N., Ehrenfeld M.: Kieferorthopädie, Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York 2011; 197-207
44. Sander F.G., Tochtermann H.: Dreidimensionale computergestützte Modell- und Hologrammauswertung. Fortschr. Kieferorthop. 52 1991; 218-229 (Nr.4)
45. Sander F.G.: Modellanalyse. In Diedrich P.: Praxis der Zahnheilkunde, Kieferorthopädie I Urban & Fischer Verlag München, Jena 2000: 195-219
46. Sander F.G.: Kieferorthopädische Diagnostik, Modellanalyse, Röntgendiagnostik. In Sander F.G., Schwenger N., Ehrenfeld M.: Kieferorthopädie, Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York 2011; 21, 27-36
47. Santler G.: 3-D COSMOS: a new 3-D model based computerised operation simulation and navigation system. J Craniomaxillofac Surg 2000; 28: 287-293
48. Schwab W., Funk R.H.W.: Orofaziales System, Entwicklung und Morphologie. In Reitemeier B., Schwenger N., Ehrenfeld M.: Einführung in die Zahnmedizin, Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York 2006; 87-91
49. Schwarze C.W.: Behandlungsbeginn und Behandlungsdauer, Früher Frontengstand. In Diedrich P.: Kieferorthopädie II, Urban & Fischer Verlag, München, Jena 2000; 106
50. Seeberger R., Kater W., Davids R., Thiele O.C., Edelmann B., Hofele C., Freier K.: Changes in the mandibular and dento-alveolar structures by the use of tooth borne mandibular symphyseal distraction devices. J Craniomaxillofac Surg 2011; 39(3): 177-181
51. Stephan A.S.: Distractionsosteogenese in der Unterkiefersymphyse. Medizinische Dissertationsschrift, Berlin 2008

-
52. Sukurica Y., Gurel H.G., Mutlu N.: Six year follow-up of a patient treated with mandibular symphyseal distraction osteogenesis. *J Craniomaxillofac Surg* 2010; 38(1): 26-31
 53. Timms D.J.: Die Anfänge der forcierten Gaumennahterweiterung. *IOK*, 32. Jahrg. 2000, Nr. 2
 54. Tränkmann J.: Entwicklung der Dentition und Okklusion, Gebißentwicklung. In Diedrich P.: *Kieferorthopädie I*, Urban & Fischer Verlag München, Jena 2000: 52-58
 55. Uckan S., Guler N., Arman A., Mutlu N.: Mandibular midline distraction using a simple device. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2005; 100(5): e85-91
 56. Wangerin K.: Distraction in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. *Mund Kiefer GesichtsChir* 2000; 4: 226-236
 57. Wassmund M.: *Lehrbuch der praktischen Chirurgie des Mundes und der Kiefer Bd.1* Verlag von Hermann Meusser Leipzig, 1935; 274-275
 58. Wehrbein H., Bauer W., Diedrich P.: Mandibular incisors, alveolar bone, and symphysis after orthodontic treatment. A retrospective study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996; 110(3): 239-246
 59. Weise W.: *Kieferorthopädische Kombinationstherapie*. Urban & Schwarzenberg, München-Wien-Baltimore 1992

7 Erklärung zum Eigenanteil der Dissertationsschrift

Die Arbeit wurde in der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie von Herrn Prof. Dr. Dr. S. Reinert betreut.

Die Studie, die dieser Dissertation zugrunde liegt, wurde von Herrn Prof. Dr. Dr. Dr. h. c. K. Wangerin und Herrn Dr. Dr. W. Zoder am Marienhospital Stuttgart konzipiert und durchgeführt.

Das Zusammentragen und die Auswertung der Gipsmodelle, Röntgenbilder und Messungen der parodontalen Taschentiefen erfolgte durch mich in Zusammenarbeit mit Herrn Dr. Dr. W. Zoder. Die Bearbeitung mit dem CAD-Programm VectorWorks wurde von mir durchgeführt.

Die statistische Auswertung erfolgte unter Anleitung von Herrn Dr. G. Blumenstock, Institut für Medizinische Biometrie. Die wissenschaftliche Auswertung und Interpretation der Ergebnisse wurde von mir durchgeführt.

Ich versichere, dass das Manuskript selbständig verfasst wurde und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet wurden.

Heilbronn, den 08.05.2019

Gildo Eisenhart

8 Veröffentlichung

Teile der vorliegenden Dissertationsschrift wurden bereits in der folgenden Publikation veröffentlicht. Verwendung mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature:

Zoder W., Eisenhart G., Wangerin K.: Therapie transversaler Diskrepanzen in der orthognathen Chirurgie. MKG-Chirurg 2011; 4: 160-170

9 Danksagung

Herrn Professor Dr. Dr. S. Reinert, Ärztlicher Direktor der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, möchte ich für die freundliche Betreuung meinen Dank aussprechen.

Ich danke Herrn Professor Dr. Dr. Dr. h. c. K. Wangerin, der mit der Überlassung des Themas diese Arbeit erst ermöglichte, für die wertvolle Unterstützung und Wegleitung.

Mein Dank gilt Herrn Oberarzt Dr. Dr. W. Zoder für seine Anregungen während der gesamten Zeit. Er stand in vielen Gesprächen immer konstruktiv und sehr hilfreich zur Seite.

Bei dieser Arbeit wurde die methodische Beratung des Instituts für Medizinische Biometrie der Universität Tübingen in Anspruch genommen. Für die Unterstützung möchte ich mich bei Herrn Dr. G. Blumenstock herzlich bedanken.

Weiter danke ich den Mitarbeitern des Marienhospitals in Stuttgart für ihre Hilfsbereitschaft, die mir bei der Erstellung dieser Arbeit entgegengebracht wurde.