

Aus der

Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Tübingen  
Abteilung Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und  
Gesichtschirurgie

**Die transversale Oberkieferdistraction im Erwachsenenalter-  
eine modellanalytische und röntgenologische retrospektive  
Untersuchung**

**Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Zahnheilkunde**

**der Medizinischen Fakultät  
der Eberhard Karls Universität  
zu Tübingen**

**vorgelegt von**

**Holjevac, Anna-Maria**

**2020**

Dekan: Professor Dr. B. Pichler

1. Berichterstatter: Professor Dr. Dr. S. Reinert  
2. Berichterstatter: Privatdozent Dr. A. Badke

Tag der Disputation: 03.08.2020

# Inhaltsverzeichnis

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Einleitung .....   | 1  |
| 2     | Material und Methoden .....  | 6  |
| 2.1   | Material .....   | 6  |
| 2.1.1 | Patientengut .....   | 6  |
| 2.1.2 | Hyrax®-Dehnapparatur .....   | 7  |
| 2.1.3 | Modellherstellung und Modellanalyse .....  | 8  |
| 2.1.4 | Röntgendiagnostik .....  | 8  |
| 2.1.5 | Statistik Software.....  | 8  |
| 2.2   | Methoden .....   | 9  |
| 2.2.1 | Operatives Vorgehen zur transversalen Oberkieferdistraction.....   | 9  |
| 2.2.2 | Behandlungsablauf .....  | 10 |
| 2.2.3 | Modellanalyse.....   | 12 |
| 2.2.4 | Modellanalytische und röntgenologische Messung der Schraubenexpansion .....  | 14 |
| 2.2.5 | Schädel p.a. Analyse.....  | 14 |
| 2.2.6 | Fernröntgenanalyse.....  | 16 |
| 2.3   | Statistik.....   | 18 |
| 2.3.1 | Statistische Auswertung.....   | 18 |
| 2.3.2 | Methodenfehler.....  | 19 |
| 3     | Ergebnisse .....   | 20 |
| 3.1   | Modellanalyse .....  | 20 |
| 3.1.1 | Vordere Zahnbogenbreite .....  | 20 |
| 3.1.2 | Hintere Zahnbogenbreite .....  | 22 |
| 3.1.3 | Korrelation zwischen der Distraction der vorderen Zahnbogenbreite und der hinteren Zahnbogenbreite zwischen t1 und t2..... | 25 |
| 3.1.4 | Korrelation zwischen der Distraction der vorderen Zahnbogenbreite und der Schraubenexpansion zwischen t1 und t2 .....      | 26 |
| 3.1.5 | Korrelation zwischen der Distraction der hinteren Zahnbogenbreite und der Schraubenexpansion zwischen t1 und t2 .....      | 27 |
| 3.1.6 | Vordere Zahnbogenlänge.....  | 28 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 3.2   | Schädel p.a.-Analyse.....   | 30 |
| 3.2.1 | Maxilla: Mx-Mx` .....   | 30 |
| 3.2.2 | Alveolarfortsatz: Av-Av` .....  | 32 |
| 3.2.3 | Korrelation zwischen der Distraction der knöchernen Oberkieferbasis und der Distraction im Bereich des Alveolarfortsatzes zwischen t1 und t2..... | 34 |
| 3.2.4 | Korrelation zwischen der Distraction der knöchernen Oberkieferbasis und der Schraubenexpansion zwischen t1 und t2 .....                           | 35 |
| 3.2.5 | Korrelation zwischen der Distraction im Bereich des Alveolarfortsatzes und der Schraubenexpansion zwischen t1 und t2 .....                        | 36 |
| 3.3   | Fernröntgenanalyse .....  | 37 |
| 4     | Diskussion .....  | 39 |
| 4.1   | Material- und Methodenkritik.....   | 40 |
| 4.2   | Ergebniskritik.....   | 48 |
| 4.2.1 | Dentale Auswirkungen in der Transversalen.....  | 48 |
| 4.2.2 | Skelettale Auswirkungen in der Transversalen .....  | 52 |
| 4.2.3 | Skelettale Auswirkungen in der Sagittalen.....  | 54 |
| 5     | Zusammenfassung .....   | 58 |
| 6     | Literaturverzeichnis .....  | 60 |
| 7     | Erklärung zum Eigenanteil.....  | 68 |

## Abbildungsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 1: Altersverteilung weiblicher Patienten   | 6  |
| Abbildung 2: Altersverteilung männlicher Patienten   | 7  |
| Abbildung 3: Oberer Schmalkiefer mit Hyrax®-Dehnapparatur in situ  | 7  |
| Abbildung 4 und 5: Osteotomielinien zur transversalen Oberkieferdistraktion, modifiziert aus: Sobotta Atlas der Anatomie, 24. Auflage 2017 | 10 |
| Abbildung 6: Ventrale 3D-CT Ansicht der transversaler Oberkieferdistraktion  | 11 |
| Abbildung 7: Methodisches Vorgehen bei transversaler Distraktion des schmalen Oberkiefers  | 11 |
| Abbildung 8a: t0-prä-Op  | 12 |
| Abbildung 8b: t2-Distraktionsende  | 12 |
| Abbildung 8c: t3-KFO-Nachbehandlung  | 12 |
| Abbildung 9: vordere und hintere Zahnbogenbreite   | 13 |
| Abbildung 10: vordere Zahnbogenlänge   | 13 |
| Abbildung 11 und 12: Modellanalytische und kephalometrische Darstellung der Schraubenexpansion   | 14 |
| Abbildung 13 und 14: Referenzpunkte Schädel p.a.-Analyse   | 15 |
| Abbildung 15: vertikale Kieferrelation und Frontzahnachsen nach Hasund   | 16 |
| Abbildung 16 a-c: OK1-NSL° : Beispiele für verschiedene Winkel zwischen Schneidezahnachse OK1 und NSL t1-t3                                | 17 |
| Abbildung 17: Scatterplot Matrix vordere Zahnbogenbreite t2-t1   | 20 |
| Abbildung 18: Scatterplot Matrix vordere Zahnbogenbreite t3-t1   | 21 |
| Abbildung 19: Scatterplot Matrix vordere Zahnbogenbreite t3-t2   | 21 |
| Abbildung 20: Scatterplot Matrix hintere Zahnbogenbreite t2-t1   | 22 |
| Abbildung 21: Scatterplot Matrix hintere Zahnbogenbreite t3-t1   | 23 |
| Abbildung 22: Scatterplot Matrix hintere Zahnbogenbreite t3-t2   | 23 |

|   |    |
|---|----|
| Abbildung 23: Scatterplot Matrix Differenz hinten zu Differenz vorne t2-t1  | 24 |
| Abbildung 24: Bivariates Streuungsdiagramm Differenz hintere Zahnbogenbreite t2-t1 zu Differenz vordere Zahnbogenbreite t2-t1 | 25 |
| Abbildung 25: Bivariates Streuungsdiagramm Differenz vordere Zahnbogenbreite t2-t1 zu Schraubenexpansion                      | 26 |
| Abbildung 26: Bivariates Streuungsdiagramm Differenz hintere Zahnbogenbreite t2-t1 zu Schraubenexpansion                      | 27 |
| Abbildung 27: Scatterplot Matrix vordere Zahnbogenlänge t2-t1   | 28 |
| Abbildung 28: Scatterplot Matrix vordere Zahnbogenlänge t3-t1   | 29 |
| Abbildung 29: Scatterplot Matrix vordere Zahnbogenlänge t3-t2   | 29 |
| Abbildung 30: Scatterplot Matrix $Mx-Mx'$ t2-t1   | 30 |
| Abbildung 31: Scatterplot Matrix $Mx-Mx'$ t3-t1   | 31 |
| Abbildung 32: Scatterplot Matrix $Mx-Mx'$ t3-t2   | 31 |
| Abbildung 33: Scatterplot Matrix $Av-Av'$ t2-t1   | 32 |
| Abbildung 34: Scatterplot Matrix $Av-Av'$ t3-t1   | 33 |
| Abbildung 35: Scatterplot Matrix $Av-Av'$ t3-t2   | 33 |
| Abbildung 36: Bivariates Streuungsdiagramm $\Delta Av-Av'$ t2-t1 zu $\Delta Mx-Mx'$ t2-t1                                     | 34 |
| Abbildung 37: Bivariates Streuungsdiagramm $\Delta Mx-Mx'$ t2-t1 zu Schraubenexpansion  | 35 |
| Abbildung 38: Bivariates Streuungsdiagramm $\Delta Av-Av'$ t2-t1 zu Schraubenexpansion  | 36 |
| Abbildung 39: Scatterplot Matrix OK1-NSL <sup>o</sup> t2-t1   | 37 |
| Abbildung 40: Scatterplot Matrix OK1-NSL <sup>o</sup> t3-t1   | 37 |
| Abbildung 41: Scatterplot Matrix OK1-NSL <sup>o</sup> t3-t2   | 38 |

## Tabellenverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Tabelle 1: Methodenfehler  | 19 |
| Tabelle 2: Korrelation Distraction vordere Zahnbogenbreite und hintere Zahnbogenbreite t2-t1 | 25 |
| Tabelle 3: Korrelation Distraction vordere Zahnbogenbreite und Schraubenexpansion t2-t1      | 26 |
| Tabelle 4: Korrelation Distraction hintere Zahnbogenbreite und Schraubenexpansion t2-t1      | 27 |
| Tabelle 5: Korrelation $\Delta Av-Av'$ und $\Delta Mx-Mx'$ t2-t1                             | 34 |
| Tabelle 6: Korrelation $\Delta Mx-Mx'$ und Schraubenexpansion t2-t1                          | 35 |
| Tabelle 7: Korrelation $\Delta Av-Av'$ und Schraubenexpansion t2-t1                          | 36 |
| Tabelle 8: Patientengut Vergleichsstudien  | 41 |
| Tabelle 9: Rezidivraten Vergleichsstudien  | 51 |

## Abkürzungsverzeichnis

|                     |   |
|---------------------|---|
| <b>Av</b>           | Referenzpunkt an Übergangspunkt zwischen Zahnkrone und Zahnwurzel               |
| <b>Av-Av`</b>       | Ausmaß der Distraction im Bereich des Alveolarfortsatzes                        |
| <b>Correlation</b>  | Pearsonsche Korrelationskoeffizient zwischen den Werten zum Zeitpunkt t1 und t2 |
| <b>FRS</b>          | Fernröntgenseitenbild   |
| <b>GNE</b>          | Gaumennahterweiterung   |
| <b>MX</b>           | Referenzpunkt an größter Einziehung der Crista zygomaticoalveolaris             |
| <b>Mx-Mx`</b>       | Ausmaß der Distraction der knöchernen Oberkieferbasis                           |
| <b>N</b>            | Anzahl  |
| <b>Schädel p.a.</b> | Schädel-Röntgenaufnahme im posterior-anterioren Strahlengang                    |
| <b>t0</b>           | Zeitpunkt prä-Op  |
| <b>t1</b>           | Messzeitpunkt Distraktionsbeginn  |
| <b>t2</b>           | Messzeitpunkt Distraktionsende  |
| <b>t3</b>           | Messzeitpunkt KFO-Behandlungsende   |
| <b>TPD</b>          | Transpalatal Distractor, knochenverankerter Distraktor nach Mommaerts           |
| <b>Δ</b>            | Differenz   |



# 1 Einleitung

Die Entwicklung des Gebisses beim Menschen ist außerordentlich kompliziert, da sie zwei aufeinander folgende Zahnsysteme, Milchzähne und bleibende Zähne, und das gesamte Wachstum des Schädels in Übereinstimmung zu bringen hat. Die 20 Milchzähne brechen im Alter von etwa 6 Monaten bis zum 5. Lebensjahr in einem fein aufeinander abgestimmten System nacheinander im Ober- und Unterkiefer so durch, dass die Kinder beim Wechsel von flüssiger zu breiiger und dann zu fester Nahrung diese mit ihren Milchzähnen zum richtigen Entwicklungszeitpunkt auch regelrecht zerkleinern können (Lehmann 1998, Lundström 1968, Stöckli 1994). Brechen die Milchzähne jedoch bedingt z.B. durch Wachstums- oder Funktionsstörungen nicht regelrecht durch, kann eine Störung der Verzahnung resultieren. Dieser Fehlbiss kann frühzeitig durch funktionskieferorthopädische Behandlungsmaßnahmen mit herausnehmbaren Geräten, wie z.B. einer Dehnplatte, korrigiert werden.

Tritt eine solche Störung der Verzahnung erst später auf, z.B. im Wechselgebiss oder während des pubertären Wachstumsschubes, wenn bis auf die Weisheitszähne bereits alle bleibenden Zähne durchgebrochen sind, kann der Kieferorthopäde mit einer an den Zähnen festsitzenden Spange die Stellung der bleibenden Zähne regulieren (Kahl-Nieke 1995). Als festsitzende Geräte werden der W-Bogen und die Quad-Helix eingesetzt. Im Sinne einer forcierten Gaumennahterweiterung, die bis zum 15. Lebensjahr meistens noch möglich ist (Latham und Burston 1966), kommt die Hyrax®-Dehnapparat zur Anwendung.

Insbesondere während des pubertären Wachstums, wenn die kieferorthopädische Behandlung oft bereits mit einem guten Behandlungsergebnis abgeschlossen ist, kann es in Einzelfällen noch zu einem unvorhersehbaren Wachstumsschub auch im Bereich der Kiefer kommen, der das erreichte Behandlungsergebnis wieder zerstört und auch zu einer knöchernen Fehllage der Kiefer führt. Die Behandlung einer solchen schweren Bissanomalie ist umfangreich. Sie bedarf einer erneuten kieferorthopädischen und einer zusätzlichen MKG-chirurgischen Behandlung. Der Kieferorthopäde führt nach Ende des Wachstums zunächst die Ausformung beider Zahnbögen durch und dann korrigiert der MKG-Chirurg die Fehllage der Kiefer. Anschließend führt der Kieferorthopäde seine

Zahnregulierungen fort, bis die Verzahnung des bleibenden Gebisses normalisiert ist. Solche Kombinationsbehandlungen dauern in der Regel etwa 2-3 Jahre.

In noch schwereren Fällen skelettaler Fehlbisse mit noch umfangreichem dreidimensionalem Fehlwachstum im Mittel- und Untergesichtsbereich muß zweizeitig operativ vorgegangen werden. In solchen Fällen liegt oft ein transversal schmaler Oberkiefer vor, der zunächst operativ erweitert werden muß, bevor ein Jahr später die simultane Verlagerung von Ober- und Unterkiefer erfolgen kann (Wangerin 2010).

Der zu schmale Oberkiefer, der zu einer transversalen Zahnbogendiskrepanz zum Unterkieferzahnbogen führt, kann verschiedene Ursachen haben. Er kann genetisch prädisponiert und in den vorausgehenden Generationen vermehrt vorgekommen sein, es können Zahnanlagen fehlen, so dass der Zahnbogen transversal zu klein ist oder es können funktionelle Einflüsse, z.B. Zungenhabits, Ursache dieses Fehlwachstums sein. Ein prolongiertes Lutsch-Habit ist auch eine häufig vorkommende frühkindliche Ursache eines Schmalkiefers.

Diese transversale Zahnbogendiskrepanz manifestiert sich durch ein- oder beidseitigen Kreuzbiss, omegaförmige Zahnbogenausformung, frontalen Engstand mit Rotationen, Kippungen oder Staffelstellungen von Zähnen im Oberkiefer.

Schon früh ist dieses Phänomen des schmalen Oberkiefers in der Literatur beschrieben worden und frühzeitig sind Behandlungsmaßnahmen erdacht worden (Angell 1860, Derichsweiler 1953, Haas 1961 und Biedermann 1968).

Die noch im Wachstum befindliche Gaumennaht wird konservativ durch eine Gaumennahtsprengung (GNE) bei Kindern und Jugendlichen gedehnt und so der Oberkiefer transversal erweitert. Während des pubertären Wachstumsschubs verknöchert die Sutur, bei Mädchen früher als bei Jungen (Baumrind 1990, Melsen 1975, Persson 1973, Timms 1981). Danach ist eine transversale Dehnung nur durch einen operativen Eingriff mit median-sagittaler Durchtrennung des Oberkiefers möglich. Die Oberkieferosteotomie mit alleiniger Durchtrennung der medianen sagittalen Sutur wurde erstmals von Brown im Jahre 1938 beschrieben. Hierbei werden die lateralen Nasenwände intakt gelassen. 1972 wurde von Steinhäuser eine totale Le-Fort-I-Osteotomie und eine median- sagittale Osteotomie zur Verbreiterung der Maxilla angegeben, wobei der entstandene Defekt in der Gaumenmitte durch ein Knochentransplantat ausgefüllt wird. Lines beschrieb 1975 eine Technik, die er als

maxilläre Kortikotomie bezeichnet und die eine Knochentransplantation überflüssig macht. Er geht davon aus, dass sich der Oberkiefer mit Hilfe von kieferorthopädischen Apparaturen dehnen lässt, wenn die Stützpfiler im Bereich der Apertura piriformis und Crista zygomatico-alveolaris durchtrennt werden. Der harte Gaumen wird zusätzlich in der Mittellinie sagittal osteotomiert und das knöcherne Nasenseptum abgetrennt. Bell und Epker beschrieben 1976 ein noch umfangreicheres operatives Verfahren. Sie durchtrennen auch noch die Verbindung zwischen Tuber maxillae und Processus pterygoideus ossis sphenoidalis, um dem knöchernen Widerstand bei der Distraction des Oberkiefers entgegenzuwirken.

Mit Etablierung der Distractionsmethoden in die Mund-, Kiefer und Gesichtschirurgie wurde aus der transversalen Oberkieferdehnung schließlich die transversale Oberkieferdistraction.

Ilizarov gebührt das Verdienst der grundlegenden wissenschaftlichen Erforschung der Distractionsosteogenese, einem biologischen Prozess, welcher neue Knochenformationen zwischen Knochenanteilen entstehen lässt, die graduiert auseinandergezogen werden (Ilizarov 1990). Er untersuchte zwei biologische Prinzipien, die später als „Ilizarov Effekt“ bezeichnet werden. Das erste biologische Prinzip besagt, dass der Stress, der durch wachsende Zugspannung und kontinuierliche Distraction auf den Knochen entsteht, einen fördernden Effekt auf die Regeneration desselben besitzt und somit zu aktivem Knochenwachstum führt. Das zweite biologische Prinzip besagt, dass Form und Menge des Knochens vom Einfluss der Blutversorgung und der Beanspruchung des Knochens abhängt. Ist die Blutversorgung insuffizient oder wird der Knochen zu stark beansprucht, findet keine ausreichende Regeneration des Knochengewebes im Distractionsspalt statt und als Folge kann es zu degenerativen Veränderungen kommen (Ilizarov 1989 a, Ilizarov 1989 b).

Im Erwachsenenalter ist eine transversale Oberkiefer-Dehnung ohne chirurgische Maßnahmen nicht möglich, da es sonst, bedingt durch den knöchernen Widerstand, zu einer Kippung der Zähne und nicht zu einer basalen Erweiterung der Maxilla kommt. Bei der Oberkieferschwächung wird lediglich eine anterior-mediane Oberkiefer-Osteotomie, eventuell in Kombination mit einer zusätzlichen Gaumenosteotomie, durchgeführt. Da es nach der anschließenden Oberkiefererweiterung oft zu Rezidiven

kommt, wird eine Überkorrektur angestrebt. Dies erschwert die kieferorthopädische Behandlung post operationem, da eine stabile Regelokklusion oft nicht erzielt werden kann. Durch eine totale maxilläre Osteotomie mit chirurgischer Öffnung der Gaumennaht, ggf. mit zwei paramedianen sagittalen Osteotomien, wie sie von uns heute angewandt wird, können Rezidive verhindert und somit die kieferorthopädische Behandlung unterstützt werden. Vor allem bei Patienten mit transversalem Defizit des Oberkiefers und ein-, oder beidseitigem Kreuzbiss können mithilfe dieser zweigeteilten Le-Fort-I-Osteotomie zuverlässige und stabile Resultate erzielt werden.

Die Osteotomie des Oberkiefers in der Le-Fort-I-Ebene ist heute aus dem Behandlungsrepertoire nicht mehr wegzudenken und hat die Voraussetzung für die heute routinemäßig durchgeführten bimaxillären Eingriffe geschaffen (Obwegeser 1976, Sailer 1990).

Kauffmann (2012) kommt in seiner retrospektiven Studie zu dem Ergebnis, dass bei der transversalen Oberkieferdistraktion die vordere und die hintere Zahnbogenbreite annähernd gleichmäßig zunehmen. Desweiteren kann er eine signifikante skelettale Erweiterung der knöchernen Oberkieferbasis und des Alveolarfortsatzes feststellen. Sowohl dental, als auch skelettal wurde von ihm kein Rezidiv festgestellt. Die Ergebnisse wurden im Untersuchungszeitraum bis zum Abschluss der Retentionsphase ermittelt.

Während in Kauffmanns Arbeit die empirischen Ergebnisse sechs Monate postoperativ im Mittelpunkt stehen, sollen in der hier vorliegenden retrospektiven Studie aus der gleichen Klinik Langzeitergebnisse an einem unterschiedlichem Patientengut mit einer Nachbeobachtungszeit bis 18 Monate postoperativ (Ende der Kieferorthopädischen Behandlung) erhoben werden. Beide Patientenkohorten weisen keinerlei Überlappung auf.

Es soll untersucht werden, ob es einen direkten Zusammenhang zwischen Ausmaß der Distraktion und Vergrößerung des Zahnbogens und der knöchernen Basis gibt.

## Fragestellung

Insbesondere sollen in der vorliegenden Untersuchung folgende Fragen geklärt werden:

1. Wie gleichmäßig nehmen die vordere und die hintere Zahnbogenbreite bei der transversalen Oberkieferdistraction zu; gibt es Korrelationen zwischen der Zunahme der vorderen- und hinteren Zahnbogenbreite?
2. Gibt es Korrelationen zwischen der Zunahme des Zahnbogens und dem Distractionsausmaß an der Hyrax-Dehnapparatur?
3. Wie gleichmäßig nehmen die knöcherne Oberkieferbasis  $Mx-Mx'$  und der Bereich des Alveolarfortsatzes  $Av-Av'$  bei der transversalen Oberkieferdistraction zu; gibt es Korrelationen zwischen der Distraction der knöchernen Oberkieferbasis und dem Bereich des Alveolarfortsatzes?
4. Gibt es Korrelationen zwischen der Distraction des knöchernen Oberkiefers und dem Distractionsausmaß an der Hyrax-Dehnapparatur?
5. In welchem Umfang kommt es zu dentalen und skelettalen Rezidiven nach Abschluss der kieferorthopädischen Behandlung?

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Material

#### 2.1.1 Patientengut

In der Klinik für Mund-, Kiefer- und plastische Gesichtschirurgie am Marienhospital in Stuttgart wurden 71 Patienten in einer retrospektiven Studie nachuntersucht, bei denen aufgrund einer transversalen Zahnbogendiskrepanz mit schmalem Oberkiefer eine transversale Oberkieferdistraction durchgeführt wurde. Es wurden alle Patienten mit einer Lippen-Kiefer-Gaumenspalte, syndromalen Erkrankung, kraniofazialer Fehlbildungen oder parodontaler Erkrankung von der Studie ausgeschlossen, ferner Patienten, die nicht-kaukasischer Abstammung waren.

Das Alter der Patienten lag zwischen 17 und 52 Jahren mit einem Mittelwert bei 28,1 Jahren und einem Median bei 25 Jahren. 42 Patienten im Alter von 17 bis 52 Jahren (Mittelwert 26,6 Jahre; Median 25 Jahre) waren weiblich. 29 Patienten im Alter von 18 bis 50 Jahren (Mittelwert 29,1 Jahre; Median 25 Jahre) waren männlich. Die Altersverteilung ist mit Mittelwert in den folgenden Abbildungen 1 und 2 dargestellt.

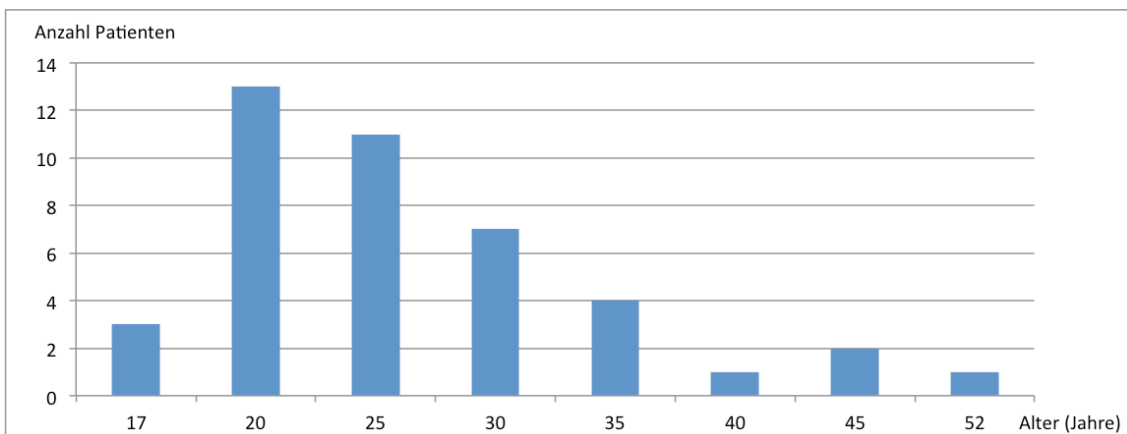


Abb. 1: Altersverteilung weiblicher Patienten - Mittelwert 26,6 Jahre

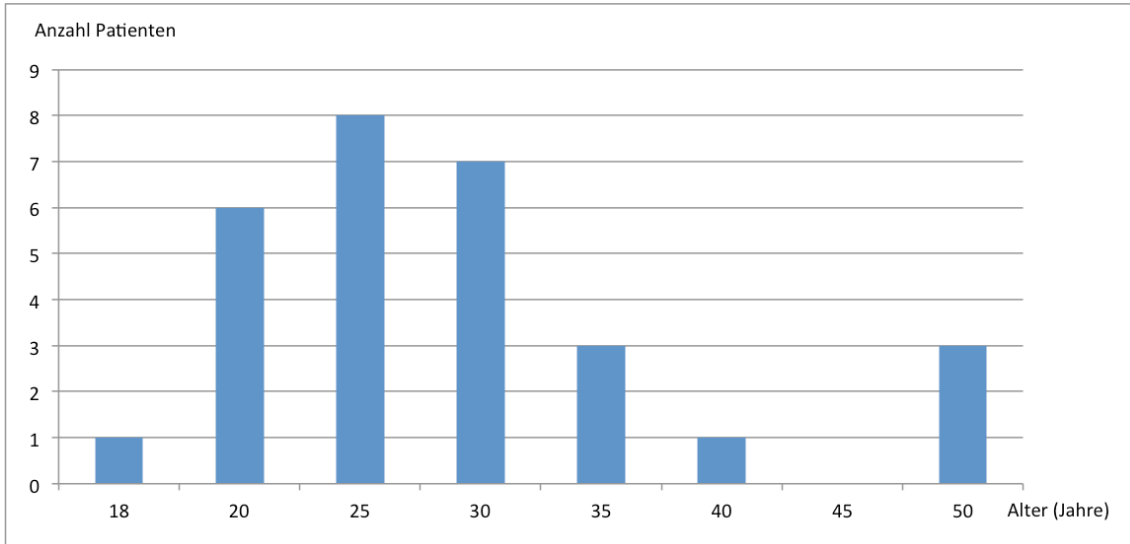


Abb. 2: Altersverteilung männlicher Patienten – Mittelwert 29,1 Jahre

### 2.1.2 Hyrax®-Dehnapparat

Durch das Dentallabor des behandelnden Kieferorthopäden wurde die Dehnapparat hergestellt und von den Patienten zum OP-Termin mitgebracht.

Die Hyrax®-Schraube (Fa. Dentaorium KG, Ispringen) ist eine richtungsstabile Dehnschraube mit zwei Führungsstäben und einer Gewindestange mit zur Hälfte einem Rechts- und Linksgewinde. Sie wird mit ihren vier stabilen Drahtarmen an kieferorthopädischen Bändern, die über die Prämolaren und Molaren des Oberkiefers gestülpt werden, festgelötet (Abb. 3).



Abb. 3: Oberer Schmalkiefer mit Hyrax®-Dehnapparat in situ (vor Aktivierung)

### **2.1.3 Modellherstellung und Modellanalyse**

Es wurden Abformungen vom Ober- und Unterkiefer mit Alginat-Abformmasse durchgeführt und danach mit Alabastergips zu Situationsmodellen ausgegossen. Ebenfalls wurde ein Wachsregistrat hergestellt, mit dem die Relation der Kiefer zueinander bestimmt werden konnte. Die Modelle von Ober- und Unterkiefer wurden dreidimensional getrimmt.

Für die Modellanalyse wurden die nachstehenden Hilfsmittel verwendet:

Orthodontisches diagnostisches Besteck nach Prof. Dr. Dr. Korkhaus (Fa. Seitz & Haag, Giessen), ein Lineal mit Millimetereinteilung, ein Zirkel (nach Korkhaus) zur Bestimmung der Zahnbogenbreite, Zahnbogenlänge und Messung der Schraubenexpansion.

### **2.1.4 Röntgendiagnostik**

#### **2.1.4.1 Hardware**

Sowohl die Schädel p.a. Aufnahmen als auch die Fernröntgenseitenbilder wurden in der radiologischen Abteilung des Marienhospitals Stuttgart mit dem Röntgengerät Sirona Orthophos Plus Ceph (Sirona Dental Systeme GmbH, Bensheim, Deutschland) erstellt.

#### **2.1.4.2 Software**

Die Vermessung der Röntgenbilder wurde direkt am Computermonitor mit Hilfe einer Maus unter Verwendung der Software J-Vision Version 3.3.13 (TIANI Medgraph AG, Brunn / Gebirge, Österreich) durchgeführt.

### **2.1.5 Statistik Software**

Die Daten wurden in Microsoft Excel 2009 gespeichert und eingelesen. Die Auswertung erfolgte mit dem Programm JMP 7.0.2. (SAS Institute Inc., SAS Campus Drive, Cary, North Carolina 27513).



## 2.2 Methoden

### 2.2.1 Operatives Vorgehen zur transversalen Oberkieferdistraktion

Die operative Mobilisation zur transversalen Distraktion des schmalen Oberkiefers wird in transnasaler Intubationsnarkose im Rahmen eines kurzen stationären Aufenthalts von 2-3 Tagen durchgeführt. Zuerst wird die Hyrax-Dehnapparatur, dessen Funktion vom Kieferorthopäden überprüft und die vorher in der Praxis provisorisch ohne Zement eingesetzt wurde, entfernt und gesäubert. Im Bereich der geplanten Inzisionen vestibulär und palatinal im Oberkiefer wird ein Lokalanästhetikum mit Adrenalinzusatz (Xylonest 0,5% mit Adrenalin 1 : 125000) eingespritzt, um die Menge an Narkotika und die lokale Blutung zu reduzieren. Nach Schnitt im Vestibulum von Regio 16-26, Freilegen der facialen Kieferhöhlenwand bis zum Tuberbereich und der Apertura piriformis einschließlich Nasenboden beidseits erfolgt in Höhe des Le-Fort-I-Levels die Durchtrennung beider lateraler Nasenwände von der Apertura piriformis bis zur pterygomaxillären Verbindung beidseits mit der längsoszillierenden Säge. Dabei sollte die Osteotomielinie möglichst horizontal verlaufen, um eine richtungsstabile Distraktion zu ermöglichen. Zusätzlich werden beidseits etwa 3-4 mm breite knöcherne Segmente aus der Crista zygomaticoalveolaris entfernt, um knöcherne Primärkontakte mit möglichen Segmentkippen während des Distraktionsvorgangs zu vermeiden (Abb. 4).

Die Spina nasalis anterior wird V-förmig von der Prämaxilla abgetrennt, um sie vom Distraktionsvorgang unbeeinflusst zu lassen. Sie bleibt am knorpeligen Septum gestielt. Es folgt die Mobilisation des Oberkiefers, ohne die pterygomaxilläre Verbindung völlig zu lösen oder eine down fracture vorzunehmen.

Danach erfolgt die mediansagittale Schleimhautschnittführung am Gaumen mit Freilegung des Gaumens. Unter Abhalten der gelösten Nasenbodenschleimhaut durch Einlegen von Raspatorien über die Naseneingänge in den Nasenboden beidseits, erfolgt die paramediansagittale Durchtrennung des knöchernen Gaumens bis zum Zwischenkiefer (Abb. 5).

Anschließend erfolgt die mediane Durchtrennung der Prämaxilla zwischen den mittleren Schneidezähnen von anterior mit dem Lambotte-Meißel. Es folgt die Mobilisation der beiden Oberkieferhälften und nach sorgfältiger Blutstillung Nahtverschluß aller OP-Zugänge palatinal und vestibulär beidseits. Anschließend wird

die Hyrax-Dehnapparatur mit Ketac Cem einzementiert. Es erfolgt zur Kontrolle der Oberkiefer-Mobilität eine Probedistraktion von 2-3 mm, ohne Papille und Gingiva zwischen den oberen Schneidezähnen zu zerreißen.

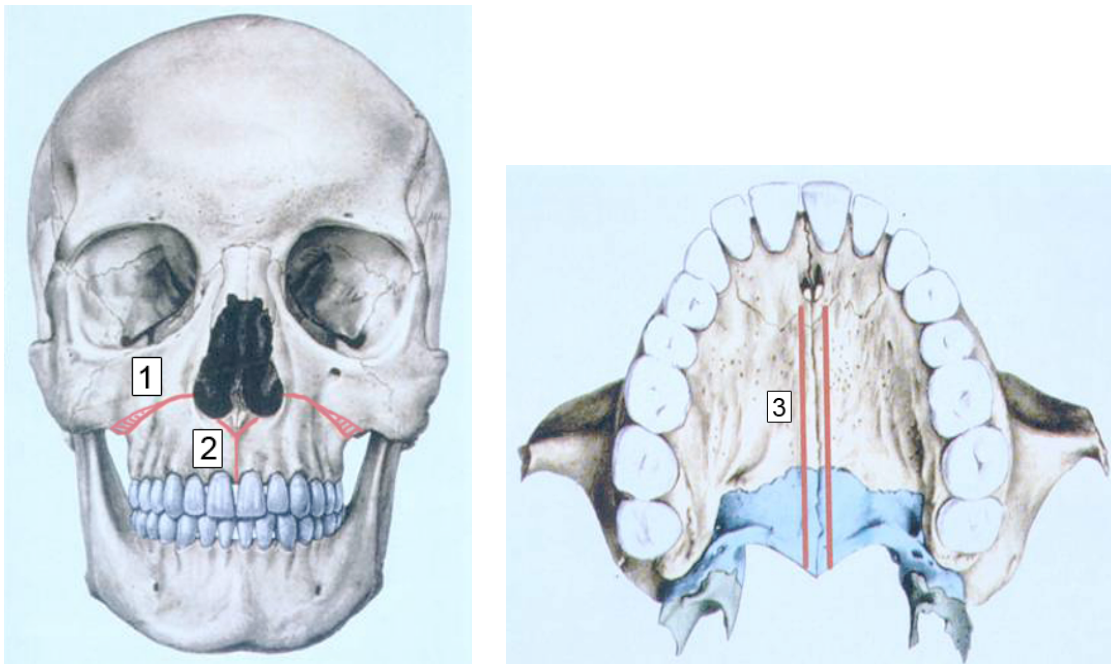


Abb. 4 und 5: Horizontale (1), vertikale (2) und sagittale (3) Osteotomielinien zur transversalen Oberkieferdistraktion (rot dargestellt)  
 Le-Fort I-Osteotomie (1), vertikale Osteotomie mit Aussparung der Spina nasalis anterior (2) und sagittale Osteotomie beidseits (3)  
 Schraffiert bei (1) dargestellt: keilförmige Segmentosteotomien zur Vermeidung von störenden knöchernen Primärkontakten die zu Kippungen während der Distraktion führen können  
 Beide Abbildungen modifiziert aus : Paulsen, Waschke, Sobotta Atlas der Anatomie, 24. Auflage 2017  
 © Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München

### 2.2.2 Behandlungsablauf

Am fünften Tag postoperativ wird mit der Distraktion im Oberkiefer begonnen. Die Patienten werden instruiert, zwei Mal täglich alle 12 Stunden über 10-14 Tage, in Abhängigkeit vom Ausmaß der geplanten Distraktion, die Hyrax-Dehnapparatur selbstständig mit einem gelenkigen Schraubendreher zu aktivieren. Jede Aktivierung von Loch zu Loch bedeutet eine Viertelumdrehung der Schraube, was bei einem Gewindehub von 0,8 mm einer Distraktionsstrecke von 0,2 mm entspricht.

Im Anschluss erfolgen wöchentliche Kontrollen durch den MKG-Chirurgen oder Kieferorthopäden. Der Kieferorthopäde bestimmt das Ende der Distraktionsphase. Die

Schraube wird mit einem lichthärtenden Kunststoff geblockt, damit sie nicht zurücklaufen kann. Zur knöchernen Konsolidierung der beiden paramedianen Distraktionsspalten folgt eine mindestens sechsmonatige Retentionsphase. Die Hyrax-Dehnapparatur verbleibt in situ. Nach Entfernung erfolgt die weitere Stabilisierung durch einen Transpalatinalbogen und die kieferorthopädische Ausformung des Oberkiefer Zahnbogens kann beginnen.



Abb. 6: Ventrale 3D-CT Ansicht der transversalen Oberkieferdistraction  
Horizontale Osteotomielinie (1), laterale OK-Segmente (2) mit Frontzahn-Lücke, am Gaumen ist nur ein Teil der Hyrax-Dehnapparatur sichtbar (3)

Die Patienten wurden über einen Zeitraum von eineinhalb Jahren beobachtet und zu drei unterschiedlichen Zeitpunkten untersucht, die wie folgt definiert wurden (Abb. 7, Abb. 8 a-c)

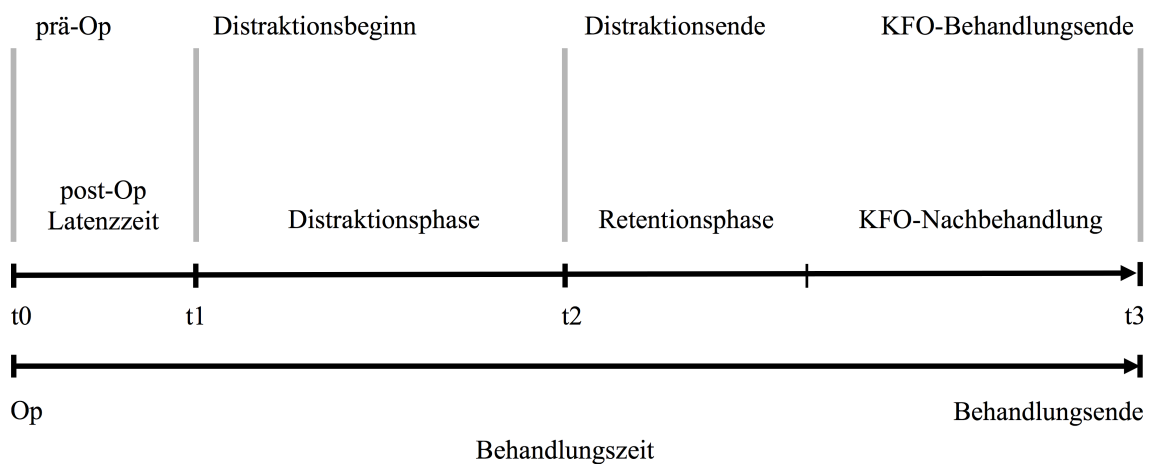


Abb. 7: Methodisches Vorgehen bei transversaler Distraction des schmalen Oberkiefers



Abb. 8 a-c : Transversale Distraction des schmalen Oberkiefers  
Zeitpunkt t1 entspricht a), läßt sich direkt nach der Operation wegen eingeschränkter Mundöffnung nicht photographisch dokumentieren

Präoperativ, nach Distractionsende und nach kieferorthopädischer Nachbehandlung wurde zur Behandlungsüberwachung ein Situationsmodell des Ober- und Unterkiefers, ein Fernröntgenseitenbild und eine Aufnahme des Gesichtsschädels im posterior-anterioren Strahlengang (Schädel p.a) angefertigt.

In der Abbildung 8 ist nach Abschluss der Distractionphase das Ausmaß der transversalen Oberkiefererweiterung anhand des Diastemas in der OK-Front erkennbar. Dieses Diastema schliesst sich innerhalb von 3 Monaten während der Retentionsphase weitgehend von selbst, die Zähne bewegen sich spontan in den Distractionsspalt. Anschliessend erfolgt die weitere Multibandbehandlung durch den Kieferorthopäden.

### 2.2.3 Modellanalyse

Die Modellanalyse von OK und UK wird routinemäßig hauptsächlich in der Kieferorthopädie angewendet. Sie ist ein dreidimensionales metrisches Verfahren, welches der transversalen Zahnbogenvermessung dient.

Es wurden folgende Vermessungen vorgenommen:

#### **Vordere Zahnbogenbreite im Oberkiefer nach Pont**

Die vordere Zahnbogenbreite bezeichnet den Abstand, der sich zwischen dem tiefsten Punkt der Querfissur des ersten Prämolaren einer jeden Kieferhälfte ergibt (Abb. 9).

### Hintere Zahnbogenbreite nach Pont

Die hintere Zahnbogenbreite bezeichnet den Abstand, der sich zwischen dem Schnittpunkt der Querrfissur mit der nach bukkal auslaufenden Fissur des ersten Molaren einer jeden Kieferhälfte ergibt (Abb. 9).

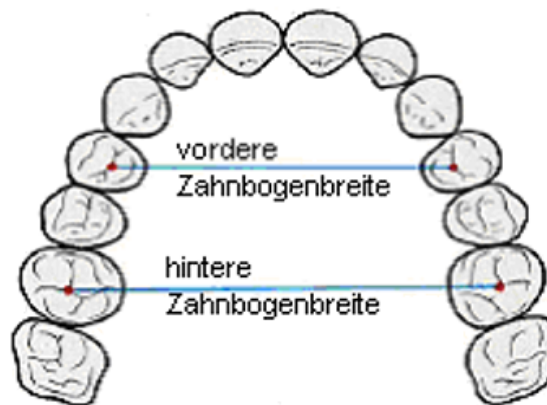


Abb. 9: vordere und hintere Zahnbogenbreite

### Vordere Zahnbogenlänge nach Korkhaus

Die vordere Zahnbogenlänge nach Korkhaus ist definiert als Lot von der vordersten Labialfläche der oberen mittleren Schneidezähne auf die Verbindungslinie der Messpunkte der vorderen Zahnbogenbreite. Im Oberkiefer sind dies die tiefsten Punkte der Querrfissuren der ersten Prämolaren (Abb. 10).

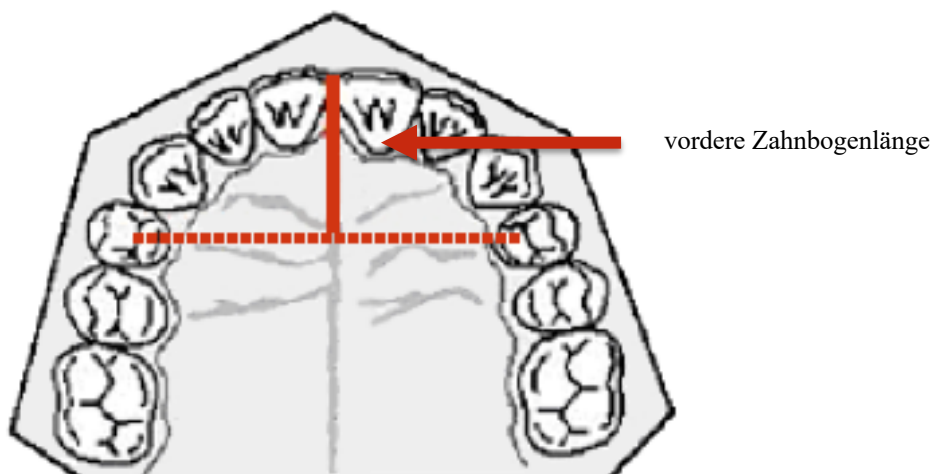


Abb. 10: vordere Zahnbogenlänge

### 2.2.4 Modellanalytische und röntgenologische Messung der Schraubenexpansion

Die Vermessung der Schraubenexpansion erfolgte auf Modellen und in Schädel p.a. Aufnahmen. Um die Schraubenexpansion erfassen zu können, wurde der Abstand der beiden Hyraxschraubenkörper nach Aktivierung vermessen.

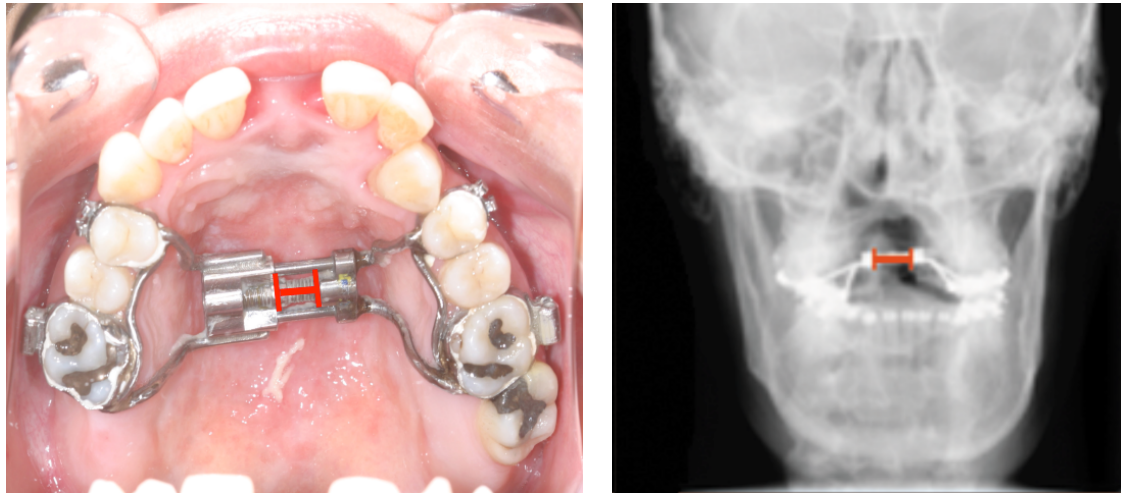


Abb. 11 und 12: Schraubenexpansion (rot gekennzeichnet)  
Abb. 11 Hyrax-Dehnapparat in situ vor Abformung, Abb. 12 Hyrax-Dehnapparat in Schädel p.a. Aufnahme

### 2.2.5 Schädel p.a.-Analyse

Die Ausrichtung des Schädels wurde so vorgenommen, dass sowohl die Objektebene als auch die Filmebene senkrecht zum zentralen Strahlengang ausgerichtet sind.

Durch einen Kephalostaten wurde der Patientenkopf über Ohroliven und Nasenstütze fixiert, so dass eine Reproduzierbarkeit gewährleistet war. Die Aufnahmen wurden in habitueller Okklusion vorgenommen.

Bei der Schädel p.a. Analyse ist vorzuschicken, dass solche Analysen nur in wenigen Studien bisher vorgenommen wurden. Die von Byloff und Mossaz angewandte Methodik (Byloff und Mossaz 2004) wurde für diese Studie modifiziert. Es wurden folgende Referenzpunkte im Röntgenbild bestimmt:

**Maxilla: Mx-Mx`:**

Als Strecke Mx-Mx` wurde der Abstand der beiden größten Einziehungen der Crista zygomaticoalveolaris beidseits definiert.

**Alveolarfortsatz: Av-Av`**

Als Strecke Av-Av` wurde der Abstand der beiden Übergangspunkte zwischen der Zahnkrone und der Zahnwurzel beidseits definiert.

Ziel war es, transversale Veränderungen im Laufe einer Behandlung quantitativ messbar zu machen.

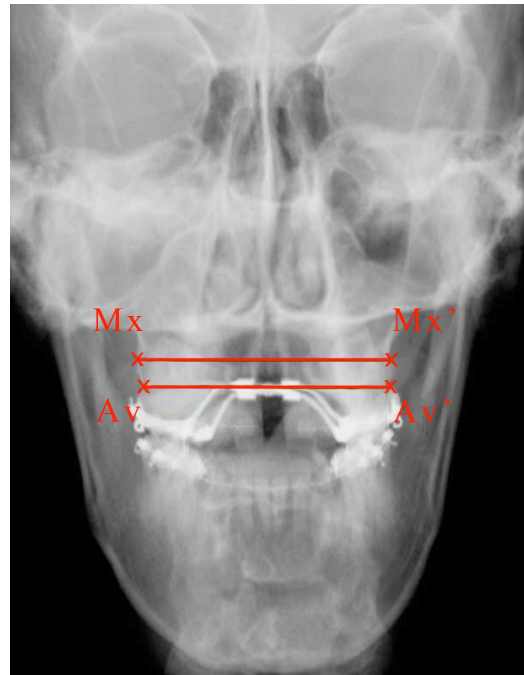
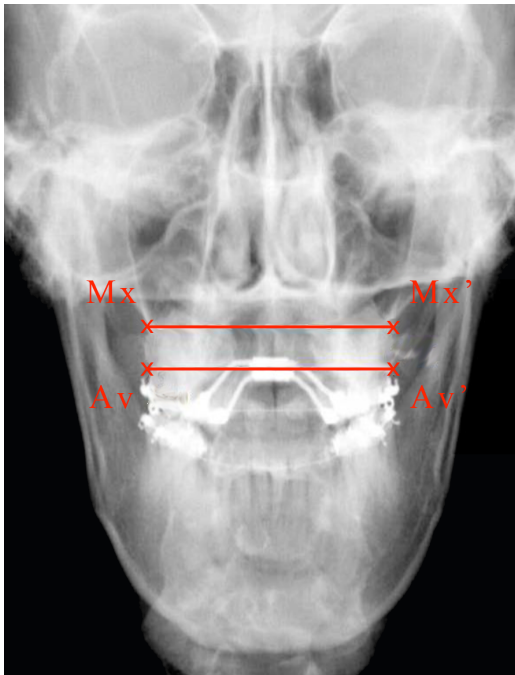


Abb. 13 und 14: Schädel p.a.-Analyse

Referenzpunkte und Konstruktion der zu vermessenden Strecken Mx-Mx`, Av-Av` in Schädel p.a. Aufnahmen vor Distraction (Abb. 13) und nach Distraction (Abb. 14)

Mx: größte Einziehung der Crista zygomaticoalveolaris

Av: Übergangspunkt zwischen der Zahnkrone und der Zahnwurzel

### 2.2.6 Fernröntgenanalyse

Bei der Fernröntgenanalyse wurden folgende Referenzpunkte und Messvariablen im Röntgenbild bestimmt (Abb. 15, 16 a-c):

**N** Nasion = Der anteriorste, kranialste Punkt der Sutura nasofrontalis

**S** Sella = Mittelpunkt der Sella turcica

Anschließend werden aus den Punkten folgende Referenzlinien gebildet:

**NSL** Nasion-Sella-Linie = Verbindungslinie zwischen den Punkten N und S

**OK1 Achse** = Die Zahnachse des am weitesten anterior stehenden oberen Schneidezahnes

Mit Hilfe dieser Bezugslinien wurden die folgenden Winkel der vertikalen Kieferrelation bestimmt.

**OK1-NSL<sup>o</sup>** = Winkel zwischen der Linie NSL und der Schneidezahnachse OK1  
beschreibt die Stellung der Oberkieferschneidezähne zur NSL-Linie

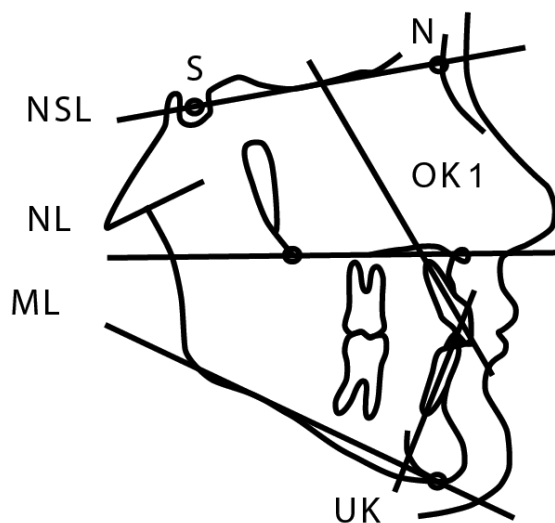


Abb. 15: vertikale Kieferrelation und Frontzahnachsen modifiziert nach Hasund



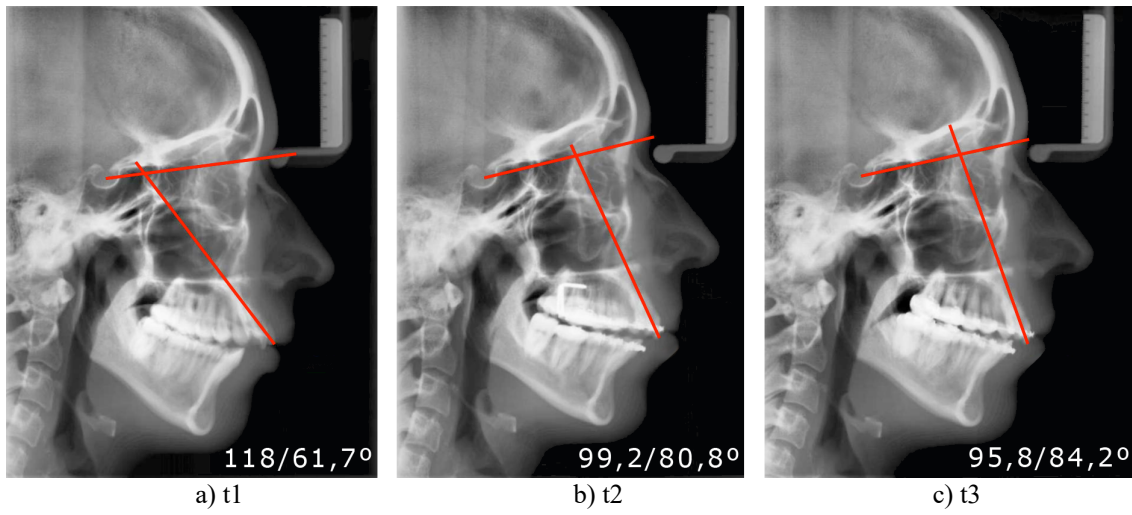


Abb. 16 a-c: OK1-NSL° : Beispiele für verschiedene Winkel zwischen Schneidezahnachse OK1 und NSL t1-t3

## 2.3 Statistik

### 2.3.1 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte am Institut für Medizinische Biometrie der Universität Tübingen in Zusammenarbeit mit Herrn Prof. Dr. Dietz. Zur Beschreibung des vorliegenden Datenmaterials wurden für jeden der untersuchten Parameter zu allen drei Zeitpunkten der Mittelwert (Mean), die Standardabweichung (Std Dev), Standardfehler (Std Error), Varianz, Spannweite, Korrelation und paariger t-Test ermittelt. Als Signifikanzniveaus wurden verwendet:

$p < 0,0001$  \*\*\*\* (höchst signifikant)

$p < 0,001$  \*\*\* (hoch signifikant)

$p < 0,01$  \*\* (signifikant)

$p < 0,05$  \* (schwach signifikant)

$p > 0,05$  n.s. (nicht signifikant)

Die gleichzeitige Beobachtung zweier Merkmale mit so genannten bivariaten Verteilungen bildet die Grundlage, hier wird die Beziehung zwischen zwei Größen dargestellt und quantifiziert. Die graphische Darstellung der bivariaten Verteilung erfolgte anhand von Streudiagrammen (Scatterplot-Matrizen) und Punktwolken. Jedes Paar von Messwerten wird durch einen Punkt symbolisiert.

Um eine Aussage über die Korrelation bzw. den statistischen Zusammenhang zwischen der Distraction des Zahnbogens und dem Distraktionsausmaß an der Hyrax-Dehnapparatur zu erhalten, wurde der Pearsonsche Korrelationskoeffizient errechnet und die bivariate Verteilung im Streudiagramm dargestellt. Correlation ist der Pearsonsche Korrelationskoeffizient zwischen den Werten zum Zeitpunkt t1 und t2.

Der Korrelationskoeffizient ist ein Maß für den Grad der linearen Abhängigkeit von Variablen. Bei linearer Abhängigkeit zweier Variablen kann die Korrelation maximal 1 bzw. -1 betragen, während bei linear unabhängigen Variablen die Korrelation 0 ist. Bei einem Wert von +1 (bzw. -1) besteht ein vollständig positiver (bzw. negativer) linearer Zusammenhang zwischen den betrachteten Variablen. Wenn der Korrelationskoeffizient den Wert 0 aufweist, hängen die beiden Merkmale überhaupt nicht linear voneinander ab. Je näher der Korrelationskoeffizient betragsmäßig bei 1 liegt, desto enger schmiegt

sich die Punktwolke an die Regressionsgerade, je näher er bei 0 liegt, desto bauchiger ist sie.

Upper und Lower 95%, die oberen und unteren Grenzen eines 95%-Konfidenzintervalles, sind die Vertrauensgrenzen für die mittlere Differenz.

### 2.3.2 Methodenfehler

Um den kombinierten Methodenfehler (MF) zu berechnen, wurde eine Stichprobe von 15 willkürlich ausgewählten Modellen zwei Mal von der Autorin dieser Arbeit im Abstand von 4 Wochen ausgewertet und mit nachstehender Formel nach Dahlberg (Dahlberg G. Statistical methods for medical and biological students. New York: Interscience Publications, 1940) berechnet:

$$MF = \sqrt{\frac{\sum d^2}{2n}}$$

d = Differenz zwischen zwei Messergebnissen

n = Anzahl der Patienten in jeder Gruppe einzeln

Tabelle 1: Methodenfehler

| Variablen der Modellanalyse |    | MF   |
|-----------------------------|----|------|
| Vordere Zahnbogenbreite     | mm | 0,42 |
| Hintere Zahnbogenbreite     | mm | 0,52 |
| Vordere Zahnbogenlänge      | mm | 0,47 |

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Modellanalyse

##### 3.1.1 Vordere Zahnbogenbreite

Sowohl in der Distraktionsphase als auch in der Retentionsphase mit KFO-Nachbehandlung vergrößerte sich die vordere Zahnbogenbreite im Vergleich zur präoperativen Situation.

Mit dem paarigen t-Test konnten statistisch höchst signifikante Unterschiede ( $p < 0,0001$ ) in der Distraktionsphase und der gesamten Distraktionsbehandlung ermittelt werden (Abb. 17 u. 18). In der Retentionsphase mit KFO-Nachbehandlung konnte kein statistisch signifikanter Unterschied gezeigt werden ( $p > 0,23$ ), (Abb. 19).

#### Differenz vordere Zahnbogenbreite t2 zu vorderer Zahnbogenbreite t1

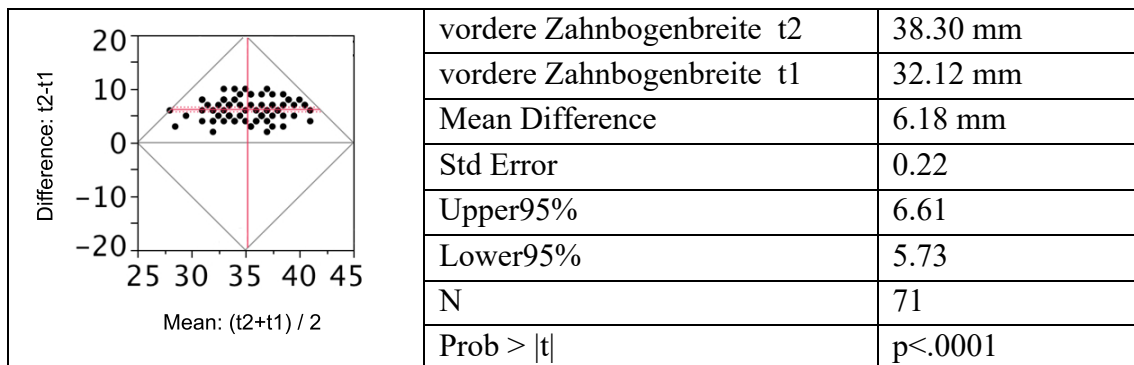


Abb. 17: Scatterplot Matrix vordere Zahnbogenbreite t2-t1, Mittelwerte, Differenz, Standardfehler, Vertrauensgrenzen, t-Test

### Differenz vordere Zahnbogenbreite t3 zu vorderer Zahnbogenbreite t1

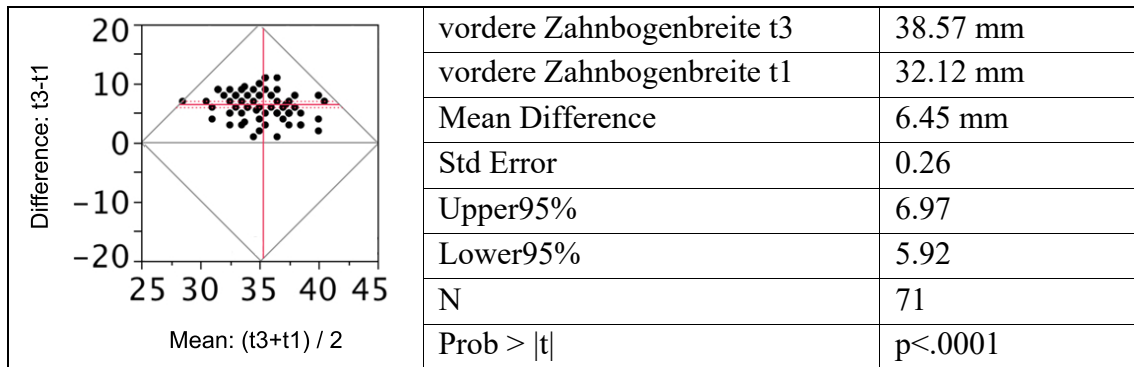


Abb. 18: Scatterplot Matrix vordere Zahnbogenbreite t3-t1, Mittelwerte, Differenz, Standardfehler, Vertrauensgrenzen, t-Test

### Differenz vordere Zahnbogenbreite t3 zu vorderer Zahnbogenbreite t2

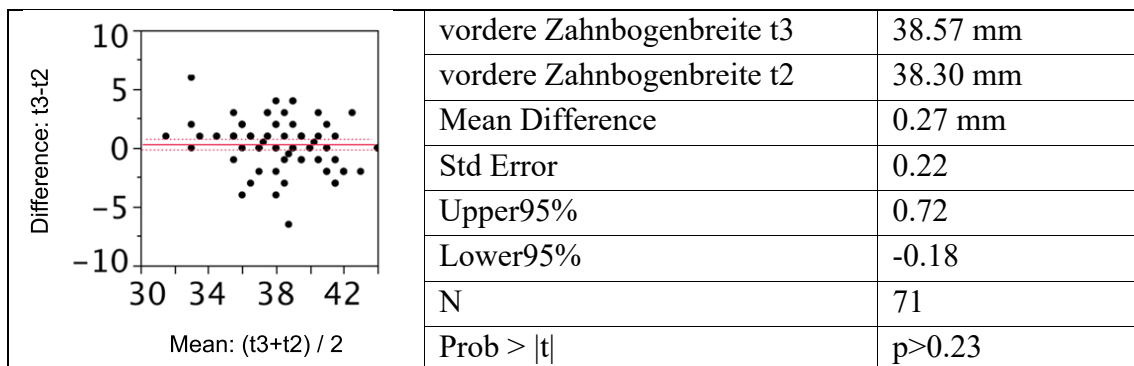


Abb. 19: Scatterplot Matrix vordere Zahnbogenbreite t3-t2, Mittelwerte, Differenz, Standardfehler, Vertrauensgrenzen, t-Test

### 3.1.2 Hintere Zahnbogenbreite

In der Distraktionsphase vergrößerte sich die hintere Zahnbogenbreite. In der Retentionsphase mit KFO-Nachbehandlung verkleinerte sich die hintere Zahnbogenbreite um 0,3 mm.

Mit dem paarigen t-Test konnten für die hintere Zahnbogenbreite statistisch höchst signifikante Unterschiede ( $p < 0,0001$ ) in der Distraktionsphase als auch in der gesamten Distraktionsbehandlung ermittelt werden (Abb. 20 u. 21).

In der Retentionsphase mit KFO-Nachbehandlung konnte kein statistisch signifikanter Unterschied gezeigt werden ( $p > 0,25$ ), (Abb. 22).

#### Differenz hintere Zahnbogenbreite t2 zu hinterer Zahnbogenbreite t1

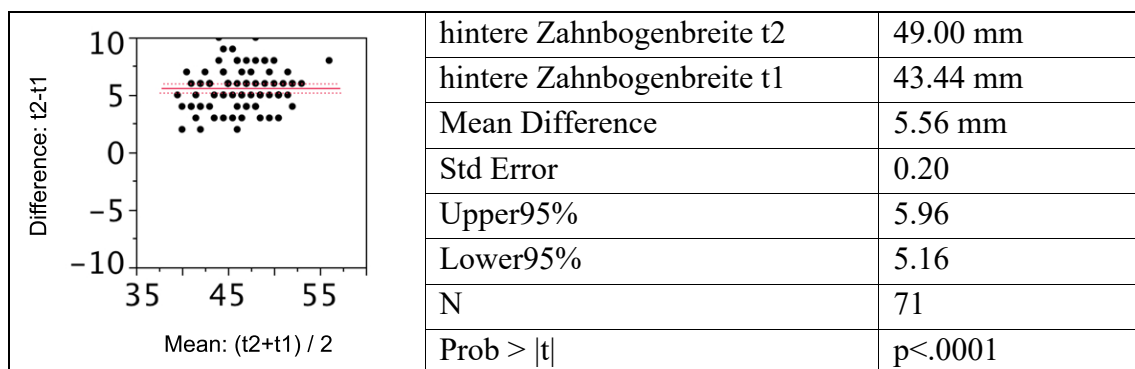


Abb. 20: Scatterplot Matrix hintere Zahnbogenbreite t2-t1, Mittelwerte, Differenz, Standardfehler, Vertrauensgrenzen, t-Test

### Differenz hintere Zahnbogenbreite t3 zu hinterer Zahnbogenbreite t1

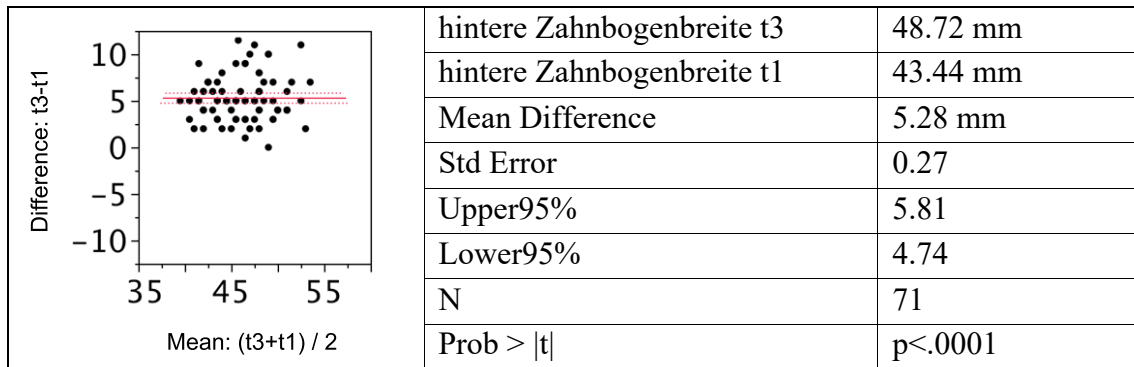


Abb. 21: Scatterplot Matrix hintere Zahnbogenbreite t3-t1, Mittelwerte, Differenz, Standardfehler, Vertrauensgrenzen, t-Test

### Differenz hintere Zahnbogenbreite t3 zu hinterer Zahnbogenbreite t2

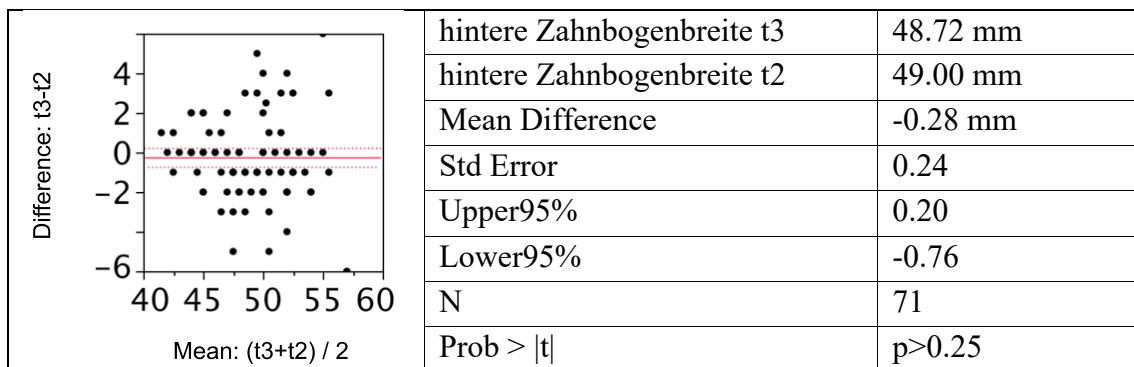


Abb. 22: Scatterplot Matrix hintere Zahnbogenbreite t3-t2, Mittelwerte, Differenz, Standardfehler, Vertrauensgrenzen, t-Test

In der Distraktionsphase vergrößerte sich die vordere Zahnbogenbreite um 6,2 mm und die hintere Zahnbogenbreite um 5,6 mm. Dies war statistisch höchst signifikant ( $p < 0,0001$ ).

### Differenz hintere Zahnbogenbreite zu Differenz vorderer Zahnbogenbreite t2 - t1

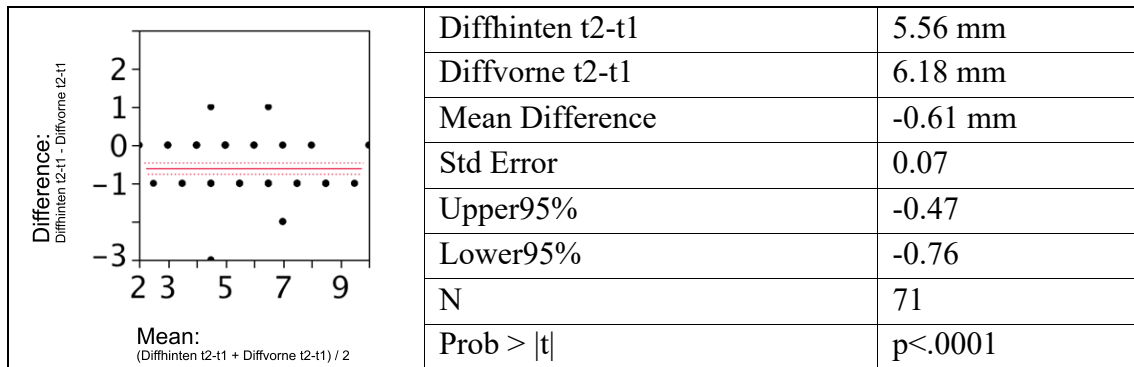


Abb. 23: Scatterplot Matrix Differenz hinten zu Differenz vorne t2-t1, Mittelwerte, Differenz, Standardfehler, Vertrauensgrenzen, t-Test



### 3.1.3 Korrelation zwischen der Distraction der vorderen Zahnbogenbreite und der hinteren Zahnbogenbreite zwischen t1 und t2

In der Distaktionsphase korrelierte die Distraction der vorderen Zahnbogenbreite und der hinteren Zahnbogenbreite höchst signifikant miteinander ( $p < 0,0001$ ).

Der Grad der Abhängigkeit von beiden Variablen betrug 0,94. Bei linearer Abhängigkeit zweier Variablen kann die Korrelation maximal 1 betragen, während bei linear unabhängigen Variablen die Korrelation 0 ist. In der Distaktionsphase bestand eine starke positive Korrelation zwischen der Distraction der vorderen Zahnbogenbreite und der hinteren Zahnbogenbreite (Abb. 24, Tabelle 2).

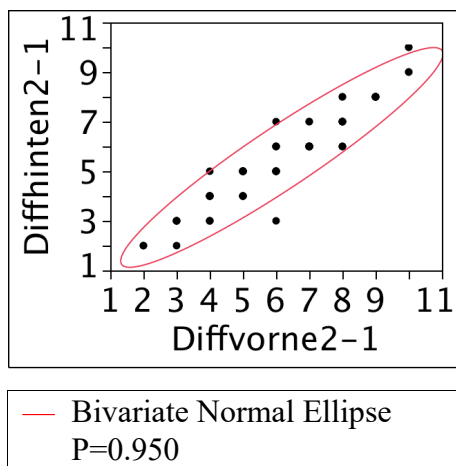


Abb. 24: Bivariates Streudiagramm Differenz hintere Zahnbogenbreite t2-t1 zu Differenz vordere Zahnbogenbreite t2-t1

Tabelle 2: Korrelation Distraction vordere Zahnbogenbreite und hintere Zahnbogenbreite t2-t1  
Differenz vordere/hintere Zahnbogenbreite t2-t1, Mittelwerte, Standardabweichung,  
Korrelationskoeffizient

| Variable         | Mean    | Std Dev | Correlation | Signif. Prob | N  |
|------------------|---------|---------|-------------|--------------|----|
| Diffvorne t2-t1  | 6.18 mm | 1.99    | 0.94        | $p < .0001$  | 71 |
| Diffhinten t2-t1 | 5.56 mm | 1.81    |             |              |    |

### 3.1.4 Korrelation zwischen der Distraction der vorderen Zahnbogenbreite und der Schraubenexpansion zwischen t1 und t2

Es erfolgte eine durchschnittliche Schraubenexpansion von 6,2 mm, die höchst signifikant in der Distaktionsphase mit der Distraction der vorderen Zahnbogenbreite übereinstimmte und korrelierte ( $p < 0,0001$ ). Es bestand eine starke positive Korrelation zwischen der an der Schraube gemessenen Distaktionsstrecke und der Erweiterung der vorderen Zahnbogenbreite. Der Grad der Abhängigkeit von beiden Variablen betrug 0,98 bzw.  $0,98^2 = 96\%$  (Abb. 25, Tabelle 3).

Es konnte verifiziert werden, dass die vordere Zahnbogenbreite um den Betrag der Aktivierung an der Hyraxschraube zunahm.

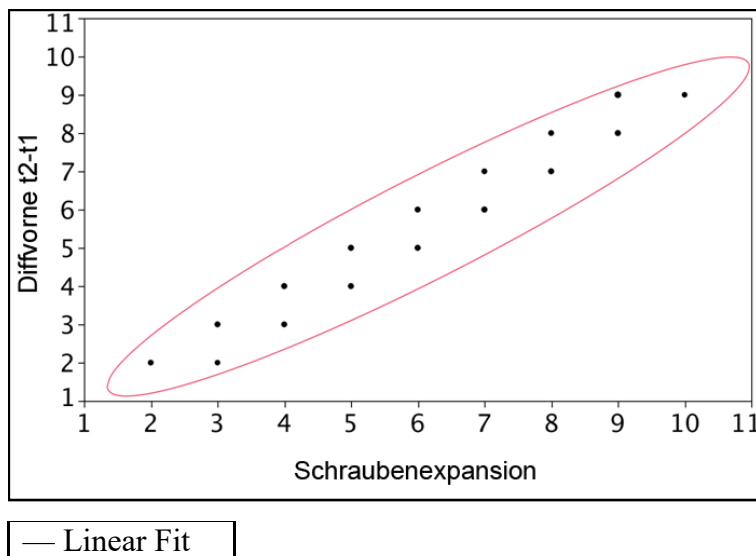


Abb. 25: Bivariates Streudiagramm Differenz vordere Zahnbogenbreite t2-t1 zu Schraubenexpansion

Tabelle 3: Korrelation Distraction vordere Zahnbogenbreite und Schraubenexpansion t2-t1  
Differenz vordere Zahnbogenbreite t2-t1, Schraubenexpansion, Mittelwerte, Standardabweichung, Korrelationskoeffizient

| Variable           | Mean    | Std Dev | Correlation | Signif. Prob | N  |
|--------------------|---------|---------|-------------|--------------|----|
| Schraubenexpansion | 6.16 mm | 1.96    | 0.98        | $p < .0001$  | 71 |
| Differenz t2-t1    | 6.18 mm | 1.99    |             |              |    |

### 3.1.5 Korrelation zwischen der Distraction der hinteren Zahnbogenbreite und der Schraubenexpansion zwischen t1 und t2

Es erfolgte eine durchschnittliche Schraubenexpansion von 6,2 mm, die höchst signifikant in der Distaktionsphase mit der Erweiterung der hinteren Zahnbogenbreite korrelierte ( $p < 0,0001$ ). Es bestand eine starke positive Korrelation zwischen der an der Schraube gemessenen Distaktionsstrecke und der Distraction der hinteren Zahnbogenbreite (Abb. 26, Tabelle 4). Der Grad der Abhängigkeit von beiden Variablen betrug 0,87 bzw.  $0,87^2 = 75\%$ .

Es konnte verifiziert werden, dass die Korrelation zwischen der Schraubenexpansion und der Distraction der vorderen Zahnbogenbreite stärker war als zwischen der Schraubenexpansion und der Distraction der hinteren Zahnbogenbreite.

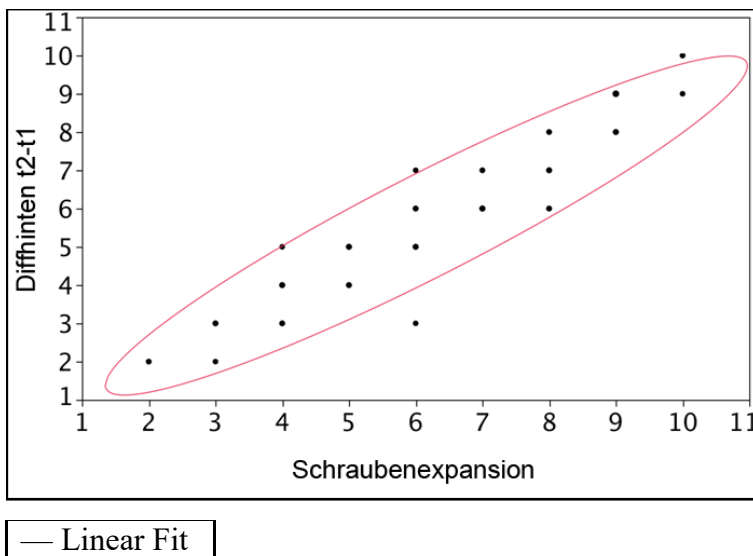


Abb. 26: Bivariates Streudiagramm Differenz hintere Zahnbogenbreite t2-t1 zu Schraubenexpansion

Tabelle 4: Korrelation Distraction hintere Zahnbogenbreite und Schraubenexpansion t2-t1  
Differenz hintere Zahnbogenbreite t2-t1, Schraubenexpansion, Mittelwerte, Standardabweichung,  
Korrelationskoeffizient

| Variable           | Mean    | Std Dev | Correlation | Signif. Prob | N  |
|--------------------|---------|---------|-------------|--------------|----|
| Schraubenexpansion | 6.16 mm | 1.96    | 0.87        | $p < .0001$  | 71 |
| Diffhinteren t2-t1 | 5.56 mm | 1.81    |             |              |    |

### 3.1.6 Vordere Zahnbogenlänge

In der Distraktionsphase vergrößerte sich die vordere Zahnbogenlänge um 0,44 mm. In der Retentionsphase mit KFO-Nachbehandlung verringerte sich die vordere Zahnbogenlänge um 0,6 mm (Abb. 27-29).

Mit dem paarigen t-Test konnten signifikante Unterschiede ( $p < 0,01$ ) in der Retentionsphase mit KFO-Nachbehandlung ermittelt werden. In der Distraktionsphase ( $p > 0,10$ ) sowie in der gesamten Distraktionsbehandlung ( $p > 0,57$ ) konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede gezeigt werden.

#### Differenz vordere Zahnbogenlänge t2 zu vorderer Zahnbogenlänge t1

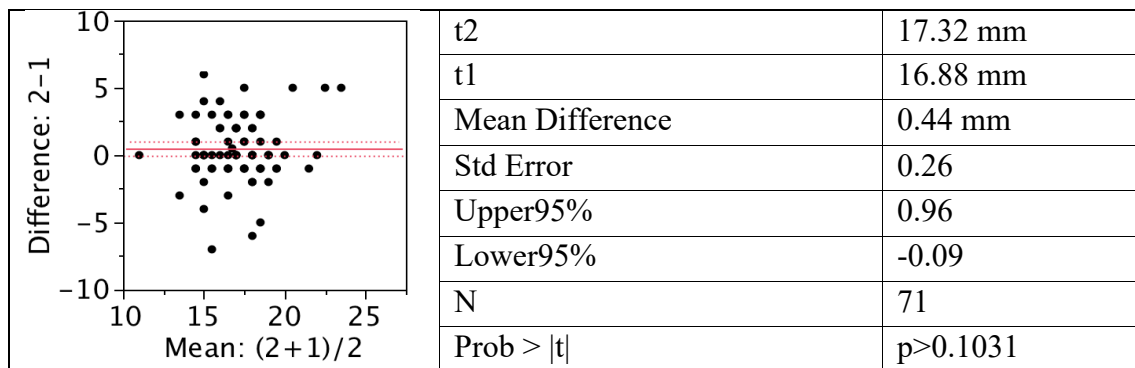


Abb. 27: Scatterplot Matrix vordere Zahnbogenlänge t2-t1, Mittelwerte, Differenz, Standardfehler, Vertrauensgrenzen, t-Test

### Differenz vordere Zahnbogenlänge t3 zu vorderer Zahnbogenlänge t1

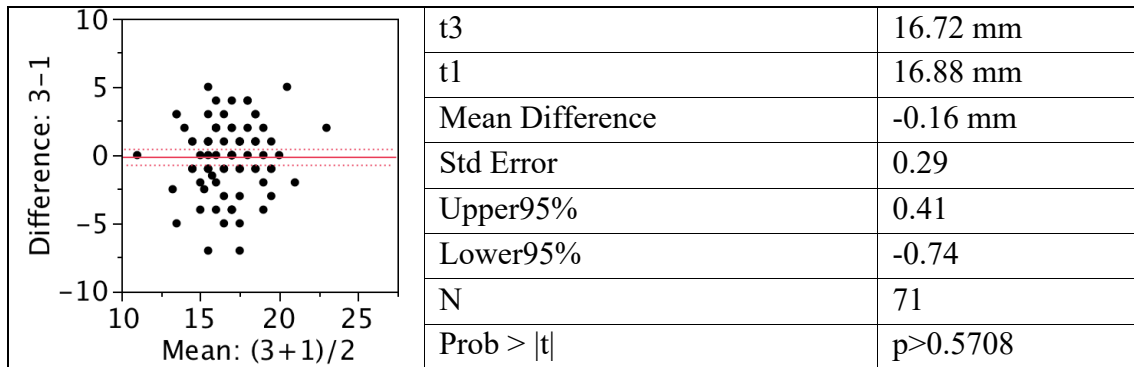


Abb. 28: Scatterplot Matrix vordere Zahnbogenlänge t3-t1, Mittelwerte, Differenz, Standardfehler, Vertrauensgrenzen, t-Test

### Differenz vordere Zahnbogenlänge t3 zu vorderer Zahnbogenlänge t2

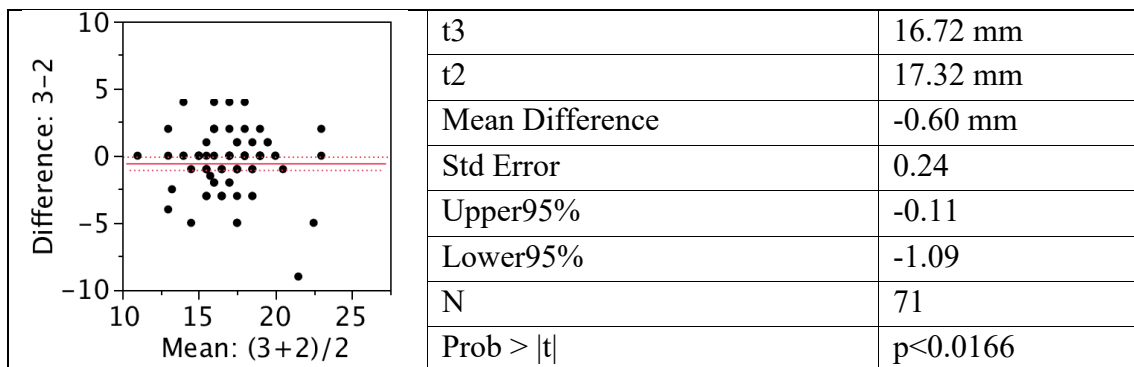


Abb. 29: Scatterplot Matrix vordere Zahnbogenlänge t3-t2, Mittelwerte, Differenz, Standardfehler, Vertrauensgrenzen, t-Test

## 3.2 Schädel p.a.-Analyse

### 3.2.1 Maxilla: Mx-Mx'

In der Distraktionsphase vergrößerte sich die knöchernen Oberkieferbasis zwischen den Messpunkten Mx-Mx' signifikant um 2,33 mm. In der Retentionsphase mit KFO-Nachbehandlung verkleinerte sie sich um 0,2 mm (Abb. 30-32).

Mit dem paarigen t-Test konnten statistisch höchst signifikante Unterschiede ( $p < 0,0001$ ) in der Distraktionsphase als auch in der gesamten Distraktionsbehandlung ermittelt werden.

In der Retentionsphase mit KFO-Nachbehandlung konnten dagegen keine signifikanten Unterschiede gezeigt werden ( $p > 0,22$ ).

#### Differenz Mx-Mx' t2 zu Mx-Mx' t1

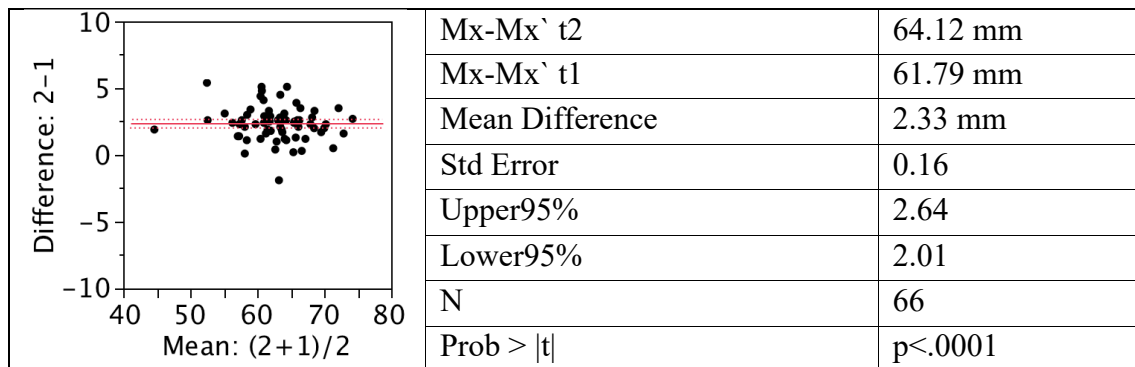
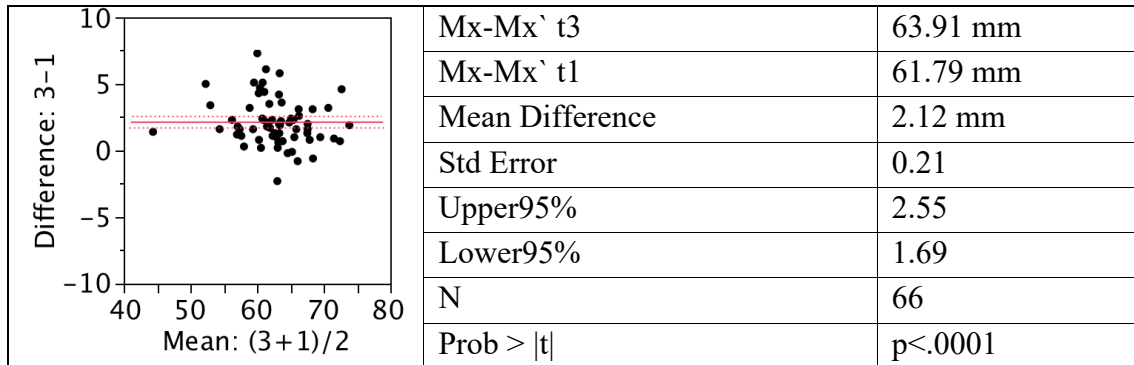
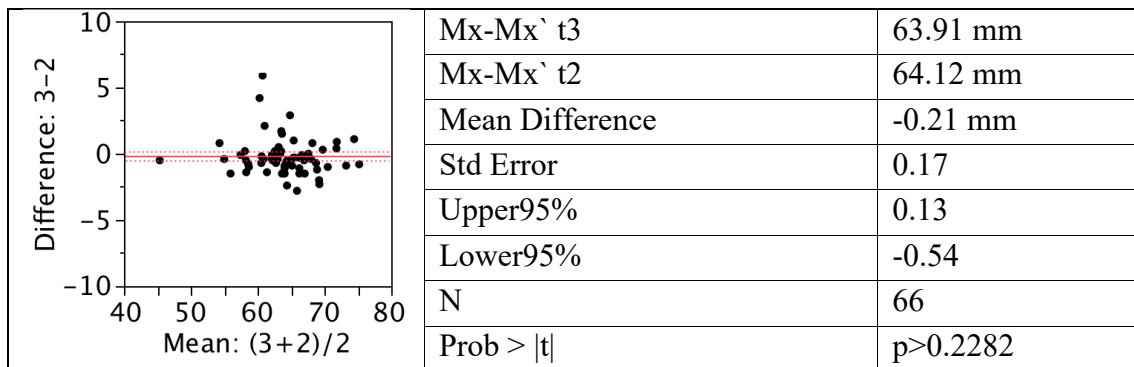


Abb. 30: Scatterplot Matrix Mx-Mx' t2-t1, Mittelwerte, Differenz, Standardfehler, Vertrauensgrenzen, t-Test

Differenz  $Mx-Mx` t3$  zu  $Mx-Mx` t1$ Abb. 31: Scatterplot Matrix  $Mx-Mx` t3-t1$ , Mittelwerte, Differenz, Standardfehler, Vertrauensgrenzen, t-TestDifferenz  $Mx-Mx` t3$  zu  $Mx-Mx` t2$ Abb. 32: Scatterplot Matrix  $Mx-Mx` t3-t2$ , Mittelwerte, Differenz, Standardfehler, Vertrauensgrenzen, t-Test

### 3.2.2 Alveolarfortsatz: Av-Av`

In der Distraktionsphase vergrößerte sich die Distanz im Bereich des Alveolarfortsatzes zwischen den Messpunkten Av-Av` signifikant um 3,55 mm. In der Retentionsphase mit KFO-Nachbehandlung verkleinert sie sich um 0,15 mm (Abb. 33-35). Mit dem paarigen t-Test konnten statistisch höchst signifikante Unterschiede ( $p < 0,0001$ ) in der Distraktionsphase als auch in der gesamten Distraktionsbehandlung ermittelt werden. In der Retentionsphase mit KFO-Nachbehandlung konnten keine signifikanten Unterschiede gezeigt werden ( $p > 0,33$ ).

#### Differenz Av-Av` t2 zu Av-Av` t1

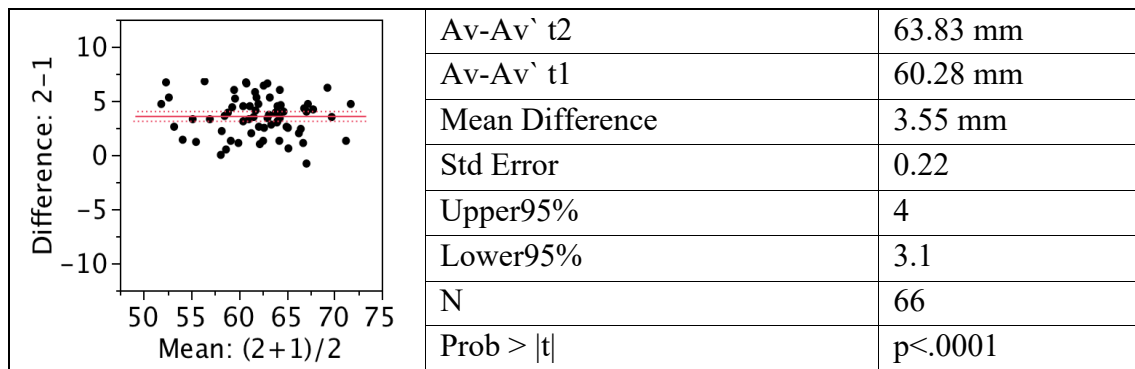


Abb. 33: Scatterplot Matrix Av-Av` t2-t1, Mittelwerte, Differenz, Standardfehler, Vertrauensgrenzen, t-Test



## Differenz Av-Av` t3 zu Av-Av` t1

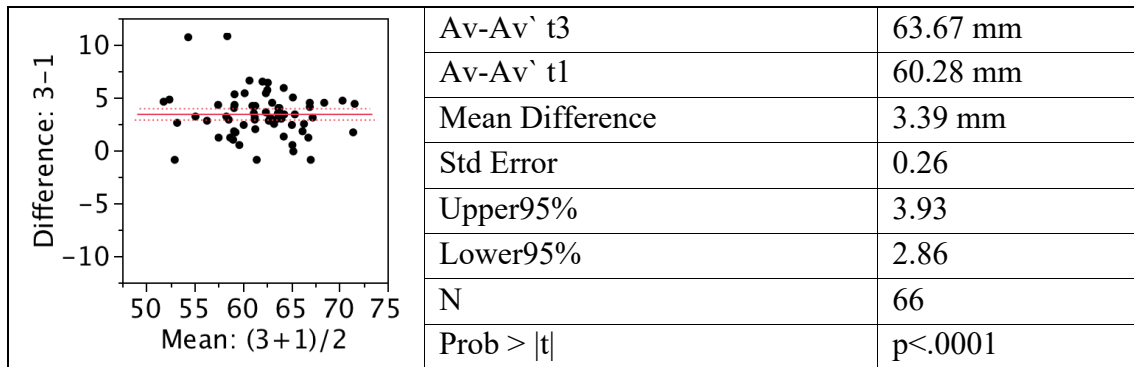


Abb. 34: Scatterplot Matrix Av-Av` t3-t1, Mittelwerte, Differenz, Standardfehler, Vertrauensgrenzen, t-Test

## Differenz Av-Av` t3 zu Av-Av` t2

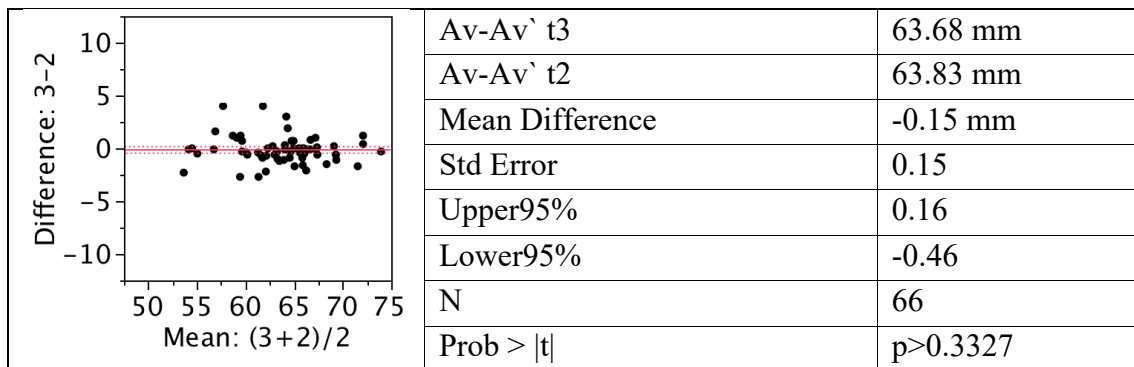


Abb. 35: Scatterplot Matrix Av-Av` t3-t2, Mittelwerte, Differenz, Standardfehler, Vertrauensgrenzen, t-Test

### 3.2.3 Korrelation zwischen der Distraction der knöchernen Oberkieferbasis und der Distraction im Bereich des Alveolarfortsatzes zwischen t1 und t2

Die Distraction der knöchernen Oberkieferbasis  $Mx-Mx'$  verglichen mit der Distraction im Bereich des Alveolarfortsatzes  $Av-Av'$  korrelierte in der Distraktionsphase höchst signifikant miteinander ( $p < 0,0001$ ) (Abb. 36, Tabelle 5).

In der Distraktionsphase bestand eine moderate positive Korrelation zwischen der Distraction  $Mx-Mx'$  und der Erweiterung  $Av-Av'$ . Der Grad der Abhängigkeit von beiden Variablen betrug 0,63 bzw.  $0,63^2 = 40\%$ .

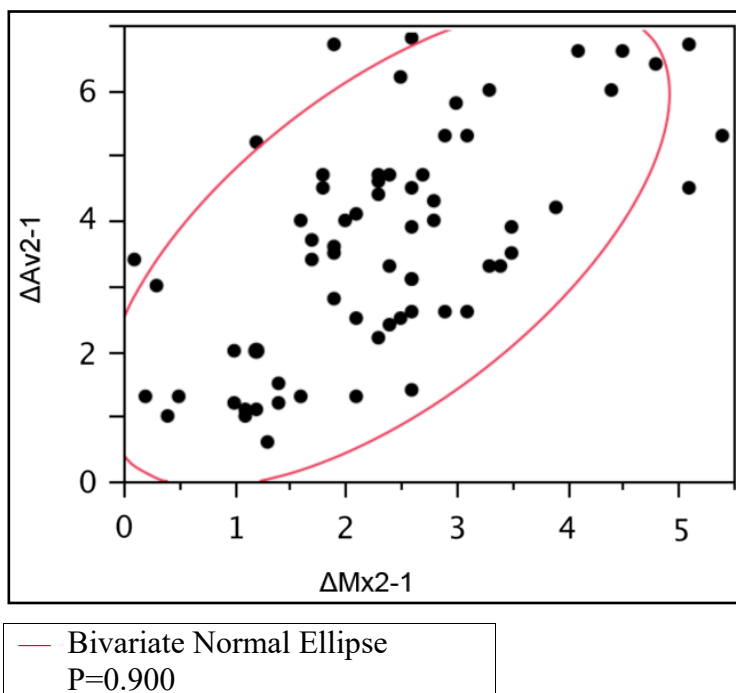


Abb. 36: Bivariates Streuungsdiagramm  $\Delta Av-Av'$  t2-t1 zu  $\Delta Mx-Mx'$  t2-t1

Tabelle 5: Korrelation  $\Delta Av-Av'$  und  $\Delta Mx-Mx'$  t2-t1

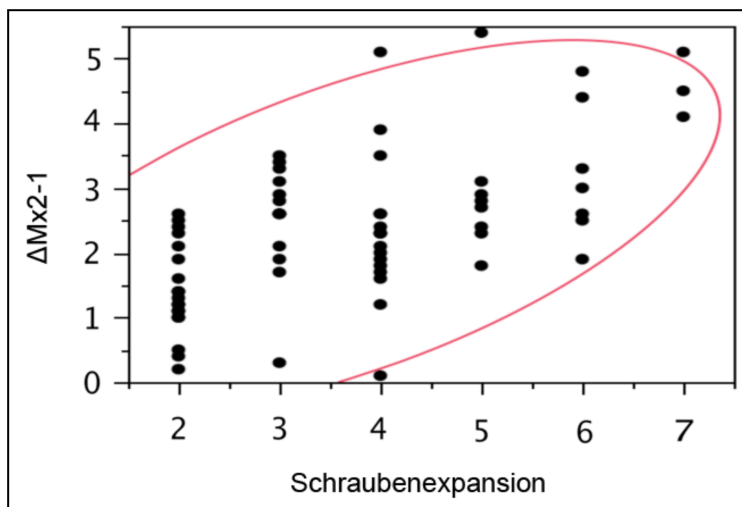
$\Delta Av-Av'$  t2-t1 und  $\Delta Mx-Mx'$  t2-t1, Mittelwerte, Standardabweichung, Korrelationskoeffizient

| Variable       | Mean    | Std Dev | Correlation | Signif. Prob | N  |
|----------------|---------|---------|-------------|--------------|----|
| $\Delta Mx2-1$ | 2.33 mm | 1.19    | 0.63        | $p < .0001$  | 66 |
| $\Delta Av2-1$ | 3.55 mm | 1.72    |             |              |    |

### 3.2.4 Korrelation zwischen der Distraction der knöchernen Oberkieferbasis und der Schraubenexpansion zwischen t1 und t2

Kephalometrisch konnte eine durchschnittliche Schraubenexpansion von 3,7 mm ermittelt werden, die höchst signifikant zwischen dem Untersuchungszeitpunkt t1 und t2 mit Erweiterung der knöchernen Oberkieferbasis  $\Delta Mx-Mx'$  korrelierte ( $p < 0,0001$ ) (Abb. 37, Tabelle 6).

Es bestand eine moderate positive Korrelation zwischen der an der Schraube gemessenen Distaktionsstrecke und der Erweiterung  $\Delta Mx-Mx'$  zwischen t1 und t2. Der Grad der Abhängigkeit von beiden Variablen betrug 0,60 bzw.  $0,60^2 = 36\%$ . Der Korrelationskoeffizient lag betragsmäßig näher bei 0, deswegen stellte sich die Punktwolke bauchiger dar.



— Bivariate Normal Ellipse  
P=0.950

Abb. 37: Bivariates Streuungsdiagramm  $\Delta Mx-Mx'$  t2-t1 zu Schraubenexpansion

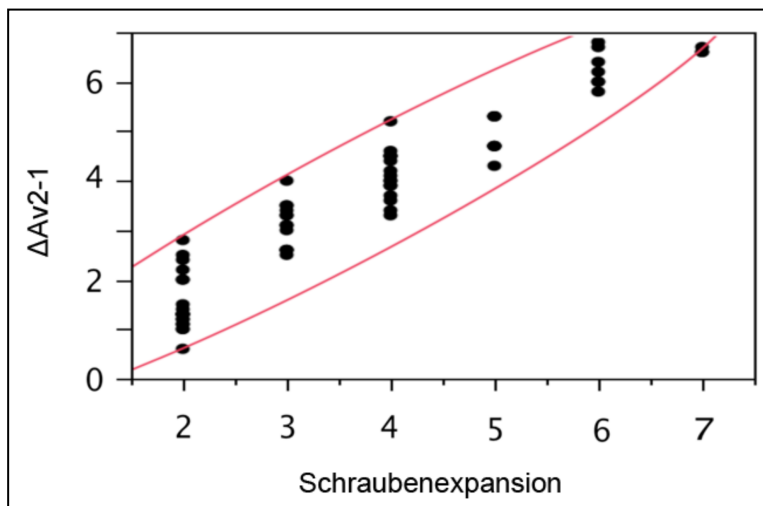
Tabelle 6: Korrelation  $\Delta Mx-Mx'$  und Schraubenexpansion t2-t1  
Schraubenexpansion, Mittelwerte, Standardabweichung, Korrelationskoeffizient

| Variable           | Mean    | Std Dev | Correlation | Signif. Prob | N  |
|--------------------|---------|---------|-------------|--------------|----|
| Schraubenexpansion | 3.69 mm | 1.49    | 0.60        | $p < .0001$  | 66 |
| $\Delta Mx2-1$     | 2.33 mm | 1.18    |             |              |    |

### 3.2.5 Korrelation zwischen der Distraction im Bereich des Alveolarfortsatzes und der Schraubenexpansion zwischen t1 und t2

Kephalometrisch erfolgte eine durchschnittliche Schraubenexpansion von 3,7mm, die höchst signifikant zwischen dem Untersuchungszeitpunkt t1 und t2 mit der Erweiterung im Bereich des Alveolarfortsatzes  $\Delta v-Av'$  korreliert ( $p < 0,0001$ ) (Abb. 38, Tab. 7).

Es bestand eine starke positive Korrelation zwischen der an der Schraube gemessenen Distractionsstrecke und der Erweiterung  $\Delta v-Av'$  zwischen t1 und t2. Der Grad der Abhängigkeit von beiden Variablen betrug 0,95 bzw.  $0,95^2 = 90\%$ . Je näher der Korrelationskoeffizient betragsmäßig bei 1 liegt, desto enger schmiegt sich die Punktwolke an die Regressionsgerade. Es konnte verifiziert werden, dass die Korrelation zwischen der Schraubenexpansion und der Erweiterung im Bereich des Alveolarfortsatzes  $\Delta v-Av'$  stärker war als zwischen der Schraubenexpansion und der Erweiterung der knöchernen Oberkieferbasis  $Mx-Mx$ .



— Bivariate Normal Ellipse  
P=0.950

Abb. 38: Bivariates Streudiagramm  $\Delta v-Av'$  t2-t1 zu Schraubenexpansion

Tabelle 7: Korrelation  $\Delta v-Av'$  und Schraubenexpansion t2-t1

$\Delta v-Av'$  t2-t1, Schraubenexpansion, Mittelwerte, Standardabweichung, Korrelationskoeffizient

| Variable           | Mean    | Std Dev | Correlation | Signif. Prob | N  |
|--------------------|---------|---------|-------------|--------------|----|
| Schraubenexpansion | 3.69 mm | 1.49    | 0.95        | $p < .0001$  | 66 |
| $\Delta v-Av'$     | 3.55 mm | 1.72    |             |              |    |

### 3.3 Fernröntgenanalyse

Sowohl in der Distraktionsphase als auch in der Retentionsphase mit KFO-Nachbehandlung verkleinerte sich der Winkel OK1-NSL°, insgesamt um 5°. Mit dem paarigen t-Test konnten höchst signifikante Unterschiede ( $p < 0,0001$ ) in der Distraktionsphase und während der gesamten Distraktionsbehandlung ermittelt werden (Abb. 39 u. 40). Ein signifikanter Unterschied ( $p < 0,001$ ) konnte auch in der Retentionsphase mit KFO-Nachbehandlung gezeigt werden (Abb. 41).

#### Winkelsplit OK1-NSL°

##### Differenz Frontzahninklination t2 zu t1

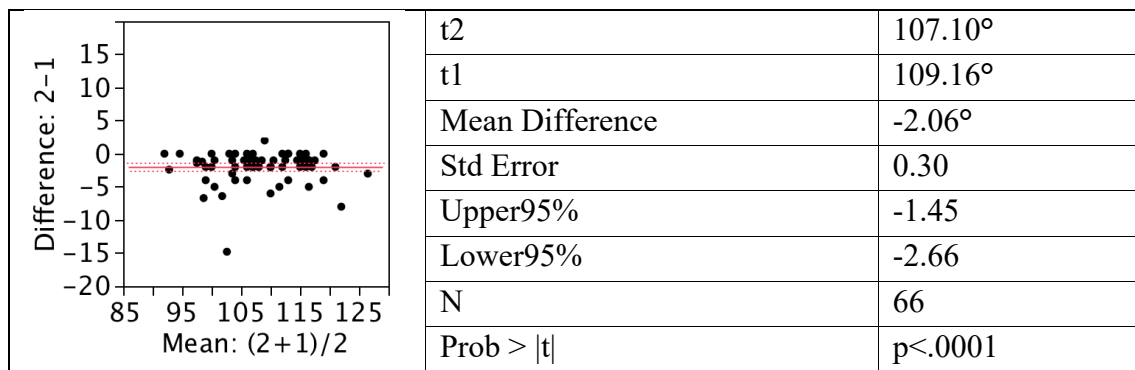


Abb. 39: Scatterplot Matrix OK1-NSL° t2-t1, Mittelwerte, Differenz, Standardfehler, Vertrauensgrenzen, t-Test

##### Differenz Frontzahninklination t3 zu t1

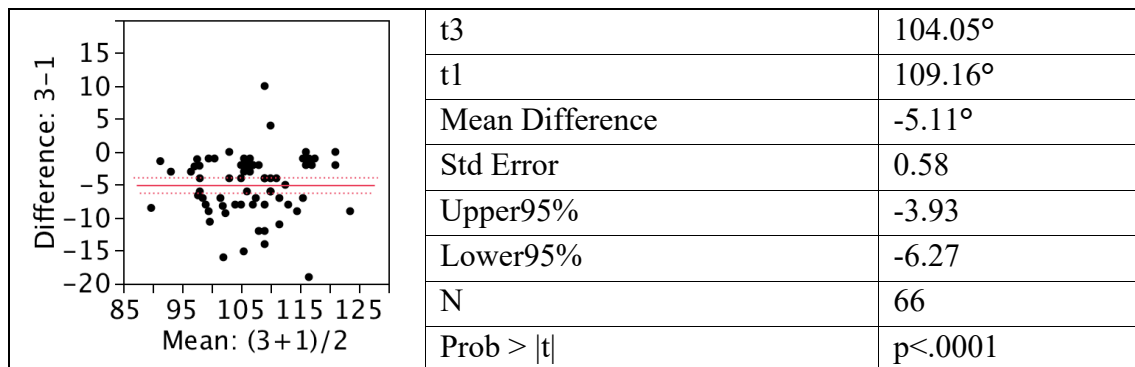


Abb. 40: Scatterplot Matrix OK1-NSL° t3-t1, Mittelwerte, Differenz, Standardfehler, Vertrauensgrenzen, t-Test

## Differenz Frontzahninklination t3 zu t2

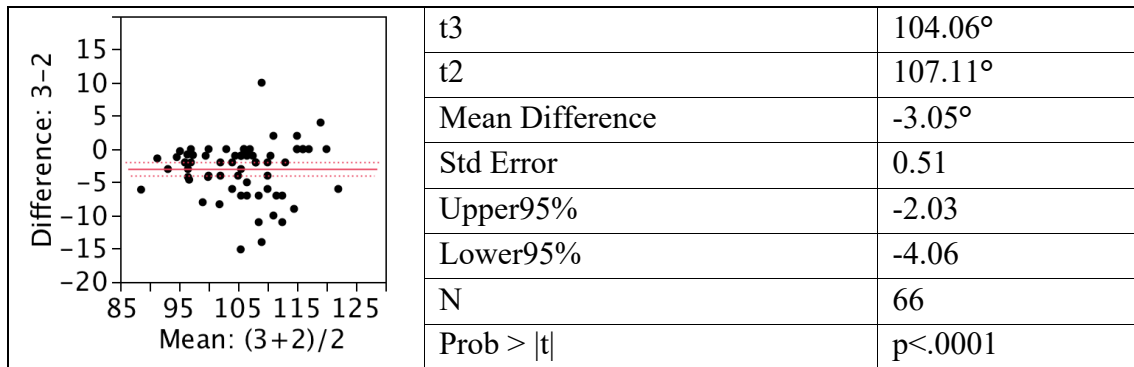


Abb. 41: Scatterplot Matrix OK1-NSL° t3-t2, Mittelwerte, Differenz, Standardfehler, Vertrauensgrenzen, t-Test

## 4 Diskussion

In den letzten 30 Jahren bestand die Behandlung schwerer Fehlbisse im Wesentlichen aus kieferorthopädischen Behandlungsmaßnahmen, die die operative Korrektur umrahmt haben. Sowohl der Angle Klasse II- als auch der Angle Klasse III-Fehlbiss konnte erfolgreich korrigiert und ein normaler Frontzahnüberbiss erzielt werden. Kaukasische Schädel haben aber oft darüber hinaus noch einen schmalen Oberkiefer. Die daraus resultierende transversale Diskrepanz der Zahnbögen führte trotz der o.a. umfangreichen Behandlungsmaßnahmen oft noch zu einem Kreuzbiss, der in der postoperativen kieferorthopädischen Behandlungszeit zwar erkannt, aber nicht mehr korrigiert, sondern toleriert wurde. Moderne Behandlungskonzepte beinhalten jedoch das Ziel, auch in der Transversalen eine normale Verzahnung zu erreichen und haben zu einer Weiterentwicklung des therapeutischen Vorgehens geführt.

Je nach Ausprägung eines oberen Schmalkiefers kann der Kreuzbiss einseitig oder in schweren Fällen auch beidseitig auftreten. Grundsätzlich bestehen konservative und operative Behandlungsmöglichkeiten. Vor dem pubertären Wachstumsschub kann der Oberkiefer konservativ durch eine GNE kieferorthopädisch transversal nachentwickelt werden. Nach Ende des Wachstums lässt sich der Oberkiefer nur noch durch ergänzende chirurgische Maßnahmen erweitern.

In der Vergangenheit wurde jedoch selbst im Erwachsenenalter oft versucht, allein mit kieferorthopädischen Mitteln, z.B. einer Dehnapparatur, die an den Molaren des Oberkiefers befestigt wurde, den Oberkiefer transversal zu distrahieren, um eine Operation zu vermeiden. Wurde in solchen Fällen eine schmale knöchernen Basis des Oberkiefers übersehen, war es möglich, dass die Seitenzähne dadurch auch soweit nach bukkal bewegt werden, dass die Molaren nach lateral kippten oder die Wurzeln aus dem knöchernen Alveolarkamm nach lateral herausbewegt wurden (Byloff und Mossaz 2004, Koudstaal et al. 2009). Nach Beendigung einer solchen rein kieferorthopädischen Behandlung kam es dann oft zu einem transversalen Rezidiv (Chung et al. 2003).

Aktuell hat sich durchgesetzt, bei schweren Fehlbissen mit transversalen Zahnbogendiskrepanzen zuerst den Oberkiefer operativ transversal zu distrahieren, bevor die o.a. kieferorthopädisch-MKG-chirurgische Kombinationstherapie ins Auge gefasst wird. Operationstechnische Fortschritte ermöglichen heute die stabile

transversale knöcherner Distraction eines schmalen Oberkiefers, der der normalen Unterkieferbreite angepasst wird. Wichtig ist die exakte Planung der Distraction des Oberkiefers, um nach Ende der postoperativen kieferorthopädischen Behandlung eine Eckzahnführung einzustellen. Ist neben dem Oberkiefer- auch der Unterkiefer skelettal zu schmal oder weisen die Frontzahnregionen Engstände oder eine Protrusion auf, können auch beide Kiefer gleichzeitig transversal distrahert werden (Mommaerts et al. 2004), um danach kieferorthopädisch kongruente Zahnbögen auszuformen. Damit wird die bisherige Konstante in der kieferorthopädischen Behandlungsplanung, der Unterkiefer Eckzahnabstand, zu einer Variablen.

Der Kieferorthopäde definiert die Zielweiten anhand der Analyse der Zahnbogenbreite und ermittelt so den tatsächlichen Platzbedarf im Ober- und Unterkiefer, damit die Zähne in eine korrekte Schlussbissstellung zueinander gebracht werden können.

Für die exakte Planung der Distraction zur Überstellung des Kreuzbisses, ist es für MKG-Chirurgen und Kieferorthopäden wichtig zu wissen, ob es einen direkten Zusammenhang zwischen Ausmaß der Dehnung und Vergrößerung des Zahnbogens und der knöchernen Basis gibt.

#### **4.1 Material- und Methodenkritik**

In der vorliegenden retrospektiven Studie wurden 71 Patienten, 42 weibliche und 29 männliche, mit einem Durchschnittsalter von 28,1 Jahren über einen Zeitraum von der Operation bis zu 1,5 Jahren postoperativ nachuntersucht. Mit Ausnahme der Studie von Kauffmann (2012) mit 69 Patienten (46 weiblich, 23 männlich) im Alter von 17 bis 53 Jahren, existiert in der Literatur keine Studie mit einer ähnlich hohen Anzahl von Probanden. Neubert et al. berichteten 1989 über eine Studie an 39 Patienten, also etwas mehr als der Hälfte unserer Probanden (19 weiblich, 20 männlich), im Alter von 15 bis 35 Jahren. Auch Chamberland et al. haben 2011 eine Studie an 38 Patienten (19 weiblich, 19 männlich) im Alter von 15 bis 54 Jahren veröffentlicht.

Der überwiegende Anteil weiterer Studien beinhaltet 28-10 Patienten: Die Studie von Berger et al. (1998) mit 28 Patienten (16 weiblich, 12 männlich) und einem Durchschnittsalter von 19,3 Jahre, Anttila et al. (2004) mit 20 Patienten (14 weiblich, 6 männlich) und einem Durchschnittsalter von 30,6 Jahre, Chung et al. (2003) mit 20 Patienten (14 weiblich, 6 männlich) und einem Durchschnittsalter von 25,6 Jahre, Zöller



& Ullrich (1991) mit 20 Patienten (12 weiblich, 6 männlich) und einem Durchschnittsalter von 28,1 Jahre, Bays und Greco (1992) mit 19 Patienten (16 weiblich und 3 männlich) und einem Durchschnittsalter von 30,2 Jahre, Goldenberg et al. (2008) mit 15 Patienten (10 weiblich, 5 männlich) und einem Durchschnittsalter von 24,5 Jahre, Byloff und Mossaz (2004) mit 14 Patienten (3 weiblich, 11 männlich) und einem Durchschnittsalter von 27,2 Jahre, Pogrel et al. (1992) mit 12 Patienten (8 weiblich, 4 männlich) und einem Durchschnittsalter von 23 Jahre, Stromberg und Holm (1995) mit 12 Patienten (5 weiblich, 7 männlich) und einem Durchschnittsalter von 36 Jahre, Zhou et al. (2000) mit 10 Patienten (5 weiblich, 5 männlich) und einem Durchschnittsalter von 19,6 Jahre (Tabelle 8).

Tabelle 8: Patientengut Vergleichsstudien

| Autoren                       | Anzahl Patienten | Geschlecht               | Durchschnittsalter |
|-------------------------------|------------------|--------------------------|--------------------|
| Kaufmann (2012)               | 69               | 46 weiblich, 23 männlich | 17-53 Jahre        |
| Neubert et al. (1989)         | 39               | 19 weiblich, 20 männlich | 15-35 Jahre        |
| Chamberland et al. (2011)     | 38               | 19 weiblich, 19 männlich | 15-54 Jahre        |
| Berger et al. (1998)          | 28               | 16 weiblich, 12 männlich | 19,3 Jahre         |
| Anttila et al. (2004)         | 20               | 14 weiblich, 6 männlich  | 30,6 Jahre         |
| Chung et al. (2003)           | 20               | 14 weiblich, 6 männlich  | 25,6 Jahre         |
| Zöller & Ullrich (1991)       | 20               | 12 weiblich, 6 männlich  | 28,1 Jahre         |
| Bays & Greco (1992)           | 19               | 16 weiblich, 3 männlich  | 30,2 Jahre         |
| Goldenberg et al. (2008)      | 15               | 10 weiblich, 5 männlich  | 24,5 Jahre         |
| Byloff & Mossaz (2004)        | 14               | 3 weiblich, 11 männlich  | 27,2 Jahre         |
| Pogrel et al. (1992)          | 12               | 8 weiblich, 4 männlich   | 23 Jahre           |
| Stromberg & Holm (1995)       | 12               | 5 weiblich, 7 männlich   | 36 Jahre           |
| Zhou et al. (2000)            | 10               | 5 weiblich, 5 männlich   | 19,6 Jahre         |
| Bierenbroodspot et al. (2002) | 7                | 5 weiblich, 2 männlich   | 23,2 Jahre         |
| Gilon et al. (2000)           | 7                | 3 weiblich, 4 männlich   | 27,6 Jahre         |

Der Vollständigkeit halber seien zum Schluss noch 2 Studien mit jeweils 7 Patienten erwähnt: Bierenbroodspot et al. (2002) mit 7 Patienten (5 weiblich, 2 männlich) und einem Durchschnittsalter von 23,2 Jahre, Gilon et al. (2000) mit 7 Patienten (3 weiblich, 4 männlich) und einem Durchschnittsalter von 27,6 Jahre.

Das Durchschnittsalter der Probanden beträgt in allen Studien übereinstimmend etwa 30 Jahre und das weibliche Geschlecht der Probanden überwiegt.

Mit Ausnahme der Studie von Zhou et al. (2000), die aufgrund des Untersuchungsortes Shenzhen, China, vermutlich vor allem asiatische Patienten beinhaltet, handelt es sich bei der Mehrheit der Studien um kaukasische Probanden, wenn man das aus den Untersuchungsorten im europäischen Raum folgern kann. Die zunehmende Migration und Durchmischung der Bevölkerung Europas mit Asiaten und Afrikanern relativiert allerdings die Aussage. Studien mit Berücksichtigung ethnischer Unterschiede des Schädelwachstums sind nicht bekannt. In Zukunft muss sicher der ethnischen Komponente mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Die verwendete Hyrax-Schraube ist eine unidirektionale Dehnschraube, die durch zwei zusätzliche Führungsstäbe eine parallele Distraction ermöglicht. Sie wird in der Zahntechnik seit langem insbesondere zur Herstellung von funktionskieferorthopädischen Apparaturen, wie z.B. der Dehnplatte, eingesetzt. Die von uns angewandte zahnverankerte Hyrax-Dehnapparat findet sowohl bei der GNE, als auch bei der operativen transversalen Oberkieferdistraction Anwendung. Byloff und Mossaz (2004) geben bei der transversalen Oberkieferdistraction zur knöchernen Konsolidierung der beiden paramedianen Distractionsspalten eine sechsmonatige Retentionsphase an. Während in unserer Studie die Hyrax-Dehnapparat 6 Monate postoperativ verblockt im Mund des Patienten verbleibt, haben Byloff und Mossaz sie bereits nach 3 Monaten gegen ein herausnehmbares funktionskieferorthopädisches Gerät ausgetauscht, das für weitere 3 Monate die Transversale stabilisieren soll. Diese Apparat hält zwar die neu gewonnene Zahnbogenbreite, aber die Zähne können kippen und die Zahnwurzeln der transversalen Narbenschumpfung von Knochen und Weichgewebe folgen. Die Hyrax-Dehnapparat bietet mit körperlicher Verankerung an je zwei Zähnen pro Kieferhälfte mehr transversale Stabilität beider Oberkieferhälften

während der gesamten Retentionsphase. Erst danach beginnt die kieferorthopädische Ausformung des Zahnbogens.

Im Gegensatz dazu wurden in den letzten Jahren eine Vielzahl von knochenverankerten Distraktoren entwickelt, die Behandlungszeit sparen und die kieferorthopädische Therapie bereits nach dem operativen Eingriff möglich machen. Die gesamte kieferorthopädisch-MKG-chirurgische Behandlung kann somit um etwa 6 Monate verkürzt werden. Knochenverankerte Distraktoren werden vorwiegend auch verwendet, wenn aufgrund eines reduzierten Restzahnbestands oder einer parodontalen Vorschädigung eine dentale Verankerung nicht möglich oder belastend ist. Einer der bekanntesten knochenverankerten Distraktoren ist der transpalatinale Distraktor (TPD) von Mommaerts (1999). Er wird knöchern am Gaumen durch zwei Ankerplatten abgestützt und beinhaltet zur transversalen Distraction zwei ineinander teleskopierende Gewindeschrauben. Die punktförmigen Verankerungen an beiden Seiten des Gaumen ermöglicht jedoch Kippbewegungen beider Oberkieferhälften, so dass, um dem vorzubeugen, frühzeitig mit der kieferorthopädischen Multibandbehandlung begonnen werden sollte. Auch die beiden Kieferhälften können damit in die geplante möglichst symmetrische Stellung zueinander gebracht werden.

Wenn keine parallele transversale Erweiterung des Oberkiefers nötig ist, sondern in Abhängigkeit vom transversalen Knochendefizit mehr anterior oder posterior distrahiert werden sollte, kann die zahnverankerte Fächerdehnschraube (Fa. Leone) mit häufig anterior liegender Gewindespindel verwandt werden, um den Oberkiefer lediglich im vorderen Teil zu weiten (Sander 2011). Der Molarenbereich des Oberkiefers muß bei kaukasischen Patienten nur selten distrahiert werden.

In der Zukunft wäre es erstrebenswert, eine individuell aktivierbare Dehnapparatur zu entwickeln, die eine Dehnung des schmalen Oberkiefers in Abhängigkeit vom Knochendefizit ermöglicht. Diese Möglichkeit würde aber eine vorherige exakte kieferorthopädische Planung mit Bestimmung der transversalen Zahnbogenbreite voraussetzen.

Der Großteil der Studien beschränkt sich allein auf die Zeit von der Operation bis zum Distraktionsende  $t_0$ - $t_2$ . Die Retentionsphase und auch die kieferorthopädische Nachbehandlung werden nicht berücksichtigt. In unserer Untersuchung ist die kieferorthopädische Behandlung ein Jahr nach der Retentionsphase weitgehend

abgeschlossen, es handelt sich somit um Langzeitergebnisse. Somit sind die Ergebnisse der meisten anderen Studien nur bedingt mit unseren vergleichbar. Lediglich in der Studie von Byloff und Mossaz (2004) wird sowohl die 6-monatige Retentionsphase als auch der anschließende einjährige Untersuchungszeitraum nach abgeschlossener kieferorthopädischer Behandlung berücksichtigt. Diese Zeiträume werden auch in den Studien von Bays und Greco mit 2,4 Jahren, Stromberg und Holm mit 3,5 Jahren und Anttila et al. (2004) mit 5,9 Jahren berücksichtigt. In diesen Fällen können wir davon ausgehen, dass die kieferorthopädische Behandlung abgeschlossen ist. Bei Anttila et al. erfolgte die kieferorthopädische Behandlung als Vorbereitung für einen zweiten operativen Eingriff.

Bei der Le-Fort-I Osteotomie haben wir uns an der Operationstechnik von Bell (1976) orientiert. Eine „down-fracture“ wurde jedoch nicht vorgenommen. Allerdings haben wir im Gegensatz zu Bell den Processus pterygoideus ossis sphenoidales nicht vollständig osteotomiert, sondern nur eine bukkale Osteotomie des Tuber maxillae mit ergänzender Durchtrennung der fazialen Kieferhöhlenwände bis zur Apertura piriformis und beidseits eine paramediansagittale Osteotomie im Nasenbodenbereich vorgenommen. Unser Studienkonzept erfolgte unter der Überlegung, die dünnen knöchernen Strukturen des Processus pterygoideus würden bei der transversalen Distraction ausreichend Halt für beide mobilen Oberkieferanteile bieten, um unvorhersehbare Dislokationen zu vermeiden. Die Mobilisation sollte nur insoweit erfolgen, wie es die Weitung des Oberkiefers erfordert. Matteini und Mommaerts (2001) hingegen forderten eine vollständige Osteotomie des Processus pterygoideus, um die Distraction zu erleichtern. Autoren wie Iseri et al. haben sich Gedanken über Spannungen bis auf das Sphenoid an der Schädelbasis gemacht und auch Sorge um Verletzungen der Nerven und Gefäße geäußert (Iseri et al. 1998, Jafari et al. 2003, Lanigan und Mintz 2002). Diese Region wurde mit Hilfe der Finite-Element-Methode (FEM) als stärkste Widerstandszone ermittelt (Holberg 2005, Jafari et al. 2003). Ziel der Studie von Shetty et al. (1994) war es, die bei einer GNE induzierten Spannungen und Verformungen am juvenilen und adulten Sphenoid zu analysieren. Shetty et al. zeigten an einem dreidimensionalen photoelastischen Modell, dass der Widerstand posterior an der Sutura palatina mediana größer ist als lateral. Eine Untersuchung von Braun et al.

(2000) identifizierte die Widerstandszentren in horizontaler und frontaler Ebene an der Sutura palatina in Höhe der dritten Molaren und der Sutura nasofrontalis.

Zusätzlich tritt in Abhängigkeit vom Ausmaß der Distraction auch eine durch weichgewebige Narbenstriktur bedingte Rückstellung der transversalen Dehnung des Oberkiefers auf.

Weniger invasiv operieren Zöller (1991) und Glassman (1984). Zöller osteotomiert nur den Processus zygomaticus maxillae am Ansatz und den Gaumen median, während Glassman (1984) nur die faziale Oberkieferwand von der Apertura piriformis bis dorsal der Crista zygomaticoalveolaris durchtrennt.

In der vorliegenden Studie wurden Gipsmodelle der Kiefer nach der Methode von Pont (1909) ausgewertet. Die Modellanalyse nach Pont wird von der Mehrheit der Autoren bis heute verwandt (Isaacson 1964, Chang 1997, Davidovitch 2005). Sie ist seit Jahrzehnten die Standardmethode der Modellauswertung in der Kieferorthopädie. Die Autorin dieser Arbeit hat die pontische Vermessung der Gipsmodelle mittels Lineal und Zirkel durch zwei aufeinander folgende Messungen präzisiert, um Ungenauigkeiten zu reduzieren. Eine weitere Verbesserung der Messgenauigkeit bietet die computergestützte Analyse dreidimensional gescannter Modelle. Die Studie von Redlich et al. (2008) konnte eine gute Übereinstimmung zwischen der herkömmlichen Messung mittels Lineal und Zirkel und der neuen digitalen Messung der Zahnbogenbreite und Zahnbogenlänge zeigen. Heute werden an kieferorthopädischen Abteilungen alte Gipsmodelle und Behandlungsergebnisse eingescannt, um Lagerraum, der für die 10-jährige Aufbewahrungsfrist der Unterlagen erforderlich ist, einzusparen und neue Behandlungsplanungen mit virtuell erzeugten 3D-Modellen und digitalen Modellanalysen generiert. Sie ist an großen Kliniken inzwischen Standard geworden. Erste Entwicklungen zur Digitalisierung von Modellen wurden bereits durch Yamamoto et al. (1989) beschrieben. Kuroda et al. (1996) gelang es, die Gipsmodelle in ein virtuelles 3D-Modell umzuwandeln. Es konnten eine Verbesserung bezüglich der Genauigkeit und Reproduzierbarkeit digitaler Messungen gegenüber herkömmlichen Messverfahren aufgezeigt werden (Dalstra und Melsen 2009). Die Durchführung digitaler Modellanalysen an virtuell erzeugten 3D-Modellen hat sich auch in anderen

Studien als präzise erwiesen (Stevens 2006, Quimby et al. 2004, Veenema et al. 2009, Santoro et al. 2003, Costalos et al. 2005).

Neben der metrischen Analyse des Modellbefundes steht vor allem eine sorgfältige radiologische Auswertung der dentalen und anatomischen Strukturen im Vordergrund. Die Schädel p.a.-Aufnahme wird daher zur Diagnostik des schmalen Oberkiefers herangezogen und erfolgte in Anlehnung an die von Byloff und Mossaz (2004) angewandte Methodik, die für diese Studie modifiziert wurde. Die Schädel p.a.-Aufnahme stellt ein aussagekräftiges Hilfsmittel in der kieferorthopädischen Diagnostik von skelettalen und dentalen Diskrepanzen in der transversalen Ebene dar und ist der Fernröntgenseitenaufnahme überlegen (Mulick 1965, Schopf 1961).

In der Literatur spielt die Schädel p.a.-Aufnahme und deren Analyse in der klinischen Anwendung, im Gegensatz zur seitlichen Fernröntgenanalyse, eher eine untergeordnete Rolle.

Die ersten frontalen Fernröntgenaufnahmen für die radiologische Diagnostik in der Kieferorthopädie wurden erstmals durch Schwarz (1958) angefertigt, jedoch wurde bei dieser Methode noch kein Kephaloostat verwendet. Im Laufe des letzten Jahrhunderts entwickelten sich unterschiedliche Einstelltechniken und Konzepte zur Auswertung der frontalen Fernröntgenaufnahmen. Der Strahlengang kann sowohl in anterior-posterior (a.p.) als auch in posterior-anteriorer (p.a.) Richtung erfolgen. Die für eine Analyse notwendigen Definitionen von Bezugspunkten und Achsen am Schädel sind aufgrund spezieller Fragestellungen und Indikationsschwerpunkte zudem sehr unterschiedlich (Dausch-Neumann 1960, Jäger 1993, Svanholt 1977). Bei der Anfertigung und Auswertung von Schädel p.a.-Aufnahmen kann es zu Ungenauigkeiten kommen (Schmuth 1974). Daher muss eine exakte Positionierung des Schädels gewährleistet sein, um reproduzierbare Aufnahmen zu erhalten (Kinast 1974, Margolis 1940). Durch den standardmäßigen Einsatz von Kephaloostaten wird diese Reproduzierbarkeit weitestgehend gewährleistet. Des Weiteren können projektionsbedingt Überlagerungen der knöchernen Strukturen entstehen, die eine genaue Zuordnung der definierten Referenzpunkte erschweren können (Richardson 1967). Durch den in posterior-anteriorer Richtung verlaufenden Strahlengang mit filmnaher Positionierung des Gesichtsschädels können jedoch eine schärfere Darstellung der anatomischen Gesichtsstrukturen gewährleistet und Ungenauigkeiten vermieden werden.

Die Fernröntgenanalyse erfolgte nach dem Verfahren von Hasund (1972) und wurde für diese Studie modifiziert. Es wurde nicht wie bei der herkömmlichen Methode der Winkel OK/NL gemessen, sondern der Winkel OK1/NSL (Winkel Schneidezahnachse des oberen mittleren Inzisivus auf die vordere Schädelbasis, siehe Abb. 15). Die NSL-Linie dient dabei als feste Konstante, die während der transversalen Distraction unverändert bleibt. Dadurch kann die Reklination der Inzisivi bestimmt werden. Hasund hat eine umfangreiche Analyse des seitlichen Fernröntgenbildes an kaukasischen Schädeln erstellt, die sogenannte Bergen-Analyse (Hasund 1972, Segner und Hasund 1998). Diese ursprünglich für die kieferorthopädische Behandlung entwickelte Analyse ist bereits in den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts von Mund-, Kiefer-Gesichtschirurgen übernommen worden, als die Multibandbehandlung die schnelle und erfolgreiche Ausformung ganzer Zahnbögen ermöglichte und chirurgisch die simultane Verlagerung von Ober- und Unterkiefer zur Korrektur schwerer Fehlbisse möglich wurde. Die orthognathe Chirurgie verfügte damit über neue Möglichkeiten. Die MKG Chirurgen konnten durch OP Simulationen bereits vor der Operation planen, wohin Ober- und Unterkiefer bewegt werden sollen, um kephalometrisch eine Normposition der Kiefer zu erreichen. Hasunds Winkelangaben ermöglichte die Verlagerung des gesamten Gesichtsschädels in horizontaler Ebene zur Korrektur des Klasse II- und III-Fehlbisses, aber auch in vertikaler Richtung zur Korrektur eines Kurz- oder Langgesichts (Guerrero und Bell 1999). Auch die Hasund-Analyse von Frontzahnstellungen konnte von MKG-Chirurgen übernommen werden. Proklinations- oder Reklinationsstellungen der Frontzähne konnten durch Segmentosteotomien oder Distractionen von Frontzahnsegmenten korrigiert werden (Lee 2007).

Die Studien von Kauffmann (2012) und Byloff und Mossaz (2004) verwenden neben unserer Studie als einzige sowohl eine Modellanalyse nach Pont, Schädel p.a.-Analyse und Fernröntgenanalyse in Kombination. Chamberland (2011) und Berger et al. (1998) verwenden neben der Modellanalyse nur die Schädel p.a.-Analyse. Die Mehrzahl der Studien wurden jedoch nur anhand von Modellanalysen durchgeführt (Antilla et al., 2004, Bays und Greco 1992, Bierenbroodspot et al. 2002, Neubert et al. 1989, Pogrel et al. 1992, Stromberg und Holm 1995).

Diese Art der Modellauswertung ist heute in kieferorthopädischen Praxen häufig zu beobachten. Dort wird bei Auftreten eines Kreuzbisses neben der klinischen Diagnostik oft nur eine Modellanalyse durchgeführt und anhand dieser auch eine transversale Distraction des Oberkiefers geplant (Rakosi 1984, Schopf 1990). Die skelettale Diskrepanz zwischen schmalem Oberkiefer und Unterkiefer ist jedoch nur mit Hilfe einer Schädel p.a.-Analyse möglich. Die Anfertigung und Analyse von Schädel p.a.-Aufnahmen sollte die bisherigen Modellanalysen unterstützen, da ein skelettaler Knochenzuwachs nur so sichtbar ist und somit auch ein stabiles transversales Behandlungsergebnis und eine orthognathe Stellung besonders der Oberkiefermolaren gewährleistet wird.

## **4.2 Ergebniskritik**

Die Untersuchungsparameter der relevanten Vergleichsstudien sind sehr uneinheitlich und nur eingeschränkt vergleichbar. Trotzdem erfolgt der Versuch, die wesentlichen Ergebnisse aus der Literatur mit unserer Studie zu vergleichen. In der Literatur finden sich keine vergleichbaren Studien, die die Korrelation des Zahnbogens und des knöchernen Oberkiefers in Bezug auf das Distractionsausmaß an der Hyrax-Dehnapparatur untersucht hat.

### **4.2.1 Dentale Auswirkungen in der Transversalen**

In der Distractionsphase korrelierte die Erweiterung der vorderen und hinteren Zahnbogenbreite höchst signifikant miteinander. Sie nahmen gleichmäßig zu. In der Distractionsphase wurde die vordere Zahnbogenbreite um durchschnittlich 6,2 mm erweitert, die hintere Zahnbogenbreite nur um 5,6 mm. Wir haben postoperativ eine parallele Oberkiefererweiterung erwartet. Wir erklären dieses Ergebnis mit dem noch vorhandenen knöchernen Widerstand im Bereich des Processus pterygoideus.

Kauffmann (2012) kam in seiner Studie zu dem Ergebnis, das bei der transversalen Oberkieferdistraction die vordere und die hintere Zahnbogenbreite annähernd gleichmäßig zunahmen. Die vordere Zahnbogenbreite vergrößerte sich um 6,5 mm, die hintere um 6,1 mm. Wie bei den in der vorliegenden Studie eingeschlossenen Patienten, wurde die pterygomaxilläre Verbindung nicht völlig gelöst.



Zöller und Ullrich (1991) beschreiben in der Distraktionsphase ebenfalls eine annähernd parallele Erweiterung der Gaumennaht, wobei die vordere Zahnbogenbreite mit 7,8 mm auch mehr zunahm als die hintere mit 7,1 mm. Wie schon oben erwähnt, war das operative Vorgehen von Zöller und Ullrich weniger invasiv und erzielte dennoch ein nahezu gleiches Ergebnis. Zu einem gegensätzlichen Ergebnis, was den unmittelbaren Befund nach Distraktionsende (t2) anbelangt, kam die Untersuchung von Byloff und Mossaz (2004). Diese Studie stellte eine durchschnittliche Erweiterung der vorderen Zahnbogenbreite um 8,1 mm und der hinteren Zahnbogenbreite um 8,7 mm fest. Die beiden Autoren durchtrennten die pterygomaxilläre Verbindung beidseits aber auch vollständig. Die Hyrax-Dehnapparat wurde an den zweiten Prämolaren und ersten Molaren verankert, während in der hier vorliegenden Studie eine Verankerung an den ersten Prämolaren durchgeführt wurde. Gegebenenfalls ist auch die distalere Fixierung der Apparatur ein zusätzlicher Aspekt für das Ergebnis.

Auch Chamberland et al. (2011) und Berger et al. (1998) durchtrennten die pterygomaxilläre Verbindung beidseits vollständig und kommen zu einem anderen Ergebnis: Während bei Chamberland et al. die Erweiterung an den ersten Molaren  $7,60 \pm 1,57$  mm betrug, stellten Berger et al. eine Weitung von 5,78 mm fest.

Vergleiche von Rezidiven sind aufgrund der unterschiedlichen Retentionsphase der einzelnen Studien schwierig. Diese variieren von 2 bis 12 Monaten, durchschnittlich wurde eine Retentionsphase von 3 Monaten angegeben. Auch die postoperative kieferorthopädische Behandlung erschwert eine sichere Aussage. Anhand der Modellanalyse wurde die transversale Breite metrisch vermessen, es kann aber nicht unterschieden werden, in welchem Ausmaß die Distraction, beziehungsweise ein Rezidiv, rein dental, rein skelettal oder durch eine Kombination aus beidem bedingt sind.

In der 6-monatigen Retentionsphase und anschließenden ca. 1-jähriger KFO-Nachbehandlung haben wir kein Rezidiv gesehen. Im Gegenteil - wir stellten noch eine weitere geringe Zunahme der vorderen Zahnbogenbreite von 0,3 mm und eine Verkleinerung der hinteren Zahnbogenbreite um 0,3 mm fest. Das könnte an der kieferorthopädischen Ausformung der Zahnbögen liegen.

Kauffmann (2012) konnte nach Abschluss der Retentionsphase (6 Monate postoperativ) ebenfalls kein Rezidiv feststellen. Die Studien von Byloff und Mossaz (2004) und Chamberland et al. (2011) haben auch nach 6-monatiger Retentionsphase einen Befund für dentale Veränderungen erhoben. Byloff und Mossaz stellten ein Rezidiv von 0,7 mm für die vordere Zahnbogenbreite und von 0,5 mm für die hintere Zahnbogenbreite fest. Dies könnte durch den Wechsel der Retentionsapparatur bedingt sein. Chamberland et al. berichten über ein Rezidiv von  $1,83 \pm 1,83$  mm (24%) für die hintere Zahnbogenbreite.

In den folgenden Studien konnten nach einjähriger Retentionsphase, unter Einschluß der kieferorthopädischen Behandlung, folgende Rezidivraten an den ersten Molaren festgestellt werden: Berger et al. stellten ein Rezidiv von 1,01mm (17,5%), Pogrel et al. (1992) ein Rezidiv von 0,8mm (11,8%) und Koudstaal et al. (2009) ein Rezidiv von 0,5 mm (55%) fest. Trotzdem konnte in diesen Studien belegt werden, dass ein erfolgreiches Behandlungsergebnis erzielt werden konnte, auch wenn sich die Patienten noch in kieferorthopädischer Nachbehandlung befanden. Chamberland et al. stellten nach kieferorthopädischer Behandlung (15 Monate postoperativ) ein Rezidiv von 1,04 mm fest. Lediglich in der Studie von Byloff und Mossaz (2004) wurde nach kieferorthopädischer Behandlung ein weitaus größeres Rezidiv von 3,1mm (36%) festgestellt (Tabelle 9).

Bays und Greco (1992) untersuchten Patienten  $2,4 \pm 1,3$  Jahre nach kieferorthopädischer Behandlung, und beobachteten ein transversales Rezidiv von  $0,45 \pm 0,69$  mm (7,7%), Stromberg und Holm (1995) stellten nach 3,5 Jahren ein Rezidiv von  $1,2 \pm 1,3$ mm (8,3%) und Antilla et al. (2004) nach 6 Jahren ein Rezidiv von 1,3mm (22%).

Tabelle 9: Rezidivraten Vergleichsstudien

| Autoren                   | Retentionsphase | Rezidiv  |
|---------------------------|-----------------|--|
| Kauffmann (2012)          | 6 Monate        | kein Rezidiv   |
| Byloff & Mossaz (2004)    | 6 Monate        | 0,7mm vordere Zahnbogenbreite<br>0,5mm hintere Zahnbogenbreite |
| Chamberland et al. (2011) | 6 Monate        | 1,83mm hintere Zahnbogenbreite                                 |
| Berger et al. (1998)      | 12 Monate       | 1,01mm hintere Zahnbogenbreite                                 |
| Pogrel et al. (1992)      | 12 Monate       | 0,8mm hintere Zahnbogenbreite                                  |
| Koudstaal et al. (2009)   | 12 Monate       | 0,5mm hintere Zahnbogenbreite                                  |
| Byloff & Mossaz (2004)    | 12 Monate       | 3,1 mm hintere Zahnbogenbreite                                 |
| Chamberland et al. (2011) | 15 Monate       | 1,04 mm hintere Zahnbogenbreite                                |

Der verbreiterte Oberkiefer führte zu einer Abflachung des vorderen Zahnbogens und zu einer Verringerung der vorderen Zahnbogenlänge. Diese Verringerung ist durch den Schluß des zwischen den zentralen Inzisivi durch die Distraction entstandenen Diastemas begründet, das ebenfalls von Derichsweiler (1953), Cross und McDonald (2000) beschrieben wurde. Dieses Diastema verringert sich in der Retentionsphase zunächst innerhalb von 3 Monaten spontan durch Lippendruck ohne kieferorthopädische Einflüsse. Anschließend erfolgt die festsitzende kieferorthopädische Behandlung mit Ausformung zueinander kongruenter Zahnbögen im Oberkiefer und Unterkiefer. Mommaerts (2004) stellt fest, daß dieser Effekt der Bewegung der Zähne in den Distractionsspalt durch den Zug der transseptalen parodontalen Sharpeyschen Fasern ausgelöst wird, die das Diastema zwischen den Frontzähnen während der transversalen Oberkieferdistraction schließen. Andere Untersuchungen deuten daraufhin, dass die transseptalen Fasern auch für die Mesialdrift der Zähne und für einige Formen des Frontengstandes verantwortlich sind (Moss und Picton 1970, Picton und Moss 1973, Picton und Moss 1980).

Der schmale Oberkiefer weist oft einen Frontzahnengstand oder eine (lückige) Frontzahnprotrusion auf. Hierfür sind funktionelle Aspekte entscheidend. Oft kommt es bei geringem Platz im Gaumenbereich durch Pressen der Oberkieferfrontzähne auf die Unterlippe oder durch Drücken der Zunge gegen die Frontzähne zur Protrusion der Oberkieferfrontzähne. Der Frontzahnengstand und die Frontzahnprotrusion werden

durch die transversale Oberkiefererweiterung korrigiert. Es wird ein skelettaler Effekt erzielt, die vordere und hintere Zahnbogenbreite erweitert und nach der kieferorthopädischen Behandlung auch ein dentaler Effekt erzielt, die Reduktion der Frontzahnprotrusion. Bei normaler Oberkieferfrontzahnstellung, aber schmalem Gaumen, z.B. nach Prämolarenextraktion, würde der Schluss des Diastemas einen Steilstand der Front hervorrufen. Um dies zu vermeiden, ist die Angulation der Oberkieferfrontzahnwurzeln nach palatinal sinnvoll.

Ist eine Proklinationsbeseitigung ohne Steilstellung der Zähne nicht möglich sollten, um ein ansprechendes ästhetisches Behandlungsergebnis zu erzielen, zusätzliche Segmentosteotomien von 12 bis 22 durchgeführt werden. Um einen Steilstand der Frontzähne zu korrigieren, werden die Zahnwurzeln ohne Änderung des okklusalen Reliefs von apikal nach posterior verlagert bzw. apikal herausgekippt, um die Proklination zu reduzieren (Lee 2007). Liegt jedoch der Unterkiefer im Verhältnis zum Oberkiefer zu weit vorne, ist eine Korrektur der Proklination nicht sinnvoll.

#### **4.2.2 Skelettale Auswirkungen in der Transversalen**

In der Schädel p.a.-Aufnahme wurden die Parameter  $Mx-Mx'$  (Ausmaß der Distraction der knöchernen Oberkieferbasis) und  $Av-Av'$  (Ausmaß der Distraction im Bereich der Alveolarfortsatzes) analysiert.

Byloff und Mossaz (2004) stellten in ihrer Studie eine skelettale Weitung der knöchernen Oberkieferbasis von 1,3 mm fest, während Neubert et al. (1989) eine Weitung von 1,7 mm beschrieben. Kauffmann (2012) berichtet in seiner Studie über eine skelettale Weitung der knöchernen Oberkieferbasis von 3 mm und von 5,1 mm im Bereich des Alveolarfortsatzes. Berger et al. (1998) stellten eine Weitung von 3 mm für die knöcherne Oberkieferbasis und von 3,42 mm im Bereich des Alveolarfortsatzes fest. Chamberland et al. (2008) beschrieben eine skelettale Weitung von  $3,49 \pm 1,37$  mm und Gilon et al. (2000) eine Weitung von 5 mm (1,5-8,5 mm). Bis auf die Werte von Byloff und Mossaz (2004) und Neubert et al. (1989) sind die Werte höher als die von uns gemessenen. Als Grund dafür kommt die umfangreichere Mobilisierung des Oberkiefers infrage.

In der hier vorliegenden Studie konnte für die knöchernen Oberkieferbasis und den Bereich des Alveolarfortsatzes ein Rezidiv von 0,2 mm nach 6-monatiger Retentionsphase mit ca. 1-jähriger KFO-Nachbehandlung festgestellt werden.

Kauffmann konnte nach 6-monatiger Retentionsphase kein Rezidiv feststellen, er berichtet sogar noch über eine weitere Zunahme der transversalen Breite, die jedoch nicht signifikant war. Byloff und Mossaz stellten nach dreimonatiger Retentionsphase ein Rezidiv von 0,1 mm fest. In der Untersuchung von Berger et al. betrug nach 1-jähriger Retentionsphase das Rezidiv 0,67 mm für die knöchernen Oberkieferbasis und 0,14 mm im Bereich des Alveolarfortsatzes. Die skelettale Erweiterung von Neubert et al. und Chamberland et al. waren nahezu stabil. Auch Gilon et al. konnten kein Rezidiv feststellen. In einigen Studien wird sogar eine Überkorrektur von 0,5 bis 2 mm empfohlen (Byloff und Mossaz, 2004, Goldenberg et al. 2008, Kraut 1984, Lehmann et al. 1989, Neubert et al. 1989, Pogrel et al. 1992). Eine Überkorrektur scheint im Hinblick auf die untersuchten Rezidivraten nicht notwendig, da diese sehr gering sind. Das stabile Ergebnis unserer Studie dürfte an der sechsmonatigen Retentionsphase liegen. Cleall et al. (1965) zeigte auf, dass der Distractionsspalt nach nur dreimonatiger Retentionsphase röntgenologisch gut durchbaut erschien, jedoch nach histologischer Untersuchung ungeordneten und bedingt kalzifizierten Knochen aufwies. Eine mindestens 6-monatige Retentionsphase erscheint daher zwingend erforderlich, damit der Distractionsspalt vollständig physiologisch verknöchert.

In der Distractionphase korrelierte die Weitung der knöchernen Oberkieferbasis und der Bereich des Alveolarfortsatzes höchst signifikant miteinander. Es erfolgte eine durchschnittliche röntgenologisch gemessene Schraubenexpansion von 3,7 mm, die höchst signifikant in der Distractionphase mit der Weitung der knöchernen Oberkieferbasis und dem Bereich des Alveolarfortsatzes korrelierte. Es konnte verifiziert werden, dass die Korrelation zwischen der Schraubenexpansion und der Weitung im Bereich des Alveolarfortsatzes stärker war als zwischen der Schraubenexpansion und der Weitung der knöchernen Oberkieferbasis.

Goldenberg et al. (2008) untersuchten die Korrelation der Schraubenexpansion und der Weitung der knöchernen Oberkieferbasis mithilfe von CT-Aufnahmen. In

Übereinstimmung mit unseren Ergebnissen stellten sie fest, dass die Schraubenexpansion größer war als die Weitung der knöchernen Oberkieferbasis, sie konnten jedoch keine Korrelation zeigen. In koronaren CT-Aufnahmen konnte für die Messung im vorderen Teil des Oberkiefers eine signifikante transversale Weitung festgestellt werden. Sie führten initial, anders als in der hier vorliegenden Studie, auf beiden Seiten eine Überkorrektur von 2,5 mm durch. Die Schädel p.a.-, und CT-Aufnahmen sind aufgrund unterschiedlicher Messpunkte nur bedingt vergleichbar.

Bei der transversalen Oberkieferdistraction erfolgt neben der transversalen Weitung auch eine gewisse Kippung der Oberkiefersegmente, die sich weniger im Sinne einer Parallelverschiebung nach lateral bewegen. Vielmehr findet eine Rotation um ein kranial des Oberkiefers liegendes Rotationszentrum im Bereich der frontonasalen Sutur statt (Betts et al., 1995, Davis und Kronmann 1969, Haas, 1961, Memikoglu und Iseri 1999, Wertz 1970). Das palatinale Weichgewebe vernarbt, die Narbenkonstriktion wirkt transversal im Sinne einer Schrumpfung und die Oberkiefermolaren kippen nach bukkal, während die kieferorthopädischen Apparaturen noch in situ sind.

Mit der von uns vorgestellten OP-Technik mit zwei paramedianen sagittalen Osteotomien und Entfernung schmaler Knochensegmente aus der Crista zygomaticoalveolaris beidseits soll dieser Kippung der beiden Oberkieferanteile entgegengewirkt werden. Zwei palatinale schmale Osteotomiespalten führen gegebenenfalls zu weniger Narbenbildung und Narbenspannung als nur eine Osteotomie. Ausserdem erfolgt eine geringere Dehnung pro Osteotomiespalt, was einem Rezidiv entgegenwirkt.

### **4.2.3 Skelettale Auswirkungen in der Sagittalen**

Der Winkel OK1-NSL wurde gemessen, um die Inklination der Incisivi der Maxilla zu messen, wobei die vordere Schädelbasis als fester Referenzpunkt diene. Vom präoperativen Befund aus bis zum Ende der Retentionsphase konnte festgestellt werden, dass der Winkel OK1-NSL um 5° abgenommen hat. Die Incisivi wurden demnach rekliniert. Diese Bewegung war statistisch hoch signifikant. Chung et al. (2001) haben den Winkel OK/NL gemessen und stellten eine signifikante Retroinklination der Oberkieferincisivi von 2,2° fest. Skelettale Veränderungen in der sagittalen Ebene sind

sehr gering, klinisch nicht signifikant und in der Literatur nicht ausreichend beschrieben. Häufigste Indikation bei der Korrektur von schweren Fehlbissen sind der Ausgleich der Proklination der oberen Frontzähne und die Vergrößerung des oft zu kleinen NL-NSL Winkels (vertikale Relation des OK zur Schädelbasis) (Wangerin 2011).

## Schlussfolgerungen

Zusammenfassend ergeben sich auf der Grundlage der in der Arbeit beschriebenen Ergebnisse folgende Schlussfolgerungen:

### 1. Dentale Transversale Auswirkungen

Nach transversaler Oberkieferdistraktion weitet sich der Oberkiefer anterior mehr als posterior. Statistisch signifikant ist die Korrelation zwischen der Weitung der vorderen und der hinteren Zahnbogenbreite, diese nehmen gleichmäßig zu. Signifikant ist auch die Reklination der Oberkieferfrontzähne. In der Retentionsphase und KFO-Nachbehandlung kommt es zur signifikanten Verkleinerung der vorderen Zahnbogenlänge, bedingt durch den Schluss des in der Front gebildeten Diastemas.

### 2. Korrelation zwischen Distraktion des Zahnbogens und der Schraubenexpansion

Modellanalytisch erfolgte eine durchschnittliche Schraubenexpansion von 6,2 mm, die in der Distraktionsphase höchst signifikant mit der Weitung der vorderen Zahnbogenbreite übereinstimmte und korrelierte. Es konnte verifiziert werden, dass die Korrelation zwischen der Schraubenexpansion und der Distraktion der vorderen Zahnbogenbreite stärker positiv war als zwischen der Schraubenexpansion und der Distraktion der hinteren Zahnbogenbreite. Die vordere Zahnbogenbreite nimmt um die gemessene Weitung an der Hyrax-Dehnapparat zu. Da die transversale Weitung des Zahnbogens nicht parallel sondern V-förmig verlief, war dieses Ergebnis zu erwarten.

### 3. Skelettale Transversale Auswirkungen

Für die knöchernen Oberkieferbasis  $Mx-Mx'$  kann in der Distraktionsphase eine skelettale Weitung von 2,3 mm festgestellt werden. Im Bereich des Alveolarfortsatzes kommt es in der Distraktionsphase zu einer transversalen Weitung von 3,55 mm. Des Weiteren kann statistisch signifikant eine Korrelation zwischen der Weitung der knöchernen Oberkieferbasis und des Alveolarfortsatzes nachgewiesen werden.



#### 4. Korrelation zwischen Distraction des knöchernen Oberkiefers und der Schraubenexpansion

Röntgenologisch erfolgte eine durchschnittliche Schraubenexpansion von 3,7 mm, die in der Distractionsphase höchst signifikant mit der Weitung der knöchernen Oberkieferbasis und dem Bereich des Alveolarfortsatzes korrelierte. Es konnte verifiziert werden, dass die Korrelation zwischen der Schraubenexpansion und der Weitung im Bereich des Alveolarfortsatzes stärker positiv war als zwischen der Schraubenexpansion und der Weitung der knöchernen Oberkieferbasis.

#### 5. Rezidive nach KFO-Behandlung

Dental tritt kein Rezidiv nach Abschluss der kieferorthopädischen Behandlung auf. Es wird eine weitere geringe Zunahme der vorderen Zahnbogenbreite von 0,3 mm und eine Verkleinerung der hinteren Zahnbogenbreite um 0,3 mm festgestellt, vermutlich bedingt durch die kieferorthopädische Ausformung der Zahnbögen.

Röntgenologisch kann für die skelettalen Messwerte in der Schädel p.a. Analyse nach Abschluss der kieferorthopädischen Behandlung ein Rezidiv von 0,2 mm nachgewiesen werden, vermutlich bedingt durch die narbige Schrumpfung des palatinalen Weichgewebes in transversaler Richtung.

## 5 Zusammenfassung

### **Einleitung:**

Ausgewachsene Patienten mit schweren Fehlbissen werden heute routinemäßig kombiniert kieferorthopädisch und MKG-chirurgisch therapiert. Zu kleine oder zu große Kiefer können so interdisziplinär in sagittaler und vertikaler Richtung zueinander in Normstellung gebracht werden. Wenig Beachtung hat bisher die Behandlung des in der Transversalebene zu schmalen Oberkiefers gefunden, der ein- oder beidseitig zum Kreuzbiss führt. In Fällen von schweren Fehlbissen in allen drei Dimensionen muss dem bisherigen interdisziplinären Behandlungsschema die operative transversale Distraction des Oberkiefers vorangestellt werden. In der vorliegenden Arbeit sollte untersucht werden, ob es einen direkten Zusammenhang zwischen Ausmaß der Distraction und Vergrößerung des Zahnbogens und der knöchernen Basis gibt.

### **Material und Methoden:**

Bei 71 Patienten mit einem Durchschnittsalter von 30 Jahren und einem Geschlechtsverhältnis von 59% weiblich zu 41% männlich wurde nach vollständiger Le-Fort-I-Osteotomie ohne down fracture mit paramedianer beidseitiger sagittaler Osteotomie der schmale Oberkiefer mit einer zahnverankerten Hyrax-Dehnapparat schrittweise parallel distrahiert, sechs Monate mit Distraktor in situ retiniert und über einen Zeitraum von 18 Monaten zu folgenden Zeitpunkten untersucht: präoperativ (t0), vor Distraktionsbeginn (t1), nach Distraktionsende (t2) und nach Abschluss der kieferorthopädischen Behandlung (t3). Es wurden Gipsmodelle der Kiefer, Schädel p.a.-Aufnahmen und Fernröntgenseitenbilder (FRS) zu den 3 o.a. Zeitpunkten nach standardisierten Methoden ausgewertet.

### **Ergebnisse:**

Es konnte eine statistisch signifikante transversale Weitung und Korrelation des Zahnbogens und des knöchernen Oberkiefers erreicht werden. Die transversale Weitung des Zahnbogens verlief nicht parallel, wie auf Grund der verwendeten Apparatur zu erwarten gewesen wäre, sondern sie verlief V-förmig. Die vordere Zahnbogenbreite nahm um die gemessene Weitung an der Hyrax-Dehnapparat zu. Die hintere Zahnbogenbreite weitete sich in geringerem Ausmaß. Das Diastema schloß sich während der Retentionsphase durch Spontanbewegung der oberen Frontzähne in den

Distractionsspalt weitgehend von selbst, anschließend erfolgte die kieferorthopädische Ausformung des Zahnbogens mit vollständigem Schluss des Diastemas. Eine Rezidivneigung lag nicht vor.

### **Schlussfolgerungen:**

Die transversale Oberkieferdistraction im Erwachsenenalter ist eine gut vorhersagbare und stabile Behandlungsmaßnahme, um eine transversale Zahnbogendiskrepanz mit schmalem Oberkiefer zu korrigieren. Neben den Eigenschaften der Hyrax-Dehnapparatur sind vor allem das OP-Verfahren und die entsprechenden Osteotomien ausschlaggebend. Ursächlich für die geringere Weitung der hinteren Zahnbogenbreite scheint der erhöhte knöcherner Widerstand im Tuberbereich zu sein. Die pterygomaxilläre Verbindung wurde bei der Operation zwar osteotomiert, aber nicht zusätzlich mobilisiert. Wir gehen davon aus, dass eine solche umfangreiche Lösung des mobilisierten Oberkiefers, wie wir es auch von der down fracture her kennen, das Ausmaß der transversalen Dehnung auch im hinteren Anteil verbessern würde und dem V-förmigen Öffnen der Segmente entgegenwirken würde.

Neben der knöchernen Weitung des Oberkiefers konnte durch die kieferorthopädische Zahnregulierung des Oberkiefers auch das distraktionsbedingte mediane Diastema geschlossen und ggf. die Korrektur einer Proklination erzielt werden. Die gleichzeitige kieferorthopädische Ausformung des Unterkieferzahnbogens ermöglicht eine Kongruenz beider Zahnbögen, die bei Bedarf in einem zweiten Schritt in sagittaler und vertikaler Richtung durch bignathe Osteotomie in Normalstellung gebracht werden können.

Die Indikationsstellung zur transversalen Distraction des Oberkiefers erfolgt bei Auftreten eines Kreuzbisses bisher routinemäßig klinisch oder an Situationsmodellen. Die Beurteilung der transversalen Ausdehnung der Zahnbögen wird aber durch die außerdem bestehende schwere Bissanomalie der Angle Klasse II oder III erschwert. Anfertigung und Analyse eines Schädel p.a.-Röntgenbildes erleichtert die Beurteilung der knöchernen Oberkieferbreite und sollte mit gleicher Selbstverständlichkeit erfolgen wie die kephalometrische Analyse eines seitlichen Fernröntgenbildes zur Beurteilung der sagittalen und vertikalen Dimension.

## 6 Literaturverzeichnis

1. Angell EH (1860a) The permanent or adult teeth. San Fran Med Press 1: 83-145.
2. Angell EH (1860b) Treatment of irregularity of the permanent or adult teeth. Dental Cosmos 1: 540-544, 599-601.
3. Anttila A, Finne K, Keski-Nisula K, Somppi M, Panula K, Peltomaki T (2004) Feasibility and long-term stability of surgically assisted rapid maxillary expansion with lateral osteotomy. Eur J Orthod 26: 391–395.
4. Baumrind S, Korn EL (1990) Transverse development of human jaws between the ages of 8.5 and 15.5 years, studied longitudinally with the use of implant. J Dent Res 69: 1298–1306.
5. Bays RA, Greco JM (1992) Surgically assisted rapid palatal expansion: An outpatient technique with long-term stability. J Oral Maxillofac Surg 50: 110–115.
6. Bell, WH, Epker, BN (1976) Surgical orthodontic expansion of the maxilla. Am J Orthod 70: 517-528.
7. Berger JL, Pangrazio-Kulberath V, Borgula T, Kaczynski R (1998) Stability of orthopedic and surgically assisted rapid palatal expansion over time. Am J Orthod Dentofacial Orthop 114: 638–645.
8. Betts NJ, Vanarsdall RL, Barber HD (1995) Diagnosis and treatment of transverse maxillary deficiency. Int J Adult Orthodon Orthognath Surg 10: 75-96.
9. Biedermann W (1968) An hygienic appliance for rapid expansion. J Pract Orthod 2: 67-70.
10. Bierenbroodspot F, Wering PC, Kuijpers- Jagtman AM, Stoelinga PJ (2002) Surgically assisted rapid maxillary expansion: a retrospective study. Ned Tijdschr Tandheelkd 109: 299–302.
11. Braun, S, Bottrel, JA, Lee, KG et al (2000) The biomechanics of rapid maxillary sutural opening. Am J Orthod Dentofacial Orthop 118: 257-261.
12. Brown GVI (1938) The Surgery of Oral and Facial Diseases and Malformations. 4th ed. London: Kimpton 507.
13. Byloff FK, Mossaz CF (2004) Skeletal and dental changes following surgically assisted rapid palatal expansion. Eur J Orthod 26: 403–409.

14. Chamberland S, Proffit W (2011) Short-term and long-term stability of surgically assisted rapid palatal expansion revisited. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 139(6): 815-822.
15. Chang JY, McNamara JA, Herberger T (1997) A longitudinal study of skeletal side effects induced by rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofacila Orthop* 112: 330-337.
16. Chung CH, DMD, MSa, Andrew Woo (2001) Maxillary sagittal and vertical displacement induced by surgically assisted rapid palatal expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 120: 144-148.
17. Chung CH, Goldman, AM (2003) Dental tipping and rotation immediately after surgically assisted rapid palatal expansion. *Eur J Orthod* 25: 353-358.
18. Cleall JF, Bayne DI, Posen JM, Subtelny JD (1965) Expansion of the midpalatal suture in the monkey. *Angle Orthod* 35: 23-35.
19. Costalos PA, Sarraf K, Cangialosi TJ, Efstratiadis S (2005) Evaluation of the accuracy of digital model analysis for the American Board of Orthodontics objective grading system for dental casts. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 128(5): 624-629.
20. Cross DL, McDonald JP (2000) Effect of rapid maxillary expansion on skeletal, dental, and nasal structures: a postero-anterior cephalometric study. *Eur J Orthod* 22: 519- 528.
21. Dahlberg G (1940) Statistical methods for medical and biological students. New York Interscience Publications.
22. Dalstra M, Melsen B (2009) From alginate impression to digital virtual models: accuracy and reproducibility. *Am J Orthod* 36: 36-41.
23. Dausch-Neumann D (1960) Die Fernröntgenaufnahme in der Norma forntalis bei der Progenie. *Dtsch zahnärztl Z* 15: 1522-1529.
24. Davidovitch M, Efsthathiou S, Sarne O, Vardimon AD (2005) Skeletal and dental response to rapid maxillary expansion with 2-versus 4-band appliances. *AM J Orthod Dentofac Orthop* 127: 483-492.
25. Davis WM, Kronmann JH (1969) Anatomical changes induced by splitting of the midpalatal suture. *Angle Orthod* 39: 126-132.
26. Derichsweiler H (1953) Die Gaumennahtsprengung. *Fortschr Kieferorthop* 1(14): 5-23.
27. Derichsweiler H (1956) Gaumennahterweiterung. Methode, Indikation und klinische Bedeutung. Carl Hanser Verlag, München.

28. Gilon Y, Heymans O, Limme M, Brandt L, Raskin S (2000) Indications and implications of surgical maxillary expansion in orthodontic surgery. *Rev Stomatol Chir Maxillofac* 101: 252–258.
29. Glassman AS, Nahigian SJ, Medway JM, Aronowitz HI (1984) Conservative surgical orthodontic adult rapid palatal expansion: sixteen cases. *Am J Orthod* 86: 207-231.
30. Goldenberg D, Goldenberg F, Alonso N, Gebrin E, Amaral T, Scanavini M and Ferreira M (2008) Hyrax appliance opening and pattern of skeletal maxillary expansion after surgically assisted rapid palatal expansion: a computed tomography evaluation. *Oral Surg, Oral Med, Oral Pathol, Oral Radiol, Endod* 106: 812-819.
31. Guerrero CA, Bell WH, Contasti GI, Rodríguez AM (1999) Intraoral mandibular distractionsosteogenesis. *Semin Orthod* 1: 35-40.
32. Haas AJ. Rapid palatal expansion of the maxillary dental arch and nasal cavity by opening the midfacial suture (1961) *Angle Orthod* 31: 73-90.
33. Haas AJ (1965) The treatment of maxillary deficiency by opening the midpalatal suture. *Angle Orthod* 35: 200-217.
34. Hasund A (1972) *Klinische Kephhalometrie für die Bergenanalyse. Medizinische Dissertationsschrift, Kieferorthopädische Abteilung des Zahnärztlichen Instituts der Universität Bergen.*
35. Holberg C (2005) Effects of Rapid Maxillary Expansion on the Cranial Base-an FEM-Analysis\*. *J Orofac Orthop* 1: 54-66.
36. Ilizarov, GA (1989a) The tension-stress effect on the genesis and growth of tissues. Part I. The influence of stability of fixation and soft-tissue preservation. *Clin Orthop* 238: 249-281.
37. Ilizarov, GA (1989b) The tension-stress effect on the genesis and growth of tissues. Part II. The influence of the rate and frequency of distraction. *Clin Orthop* 239: 263-285.
38. Ilizarov, GA (1990) Clinical applications of the tension-stress effect for limb lengthening. *Clin Orthop* 250: 8-26.
39. Isaacson RJ, Wood JL, Ingram AH (1964) Forces produced by rapid maxillary expansion. *Angle Orthod* 34: 256-260.
40. Iseri H, Tekkaya AE, Oztan O, Bilgic S (1998) Biomechanical effect of rapid maxillary expansion on the craniofacial skeleton, studied by the finite element method. *Eur J Orthod* 20: 347-356.

41. Jafari A, Shetty KS, Kumar M (2003) Study of stress distribution and displacement of various craniofacial structures following application of transverse orthopedic forces – a three-dimensional FEM study. *Angle Orthod* 73: 12-20.
42. Jäger A, Gripp L, Lorch V (1993) Kieferorthopädische Befunde bei Patienten mit einseitiger Angle-Klasse II. *Fortschr Kieferorthop* 54: 196-202.
43. Kahl-Nieke B (1995) Einführung in die Kieferorthopädie. Urban und Schwarzenberg, München.
44. Kauffmann M (2012) Retrospektive klinische Studie zur Therapie einer Transversalen Enge im Oberkiefer mittels chirurgisch assistierter Gaumennahterweiterung. Medizinische Dissertationsschrift, Abteilung Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Universität Tübingen.
45. Kinast H (1974) Zur Aussagekraft der p.a. Fernröntgenaufnahme. *Fortschr Kieferorthop* 35: 404-432.
46. Korkhaus G (1939) Biomechanische Gebiss- und Kieferorthopädie (Orthodontie). In: Bruhn Ch (Hrsg). *Handbuch der Zahnheilkunde*, Bd. 4. 1 und 2 Auflage. JF Bergmann München.
47. Koudstaal MJ, Poort LJ, van der Wal KGH, Wolvius EB, Prahl-Anderson B, Schulten AJM (2005) Surgically assisted rapid maxillary expansion (SARME): a review of the literature. *Int J Oral Maxillofac Surg* 34: 709-714.
48. Kraut R (1984) Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion by Opening the Midpalatal Suture. *J Oral Maxillofac Surg* 42: 651-655.
49. Kuroda T. et al. (1996) Three-dimensional dental cast analyzing system using laser scanning, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 110(4): 365- 369.
50. Lanigan DT, Mintz SM (2002) Complications of surgically assisted rapid palatal expansion: Review of the literature and report of case. *J Oral Maxillofac Surg* 60: 104-110.
51. Latham RA, Burston WR (1966) The postnatal pattern of growth at the suture of the human skull. An histological survey. *Dent Pract Dent Rec* 17: 61-67.
52. Lee JK, Chung KR, Baek SH (2007) Treatment outcomes of orthodontic treatment, corticotomy-assisted orthodontic treatment and anterior segmental osteotomy for bimaxillary dentoalveolar protrusion. *Plast Reconstr Surg* 120: 1027-1036.
53. Lehman JA, Haas AJ (1989) Surgical-orthodontic correction of transverse maxillary deficiency. *Clin Plast Surg* 16: 749-755.

54. Lehmann KM, Hellwig E, Wenz HJ (1998) Zahnärztliche Propädeutik: Einführung in die Zahnheilkunde. Deutscher Zahnärzterverlag, Köln.
55. Lines, PA (1975) Adult rapid maxillary expansion with corticotomy. *Am J Orthod* 67: 44-56.
56. Lundström A (1968) Changes in crowding and spacing of the teeth with age. *Dent Pract* 19: 24-218.
57. Margolis H (1940) Standardizing x-ray cephalometrics. *Am J Orthod Oral Surg* 26: 725.
58. Matteini C, Mommaerts MY (2001) Posterior transpalatal distraction with pterygoid disjunction: A short-term model study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 120: 498-502.
59. Melsen B (1975) Palatal growth studied on human autopsy material. *Am J Orthod* 68: 42-54.
60. Memikoglu TU, Iseri H (1999) Effects of a bonded rapid maxillary expansion appliance during orthodontic treatment. *Angle Orthod* 69: 251-260.
61. Mommaerts MY, Ali N, Correia P (2004) The concept of bimaxillary transverse osteodistraction: a paradigm shift. *Mund Kiefer GesichtsChir* 8: 211-216.
62. Mommaerts MY (1999) Transpalatal distraction as a method of maxillary expansion. *Br J Oral Maxillofac Surg* 37: 268-272.
63. Moss JP, Picton DCA (1970) Mesial drift of teeth in adult monkeys (*Macaca irus*) when forces from the cheeks and tongue had been eliminated. *Arch oral Biol* 15: 979-986.
64. Mulick JF (1965) Clinical use of the frontal headfilm. *Angle Orthod.* 35: 299–304.
65. Neubert J, Somsiri S, Howaldt HP, Bitter K (1989) Die operative Gaumennahterweiterung durch eine modifizierte Le Fort I-Osteotomie. *Dtsch Z Mund Kiefer GesichtsChir* 13: 57-64.
66. Obwegeser H (1976) Fortschritte und Schwerpunkte der orthopädischen Kiefer- und Gesichtschirurgie. *Fortschr Kiefer Gesichtschir (Suppl)* 21: 13-19.
67. Persson M (1973) Structure and growth of facial sutures. *Odontol Revy* 24: 6.
68. Picton DCA, Moss JP (1973) The part played by the transseptal fibre system in experimental approximal drift of the cheek teeth of monkeys (*Macaca irus*).



- Arch oral Biol 18: 669-680.
69. Picton DCA, Moss JP (1980) The effect on approximal drift of altering the horizontal component of biting force in adult monkeys (*Macaca irus*). Arch oral Biol 25: 45-48.
  70. Pogrel MA, Kaban LB, Vargervik K, Baumrind S. Surgically assisted rapid maxillary expansion in adults (1992) Int J Adult Orthodon Orthognath Surg 7: 37-41.
  71. Pont A (1909) Der Zahn-Index in der Orthodontie. Z Zahnärztliche Orthop 3: 306-321.
  72. Quimby ML, Vig KW, Rashid RG, Firestone AR (2004) The accuracy and reliability of measurements made on computer-based digital models. Angle Orthod 74(3): 298-303.
  73. Rakosi T (1984) Funktionelle Therapie in der Kieferorthopädie, 392-430, Hanser, München.
  74. Redlich M, Weinstock T, Abed Y, Schnoer R, Holdstein Y, Fischer A (2008) A new system for scanning, measuring and analyzing dental casts based on a 3D holographic sensor. Orthod Craniofacial Res 11(2): 90-95.
  75. Richardson ME (1967) The reproducibility of measurements on depressed posterior-anterior cephalometric radiographs. Angle Orthod 37: 48 – 51.
  76. Sailer H (1990) Fortschritte und Schwerpunkte der orthopädischen Kiefer- und Gesichtschirurgie. Fortschr Kiefer Gesichtschir Sonderband 24-30.
  77. Sander FM, Ehrenfeld M, Schwenzler N (2011) Zahn-Mund-Kieferheilkunde: Kieferorthopädie, 2: 85-92, Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
  78. Santoro M, Galkin S, Teredesai M, Nicolay OF, Cangialosi TJ (2003) Comparison of measurements made on digital and plaster models. Am J Orthod Dentofacial Orthop 124: 101-105.
  79. Schmuth GPF (1974) Die Problematik einer metrischen Auswertung von Röntgenaufnahmen in der Kieferorthopädie. Dtsch zahnärztl Z 29: 327 – 330.
  80. Schopf P (1961) Die frontale Röntgenaufnahme des Schädels und ihre Bedeutung für die kieferorthopädische Diagnose und Prognose. Medizinische Dissertationsschrift, Universität Mainz.
  81. Schopf P (1990) Curriculum Kieferorthopädie. Quintessenz, Berlin-Chicago-London-Sao Paulo-Tokio 58-330.
  82. Schwarz A.M (1958) Röntgenostatik. Urban & Schwarzenberg, München.

83. Segner D, Hasund A (1998) Individualisierte Kephalemetrie, 3.Aufl. Segner Verlag und Vertrieb, Hamburg.
84. Shetty V, BDS (1994) Biomechanical Rationale for Surgical-Orthodontic Expansion of the Adult Maxilla. *J Oral Maxillofac Surg* 52: 742-749.
85. Steinhäuser E (1972) The midline-splitting of the maxilla for correction of malocclusion. *J Oral Surg* 30: 413.
86. Stevens DR, Flores-Mir C, Nebbe B, Raboud DW, Heo G, Major PW (2006) Validity, reliability, and reproducibility of plaster vs digital study models: comparison of peer assessment rating and Bolton analysis and their constituent measurements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 129(6): 794-803.
87. Stöckli PW (1994) Postnataler Wachstumsverlauf, Gesichts-, Kieferwachstum und Entwicklung der Dentition. *Zahnmedizin bei Kindern und Jugendlichen*. 3.Auflage. 5-69, Thieme, Stuttgart.
88. Stromberg C, Holm J (1995) Surgically assisted, rapid maxillary expansion in adults. A retrospective long-term follow-up study. *J Craniomaxillofac Surg* 23: 222–227.
89. Svanholdt P (1977) Assessment of midline discrepancy on the posterior-anterior radiograph. *Trans Eur Orthod Soc* 25: 261 – 268.
90. Timms DJ, Vero D (1981) The relationship of rapid maxillary expansion to surgery with special reference to midpalatal synostosis. *Br J Oral Surg* 19: 96-180.
91. Veenema AC, Katsaros C, Boxum SC, Bronkhorst EM, Kuijpers- Jagtman AM (2009) Index of Complexity, Outcome and Need scored on plaster and digital models. *Eur J Orthod* 31: 3: 281-286.
92. Wangerin K (2010) Dysgnathiechirurgie einschließlich Distractionsosteogenese-Behandlungsstrategien und operative Techniken. *Dtsch Z Mund Kiefer GesichtsChir* 2: 145-162.
93. Wangerin K (2011) Ästhetik und Funktion in der orthognathen Chirurgie-Planungen und Ergebnisse. *Dtsch Z Mund Kiefer GesichtsChir* 4: 3: 148-159.
94. Wertz, RA (1970) Skeletal and dental changes accompanying rapid midpalatal suture opening. *Am J Orthod* 58: 41-66.
95. Yamamoto K. et al. (1989) Optical measurement of dental cast profile and application to analysis of three-dimensional tooth movement in orthodontics. *Front Med Biol Eng* 1: 2: 119- 130.
96. Zhou Y, Wang X, Lin Y (2000) Distraction osteogenesis for correction of

maxillary constriction. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi* 35: 177–180.

97. Zöller J, Ullrich H (1991) Die kombinierte chirurgisch-kieferorthopädische Gaumennahterweiterung im Erwachsenenalter. *Fortschr Kieferorthop* 52: 61-65.

## **7 Erklärung zum Eigenanteil**

Die Arbeit wurde in der Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie des Marienhospitals Stuttgart, einem Lehrkrankenhaus der Universität Tübingen, und in der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Eberhard Karls Universität zu Tübingen unter Betreuung von Herrn Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Dr. h. c. Konrad Wangerin und Herrn Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Siegm. Reinert, durchgeführt.

Die Konzeption der Studie erfolgte in Zusammenarbeit mit Herrn Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Dr. h. c. Konrad Wangerin und Herrn Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Siegm. Reinert.

Oberarzt Dr. med. Dr. med. dent. Werner Zoder hat die Patientendaten zur Verfügung gestellt. Die retrospektive anonymisierte Datenanalyse sowie die Vermessung der Gipsmodelle und Röntgenbilder wurden von mir eigenständig durchgeführt.

Die statistische Auswertung erfolgte nach Beratung durch Herrn Prof. Dr. med. Klaus Dietz, ehemaliger Direktor des Instituts für Biometrie der Universität Tübingen, durch mich.

Ich versichere, das Manuskript selbstständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben. Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Dr. h. c. Konrad Wangerin und Herr Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Siegm. Reinert haben das Manuskript korrigiert.

Tübingen, den 12.02.2020

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich Herrn Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Dr. h. c. Konrad Wangerin, ehemaliger Direktor der Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie des Marienhospitals Stuttgarts und Herrn Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Siegmar Reinert für die Überlassung des Dissertationsthemas sowie für die freundliche und hilfsbereite Unterstützung und die gute Zusammenarbeit während der Erstellung dieser Arbeit herzlichst danken.

Außerdem gilt mein Dank Oberarzt Dr. med. Dr. med. dent. Werner Zoder für die Betreuung der Patienten sowie für die gute Unterstützung.

Ebenso möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. med. Klaus Dietz, ehemaliger Direktor des Instituts für Biometrie an der Universität Tübingen, für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung bedanken.

Besonders möchte ich an dieser Stelle auch meiner Familie, meiner Mutter, meinem Mann und meinem Sohn Leonard, für die unermüdliche Stärkung, Geduld und Motivierung danken.