

Aus dem Lehrstuhl für  
Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie  
Prof. Dr. Dr. Torsten E. Reichert  
der Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

**Vergleichende Untersuchung der Reossifikation bei  
chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung und  
LeFort-I-Zweissegmentosteotomie mittels Digitaler  
Volumentomographie**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin

der  
Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

vorgelegt von  
Tim C. Melichar

2023



Aus dem Lehrstuhl für  
Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie  
Prof. Dr. Dr. Torsten E. Reichert  
der Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

**Vergleichende Untersuchung der Reossifikation bei  
chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung und  
LeFort-I-Zweissegmentosteotomie mittels Digitaler  
Volumentomographie**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin

der  
Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

vorgelegt von  
Tim C. Melichar

2023

Dekan:

Prof. Dr. Dirk Hellwig

1. Berichterstatter:

PD Dr. Dr. Steffen Müller

2. Berichterstatter:

Prof. Dr. Dr. Peter Proff

Tag der mündlichen Prüfung:

28.02.2024

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis .....	6
Abbildungsverzeichnis .....	7
Tabellenverzeichnis.....	8
1 Einleitung.....	9
1.1 Klassifikation der Dysgnathien .....	9
1.1.1 Geschichtliche Entwicklung der orthognathen Chirurgie.....	9
1.1.2 Eugnathie und Dysgnathie .....	12
1.1.3 Entstehung und Beschreibungen von transversalen Normabweichungen .....	12
1.1.4 Diagnostik der Dysgnathie und transversalen Normabweichung.....	13
1.1.5 Indikation der Gaumennahterweiterung bei transversaler Enge.....	14
1.2 Methoden zur transversalen Weitung des Oberkiefers .....	15
1.2.1 Geschichtlicher Hintergrund der Gaumennahterweiterung .....	16
1.2.2 Die kieferorthopädische Gaumennahterweiterung .....	16
1.2.3 Die chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung .....	17
1.2.4 Die LeFort-I-Zweisegmentosteotomie.....	18
1.3 Sagittale Ossifikation der Maxilla.....	19
1.3.1 Physiologische Ossifikation der Sutura palatina mediana.....	19
1.3.2 Ossifikation bei skelettverlagernden Operationen.....	20
1.3.3 Reossifikation als Stabilitätsfaktor nach skelettverlagernden Operationen.....	23
1.4 Bildgebende Verfahren zur Beurteilung der Ossifikation nach skelettverlagernder Operation im Gesichtsschädelbereich .....	24
1.4.1 Konventionelle radiologische Untersuchung.....	24
1.4.2 Computertomographische Untersuchung .....	25
1.4.3 Digitale Volumetomographie .....	25
1.5 Ziel der vorliegenden Arbeit .....	26
2 Material und Methoden.....	26
2.1 Studienaufbau.....	26
2.2 Zusammensetzung der Untersuchungsgruppe.....	27
2.3 Zeitpunkte der Messung der erweiterten Strecke und Beurteilung der Reossifikation.....	28
2.4 Chirurgische Intervention.....	29
2.4.1 Chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung .....	29
2.4.2 LeFort-I-Zweisegmentosteotomie .....	30

2.5	Messung der geweiteten Strecke mittels Digitaler Volumetomographie.....	31
2.5.1	Apparative Diagnostik und Software.....	31
2.5.2	Messpunkte .....	32
2.6	Beurteilung der Ossifikation nach skelettverlagernder Operation .....	33
2.7	Untersuchung der Kategorie der Reossifikation in Abhängigkeit der geweiteten Strecke.....	34
2.8	Statistische Analyse.....	35
2.8.1	Messgenauigkeit für die quantitative Untersuchung der geweiteten Strecke nach chirurgischer Intervention .....	35
2.8.2	Intraobserver-Variabilität für qualitative Kategorisierung der Reossifikation...	35
3	Ergebnisse .....	36
3.1	Transversale Streckenmessung nach chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung .....	36
3.2	Transversale Streckenmessung nach LeFort-I-Zweissegmentosteotomie.....	36
3.3	Reossifikation bei Patienten nach chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung .....	37
3.4	Reossifikation bei Patienten nach LeFort-I-Segmentosteotomie.....	39
3.5	Grad der Reossifikation in Abhängigkeit der geweiteten Strecke .....	40
3.6	Messgenauigkeit für die quantitative Untersuchung der geweiteten Strecke nach chirurgischer Intervention .....	41
3.7	Intraobserver-Variabilität für qualitative Kategorisierung der Reossifikation .....	42
4	Diskussion.....	45
4.1	Diskussion der Methoden.....	45
4.1.1	Quantitative Streckenmessung mittels Digitaler Volumetomographie .....	45
4.1.2	Qualitative Beurteilung der Reossifikation mittels Digitaler Volumetomographie .....	45
4.1.3	Untersuchung der Korrelation zwischen geweiteter Strecke und Verknöcherung .....	47
4.2	Diskussion der Ergebnisse .....	47
4.2.1	Vergleich der Reossifikation nach LeFort-I-Zweissegmentosteotomie und chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung.....	47
4.2.2	Der Einfluss der geweiteten Strecke auf die Reossifikation.....	48
4.2.3	Optimierung der Distraction nach chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung.....	49

4.2.4	Erweiterung des Foramen incisivum .....	50
5	Zusammenfassung.....	51
6	Literaturverzeichnis .....	52

## **Abkürzungsverzeichnis**

DVT: Digitale Volumetomographie

kVp: Peak kilovoltage

mA: Milliampere

FOV: Field of view

GNE-T: Zeitpunkt der Bildgebung der Gaumennahterweiterung

LF-T: Zeitpunkt der Bildgebung der LeFort-I-Zweisegmentosteotomie

CT: Computertomographie

DICOM: Digital Imaging and Communications in Medicine



# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Osteoplastische Resektion beider Oberkiefersegmente nach Kocher 1893. Quelle: Lanz, O. (1893) Deutsche Zeitschrift für Chirurgie 35. Auflage S. 429 .....	11
Abbildung 2:	Knochengetragene Dehnungsapparatur. ....	18
Abbildung 3:	Zahngetragene Dehnungsapparatur. ....	18
Abbildung 4:	Intraoperative Aufnahme einer Downfracture der Maxilla mit sagittaler Segmentosteotomie. ....	19
Abbildung 5:	Zustand nach chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung. Weichgewebiger Defekt interincisal infolge einer insuffizienten Reossifikation. Ein kieferorthopädischer Schluss des Diastemas ist erschwert. ....	23
Abbildung 6:	Zeitschema der Bildgebung der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung und der LeFort-I-Zweisegmentosteotomie. Bei der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung bestand die Möglichkeit der präoperativen oder postoperativen Bildgebung zum Zeitpunkt GNE-T1. ....	29
Abbildung 7:	Messstrecke anterior a mit Referenzpunkten in der Pulpahöhle der Zähne 13 und 23. In axialer Schnittebene. ....	32
Abbildung 8:	Ausrichtung der axialen Schicht (grün) in der coronaren Ansicht. ....	33
Abbildung 9:	Messstrecke posterior p an den Referenzpunkten im Zentrum des Foramen palatinum majus in axialer Schnittebene. ....	33
Abbildung 10:	Sagittale Ansicht für die Festlegung der axialen Ebene (grün) zur Beurteilung der Verknöcherung. ....	33
Abbildung 11:	links: Postoperatives DVT nach LeFort-I-Zweisegmentosteotomie mit paramedianen Osteotomielinien. ....	34
Abbildung 12:	Verteilung der Patienten nach chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung in Kategorien der Verknöcherung. ....	38
Abbildung 13:	Verteilung der Patienten nach LeFort-I-Zweisegmentosteotomie in Kategorien der Verknöcherung. ....	40
Abbildung 14:	Ergebnis des Cohens gewichteten Kappa Tests der Intraobserver-Variabilität für die Beurteilung und Kategorisierung der Reossifikation nach chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung. ....	43
Abbildung 15:	Ergebnis des Cohens gewichteten Kappa Tests der Intraobserver-Variabilität für die Beurteilung und Kategorisierung der Reossifikation nach LeFort-I-Zweisegmentosteotomie. ....	44
Abbildung 16:	Erweiterung des Foramen incisivum bei einem 23-jährigen Patienten sechs Monate nach LeFort-I-Zweisegmentosteotomie. ....	50

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Transversale Streckenmessung in Millimeter in der Gruppe der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung. $\Delta a$ beschreibt die anteriore Distanzänderung zwischen den Zeitpunkten GNE-T1 und GNE-T2. $\Delta p$ beschreibt die posteriore Distanzänderung zwischen den Zeitpunkten GNE-T1 und GNE-T2. ....	36
Tabelle 2:	Transversale Streckenmessung in Millimeter in der Gruppe der LeFort-I-Zweissegmentosteotomie. $\Delta p_1$ beschreibt die posteriore Distanzänderung zwischen den Zeitpunkten LF-T1 und LF-T2 entsprechend der intraoperativ erweiterten Strecke. $\Delta p_2$ beschreibt die posteriore Distanzänderung zwischen den Zeitpunkten LF-T2 und LF-T3 entsprechend dem postoperativen Rezidiv nach mindestens sechs Monaten. ....	37
Tabelle 3:	Geweitete Strecke $\Delta a$ und $\Delta p$ in Millimeter und Kategorisierung der Verknöcherung. Zeit $t$ in Tagen zwischen Operationsdatum und Bildgebung zur Beurteilung der Verknöcherung .....	38
Tabelle 4:	Geweitete Strecke $\Delta p_1$ in Millimeter zwischen prä- und postoperativer Bildgebung. Kategorisierung der Verknöcherung mindestens sechs Monate postoperativ. Zeit $t$ in Tagen zwischen Operationsdatum und Bildgebung zur Beurteilung der Verknöcherung .....	39
Tabelle 5:	Kategorisierungen der Verknöcherung in Abhängigkeit der erweiterten Strecke nach chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung für den Mittelwert der Strecke $\Delta a$ und $\Delta p$ in Millimeter. Mittelwert der Zeit $t$ in Tagen zwischen Operationsdatum und Bildgebung zur Beurteilung der Verknöcherung, $N$ = Fallzahl.....	40
Tabelle 6:	Kategorisierungen der Verknöcherung in Abhängigkeit der erweiterten Strecke in der Gruppe der LeFort-I-Zweissegmentosteotomie für den Mittelwert der Strecke $\Delta p_1$ . Mittelwert der Zeit $t$ in Tagen zwischen Operationsdatum und Bildgebung zur Beurteilung der Verknöcherung, $N$ = Fallzahl. ....	41
Tabelle 7:	Messung der transversalen Strecke (siehe 2.5 Messung der erweiterten Strecke mittels Digitaler Volumetomographie) zu vier Zeitpunkten mit Erhebung der SD=Standardabweichung.....	42
Tabelle 8:	Kategorisierung der Verknöcherung nach chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung mit drei Wochen Abstand zwischen den Messungen. ....	43
Tabelle 9:	Kategorisierung der Verknöcherung nach LeFort-I-Zweissegmentosteotomie mit drei Wochen Abstand zwischen den Messungen. ....	44

# **1 Einleitung**

Das Vorliegen einer transversalen Enge im Oberkiefer ist häufig mit funktionellen und ästhetischen Beeinträchtigungen verbunden und stellt regelmäßig einen Interventionsgrund in der Kieferorthopädie dar.

Bei Kindern wird eine transversale Enge rein kieferorthopädisch gelöst, im Erwachsenenalter wird aufgrund der zunehmenden Verknöcherung der Sutura palatina mediana ein chirurgischer Ansatz gewählt. Für die Behandlung einer transversalen Enge besteht bei Erwachsenen zum einen die Möglichkeit der chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung. Die Idee hierzu existiert bereits seit über 200 Jahren, die angewandte Methodik ist in dieser Zeit weiterentwickelt worden. Eine Alternative zur chirurgisch unterstützen Gaumennahterweiterung ist die segmentale LeFort-I-Osteotomie. Sie erfolgt im Rahmen einer bimaxillären Umstellungsosteotomie und kann bei höhergradigem transversalem Defizit auch nach einer bereits im Vorfeld erfolgten chirurgisch unterstützen Gaumennahterweiterung ergänzt werden.

Mit der Einführung der Digitalen Volumetomographie hat sich eine weitere diagnostische Möglichkeit zur Beantwortung noch offener Fragen in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie eröffnet. Durch die Nutzung der mit der Digitalen Volumetomographie erzeugten Bilddaten ist es möglich geworden, die Reossifikation nach skelettverlagernder Operation am Oberkiefer zwischen den beiden alternativen Operationsverfahren vergleichend zu untersuchen.

## **1.1 Klassifikation der Dysgnathien**

Das nachfolgende Kapitel gibt einen Überblick der geschichtlichen Entwicklung des operativen Vorgehens bei Normabweichungen des Gesichtsschädels und stellt die verschiedenen Indikationsstellungen dar.

### **1.1.1 Geschichtliche Entwicklung der orthognathen Chirurgie**

Die orthognathe Chirurgie, heute ein fester Bestandteil der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, hat ihre Ursprünge in der Mitte des 19. Jahrhunderts in den Vereinigten Staaten von Amerika (1).

*Simon P. Hullihen*, ein Allgemeinchirurg mit zahnärztlicher Ausbildung, operierte 1849 eine Patientin mit einem frontal offenen Biss, der durch Narbenzüge nach einer Brandverletzung entstanden war (2). Die durchgeführte alveoläre Osteotomie ist die erste Operation zur Behandlung einer Malokklusion (3). Sie beschreibt den Beginn der orthognathen Chirurgie, die sich zunächst nur auf Operationen am Unterkiefer beschränkte und lediglich schweren Malformationen vorbehalten war (4). 1897 führte *Vilray P. Blair*, ebenfalls ein Allgemeinchirurg, eine mandibuläre Osteotomie mit Kontinuitätsresektion im horizontalen Ast durch (5). Der Vorschlag zu der operativen Behandlung dieser mandibulären Progenie kam von dem Kieferorthopäden *Edward H. Angle* (6).

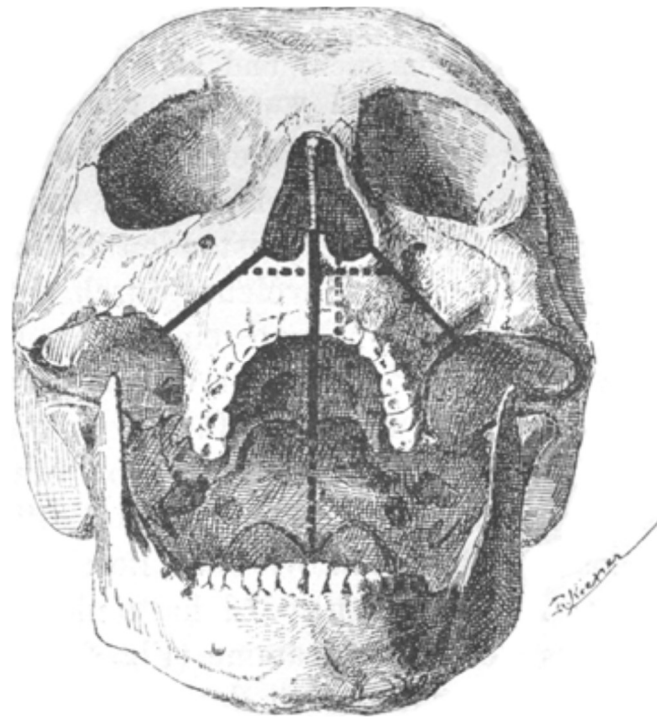
*Blair* veröffentlichte zu Beginn des 20. Jahrhunderts eine erste Klasseneinteilung der Kieferdeformitäten und unterteilte diese in mandibuläre Prognathie, mandibuläre Retrognathie, offenen Biss und mandibuläre, alveoläre und maxilläre Protrusion. Er erkannte den Wert der Zusammenarbeit von Kieferorthopädie und Chirurgie (3).

Die Weiterentwicklung der Chirurgie wurde verlangsamt durch die noch fehlende Möglichkeit einer antibiotischen Prophylaxe und -therapie. Die Eingriffe waren häufig begleitet von Infektionen und Wundheilungsstörungen (7) im Kiefer- und Gesichtsbereich, begünstigt durch die vorherrschende Mischflora des Mundraumes (1,4,8,9). Von den fortschreitenden anästhesiologischen Möglichkeiten einer steuerbaren Narkose konnten die Chirurgie im allgemeinen und Dysgnathie-Chirurgie im speziellen erst nach dem Zweiten Weltkrieg zuverlässig profitieren (10).

*Hugo Obwegeser*, der 1952 in Graz arbeitete, suchte nach einer Lösung für die geringe knöcherne Anlagerungsfläche, die durch eine transversale Osteotomie am Unterkiefer entstand und keine stabilen Ergebnisse brachte. Er entwickelte die sagittale stufenförmige Osteotomie, welche durch die breiten knöchernen Anlageflächen eine stabile Repositionierung und Reossifikation erlaubte. Dabei wählte er einen intraoralen Zugang (11). Im Bereich der Maxilla wurde eine verbleibende Vitalität der Oberkiefersegmente nach Osteotomie aufgrund der Blutversorgung zunächst angezweifelt (1).

Der Erstbeschreiber einer totalen Osteotomie des Oberkiefers in LeFort-I-Ebene ist *Bernhard von Langenbeck*, der die Methode 1859 als einseitigen Zugang während einer Tumorresektion nutzte (12).

1893 berichtete *Lanz* über eine Osteotomie entlang der LeFort-I-Ebene mit Segmentspaltung der Maxilla, entwickelt von *Kocher* (siehe *Abbildung 1*). Die Indikationsstellung galt nicht einer Neupositionierung im Sinne einer Dysgnathieoperation, sondern einer Tumorexzision des Nasenrachenraums (13).



*Abbildung 1: Osteoplastische Resektion beider Oberkiefersegmente nach Kocher 1893. Quelle: Lanz, O. (1893) Deutsche Zeitschrift für Chirurgie 35. Auflage S. 429*

1921 führte *Cohn-Stock* in Berlin die erste En-bloc-Mobilisation des Oberkiefers zum Zwecke einer dentofazialen Korrektur durch (14). Sein Schüler *Martin Wassmund* beschrieb 1927 eine maxilläre Osteotomie zur Behandlung einer posttraumatischen Malokklusion ohne Trennung des Processus pterygoideus von der Maxilla (11).

*Axhausen* berichtet 1936 von einer Patientin mit scheinbarer Progenie aufgrund eines in retraler Position abgeheilten Oberkiefers in Folge einer Fraktur. Er beschrieb, wie er das komplette Oberkiefersegment durch Drehen und Hebeln eines Meißels mobilisierte, bei dem die pterygomaxilläre Separation erfolgte (15). 1942 beschrieb *Schuchardt* einen Fall, bei dem er erst die Maxilla absetzte und in einer zweiten Operation die Verbindung des Pterygoids löste (16). Die vollständige Mobilisation war entscheidend für eine exakte Reposition (11).

*Hugo Obwegeser* etablierte in Graz und Zürich die LeFort-I-Osteotomie mit Down Fracture unter Nutzung neuer Instrumente und verbesserten anästhesiologischen Möglichkeiten (1,11). Die Forschungsbeiträge von *Bell* zeigten in mehreren Studien die weiterhin bestehende Vaskularisierung des Maxillasegments nach LeFort-I-Osteotomie (17–19).

1970 veröffentlichte *Obwegeser* die Durchführung der ersten bimaxillären Umstellungsosteotomie und verwies auf die Notwendigkeit eines simultanen Eingriffs an beiden Kiefern für die Behandlung komplexer Kieferdeformitäten (11).

### **1.1.2 Eugnathie und Dysgnathie**

Die Begriffe Eugnathie und Dysgnathie beschreiben die Beziehung der Kiefer zueinander und zur Schädelbasis, sowie die Verzahnung und Funktion des Kauystems.

Eugnathie steht für die harmonische und fehlerfreie Form- und Lagebeziehung von Ober- und Unterkiefer ohne Okklusionsstörungen (20). Eine Abweichung von dieser Relation wird als Dysgnathie bezeichnet. Sie führt zu einer Beeinträchtigung der harmonischen Gesichtsverhältnisse und zu einer Malokklusion.

Die Anomalien in Lage und Form können isoliert an einem Kiefer auftreten oder als multiple Form- oder Lageverschiebung an mehreren craniofazialen Strukturen vorkommen. Betroffene Patienten können von einer kieferorthopädischen, chirurgischen oder kombinierten Therapie in funktioneller und ästhetischer Weise profitieren (21).

Bei der Betrachtung der craniofazialen Verhältnisse eines Patienten ist eine Norm als Vergleichsparameter schwer zu definieren. Um die Kieferrelationen eines Patienten initial beurteilen zu können, bedarf es einer Referenzierung (22). *Schwarz* beschrieb 1958 in „Die Röntgenostatik- Die kieferorthopädische Diagnose am Fern- Röntgenbild“ eine Orientierung in der Kephalmetrie und etablierte das Mittelwertprofil des Gesichts (Mittelwert-, Biomet- oder Durchschnittsgesicht) sowie das Kieferprofilfeld, das durch die Frankfurter Horizontale, die Nasionsenkrechte und die Orbitalsenkrechte festgelegt ist (23). Zusammen mit definierten Referenzpunkten bilden sie die Grundlage für eine kephalometrische Auswertung (23,24).

Bei der Analyse des Kiefers und des Profils eines Patienten müssen skelettale und dentoalveoläre Faktoren berücksichtigt werden. Das Verhältnis der Strukturen zueinander ist wichtiger als die isolierte Betrachtung einzelner Punkte, Winkel und Strecken im Fernröntgenseitbild (25).

Eine leichte Prognathie kann sich beispielsweise durch einen stärkeren Neigungsgrad der Mandibula ausgleichen und zu einem harmonischen Bild zusammensetzen, obwohl beide Parameter außerhalb der durchschnittlichen Verteilung liegen (22).

### **1.1.3 Entstehung und Beschreibungen von transversalen Normabweichungen**

Unter Berücksichtigung verschiedener Gesichts- und Kieferparameter ist das Vorliegen eines transversalen Engstandes ein häufiges Krankheitsbild in der Kieferorthopädie und Mund-,

Kiefer- und Gesichtschirurgie. *Kurol et al.* beschrieben bei 23,3 % einer schwedischen Patientenpopulation ein transversales Defizit mit lateralem Kreuzbiss und zeigten eine epidemiologische Relevanz für Diagnostik und Therapie (26).

Für die Entstehung von Fehlverzahnung und transversaler Enge führte *Graber* eine Kombination von genetischen Faktoren und Umwelteinflüssen an (27). Zu den genetischen Faktoren gehört unter anderem der dolichofaziale Typ, der durch ein langes, schmales Gesicht und ein transversales Defizit im Oberkiefer gekennzeichnet ist (25).

Ein exogener Einfluss besteht beispielsweise in einer behinderten Nasenatmung. Die dadurch zwangsweise resultierende Mundatmung führt in der Entwicklung der kraniofazialen Strukturen zu geringeren Querdimensionen (28). Eine hypotone Muskulatur und eine offene Mundhaltung werden ebenso wie die Zungenhaltung als habituelle Faktoren diskutiert (29).

#### **1.1.4 Diagnostik der Dysgnathie und transversalen Normabweichung**

Die Klassifikation der Okklusion nach *E. Angle* wird seit ihrer Einführung 1899 klinisch angewendet (30). Klasse I definiert die eugnathe Verzahnung. Klasse II und III mit Distalbiss und Mesialbiss definieren die dysgnathe Verzahnung. Betrachtet wird die Interkuspitation der ersten Molaren im Ober- und Unterkiefer in sagittaler Relation (22).

- **Klasse I:** Eugnathe Verzahnung: Die mesiobukkalen Höcker der oberen ersten Molaren greifen in die Furche zwischen mesio- und mediobukkalen Höcker der unteren ersten Molaren.
- **Klasse II/1:** Distalbiss/Rückbiss mit protrudierten Oberkieferfrontzähnen: Der mediobukkale Höcker des oberen ersten Molaren liegt mesial der Furche zwischen mesio- und mediobukkalen Höcker des unteren ersten Molaren. Die Oberkieferfrontzähne sind labial gekippt.
- **Klasse II/2:** Distalbiss/Rückbiss mit steil stehenden Oberkieferfrontzähnen und Tiefbiss: Die Oberkieferfrontzähne überdecken zusätzlich die Unterkieferfrontzähne.
- **Klasse III:** Mesialbiss: Der mesiopalatinale Höcker des oberen ersten Molaren liegt distal der Furche zwischen mesio- und mediobukkalen Höcker des unteren ersten Molaren. (20,31)

Eine Aussage über die transversalen und vertikalen Parameter sowie eine Unterscheidung in dentoalveoläre und skelettale Dysgnathie lässt die Angle Klassifikation nicht zu. Die weiterführende kephalometrische Analyse und Planung wird anhand eines Fernröntgenseitenbildes vorgenommen. Die festgelegten Punkte sollen dabei reproduzierbar

sein und klinisch sinnvolle Anwendungen erlauben (22). Abgeleitete Strecken und Winkel tragen zusammen mit dem Vergleich einer Mittelwertstabelle zur kephalometrischen Auswertung bei. Die zusätzliche Analyse eines Hartgipsmodells im Artikulator nach Einstellung der Lagebeziehung von Oberkiefer und Unterkiefer ermöglicht eine Einschätzung der Zahnbögen und Zahnstellung in allen drei Raumrichtungen. Kombiniert man die Auswertung des Fernröntgenseitenbildes und der Modellanalyse, lässt sich ein Gesamtbild der Kieferproportionen des Patienten erstellen (22). Mit dem Aufkommen der digitalen dreidimensionalen Bildgebung erfolgt eine Planung unter Berücksichtigung der Ausdehnung der sagittalen, transversalen und vertikalen kephalometrischen Parameter. Die digitale dreidimensionale Planung kann auf eine Hartgipsmodellierung verzichten (32).

Bei der Betrachtung der Normabweichungen in der Transversalebene mit Bezug auf die Maxilla wird zwischen einer maxillären Hypoplasie und einer maxillären Hyperplasie unterschieden, dentoalveoläre und skelettale Abweichungen im Oberkiefer von der Mittellinie müssen berücksichtigt werden. Die Hypo- oder Hyperplasie kann einseitig asymmetrisch oder bei beiden Teilen der Maxilla symmetrisch vorliegen (33). In Bezug auf ein transversales Defizit soll nach *Howe* und *McNamara* die Messung des Gaumenbogens jeweils palatinal der ersten oberen Molaren erfolgen und nicht weniger als 31 Millimeter betragen (34,35).

Nach *Jacobs et al.* kann in ein relatives und absolutes transversales Oberkieferdefizit unterteilt werden. Verglichen werden die Zahnbögen bei Darstellung im Gipsmodell nach Einstellung einer Klasse-I-Verzahnung. Kann der Schmalkiefer durch ein Ausrichten der Zahnbögen korrigiert werden, so liegt eine relative transversale Diskrepanz vor. Bei einer ein- oder beidseitigen Kreuzbisssituation besteht eine absolute transversale Diskrepanz, häufig in Kombination mit einem offenen Frontzahnabiss (36).

### **1.1.5 Indikation der Gaumennahterweiterung bei transversaler Enge**

Die Indikation zu einer Gaumennahterweiterung liegt bei einer uni- oder bilateralen transversalen Hypoplasie der Maxilla vor (37,38). Eine Folge dieser Hypoplasie ist eine gestörte Okklusion durch Auftreten eines ein- oder beidseitigen Kopf- oder Kreuzbisses (39–42). Bei asymmetrischer Konfiguration mit unilateralem Kreuzbiss und resultierendem funktionellem Abweichen der Mandibula können Kiefergelenksbeschwerden auftreten (41).

Die transversale Unterentwicklung des Oberkiefers bedingt einen Frontengstand der Zähne. *Howe* nannte als Grund für den Engstand zumindest bei Patienten europäischer Abstammung eine zu geringe Gaumenbogenbreite und nicht die Ausmaße der Zähne selbst (34). Nach *Haas* wird dieser Engstand bei der Gaumennahterweiterung nicht auf dentoalveolärer, sondern auf



skelettaler Ebene gelöst (29). Die Notwendigkeit einer Zahnextraktion, um Platz zu schaffen, kann dadurch vermieden werden (39–41).

Eine hypoplastische Maxilla mit geringem Volumen der oberen Atemwege und erhöhtem nasalem Atemwegswiderstand führt zu einer eingeschränkten Nasenatmung (43). Eine Erhöhung dieses Volumens und eine verbesserte Nasenatmung konnten als Resultat einer Gaumennahterweiterung nachgewiesen werden (37,44). *Suri et al.* verwiesen in diesem Zusammenhang auf die Rolle der dysfunktionalen Ventilation bei schlafbezogenen Erkrankungen wie dem obstruktiven Schlafapnoesyndrom (39).

Die Behandlung einer transversalen Enge, die oft in Kombination mit weiteren kieferorthopädischen oder kieferchirurgischen Eingriffen erfolgt, geht mit einer Änderung des Profils des Patienten einher. Die Herstellung harmonischer Gesichtsverhältnisse und ästhetischer Proportionen ist ein zentraler Punkt der Behandlung (45). Eine direkte ästhetische Folge der Gaumennahterweiterung ist eine Verkleinerung des dunklen bukkalen Korridors beim Lächeln (38,39).

Bei schwerwiegendem transversalem Defizit wird die Gaumennahterweiterung als Vorbereitung für eine weiterführende orthognathe Behandlung mit besserem Gesamtergebnis genutzt (46). Wird für ein einzeitiges Vorgehen mittels Zweisegmentosteotomie kein stabiles Resultat erwartet, kann zuerst eine transversale Weitung mittels chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung erfolgen (40).

Patienten mit Lippen-Kiefer-Gaumenspalten profitieren von einer Gaumennahterweiterung (40). Die Defektdeckung und Bildung von Narbengewebe führt bei diesen Patienten in vielen Fällen zu einem Schmalkiefer mit Kreuzbissituation (47).

## **1.2 Methoden zur transversalen Weitung des Oberkiefers**

Die Entwicklung und Entstehungsgeschichte der Gaumennahterweiterung zeigt die hohe Relevanz und Notwendigkeit der Behandlung einer transversalen Unterentwicklung des Oberkiefers. Neben dieser Entwicklung sollen im nachfolgenden Kapitel die alternativen Verfahren zur Gaumennahterweiterung erörtert werden.

Die zufriedenstellenden Resultate, die im Kindes- und Jugendalter mittels funktionskieferorthopädischer Behandlung erreicht werden können, lassen sich ab dem jungen Erwachsenenalter nicht mehr erreichen. In diesen Fällen sollte ein operativer Ansatz gewählt werden.

### 1.2.1 Geschichtlicher Hintergrund der Gaumennahterweiterung

Die ersten Veröffentlichungen über eine transversale Weitung im Oberkiefer stammen von *Fuchard* und *Hunter* aus dem 18. Jahrhundert. Sie nutzten für die Behandlung einfache Apparaturen und gaben erste Beschreibungen zur Nutzung von angewandtem Druck als Möglichkeit der kieferorthopädischen Behandlung (48).

Die forcierte Gaumennahterweiterung wurde erstmals 1860 in der „San Francisco Medical Press“ und danach in „The Dental Cosmos“ publiziert. *E. C. Angell* separierte und weitete mit einer Apparatur die Maxilla über zwei Schrauben mit entgegengesetztem Gewinde, bei dem die Kraftübertragung über die Zahnhäse erfolgte (49–51). Im Jahre 1862 fertigte *Hepburn* eine Kautschukplatte an, die durch transversal applizierte Kräfte mittels zweier Holzkeile eine Kiefererweiterung ermöglichte (48). Allgemeine Anerkennung innerhalb der Fachkreise erlangte das Verfahren 30 Jahre später nach einer Abhandlung von *Goddart* mit dem Titel „Separation of the Superior Maxilla at the Symphysis“ (51).

*Landsberger* demonstrierte in einem Tierexperiment im Jahre 1907 eine Reossifikation der Maxilla nach transversaler Weitung. Zwei Jahre später veröffentlichte er ein Röntgenbild einer geöffneten Gaumennaht (52).

*Schröder-Benseler* präsentierte 1913 nach Untersuchungen an 12000 Schädeln eine weiterentwickelte Dehnungsapparatur mit Schraubmechanismus zur Gaumennahterweiterung (51,53). *Ziebe* untersuchte die wünschenswerte Dehnung pro Zeiteinheit. Er beobachtete in histologischen Studien an Hunden eine Verknöcherung bei einer 3 mm gedehnten Sutura palatina mediana vier Monate nach Intervention (54).

Das Abkippen der Ankerzähne sollte durch eine Weiterentwicklung von Methodik und Apparatur adressiert werden. *Derichsweiler* veröffentlichte 1956 eine Dehnungsplatte mit hoch im Gaumen liegender Schraube, deren Druck auf die Wand des Gaumengewölbes übertragen wurde.

Die gesammelten Erkenntnisse zur Gaumennahterweiterung bildeten die Grundlage für die heutige Herangehensweise bei Patienten mit transversaler Enge im Oberkiefer. Je nach individueller kieferorthopädischer Situation stehen knochengetragene, zahngetragene, pingestützte und kombinierte Apparaturen zur Verfügung.

### 1.2.2 Die kieferorthopädische Gaumennahterweiterung

Die kieferorthopädische Gaumennahterweiterung ist ein Verfahren zur Normalisierung der transversalen Gaumenbogendimension durch Aufdehnung der Gaumennaht (35). Das

Procedere bei vorliegendem transversalem Defizit wird in der Regel durch das Alter des Patienten vorgegeben (55). Eine funktionskieferorthopädische Oberkieferweitung ist in den meisten Fällen nur bei Kindern und Jugendlichen möglich. Die strukturelle Stabilität der Sutura palatina mediana ist in diesem Alter gering und lässt sich durch transversalen Druck aufweiten (56). Vorteil einer kieferorthopädischen Behandlung im Kindesalter ist die Vorbeugung eines asymmetrischen Kieferwachstums bei Vorliegen einer Kreuzbissituation, sie verringert den Bedarf einer operativen Korrektur im Erwachsenenalter (57). Bei Kindern unter 12 Jahren wurde durch diese nichtoperative Behandlung ein zuverlässiger Erfolg mit hoher Stabilität der kieferorthopädischen Weitung bei geringer Rezidivrate festgestellt (58).

Eine rein konservative Gaumennahterweiterung ohne vorherige chirurgische Schwächung der Sutura geht ab dem jungen Erwachsenenalter mit einer erhöhten Misserfolgswahrscheinlichkeit einher (59). Eine insuffiziente Weitung, Schmerzen, Schwellung, Ulzerationen und das vermehrte Auftreten von Rezidiven werden mit zunehmendem Alter häufiger beobachtet (47).

### **1.2.3 Die chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung**

Im Erwachsenenalter besteht eine rigide Verbindung der beiden Hälften des Oberkiefers durch fortgeschrittene Verknöcherung der Sutura palatina mediana und der knöchernen Strukturen des Schädels (60). Soll zu diesem Zeitpunkt eine transversale Weitung erfolgen, muss die Gaumennaht zuerst chirurgisch geschwächt oder vollständig eröffnet werden. Für die anschließende transpalatinale Distraction stehen knochengetragene (siehe Abbildung 2), zahngetragene (siehe Abbildung 3), pingestützte und kombinierte Dehnungsapparaturen zur Verfügung. Nach *Mommaerts* besteht bei zahngetragenen Apparaturen die Gefahr einer dentalen Kippung nach buccal und eine erhöhte Rezidivgefahr (61). *Khosravi et al.* konnten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich transversaler Weitung, Abkippung der Zähne oder Stabilität zwischen zahn- oder knochengetragenen Apparaturen feststellen (62).

Die Gaumennahterweiterung wird von *Bays* als komplikationsarme Prozedur beschrieben (63). Die wichtigste peri- und postoperative Herausforderung liegt in der Beherrschung von vaskulären Komplikationen in Form von Blutungen und Nachblutungen (64).

Indikationen zur chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung sind ein isolierter Engstand von über 7 Millimetern, ohne Diskrepanzen in sagittaler oder vertikaler Ausrichtung und Therapieversagen bei vorangegangenen kieferorthopädischen Interventionen (64). Im Vergleich mit der LeFort-I-Zweissegmentosteotomie, bei der dies nur eingeschränkt möglich ist, bietet sich die chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung für eine Vergrößerung der anterioren transversalen Breite an. Die Distraktoren, die klinisch nach chirurgischer Schwächung der Sutura

zum Einsatz kommen, sind der zahngetragenen Haas-Type-Expander und der ‚Hygienic Appliance‘ Hyrax-Expander. Der Haas-Type-Expander überträgt die Distraktionskraft über eine Acrylplatte auf Zähne und den Gaumenbogen (59). Der Hyrax-Expander wird mit dem ersten Prämolaren und dem ersten Molaren über ein Band aus Metall verbunden, über welche er die transversale Distraktionskraft überträgt (65). Mit beiden Apparaturen ist eine suffiziente dentoalveoläre und skelettale Expansion bei vergleichbarer Stabilität möglich (41). Um das entstandene Diastema nach erfolgter Weitung zu schließen, ist eine Reossifikation interincisal erforderlich. Bei der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung handelt es sich um eine Distraktionsosteogenese. Eine sukzessive Kallusreossifikation ist zu erwarten, wurde bisher jedoch in diesem Bereich wissenschaftlich noch nicht untermauert.

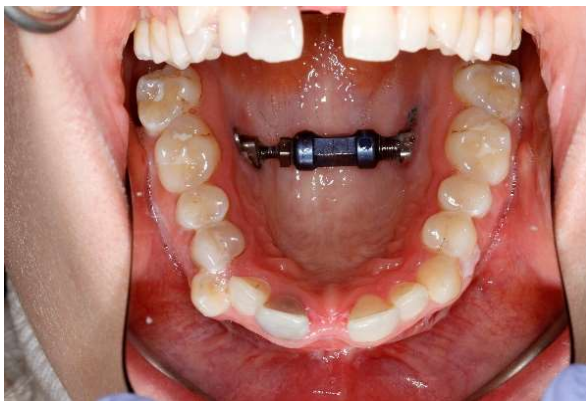


Abbildung 2: Knochentragende Dehnungsapparatur.



Abbildung 3: Zahntragende Dehnungsapparatur.

#### 1.2.4 Die LeFort-I-Zweisegmentosteotomie

Die LeFort-I-Zweisegmentosteotomie ist ein alternatives Verfahren zur chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung, um eine Schmalkiefersituation zu behandeln. Neben der sagittalen und vertikalen Neupositionierung der Maxilla zu Schädelbasis und Unterkiefer kann durch die Segmentierung (siehe Abbildung 4) eine Vergrößerung der transversalen Ausdehnung bewirkt werden (66). Häufig wird das Verfahren als bimaxillären Umstellung gewählt, da durch die Lageveränderung von Ober- und Unterkiefer ein besseres Gesamtergebnis erzielt werden kann (25).

Indikation zur LeFort-I-Zweisegmentosteotomie besteht bei einem frontal offenem Biss, bei dem mittels segmentierter LeFort-I-Osteotomie die Spee-Kurve ausgeglichen wird (64). Eine ein- oder beidseitige posteriore Kreuzbissituation wird durch das Öffnungsmuster der Osteotomielinie, welche von anterior nach posterior einem umgekehrten V entspricht,

adressiert. Bei einem transversalen Defizit über 7 Millimetern kann ein hoher Weichgewebswiderstand das Verfahren limitieren (64).

Bei massivem Oberkieferengstand und Lageanomalien in mehreren Raumrichtungen kann eine Kombination aus chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung und anschließender LeFort-I-Zweisegmentosteotomie diskutiert werden.

Hinsichtlich der Stabilität und Verknöcherung ist durch das Positionieren der Segmente von einer Kombination aus primärer und sekundärer Knochenheilung auszugehen. Es fehlt an wissenschaftlichen Erkenntnissen, inwieweit der Reossifikationsprozess suffizient und für die strukturelle Stabilität ausschlaggebend ist.

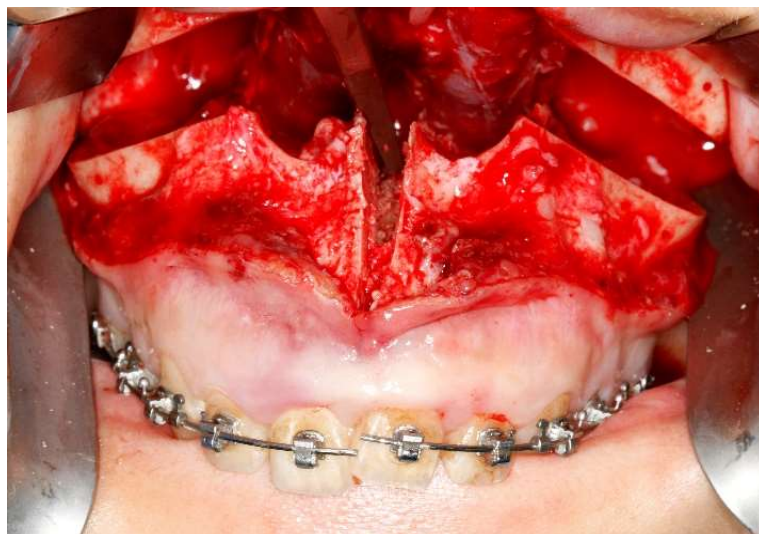


Abbildung 4: Intraoperative Aufnahme einer Downfracture der Maxilla mit sagittaler Segmentosteotomie.

### 1.3 Sagittale Ossifikation der Maxilla

Die unterschiedlichen Ossifikationsprozesse, wie sie auch bei der LeFort-I-Zweisegmentosteotomie und der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung auftreten, werden nachfolgend beschrieben.

#### 1.3.1 Physiologische Ossifikation der Sutura palatina mediana

Die Sutura palatina mediana oder Gaumennaht nimmt einen sagittalen Verlauf vom Foramen incisivum zur Spina nasalis posterior und ist die zentrale Struktur für kieferorthopädische und kieferchirurgische Eingriffe, bei denen die transversale Ausdehnung des Oberkiefers erweitert werden soll (67). Sie ist Teil der Verbindung der beiden maxillaren und palatinalen

Knochenhälften (68). Die strukturelle Stabilität der Suture ist entscheidend bei der Wahl der Therapie (59).

Die physiologische Änderung der Suturmorphologie teilte *Melsen* in drei Stadien ein. Im ersten Stadium wurde sie als kurz, breit und y-förmig beschrieben. Im zweiten Stadium als wellenförmig und im dritten Stadium waren zunehmende Interdigitationen zu beobachten (69). Nach *Anglierie* beginnt der Verschluss der Gaumennaht mit diffusen, knöchernen Trabekeln, die von den Seitenrändern ausgehen. Bündel aus kollagenem Gewebe überspannen und verbinden die Suturränder (70–72). Osteoklasten an den Rändern der Suture reorganisieren das knöcherne Gewebe (70). Im Verlauf wird der kortikale Knochen abgebaut und Spongiosa entsteht (73,74). Die von einigen Autoren beschriebene zunehmende Interdigitation (69,75) konnte von *Korbmacher* nicht belegt werden, jedoch eine signifikant höhere „Knochendichte“ in der mittleren Alterskohorte (71), welche einen Parameter zur Beurteilung der Stabilität eines Knochens darstellt (76,77).

Das Alter des Patienten wird als entscheidender Faktor angesehen, ob vor Gaumennahterweiterung eine chirurgische Schwächung erfolgen soll. Der genaue Zeitpunkt ist nicht definiert (39,71,78). Studien zeigen eine Korrelation zwischen Alter und Zunahme der Stabilität, gleichzeitig eine große Variabilität im Verschluss der Gaumennaht (68,72,78,79). Die Literatur beschreibt Patienten, die auch im Alter von 27, 32, 54 und 71 Jahren noch keine vollständig geschlossene Suture aufweisen (71,75,80).

Im Kinder- und Jugendalter lässt sich die Suture mittels Gaumennahterweiterung ohne vorherige chirurgische Schwächung aufdehnen (35). Bei Erwachsenen kommt es dabei häufig zu Komplikationen, weshalb die chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung oder die LeFort-I-Osteotomie mit sagittaler Spaltung gewählt wird (78,81).

Inwieweit der Grad der initialen Verknöcherung der Gaumennaht eine Rolle für die Reossifikation nach Gaumennahterweiterung darstellt, ist nicht hinreichend belegt.

### **1.3.2 Ossifikation bei skelettverlagernden Operationen**

Die histologischen und physiologischen Grundlagen der primären und sekundären Ossifikation werden nachfolgend beschrieben. Die Mechanismen der Distractionsosteogenese werden hinsichtlich ihrer Relevanz für die chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung erläutert.

#### **1.3.2.1 Primäre und sekundäre Knochenheilung**

Knochen hat die Fähigkeit, sich nach Trauma oder chirurgischer Intervention zu regenerieren und unter narbenfreier Heilung die vormalige strukturelle Stabilität wiederzuerlangen (82,83).

Nach stattgefundenem ossärem Trauma oder chirurgischer Intervention lässt sich zwischen einer primären (direkten) oder sekundären (indirekten) Ossifikation unterscheiden. Die meisten Frakturen heilen jedoch aus einem Zusammenspiel beider Prozesse (84,85).

Die Voraussetzung für die primäre Knochenheilung ist eine exakte anatomische Reposition der Knochenfragmente und eine stabile mechanische Fixation (86). Sie führt zu einer Reossifikation ohne vorherige Bildung eines knorpeligen Kallus (85,86). Havers-Kanäle wachsen axial aus (87) und ermöglichen eine Angiogenese und Migration von Osteoblasten (88). Lamellenknochen entsteht durch parallele Anordnung von Kollagenfasern und Knochenmatrix (86).

Die sekundäre Knochenheilung erfolgt über die initiale Ausbildung eines knorpeligen Kallus, bei der die Frakturenden keinen direkten Kontakt haben oder keine mechanische Fixation besteht (85). Ein dreistufiges Modell veranschaulicht den Prozess:

- **Phase 1 – Inflammatorische Phase:** Entstehung eines Hämatoms als direkte Folge des Traumas. Thrombozyten und Makrophagen sezernieren proinflammatorische Zytokine. Interleukin I, Interleukin VI, der Tumor-Nekrose-Faktor Alpha und Prostaglandin E2 sind verantwortlich für die Migration erster primitiver mesenchymaler Stammzellen. (85,89–91)
- **Phase 2 – Reparationsphase:** Nach Rekrutierung von Knochenmarkstammzellen bildet sich ein knorpeliger Kallus, bestehend aus Typ I- und Typ II-Kollagen und Proteoglykanen. Die Revaskularisation erfolgt erst von der Peripherie und nach fortgeschrittener Mineralisation des Knorpelgewebes auch zentral. (84,85,89,90,92)
- **Phase 3 – Umbauphase:** Abbau des knorpeligen Kallus durch Chondroklasten und fortschreitender Umbau von entstandenem Geflechtknochen zu Lamellenknochen in Abhängigkeit der mechanischen Belastung. (85,89,93)

Im Falle der LeFort-I-Zweissegmentosteotomie nimmt der Abstand der beiden Knochenfragmente von anterior nach posterior zu. Es ist eine Kombination aus primärer und sekundärer Verknöcherung zu erwarten.

### 1.3.2.2 Distraktionsosteogenese

Nach *James Aronson* handelt es sich bei der Distraktionsosteogenese um eine Regeneration von Knochen zwischen zwei vaskularisierten, knöchernen Oberflächen, die durch Zug in entgegengesetzte Richtung separiert werden (94). Die Theorie der Distraktionsosteogenese wurde erstmals 1905 von *Codivilla* postuliert. Er setzte Zugkräfte ein, um deformierte Femora

zu verlängern (95). Die biologischen und mechanischen Grundlagen für die heute weit verbreitete Anwendung dieser Methode erarbeitete der russische Orthopäde *Ilizarov* (96,97). In der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie wurde die Distractionsosteogenese zuerst für die Korrektur mandibulärer Hypoplasien eingesetzt (98,99). Heute findet sie Anwendung für die Behandlung der hemifazialen Mikrosomie, des Pfeiffer-Syndroms, komplexen Mittelgesichtsdeformitäten und bei der maxillaren Hypoplasie (97).

Der zugrundeliegende Mechanismus beim Einsatz der Distractionsosteogenese ist die Vergrößerung eines bestimmten Knochens oder Knochenareals, um ihn an die Proportionen der umliegenden Gewebestrukturen anzugleichen (100).

Die Distractionsosteotomie beginnt mit einer chirurgischen Durchtrennung des Knochens, gefolgt von der Anlage eines Distraktors, welcher mit beiden Knochenfragmenten stabil verbunden ist. Der Distraktor ermöglicht eine Verbreiterung des Osteotomiespalt es bei individueller Latenzzeit, Dehnungsrate und Rhythmus (101).

In der Latenzzeit zwischen Osteotomie und Beginn der Distraction bildet sich im Osteotomiespalt ein weicher Kallus (102). In der Literatur herrscht keine Einigkeit über die optimale Latenzzeit vor Aktivierung des Distraktors. Die Studien von *Tavakoli et al.*, *Troulis et al.* und *Natu et al.*, die in Tiermodellen unterschiedliche Latenzzeiten untersuchten, kamen zu keinem signifikanten Unterschied in Stabilität und Stärke von Knochen, Kallus oder veränderter radiologischer Dichte (103–105). *Mofid et al.* untersuchten 3278 Patienten, die mit einer kraniofazialen Distractionsosteogenese behandelt wurden. Der Verzicht auf eine Latenzzeit zeigte in der Kontrollgruppe mit Latenzzeit keinen Unterschied hinsichtlich der Verknöcherung (106).

*Ilizarov* untersuchte in einem Hundemodell die Dehnungsrate und den Distractionsrhythmus. Bei der histologischen und biochemischen Auswertung erzielte er für die Dehnungsrate von einem Millimeter pro Tag, mit einer Distractionsstrecke von 0,25 Millimeter alle sechs Stunden, die besten Verknöcherungsergebnisse (96).

In der ein- bis sechswöchigen Distractionsphase (102,105), werden die Knochenfragmente graduell auseinandergetrieben. Im Osteotomiespalt entsteht eine fibrovaskuläre Brücke, die sich an der axialen Zugkraft ausrichtet (105,107). Über einen Anstieg von VEGF und HIF-1 $\alpha$  wird eine Revaskularisation der zentralen Zone erreicht, die über eine gesteigerte Blutflussrate eine Migration von mesenchymalen Stammzellen bedingt (107–109). Diese Stammzellen differenzieren zu Chondroblasten und Osteoblasten (107).

Der Distraktor wird in der folgenden Konsolidierungsphase belassen und der Knochen wird durch Mineralisation stabilisiert (105).



Bei der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung ist von einer Kallusreossifikation entsprechend einer Distraktionsosteogenese auszugehen, wobei dies noch nicht ausreichend wissenschaftlich untermauert ist.

### 1.3.3 Reossifikation als Stabilitätsfaktor nach skelettverlagernden Operationen

Eine Weitung der Maxilla kann mittels chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung und LeFort-I-Zweisegmentosteotomie erzielt werden (110,111). In vergleichender Betrachtung der orthognathen Umstellungsosteotomien zählt die transversale Weitung der Maxilla mittels Gaumennahterweiterung mit einer Rezidivrate von 40-50 Prozent zu den instabilsten Prozeduren (112,113).

Abbildung 5 zeigt die Folge einer insuffizienten Reossifikation im Bereich der mesialen oberen Schneidezähne, eine mögliche Komplikation der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung (114).



Abbildung 5: Zustand nach chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung. Weichgewebiger Defekt interincisal infolge einer insuffizienten Reossifikation. Ein kieferorthopädischer Schluss des Diastemas ist erschwert.

*Gauthier et al.* beobachteten eine Abnahme der Alveolarkammhöhe nach stattgefundener chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung (115). Ein Vergleich mit der Zweisegment-LeFort-I-Osteotomie wurde nicht vorgenommen.

Durch die Weitung der anterioren Maxilla kann es zu einem Loslösen der Papille vom Alveolarkamm kommen und bei starker Aufdehnung mit weitem Diastema zu einer Devaskularisation und der Exposition des Knochens (116). Eine weiterführende kieferorthopädische Behandlung des entstandenen Diastemas wird dadurch folglich negativ beeinflusst (114).

Das Distraktionsprotokoll und die Retentionszeit sind zwei Faktoren, die bei der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung als stabilitätsgebende Faktoren mit Bezug auf die Verknöcherung diskutiert werden (114). Diese Variablen entfallen durch die endgültige Versorgung und Fixierung in der gewünschten Ausgangsposition bei der LeFort-I-Zweissegmentosteotomie.

Es mangelt an Literatur zur vergleichenden Untersuchung der Verknöcherung nach chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung und LeFort-I-Zweissegmentosteotomie hinsichtlich Aussagen zum Zusammenhang zwischen geweiteter Strecke und skelettaler Stabilität.

## **1.4 Bildgebende Verfahren zur Beurteilung der Ossifikation nach skelettverlagernder Operation im Gesichtsschädelbereich**

In dieser Arbeit wird die Reossifikation im Bereich des knöchernen Gaumens durch die dreidimensionale Digitale Volumetomographie beurteilt. Die Funktionsweise der Methode, sowie die Vorteile gegenüber der konventionellen Radiologie und der Computertomographie werden im nachfolgenden Abschnitt beschrieben.

### **1.4.1 Konventionelle radiologische Untersuchung**

Die Beurteilung der Bilder der konventionellen Röntgendiagnostik wird beeinflusst von den Visualisierungsbedingungen, der Bildqualität und den Fähigkeiten des durchführenden Fachpersonals (117,118). Vergrößerungseffekte, Überlagerungsartefakte, Verzerrung und eine eingeschränkte Beurteilbarkeit von anatomischen Strukturen sind Nachteile der zweidimensionalen Bildgebung (119). Die komplexen anatomischen Verhältnisse des Gesichtsschädels erschweren die Auswertung einer zweidimensionalen Bildgebung (80). *Wehrbein* veranschaulichte am Beispiel der Untersuchung der Gaumennaht die Limitation der konventionellen Radiologie hinsichtlich einer zweidimensionalen Abbildung einer dreidimensionalen Struktur. Ein dichter Vomer oder Strukturen der externen Nase überlagern sich mit den radiologischen Korrelaten der Gaumennaht und erschweren die Interpretation (120). Die Kontrolle der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung erfolgte vor der Digitalen Volumetomographie radiologisch mittels Panoramaschichtaufnahmen und Nasennebenhöhlenaufnahmen oder klinisch durch Messung der Transversalveränderungen am Gipsmodell (119).

### 1.4.2 Computertomographische Untersuchung

Die Nutzung der Computertomographie stellt ein alternatives Verfahren zur Bewertung von Skelettveränderungen nach chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung dar.

*Podesser et al.* untersuchten quantitativ den Effekt auf die Änderung der transversalen Ausdehnung auf Nase, Maxilla und Gaumenbögen. Sie zeigten für die Computertomographie bei linearen Messungen eine Messdifferenz unter 0,5 Millimetern bei einer statistisch nicht signifikanten Intra-observer-Abweichung (121). Eine Studie von *Goldenberg et al.* bestätigte die beobachtete Reproduzierbarkeit bei knöchernen Strukturen (122). Vergleichend zur Digitalen Volumetomographie, handelt es sich bei der Computertomographie um eine dreidimensionale Bildgebung, bei der skelettale Referenzpunkte ebenso überlagerungsfrei dargestellt werden (123). Eine Strahlenbelastung von circa 50 Milligray (IQR, 37–62 Milligray) pro Schädel-CT, abhängig von Fragestellung und Gerät, lässt die Computertomographie nicht als Standard für Planung und Kontrolle einer chirurgisch unterstützen Gaumennahterweiterung zu (124,125).

### 1.4.3 Digitale Volumetomographie

Die Funktionsweise der Digitalen Volumetomographie beruht auf einer kegelförmigen Strahlenquelle, die um den Kopf des Patienten rotiert und eine Vielzahl von Bildern generiert. Diese Bilder werden computergestützt zu einem dreidimensionalen Bild zusammengesetzt (126,127). Sagittale, coronare und axiale Schnittebenen sowie ein dreidimensionales Rendering können vom Untersucher zur Beurteilung gewählt werden.

Die Auflösung der erzeugten dreidimensionalen Bilder ist abhängig von der Wahl der Größe des Gesichtsfeldes (Field-of-View) und der individuellen Volumenelemente (Volumetric Pixel = Voxel). Die Größe eines Voxels ist durch Höhe, Breite und Tiefe definiert und ist das dreidimensionale Äquivalent eines Pixels. Die Voxelgröße ist variabel und liegt zwischen 0,075 - 0,6 Millimeter Seitenlänge. Bei der Beurteilung der Alveolarknochenhöhe hat sich eine Messgenauigkeit der Digitalen Volumetomographie von 0,5 Millimeter bis 0,6 Millimeter ergeben (128–130).

Die Digitale Volumetomographie bildet die Region des Mittelgesichts präzise ab und ermöglicht eine genaue anatomische Bestimmung von Referenzpunkten (131). Knöcherne Strukturen sind ohne Überlagerungsartefakte beurteilbar, welche bei der zweidimensionalen Bildgebung im Bereich der Oberkieferregion entstehen (120). Der Wechsel zwischen den Schnittebenen und deren Ausrichtung ermöglichen eine präzise digitale Streckenmessung

(132,133). Bei der Untersuchung der Verknöcherung des Gaumens können axial mehrere Schichten separat und zusätzlich in Zusammenschau bewertet werden.

## **1.5 Ziel der vorliegenden Arbeit**

Die chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung und die LeFort-I-Zweisegmentosteotomie sind zwei alternative Verfahren zur Behandlung einer transversalen Enge im Oberkiefer. Bei der Segmentosteotomie bestehen Limitationen in der erreichbaren Weitung aufgrund des weichgewebigen Widerstandes im Gaumenbereich.

Die Gaumennahterweiterung entspricht einer Distraktionsosteogenese. Eine sukzessive Kallusreossifikation ist zu erwarten, wurde bisher jedoch in diesem Bereich wissenschaftlich noch nicht untermauert.

Aufgrund des zunehmenden Einzuges der dreidimensionalen Bildgebung durch die Digitale Volumentomographie in der Dysgnathiechirurgie ist die Beurteilung einer Verknöcherung im Gaumennahtbereich nichtinvasiv als Nebenprodukt der Diagnostik möglich geworden.

Ziel der Arbeit ist die qualitative Beschreibung der Reossifikation auf Grundlage der dreidimensionalen Röntgenuntersuchungen in Abhängigkeit der Operationsmethode sowie eine quantitative Bestimmung der erzielten Weitung im Gaumennahtbereich.

## **2 Material und Methoden**

### **2.1 Studienaufbau**

In der vorliegenden klinischen Studie wurden Bilddaten der Digitalen Volumentomographie untersucht und ausgewertet. Sie entstanden als Nebenprodukt der Diagnostik bei der kieferchirurgischen Behandlung einer transversalen Enge im Oberkiefer.

Verglichen wurden die chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung und die LeFort-I-Zweisegmentosteotomie.

Quantitativ wurde bei der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung die Strecke der anterioren und posterioren transversalen Ausdehnung der Maxilla zum Zeitpunkt der kieferchirurgischen Intervention und mindestens sechs Monate später gemessen.

Bei der LeFort-I-Zweisegmentosteotomie wurde die Strecke der posterioren transversalen Ausdehnung der Maxilla vor und unmittelbar nach der kieferchirurgischen Intervention sowie mindestens sechs Monate später gemessen.

Qualitativ wurde der knöchernen Oberkiefer hinsichtlich der Reossifikation sechs Monate nach der Osteotomie beschrieben und kategorisiert.

Der Grad der Reossifikation wurde im Anschluss in Relation zur erweiterten Strecke gestellt.

## **2.2 Zusammensetzung der Untersuchungsgruppe**

Für die vorliegende Studie wurde ein Patientenkollektiv des Universitätsklinikums Regensburg ausgewählt. Alle Patienten befanden sich zwischen dem Jahr 2018 und 2022 in Behandlung in der Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie.

Nach Sichtung von 124 Patienten mit transversaler Enge im Oberkiefer und orthognathem Behandlungskonzept wurden 30 Patienten, die die Einschlusskriterien erfüllten, in die vorliegende Studie eingeschlossen.

In der Gruppe der LeFort-I-Zweisegmentosteotomie wurden 19 Patienten, 9 weiblich und 10 männlich, eingeschlossen. Zum Zeitpunkt der Intervention waren sie zwischen 18 und 41 Jahre alt, mit einem Durchschnittsalter von 23,7 Jahren.

In die Gruppe der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung wurden 11 Patienten, 4 weiblich und 7 männlich eingeschlossen. Zum Zeitpunkt der Intervention waren sie zwischen 20 und 45 Jahre alt, mit einem Durchschnittsalter von 29,5 Jahren. Die folgenden

***Einschlusskriterien*** wurden von allen Patienten erfüllt:

- Transversale Enge im Oberkiefer
- Behandlung durch LeFort-I-Zweisegmentosteotomie oder chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung
- Vorhandene dreidimensionale Bildgebung der Digitalen Volumentomographie
  - Prä- oder postoperative Bildgebung in der Gruppe der chirurgisch unterstützen Gaumennahterweiterung sowie Bildgebung mindestens sechs Monate postoperativ
  - Prä- und postoperative Bildgebung in der Gruppe der LeFort-I-Zweisegmentosteotomie sowie Bildgebung mindestens sechs Monate postoperativ

Die folgenden ***Ausschlusskriterien*** wurden festgelegt:

- Syndromale Erkrankungen des Gesichtsschädels

- Lippen-Kiefer-Gaumenspalte
- Tumorerkrankungen
- Revisionen aufgrund von Komplikationen
- Eingeschränkte Beurteilbarkeit der generierten Bilder durch Bewegungsartefakte
- Eingeschränkte Beurteilbarkeit der generierten Bilder durch Streuartefakte
- Eingeschränkte Abgrenzbarkeit von meßrelevanten anatomischen Strukturen

### **2.3 Zeitpunkte der Messung der erweiterten Strecke und Beurteilung der Reossifikation**

In Abbildung 6 werden die Zeitpunkte der chirurgischen Intervention und jeweiliger Bildgebung in der Gruppe der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung und der Gruppe der LeFort-I-Zweisegmentosteotomie veranschaulicht.

In der Gruppe der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung wurde der Zeitpunkt der Intervention GNE-T1 gemessen, der kurz vor oder kurz nach der chirurgischen Intervention lag, in jedem Fall vor der Aktivierung der gaumennahterweiternden Apparatur. Der zweite Messpunkt GNE-T2 lag frühestens 6 Monate postoperativ.

In der Gruppe der LeFort-I-Zweisegmentosteotomie wurde die präoperative Situation zum Zeitpunkt LF-T1 gemessen. Zum Zeitpunkt LF-T2 wurde unmittelbar postoperativ gemessen. Da bei der LeFort-I-Zweisegmentosteotomie die Kiefersegmente bereits intraoperativ in die gewünschte Position gebracht und mittels Titanplatten fixiert wurden, stellt die Zeitspanne zwischen LF-T1 und LF-T2 die Bewegung der Segmente dar. Der Messpunkt LF-T3 stellt die Situation frühestens 6 Monate postoperativ dar.

Für die Erfassung der Segmentbewegung und die Beurteilung der Reossifikation wurde folgendes Zeitschema verwendet:

#### ***Chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung:***

- |   |        |
|---|--------|
| 1. Bildgebung prä- oder postoperativ, vor Aktivierung | GNE-T1 |
| 2. Bildgebung mindestens sechs Monaten postoperativ   | GNE-T2 |

#### ***LeFort-I-Zweisegmentosteotomie:***

- |   |       |
|---|-------|
| 1. Bildgebung präoperativ                           | LF-T1 |
| 2. Bildgebung postoperativ                          | LF-T2 |
| 3. Bildgebung mindestens sechs Monaten postoperativ | LF-T3 |

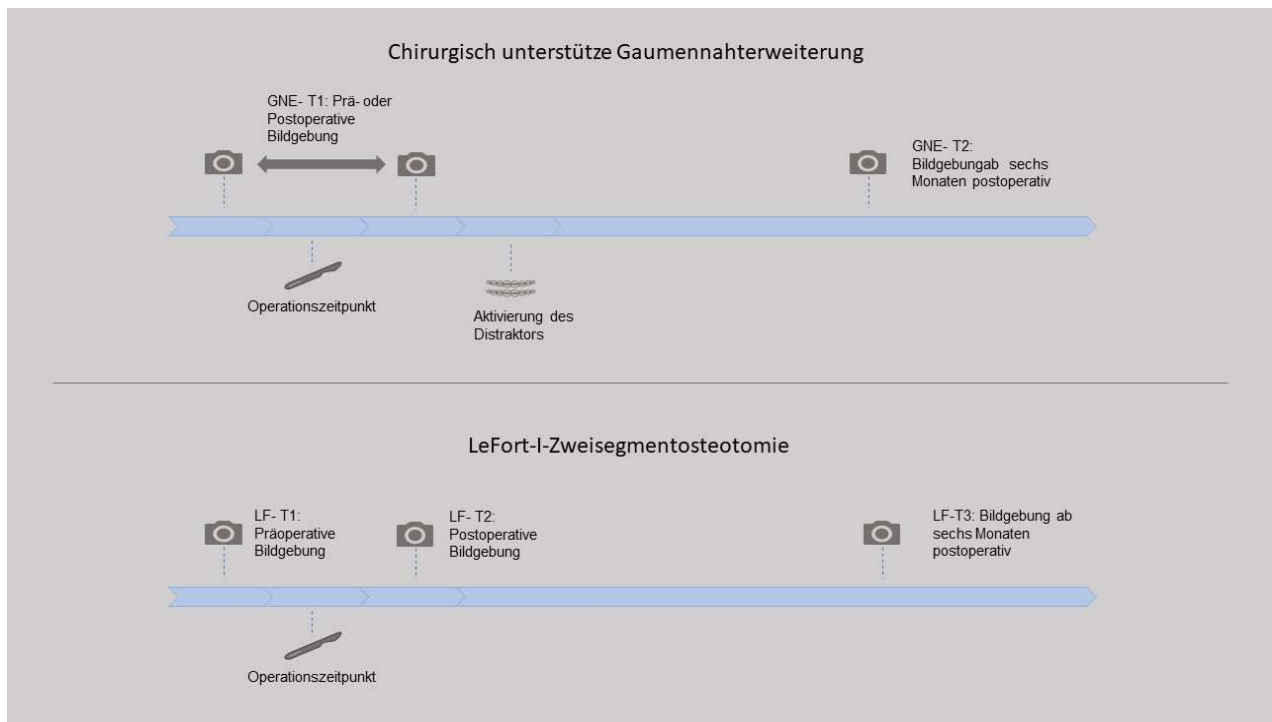


Abbildung 6: Zeitschema der Bildgebung der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung und der LeFort-I-Zweissegmentosteotomie. Bei der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung bestand die Möglichkeit der präoperativen oder postoperativen Bildgebung zum Zeitpunkt GNE-T1.

Für die Zeitspanne zwischen Operationsdatum und Bildgebung der Verknöcherungsbeurteilung wurden der Median und die Standardabweichung in beiden Gruppen angegeben. Eine Vergleichbarkeit der Verknöcherung in Abhängigkeit der vergangenen Zeit ist möglich.

## 2.4 Chirurgische Intervention

### 2.4.1 Chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung

In Allgemeinanästhesie erfolgte die Lagerung des Patienten in Rückenlage, die extraorale Desinfektion und die sterile Abdeckung des Operationsgebietes. Im Anschluss folgte die Einlage einer Rachenabstopftamponade und enorale Desinfektion, danach die Lokalanästhesie in Form einer Infiltrationsanästhesie im Bereich des gesamten Oberkiefer vestibulums.

Nach Wirkungseintritt des Lokalanästhetikums erfolgte eine zirkuläre Schnittführung von Regio 16 bis 26, ca. 2-3 Millimeter cranial der mukogingivalen Grenze. Danach wurde das Mukoperiostes in cranialer Richtung abgeschoben. Hiermit wurde die Apertura piriformis, der Nervus infraorbitalis und die Crista zygomaticoalveolaris beidseits dargestellt. Es folgte das Ablösen des Periostes hinter dem Oberkiefer und das Abheben des Nasenschlauches des knöchernen Nasenbodens. Anschließend folgte die LeFort-I-Osteotomie, wobei mit der oszillierenden Säge der Knochen im Bereich der Crista zygomaticoalveolaris, der fazialen

Kieferhöhlenwand sowie des paranasalen Stützpfelers auf Höhe der LeFort-I-Ebene durchtrennt wurde. Lateral wurde bei aufsteigender Osteotomielinie ein kleiner Knochenkeil entfernt, um eine Lateralbewegung des Oberkiefers im Rahmen der Weitung interferenzfrei zu ermöglichen. Für die Abtrennung des Nasenseptums wurde ein Nasenseptummeißel verwendet. Mit dem geführten Meißel wurde die durchgängige Durchtrennung der paranasalen Stützpfelers komplettiert. Abschließend wurde der Oberkiefer im Bereich der Fossa pterygopalatina mit einem Obwegeser-Meißel vom Pterygoidmassiv getrennt beziehungsweise in diesem Bereich eine Schwächung durchgeführt, um die Weitung zu ermöglichen. Das Vorgehen war immer auf beiden Seiten identisch. Im Bereich des anterioren Oberkiefers wurde mit einem Rosenbohrer der Knochen im Spinabereich geglättet, so dass exakt mittig mit der piezo-elektrischen Säge eine Durchtrennung erfolgen konnte. Die restliche Spaltung der Gaumennaht nach dorsal erfolgte dann mit einem Lambotte-Meißel. Bei deutlich erkennbarer Mobilität des Oberkiefers folgte abschließend ein dichter und spannungsfreier Wundverschluss der Mukosa, wobei zunächst die paranasale Muskulatur readaptiert wurde.

Die im Vorfeld angefertigte kieferorthopädische Dehnungsapparatur wurde zunächst eingepasst, dann eingegliedert und in Säure-Ätz-Technik am Zahn befestigt.

Die Dehnungsapparatur wurde initial mit zwei erfolgten Umdrehungen belassen, was einem Millimeter entspricht. Das Distraktionsprotokoll betrug immer zwei Umdrehungen am Tag, beginnend ab dem dritten Tag postoperativ.

#### **2.4.2 LeFort-I-Zweissegmentosteotomie**

In Allgemeinanästhesie erfolgte die Lagerung des Patienten in Rückenlage, die extraorale Desinfektion und die sterile Abdeckung des Operationsgebietes. Danach Einlage einer Rachenabstopftamponade und enorale Desinfektion. Es schloss sich eine Lokalanästhesie in Form einer Infiltrationsanästhesie im Bereich des gesamten Oberkiefervestibulums beidseits an. Bis zum Wirkungseintritt des Lokalanästhetikums wurde augenbraunnah eine Positionierungsschraube im Bereich der Glabella eingedreht.

Von hier aus wurden die vertikalen Parameter zum Inzisalpunkt, zu den ersten Schneidezähnen und zu den ersten Molaren vermessen und notiert. Im späteren Operationsverlauf kann die geplante Verlagerung des Oberkiefers durchführen und überprüft werden.

Im Oberkiefer wurde eine zirkuläre Schnittführung von Regio 16-26 gewählt, etwa 2-3 Millimeter cranial der mucogingivalen Grenze mit separatem Durchtrennen des Periostes. Das Mucoperiost wurde in cranialer Richtung angehoben. Hiermit wurde die Apertura piriformis, der Nervus infraorbitalis und die Crista zygomaticoalveolaris beidseits dargestellt. Nach



kompletter Darstellung des caudalen Anteils der Apertura piriformis und der Spina nasalis anterior wurde der Nasenschlauch vom knöchernen Nasenboden abgehoben. Für die Le-Fort-I-Osteotomie wurde mit der oszillierenden Säge der Knochen im Bereich der Crista zygomaticoalveolaris, der facialis Kieferhöhlenwand und der paranasalen Stützpfiler auf Höhe der LeFort-I-Ebene durchtrennt. Anschließend folgte die Abtrennung des Nasenseptums von dem zu mobilisierenden Oberkieferanteil. Mit dem geführten Meißel wurde die durchgängige Durchtrennung der paranasalen Knochenwände überprüft und komplettiert. Der zahntragenden Oberkieferanteil wurde mit einem Obwegeser-Meißel im Bereich der Fossa pterygopalatina vom Pterygoidmassiv getrennt. Für die Down Fracture wurde mit dem Einzinker-Haken am zu mobilisierenden Oberkieferanteil im Nasenwurzelbereich gezogen. Bei der sagittalen Spaltung folgte die Anlage von zwei paramedianen Osteotomielinien mit der piezoelektrischen Säge. Die Osteotomielinien liefen anterior spitz zusammen. Von vestibulär wurde der Knochen mit der piezoelektrischen Säge durchtrennt und mit den Osteotomien verbunden. Der Knochen interdental zwischen den mittleren Schneidezähnen wurde mit einem Lambotte-Meißel durchtrennt. Nach Mobilisierung beider Oberkieferanteile folgte das Einbinden des Splintes mit Drahtligaturen. Nach Erreichen der Zielposition und Überprüfung der vertikalen Parameter wurde der Oberkiefer in dieser Position mit 4 L-förmig konfigurierten Osteosyntheseplatten fixiert. Die Osteosyntheseplatten wurden jeweils im Bereich des paranasalen Stützpfilers und der Crista zygomaticoalveolaris angebracht. Es folgte eine Refixation des Nasenseptums an der Spina nasalis anterior. Anschließend mehrschichtiger chirurgischer Wundverschluss. Die Positionierungsschraube im Bereich der Glabella wurde entfernt.

## **2.5 Messung der erweiterten Strecke mittels Digitaler Volumentomographie**

### **2.5.1 Apparative Diagnostik und Software**

Die Generierung der Bilddaten erfolgte durch das Computed Tomography X-Ray System Model Master3DS der Firma E-Woo Technology. Folgende Expositionsparameter wurden gewählt: kVp=89, mA=6, Voxel size= 0.164mm, FOV=20x19cm.

Datenausgabe des Gerätes war das DICOM-Format. Für die Messung und Untersuchung der vorliegenden Fragestellung wurde das Programm Ez3D 2009 von der Softwarefirma Vatech verwendet. Die Messpunkte wurden mittels 3D Lineal vermessen.

## 2.5.2 Messpunkte

### 2.5.2.1 Messpunkte anterior

Die Messung der anterioren transversalen Ausdehnung erfolgte im Zentrum der Pulpahöhle der Zähne 13 und 23. Bei starker axialer Abweichung des Höhenniveaus der Eckzähne wurde die axiale Ebene in der coronaren Ansicht entsprechend angepasst.

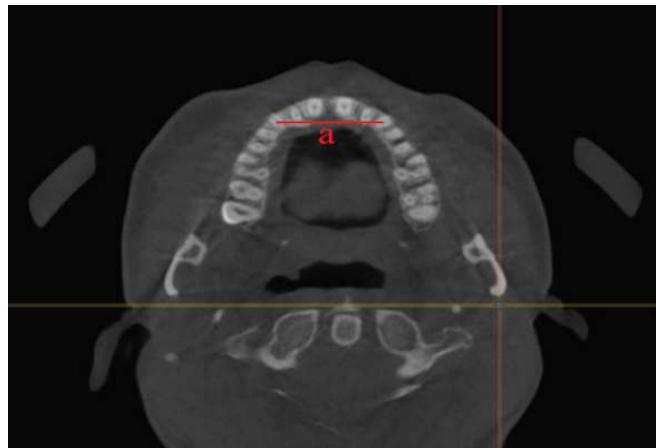


Abbildung 7: Messstrecke anterior a mit Referenzpunkten in der Pulpahöhle der Zähne 13 und 23. In axialer Schnittebene.

In der Axialebene wurden die Schichten von der Okklusionsebene von kaudal nach kranial bis zur letzten Schicht, in der beide Pulpenkavitäten noch sichtbar waren, untersucht (siehe Abbildung 7). Die geweitete Strecke wurde in der Mitte der jeweiligen Pulpahöhle mit dem Tool 3D Lineal in Millimeter gemessen.

### 2.5.2.2 Messpunkt posterior

Die Messung der posterioren transversalen Ausdehnung erfolgte beidseits anhand des paarig angelegten Foramen palatinum majus.

In Coronaransicht wurden die paarigen Foramina palatina majores aufgesucht (siehe Abbildung 8). Anschließend wurde in der coronaren Ansicht die axiale Ausrichtung bestimmt und für die Messung in die axiale Ansicht gewechselt (siehe Abbildung 9). Die Messpunkte wurden jeweils zentral im Foramen palatinum majus platziert. Die Strecke wurde mit dem Tool 3D Lineal in Millimeter gemessen.

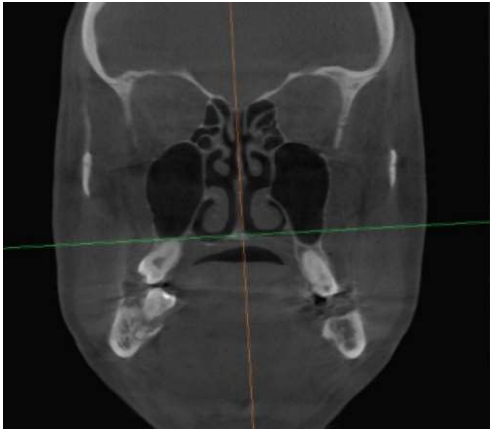


Abbildung 8: Ausrichtung der axialen Schicht (grün) in der coronaren Ansicht.

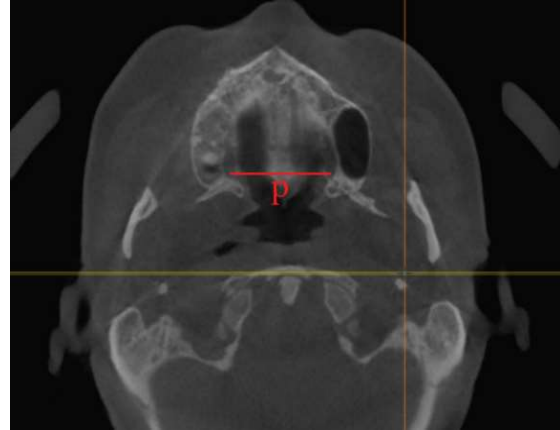


Abbildung 9: Messstrecke posterior *p* an den Referenzpunkten im Zentrum des Foramen palatinum majus in axialer Schnittebene.

## 2.6 Beurteilung der Ossifikation nach skelettverlagernder Operation

In der sagittalen Ansicht wurde die Ebene des axialen Schnittes festgelegt (siehe Abbildung 10), in der die Beurteilung der Verknöcherung erfolgte. Bei einem dicken oder gekrümmten knöchernen Gaumendach wurden die darüber und darunter liegenden Schichten in die Bewertung einbezogen.

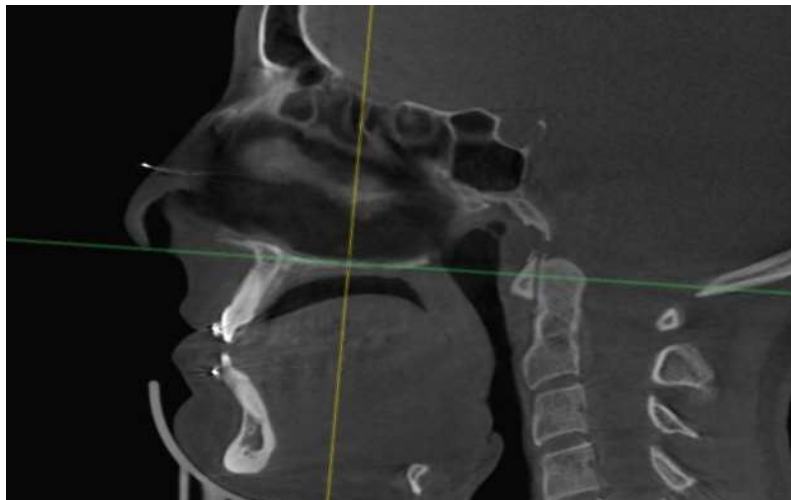


Abbildung 10: Sagittale Ansicht für die Festlegung der axialen Ebene (grün) zur Beurteilung der Verknöcherung.

Die Ergebnisse wurden für die chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung und für die LeFort-I-Zweisegmentosteotomie erhoben.

Es wurde eine Einteilung in vier Kategorien vorgenommen, um die Reossifikation qualitativ zu beschreiben:

0. **Keine Reossifikation:** Sechs Monate postoperativ zeigt sich in keiner der untersuchten Schichten der Digitalen Volumentomographie eine Verknöcherung.
1. **Partielle Reossifikation an einzelnen Punkten:** Sechs Monate postoperativ zeigen sich in der Digitalen Volumentomographie einzelne knöcherne Brücken, sowie punktuelle Verknöcherung im Osteotomiespalt. Die Osteotomielinien sind deutlich nachvollziehbar.
2. **Fortgeschrittene, streckenweise Reossifikation mit einzelnen nichtverknöcherten Bereichen:** Sechs Monate postoperativ zeigt sich in der Digitalen Volumentomographie eine fortgeschrittene Verknöcherung mit Verknöcherungszonen mit teilweise vollständiger Ossifikation im anterioren oder posterioren Bereich der Osteotomie. Die Osteotomielinien sind nicht mehr durchgängig nachvollziehbar.
3. **Vollständig Reossifikation:** Sechs Monate postoperativ zeigt sich in der Digitalen Volumentomographie eine vollständige Verknöcherung. Osteotomielinien sind nicht mehr zu erkennen.

Abbildung 11 zeigt einen Patienten nach durchgeführter LeFort-I-Zweisegmentosteotomie und sechs Monate postoperativ.

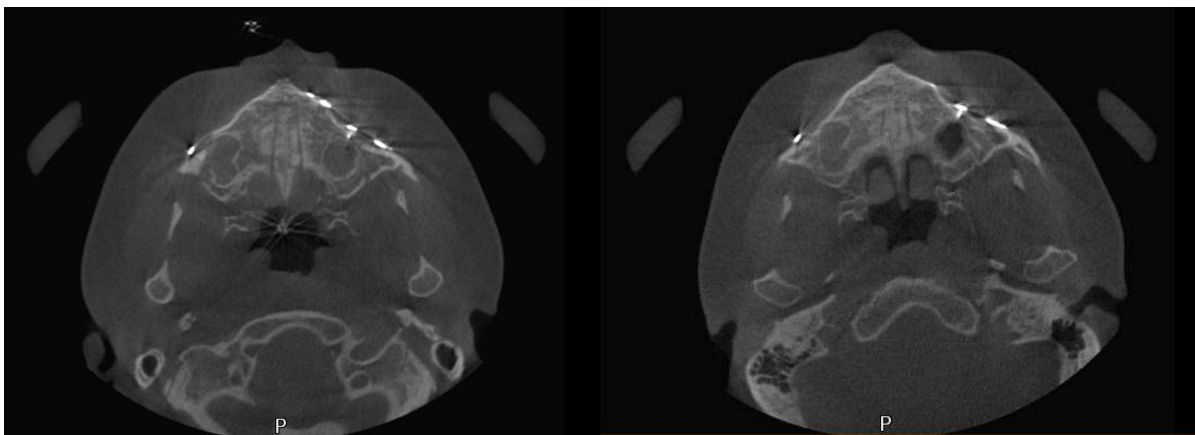


Abbildung 11: links: Postoperatives DVT nach LeFort-I-Zweisegmentosteotomie mit paramedianen Osteotomielinien. rechts: Selber Patient aus Kategorie 2 sechs Monate postoperativ. Anterior vollständige Reossifikation. Nach posterior sind die Osteotomielinien noch zu erkennen.

## 2.7 Untersuchung der Kategorie der Reossifikation in Abhängigkeit der erweiterten Strecke

Die Kategorisierung der Reossifikation nach chirurgischer Intervention wurde hinsichtlich der erweiterten Strecke untersucht. Dafür wurden die oben genannten Kategorien der Reossifikation

für die chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung und LeFort-I-Zweisegmentosteotomie in Relation zu der transversal erweiterten Strecke gesetzt.

- In der Gruppe der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung für die anterior und posterior gemessene Strecke zwischen den Zeitpunkten GNE-T1 und GNE-T2.
- In der Gruppe der LeFort-I-Zweisegmentosteotomie für die posterior gemessene Strecke zwischen den Zeitpunkten LF-T1 und LF-T2.

## **2.8 Statistische Analyse**

### **2.8.1 Messgenauigkeit für die quantitative Untersuchung der erweiterten Strecke nach chirurgischer Intervention**

Zur Bestimmung der Messgenauigkeit der quantitativen Untersuchung der erweiterten Strecke nach chirurgischer Intervention wurde exemplarisch der Zeitpunkt LF-T1 der LeFort-I-Zweisegmentosteotomie gewählt. In dieser Gruppe wurden die Streckenmessungen zu LF-T1 viermal im Abstand von jeweils zwei Wochen durchgeführt und die Standardabweichung bestimmt.

### **2.8.2 Intraobserver-Variabilität für qualitative Kategorisierung der Reossifikation**

Zur Bestimmung der Intraobserver-Variabilität der Kategorisierung der Reossifikation wurden alle Bilddaten der Digitalen Volumetomographie im Abstand von drei Wochen erneut nach der oben beschriebenen Methode ausgewertet und klassifiziert.

Die Übereinstimmungskoeffizienten für die qualitative Beurteilung, d.h. für den Grad der Reossifikation für die chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung und die LeFort-I-Zweisegmentossifikation, wurde mit dem Cohens gewichteten Kappa-Koeffizienten berechnet. Der gewichtete Kappa-Koeffizient nach Cohen wird in der Kreuzklassifikation allgemein als Maß für die Übereinstimmung zwischen beobachtenden Beurteilern verwendet.

Er soll die Variabilität der oben genannten Kategorisierung überprüfen und wird zwischen 0 und 1 angegeben. 0 entspricht keiner Übereinstimmung zwischen den Beobachtungen, 1 entspricht einer vollständigen Übereinstimmung zwischen beiden Untersuchungsdurchgängen. Für die Berechnung des Cohens gewichteten Kappa-Koeffizienten wurde die Software IBM SPSS Statistics Version 26 verwendet.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Transversale Streckenmessung nach chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der transversalen Streckenmessung in der Gruppe der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung dargelegt (siehe Tabelle 1).

Die Gruppe umfasste 11 Patienten, 4 weiblich und 7 männlich. Gemessen wurde nach der Methode der Messung der erweiterten Strecke mittels Digitaler Volumentomographie (siehe 2.5 Material und Methoden). Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Der Abstand  $a$  zwischen den Pulpahöhlen der Zähne 13 und 23 zwischen den Zeitpunkten GNE-T1 und GNE-T2 lag zwischen 0,2 mm und 8,3 mm. Im Mittel vergrößerte er sich um 4,29 mm.

Der Abstand  $p$  zwischen den Foramina palatina majora vergrößerte sich zwischen den Zeitpunkten GNE-T1 und GNE-T2 zwischen 0,7 mm und 4,4 mm. Im Mittel nahm er um 1,94 mm zu.

Die Daten zeigten im Mittel eine größere transversale Weitung im anterioren Oberkiefersegment als im posterioren.

Patient	Geschlecht	Alter	Skelettale Klasse	Strecke a GNE-T1	Strecke p GNE-T1	Strecke a GNE-T2	Strecke p GNE-T2	$\Delta a$	$\Delta p$
AJ	w	20	I	28,8	27,9	29,0	31,1	0,2	3,2
VK	w	27	II	31,6	29,7	33,7	30,4	2,1	0,7
MJ	w	26	III	27,5	32,1	32,7	33,6	5,2	1,5
GE	m	32	I	28,6	27,2	31,8	29,2	3,2	2,0
WP	w	24	I	25,2	26,7	31,4	31,1	6,2	4,4
HK	m	28	I	24,8	29,3	33,1	31,3	8,3	2,0
AZ	m	25	III	28,7	31,8	30,2	34	1,5	2,2
GM	m	21	III	30,9	30,4	34,7	32,4	3,8	2,0
GT	m	33	I	25,8	28,8	31,3	29,7	5,5	0,9
GM	m	45	I	23,4	33,5	28,2	34,9	4,8	0,9
HJ	m	43	III	26,8	32,4	33,2	33,7	6,4	1,3

Tabelle 1: Transversale Streckenmessung in Millimeter in der Gruppe der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung.  $\Delta a$  beschreibt die anteriore Distanzänderung zwischen den Zeitpunkten GNE-T1 und GNE-T2.  $\Delta p$  beschreibt die posteriore Distanzänderung zwischen den Zeitpunkten GNE-T1 und GNE-T2.

#### 3.2 Transversale Streckenmessung nach LeFort-I-Zweissegmentosteotomie

Die Gruppe der LeFort-I-Zweissegmentosteotomie umfasste 19 Patienten, 9 weiblich und 10 männlich. Gemessen wurde nach der Methode der Messung der erweiterten Strecke mittels

Digitaler Volumentomographie (siehe 2.5 Material und Methoden). Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Der Abstand p der Foramina palatina majora vergrößerte sich zwischen den Zeitpunkten LF-T1 und LF-T2 zwischen 0,8 mm und 7,7 mm. Im Mittel um 3,3 mm.

Der Abstand p der Foramina palatina majora veränderte sich zwischen den Zeitpunkten LF-T2 und LF-T3 zwischen -2,0 mm und 1,2 mm. Die mittlere Änderungsrate der transversalen Ausdehnung betrug 0,82 mm.  $\Delta p_2$  beschreibt die Rezidivbewegung sechs Monate postoperativ.

Patient	Geschlecht	Alter	Skelettale Klasse	Strecke p LF-T1	Strecke p LF-T2	Strecke p LF-T3	$\Delta p_1$	$\Delta p_2$
SD	m	20	III	33,6	38,8	36,8	5,2	-2
FB	w	28	II	29,0	33,3	33,1	4,3	-0,2
ET	w	18	III	27,4	31,3	31,1	3,9	-0,2
FS	m	23	III	34,5	39,0	38,7	4,5	-0,3
PN	m	18	III	26,5	28,8	27,4	2,3	-1,4
EM	m	23	III	33,6	35,9	34,8	2,3	-1,1
SJ	m	19	III	31,5	37,1	34,4	5,6	-2,7
RD	m	27	II	29,5	32,5	31,8	3,0	-0,7
ZF	w	22	II	27,2	30,8	32,0	3,6	1,2
FF	m	18	II	28,3	30,4	29,9	2,1	-0,5
KC	w	38	II	34,7	37,9	36,7	3,2	-1,2
BT	m	22	II	30,1	32,4	32,9	2,3	0,5
GS	w	26	II	26,5	28,1	27,6	1,6	-0,5
BA	w	19	II	28,6	29,4	28,6	0,8	-0,8
WM	w	17	II	28,3	30,2	30,3	1,9	0,1
LM	w	41	III	31,0	32,9	32,8	1,9	-0,1
AJ	m	20	III	33,2	40,9	39,2	7,7	-1,7
NJ	w	25	III	27,1	29,1	28,7	2,0	-0,4
HC	m	27	II	29,9	34,0	34,0	4,1	0

Tabelle 2: *Transversale Streckenmessung in Millimeter in der Gruppe der LeFort-I-Zweigesgmentosteotomie.  $\Delta p_1$  beschreibt die posteriore Distanzänderung zwischen den Zeitpunkten LF-T1 und LF-T2 entsprechend der intraoperativ geweiteten Strecke.  $\Delta p_2$  beschreibt die posteriore Distanzänderung zwischen den Zeitpunkten LF-T2 und LF-T3 entsprechend dem postoperativen Rezidiv nach mindestens sechs Monaten.*

### 3.3 Reossifikation bei Patienten nach chirurgisch unterstützter

#### Gaumennahterweiterung

Die Ergebnisse der Kategorisierung der Reossifikation nach der Methode der Beurteilung der Ossifikation nach skelettverlagernder Operation (siehe 2.6 Material und Methoden) sind in Tabelle 3 dargestellt. In der Gruppe der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung

konnte bei 2 Patienten mindestens sechs Monate postoperativ keine Verknöcherung festgestellt werden. Eine partielle Verknöcherung wurde bei 1 Patienten und eine fortgeschrittene Verknöcherung bei 2 Patienten beobachtet. 6 Patienten zeigten sechs Monate postoperativ eine vollständige Verknöcherung.

Bei 9 Patienten wurde mindestens sechs Monate postoperativ in der Digitalen Volumentomographie eine Erweiterung im Foramen incisivum nach chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung beobachtet. Bei 2 Patienten wurde keine Erweiterung beobachtet. Der Medianwert der Zeit  $t$ , zwischen Operationstermin und der Bildgebung der Beurteilung der Verknöcherung betrug 438 Tage (SD 148,9).

Patient	Geschlecht	Alter	Skelettale Klasse	$\Delta a$	$\Delta p$	Kategorie der Reossifikation	$t$ Operation-Bildgebung	Erweiterung des Foramen incisivum
AJ	w	20	I	0,2	3,2	0	230	-
VK	w	27	II	2,1	0,7	0	393	+
MJ	m	26	III	5,2	1,5	1	579	-
GE	m	32	I	3,2	2,0	3	685	+
WP	w	24	I	6,2	4,4	2	661	+
HK	m	28	I	8,3	2,0	3	297	+
AZ	m	25	III	1,5	2,2	3	528	+
GM	m	21	III	3,8	2,0	3	438	+
GT	m	33	I	5,5	0,9	2	535	+
GM	m	45	I	4,8	0,9	3	274	+
HJ	m	43	III	6,4	1,3	3	360	+

Tabelle 3: Geweitete Strecke  $\Delta a$  und  $\Delta p$  in Millimeter und Kategorisierung der Verknöcherung. Zeit  $t$  in Tagen zwischen Operationsdatum und Bildgebung zur Beurteilung der Verknöcherung.

Nachfolgend wurde die Kategorisierung der Patienten für die chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung in Abbildung 12 visualisiert.

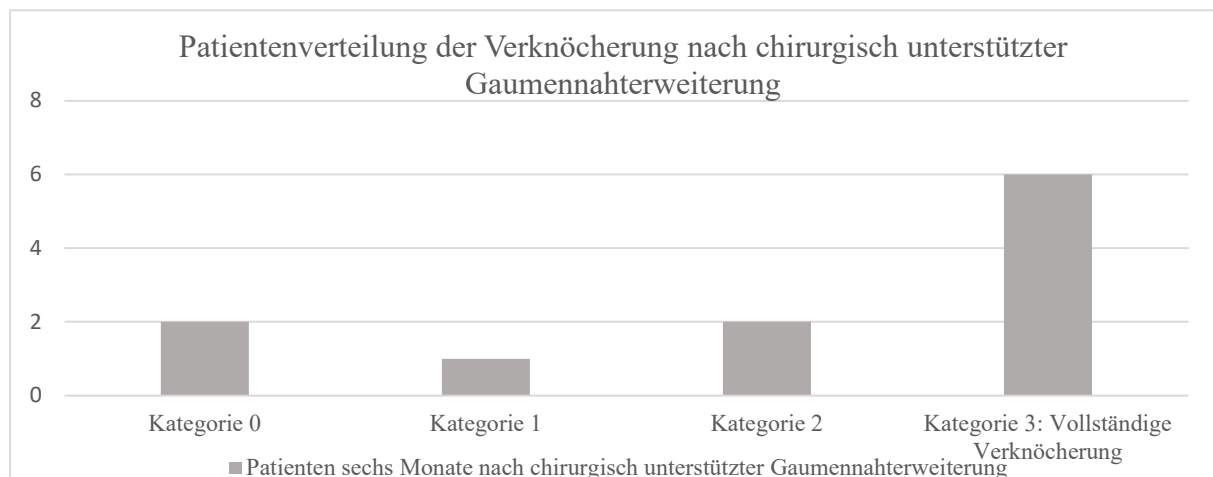


Abbildung 12: Verteilung der Patienten nach chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung in Kategorien der Verknöcherung.



### 3.4 Reossifikation bei Patienten nach LeFort-I-Segmentosteotomie

Die Ergebnisse der Kategorisierung der Reossifikation ist für die Gruppe der LeFort-I-Zweissegmentosteotomie in Tabelle 4 dargestellt. In dieser Gruppe wurde bei 4 Patienten mindestens sechs Monate postoperativ keine Verknöcherung zu beobachten. Bei 7 Patienten wurde eine partielle Verknöcherung und bei 7 Patienten eine fortgeschrittene Verknöcherung beobachtet. 1 Patient zeigte mindestens sechs Monate postoperativ eine vollständige Verknöcherung. Der Medianwert der Zeit  $t$  zwischen Operationstermin und der Bildgebung der Beurteilung der Verknöcherung betrug in dieser Gruppe 246 Tage (SD 115,1).

Patient	Geschlecht	Alter	Skelettale Klasse	$\Delta p1$	Kategorie d. Verknöcherung	t Operation-Bildgebung	Erweiterung des Foramen incisivum
SD	m	20	III	5,2	1	197	-
FB	w	28	II	4,3	1	279	-
ET	w	18	III	3,9	0	489	-
FS	m	23	III	4,5	1	346	-
PN	m	18	III	2,3	3	227	-
EM	m	23	III	2,3	2	306	-
SJ	m	19	III	5,6	2	517	-
RD	m	27	II	3,0	2	246	+
ZF	w	22	II	3,6	1	365	-
FF	m	18	II	2,1	1	211	+
KC	w	38	II	3,2	0	230	+
BT	m	22	II	2,3	2	220	+
GS	w	26	II	1,6	2	442	-
BA	w	19	II	0,8	2	202	-
WM	w	17	II	1,9	2	554	-
LM	w	41	III	1,9	1	192	-
AJ	m	20	III	7,7	0	269	+
NJ	w	25	III	2,0	0	218	-
HC	m	27	II	4,1	1	199	+

Tabelle 4: Geweitete Strecke  $\Delta p1$  in Millimeter zwischen prä- und postoperativer Bildgebung. Kategorisierung der Verknöcherung mindestens sechs Monate postoperativ. Zeit  $t$  in Tagen zwischen Operationsdatum und Bildgebung zur Beurteilung der Verknöcherung.

Nachfolgend wurde die Kategorisierung der Patienten für die LeFort-I-Zweissegmentosteotomie in Abbildung 13 visualisiert.

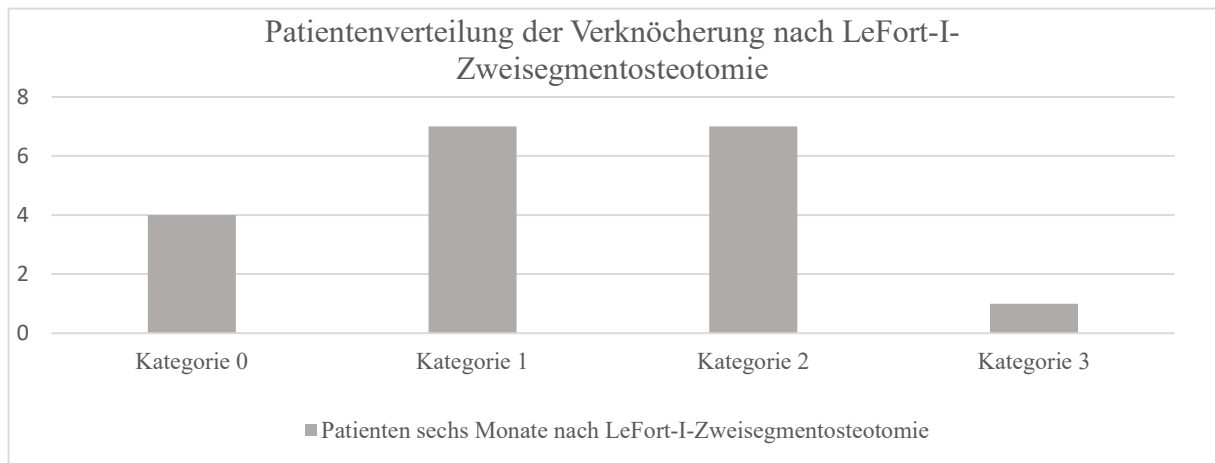


Abbildung 13: Verteilung der Patienten nach LeFort-I-Zweisegmentosteotomie in Kategorien der Verknöcherung.

Bei 6 Patienten war nach mindestens sechs Monaten postoperativ in der Digitalen Volumentomographie eine Erweiterung im Foramen incisivum nach LeFort-I-Zweisegmentosteotomie zu beobachten. Bei 13 Patienten war keine Erweiterung zu beobachten.

### 3.5 Grad der Reossifikation in Abhängigkeit der erweiterten Strecke

Die Kategorie der Reossifikation wurde nachfolgend mit der transversal erweiterten Strecke in Relation gebracht. Tabelle 5 zeigt die Kategorisierungen der Verknöcherung in Abhängigkeit der erweiterten Strecke in der Gruppe der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung für den Mittelwert der Strecke  $\Delta a$  und  $\Delta p$ .

	MW $\Delta a$ GNE	MW $\Delta p$ GNE	N= 11	MW t Operationsdatum- Bildgebung
Kategorie 0	1,15	1,95	2	311,5
Kategorie 1	5,2	1,5	1	579
Kategorie 2	5,85	2,65	2	598
Kategorie 3	4,6	1,73	6	430,3

Tabelle 5: Kategorisierungen der Verknöcherung in Abhängigkeit der erweiterten Strecke nach chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung für den Mittelwert der Strecke  $\Delta a$  und  $\Delta p$  in Millimeter. Mittelwert der Zeit  $t$  in Tagen zwischen Operationsdatum und Bildgebung zur Beurteilung der Verknöcherung,  $N$ = Fallzahl.

- Bei 2 Patienten, bei denen im Mittel 311,5 Tage postoperativ keine Verknöcherung in der Digitalen Volumentomographie festgestellt wurde, betrug der Mittelwert der Strecke  $\Delta a$  1,15 mm und  $\Delta p$  1,95 mm.
- Für Kategorie 1 mit partieller Verknöcherung betrug  $\Delta a$  5,2 mm und  $\Delta p$  1,5 mm.
- Für Kategorie 2 mit fortgeschrittener Verknöcherung betrug  $\Delta a$  5,85 mm und  $\Delta p$  2,65 mm.
- Bei 6 Patienten mit vollständiger Verknöcherung betrug  $\Delta a$  4,6 mm und  $\Delta p$  1,73 mm.

Eine kontinuierliche Abnahme der erweiterten transversalen Strecke bei höherer Kategorisierung, d.h. zunehmendem Grad der Verknöcherung konnte nicht beobachtet werden.

Tabelle 6 zeigt die Kategorisierungen der Verknöcherung in Abhängigkeit der erweiterten Strecke in der Gruppe der LeFort-I-Zweissegmentosteotomie für den Mittelwert der Strecke  $\Delta p$ .

- Bei 4 Patienten, bei denen im Mittel 301,5 Tage postoperativ keine Verknöcherung in der Digitalen Volumentomographie festgestellt wurde, betrug der Mittelwert der Strecke  $\Delta p$  4,2 mm.
- Für Kategorie 1 mit partieller Verknöcherung betrug  $\Delta p$  3,67 mm.
- Für Kategorie 2 mit fortgeschrittener Verknöcherung betrug  $\Delta p$  2,5 mm.
- Für Kategorie 3 mit vollständiger Verknöcherung betrug  $\Delta p$  2,3 mm.

In der Gruppe der LeFort-I-Zweissegmentosteotomie konnte eine kontinuierliche Abnahme der erweiterten Strecke  $\Delta p$  in Relation mit der Zunahme der Verknöcherung beobachtet werden.

	MW $\Delta p$ 1	N= 19	MW t Operationsdatum-Bildgebung
Kategorie 0	4,2	4	301,5
Kategorie 1	3,67	7	223,6
Kategorie 2	2,5	7	355,3
Kategorie 3	2,3	1	227

Tabelle 6: Kategorisierungen der Verknöcherung in Abhängigkeit der erweiterten Strecke in der Gruppe der LeFort-I-Zweissegmentosteotomie für den Mittelwert der Strecke  $\Delta p$ 1. Mittelwert der Zeit t in Tagen zwischen Operationsdatum und Bildgebung zur Beurteilung der Verknöcherung, N= Fallzahl.

### 3.6 Messgenauigkeit für die quantitative Untersuchung der erweiterten Strecke nach chirurgischer Intervention

Die transversale Streckenmessung wurde nach obenstehender Methodik (siehe 2.5 Messung der erweiterten Strecke mittels Digitaler Volumentomographie) im Abstand von jeweils zwei

Wochen viermal wiederholt, um die Genauigkeit der quantitativen Streckenmessung der vorliegenden Arbeit zu überprüfen (siehe Tabelle 7).

Die Standardabweichung der vierfach wiederholten Messung lag zwischen 0,27 mm und 0,78 mm. Die größte Abweichung von zwei Werten wurde bei Patient 18 mit 1,7 mm beobachtet. Die kleinste Abweichung bei den Patienten 5, 6 und 7 mit maximal 0,7 mm zwischen vier Messungen.

Patient	LF-T1 1. Messung	LF-T1 2. Messung	LF-T1 3. Messung	LF-T1 4. Messung	SD
1	33,6	34,1	33,3	34,7	0,53
2	29	29	28,8	27,9	0,45
3	27,4	28,2	28,5	28,2	0,41
4	34,5	34,1	34,9	33,9	0,38
5	26,5	26,4	25,8	26,2	0,27
6	33,6	33,3	33,3	34	0,29
7	31,5	31,3	31,5	30,8	0,29
8	29,5	29,1	28,9	28,3	0,43
9	27,2	28,1	27,4	28,3	0,46
10	28,3	27,7	27,9	27,2	0,40
11	34,7	34,6	33,2	33,6	0,64
12	30,1	29,3	30,2	28,5	0,69
13	26,5	26,3	25,5	27,1	0,57
14	28,6	28,3	28,3	27,7	0,33
15	28,3	28,5	30	29,9	0,78
16	31	30,2	30,5	30	0,38
17	33,2	32,9	33	34,3	0,56
18	27,1	28,7	26,9	27	0,74
19	29,9	30,3	29,1	30,8	0,62

Tabelle 7: Messung der transversalen Strecke (siehe 2.5 Messung der geweiteten Strecke mittels Digitaler Volumentomographie) zu vier Zeitpunkten mit Erhebung der SD=Standardabweichung.

### 3.7 Intraobserver-Variabilität für qualitative Kategorisierung der Reossifikation

Zur Bestimmung der Intraobserver-Variabilität wurde die systematische Kategorisierung (siehe 2.6 Beurteilung der Ossifikation nach skelettverlagernder Operation) zweimal im Abstand von

drei Wochen wiederholt. Tabelle 8 zeigt die Ergebnisse der zweifachen Messung für die chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung.

Patient	Kategorisierung 1. Beurteilung	Kategorisierung 2. Beurteilung
1	0	0
2	0	0
3	1	1
4	3	3
5	2	1
6	3	3
7	3	3
8	3	3
9	2	2
10	3	3
11	3	3

Tabelle 8: Kategorisierung der Verknöcherung nach chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung mit drei Wochen Abstand zwischen den Messungen.

Bei Patient 5 wurde in der ersten Beurteilung eine fortgeschrittene Verknöcherung beschrieben, in der zweiten Beurteilung eine partielle Verknöcherung. Bei 10 Patienten waren die Kategorien der Verknöcherung bei der ersten und zweiten Beurteilung identisch.

Der Cohens gewichtete Kappa-Koeffizient für die qualitative Beurteilung, d.h. für den Grad der Reossifikation lag in dieser Gruppe bei 0,924 (siehe Abbildung 14). Dies entsprach, bezogen auf die Fallzahl, einer hohen Intraobserver-Übereinstimmung (siehe 2.8.2 Intraobserver-Variabilität für die qualitative Kategorisierung der Reossifikation).

Weighted Kappa						
Weighting	Kappa	Asymptotic Standard Error	Z	P Value	Lower 95% Asymptotic CI Bound	Upper 95% Asymptotic CI Bound
Linear	,924	,076	3,996	,000	,774	1,074

GNE1 vs. GNE2

Abbildung 14: Ergebnis des Cohens gewichteten Kappa Tests der Intraobserver-Variabilität für die Beurteilung und Kategorisierung der Reossifikation nach chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung.

Tabelle 9 zeigt die Ergebnisse der Kategorisierung für die Reossifikation sechs Monate postoperativ in der Gruppe der LeFort-I-Zweissegmentosteotomie. Patient 3 wurde in der ersten Beurteilung Kategorie 0 zugeordnet, in der zweiten Beurteilung Kategorie 1. Patient 4 wurde in der ersten Beurteilung Kategorie 1 zugeordnet, in der zweiten Beurteilung Kategorie 2. Die verbliebenen Patienten wurden bei beiden Beurteilungen den gleichen Kategorien zugeordnet.

Patient	Kategorisierung 1. Beurteilung	Kategorisierung 2. Beurteilung
1	1	1
2	1	1
3	0	1
4	1	2
5	3	3
6	2	2
7	2	2
8	2	2
9	1	1
10	1	1
11	0	0
12	2	2
13	2	2
14	2	2
15	2	2
16	1	1
17	0	0
18	0	0
19	1	1

Tabelle 9: Kategorisierung der Verknöcherung nach LeFort-I-Zweisegmentosteotomie mit drei Wochen Abstand zwischen den Messungen.

Der Cohens gewichtete Kappa-Koeffizient für die qualitative Beurteilung, d.h. für den Grad der Reossifikation lag in der Gruppe der LeFort-I-Zweisegmentossifikation bei 0,886 (siehe Abbildung 15). Dies entsprach, bezogen auf die Fallzahl, einer hohen Intraobserver-Übereinstimmung (siehe 2.8.2 Intraobserver-Variabilität für die qualitative Kategorisierung der Reossifikation).

Weighted Kappa						
Weighting	Kappa	Asymptotic Standard Error	Z	P Value	Lower 95% Asymptotic CI Bound	Upper 95% Asymptotic CI Bound
Linear	,886	,077	5,417	,000	,734	1,037

LeFort1 vs. LeFort2

Abbildung 15: Ergebnis des Cohens gewichteten Kappa Tests der Intraobserver-Variabilität für die Beurteilung und Kategorisierung der Reossifikation nach LeFort-I-Zweisegmentosteotomie.

## **4 Diskussion**

### **4.1 Diskussion der Methoden**

#### **4.1.1 Quantitative Streckenmessung mittels Digitaler Volumentomographie**

Die Digitale Volumentomographie hat sich aufgrund der hohen Auflösung und der überlagerungsfreien Darstellung als ein zuverlässiges Werkzeug für die präzise Erkennung anatomischer Strukturen (131) und reproduzierbare Streckenmessungen (133) im Oberkiefer herausgestellt. Die Untersuchung der Messgenauigkeit in der vorliegenden Arbeit (siehe 3.6 Messgenauigkeit für die quantitative Untersuchung der erweiterten Strecke nach chirurgischer Intervention) zeigte eine Standardabweichung zwischen 0,27 Millimeter und 0,78 Millimeter und eine maximale Diskrepanz innerhalb einer Messreihe von 1,7 Millimeter. *Baumgaertel et al.* verglichen die Genauigkeit von Messungen der Digitalen Volumentomographie am Gesichtsschädel mit Messungen einer digitalen Messlehre. Es ergaben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede für einzelne Messungen zwischen den beiden Methoden (133).

In der vorliegenden Arbeit konnte das Schräghalten des Kopfes des Patienten zum Zeitpunkt der Aufnahme und der Höhenunterschied der zu messenden Strukturen durch Neigung der axialen Ebene ausgeglichen werden. Dies ermöglicht eine präzise Bestimmung der festgelegten Messpunkte auch bei nicht optimalen Aufnahmebedingungen oder axialer Abweichung von anatomischen Strukturen. Durch das aufeinanderfolgende Messen desselben Patienten für alle drei Erhebungszeiträume wurde diese Anpassung ausgeglichen und objektiviert.

Die Digitale Volumentomographie ist für die quantitative Streckenmessung reproduzierbar. Durch die Weiterentwicklung mit Erhöhung der Auflösungsrate bei reduzierter Strahlenbelastung ist eine fortschreitende Nutzung für Diagnostik und Planung zu erwarten. Für die Beantwortung wissenschaftlicher Fragestellungen wird die Digitale Volumentomographie als bildgebendes Verfahren in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen.

#### **4.1.2 Qualitative Beurteilung der Reossifikation mittels Digitaler Volumentomographie**

Die qualitative Beurteilung der Reossifikation mit dreidimensionaler Darstellung zeigt Vorteile gegenüber einer zweidimensionalen Bildgebung. Eine dreidimensionale Darstellung erlaubt die Beurteilung und Kategorisierung der Reossifikation nach skelettverlagernder Operation ohne Überlagerung durch andere knöcherne Strukturen des Gesichtsschädels (120). Weiterhin

besteht die Möglichkeit einer dynamischen Beurteilung durch die Schichtbildgebung. Unterschiedliche Neigungsgrade und variierende axiale Ausmaße des knöchernen Gaumendaches der Patienten können durch die separate Betrachtung der Schichten und ein daraus zusammengesetztes Gesamtbild beurteilt und verglichen werden. Diese Möglichkeit ist bei einer zweidimensionalen Röntgenbildgebung nicht gegeben.

Die zugrundeliegende Kategorisierung der Reossifikation in der vorliegenden Arbeit mit der Einteilung in vier Kategorien (siehe 2.6 Beurteilung der Ossifikation nach skelettverlagernder Operation) ist ein qualitatives, deskriptives Verfahren. Die Intraobserver Variabilität dieses Verfahrens wurde mittels Cohens gewichtetem Kappa-Koeffizienten bestimmt und zeigt ein hohes Maß an Übereinstimmung (siehe 3.7). Eine Kategorisierung durch eine zweite beurteilende Person könnte die Objektivität in weiterführenden Studien steigern.

Andere Ansätze zur Bestimmung der Reossifikation - wie die Nutzung von Grauwertabstufungen äquivalent zu den Hounsfield Einheiten der Computertomographie - wurden für die vorliegende Studie diskutiert, jedoch aufgrund von Ungenauigkeit und mangelndem Mehrwert verworfen. *Salgueiro et al.* nutzten für die Analyse der Reossifikation nach chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung Hounsfield-Einheiten in der Digitalen Volumentomographie, jedoch ohne kritische Hinterfragung der Reliabilität (134). *Pauwels et al.* untersuchten die Zuverlässigkeit der „pseudo-Hounsfield Units“ (135) in einer Vergleichsstudie. Die Dichte verschiedener Stoffe wurde mittels Digitaler Volumentomographie gemessen und anschließend mit dem Goldstandard der Hounsfield-Einheiten der Computertomographie verglichen. Die Forschenden beobachteten eine positive Korrelation in der Dichtemessung zwischen Digitaler Volumentomographie und Computertomographie, jedoch Ungenauigkeiten in der quantitativen Nutzung (135).

In der vorliegenden Arbeit wird die Beurteilung der Reossifikation in der finalen Bildgebung durch unterschiedliche Zeitabstände zum Operationstag verzerrt. Die Beobachtung einer fortgeschrittenen Verknöcherung könnte durch den größeren zeitlichen Abstand entstehen und nicht aufgrund der unterschiedlichen Operationsmethoden und damit zugrundeliegender Verknöcherungsprozesse. Eine Bildgebung zu definierten Zeitpunkten würde die Vergleichbarkeit steigern, ist jedoch aufgrund der dadurch resultierend erhöhten Strahlenbelastung nicht möglich. Es konnten lediglich die zu Verfügung stehenden Aufnahmen beurteilt werden, welche im Rahmen der Planung, Diagnostik und Kontrolle angefertigt wurden. Die angegebenen Zeitintervalle zwischen Intervention und Bildgebung (siehe Tabelle 3 und Tabelle 4) sind bei der Interpretation der Ossifikationsergebnisse zu berücksichtigen.



Eine bessere Vergleichbarkeit könnte durch ein prospektives Studiendesign mit festgelegten Zeitpunkten der Bildgebung erzielt werden.

### **4.1.3 Untersuchung der Korrelation zwischen geweiteter Strecke und Verknöcherung**

Gegenstand dieser Arbeit ist zum einen die vergleichende Untersuchung der Operationsverfahren der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung und der LeFort-I-Zweisegmentosteotomie hinsichtlich der Reossifikation. Zum anderen wird der Grad der Reossifikation in Relation zu der geweiteten Strecke gesetzt. In der Gruppe der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung erfolgte dies für die Strecke  $\Delta_a$  der transversalen anterioren und  $\Delta_p$  der transversalen posterioren Ausdehnung. In der Gruppe der LeFort-I-Zweisegmentosteotomie aufgrund des V-förmigen Öffnungsmusters für die posteriore Ausdehnung  $\Delta_p$ . Auch hier wird die durchschnittlich vergangene Zeit zwischen Intervention und kategorisierender Bildgebung angegeben, um zeitliche Unterschiede in der Bewertung der Verknöcherung zu berücksichtigen.

Ein Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Methodik zur Untersuchung einer möglichen Korrelation zwischen geweiteter Strecke und Verknöcherung. Die entwickelte Methodik kann in weiterführenden Studien mit höheren Fallzahlen verwendet werden, um belastbarere statistische Aussagen treffen zu können.

## **4.2 Diskussion der Ergebnisse**

### **4.2.1 Vergleich der Reossifikation nach LeFort-I-Zweisegmentosteotomie und chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung**

Für die Beurteilung der Reossifikation nach erfolgter chirurgischer Intervention wurde ein qualitativ-deskriptives Vorgehen gewählt. Durch die Auswertung der Bilder direkt postoperativ und mindestens sechs Monate postoperativ konnte die stattgefundene Dynamik der Reossifikation vergleichend beurteilt werden.

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt in der Gegenüberstellung zweier unterschiedlicher Interventionsverfahren und damit unterschiedlichen Verknöcherungsmechanismen. Durch das V-förmige Öffnungsmuster der LeFort-I-Zweisegmentosteotomie mit engem anterioren Kontakt und großem posterioren Abstand der Knochenfragmente ist von einer gemischten primären und sekundären Knochenheilung auszugehen. Bei der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung ist eine Distraktionsosteogenese zu erwarten.

Die Auswertung der 30 eingeschlossenen Patienten dieser Studie zeigte in der Gruppe der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung mit 6 von 11 Patienten einen höheren Anteil an Patienten mit kompletter Verknöcherung. In der Vergleichsgruppe der LeFort-I-Zweissegmentosteotomie zeigte sich nur bei einem der 19 Patienten eine komplette Verknöcherung. Die Ergebnisse der Studie lassen den Schluss zu, dass mit der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung eine fortgeschrittene Reossifikation und damit stabilere knöcherne Situation geschaffen wird als bei der LeFort-I-Zweissegmentosteotomie.

*Franchi et al.* untersuchten die Knochendichte bei Patienten, die vor dem Eintritt in die Pubertät standen. Sie beobachteten bei 7 Millimetern transversaler Weitung nach sechs Monaten nach konservativer Gaumennahterweiterung eine vergleichbare Knochendichte im Bereich der Gaumennaht wie vor Behandlungsbeginn. *Petrick et al.* konnten diese Beobachtung bei einem erwachsenen Patientenkollektiv nicht bestätigen. Sieben Monate postoperativ beobachteten die Forschenden eine um 50 Prozent reduzierte Knochendichte im Vergleich zu der präoperativen Situation. In beiden Studien wurden lediglich Patienten untersucht, die mit einer chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung behandelt wurden. Ein Vergleich hinsichtlich der Reossifikation mit der LeFort-I-Zweissegmentosteotomie wurde bisher nicht vorgenommen.

In der vorliegenden Arbeit ist die kleine Patientenkohorte und damit die eingeschränkte statistische Aussagekraft zu berücksichtigen. Weitere Studien sind notwendig, um eine valide Aussage zur Reossifikation nach chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung im Vergleich mit der LeFort-I-Zweissegmentosteotomie tätigen zu können. Daraus können sich weitere Erkenntnisse zur Stabilität und Rezidivprophylaxe der einzelnen Operationsverfahren ergeben.

#### **4.2.2 Der Einfluss der erweiterten Strecke auf die Reossifikation**

Neben der Gegenüberstellung der beiden Operationsverfahren der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung und der LeFort-I-Zweissegmentosteotomie wurde in dieser Arbeit eine Abhängigkeit zwischen Reossifikation und transversal geweiteter Strecke hergestellt. In der Gruppe der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung konnte kein direkter Zusammenhang zwischen dem Grad der Verknöcherung und der erweiterten Strecke beobachtet werden. In der Gruppe der LeFort-I-Zweissegmentosteotomie nahm die geweitete Strecke bei zunehmender Reossifikation über alle vier definierten Verknöcherungsstadien ab. Die Untersuchungsergebnisse deuten darauf hin, dass eine fortgeschrittene Verknöcherung durch einen kürzeren transversalen Abstand der beiden Maxillafragmente postoperativ begünstigt wird. Vergleichsdaten anderer Autoren liegen nicht vor, da die Beurteilung der Reossifikation

in Abhängigkeit der geweiteten Strecke für die LeFort-I-Zweissegmentosteotomie in der Literatur bisher nicht beschrieben wurde.

In der vorliegenden Arbeit muss der Unterschied in der zeitlichen Differenz zwischen Intervention und abschließender Bildgebung beachtet werden.

Ein weiterer zu berücksichtigender Faktor ist das Öffnungsmuster nach der Osteotomie. Während bei der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung bei dem vorliegenden Patientenkollektiv dieser Studie eine zentrale Osteotomielinie gewählt wird, entstehen bei der LeFort-I-Zweissegmentosteotomie im posterioren Segment zwei Osteotomielinien. Dies kann einen Einfluss auf die Verknöcherung haben. Unterschiede in der Qualität der Reossifikation können auch auf verschiedenen Arten der Verknöcherung beruhen. Bei der LeFort-I-Zweissegmentosteotomie ist von einer kombinierten primären und sekundären Knochenheilung auszugehen, bei der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung von einer Distractionsosteogenese.

#### **4.2.3 Optimierung der Distraction nach chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung**

Bei der LeFort-I-Zweissegmentosteotomie werden die zwei Segmente der Maxilla intraoperativ in die geplante Position gebracht und mittels Plattenosteosynthese fixiert. Bei der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung erfolgt die Ausdehnung dagegen sukzessive. Für den Operateur ergeben sich durch das verwendete Distractionsprotokoll und die angewandte Retentionszeit zwei Faktoren, mit denen die Reossifikation potenziell beeinflusst werden kann. *Holzinger et al.* verwendeten zwei unterschiedliche Distractionsprotokolle, um einen Kreuzbiss mittels chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung zu behandeln. Das erste mit 3 mal 0,25 mm Dehnung pro Tag und das zweite mit Initial 1 mm Aktivierung gefolgt von 2 mal 0,25 mm alle zwei Wochen bis zum Erreichen der Kreuzbisskorrektur. Die Forschenden fanden keinen Unterschied zwischen den beiden Gruppen, jedoch eine verminderte Knochendichte für beide Gruppen direkt postoperativ und sechs Monate postoperativ (114).

In der Metastudie von *Liu et al.* wurde der Effekt der Retentionszeit untersucht. Die von den Autoren angegebene Retentionszeit lag zwischen drei und zwölf Monaten. Die unterschiedlichen Retentionszeiten hatten keinen Einfluss auf die Langzeitstabilität, jedoch waren die eingeschlossenen Studien aufgrund unterschiedlicher Start- und Zielpunkten nur eingeschränkt vergleichbar (136). Eine Evaluation der Reossifikation in Abhängigkeit der Retentionszeit und Distractionsgeschwindigkeit sowie die Frage, ob eine größere transversale Weitung eine verlängerte Retentionszeit erfordert, sollte weitergehend untersucht werden.

#### 4.2.4 Erweiterung des Foramen incisivum

Eine Auffälligkeit bei der Untersuchung der Bilddateien war das gehäufte Auftreten einer Erweiterung des Foramen incisivum nach stattgefundenener chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung oder LeFort-I-Zweissegmentosteotomie (siehe Abbildung 16).

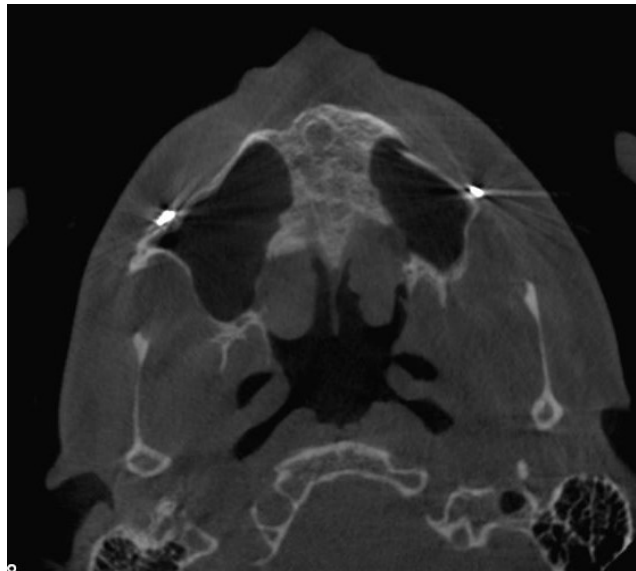


Abbildung 16: Erweiterung des Foramen incisivum bei einem 23-jährigen Patienten sechs Monate nach LeFort-I-Zweissegmentosteotomie.

Der Canalis incisivus ist ein intraossärer Kanal, der die Mund- und die Nasenhaupthöhle miteinander verbindet und durch die anteriore Maxilla verläuft. Er enthält den Nervus nasopalatinus sowie die Arteria sphenopalatina und den Endast der Arteria palatina descendens. Nach oral öffnet sich der Kanal in das Foramen incisivum, welches sich hinter den Schneidezähnen im knöchernen Gaumen befindet.

*Friedrich et al.* beschreiben eine variable Morphologie des Kanals und des Foramen incisivum zwischen Individuen und geschlechtstypische Unterschiede (137). In der Literatur wird der mittlere Durchmesser des Foramen incisivum mit 6 Millimeter angegeben (137,138). Bei der Auswertung der axialen Schnittbilder der Digitalen Volumentomographie wurde in der vorliegenden Arbeit bei insgesamt 15 von 30 Patienten eine postoperative Erweiterung des Foramen incisivum beobachtet (siehe Tabelle 3 und 4). In der Gruppe der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung zeigte sich diese Erweiterung bei 9 von 11 Patienten. In der Gruppe der LeFort-I-Zweissegmentosteotomie nur bei 6 von 19 Patienten.

*López et al.* verdeutlichten die Wichtigkeit der Evaluation des Canalis incisivus und des Foramen incisivum mittels Bildgebung vor chirurgischer Interventionen im Bereich der anterioren Maxilla, besonders vor Implantologie im Schneidezahnbereich des Oberkiefers (139). Für Patienten nach transversaler Weitung, die Implantate im Frontzahnbereich

benötigen, könnte sich daraus eine klinische Relevanz für die Evaluation der postoperativen Bildgebung ableiten, um Komplikationen im weiteren Behandlungsverlauf zu vermeiden.

Die Untersuchung eines Zusammenhanges zwischen der Erweiterung des Foramen incisivum und möglichen Komplikationen bei der Schließung des postoperativ entstandenen Diastemas nach chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung stellt eine weiterführende Fragestellung dar.

## **5 Zusammenfassung**

Erwachsene Patienten mit transversaler Enge des Oberkiefers, ein- oder beidseitiger Kreuzbissituation und Frontengstand bilden ein besonderes Kollektiv in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. Die chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung und die LeFort-I-Zweisegmentosteotomie sind alternative Behandlungsverfahren zur Behebung einer Schmalkiefersituation.

In dieser vergleichenden Studie wurde erstmals eine Methodik erarbeitet, um die Reossifikation nach chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung und LeFort-I-Zweisegmentosteotomie in der Digitalen Volumetomographie zu beurteilen.

Ziel war die quantitative Streckenmessung der erfolgten Weitung im Oberkiefer für beide Verfahren sowie die qualitative Beurteilung und Kategorisierung der Reossifikation mindestens sechs Monate postoperativ unter Nutzung der Digitalen Volumetomographie.

Der erstellte Datensatz umfasst ein Patientenkollektiv des Universitätsklinikums Regensburg mit 30 Patienten, die aufgrund einer transversalen Enge im Oberkiefer behandelt wurden.

Die quantitative Streckenmessung ergab für die Gruppe der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung im anterioren Segment eine durchschnittliche Weitung von 4,29 Millimeter (SD=2,28) und im posterioren Segment eine durchschnittliche Weitung von 1,94 Millimeter (SD=1,05). In der Gruppe der LeFort-I-Zweisegmentosteotomie wurde eine posteriore durchschnittliche Weitung von 3,28 Millimeter (SD=1,64) gemessen.

Bei 2 Patienten war in der Digitalen Volumetomographie sechs Monate nach chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung keine Verknöcherung zu beobachten, bei 6 Patienten eine vollständige Verknöcherung. 3 Patienten zeigten eine partielle oder fortgeschrittene Verknöcherung. In der Gruppe der LeFort-I-Zweisegmentosteotomie wurde bei lediglich einem Patienten eine vollständige Verknöcherung beobachtet, bei 4 Patienten keine Verknöcherung und bei 14 eine partielle oder fortgeschrittene.

Darüber hinaus wurde ein Zusammenhang zwischen geweiteter Strecke und Reossifikationsfortschritt nach LeFort-I-Zweisegmentosteotomie beobachtet, welcher jedoch noch mit größeren Fallzahlen statistisch verifiziert werden muss.

Die Digitale Volumentomographie hat sich als reproduzierbares und präzises Instrument zur quantitativen Streckenmessung und der qualitativen Reossifikationsbeurteilung herausgestellt.

## 6 Literaturverzeichnis

1. Bell RB. A History of Orthognathic Surgery in North America. *J Oral Maxillofac Surg.* 2018;76(12):2466–81.
2. Hullihen SP. Case of Elongation of the under Jaw and Distortion of the Face and Neck, Caused by a Burn, Successfully Treated. *Am J Dent Sci.* 1849;9(2):157–65. Cited in: PubMed; PMID 30749486.
3. Steinhäuser EW. Historical development of orthognathic surgery. *J Craniomaxillofac Surg.* 1996;24(4):195–204.
4. Reuther J. Orthognathe Chirurgie: skelettverlagernde Operationen [Orthognathic surgery: corrective bone operations]. *Mund Kiefer Gesichtschir.* 2000;4 Suppl 1S237-48. ger.
5. Blair VP. A report of a case of double resection for the correction of protrusion of the mandible. *Dent Cosm.* 1906;(48):817–20.
6. Angle EH. Double resection of lower maxilla. *Dent Cosm.* 1898;(40):635-638].
7. Brocke T, Barr J. The History of Wound Healing. *Surg Clin North Am.* 2020;100(4):787–806.
8. BABCOCK WW. THE SURGICAL TREATMENT OF CERTAIN DEFORMITIES OF THE JAW ASSOCIATED WITH MALOCCLUSION OF THE TEETH. *JAMA.* 1909;LIII(11):833. doi:10.1001/jama.1909.92550110001001b
9. Dr. Hannes Melichar. Das Keimspektrum aus tiefen Knochentaschen bei adulter Paradontitis; Dissertation- Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg i. Br. 1985.
10. Bynum WF. *Companion Encyclopedia of the History of Medicine.* Hoboken: Taylor and Francis; 2013. 1037 p. (Companion encyclopedia of the history of medicine; vol. v. 2). eng.

11. Obwegeser HL. Orthognathic surgery and a tale of how three procedures came to be: a letter to the next generations of surgeons. *Clin Plast Surg.* 2007;34(3):331–55.
12. Langenbeck B. Beiträge zur Osteoplastik - Die osteoplastische Resektion des Oberkiefers. In: Götschen, A. *Deutsche Klinik*, Reimer Berlin. 1859.
13. Lanz O. Osteoplastische resection beider oberkiefer nach kocher. *Deutsche Zeitschrift f. Chirurgie.* 1893;35(5-6):423–32.
14. Cohn- Stock G. Die chirurgische Immediatregulierung der Kiefer, speziell die chirurgische Behandlung der Prognathie. *Vierteljahrsschrift für Zahnheilkunde.* 1921;(37):320–54.
15. Axhausen G. Über die korrigierende Osteotomie am Oberkiefer. *Deutsche Zeitschrift f. Chirurgie* [Internet]. 1937;248(8):515–22. Available from: <https://doi.org/10.1007/BF02915238>
16. SCHUCHARDT K. Die Chirurgie als Helferin der Kieferorthopädie [Surgery as an aid to orthodontics]. *Fortschr Kieferorthop.* 1954;15(1):1–25. ger.
17. Bell WH. Revascularization and bone healing after anterior maxillary osteotomy: a study using adult rhesus monkeys. *J Oral Surg.* 1969;27(4):249–55. Cited in: PubMed; PMID 4975397.
18. Bell WH, Levy BM. Revascularization and bone healing after posterior maxillary osteotomy. *J Oral Surg.* 1971;29(5):313–20. Cited in: PubMed; PMID 4995705.
19. Bell WH, Fonseca RJ, Kenneky JW, Levy BM. Bone healing and revascularization after total maxillary osteotomy. *J Oral Surg.* 1975;33(4):253–60. Cited in: PubMed; PMID 1054396.
20. Obwegeser J, Metzler P. Orthognathe Chirurgie. In: Kruse Gujer A, Jacobsen C, Grätz KW, editors. *Facharztwissen Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie.* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2013. p. 228–9.
21. Wolford LM, Goncalves JR. Surgical Planning in Orthognathic Surgery and Outcome Stability. In: Ghali GE, Schliephake H, Cascarini L, Brennan PA, editors. *Maxillofacial surgery.* St. Louis, Missouri: Elsevier; 2017. p. 1048.
22. Segner D, Hasund A, editors. *Individualisierte Kephalmetrie.* 4th ed. Hamburg: Segner; 2003. 156 p. ger.
23. Schwarz AM. *Die Röntgenostatik: Die kieferorthopädische Diagnose am Fern-Röntgenbild:* Urban & Schwarzenberg, Wien; 1958.

24. Kübler A, Reuther T, Michel C, Reuther J. Orthopädische Chirurgie des Gesichtsschädels: Osteotomie des Oberkiefers. In: Hausamen JE, Machtens E, Reuther JF, Eufinger H, Kubler A, editors. Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. Dordrecht: Springer; 2012. p. 398–406.
25. Obwegeser HL. Mandibular Growth Anomalies: Terminology - Aetiology Diagnosis - Treatment. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2001. 451 p.
26. Kurol J, Berglund L. Longitudinal study and cost-benefit analysis of the effect of early treatment of posterior cross-bites in the primary dentition. *The European Journal of Orthodontics*. 1992;14(3):173–9.
27. Graber TM. Current orthodontic concepts and techniques. 2nd ed. Philadelphia: Saunders; 1975. 664 p.
28. Harvold EP, Chierici G, Vargervik K. Experiments on the development of dental malocclusions. *Am J Orthod*. 1972;61(1):38–44.
29. Haas AJ. Palatal expansion: Just the beginning of dentofacial orthopedics. *Am J Orthod*. 1970;57(3):219–55.
30. Campbell S, Goldstein G. Angle's Classification-A Prosthodontic Consideration: Best Evidence Consensus Statement. *J Prosthodont*. 2021;30(S1):67–71.
31. ANGLE EH. Classification of malocclusion. *The Dental Cosmos* [Internet]. 1889;41350–7. Available from: <https://ci.nii.ac.jp/naid/10013033245/>
32. Alves PVM, Bolognese AM, Zhao L. Three-dimensional computerized orthognathic surgical treatment planning. *Clin Plast Surg*. 2007;34(3):427–36.
33. Reuther T, Michel C, Reuther J, Kübler A. Orthopädische Chirurgie des Gesichtsschädels. In: Hausamen JE, Machtens E, Reuther JF, Eufinger H, Kubler A, editors. Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. Dordrecht: Springer; 2012. p. 398.
34. Howe RP, McNamara JA, O'Connor KA. An examination of dental crowding and its relationship to tooth size and arch dimension. *Am J Orthod*. 1983;83(5):363–73. doi:10.1016/0002-9416(83)90320-2 Cited in: PubMed; PMID 6573844.
35. McNamara JA. Maxillary transverse deficiency. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2000;117(5):567–70.
36. Jacobs JD, Bell WH, Williams CE, Kennedy JW. Control of the transverse dimension with surgery and orthodontics. *Am J Orthod*. 1980;77(3):284–306. doi:10.1016/0002-9416(80)90083-4



37. Korbmacher H, Huck L, Merkle T, Kahl-Nieke B. Clinical profile of rapid maxillary expansion--outcome of a national inquiry. *J Orofac Orthop.* 2005;66(6):455–68. doi:10.1007/s00056-005-0440-5 Cited in: PubMed; PMID 16331546.
38. Koudstaal MJ, Poort LJ, van der Wal K, Wolvius EB, Prahl-Andersen B, Schulten A. Surgically assisted rapid maxillary expansion (SARME): a review of the literature. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2005;34(7):709–14.
39. Suri L, Taneja P. Surgically assisted rapid palatal expansion: a literature review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008;133(2):290–302.
40. Woods M, Wiesenfeld D, Probert T. Surgically-assisted maxillary expansion. *Aust Dent J.* 1997;42(1):38–42. doi:10.1111/j.1834-7819.1997.tb00094.x Cited in: PubMed; PMID 9078645.
41. Bishara SE, Staley RN. Maxillary expansion: clinical implications. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1987;91(1):3–14.
42. HAAS AJ. THE TREATMENT OF MAXILLARY DEFICIENCY BY OPENING THE MIDPALATAL SUTURE. *Angle Orthod.* 1965;35:200–17.
43. McNamara JA, Lione R, Franchi L, Angelieri F, Cevidanes LH, Darendeliler MA, Cozza P. The role of rapid maxillary expansion in the promotion of oral and general health. *Prog Orthod.* 2015;16. doi:10.1186/s40510-015-0105-x Cited in: PubMed; PMID 26446931.
44. Buck LM, Dalci O, Darendeliler MA, Papageorgiou SN, Papadopoulou AK. Volumetric upper airway changes after rapid maxillary expansion: a systematic review and meta-analysis. *The European Journal of Orthodontics.* 2017;39(5):463–73.
45. Al-Asfour A, Waheedi M, Koshy S. Survey of patient experiences of orthognathic surgery: health-related quality of life and satisfaction. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2018;47(6):726–31. doi:10.1016/j.ijom.2017.12.010 Cited in: PubMed; PMID 29373200.
46. Zöller J, Ullrich H. Die kombinierte chirurgisch-kiefer-orthopädische Gaumennahterweiterung im Erwachsenenalter [Combined surgical-orthodontic palatine suture expansion in adulthood]. *Fortschr Kieferorthop.* 1991;52(2):61–5. ger. doi:10.1007/BF02164707 Cited in: PubMed; PMID 2066037.
47. Capelozza Filho L, Almeida AM de, Ursi WJ. Rapid maxillary expansion in cleft lip and palate patients. *J Clin Orthod.* 1994;28(1):34–9. Cited in: PubMed; PMID 8040239.
48. Hans Derichsweiler. *Die Gaumennahterweiterung: Methode, Indikation und klinische Bedeutung.* München: Carl Haner Verlag; 1956.

49. E. C. Angell. Treatment of irregularity of the permanent or adult teeth. *The Dental cosmos; a monthly record of dental science: Vol. I.* [Vol. 1]. 1859 - 1860;540–4.
50. Timms DJ. The dawn of rapid maxillary expansion.
51. Christian Sander. Gaumennahterweiterung. In: Sander FM, Schwenger N, Ehrenfeld M, editors. *Kieferorthopädie*. s.l.: Georg Thieme Verlag KG; 2011. p. 197–209.
52. Landsberger R. Das Weiten des Nasenbodens durch Kieferdehnung. *Korrespbl Zahnärzte*. 1908;(37):322–34.
53. Sander FM, Schwenger N, Ehrenfeld M, editors. *Kieferorthopädie*. 2nd ed. s.l.: Georg Thieme Verlag KG; 2011. 504 p. ger.
54. Ziebe H. Die Verbreitung des Oberkiefers durch mechanische Beeinflussung des medianen Gaumengewebes: Die Verbreitung des Oberkiefers durch. *Z Stomat*. 1930;(28):837-923 und 1069-1084.
55. Baccetti T, Franchi L, Cameron CG, McNamara JA. Treatment timing for rapid maxillary expansion. *Angle Orthod*. 2001;71(5):343–50.
56. Altug Atac AT, Karasu HA, Aytac D. Surgically assisted rapid maxillary expansion compared with orthopedic rapid maxillary expansion. *Angle Orthod*. 2006;76(3):353–9.
57. Reyneke JP, Conley RS. Surgical/Orthodontic Correction of Transverse Maxillary Discrepancies. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am*. 2020;32(1):53–69.
58. Wertz R, Dreskin M. Midpalatal suture opening: a normative study. *Am J Orthod*. 1977;71(4). doi:10.1016/0002-9416(77)90241-x Cited in: PubMed; PMID 322499.
59. Chrcanovic BR, Custódio ALN. Orthodontic or surgically assisted rapid maxillary expansion. *Oral Maxillofac Surg*. 2009;13(3):123–37. doi:10.1007/s10006-009-0161-9 Cited in: PubMed; PMID 19590910.
60. Baccetti T, Franchi L, Toth LR, McNamara JA. Treatment timing for Twin-block therapy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2000;118(2). doi:10.1067/mod.2000.105571 Cited in: PubMed; PMID 10935956.
61. Mommaerts MY. Transpalatal distraction as a method of maxillary expansion. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 1999;37(4):268–72.
62. Khosravi M, Ugolini A, Miresmaeili A, Mirzaei H, Shahidi-Zandi V, Soheilifar S, Karami M, Mahmoudzadeh M. Tooth-borne versus bone-borne rapid maxillary expansion for transverse maxillary deficiency: A systematic review. *Int Orthod*. 2019;17(3):425–36.

63. Bays RA, Bouloux GF. Complications of orthognathic surgery. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am.* 2003;15(2):229–42. doi:10.1016/S1042-3699(02)00098-5 Cited in: PubMed; PMID 18088677.
64. Vandersea BA, Ruvo AT, Frost DE. Maxillary transverse deficiency - surgical alternatives to management. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am.* 2007;19(3):351-68,vi.
65. Goldenberg DC, Goldenberg FC, Alonso N, Gebrin ES, Amaral TS, Scanavini MA, Ferreira MC. 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.* 2008;106(6).
66. Reyneke JP, Conley RS. Surgical/Orthodontic Correction of Transverse Maxillary Discrepancies. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am.* 2020;32(1):53–69. doi:10.1016/j.coms.2019.08.007 Cited in: PubMed; PMID 31699580.
67. McNamara JA. Long-term adaptations to changes in the transverse dimension in children and adolescents: an overview. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006;129(4 Suppl):S71-4. doi:10.1016/j.ajodo.2005.09.020 Cited in: PubMed; PMID 16644422.
68. Willershausen I, Erbe C, Al-Maawi S, Orlowska A, Wehrbein H, Ghanaati S. Development of a novel histological and histomorphometric evaluation protocol for a standardized description of the mid-palatal suture – An ex vivo study. *J. Anat.* 2019. doi:10.1111/joa.12985
69. Melsen B. Palatal growth studied on human autopsy material. *Am J Orthod.* 1975;68(1):42–54.
70. Persson M, Magnusson BC, Thilander B. Sutural closure in rabbit and man: a morphological and histochemical study. *J. Anat.* 1978;125(Pt 2):313–21. Cited in: PubMed; PMID 624680.
71. Korbmacher H, Schilling A, Püschel K, Amling M, Kahl-Nieke B. Age-dependent three-dimensional microcomputed tomography analysis of the human midpalatal suture. *J Orofac Orthop.* 2007;68(5):364–76. doi:10.1007/s00056-007-0729-7 Cited in: PubMed; PMID 17882364.
72. Angelieri F, Cevidanes LHS, Franchi L, Gonçalves JR, Benavides E, McNamara JA. Midpalatal suture maturation: classification method for individual assessment before rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013;144(5):759–69. doi:10.1016/j.ajodo.2013.04.022 Cited in: PubMed; PMID 24182592.

73. Cohen MM. Sutural biology and the correlates of craniosynostosis. *Am J Med Genet.* 1993;47(5):581–616. doi:10.1002/ajmg.1320470507 Cited in: PubMed; PMID 8266985.
74. Sun Z, Lee E, Herring SW. Cranial sutures and bones: growth and fusion in relation to masticatory strain. *Anat Rec A Discov Mol Cell Evol Biol.* 2004;276(2):150–61. doi:10.1002/ar.a.20002 Cited in: PubMed; PMID 14752854.
75. Knaup B, Yildizhan F, Wehrbein H. Age-related changes in the midpalatal suture. A histomorphometric study. *J Orofac Orthop.* 2004;65(6):467–74. doi:10.1007/s00056-004-0415-y Cited in: PubMed; PMID 15570405.
76. Goldstein SA, Goulet R, McCubbrey D. Measurement and significance of three-dimensional architecture to the mechanical integrity of trabecular bone. *Calcif Tissue Int.* 1993;53 Suppl 1S127-32; discussion S132-3. doi:10.1007/BF01673421 Cited in: PubMed; PMID 8275366.
77. Keaveny TM, Wachtel EF, Ford CM, Hayes WC. Differences between the tensile and compressive strengths of bovine tibial trabecular bone depend on modulus. *Journal of Biomechanics.* 1994;27(9):1137–46. doi:10.1016/0021-9290(94)90054-X
78. Angelieri F, Franchi L, Cevidanes LHS, Gonçalves JR, Nieri M, Wolford LM, McNamara JA. Cone beam computed tomography evaluation of midpalatal suture maturation in adults. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2017;46(12):1557–61. doi:10.1016/j.ijom.2017.06.021 Cited in: PubMed; PMID 28716474.
79. Jimenez-Valdivia LM, Malpartida-Carrillo V, Rodríguez-Cárdenas YA, Dias-Da Silveira HL, Arriola-Guillén LE. Midpalatal suture maturation stage assessment in adolescents and young adults using cone-beam computed tomography. *Prog Orthod.* 2019;20(1):38.
80. Persson M, Thilander B. Palatal suture closure in man from 15 to 35 years of age. *Am J Orthod.* 1977;72(1):42–52.
81. Suri L, Taneja P. Surgically assisted rapid palatal expansion: a literature review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008;133(2):290–302.
82. Ai-Aql ZS, Alagl AS, Graves DT, Gerstenfeld LC, Einhorn TA. Molecular mechanisms controlling bone formation during fracture healing and distraction osteogenesis. *J Dent Res.* 2008;87(2):107–18. doi:10.1177/154405910808700215 Cited in: PubMed; PMID 18218835.
83. McKibbin B. The biology of fracture healing in long bones. *The Journal of bone and joint surgery. British volume.* 1978;60-B(2).

84. Borrelli J, Pape C, Hak D, Hsu J, Lin S, Giannoudis P, Lane J. Physiological challenges of bone repair. *Journal of orthopaedic trauma*. 2012;26(12).
85. Sathyendra V, Darowish M. Basic science of bone healing. *Hand Clin*. 2013;29(4).
86. Marsell R, Einhorn TA. The biology of fracture healing. *Injury*. 2011;42(6). doi:10.1016/j.injury.2011.03.031 Cited in: PubMed; PMID 21489527.
87. Kaderly RE. Primary bone healing. *Semin Vet Med Surg Small Anim*. 1991;6(1):21–5. Cited in: PubMed; PMID 2038620.
88. Einhorn TA. The cell and molecular biology of fracture healing. *Clin Orthop Relat Res*. 1998;(355 Suppl). doi:10.1097/00003086-199810001-00003 Cited in: PubMed; PMID 9917622.
89. Dennis SC, Berkland CJ, Bonewald LF, Detamore MS. Endochondral ossification for enhancing bone regeneration: converging native extracellular matrix biomaterials and developmental engineering in vivo. *Tissue Eng Part B Rev*. 2015;21(3):247–66. doi:10.1089/ten.TEB.2014.0419 Cited in: PubMed; PMID 25336144.
90. Cottrell JA, Turner JC, Arinzech TL, O'Connor JP. The Biology of Bone and Ligament Healing. *Foot Ankle Clin*. 2016;21(4):739–61. doi:10.1016/j.fcl.2016.07.017 Cited in: PubMed; PMID 27871408.
91. Tsiridis E, Upadhyay N, Giannoudis P. Molecular aspects of fracture healing: which are the important molecules? *Injury*. 2007;38 Suppl 1.
92. Colnot C. Skeletal cell fate decisions within periosteum and bone marrow during bone regeneration. *J Bone Miner Res*. 2009;24(2):274–82. doi:10.1359/jbmr.081003 Cited in: PubMed; PMID 18847330.
93. Mackie EJ, Ahmed YA, Tatarczuch L, Chen KS, Mirams M. Endochondral ossification: how cartilage is converted into bone in the developing skeleton. *The international journal of biochemistry & cell biology*. 2008;40(1).
94. Aronson J. Experimental and clinical experience with distraction osteogenesis. *Cleft Palate Craniofac J*. 1994;31(6):473-81; discussion 481-2.
95. Codivilla A. The classic: On the means of lengthening, in the lower limbs, the muscles and tissues which are shortened through deformity. 1905. *Clin Orthop Relat Res*. 2008;466(12):2903–9. doi:10.1007/s11999-008-0518-7 Cited in: PubMed; PMID 18820986.

96. Ilizarov GA. The tension-stress effect on the genesis and growth of tissues: Part II. The influence of the rate and frequency of distraction. *Clin Orthop Relat Res.* 1989;(239):263–85.
97. Bawane SS, Andrade NN. Hard and Soft Tissue Changes Following Maxillary Distraction Osteogenesis and Mandibular Setback with Bilateral Sagittal Split Osteotomy. *J Maxillofac Oral Surg.* 2016;15(4):491–500. doi:10.1007/s12663-016-0883-9 Cited in: PubMed; PMID 27833342.
98. Diner PA, Kollar E, Martinez H, Vazquez MP. Submerged intraoral device for mandibular lengthening. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery.* 1997;25(3):116–23. doi:10.1016/S1010-5182(97)80002-9
99. Guerrero CA, Bell WH, Contasti GI, Am Rodriguez. Mandibular widening by intraoral distraction osteogenesis. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 1997;35(6). doi:10.1016/s0266-4356(97)90712-9 Cited in: PubMed; PMID 9486441.
100. Winters R, Tatum SA. Craniofacial distraction osteogenesis. *Facial Plast Surg Clin North Am.* 2014;22(4):653–64.
101. Robinson RC, Knapp TR. Distraction osteogenesis in the craniofacial skeleton. *Otolaryngol Clin North Am.* 2005;38(2):333-59, vii.
102. Cano J, Campo J, Moreno LA, Bascones A. Osteogenic alveolar distraction: a review of the literature. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2006;101(1):11–28.
103. Tavakoli K, Walsh WR, Bonar F, Smart R, Wulf S, Poole MD. The role of latency in mandibular osteodistraction. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery.* 1998;26(4):209–19. doi:10.1016/S1010-5182(98)80016-4
104. Troulis MJ, Glowacki J, Perrott DH, Kaban LB. Effects of latency and rate on bone formation in a porcine mandibular distraction model. *J Oral Maxillofac Surg.* 2000;58(5):507-13; discussion 514. doi:10.1016/s0278-2391(00)90012-0 Cited in: PubMed; PMID 10800906.
105. Natsu SS, Ali I, Alam S, Giri KY, Agarwal A, Kulkarni VA. The biology of distraction osteogenesis for correction of mandibular and craniomaxillofacial defects: A review. *Dent Res J (Isfahan).* 2014;11(1):16–26.
106. Mofid MM, Manson PN, Robertson BC, Tufaro AP, Elias JJ, Vander Kolk CA. Craniofacial distraction osteogenesis: a review of 3278 cases. *Plast Reconstr Surg.* 2001;108(5):1103-14; discussion 1115-7. doi:10.1097/00006534-200110000-00001 Cited in: PubMed; PMID 11604605.

107. Runyan CM, Gabrick KS. Biology of Bone Formation, Fracture Healing, and Distraction Osteogenesis. *J Craniofac Surg.* 2017;28(5):1380–9.
108. Choi IH, Ahn JH, Chung CY, Cho TJ. Vascular proliferation and blood supply during distraction osteogenesis: a scanning electron microscopic observation. *J Orthop Res.* 2000;18(5):698–705. doi:10.1002/jor.1100180504 Cited in: PubMed; PMID 11117289.
109. Bouletreau PJ, Warren SM, Longaker MT. The molecular biology of distraction osteogenesis. *J Craniomaxillofac Surg.* 2002;30(1):1–11.
110. Bailey LJ, White RP, Proffit WR, Turvey TA. Segmental lefort i osteotomy for management of transverse maxillary deficiency. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery.* 1997;55(7):728–31. doi:10.1016/S0278-2391(97)90588-7
111. Betts NJ, Vanarsdall RL, Barber HD, Higgins-Barber K, Fonseca RJ. Diagnosis and treatment of transverse maxillary deficiency. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg.* 1995;10(2):75–96. Cited in: PubMed; PMID 9082002.
112. Proffit WR, Turvey TA, Phillips C. Orthognathic surgery: a hierarchy of stability. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg.* 1996;11(3):191–204. Cited in: PubMed; PMID 9456622.
113. Bailey LJ, Cevidanes LH, Proffit WR. Stability and predictability of orthognathic surgery. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.* 2004;126(3):273–7.
114. Holzinger D, Carvalho PHdA, Dos Santos JC, Wagner F, Gabrielli MAC, Gabrielli MFR, Filho VAP. Bone formation after surgically assisted rapid maxillary expansion: comparison of 2 distraction osteogenesis protocols. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2022;133(3):271–6.
115. Gauthier C, Voyer R, Paquette M, Rompré P, Papadakis A. Periodontal effects of surgically assisted rapid palatal expansion evaluated clinically and with cone-beam computerized tomography: 6-month preliminary results. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011;139(4 Suppl):S117-28. doi:10.1016/j.ajodo.2010.06.022 Cited in: PubMed; PMID 21435529.
116. Assis DSFR de, Ribeiro PD, Duarte MAH, Gonçalves ES. Evaluation of the mesio-buccal gingival sulcus depth of the upper central incisors in patients submitted to surgically assisted maxillary expansion. *Oral Maxillofac Surg.* 2011;15(2):79–84. doi:10.1007/s10006-010-0233-x Cited in: PubMed; PMID 20526638.

117. Attaelmanan A, Borg E, Gröndahl HG. Digitisation and display of intra-oral films. *Dentomaxillofac Radiol.* 2000;29(2):97–102. doi:10.1038/sj/dmfr/4600511 Cited in: PubMed; PMID 10808223.
118. van der Stelt PF. Principles of digital imaging. *Dent Clin North Am.* 2000;44(2):237-48, v. Cited in: PubMed; PMID 10740766.
119. Camps-Perepérez I, Guijarro-Martínez R, Peiró-Guijarro MA, Hernández-Alfaro F. The value of cone beam computed tomography imaging in surgically assisted rapid palatal expansion: a systematic review of the literature. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2017;46(7):827–38.
120. Wehrbein H, Yildizhan F. The mid-palatal suture in young adults. A radiological-histological investigation. *Eur J Orthod.* 2001;23(2):105–14.
121. Podesser B, Williams S, Bantleon HP, Imhof H. Quantitation of transverse maxillary dimensions using computed tomography: a methodological and reproducibility study. *Eur J Orthod.* 2004;26(2):209–15. doi:10.1093/ejo/26.2.209 Cited in: PubMed; PMID 15130045.
122. Goldenberg DC, Alonso N, Goldenberg FC, Gebrin ES, Amaral TS, Scanavini MA, Ferreira MC. Using computed tomography to evaluate maxillary changes after surgically assisted rapid palatal expansion. *J Craniofac Surg.* 2007;18(2):302–11.
123. Loddi PP, Pereira MD, Wolosker AB, Hino CT, Kreniski TM, Ferreira LM. Transverse effects after surgically assisted rapid maxillary expansion in the midpalatal suture using computed tomography. *J Craniofac Surg.* 2008;19(2).
124. Smith-Bindman R, Moghadassi M, Wilson N, Nelson TR, Boone JM, Cagnon CH, Gould R, Hall DJ, Krishnam M, Lamba R, McNitt-Gray M, Seibert A, Miglioretti DL. Radiation Doses in Consecutive CT Examinations from Five University of California Medical Centers. *Radiology.* 2015;277(1):134–41. doi:10.1148/radiol.2015142728 Cited in: PubMed; PMID 25988262.
125. Al Abduwani J, ZilinSkiene L, Colley S, Ahmed S. Cone beam CT paranasal sinuses versus standard multidetector and low dose multidetector CT studies. *Am J Otolaryngol.* 2016;37(1):59–64. doi:10.1016/j.amjoto.2015.08.002 Cited in: PubMed; PMID 26700263.
126. Iannucci J, Howerton LJ. *Dental Radiography - E-Book: Principles and Techniques.* 5th ed. Saintt Louis: Elsevier - Health Sciences Division; 2016. 482 p. eng.



127. Bock JJ. Digitale Radiologie in der Zahnarztpraxis: Zahnfilm, OPG, FRS und DVT. Balingen: Spitta-Verl.; 2011. 247 p. (Spitta Praxismanagement). ger.
128. Palomo L, Elshebiny T, Syed AZ, Palomo JM. Measuring Bone with CBCT. In: Kula K, Ghoneima A, editors. Cephalometry in orthodontics, 2D and 3D. Berlin, Barcelona, Chicago: Quintessence Publishing; 2018. p. 131–44.
129. Fienitz T. Die Genauigkeit der DVT- Diagnostik bei der Beurteilung periimplantärer Knochendefektregeneration. Eine histologisch kontrollierte Studie an Hunden [Dissertation]. Köln: Universität Köln; 11.09.2013.
130. Plantus IMI. Vergleich von konventionellen und aus DVT- Datensätzen generierten Fernröntgenseitenbildern und Einfluss der subjektiven Beurteilung auf die Auswertung [Dissertation]. Köln: Universität Köln; 01.07.2015.
131. Lagravère MO, Gordon JM, Guedes IH, Flores-Mir C, Carey JP, Heo G, Major PW. Reliability of traditional cephalometric landmarks as seen in three-dimensional analysis in maxillary expansion treatments. *Angle Orthod.* 2009;79(6):1047–56. doi:10.2319/010509-10R.1 Cited in: PubMed; PMID 19852593.
132. Bell A, Ayoub AF, Siebert P. Assessment of the accuracy of a three-dimensional imaging system for archiving dental study models. *J Orthod.* 2003;30(3):219–23. doi:10.1093/ortho/30.3.219 Cited in: PubMed; PMID 14530419.
133. Baumgaertel S, Palomo JM, Palomo L, Hans MG. Reliability and accuracy of cone-beam computed tomography dental measurements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009;136(1):19-25; discussion 25-8.
134. Salgueiro DG, Rodrigues VHLdO, Tieghi Neto V, Menezes CC de, Gonçalves ES, Ferreira Júnior O. Evaluation of opening pattern and bone neoformation at median palatal suture area in patients submitted to surgically assisted rapid maxillary expansion (SARME) through cone beam computed tomography. *J Appl Oral Sci.* 2015;23(4):397–404. doi:10.1590/1678-775720140486 Cited in: PubMed; PMID 26398512.
135. Pauwels R, Nackaerts O, Bellaiche N, Stamatakis H, Tsiklakis K, Walker A, Bosmans H, Bogaerts R, Jacobs R, Horner K. Variability of dental cone beam CT grey values for density estimations. *BJR.* 2013;86(1021):20120135. doi:10.1259/bjr.20120135 Cited in: PubMed; PMID 23255537.
136. Liu S, Xu T, Zou W. Effects of rapid maxillary expansion on the midpalatal suture: a systematic review. *Eur J Orthod.* 2015;37(6). doi:10.1093/ejo/cju100 Cited in: PubMed; PMID 25700989.

137. Friedrich RE, Laumann F, Zrnc T, Assaf AT. The Nasopalatine Canal in Adults on Cone Beam Computed Tomograms-A Clinical Study and Review of the Literature. *In Vivo*. 2015;29(4):467–86.
138. Lake S, Iwanaga J, Kikuta S, Oskouian RJ, Loukas M, Tubbs RS. The Incisive Canal: A Comprehensive Review. *Cureus*. 2018;10(7):e3069. doi:10.7759/cureus.3069 Cited in: PubMed; PMID 30280065.
139. López Jornet P, Boix P, Sanchez Perez A, Boracchia A. Morphological Characterization of the Anterior Palatine Region Using Cone Beam Computed Tomography. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2015;17 Suppl 2e459-64.

## **Danksagung**

An erster Stelle danke ich meinem Doktorvater Herrn Priv.-Doz. Dr. Dr. Steffen Müller für die Überlassung des Themas und die unermüdliche Unterstützung nicht nur über den kompletten Zeitraum der Doktorarbeit, auch in beratender Funktion zu meinem beruflichen Werdegang und der Wahl meiner fachärztlichen Ausbildung.

Mein Dank gilt Frau Dr. Waltraud Waiss, die diese Doktorarbeit als Betreuerin begleitet hat und mich in praktischen Fragen unterstützt hat.

Für die Durchsicht danke ich Herrn Prof. Dr. Dr. Peter Proff, dem Zweitgutachter dieser Arbeit.

Ich danke meiner Familie, meinem Vater, meiner Mutter und Schwester Pia für die bedingungslose Unterstützung bei der Verfassung dieser Arbeit und darüber hinaus in allen bisherigen Lebensabschnitten.

Danke an Janik für die geduldige Hilfe bei der Lösung von Problemen informationstechnischer Natur und danke an Katja für strukturelles, produktives Feedback und die Motivation weiterzuarbeiten und dranzubleiben.

Dankbar bin ich auch für meine Gruppe an Freundinnen und Freunden, mit denen ich studiert habe, und für das kollegiale Gruppengefühl und dem damit verbundenen Wissen, auf diesem Wege niemals allein zu sein.

## **Lebenslauf**

### **Persönliche Daten**

Tim Colin Melichar

geboren am 28.10.1994 in Regensburg

### **Beruflicher Werdegang**

10/2022 – heute      Assistenzarzt für Orthopädie und Unfallchirurgie am Kreisklinikum Wörth  
a.d. Donau

### **Hochschulausbildung**

10/2021              Staatsexamen und Approbation als Arzt

10/2015 – 12/2022    Studium der Humanmedizin  
Universität Regensburg

### **Schulbildung**

09/2005 – 07/2013    Staufer Gymnasium Pfullendorf, Abitur

09/2001 – 07/2005    Grundschule am Ramsberg in Großschönach