

Aus der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie  
der Universität zu Köln

Direktor: Universitätsprofessor Dr. med. Dr. med. dent. Christian Linz

**Risikobewertung der chirurgisch unterstützten  
Gaumennahterweiterung- mit Fokus auf Zahnfehlstellungen und  
Position der Oberkieferfrontzähne in Relation zum Gesichtsschädel**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der zahnärztlichen Doktorwürde  
der Medizinischen Fakultät  
der Universität zu Köln

vorgelegt von  
Emina Hrnjicevic  
aus Köln

promoviert am 13. März 2026

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität zu Köln

2026

Dekan: Universitätsprofessor Dr. med. G. R. Fink

1. Gutachter: Privatdozent Dr. med. Dr. med. dent. M. L. A. Zirk
2. Gutachter: Professor Dr. med. Dr. med. dent. O. Ristow

## Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Dissertationsschrift ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskriptes habe ich Unterstützungsleistungen von folgenden Personen erhalten  
Herr Priv.-Doz. Dr. med. Dr. med. dent. Matthias Zirk  
Frau Priv.-Doz. Dr. med. dent. Teresa Kruse

Weitere Personen waren an der Erstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich nicht die Hilfe einer Promotionsberaterin/eines Promotionsberaters in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertationsschrift stehen.

Die Dissertationsschrift wurde von mir bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Der dieser Arbeit zugrunde liegende Datensatz wurde aus der Klinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie von Herrn PD Dr. med. Dr. med. dent. Matthias Zirk zur Verfügung gestellt.

Die verwendeten retrospektiven Daten aus dem Softwareprogramm Orbis und Ivoris wurden mit Hilfe von Herrn PD Dr. med. Dr. med. dent. Matthias Zirk mit SPSS Statistics ausgewertet.

## Erklärung zur guten wissenschaftlichen Praxis:

Ich erkläre hiermit, dass ich die Ordnung zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis und zum Umgang mit wissenschaftlichem Fehlverhalten (Amtliche Mitteilung der Universität zu Köln AM 132/2020) der Universität zu Köln gelesen habe und verpflichte mich hiermit, die dort genannten Vorgaben bei allen wissenschaftlichen Tätigkeiten zu beachten und umzusetzen.

Köln, den 08.12.2024

Unterschrift: .....

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Beteiligten danken, die mich bei der Anfertigung meiner Dissertation unterstützt haben.

Herrn Univ.- Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Christian Linz und Herrn Univ.- Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Joachim E. Zöller danke ich für die Möglichkeit meine wissenschaftliche Arbeit an der Klinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie durchzuführen.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Privatdozent Dr. med. Dr. med. dent. Matthias Zirk für die Vergabe des Themas, sowie für die hervorragende Betreuung und Unterstützung bei der Umsetzung der Arbeit.

Frau Privatdozentin Dr. med. dent. Teresa Kruse danke ich für die Unterstützung und Bereitstellung der kieferorthopädischen Unterlagen.

Meinen Eltern, meiner Familie und meinen Freunden, die mich während meines Studiums und der Promotion kontinuierlich unterstützt und motiviert haben, gilt mein aufrichtiger Dank.

Für meine Eltern und meine Familie

# Inhaltsverzeichnis

<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>7</b>
<b>1. ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>8</b>
<b>2. EINLEITUNG</b>	<b>9</b>
2.1 Die Anatomie des Gaumens	9
2.1.1 Die Entwicklung des Gaumens	9
2.2 Transversale Maxilläre Diskrepanz	11
2.2.1 Prävalenz der Transversalen Maxillären Diskrepanz	11
2.2.2 Ätiologie der Transversalen Maxillären Diskrepanz	12
2.2.3 Diagnostik der Transversalen Maxillären Diskrepanz	12
2.2.4 Therapie der Transversalen Maxillären Diskrepanz	12
2.3 Das Verfahren der kieferorthopädischen Gaumennahterweiterung	13
2.4 Das Verfahren der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung	16
2.5 Indikation zur chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung	19
2.6 Komplikationen der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung	20
2.7 Zielsetzung und Fragestellung der Arbeit	21
<b>3. MATERIAL UND METHODEN</b>	<b>22</b>
3.1 Material	22
3.2 Methoden	24
3.2.1 Einschlusskriterien	31
3.2.2 Ausschlusskriterien	31
<b>4. ERGEBNISSE</b>	<b>32</b>
4.1 Deskriptive Auswertung der Patientencharakteristika und der Komplikationen	32
4.2 Ergebnisse DVT-Messungen	34

<b>4.3</b>	<b>Ergebnisse der statistischen Auswertung der speziellen Parameter</b>	<b>38</b>
<b>4.4</b>	<b>Ergebnisse der statistischen Auswertung der allgemeinen Parameter</b>	<b>41</b>
<b>5.</b>	<b>Diskussion</b>	<b>43</b>
<b>5.1</b>	<b>Diskussion von Material und Methoden</b>	<b>43</b>
<b>5.2</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse</b>	<b>44</b>
<b>5.2.1</b>	<b>Diskussion im Hinblick auf dentogene Komplikationen an den zentralen Inzisiven</b>	<b>44</b>
<b>5.2.1.2</b>	<b>Diskussion der DVT-Vermessungen im Hinblick auf dentogene Komplikationen</b>	<b>46</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Diskussion im Hinblick auf nicht-dentogene postoperative Risiken</b>	<b>49</b>
<b>5.2.3</b>	<b>Diskussion der Parameter vertikale und sagittale Diskrepanz in Bezug auf postoperative Komplikationen</b>	<b>50</b>
<b>5.2.4</b>	<b>Diskussion der Breite und Strukturbeschaffenheit der Gaumennaht und dem Auftreten von postoperativen Komplikationen</b>	<b>50</b>
<b>5.2.5</b>	<b>Diskussion statistisch nicht signifikanter Werte</b>	<b>52</b>
<b>5.3</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>53</b>
<b>6.</b>	<b>Limitationen der Studie</b>	<b>55</b>
<b>7.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>56</b>
<b>8.</b>	<b>ANHANG</b>	<b>66</b>
<b>8.1</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>66</b>
<b>8.2</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>68</b>

## Abkürzungsverzeichnis

S.p.m.	Sutura palatina mediana
DVT	Digitale Volumetomographie
SARPE	Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion
RME	Rapid Maxillary Expansion
KFO	Kieferorthopädie
SARME	Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion
GNE	Gaumennahterweiterung
DD	Dresden Distraktor
CT	Computertomographie, Computertomogramm
FRS	Fernröntgenseitenaufnahme
cGNE	chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung
SME	Slow Maxillary Expansion
IQR	Interquartilsabstand
GHR	Growth Hormone Receptor
RPE	Rapid Palatal Expansion
TD	transversale maxilläre Diskrepanz

## 1. Zusammenfassung

Die chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung kann als standardisiertes operatives Verfahren zur Erweiterung der Maxilla im Erwachsenenalter angesehen werden, welches ein geringes Risiko schwerwiegender Nebenwirkungen aufweist.

In diese Studie (2006-2020) wurden 121 Patienten aufgenommen, die eine chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung in Kombination mit einer kieferorthopädischen Therapie erhalten haben. Zielsetzung der retrospektiven Analyse war es herauszufinden, ob und inwieweit Risikofaktoren bestehen, die zu langfristigen Schäden an den zentralen Oberkiefer-Inzisiven führen. Dahingehend soll diese Studie zeigen, ob bestimmte Risikofaktoren vermieden werden können, um langfristige postoperative Komplikationen zu vermeiden.

Die vorliegenden statistischen Daten zeigen, dass, bezogen auf die Inzisiven, mit einem erhöhten Risiko einer Frontzahnwurzelresorption zu rechnen ist und einem geringeren Risiko einer Frontzahnlockerung. Das Anfertigen eines DVT vor und nach dem operativen Verfahren kann daher empfehlenswert sein, um Wurzelresorptionen zu vermeiden, sollte jedoch nach strenger Indikation erfolgen. Dabei ist besonders auf die Distanz zwischen den Oberkiefer-Inzisiven 11 und 21, sowie auf die Länge der Wurzeln beider Zähne zu achten. Das Ausmessen der Distanz im präoperativen DVT erscheint empfehlenswert. Bei einem verringerten interdentalen Abstand könnte ein alternativer operativer Zugangsweg gewählt werden, um Komplikationen an den zentralen maxillären Inzisiven zu vermeiden.

Die Weite und Struktur der Gaumennaht können ebenfalls das Auftreten von Wurzelresorptionen beeinflussen. Eine spongiöse Struktur der Gaumennaht weist häufiger das Auftreten von Wurzelresorptionen auf als eine kortikale Struktur. Dies sollte gegebenenfalls bei der Wahl des operativen Zugangs berücksichtigt werden, oder aber auch bei der Entscheidungsfindung zwischen einer rein kieferorthopädischen Behandlung oder chirurgisch unterstützten. Patienten mit vertikaler Diskrepanz und einer Angle-Klasse 2 scheinen häufiger Wurzelresorptionen zu zeigen, als Patienten ohne vertikale oder sagittale Diskrepanz.

Letzteres stellt keine Kontraindikation für eine chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung dar, kann jedoch ebenfalls auf den operativen Verlauf und die präoperative Planung Einfluss nehmen. Patienten mit einem verlängerten Krankenhausaufenthalt (länger als fünf Tage) zeigten weniger Komplikationen. Die Länge des Krankenhausaufenthaltes sollte von individuellen präoperativen Risiken abhängig gemacht werden. Die vorliegende Studie ermöglicht eine verbesserte Risikoaufklärung des Patienten, eine optimierte präoperative Planung und ein verbessertes postoperatives Komplikationsmanagement.

## 2. Einleitung

### 2.1 Die Anatomie des Gaumens

Der Gaumen wird in das **Palatum durum** (vordere zwei Drittel) und das **Palatum molle** (hinteres Gaumendrittel) aufgeteilt [1,71,72]. Beide übernehmen wichtige Aufgaben wie z.B. der weiche Gaumen, welcher den Epipharynx beim Schluckakt abdichtet, sowie den Druckausgleich zwischen Paukenhöhle und Epipharynx ermöglicht [1,71,72].

Der Gaumen dichtet die Mundhöhle von der Nasenhöhle ab und endet zum Isthmus faucium hin [1,71,72]. Weiterhin besteht der harte Gaumen aus vier Knochenanteilen darunter das Os palatinum und das Os maxillare [1,71,72]. Diese vier Knochenanteile sind durch Suturen getrennt: die **Sutura palatina mediana (S.p.m.)** und die Sutura palatina transversa [1,71,72].

Der weiche Gaumen besteht aus einer Bindegewebsplatte (Aponeurosis palatina), welche am harten Gaumen ansetzt [1,71,72]. Er bildet das Gaumensegel (Velum palatinum) und das Zäpfchen (Uvula). Die Uvula wird von den Gaumenbögen eingerahmt [1,71,72]. Die Segel und Bögen enthalten folgende Muskeln: den M. tensor veli palatini, der das Gaumensegel hebt und spannt und die Ohrtrumpete erweitert, den M. levator veli palatini, welcher ebenfalls das Gaumensegel hebt und die Ohrtrumpete erweitert, den M. palatoglossus, dessen Aufgabe es ist, das Gaumensegel nach unten und den Zungengrund nach oben zu ziehen, womit der Isthmus faucium verschlossen wird. Zuletzt anzuführen ist der M. palatopharyngeus, welcher viele Aufgaben übernimmt, darunter den Kehlkopf anzuheben, wohingegen der M. uvulae die Uvula verkürzt [1,71,72].

Zur Anatomie des weichen Gaumens gehören zudem die Tonsilla palatina, lymphatisches Gewebe, und die Mündungen der Glandulae linguales [1,71,72]. Die lymphatischen Strukturen des Rachens und die Tonsilla palatina werden zum sog. Waldeyer-Rachenring zusammengefasst [1,71,72].

#### 2.1.1 Die Entwicklung des Gaumens

Um die Entwicklung des Gaumens zu beschreiben, muss zunächst die Entwicklung des Kopfes dargestellt werden.

Aus dem Mesenchym entwickelt sich die Kopfregion. Es stammt aus dem Mesoderm, der Neuralleiste und dem Ektoderm [1,26,72]. Ab der vierten und fünften Entwicklungswoche bilden sich fünf bis sechs Wülste aus. Diese werden als Schlundbögen bezeichnet [1,26,72].

Diese Schlundbögen werden durch sog. Schlundtaschen medial voneinander getrennt [1,26,72]. An der Außenseite werden die Schlundbögen von Schlundfurchen getrennt [1,26,72]. Kopf und Hals entwickeln sich hauptsächlich aus den zuvor genannten Schlundbögen [1,26,72].

Zu Beginn sind alle Schlundbögen gleich aufgebaut aus einem mesodermalen Kern mit Knorpelspange, einer Muskelanlage, einem Nerv aus Neuralleistenzellen und einer Arterie [1,26,72]. Bereits nach einer Woche zeigen sich unterschiedliche Merkmale in den Schlundbögen. Der erste Schlundbogen wird Mandibularbogen genannt [1,26,72]. Der Nervus trigeminus wird ihm zugeordnet. Aus ihm entwickelt sich später die Kaumuskulatur, Hammer und Amboss, sowie ein Teil der Mandibula und Maxilla [1,26,72]. Der zweite Schlundbogen bringt später die mimische Muskulatur hervor und ist deshalb dem Nervus facialis zuzuordnen, sowie drei Muskeln (M. stapedius, M. stylohyoideus, M. digastricus (Venter posterior)) [1,26,72]. Der dritte Schlundbogen ist für die Entwicklung des M. stylopharyngeus und die Bildung eines kleinen Teils der A. carotis interna und A. carotis communis verantwortlich [1,26,72]. Außerdem entwickeln sich aus ihm das Cornu majus und der untere Teil des Os hyoideum [1,26,72]. Die vierten, fünften und sechsten Schlundbögen fusionieren oft miteinander und bilden verschiedene Strukturen wie den Aortenbogen, einen Teil der A. subclavia, den M. cricothyroideus, den M. levator veli palatini und den M. constrictor pharyngis [1,26,72]. So wie aus den Schlundbögen entwickeln sich aus den Schlundtaschen und -furchen wichtige anatomische Strukturen [1,26,72].

In der vierten Entwicklungswoche bilden sich die Gesichtswülste: Fortsätze an Stirn, Oberkiefer, Unterkiefer, lateral und medial der späteren Nase. In der Mitte dieser Wülste bildet sich die Riechplakode, welche sich in der fünften Entwicklungswoche zur Riechgrube einsenkt [1,26,72]. Der Stirnfortsatz schließt sich und bildet somit die Stirn und die Nasenwurzel. Die laterale und mediale Nasenwulst wächst zur Nase zusammen und der Oberkieferwulst bildet den Oberkiefer, die lateralen Anteile der Oberlippe und die Wangenknochen [1,26,72]. Die Gesichtswülste wachsen aufeinander zu, bis sie verschmelzen. Der mediale Nasenwulst wächst weiter zum Philtrum. Außerdem bildet der mediale Nasenwulst die Nasenspitze und den Nasenrücken [1,26,72]. Der laterale Nasenwulst wird zu den Nasenflügeln und der Unterkieferfortsatz zur Unterlippe. Die Mundhöhle stammt aus dem Ektoderm: Die Strukturen der Mundhöhle wie Zähne und Zunge entwickeln sich aus den drei Keimblättern. Zu den drei Keimblättern zählen: das Mesoderm, das Entoderm und das Ektoderm [1,26,72].

Der primäre Gaumen bildet sich aus dem Zwischenkiefersegment. Das Zwischenkiefersegment selbst geht aus den beiden medialen Nasenwülsten hervor [1,26,72].

In der sechsten Entwicklungswoche entstehen aus den Oberkieferwülsten zwei Gaumenplatten, welche in der siebten Woche horizontal aufeinander zuwachsen [1,26,72]. Dies geschieht, nachdem sich die Zunge nach kaudal verlagert hat. Die Gaumenplatten verschmelzen miteinander und bilden dann den sekundären Gaumen. Wenn die Verbindung der Gaumenplatten nicht vollständig erfolgt, bilden sich Lippen- und Gaumenspalten (Abb.1) [1,26,72].

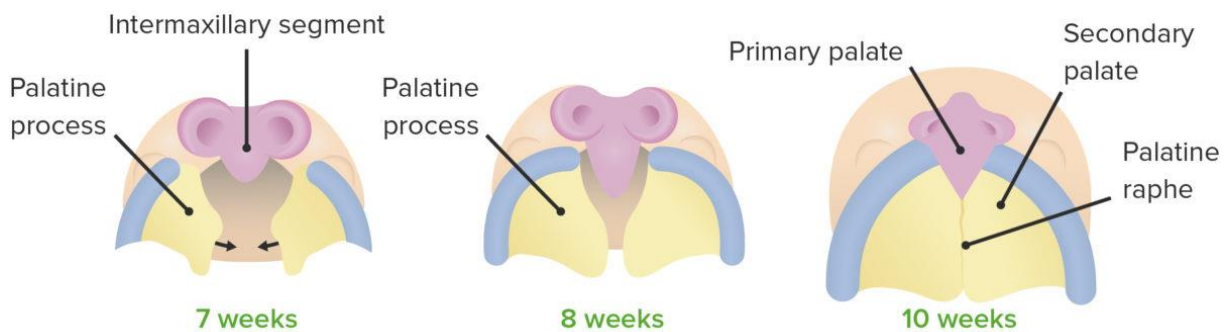


Abb. 1: Entwicklung Gaumen (7.- 10. Woche) (Lecturio).

## 2.2 Transversale Maxilläre Diskrepanz

### 2.2.1 Prävalenz der Transversalen Maxillären Diskrepanz

Die Transversale Maxilläre Diskrepanz (**TD**) tritt mit **hoher Prävalenz** auf und ist weitverbreitet [141,143-145,155]. Eine Hypoplasie der Maxilla in der Transversalebene wird mit einer Prävalenz von 8 bis 10% beschrieben [133]. Bei Patienten mit einer Angle-Klasse-III-Malokklusion, die etwa 2% der europäischen Population betrifft, weisen 30 bis 40% der Fälle ein maxilläres Defizit auf [134]. Die Unterentwicklung des Oberkiefers kann mit verschiedenen Malokklusionen und Symptomen einhergehen, darunter unilaterale oder bilaterale Kreuzbisse, schmale apikale Basen, eine Unterentwicklung im Mittelgesicht (konkaves Profil), Engstände im Oberkiefer und verengte Nasenhöhlen [113-118,133,134]. Der posteriore Kreuzbiss ist mit einer geschätzten Häufigkeit von 13 bis 25 % in der primären Dentition weit verbreitet [6,76,77].

Die TD kann auch in Kombination mit einer vertikalen oder anterior-posterioren Diskrepanz auftreten [36,37]. Eine unbehandelte TD kann weitreichende Folgen haben, einschließlich einer Rotation der Mandibula und einer daraus resultierenden funktionelle Asymmetrie des Kiefergelenks [6,78-81].

Da die TD funktionelle, ästhetische und allgemeinmedizinische Symptome verursachen kann, ist eine rechtzeitige kieferorthopädische Behandlung zu empfehlen und wünschenswert [6].

### **2.2.2 Ätiologie der Transversalen Maxillären Diskrepanz**

Die TD weist eine **multifaktorielle Ätiologie** auf. Als prävalente Faktoren können Habits, myofunktionelle Störungen und Atemwegsobstruktionen genannt werden. Dazu gehören beispielsweise Daumenlutschen, chronische Mundatmung und Fehlstellungen der Zunge, die nach kaudal absinkt und zu einer Unterentwicklung des Oberkiefers führen kann [6,76,83-86,87-93,141]. Auch genetische und erblich bedingte Faktoren beeinflussen die Entstehung einer transversalen Diskrepanz [141]. Die TD kann sowohl bei syndromalen als auch bei nicht-syndromalen Patienten auftreten [154]. Diese multifaktorielle Ätiologie unterstreicht die klinische Relevanz einer umfangreichen und präzisen Diagnostik.

### **2.2.3 Diagnostik der Transversalen Maxillären Diskrepanz**

Die Diagnostik einer TD umfasst die klinische Untersuchung des Patienten (Okklusion, Gesichtsform und Zahnstellung), die Modellanalyse und die röntgenologische Diagnostik [15,143,146-150]. Dabei bietet die DVT-Bildgebung im Vergleich zu zweidimensionalen Aufnahmen eine verbesserte Reproduzierbarkeit für transversale Messungen [143,151]. Ergänzend können auch die posterior-anteriore Schädelaufnahme und ein Okklusiogramm zur Diagnostik herangezogen werden [152,153]. Bei der klinischen Evaluation werden die Form und Symmetrie des Oberkieferzahnbogens, die Gaumenwölbung, das Atemmuster (oral, nasal) und die Breite des bukkalen Korridors beim Lächeln befundet [153]. Zudem wird zwischen einer dental bedingten und einer skelettal bedingten transversalen Diskrepanz unterschieden [107]. Für die Modellanalyse können verschiedene Indizes verwendet werden [142,155]. Die zahlreich aufgeführten Diagnoseschritte unterstreichen die Gewichtung einer präzisen Diagnostik. Außerdem kann eine frühzeitige Diagnostik entscheidend sein für den Erfolg der Therapie.

### **2.2.4 Therapie der Transversalen Maxillären Diskrepanz**

Die **Therapie** einer TD zielt darauf ab, die Breite der Maxilla zu korrigieren. Eine Frühbehandlung mittels kieferorthopädischer Gaumennahterweiterung ist häufig bei jungen Patienten mit einer Klasse-III-Dysgnathie, maxillärer Retrognathie sowie transversaler Hypoplasie der Maxilla, oft verbunden mit uni- oder bilateralem Kreuzbiss oder behinderter Nasenatmung, indiziert [3].

Für den Therapieerfolg empfiehlt es sich, die potenziell ursächlichen Habits und Angewohnheiten früh zu diagnostizieren und abzustellen [6]. Die TD erfordert in den meisten Fällen eine sog. **Rapid Maxillary Expansion (RME)** oder auch bekannt als **Rapid Palatal Expansion (RPE)** [140]. Bei diesem Verfahren wird die Maxilla mithilfe von kieferorthopädischen Dehnapparaturen erweitert und die S.p.m. eröffnet [140]. Es wird empfohlen, die Maxilla zwei bis vier Millimeter über das notwendige Expansionsausmaß hinaus zu erweitern, um einem Rezidiv und bukkalen Tipping der Molaren entgegenzuwirken [140]. Eine RME kann bei transversalen Diskrepanzen von vier Millimetern und mehr in Betracht gezogen werden und ist kontraindiziert bei Patienten mit anterior offenem Biss, steiler Mandibularebene und konvexem Gesichtsprofil [140]. Ebenso stellt eine skelettal bedingte Asymmetrie der Maxilla oder Mandibula eher eine Kontraindikation dar [140]. Eine Expansion der Maxilla kann auf unterschiedliche Arten erfolgen, jedoch wird die Erweiterung mit steigendem Alter aufgrund der zunehmenden Interdigitation der medianen Gaumennaht erschwert [100,135]. Eine rein kieferorthopädische Gaumennahterweiterung findet primär Anwendung im frühen und späten Wechselgebiss, da sich während der Wachstumsphase stabilere Ergebnisse erzielen lassen [113,140]. In der aktuellen Literatur besteht kein Konsens darüber, ab welchem Alter eine **chirurgisch unterstützte Gaumennaht (cGNE)** indiziert ist; dies bleibt in der Regel eine subjektive therapeutische Entscheidung des Behandlers [135,136]. Darüber hinaus gibt es unterschiedliche Ansichten zur chirurgischen Technik, dem Ausmaß der Expansion bei einer cGNE und der zu verwendenden Expansionsapparatur [13,15,54,135,136]. Diese Variabilität erschwert die Einschätzung der Prognose und stellt eine Herausforderung für die alltägliche klinische Versorgung dar, insbesondere bei erwachsenen Patienten.

### 2.3 Das Verfahren der kieferorthopädischen Gaumennahterweiterung

Die transversale Erweiterung der Maxilla korrigiert sowohl ästhetische als auch funktionelle Aspekte. Die Korrektur einer maxillären Mikrognathie kann mittels **Slow maxillary expansion (SME)**, **RME** oder **Surgically assisted rapid palatal expansion (SARPE)** erfolgen [120]. Welche der drei Behandlungsformen zu bevorzugen ist, wird in der Literatur kontrovers diskutiert [120]. Die Wahl der Methode hängt maßgeblich vom Alter des Patienten und dem Ausmaß der Malokklusion ab [120,121,122]. Befürworter der **RME** benennen dabei eine verminderte Zahnkipfung und erhöhte skelettale Expansion [120,122]. Dies wird durch die schnelle und erhöhte Krafteinwirkung (Erweiterung bis zu 0,5 mm pro Tag) auf die posterioren Zähne begründet, woraus resultierend weniger Zeit für unerwünschte Zahnbewegungen bleibt und die Krafteinwirkung auf die Suturen übertragen wird [120]. Die RME kann bei klinischen

Fällen mit einer transversalen Diskrepanz höher als vier Millimeter, Angle-Klasse-III-Patienten und Lippen-, Kiefer-, und Gaumenspaltenpatienten Anwendung finden [120].

Die **SME** umfasst eine Expansion über einen längeren Behandlungszeitraum hinweg, welche mit geringeren Krafteinwirkungen verbunden ist [123]. Indikationen für SME können Kreuzbisse, Lippen-, Kiefer-, Gaumenspaltenpatienten und Engstände sein [123].

Laut Zimring et al. und Cleall et al. führt die Anwendung der SME zu einer erhöhten Stabilität, wenn eine gewisse Retentionsphase eingehalten wird [123-125]. Eine geringere Rezidiv-Wahrscheinlichkeit bei SME ist zu erwarten bei einer Expansion von 0,5 bis 1 mm pro Woche, sowie ein verringertes Schmerzempfinden durch die geringere Krafteinwirkung [123]. Srivastava et al. und Pinheiro et al. stellen bei SME und RME eine langfristig stabile Expansion fest im Falle einer verlängerten Kontrollphase nach Abschluss der Behandlung [130].

Um eine maxilläre transversale Diskrepanz zu korrigieren, wird der Oberkiefer durch kieferorthopädische Geräte expandiert. Beispielsweise kann ein Kreuzbiss klassisch mit einer **Hyrax-Apparatur** (Abb. 2) oder einer sog. **Hybrid-Hyrax-Apparatur** (Abb. 3) in einen Regelbiss überführt werden. Daniela Garib et al. haben diese Geräte miteinander verglichen, um zu beurteilen, welche sich besser für eine Behandlung eignen. Die Hybrid-Hyrax-Apparaturen, welche dental und skelettal verankert werden, konnten im Vergleich bessere Ergebnisse erzielen [7]. Die dental abgestützte Hyrax-Apparatur wird klassisch zwei Mal täglich um 0,25 mm aktiviert und dehnt die Maxilla durch Krafteinwirkung auf die Zähne. Sie ist effektiv in der skelettalen Wachstumsphase, kann jedoch zu Zahnkipfung und Wurzelresorption führen [128]. Als weiteres Gerät findet die **Haas-Apparatur** bevorzugt Verwendung, bei der zusätzlich zur dentalen noch eine mukosale Abstützung über eine Gaumenplatte erfolgt [128]. Serafin et al. konnten in ihrer Studie keine signifikanten Unterschiede in der Effektivität zwischen Hyrax- und Haas-Apparatur feststellen, bei beiden war die dentale Expansion stärker als die skelettale [128,129]. Bei sehr leichten Engständen oder transversalen Diskrepanzen unter vier Millimetern können herausnehmbare Dehnapparaturen Verwendung finden, eine **Quad-Helix-Apparatur** wird bei moderaten Engständen appliziert.

Die Auswahl des Gerätes findet unter Berücksichtigung der individuellen anatomischen Gegebenheiten der Patienten statt und erfordert eine sorgfältige Behandlungsplanung und Diagnostik. Die Gerätevielfalt ermöglicht eine individuelle Therapieplanung. Ugolini et al. und Huynh et al. konnten feststellen, dass jede der oben genannten Apparaturen eine effektive Expansion im Kindes- und Jugendalter erwarten lässt [118,119,132].



Abb. 2: Hyrax-Apparatur (KFO Ibbenbüren).

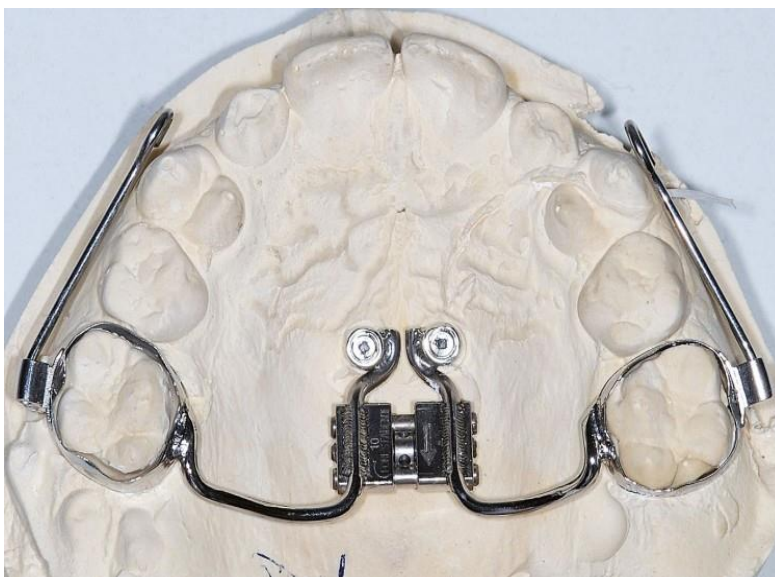


Abb. 3: Hybrid-Hyrax-Apparatur (ZWP Online).

## 2.4 Das Verfahren der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung

Das Verfahren der Gaumennahterweiterung (GNE) wurde bereits im Jahr 1860 von Angell in Dental Cosmos beschrieben und veröffentlicht [2]. Angel war einer der Ersten, der in diesem Artikel die Behandlung eines Patienten mit Kreuzbiss durch Gaumennahterweiterung dokumentierte [2]. Heutzutage hat sich die GNE als standardisiertes Behandlungsverfahren zur Korrektur transversaler Diskrepanzen etabliert. Die rein kieferorthopädische GNE wird vom Kindes- bis jungen Erwachsenenalter angewendet [3]. Bei der Spätbehandlung kommt die **cGNE** zum Einsatz, je nach Synostosierungsgrad der S.p.m. [2]. Dabei hilft das operative Verfahren einer cGNE den Widerstand gegen eine kieferorthopädische Expansion zu reduzieren und eine stabile transversale Erweiterung der Maxilla auch bei bereits zunehmend interdigitierender Gaumennaht zu ermöglichen. Die cGNE ist indiziert, wenn aufgrund des Entwicklungsstadiums der Patienten (starke Interdigitation der Gaumennaht) oder des Ausmaßes der Diskrepanz eine rein kieferorthopädische GNE nicht mehr effektiv wäre [131]. Bei Patienten, die jünger als 15 Jahre alt sind, wird der Gaumen in den meisten Fällen durch rein kieferorthopädische Geräte ohne chirurgische Interventionen aufgedehnt. Bei älteren Patienten (> 15 Jahre) kann die Planung einer cGNE notwendig werden [5]. Zu diesem Wachstumszeitpunkt nimmt die Erfolgsrate einer rein kieferorthopädischen Behandlung ab, da die Suture des Gaumens synostosiert, und dadurch nach Rachmiel et al. die Expansion mit kieferorthopädischen Geräten erschwert wird [5,15,32,94]. In der Literatur gibt es jedoch unterschiedliche Ansichten bezüglich des optimalen Zeitpunktes für die Notwendigkeit einer cGNE. Dabei spielt die Bestimmung des skelettalen Alters eine wichtige Rolle bei der Fallauswahl [15,100]. Bei jungen Erwachsenen im Alter zwischen 20 und 30 Jahren ist im Vergleich zu jüngeren Patienten eine geringere maxilläre Expansion sowie eine erhöhte Kippung der Molaren zu erwarten [5]. Die dentalen Effekte der cGNE überwiegen die skelettalen Effekte, weshalb die SARPE unter anderem in der Literatur als Verfahren zur Expansion im Molarenbereich angesehen wird [135,138].

Allgemein gilt die cGNE jedoch als stabile und effektive Methode zur Erweiterung der Maxilla [5]. Die präoperative Planung, Initialphase genannt, ist von großer Bedeutung. Sie umfasst die klinische Untersuchung und Aufklärung der Patienten, Modellanalyse, Röntgenanalyse, Auswahl des Expansionsgerätes, sowie die interdisziplinäre Abstimmung zwischen Kieferorthopädie und Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie [109,110]. Zur transversalen Erweiterung des Oberkiefers können dentale, skelettale und dental-skelettal verankerte Apparaturen eingesetzt werden [4]. Skelettale Apparaturen bieten den Vorteil einer direkten Kraftübertragung auf den Knochen, wodurch Nebenwirkungen wie Zahnkippung, Wurzelresorptionen und Dehiszenzen an der bukkalen Knochenlamelle reduziert werden [4].

Deren submuköse Fixierung kann jedoch den Patientenkomfort einschränken und die Geräteaktivierung erschweren [4]. Das Gerät kann alternativ transmukosal oder dental fixiert werden [4]. Bei den hier untersuchten Patientenfällen wurde das Gerät stets intra- oder postoperativ eingesetzt und ausschließlich dental fixiert.

Das operative Verfahren und die chirurgische Technik der SARPE können variieren. Die traditionelle Methode der SARPE ist eine mediane Osteotomie zwischen den zentralen Inzisivi im Bereich der Gaumennaht (siehe Abbildung 4,5, und 6) [5,96]. Dies schwächt die S.p.m. und ermöglicht es dem kieferorthopädischen Gerät, den Widerstand bei der Expansion der Maxilla zu überwinden [5].

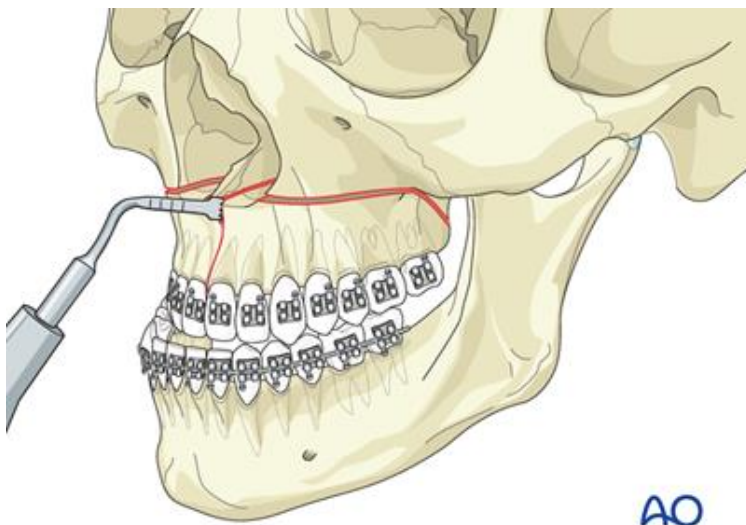


Abb. 4: Sagittale Osteotomie im Oberkiefer (AO Foundation, Switzerland).

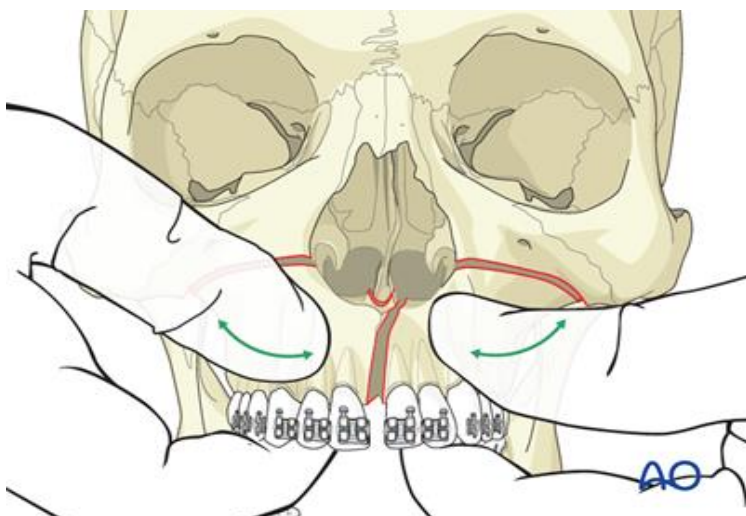


Abb. 5: Prüfung der Segmentmobilität (AO Foundation, Switzerland).

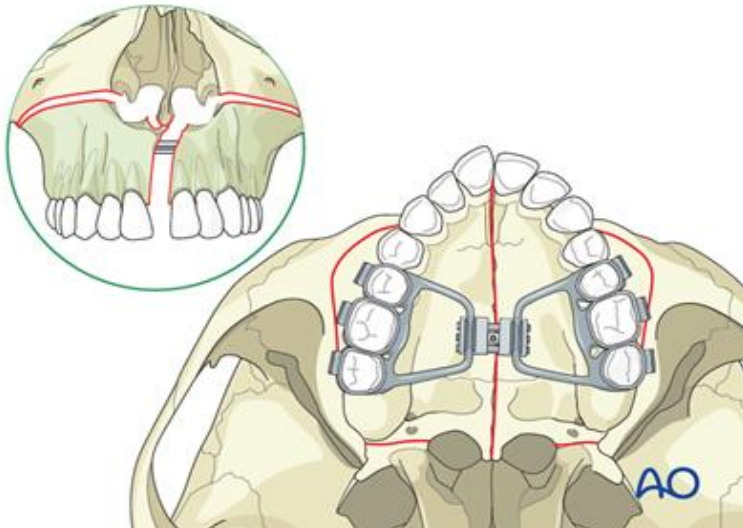


Abb. 6: Einsetzen der kieferorthopädischen Apparatur (dental abgestützt) (AO Foundation, Switzerland).

Im Laufe der Zeit wurden zahlreiche chirurgische Techniken entwickelt, um die anatomischen Widerstandsbereiche (Apertura piriformis, Jochbeinpeiler, Verbindung Tuber Maxillae und Processus pterygoideus, S.p.m.) im Mittelgesicht zu lösen, beispielsweise wurde 1972 von Steinhauser eine Le-Fort-I-Osteotomie mit Einsetzen eines triangulären Beckenkammtransplantats beschrieben. [15,98] Betts und Ziccardi empfehlen eine totale bilaterale maxilläre Osteotomie [15,104]. Dem widersprechend sollte laut Lehmann et al. keine palatinale Schnitfführung erfolgen, da das Loslösen des Widerstandes im Jochbeinbereich ausreicht [15,105]. Während frühere Studien die S.p.m. als größten Widerstandsbereich identifizieren [8,15,100], zeigen spätere Studien, dass die Jochbeinpeiler und die Verbindung zwischen Tuber maxillae und Processus pterygoideus als kritische Widerstandsbereiche anzusehen sind [15,95,102,103]. Eine pterygomaxilläre Disjunktion, die eine Trennung der Maxilla vom Processus pterygoideus des Keilsbeins darstellt, wird in der Literatur kontrovers diskutiert, da sie mit einem erhöhten Komplikationsrisiko verbunden ist und nicht zwingend erforderlich erscheint [134,140]. Gaumennahterweiterungen ohne Schwächung der pterygomaxillären Sutur gelten ebenfalls als erfolgreich [12]. Der kieferorthopädische Expander wird häufig präoperativ eingesetzt und kann bereits intraoperativ um ein bis zwei Umdrehungen aktiviert werden. Dies führt zu einer initialen Trennung der Gaumennaht und ermöglicht eine Funktionsüberprüfung des Gerätes [73]. Einige Protokolle sehen jedoch eine Latenzphase von fünf bis sieben Tagen vor, um die Revaskularisierung der Weichgewebsstrukturen und die beginnende Osteogenese zu fördern und Rezidive zu verhindern [101,109,112]. Während der Aktivierungsphase erfolgt eine kontinuierliche Expansion des Gerätes um 0,5 mm pro Tag, aufgeteilt in zweimal täglich 0,25 mm (zwei Vierteldrehungen der Stellschraube) [109].

Diese Phase dauert bis zu zwei Wochen und wird klinisch kontrolliert [109]. Eine kontinuierliche Erweiterung soll laut Betts et al. sowie Northway und Meade eine ineffiziente Osteogenese, bukkales Tipping und Traumata der posterioren Ankerzähne verhindern [37,109,111]. Ein Diastema mediale ist ein Indikator für eine erfolgreiche Expansion. Es entsteht im Verlauf der Aktivierungsphase und bildet sich nach deren Ende trotz eingesetzter Apparatur innerhalb weniger Wochen aufgrund der Zugwirkung der zirkumferierenden Fasern auf den Anfangszustand zurück [74]. Daran schließt sich die Retentionsphase an, in der das Gerät nicht mehr aktiviert wird, um die Stabilisierung der Erweiterung und die Knochenneubildung zu gewährleisten und einem Rezidiv vorzubeugen. Diese kann je nach Patientenfall zwischen drei bis sechs Monaten andauern [37,107,108,109].

## **2.5 Indikation zur chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung**

Zu dem Synostosierungszeitpunkt der S.p.m. gibt es unterschiedliche Ansichten. Der früheste Zeitpunkt konnte laut Persson et al. bei einem 15-jährigen Mädchen im posterioren Bereich der S.p.m. entdeckt werden [8]. Trotzdem gibt es interindividuelle Variationen. Außerdem konnte auch gezeigt werden, dass die Sutura von posterior nach anterior interdigitiert (Abb. 7) [8].

Aus rechtlichen Gründen darf die Abbildung online nicht veröffentlicht werden. Jede weitere Nutzung durch Dritte bedarf einer eigenen Lizenzgenehmigung von Thieme

Abb. 7: Darstellung der Sutura palatina mediana im Säuglingsalter, im jugendlichen Alter und Erwachsenenalter (Thieme Connect).

Nach Angelieri et al. ist es wichtig in die Therapieplanung mit einzubeziehen, dass die Interdigitation der S.p.m. sehr individuell erfolgt und für die Planung der GNE essenziell ist. Im bestmöglichen Fall wird die Behandlung so geplant, dass eine weniger invasive GNE rein kieferorthopädisch ohne chirurgische Intervention möglich ist [9]. Berger et al. konnten zeigen, dass es keinen Unterschied in der Stabilität der Ergebnisse zwischen SARPE und kieferorthopädischer Expansion gibt [39]. Außerdem wird ebenfalls beschrieben, dass eine Klassifikation der Interdigitation der Gaumennaht im DVT als sinnvoll erscheint, um die Entscheidung zwischen einer rein kieferorthopädischen oder cGNE zu treffen [9].

Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die Indikation zur cGNE bei stark interdigitierender S.p.m. besteht (bei Patienten deren skelettales Wachstum weit fortgeschritten ist), sodass ein Tragen der kieferorthopädischen Apparatur den Widerstand nicht mehr überwinden kann, um einen Schmalkiefer adäquat zu weiten und ein transversales Defizit zu korrigieren. Dabei lässt die cGNE eine skelettale Erweiterung mit stabilen Ergebnissen erwarten [10]. Des Weiteren sollte nicht nur die mediane Gaumennaht als Widerstand berücksichtigt werden, sondern auch die Mittelgesichtssuturen, da die Rigidität der Gesichtspfeiler mit dem Alter zunimmt [74,75]. Zusätzlich kann die SARPE angewendet werden, um Platzverhältnisse bei maxillärem Engstand zu schaffen, wenn keine Extraktion indiziert ist, aber auch um einen vergrößerten bukkalen Korridor zu reduzieren [15,28,97]. Einige Autoren gehen davon aus, dass transversale Diskrepanzen bis zu fünf Millimetern rein dentoalveolär korrigiert werden können [37,135,139]. Außerdem zeigt die SARPE effektivere Ergebnisse als andere chirurgische Verfahren [11]. Laut Bailey et. al gibt es zwei Indikationen zur Anwendung der SARPE: das Alter und Patienten mit einem einseitigen oder asymmetrischen Kreuzbiss. Bei einem dolichofazialen Typ ist eine reine SARPE kontraindiziert, da dies ebenfalls eine Le-Fort-I-Osteotomie erforderlich macht [40,41]. Dabei sind die skelettal verankerten kieferorthopädischen Apparaturen laut einigen Autoren (sog. bone-borne appliances) zu bevorzugen [13,14,101]. Die SARPE kann zusätzlich ungewollte Nebeneffekte einer kieferorthopädischen transversalen Erweiterung der Maxilla reduzieren [15].

## **2.6 Komplikationen der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung**

Trotz der etablierten Anwendung der SARPE-Methode und des geringen Risikos lebensbedrohlicher Komplikationen können dennoch häufiger Komplikationen auftreten, die bei ungünstigem Verlauf zu Zahnverlust führen können.

Carvalho et al. benennen als risikoarme Komplikationen postoperative Schmerzen und Epistaxis [16]. Außerdem können Spannungen und Verformungen im Mittelgesicht auftreten [74]. Williams et al. identifizieren die asymmetrische oder inadäquate Expansion der Maxilla als häufigste chirurgische Komplikation und gingivale Rezession als die häufigste dentale Komplikation, insbesondere an den Inzisiven [17]. Knochenfrakturen im interdentalen Bereich der zentralen Inzisiven können zudem zu Zahnlockerung, Dehiszenz und parodontalen Schäden führen [15,63,97]. Auch Cakar et al. bestätigen eine Dehiszenz an den Inzisiven als Ergebnis ihrer Untersuchung [18].

Weitere postoperative Komplikationen umfassen Hämorrhagie, Lockerung der Expansionsapparatur, Nervenläsion, Hypästhesie und Rezidive, wobei letztere zwischen 5 % und 25 % variieren können [15,23,24,27,39,106]. Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass obwohl bei einer cGNE mit geringen, nicht lebensbedrohlichen, Komplikationen zu rechnen ist, diese dennoch bei einer adäquaten Therapieplanung berücksichtigt werden sollten [15,19,20].

## **2.7 Fragestellungen und Ziel der Arbeit**

SARPE stellt im Rahmen der bekannten Literatur ein etabliertes operatives Verfahren mit einem geringen Risiko lebensbedrohlicher Komplikationen dar [16,17,24,27]. Nichtsdestotrotz können nicht lebensbedrohliche Komplikationen zu Frontzahnverlust führen. Ziel dieser retrospektiven Analyse ist es daher, allgemeine und spezielle Risiken der SARPE zu untersuchen. Der Fokus liegt dabei auf der Fragestellung, ob die zentralen Oberkiefer-Inzisiven gehäuft postoperative Schäden wie Wurzelresorption oder Zahnlockerung aufweisen, und welche Faktoren (wie z.B. die präoperative Position der zentralen maxillären Inzisiven) diese begünstigen könnten.

Hieraus ergeben sich folgende Fragestellungen:

1. Welche Parameter führen zur dentalen Komplikation einer Wurzelresorption oder Frontzahnlockerung? Welche Risikofaktoren könnten Einfluss nehmen auf das Auftreten dieser Komplikationen?
2. Besteht eine Kausalität zwischen dem Auftreten von Wurzelresorptionen oder Frontzahnlockerungen und der präoperativen Position der zentralen maxillären Inzisiven (z.B. ein verstärkter Protrusionsgrad)?
3. Wie ist das allgemeine postoperative Risiko nach SARPE einzustufen?

## 3. Material und Methoden

### 3.1 Material

Die vorliegende Arbeit ist eine retrospektive/explorative Studie, die von der Ethikkommission des Universitätsklinikums Köln genehmigt wurde (Antragsnummer: 24-1011-retro). Für die Analyse wurden digitale Patientenakten aus der Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie und der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universität zu Köln verwendet.

Es wurden Patienten selektiert, die eine TD der Maxilla aufwiesen und an denen eine kombinierte kieferorthopädische Behandlung mit einer cGNE durchgeführt worden ist. Ziel der vorliegenden Analyse war es, das Risiko von Komplikationen, insbesondere Schäden an den zentralen Oberkieferfrontzähnen (Wurzelresorption, Frontzahnlockerung, Frontzahnverlust) zu untersuchen.

Insgesamt wurden 121 Patienten in die Studie eingeschlossen (64 weiblich, 57 männlich). Das Alter der Patienten lag zwischen 15 und 44 Jahren (Medianalter: 29 Jahre). Alle Patienten waren europäischer Herkunft und zeigten unterschiedliche Malokklusionen sowie soziale Hintergründe. Die cGNE, sowie kieferorthopädische Vor- und Weiterbehandlung, wurden im Zeitraum von September 2006 bis Februar 2020 durchgeführt.

Zum Zeitpunkt der Datenextraktion befanden sich die Patienten in aktiver oder abgeschlossener kieferorthopädischer Behandlungsphase. Die Daten wurden umfassend hinsichtlich dentogener und nicht-dentogener Komplikationen der cGNE untersucht.

Für die statistische Analyse wurden folgende Patientenmerkmale und Parameter erhoben:

- **Allgemeinmedizinische Parameter:**
- Alter (zum Operationszeitpunkt)
- Geschlecht
- Medikamenteneinnahme (vor operativer Maßnahme)
- Allergien
- Raucherstatus (Raucher/Nichtraucher)
- Dauer des postoperativen Krankenhausaufenthaltes

- **Anatomische Parameter (radiologische Vermessung mittels DVT):**
- Breite der Gaumennaht (präoperativ)
- Strukturbeschaffenheit der Gaumennaht [kortikal, spongiös (präoperativ)]
- interdentaler Abstand der zentralen maxillären Inzisiven (präoperativ, postoperativ)
- Länge der Frontzahnwurzeln (präoperativ, postoperativ)
- Winkel zwischen Frontzahnwurzeln und Nasenboden (präoperativ, postoperativ)
- Abstand zwischen den Wurzelspitzen der Frontzähne (präoperativ, postoperativ)
- Winkel der Frontzähne zum Oberkiefer und Schädelbasis (Datenextraktion bereits vorliegender Werte aus präoperativ angefertigten FRS-Aufnahmen)
- **Spezielle Parameter (bezogen auf Malokklusion und kieferorthopädische Therapie):**
- Extraktions-/Nichtextraktionspatienten
- vertikales Defizit der Maxilla
- sagittale Malokklusion (Angle-Klasse I, II und III)
- Art des Kreuzbisses (unilateral, bilateral, anterior, posterior)
- Dehnungsausmaß des Oberkiefers (Modellvermessung)
- Kompensation/Dekompensation während der kieferorthopädischen Behandlung
- Dauer der kieferorthopädischen Behandlung

Die erhobenen Parameter wurden statistisch analysiert, um Zusammenhänge zwischen diesen und dem gehäuftem Auftreten dentogener Komplikationen wie Wurzelresorptionen, Zahnlockerungen, Frontzahnfrakturen oder Frontzahnverluste der zentralen Oberkiefer-Inzisiven zu identifizieren. Zudem wurden nicht-dentogene postoperative Komplikationen wie Hämorrhagie, Epistaxis, Nekrose des palatinalen Gewebes, Sensibilitätsverlust und das Auftreten einer asymmetrischen Expansion der Maxilla berücksichtigt.

Der Hauptfokus der Analyse lag auf der Häufigkeit des Auftretens von Frontzahnwurzelresorptionen oder anderen Traumata an den Frontzähnen nach kombinierter cGNE und kieferorthopädischer Behandlung, sowie der Bewertung potenzieller Risikofaktoren für den operativen Eingriff. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen die Ableitung hypothetischer Schlüsse zur Optimierung der Therapieplanung und Risikominimierung ermöglichen.

### **3.2 Methoden**

Für die statistische Analyse wurden pseudoanonymisierte Patientendaten und Röntgenaufnahmen (DVT), sowie Patientenmodelle herangezogen. Die Patientendaten wurden sorgfältig aus Patientenakten des Softwaresystems Orbis (Agfa Health Care GmbH) extrahiert, verglichen und ausgewertet. Digitale Volumentomographiebilder wurden mittels der Software Sidexis (Dentsply Sirona) vermessen. Präoperative und postoperative (6 Monate) DVT-Aufnahmen dienten der präzisen Bestimmung der Position und Vermessung der zentralen Oberkiefer-Inzisiven (in mm): Dafür wurden die Wurzellängen (an der längsten Stelle der Wurzel in der Longitudinalachse (Parasagittal), der Abstand zwischen den radiologischen Apices (breitester Abstand; Frontalebene), der interradikuläre Abstand im mittleren apikalen Drittel der Wurzeln, sowie der Winkel zwischen den radiologischen Apices der Zähne 11 und 21 zur Verbindungslinie des Nasenbodens vermessen. (Abb. 8, Abb. 9, Abb. 10)

Ergänzend wurden anhand der präoperativen DVT-Aufnahmen die Struktur (kortikal/spongiös) und Breite der Gaumennaht an 4 Messstellen (in mm) bestimmt. (Abb. 11, Abb. 12)

Die Messungen und die Beurteilung der Struktur der Gaumennaht wurden mit dreiwöchigem Abstand in unterschiedlicher Reihenfolge wiederholt, um eventuelle Fehlmessungen auszuschließen.

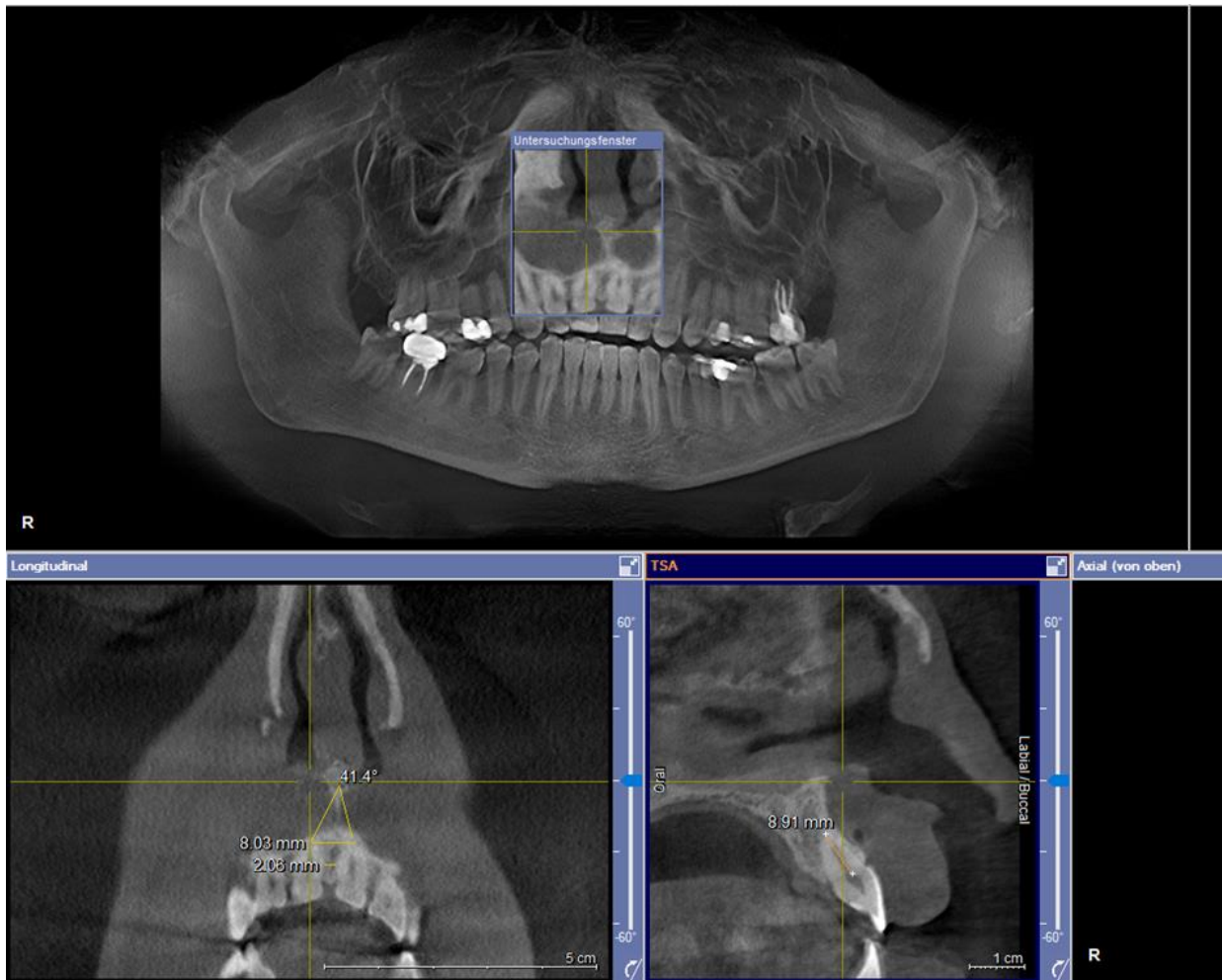


Abb. 8: DVT- Screenshot: Messung Winkel (in Grad) der Frontzähne in Relation zum Nasenboden und Frontzahnwurzellänge (in mm) sowie interdentaler Abstand (in mm) mit dem Computerprogramm Sidexis (Abteilung für Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie Universität zu Köln).

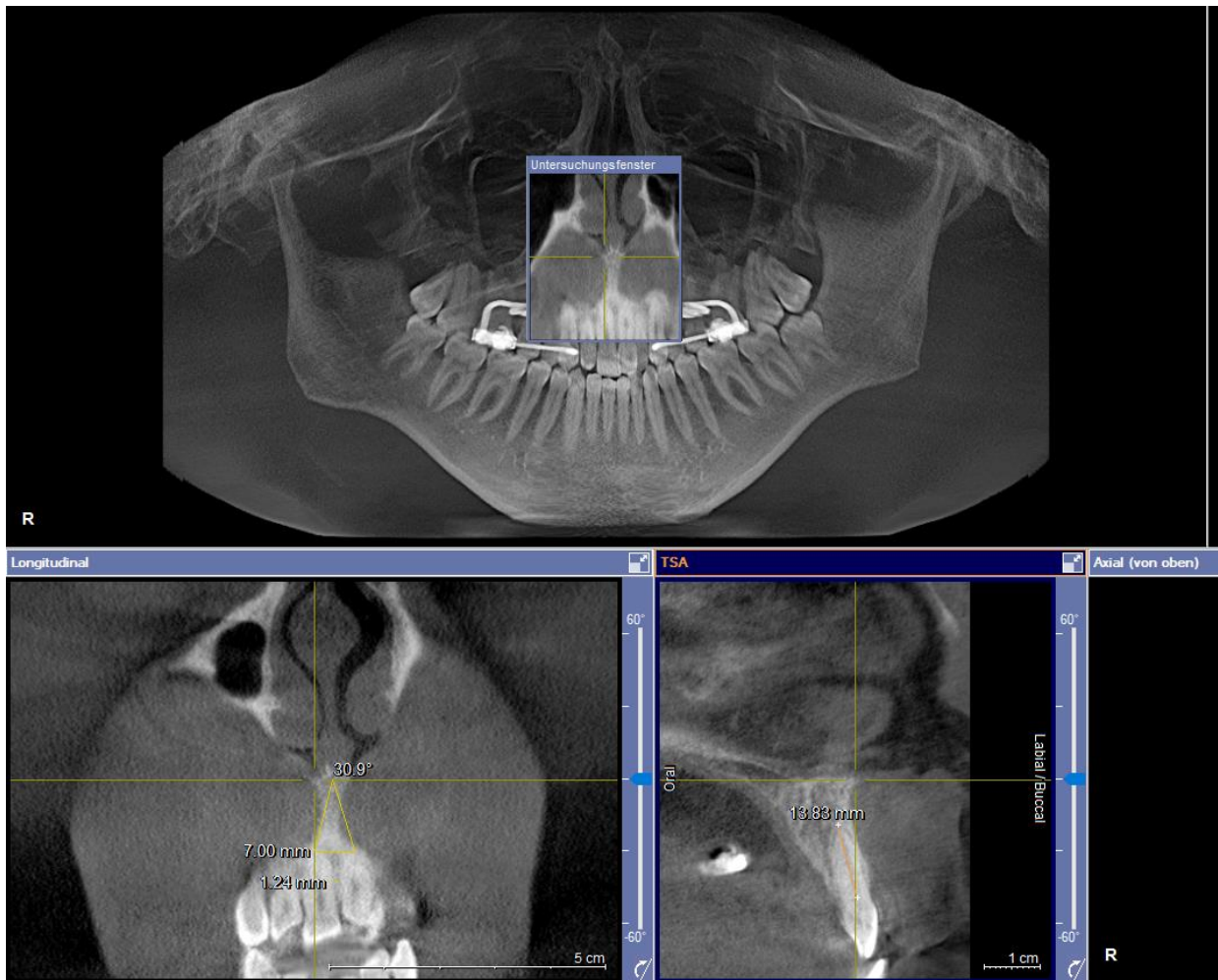


Abb. 9: DVT- Screenshot (präoperativ): Messung Winkel Frontzähne zum Nasenboden (in Grad) und Frontzahnwurzellänge (in mm) sowie interdentaler Abstand (in mm) mit dem Computerprogramm Sidexis (Abteilung für Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie Universität zu Köln).

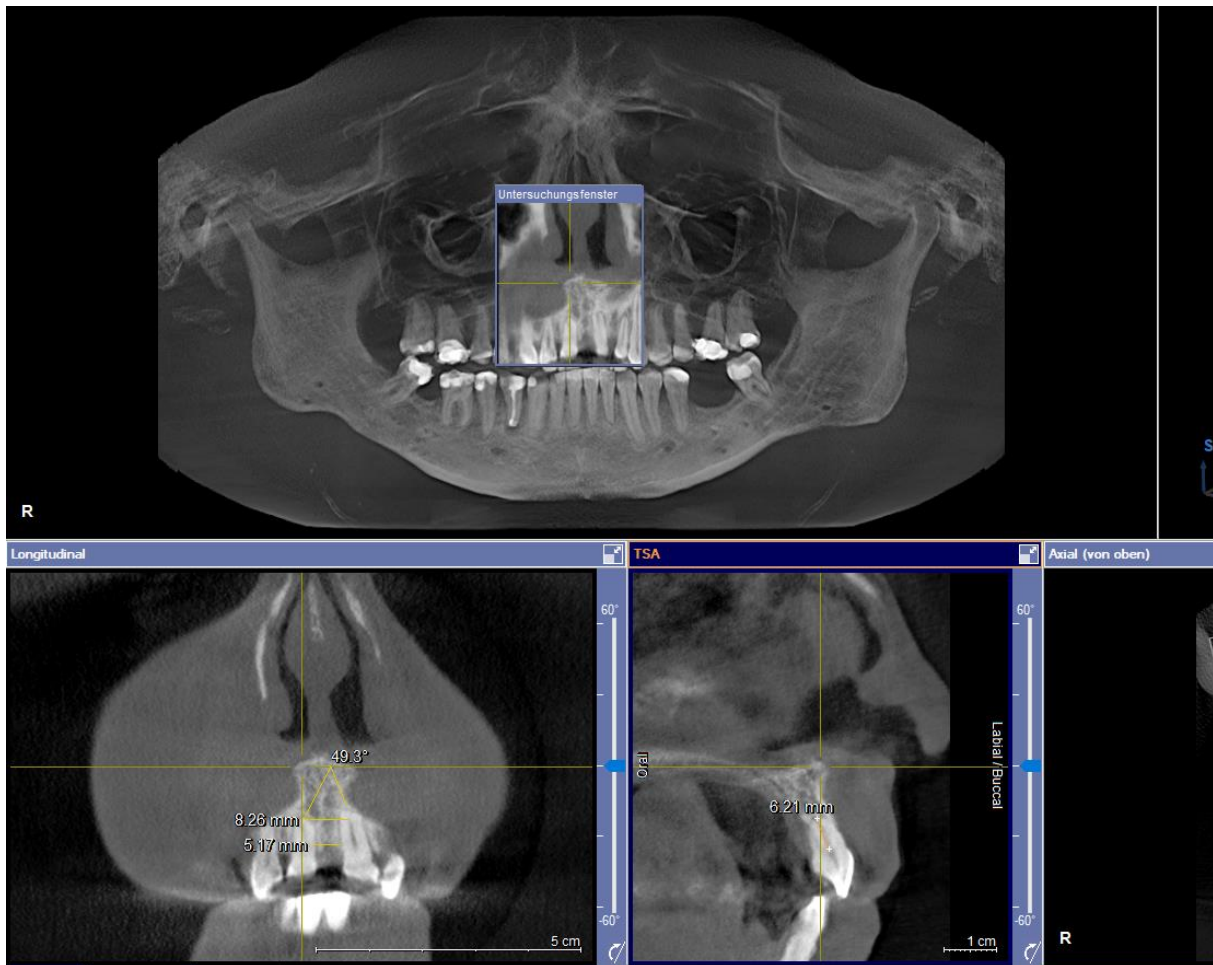


Abb. 10: DVT- Screenshot (postoperativ): Messung Winkel Frontzähne zum Nasenboden (in Grad) und Frontzahnwurzellänge (in mm) sowie interdentaler Abstand mit dem Computerprogramm Sidexis (Abteilung für Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie Universität zu Köln).

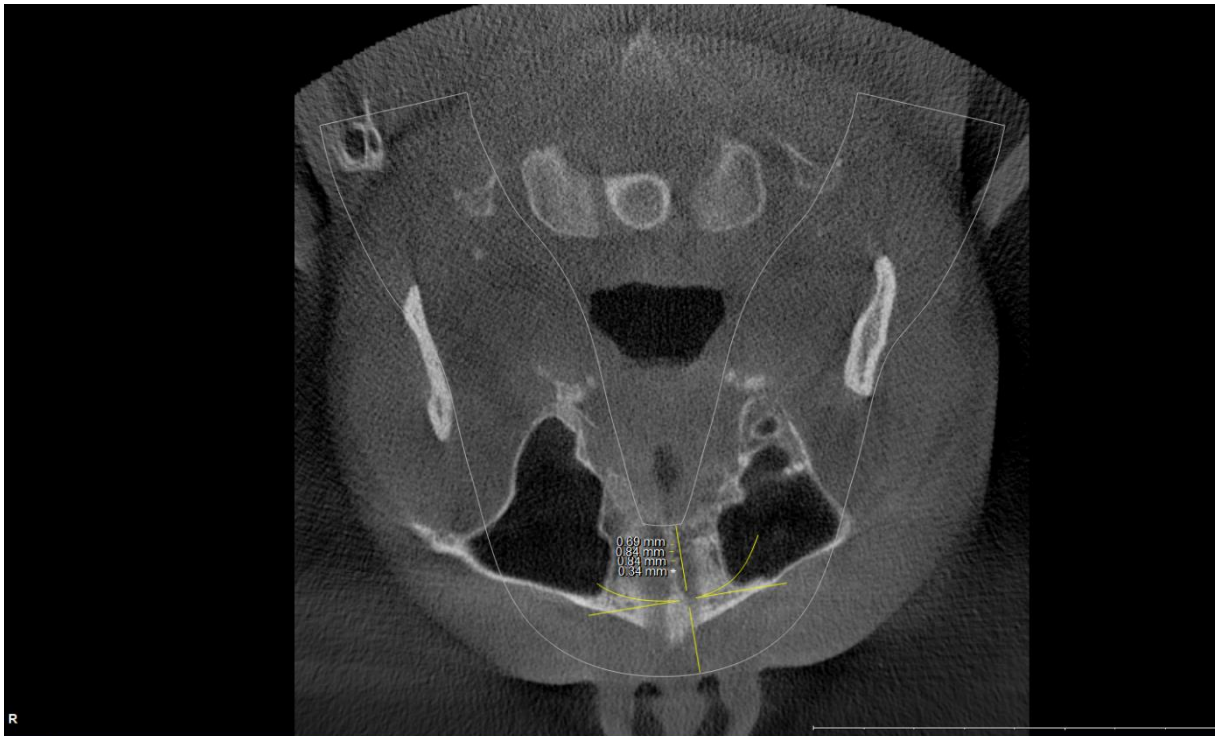


Abb. 11: DVT- Screenshot (präoperativ): Breite der Gaumennaht an vier Messstellen von posterior nach anterior; Vermessung einer dreidimensionalen präoperativen DVT-Aufnahme (in mm) mit dem Computerprogramm Sidexis (Abteilung für Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie Universität zu Köln).



Abb. 12: DVT- Screenshot (präoperativ): Breite der Gaumennaht an vier Messstellen von posterior nach anterior; Vermessung einer dreidimensionalen präoperativen DVT-Aufnahme (in mm) mit dem Computerprogramm Sidexis (Abteilung für Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie Universität zu Köln).

Kephalometrische Werte aus bereits vorhandenen Patientenunterlagen wurden extrahiert, um die DVT-Messungen durch den Winkel der Frontzähne zu schädelbasisbezogenen Ebenen zu ergänzen. Hierfür wurden die Werte des NL-IOK-Winkels, des Interinzisalwinkels und der I-NA Ebene (jeweils in Grad) berücksichtigt.

Patientenmodelle wurden zur Beurteilung des Dehnungsausmaßes der Maxilla mittels Stechzirkel und Metalllineal vermessen. Dabei wurden Anfangs- und Schlussmodelle in der transversalen Ebene vermessen. Die vordere Zahnbogenbreite im Oberkiefer wurde an der tiefsten Stelle der Fissur am ersten Prämolaren gemessen. Die hintere Zahnbogenbreite im Oberkiefer wurde am Kreuzungspunkt der vorderen Längsfissur mit der bukkalen Querfissur der Sechsjahrmolaren bestimmt. Im Unterkiefer erfolgte die Messung analog am Kontaktpunkt zwischen erstem und zweitem Prämolaren (vordere Breite) und an der Spitze des distobukkalen Höckers der Sechsjahrmolaren (hintere Breite). Die anteriore und posteriore Breite des Oberkiefers (in mm) wurden erfasst, um das exakte Dehnungsausmaß zu quantifizieren (Abb.13).



Abb. 13: Beispiel Modellvermessung der anterioren und posterioren transversalen Breite (eigene Fotografie).

### **3.2.1 Einschlusskriterien**

Folgende Einschlusskriterien wurden festgelegt:

- Patientenkollektiv der Poliklinik für Kieferorthopädie und Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie des Universitätsklinikums Köln.
- Mindestalter der Patienten 15 Jahre.
- Patienten in aktiver und/oder abgeschlossener kieferorthopädischer Behandlungsphase.
- Patienten, die eine kieferorthopädische Behandlung in Kombination mit einer cGNE aufgrund einer transversalen Diskrepanz der Maxilla erhalten haben.
- vorhandene Anfangs- und Schlussmodelle der kieferorthopädischen Therapie.

### **3.2.2 Ausschlusskriterien**

Folgende Ausschlusskriterien wurden festgelegt:

- Patienten mit einem Alter unter 15 Jahren.
- Patienten mit syndromalen Erkrankungen.
- Patienten mit Spaltformen (z.B. isolierte Gaumenspalten, Lippen-Kiefer-Gaumenspalten).

Bei einigen Patienten konnten keine detaillierten Angaben zur kieferorthopädischen Weiterbehandlung gemacht werden, da diese von externen Kieferorthopäden außerhalb der Universität fortgeführt wurde.

Chirurgische Berichte aus dem Softwareprogramm Orbis und kieferorthopädische Berichte aus dem Softwareprogramm Ivoris (Computer konkret AG) ergänzten die Analyse der peri- und postoperativen Behandlung der Patienten. Die Art und Durchführung der Operation wurden nicht durch spezifische Bedingungen beeinflusst. Alle statistischen Berechnungen wurden mit dem Statistikprogramm IBM Statistics Version 27.0 durchgeführt. Die statistische Analyse erfolgte mittels Kreuztabellen und Chi-Quadrat-Test. Der Chi-Quadrat-Test diente dabei der Analyse von Häufigkeiten in den Kreuztabellen. Dabei wurden Variablen als Kategorien erfasst (z.B. Geschlecht: männlich/weiblich; Wurzelresorption: ja/nein, Zahnlockerung: ja/nein, Angle-Klasse: I/II/III) und auf ihre Unabhängigkeit getestet. Dieser Test ermöglicht die Prüfung, ob die beobachteten Häufigkeiten in den verschiedenen Kategorien signifikant von den erwarteten Häufigkeiten unter der Annahme der Unabhängigkeit abweichen.

Zur Ableitung der Signifikanz bei zwei unabhängigen Stichproben wurde der Mann-Whitney-U-Test verwendet. Dieser Test erschien besonders geeignet, da er keine Annahme über die Normalverteilung der Daten voraussetzt, was angesichts der Verteilungsmerkmale der klinischen Daten zur Auswahl des Tests führte.

Der Test eignet sich ideal zum Vergleich von zwei unabhängigen Gruppen. Die statistische Signifikanz wurde auf  $p \leq 0,05$  festgesetzt.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Deskriptive Auswertung der Patientencharakteristika und der Komplikationen

In die Studie wurden 121 Patienten eingeschlossen, davon 64 Frauen (52,9 %) und 57 Männer (47,1 %). Das mittlere Alter der Patientenkohorte betrug 22,8 ( $\pm 6,1$  SD [Interquartilsabstand 15,0 bis 44,0 Jahre]); (Abb.14; Abb.15).

Statistisch signifikante Ergebnisse ( $p = < 0,05$ ) wurden für eine detaillierte Analyse berücksichtigt, da sie ein Verwerfen der Nullhypothese als wahrscheinlich erscheinen lassen. Parameter mit einem p-Wert von  $\geq 0,15$  wurden aus Übersichtsgründen nicht detailliert betrachtet, da für diese eine Annahme der Nullhypothese als wahrscheinlich gilt.

Folgende Parameter zeigten keine statistische Signifikanz zu den untersuchten postoperativen dentogenen und nicht-dentogenen Komplikationen: Alter, Geschlecht, präoperative Medikamenteneinnahme, Allergien, Raucherstatus, Winkel zwischen Frontzahnwurzeln und Nasenboden (DVT-Vermessung), Abstand zwischen den Wurzelspitzen der Frontzähne (DVT-Vermessung), Winkel der Frontzähne zum Oberkiefer und zur Schädelbasis (aus FRS-Aufnahmen), Art des Kreuzbisses, Dauer der kieferorthopädischen Behandlung, Dehnungsausmaß (Modellauswertung)

Die häufigste Komplikation nach SARPE war die Wurzelresorption der Frontzähne.

32,23 % (n = 39) der 121 Patienten zeigten **Wurzelresorptionen** an den Frontzähnen.

4,13 % (n = 5) der 121 Patienten zeigten **Frontzahnlockerung** nach SARPE.

7,44 % (n = 9) der 121 Patienten zeigten postoperative Komplikationen nicht-dentogener Art (z.B. **Epistaxis, Hämorrhagie**)

0,82 % (n = 1) der 121 Patienten zeigte eine **asymmetrische Expansion** der Maxilla.

Kein Patient (n = 0) zeigte **Frontzahnverlust** oder Frontzahnfraktur nach SARPE.

Kein Patient (n = 0) zeigte eine **palatinale Nekrose der Gingiva** nach SARPE (Abb.16).

Die drei am häufigsten aufgetretenen Komplikationen (Wurzelresorption, Frontzahnlockerung, nicht-dentogene Komplikationen) wurden hinsichtlich der formulierten Parameter statistisch analysiert.

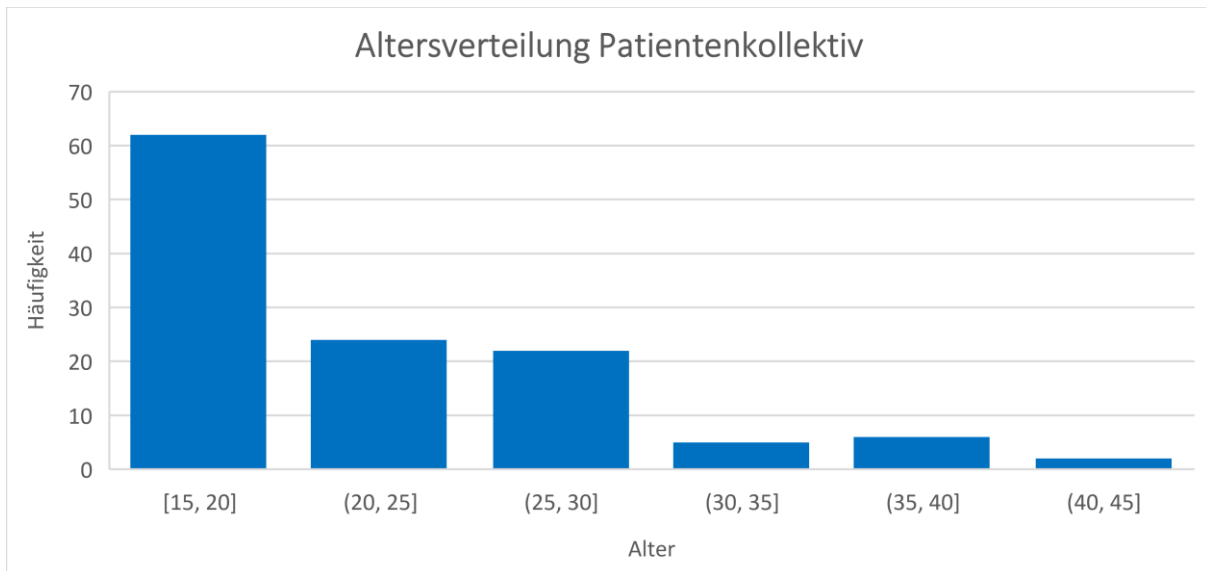


Abb. 14: Altersverteilung des Patientenkollektivs; es zeigt sich ein erhöhter Anteil in der Altersgruppe 15-20 Jahre, welcher mit zunehmendem Alter absinkt (Word).

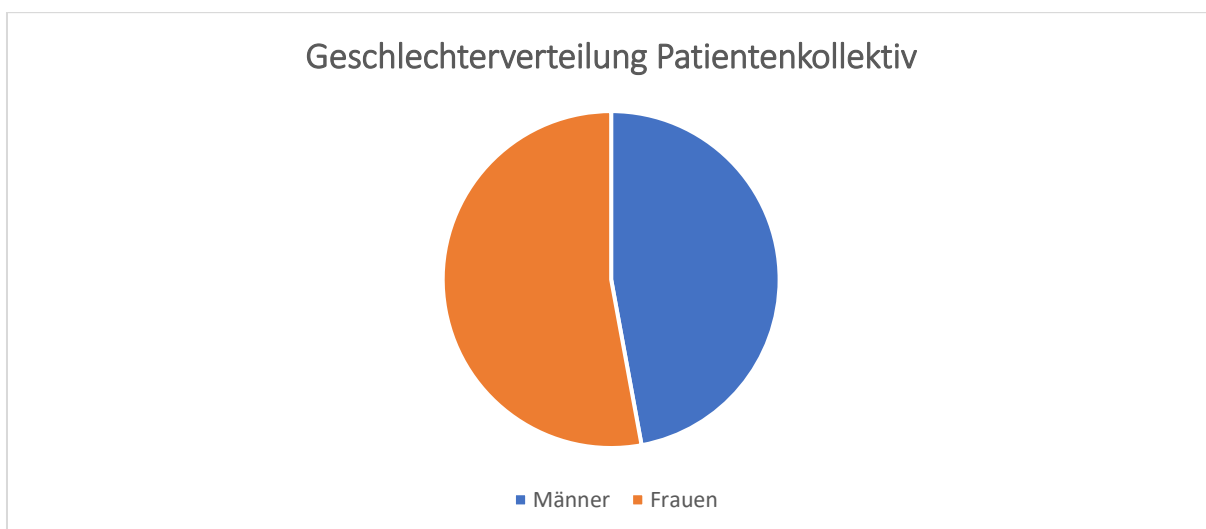


Abb. 15: Geschlechterverteilung der untersuchten Patientengruppe mit leicht erhöhtem Anteil an Frauen (Word).

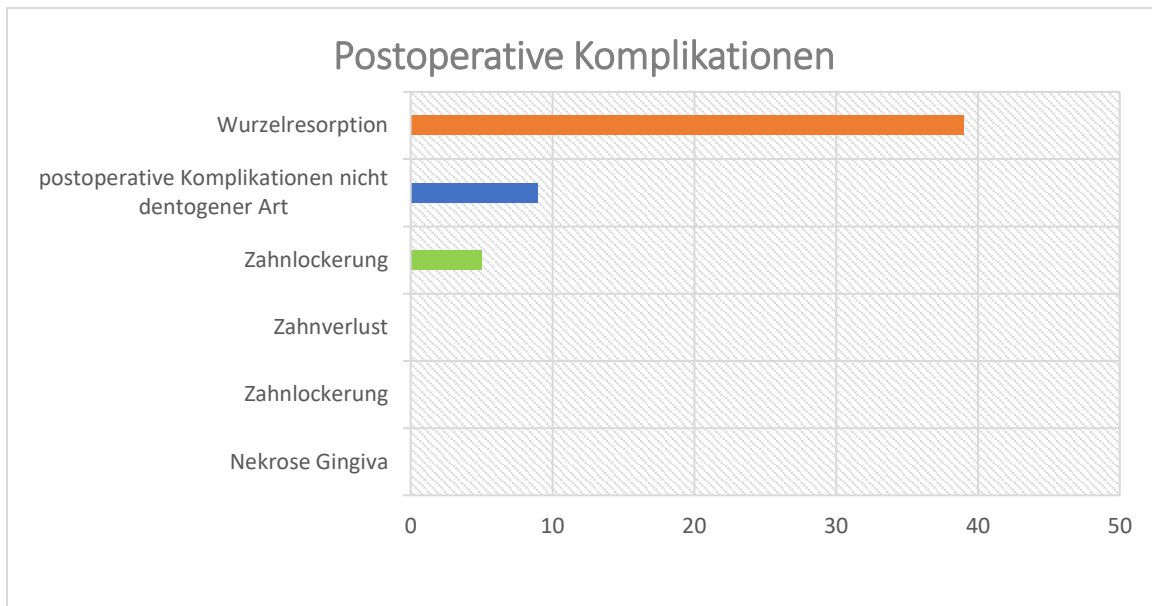


Abb. 16: Verteilung der Komplikationen nach cGNE (Word).

## 4.2 Ergebnisse DVT- Messungen

Der interdentaler Abstand (postoperativ) zwischen den Zähnen 11 und 21 zeigte eine tendenzielle Signifikanz, Medianwert 2,50 mm (IQR: 1,85-3,51 mm,  $p < 0,06$ ), in Bezug auf die Komplikation einer Frontzahnlockerung bei 52 ausgewerteten DVT-Aufnahmen (Tab. 1).

Komplikation	Asymp . Syg. (2-seitig)	Mann-Whitney-U-Test	Standard-Abweichung	25. Quartil	Median 50. Quartil	75. Quartil	Mittelwert	N
Frontzahnlockerung								
DVT postoperativ interdentaler Abstand Zähne 11 und 21 (mm)	,060	10,50	1,39	1,85	2,50	3,51	2,87	52

Tab. 1: Auftreten der Frontzahnlockerung an den Zähnen 11 und 21 in Relation zum interdentalen Abstand (postoperative DVT-Messung) (Word).

Präoperative DVT-Messungen (n = 54) des interdentalen Abstands der Zähne 11 und 21 waren statistisch signifikant (2,06 mm [IQR: 1,63-2,88 mm, p < 0,02]). Ebenfalls signifikant waren die Differenzen der Wurzellängen von Zahn 11 (0,66 mm [IQR: 0,00-1,64 mm, p < 0,00]) bei n = 50 DVT-Aufnahmen und Zahn 21 (0,35 mm [IQR: 0,00-1,18 mm, p < 0,00]) bei n= 51 DVT-Aufnahmen. Das Auftreten von Wurzelresorptionen wurde anhand der prä- und postoperativen Differenz der apikalen Wurzellängen der Zähne 11 und 21 analysiert. Die Differenz und postoperativen Wurzellängen der Inzisiven 11 und 21 (DVT) sind der Vollständigkeit halber aufgeführt: Zahn 11 (11,76 mm [IQR: 9,48-12,65 mm, p < 0,00]) bei n = 50 DVT-Bilder; Zahn 21 (11,65 mm [IQR: 9,11-12,84 mm, p < 0,00]) bei n = 51 DVT-Bilder (Tab. 2).

<b>Komplikation Wurzelresorption</b>	Asymp. Syg. (2-seitig)	Mann-Whitney-U-Test	Standard-Abweichung	25. Quartil	50. Quartil	75. Quartil	Mittelwert	N
<b>DVT interdental 11 und 21 präoperativ (mm)</b>	,024	214,50	1,22	1,63	2,06	2,88	2,29	54
Differenz Wurzellänge Inzisivus 21 (mm)	<,001	49,50	1,13	0,00	0,35	1,18	0,92	51
Differenz Wurzellänge Inzisivus 11 (mm)	<,001	31,00	1,27	0,00	0,66	1,64	1,00	50
DVT postoperativ Wurzellänge Inzisivus 11 (mm)	,003	139,00	2,17	9,48	11,76	12,65	11,24	50
DVT postoperativ Wurzellänge Inzisivus 21 (mm)	<,001	127,50	2,28	9,11	11,65	12,84	11,28	51

Tab. 2: Auftreten von Wurzelresorptionen in Relation zum präoperativen interdentalen Abstand (Word).

Das Auftreten der Wurzelresorption zeigte einen signifikanten Zusammenhang zu den DVT-Messungen der Gaumennahtbreite (präoperativ). Insgesamt wurden 44 DVT-Aufnahmen vermessen. Die Gaumennaht wurde an vier unterschiedlichen Stellen von posterior nach anterior vermessen. Der erste (0,68 mm [IQR: 0,51-0,84 mm,  $p < 0,01$ ]) und zweite Messpunkt (0,68 mm [IQR: 0,50-0,97 mm,  $p < 0,03$ ]) zeigten statistische Signifikanz. Letztere nahm nach anterior hin ab, wobei der dritte (0,54 mm [IQR: 0,38-0,84 mm,  $p < 0,10$ ]) und vierte Messpunkt (0,53 mm [0,38-0,84 mm,  $p < 0,08$ ]) keine Signifikanz aufwiesen (Tab. 3).

<b>Komplikation</b>	Asymp. Syg. (2-seitig)	Mann-Whitney-U-Test	Standard-Abweichung	25. Quartil	Median 50. Quartil	75. Quartil	Mittelwert	N
DVT präoperativ <b>erster Messpunkt</b> Gaumennaht (posterior) (mm)	0,006	116,50	0,42	0,51	0,68	0,84	0,77	44
DVT präoperativ <b>zweiter Messpunkt</b> Gaumennaht (mm)	0,029	139,5	0,45	0,50	0,68	0,97	0,79	44
DVT präoperativ <b>dritter Messpunkt</b> Gaumennaht (mm)	0,096	160,5	0,37	0,38	0,54	0,84	0,65	44
DVT präoperativ <b>vierter Messpunkt</b> Gaumennaht anterior (mm)	0,076	156,00	0,37	0,38	0,53	0,84	0,64	44

Tab. 3: Auftreten von Wurzelresorptionen in Relation zur präoperativen Breite der Gaumennaht an vier Messstellen von posterior nach anterior (Word).

Von 44 Patienten, bei denen eine Darstellung der Gaumennaht im präoperativen DVT möglich war, zeigten 15 eine kortikale und 29 Patienten eine spongiöse Struktur der Gaumennaht. Wurzelresorptionen traten sowohl bei kortikaler (n = 8; 53,3 %) als auch bei spongiöser Struktur der Gaumennaht auf (n = 19; 65,5 %). Bei einer kortikalen Struktur traten seltener Wurzelresorptionen auf als bei einer spongiösen Struktur der Gaumennaht ( $p < 0.001$ ); (Tab. 4).

Komplikation Wurzelresorption	Kortikale Struktur der Gaumennaht	Spongiöse Struktur der Gaumennaht	p-Wert
Anzahl der Patienten	n=15	n=29	<0,001
Wurzelresorptionen	n=8	n=19	
Keine Wurzelresorptionen	n=7	n=10	

Tab. 4: Auftreten von Wurzelresorptionen in Bezug auf die Gaumennahtstruktur (Word).

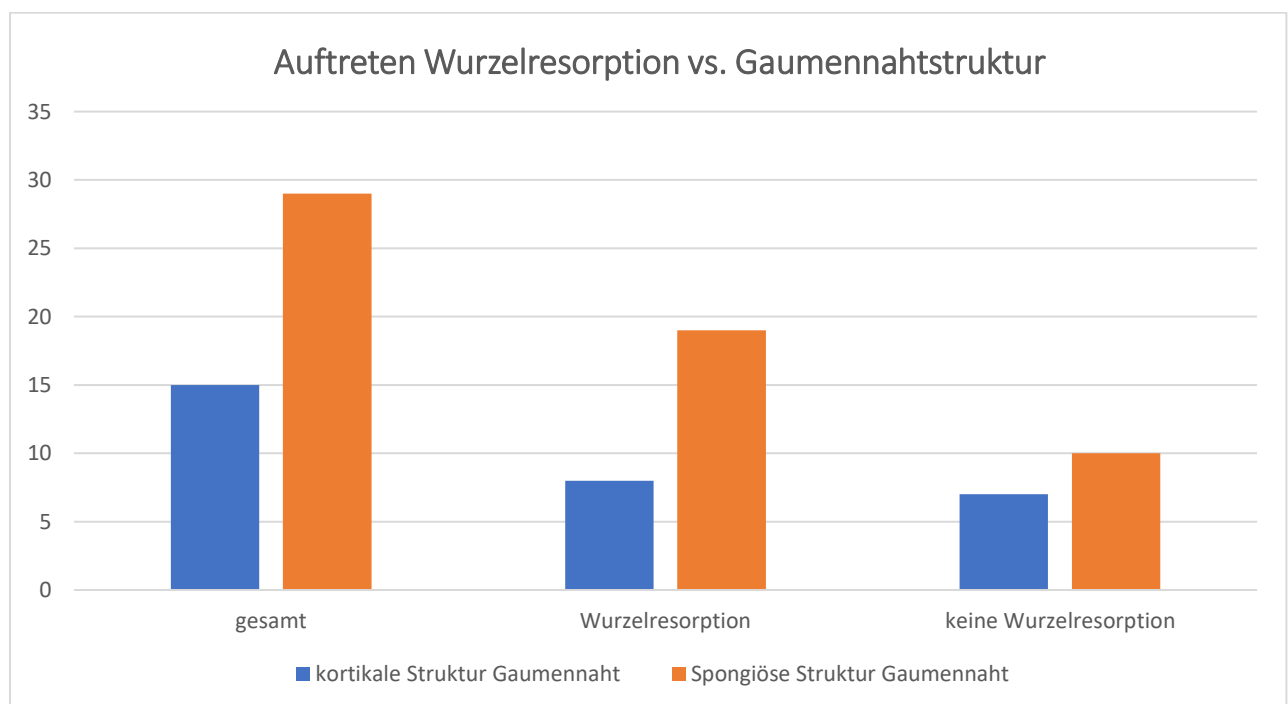


Abb. 17: Auftreten von Wurzelresorptionen im Vergleich zur Struktur der Gaumennaht (spongiös/kortikal); (Word).

Folgende Parameter zeigten keine statistisch signifikanten Ergebnisse bezogen auf die untersuchten postoperativen dentogenen und nicht-dentogenen Komplikationen: Winkel zwischen radiologischen Apices und Nasenboden (DVT-Vermessung), interradiikulärer Abstand zwischen den Wurzelspitzen der Zähne 11 und 21 (DVT-Vermessung) und Winkel der Frontzähne zur Maxilla und Schädelbasis (aus FRS-Aufnahmen).

#### 4.3 Ergebnisse der statistischen Auswertung der speziellen Parameter

In der retrospektiven Analyse der 121 Patienten zeigten 47 Patienten eine vertikale Diskrepanz. 74 Patienten wiesen keine vertikale Diskrepanz der Kieferrelation auf.

Bei Patienten mit vertikaler Diskrepanz als potenziellen Risikofaktor (n = 21; 44,7 %) trat die Komplikation einer Wurzelresorption häufiger auf als bei Patienten ohne vertikale Malokklusion (n = 18 [24,3 %; p < 0,02]); (Tab. 5).

<b>Komplikation</b>	Vertikale Malokklusion	Keine vertikale Malokklusion	p-Wert
Anzahl Patienten	n=47	n=74	<0,02
Wurzelresorption	n=21	n=18	
Keine Wurzelresorption	n=26	n=56	

Tab. 5: Erhöhtes Auftreten der Wurzelresorption beim Risikofaktor einer vertikalen Diskrepanz (Word).

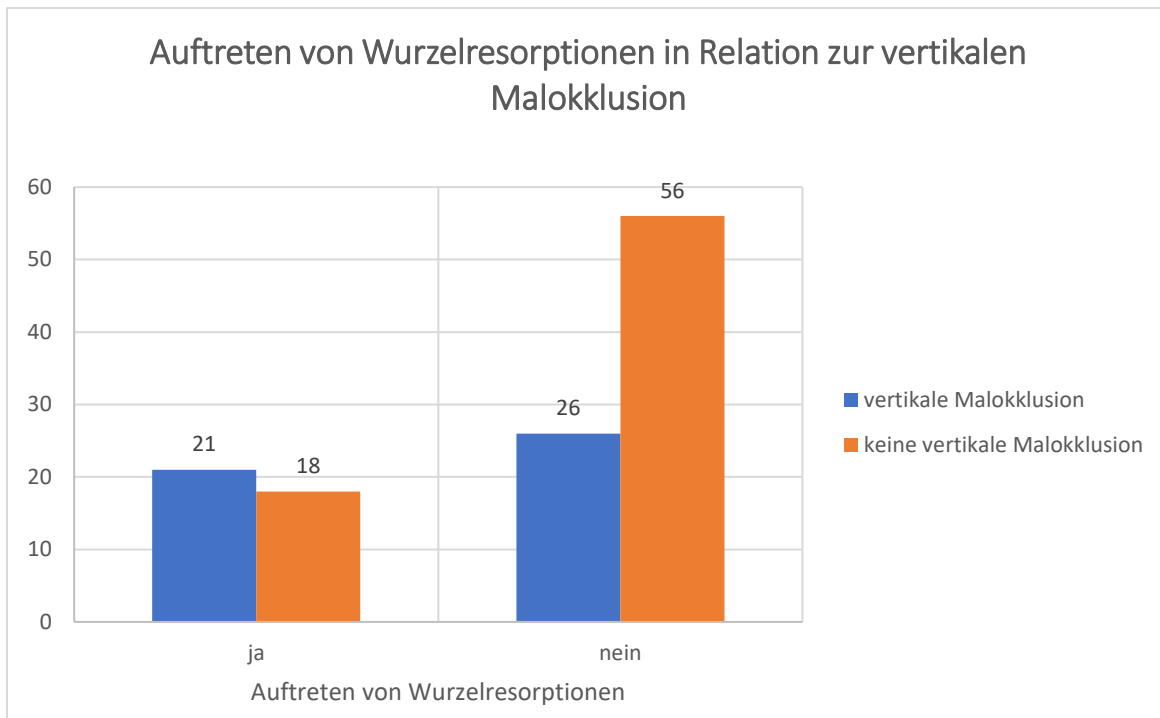


Abb. 18: Auftreten der Wurzelresorption in Relation zur vertikalen Diskrepanz (Word).

Die Daten stellen das Auftreten von Wurzelresorptionen im Vergleich von Extraktionspatienten zu Nicht-Extraktionspatienten dar ( $p = 0,08$ ). Bei 18 Patienten wurden vor SARPE Zähne aufgrund von Platzmangel oder Engstand im Zahnbogen extrahiert. Bei 103 Patienten erfolgte keine Zahnextraktion vor SARPE. Neun der 18 Extraktionspatienten (50,0 %) und 30 der 103 Nicht-Extraktionspatienten (29,1 %) zeigten Wurzelresorptionen der zentralen maxillären Inzisiven (Tab. 6).

Komplikation	Extraktionspatienten	Non-Ex-Patienten	p-Wert
<b>Wurzelresorption</b>			
Anzahl Patienten	n=18	n=103	0,08
Wurzelresorption	n=9	n=30	
Keine Wurzelresorption	n=9	n=73	

Tab. 6: Auftreten der Wurzelresorption bei Extraktions- vs. Nicht-Extraktionspatienten (Word).

Wurzelresorptionen traten sowohl bei kieferorthopädisch/dentoalveolär kompensierten als auch bei kieferorthopädisch dekompenzierten Patienten, die im Nachgang eine Umstellungsosteotomie erhielten, auf. 45 Patienten wurden aufgrund lückenhafter Daten aus der Analyse ausgeschlossen. Von den verbleibenden 76 Patienten wurde bei 11 die Zahnfehlstellung kompensiert. In dieser Gruppe zeigten vier Patienten Wurzelresorptionen (36,4 %). Bei den verbleibenden 65 Patienten wurde die Malokklusion kieferorthopädisch dekompenziert und durch zusätzliche Umstellungsosteotomie chirurgisch korrigiert, davon zeigten 26 Patienten (40,0 %) Wurzelresorptionen der Frontzähne 11 und 21 ( $p < 0.15$ ); (Tab. 7).

<b>Komplikation</b>	Kieferorthopädische Kompensation	Kieferorthopädische Dekomensation	p-Wert
<b>Wurzelresorption</b>			
Anzahl Patienten	n=11	n=65	0,145
Wurzelresorption	n=4	n=26	
Keine Wurzelresorption	n=7	n=39	

Tab. 7: Auftreten von Wurzelresorptionen bei kompensierten und dekompenzierten Patienten (Word).

Ein Patient mit Angle-Klasse I, 28 Patienten mit Angle-Klasse II und 71 Patienten mit Angle-Klasse III wurden mittels SARPE operiert. 21 Patienten wurden aufgrund fehlender Dokumentation bezüglich sagittaler Zahnfehlstellungen von der statistischen Analyse ausgeschlossen. Postoperative Komplikationen nicht-dentogener Art (z.B. Nasenbluten und Sensibilitätsverlust) wurden hinsichtlich des Einflusses der Angle-Klasse analysiert.

Der Patient mit Angle-Klasse I zeigte postoperative Komplikationen ( $n = 1$ ; 100 %). Vier von 28 Patienten in der Angle-Klasse-II Gruppe (14,3 %) und vier von 71 Patienten aus der Angle-Klasse-III Gruppe (5,6 %) zeigten nicht-dentogene Komplikationen ( $p < 0.00$ ); (Tab. 8; Abb. 19).

<b>Postoperative Komplikationen ohne dentogenen Bezug</b>	Angle- Klasse I	Angle- Klasse II	Angle- Klasse III	p-Wert
Anzahl Patienten	n=1	n=28	n=71	0,002
Postoperative Komplikationen	n=1	n=4	n=4	
Keine postoperativen Komplikationen	n=0	n=24	n=67	

Tab. 8: Postoperative Komplikationen nicht-dentogener Art in Relation zu den Angle-Klassen I, II und III; häufigeres Auftreten der Komplikationen in der Angle-Klasse-II-Gruppe (Word).

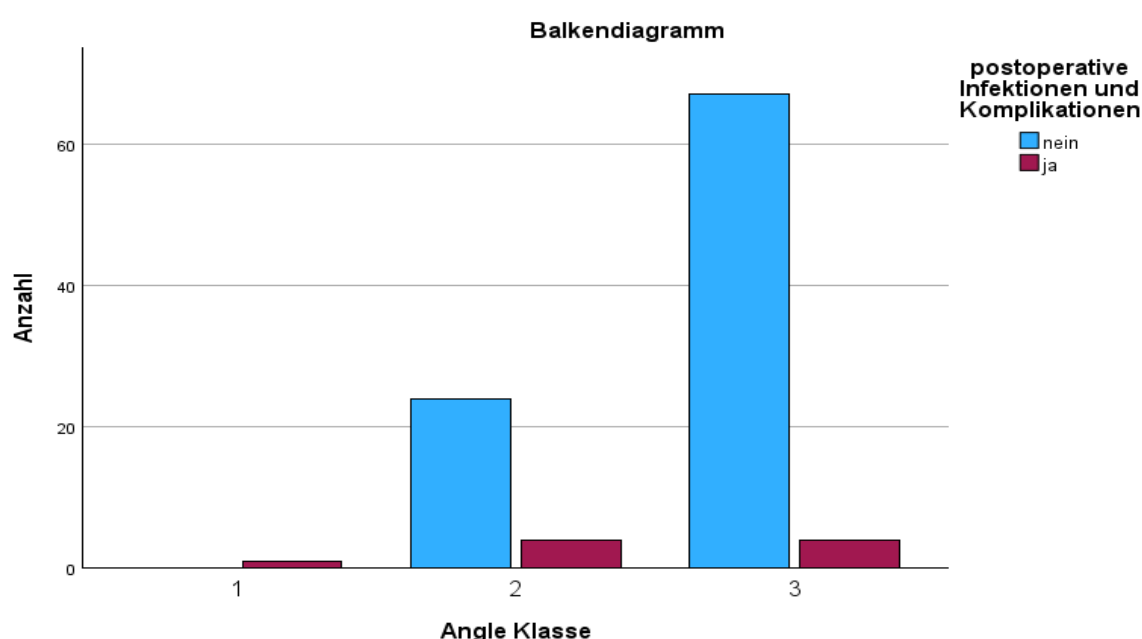


Abb. 19: Auftreten postoperativer Komplikationen nicht-dentogener Art in Relation zu den Angle-Klassen I, II und III (SPSS).

Folgende Parameter zeigten keine statistische Signifikanz in Bezug auf die untersuchten postoperativen dentogenen und nicht-dentogenen Komplikationen: Art des Kreuzbisses, Dauer der kieferorthopädischen Behandlung, Dehnungsausmaß (Modellauswertung).

#### 4.4 Ergebnisse der statistischen Auswertung der allgemeinen Parameter

Die Dauer des Krankenhausaufenthaltes konnte bei zwölf Patienten aufgrund fehlender Akteneinträge nicht berücksichtigt werden. 89 Patienten hielten sich zwischen einem und fünf Tagen im Krankenhaus auf.

Acht dieser Patienten (9,0 %) zeigten postoperative Komplikationen nicht-dentogener Art. 20 Patienten wurden länger als fünf Tage im Krankenhaus zur Nachsorge behalten, wovon ein Patient (n = 1; 5,0 %) postoperative Komplikationen nicht-dentogener Art hatte ( $p < 0,00$ ). Patienten mit einem längeren Krankenhausaufenthalt (> 5 Tage) zeigten geringere postoperative Komplikationen (Tab. 9).

<b>Postoperative Komplikationen (ohne dentogenen Bezug)</b>	Länge Krankenhausaufenthalt 1-5 Tage	Länge Krankenhausaufenthalt 6-10 Tage	p-Wert
Anzahl Patienten	n=89	n=20	0,002
Postoperative Komplikationen	n=8	n=1	
Keine postoperativen Komplikationen	n=81	n=19	

Tab. 9: Auftreten von postoperativen Komplikationen nicht-dentogener Art und Dauer des Krankenhausaufenthaltes (Word).

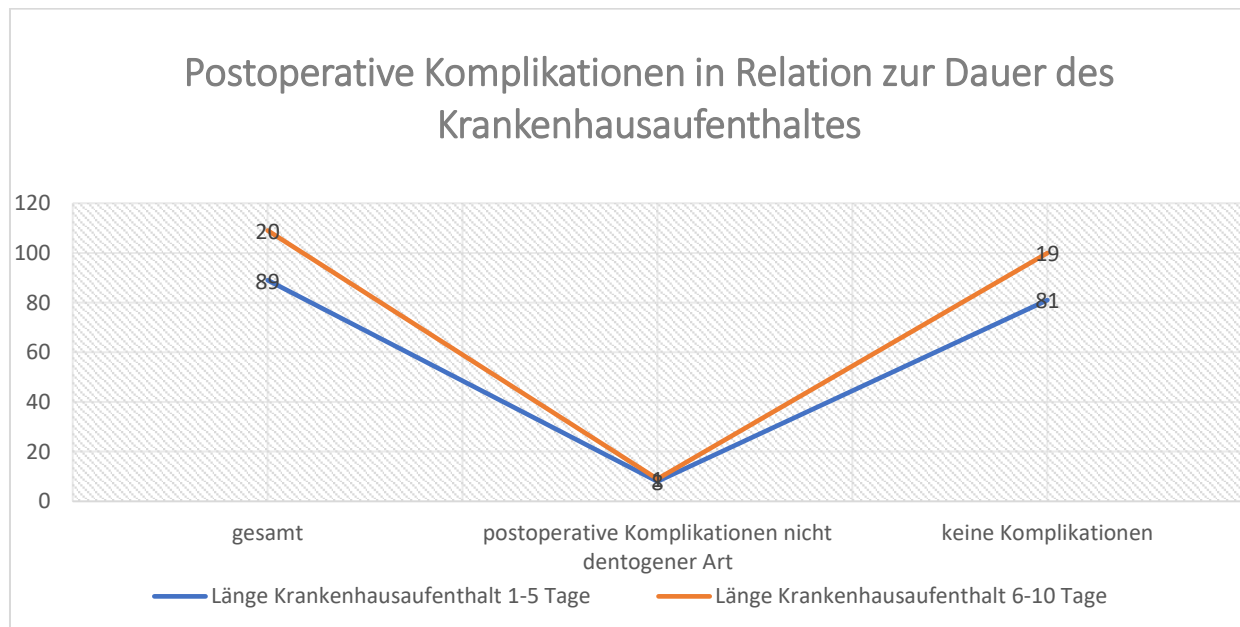


Abb. 20: Postoperative Komplikationen nicht-dentogener Art vs. Dauer Krankenhausaufenthalt 1-5 Tage und 6-10 Tage (Word).

Folgende Parameter zeigten keine statistisch signifikanten Ergebnisse bezogen auf die untersuchten postoperativen dentogenen und nicht-dentogenen Risiken: Alter (zum Operationszeitpunkt), Geschlecht, präoperative Medikamenteneinnahme, Allergien und Raucherstatus der Patienten.

## **5. Diskussion**

Die chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung gilt heutzutage gemäß aktueller Literatur als risikoarmes operatives Verfahren, bei dem lebensbedrohliche Komplikationen als niedrig einzustufen sind [17,19,21]. Hinsichtlich der transversalen Erweiterung der Maxilla zeigt die cGNE stabile Ergebnisse [22,23]. Obwohl es mehrere Studien zur Risikobewertung der cGNE gibt, fehlt es an umfassenden Untersuchungen zur Risikobewertung der dauerhaften Schäden an den zentralen Inzisiven über einen längeren Zeitraum hinweg. Die vorliegende retrospektive Studie über einen Zeitraum von vierzehn Jahren ergänzt bisherige Forschungsergebnisse, indem sie Aussagen über die Komplikationsraten an den Frontzähnen 11 und 21 ermöglicht. Die Ergebnisse aus der vorliegenden Studie zeigen, dass Frontzahnlockerungen, nicht-dentogene Komplikationen und asymmetrische Expansion der Maxilla seltene Risikofaktoren nach einer cGNE sind. Demgegenüber geht aus der Auswertung der Daten hervor, dass Wurzelresorptionen als häufigere Komplikation auftreten. Die gewonnenen Erkenntnisse tragen dazu bei, Risiken frühzeitig zu identifizieren und das Komplikationsmanagement zu optimieren.

### **5.1 Diskussion von Material und Methoden**

Ein heterogenes Patientenkollektiv mit unterschiedlichen Altersklassen und Malokklusionen wurde ausgewählt, um die alltägliche klinische Krankenversorgung bestmöglich abzubilden. Andere Studien untersuchten ebenfalls eine breit gestreute Altersklasse mit unterschiedlicher Patientenzahl [19,27]. Ein Zeitraum von mehr als zehn Jahren ermöglichte die Erfassung von Spätfolgen.

Die umfangreiche Auswahl an Parametern diente dazu, vielfältige Einflüsse auf mögliche Schäden an den zentralen Inzisiven zu untersuchen.

Nicht alle Parameter stellten sich im Nachhinein als statistisch signifikant heraus, und wurden somit nicht näher betrachtet. Ihre Erfassung war jedoch wichtig zur vollständigen

Dokumentation der Datenbasis. Die Vermessung der Modelle und Röntgenbilder, sowie statistische Auswertung wurden durch die Doktorandin selbst durchgeführt, um persönliche Präferenzen und Einflüsse verschiedener Untersucher und damit potenziell verbundene Fehlerquellen zu minimieren. Die Operationen und kieferorthopädischen Behandlungen, sowie Dokumentationen wurden von unterschiedlichen Behandlern durchgeführt, erfolgten nicht unter einem standardisierten Protokoll und könnten somit Einfluss geübt haben auf die Ergebnisse. Für eine Bestätigung der hier präsentierten Ergebnisse wäre eine prospektive, randomisierte und kontrollierte Studie wünschenswert.

## **5.2. Diskussion der Ergebnisse**

### **5.2.1 Diskussion im Hinblick auf dentogene Komplikationen an den zentralen Inzisiven**

Die untersuchten Daten lassen erkennen, dass Wurzelresorptionen der Inzisiven 11 und 21 die häufigste Komplikation nach cGNE darstellen ( $n = 39$ ; 32,2 %). Dies steht im Einklang mit der Literatur, die Wurzelresorptionen der zentralen Inzisiven als häufige Komplikation der kieferorthopädischen Behandlung beschreibt [27,52,53]. Nowak et al. beschreiben, dass späte Komplikationen bei den zentralen Oberkieferinzisiven gehäuft auftreten [27]. Die Studie von Bryce Williams et al. bestätigt, dass die dentogenen Komplikationen besonders die zentralen Inzisiven betreffen [17]. Die Frage, inwieweit chirurgische Aspekte die Wurzelresorption beeinflussen, bleibt in der Literatur offen [27]. Bei Williams et al. wiesen zwei Fälle Frontzahnverlust auf und 15,0 % der Gruppe hatten dentogene Komplikationen [17]. Smeets et al. zeigten in der Analyse der Komplikationsrate basierend auf Dindo-Clavien [25] nach cGNE, dass es zu keinem Zahnverlust kam [24]. Bei Verquin et al. und Nowak et al. trat gleichermaßen kein Zahnverlust auf [19,27].

Dies unterstützt ebenfalls das Ergebnis der hier diskutierten Daten ( $n = 0$ ) und unterstreicht die Sicherheit des Verfahrens in dieser Hinsicht.

Hinsichtlich der Frontzahnlockerung wurden in der vorliegenden Studie fünf Fälle (n = 5; 4,1 %) beobachtet (Abb. 16). Dies liegt etwas höher als bei Smeets et al. (n = 2; 1,8 %) [24], Nowak et al. (n = 5; 2,7%) [27] und Verquin et al. (n = 2; 3,6%) [19]. In der Literatur wird beschrieben, dass die Komplikation einer Frontzahnlockerung durch eine verlängerte Retention des kieferorthopädischen Gerätes ohne Aktivierung behandelbar ist [27,52,53]. In den hier untersuchten Studienunterlagen lag hierzu keine eindeutige Dokumentation vor.

Bei Nowak et al. traten lediglich zwei Fälle einer Wurzelresorption auf. Die erhobenen Daten zeigen eine höhere Inzidenz von Wurzelresorptionen (n = 39) (Abb. 16). Dies könnte durch den speziellen Fokus auf die DVT-Bildgebung und die detaillierte Vermessung der zentralen Inzisiven erklärt werden. Vergleichend dazu liegt in der Studie von Verlinden et al. die Inzidenz für Inzisiven-Resorptionen bei 28,6 % [35]. Die in dieser Studie diskutierten Daten stimmen eher mit der zuletzt genannten Untersuchung überein.

In der Literatur wird darauf hingewiesen, dass parodontale Komplikationen häufig bei tooth-borne Expandern auftreten und Komplikationen der zentralen Inzisiven sowohl bei tooth-borne und als auch bei bone-borne Expandern auftreten können [27,54]. Martin et al. untersuchten Veränderungen am Alveolarknochen nach SARME mit tooth-borne Expandern und stellten dabei fest, dass nach cGNE und bei dental abgestützten Dehnapparaturen häufig Knochenverluste, sowie Wurzelresorptionen an den Oberkiefermolaren zu beobachten sind [47]. Bei Patienten mit tooth-borne Expandern können laut Shetty et al. Wurzelresorptionen außerhalb des Wachstumszeitraums auftreten [36]. Ein dünner gingivaler Phänotyp wird mit dem Auftreten von Rezessionen in Verbindung gebracht [61,36]. Dies sollte bei der Auswahl der Erweiterungsapparatur berücksichtigt werden [36]. Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass zahngetragene Expansionsapparaturen mehr Kraft auf die Zähne ausüben und auch dadurch Wurzelresorptionen begünstigt werden [48,49,50,51]. In der an dieser Stelle diskutierten Studiengruppe wurden tooth-borne Expander verwendet. Da keine Vergleichsfälle mit bone-borne Expandern dokumentiert waren, kann keine Aussage getroffen werden, ob die eingesetzten tooth-borne Expander im Vergleich zu bone-borne Expandern das Auftreten der beobachteten Wurzelresorptionen an den zentralen Inzisiven begünstigt haben. Obwohl die eingesetzten tooth-borne Expander auf Prämolaren und Molaren abgestützt sind und die Kräfte primär dort übertragen werden, ist nicht hundertprozentig auszuschließen, dass sie dentogene Komplikationen an den Zähnen 11 und 21 beeinflusst haben könnten. Es könnte jedoch in Betracht gezogen werden, dass bei bereits präexistierenden Wurzelresorptionen ein bone-borne Expander oder ein anderer chirurgischer Zugang gewählt verwendet werden sollte.

In mehreren Studien wird die multifaktorielle Ätiologie dentogener Komplikationen an den maxillären zentralen Inzisiven belegt [27,29,55]. Dentale Komplikationen machen bis zu 20 % der SARPE-Behandlungen aus [17,27,35,56]. Die diskutierten Daten entsprechen dieser Annahme mit einem Auftreten von 32,2 % Wurzelresorptionen und 4,1 % Zahnlockerungen der Zähne 11 und 21. Die Ergebnisse von Kasey Li und Christian Guilleminault bei verringerter Patientenanzahl (n = 22), davon erhielten sechs eine cGNE, legen dar, dass knöcherne Defekte vermehrt an den zentralen Inzisiven festzustellen waren [45]. Die vorliegenden Ergebnisse mit einer größeren Patientenanzahl (n = 121) bekräftigen zudem, dass mit einem vermehrten Auftreten von Wurzelresorptionen an den Zähnen 11 und 21 zu rechnen ist.

### **5.2.1.2 Diskussion der DVT-Vermessungen im Hinblick auf dentogene Komplikationen**

Die Ergebnisse legen nahe, dass insbesondere die Wurzelresorption als erhöhtes dentales postoperatives Risiko einzustufen ist. Der interdentale Abstand der Zähne 11 und 21 korreliert mit dem Auftreten von Zahnlockerungen und Wurzelresorptionen (Tab. 1 und Tab. 2). In der Studie von Gauthier et al. konnte festgestellt werden, dass SARPE die interdentale Reduktion des Alveolarknochens mesial der zentralen Inzisiven beeinflusst [34]. Diese Annahme wird durch die Studie von Williams et al. belegt, derer zufolge bei fast einem Drittel aller Patienten dentogene Komplikationen auftreten, darunter knöcherne Defekte mesial der zentralen Inzisiven [17,35,56]. Die Ergebnisse aus Tabelle eins und zwei komplementieren diese Aussage, da sie einen Zusammenhang mit dem interdentalen Abstand (mesial gemessen im DVT) und dem Auftreten von Zahnlockerung und Wurzelresorption annehmen lassen.

Laut Goddard et al. birgt der mediane Schnitt zwischen den zentralen Inzisiven 11 und 21 das Risiko die Wurzeln, das Knochen- und Weichgewebe dieser Zähne nachhaltig zu beschädigen [31]. Um einen dauerhaften Schaden an den zentralen Inzisiven zu vermeiden, wird in der Literatur empfohlen, den Wurzelabstand präoperativ kieferorthopädisch einzustellen [62,63].

Mordenfeld und Anderssons Ergebnisse bei 20 untersuchten Patienten zeigen konträr keinen signifikanten Knochenverlust im mesialen Bereich der zentralen Inzisiven [70]. An einem Zahn wurde eine Wurzelresorption im mittleren Anteil der Wurzel festgestellt [70]. Zwei Zähne zeigten Verletzungen der Wurzeloberfläche, jedoch wurden Komplikationen, bezogen auf die zentralen Inzisiven nach Mittellinien-Le-Fort-I-Osteotomie, bei einer deutlich geringeren Patientenanzahl untersucht [70].

Degin et al. beschreiben keine gingivalen Rezessionen oder Knochenverlust nach drei Monaten Follow-up bei einer ebenfalls kleineren Probandengruppe von 60 Patienten [20]. Der Aspekt einer verringerten Studiengruppe hat eventuell Einfluss auf die unterschiedlichen Ergebnisse. Die hier diskutierten Ergebnisse legen nahe, dass der interdentaler Abstand im präoperativen DVT mit dem Auftreten von Zahnlockerungen und Wurzelresorptionen korreliert. Der Einfluss des interdentalen Abstandes im präoperativen DVT wurde als Alternativhypothese angenommen und könnte zu einem erhöhten Auftreten von Wurzelresorption und Zahnlockerung führen (Tab. 1; Tab. 2). Weitere Studien erscheinen empfehlenswert, um abzuklären, ob bei Risikopatienten ein Ausmessen des interdentalen Abstandes der zentralen Inzisiven im DVT bei der Behandlungsplanung in Betracht zu ziehen ist, um Wurzelresorptionen und parodontale Schäden zu vermeiden. Zudem sollte untersucht werden, ob eine paramediane Inzision bei verringertem interdentaler Abstand das Risiko besonders bei parodontal vorgeschädigten Zähnen verringern könnte.

Romano et al. haben in ihrer Studie ebenfalls Punkte vor, während, und nach SARPE im DVT vermessen und konnten feststellen, dass die Inzisiven nach anterior bewegt worden sind [42]. Bei der Auswertung der Ergebnisse bezogen auf die Messungen des Winkels zwischen den Wurzelspitzen und dem Nasenboden und den dokumentierten FRS-Winkeln (NL-IOK, Interinzisalwinkel, I-NA-Ebene) zeigte sich keine statistische Signifikanz. Somit konnte eine Relation zum Auftreten dentogener und nicht-dentogener Komplikationen ausgeschlossen werden (Annahme der Nullhypothese). Daraus lässt sich schlussfolgern, dass der präoperative Protrusionsgrad der zentralen maxillären Inzisiven keinen Einfluss auf dentogene und nicht-dentogene Komplikationen aufweist.

Akyalcin et al. untersuchten ebenfalls DVT-Aufnahmen mit Schwerpunkt auf Wurzelresorptionen nach RME. In der Studie wurden Messungen der Wurzellängen von Molaren und Prämolaren durchgeführt mit dem Ergebnis, dass die Wurzeln durchschnittlich eine Verkürzung von 0.36-0.52 mm (postoperativ), besonders im bukkalen und apikalen Bereich zeigten [29]. Baysal et al. Untersuchungen analysierten ebenfalls das Auftreten von Wurzelresorptionen im Zusammenhang mit Messungen der Wurzellängen von Molaren und Prämolaren vor und nach RME [60]. In der Analyse von DVT-Bildern bei 29 Patienten, die eine SARPE (Le-Fort-I-Osteotomie mit zentralem Schnitt zwischen den Inzisiven) erhielten, unter Verwendung dental abgestützter Hyrax-Apparaturen, konnten Romano et al. zeigen, dass häufig postoperativ Dehiszenzen zu beobachten sind, besonders an den Oberkiefermolaren wie bei Martin et al. [47], aber auch die Dentales canini betreffen: 35,4 % alveoläre Defekte bei 279 analysierten Zähnen [43].

Aus der aktuellen Literatur lassen sich jedoch keine aussagekräftigen Rückschlüsse zur Risikobewertung bezüglich der zentralen maxillären Inzisiven schließen. Es wird zusätzlich erläutert, dass ein Knochenverlust der posterioren Zähne auftritt, ungeachtet dessen, ob die SARPE mit oder ohne Disjunktion des Pterygoids durchgeführt wird [43,64]. Dieser Knochenverlust könnte eventuell mit der Kippung des maxillären Knochens in Zusammenhang stehen [43,65]. Es erscheint plausibel in weiteren Untersuchungen abzuklären, ob diese Aussage auf die anterioren Zähne 11 und 21 zutrifft.

Die Ergebnisse in der Messung der Differenz der Wurzellängen (Zähne 11 und 21) prä- und postoperativ in Relation zum Auftreten von Wurzelresorptionen bei SARPE (Tab. 2) deuten darauf hin, dass nicht nur Molaren und Prämolaren, sondern auch die Inzisiven 11 und 21 Wurzelresorptionen aufweisen können. Somit ist das Auftreten oben genannter Komplikation nicht rein auf die posterioren Zahnregionen, wie häufig diskutiert, zu beschränken.

Hansen et al. untersuchten mittels CT-Aufnahmen bei zwölf Patienten, ob durch knöchern verankerte Expansionsgeräte, in dem Fall ein eingebauter Dresden-Distraktor, dentoalveoläre Nebenwirkungen reduziert werden können und schlussfolgerte, dass die knochenverankerte DD risikoärmer sei als dental abgestützte Apparaturen mit geringeren Nebenwirkungen wie z. B. Wurzelresorptionen oder Knochendehiszenzen [68]. Die Wurzelresorption wird als eine unerwünschte Komplikation durch die Krafteinwirkung der kieferorthopädischen Apparaturen bezeichnet [29,57,58,59]. Im Allgemeinen gilt es abzuklären, ob und inwiefern das operative SARPE-Verfahren das Risiko zur rein kieferorthopädischen Expansion zusätzlich erhöht oder beeinflusst.

Alqahtani et al. konnten aus einer retrospektiven Studie mit 110 Patienten unterteilt in vier Gruppen (einteilige Le-Fort-I-Operation, zweiteilige Le-Fort-I-Operation, dreiteilige Le-Fort-I-Operation und SARPE), die kieferorthopädisch, sowie chirurgisch behandelt worden sind herleiten, dass die SARPE-Gruppe am häufigsten von Wurzelumbau und daraus wahrscheinlich resultierenden Wurzelresorptionen betroffen war, unter anderem an den zentralen Inzisiven [48]. Diese Feststellung unterstreicht die hier diskutierten Ergebnisse. In der Studie wurden ebenfalls prä- und postoperative DVT-Bilder ausgewertet. Zusammengefasst lag der Prozentanteil der Wurzelresorptionen zwischen 4,0-7,0 % [48]. Die hier vorliegenden Daten konzentrieren sich ausschließlich auf Wurzelresorptionen an den Inzisiven 11 und 21 mit einem höheren prozentualen Anteil von 32,23 %. Die Daten umfassen eine größere Patientenzahl (n=121) und es wurde ausschließlich die SARPE-Gruppe in Betracht gezogen. Die Altersgruppen unterscheiden sich ebenfalls, in unserer Probandengruppe lag die Altersspanne bei 15 bis 44 Jahren, in der oben genannten Studie bei 18 bis 39 Jahren.

Außerdem wurde bei der Studie von Alqahtani et al. ein anderes Programm zur Analyse der DVT-Bilder verwendet [48]. Die zuletzt genannten Faktoren könnten die abweichenden prozentualen Ergebnisse erklären.

### **5.2.2 Diskussion im Hinblick auf nicht-dentogene postoperative Risiken**

Hinsichtlich der Dauer des Krankenhausaufenthalts kann angenommen werden, dass Patienten mit einem längeren Krankenhausaufenthalt (> 5 Tage) weniger Komplikationen aufwiesen (Tab. 9). In Abbildung 21 ist ersichtlich, dass sich 89 von 109 Patienten zwischen einem und fünf Tagen im Krankenhaus aufhielten. 20 Patienten hatten einen verlängerten Krankenhausaufenthalt zwischen sechs und zehn Tagen (18,3 %). Von den 20 Patienten zeigte nur ein Patient Komplikationen (n = 1; 5,0 %) und von den 89 Patienten jeweils acht nicht-dentogene postoperative Komplikationen (n = 8; 9,0 %). Die zuletzt genannten absoluten prozentualen Unterschiede sind jedoch gering. Kein Patient benötigte eine zusätzliche Operation. Smeets et al. verzeichnen bei 13 Patienten (11,3 %) ihrer Studie einen verlängerten Krankenhausaufenthalt (1 Tag) [24]. In der Studie von Verquin et al. verblieben sechs von insgesamt 55 untersuchten Patienten (11,0 %) für eine längere Zeit im Krankenhaus, zwei benötigten eine zusätzliche Operation [19]. Daraus lässt sich ableiten, dass ein verlängerter Krankenhausaufenthalt eventuell relevant ist für eine verringerte Komplikationsrate. Da jedoch der prozentuale Anteil nicht weit voneinander abweicht, lässt sich herleiten, dass die Länge des Krankenhausaufenthaltes von individuellen Faktoren abhängig gemacht werden sollte.

Untersuchte Parameter wie die präoperative Medikation, der Raucherstatus oder Allergien scheinen postoperative Komplikationen nicht zu beeinflussen ( $p > 0,15$ ). Weitere Studien erscheinen sinnvoll, um zu beurteilen, ob ein verlängerter Krankenhausaufenthalt tatsächlich zu einer geringeren Komplikationsrate führt. Bei Risikopatienten beispielsweise multimorbiden Patienten kann ein verlängerter Krankenhausaufenthalt von mehr als fünf Tagen in Betracht gezogen werden, um das Auftreten von postoperativen Komplikationen zu reduzieren und ein verbessertes Komplikationsmanagement vor Ort zu ermöglichen.

Aus den extrahierten Daten geht keine Nekrose des Weichgewebes hervor (Abb. 16), nur eine leichte rückläufige Dehiszenz im anterioren Gaumenbereich. Übereinstimmend zeigte die Studie von Degin et al. keine Nekrose des Weichgewebes, während bei Bryce et al. ein Fall von Gewebnekrose auftrat, welcher mit lokaler Wundversorgung rückläufig war und bei Nowak et. al zwei Fälle beschrieben werden [17,20,27].

### **5.2.3 Diskussion der Parameter vertikale und sagittale Diskrepanz in Bezug auf postoperative Komplikationen**

Die Ergebnisse unterstützen die Hypothese, dass bei Patienten mit einer vertikalen Diskrepanz häufiger Wurzelresorptionen auftreten (Tab. 5;  $p < 0,02$ ). Dieser Befund kann die präoperative Risikobewertung beeinflussen. Die Daten deuten darauf hin, dass bei Angle-Klasse-II-Patienten anteilig häufiger postoperative Komplikationen nicht-dentogener Art auftreten als bei Patienten der Angle-Klasse III (Tab. 8;  $p = 0,002$ ). Nowak et al. untersuchten 185 Patienten mit einer Altersspanne von 15-47 Jahren (26.1 SD = 6.8), ähnlich unserer Altersgruppe (15-44 Jahre [22.8 SD=6.1]). In ihrer Studie wird dargestellt, dass der prozentuale Anteil an Patienten mit offenem Biss höher in der Gruppe der Angle-Klasse-II-Patienten ist (36,8 %) [27]. Auch Nowak et al. beobachten eine vermehrte Inzidenz von Komplikationen bei Angle-Klasse-II-Patienten [27]. Die untersuchten Daten wurden nicht auf eine Korrelation zwischen der vertikalen Diskrepanz und Angle-Klasse II hin untersucht. Aus dem Grund können keine Rückschlüsse wie bei Nowak et al. bezogen auf den Anteil der Patienten mit offenem Biss in der Angle-Klasse-II-Gruppe gezogen werden. Jedoch lassen die Ergebnisse einen Zusammenhang zwischen der vertikalen und sagittalen Diskrepanz (Angle-Klasse II) und dem Auftreten dentogener und nicht-dentogener Komplikationen erkennen. Inwiefern ein auftretender Overjet oder Overbite und eine zusätzlich notwendige chirurgische Korrektur einer skelettal bedingten Angle-Klasse II als hypothetische Ursachen anzuführen sind, sollte in weiteren Untersuchungen verifiziert werden.

### **5.2.4 Diskussion der Breite und Strukturbeschaffenheit der Gaumennaht und dem Auftreten von postoperativen Komplikationen**

Die Messungen der präoperativen Gaumennahtbreite weisen Signifikanz im posterioren Abschnitt in Relation zum Auftreten von Wurzelresorptionen auf. (Tab. 3;  $p < 0,01$  für den ersten  $p < 0,03$  für den zweiten Messpunkt). Angelieri et al. Messungen der Gaumennaht in DVT-Bildern von 140 Probanden verdeutlichen die klinische Relevanz der individuellen Verknöcherungsstadien der Gaumennaht, die bei der Therapieentscheidung zwischen einer rein kieferorthopädischen Therapie oder cGNE eine Rolle spielen [9]. Die mediane Gaumennaht verknöchert von posterior nach anterior und zeigt im Erwachsenenalter interindividuelle Variabilität des Verknöcherungsstadiums [8,9,30,38]. Außerdem wird beschrieben, dass die transversale Diskrepanz sich häufig in der posterioren Region befindet [9].

Ergänzend deuten die Ergebnisse ein häufigeres Auftreten von Wurzelresorptionen der Frontzähne bei spongiöser Struktur (65,5 %) der Gaumennaht im Vergleich zu einer kortikalen Struktur (53,3 %) an. (Tab. 4;  $p < 0,001$ ) Dieser signifikante Befund unterstreicht die Bedeutung der knöchernen Beschaffenheit für das Komplikationsrisiko. Die diskutierten Resultate ergänzen die präoperative Planung und legen nahe, dass die Struktur und der Synostosierungsgrad der Gaumennaht bei der Operationsplanung berücksichtigt werden sollten. Die Entscheidung zwischen einer rein kieferorthopädischen Therapie oder cGNE wird häufig in der Literatur diskutiert. Viele Faktoren beeinflussen die Entscheidung, darunter das Alter der Patienten und das Ausmaß der transversalen Diskrepanz [32]. Angelieri et al. stellten fest, dass das reine Patientenalter kein verlässlicher Indikator ist bei der Entscheidung, eine RME oder SARPE durchzuführen [9]. Govaerts et al. betonen, dass ein umfassender diagnostischer Ansatz wichtig ist, um die richtige Entscheidung zu treffen [33]. Laut Shetty et al. ergibt die Bildgebung eine andere diagnostische Dimension z. B. der Knochendichte [36]. Die vorliegende Studie verdeutlicht ebenso die Vorteile einer umfassenden präoperativen Diagnostik, insbesondere der radiologischen Diagnostik mittels DVT. Die Ergebnisse deuten an, dass eine präzise röntgenologische Diagnostik vorteilhaft erscheint, da beim Vorhandensein einer prä- und postoperativen DVT-Aufnahme Wurzelresorptionen diagnostiziert und zusätzlich eine Bewertung der Breite und Strukturbeschaffenheit der Sutura palatina mediana erfolgen können. Es muss jedoch konstatiert werden, dass obwohl die DVT-Analyse als verlässliches Mittel der Wahl eingestuft wird, multiple Studien andeuten, dass eine Überbewertung bei der Beurteilung von Dehiszenzen stattfindet [43,65,66,67].

## 5.2.5 Diskussion statistisch nicht signifikanter Werte

Eine asymmetrische Expansion wurde bei den an dieser Stelle diskutierten Daten nur bei 0,8 % (n = 1) beobachtet. Laut aktueller Studienlage stellt die asymmetrische Expansion gegenteilig eine häufige postoperative Komplikation dar [17,44,46]. Bei Dergin et al. tritt die asymmetrische Expansion in zwei Fällen (3,3 %) [20], bei Bryce Williams et al. mit 13,3 % Anteil [17] und bei Verquin et al. in drei Fällen (5,5 %) [19] auf. Dieser Unterschied könnte teilweise auf eine lückenhafte Dokumentation zurückzuführen und in der Tatsache begründet sein, dass einige Patienten extern weiterbehandelt worden sind. Es ist nicht auszuschließen, dass eine asymmetrische Expansion häufiger aufgetreten ist. Der Hauptfokus unserer Analyse lag jedoch auf der Analyse der Mobilität und dentogenen Komplikationen an den zentralen Inzisiven. Die asymmetrische Expansion wird nur der Vollständigkeit halber erwähnt, da sie eine häufige Komplikation in der Literatur darstellt und erwähnt. In der Studie von Nowak et al. zeigte sich keine Signifikanz zwischen der asymmetrischen Expansion und Komplikationen. Dies ist gleichzusetzen mit unseren Ergebnissen [27]. Laut Nowak et al. und anderen Studien kann eine symmetrische Expansion mit horizontaler Osteotomie, sowie Osteotomie der Sutura palatina und Inzision der lateralen Nasenwände erreicht werden [17,20,27,28]. Außerdem konnte kein erhöhtes Auftreten von dentogenen und nicht-dentogenen Komplikationen mit steigendem Dehnungsausmaß der Maxilla festgestellt werden. Das Dehnungsausmaß scheint keinen Einfluss auf postoperative Komplikationen zu haben.

Alter oder Geschlecht beeinflussen laut Romano et al. nicht das Auftreten von postoperativen Dehiszenzen [43]. Diese Aussage unterstützt unsere Beobachtungen. Es zeigte sich keine Signifikanz zwischen dem Alter oder Geschlecht und dem Auftreten von postoperativen Komplikationen. Jüngere Patienten in der Wachstumsphase scheinen aktivere Prozesse beim Umbau des parodontalen Ligaments und Knochens zu zeigen, die eventuell den Umbau der Zahnwurzeln beeinflussen [48,69]. Ren et al. untersuchten Ratten und zeigten keinen Unterschied beim Auftreten von Wurzelresorptionen in Relation zum Alter. Die Schwere der Wurzelresorption nahm jedoch mit verlängerter Zahnbewegung in der Gruppe mit höherem Alter zu. [69] Smeets et al. stellten hingegen eine Korrelation zwischen dem Auftreten von dentogenen Komplikationen (z.B. Hypästhesie) und steigendem Alter der Patienten fest [24]. In den an dieser Stelle diskutierten Daten konnte kein Einfluss des Alters oder Geschlechts auf das Auftreten von dentogenen und nicht-dentogenen Komplikationen festgestellt werden.

In Tabelle sechs ist das Auftreten von Wurzelresorptionen im Vergleich von Extraktionspatienten zu Nichtextraktionspatienten ersichtlich. Eine Tendenz zu einem häufigeren Auftreten von Wurzelresorptionen oder Zahnlockerungen bei Extraktionspatienten ist statistisch nicht eindeutig belegt ( $p < 0,10$ ).

Die Ergebnisse legen jedoch einen interessanten Zusammenhang nahe, welcher in weiteren Untersuchungen abgeklärt und verifiziert werden sollte. Die Hypothese, dass kieferorthopädisch kompensierte Patienten geringfügig weniger Wurzelresorptionen als dekomensierte Patienten zeigen, konnte nicht eindeutig bestätigt werden. (Tab. 7;  $p > 0,10$ ) Die vorliegenden Ergebnisse erfordern weitere Untersuchungen zur Bekräftigung der Mutmaßung, da der p-Wert über dem formulierten Signifikanzniveau lag.

### 5.3 Schlussfolgerungen

In Bezug auf die zu Beginn formulierten Fragestellungen und vorliegenden Ergebnisse lässt sich feststellen:

1. Der präoperative Protrusiongrad korrelierte in der hier diskutierten Studie nicht mit dem Auftreten von Wurzelresorption und Zahnlockerung. Es konnte jedoch ein Einfluss des interdentalen/interradikulären Abstandes auf das Auftreten von dentogenen postoperativen Komplikationen festgestellt werden. Hypothetisch lässt sich schlussfolgern, dass ein verringerter interdentaler Abstand einen erschwerten operativen Zugang verursachen und dadurch das Risiko an Komplikationen der zentralen maxillären Inzisiven erhöhen könnte z.B. durch eine intraoperativ erhöhte Kraftausübung beim Ansetzen des Meißels. Es gilt in weiteren Studien abzuklären, ob in solchen Fällen oder bei bereits parodontal vorgeschädigten Inzisiven beispielsweise eine paramediane Inzision in Betracht gezogen werden sollte.

2. Eine spongiöse Struktur der Sutura palatina mediana und der präoperative Abstand (besonders im posterioren Bereich) zeigten Signifikanz bezogen auf das Auftreten von Wurzelresorptionen. Dies unterstreicht, dass der Ossifikationsgrad der Sutura palatina mediana wesentlich Einfluss nimmt auf das Auftreten von dentogenen Komplikationen an den zentralen maxillären Inzisiven und nicht ausschließlich auf die posteriore Zahnregion. Es können an dieser Stelle jedoch keine Rückschlüsse auf das Einwirken anderer Widerstandsbereiche gezogen werden, da dies nicht in der vorliegenden Studie untersucht worden ist. Hieraus kann die Hypothese formuliert werden, dass der Widerstandsbereich in der posterioren Region der Gaumennaht höher als im anterioren Bereich ist, und bei der intraoperativen Druckausübung mittels Meißel durch den erhöhten Widerstand aufgrund der Interdigitation der Gaumennaht möglicherweise in der Folge Wurzelresorptionen auftreten.

3. Patienten mit vertikaler Diskrepanz und einer Angle-Klasse II zeigten signifikant häufiger postoperative Komplikationen. Somit kann davon ausgegangen werden, dass diese Patientengruppen ein höheres Risiko für Komplikationen nach cGNE bergen.

Dies könnte rein hypothetisch darauf zurückgeführt werden, dass beide Phänomene häufig kombiniert auftreten und umfangreiche Korrekturen erforderlich machen z.B. zusätzliche chirurgische Umstellungsosteotomien verbunden mit einer cGNE, die das operative Risiko deutlich erhöhen. Weitere Studien sind wünschenswert, da generell keine Schlussfolgerung darüber erfolgen kann, ob die kieferorthopädische oder chirurgische Therapie das Auftreten einer Wurzelresorption maßgeblich beeinflussen.

4. Ein verlängerter Krankenhausaufenthalt steht mit einem verringerten Auftreten von nicht-dentogenen postoperativen Komplikationen in Zusammenhang. Bei Risikopatienten kann womöglich ein verlängerter Krankenhausaufenthalt (> 5 Tage) zu einem verbesserten Komplikationsmanagement führen. An dieser Stelle ist jedoch anzuführen, dass bereits vorliegende Allgemeinerkrankungen, präoperative Medikamenteneinnahme, Allergien und der Raucherstatus in der Untersuchung keinen Einfluss auf das Auftreten von postoperativen Komplikationen zu nehmen scheinen.

5. Es kann keine definitive Aussage zu dem Auftreten von postoperativen Komplikationen und Extraktionspatienten erfolgen. In der Studie konnte die Hypothese, dass bei Nicht-Extraktionspatienten aufgrund des Engstandes, erhöhter Zahnbewegung und invasiverer Kieferchirurgie bei Platzmangel auch vermehrt Wurzelresorptionen auftreten nicht bestätigt werden. Es gilt in weiteren Studien abzuklären, ob bei Extraktionspatienten im Vergleich zu Nicht-Extraktionspatienten tatsächlich vermehrt Wurzelresorptionen auftreten nach SARPE.

6. Es konnte nicht verifiziert werden, dass die Ausprägung eines Kreuzbisses (unilateral, bilateral, posterior oder anterior) das Auftreten postoperativer Komplikationen wesentlich beeinflusst ( $p > 0,15$ ).

7. In der vorliegenden Studie konnte nicht abschließend bestätigt werden, dass ein erhöhtes Dehnungsmaß das Auftreten von postoperativen Komplikationen zusätzlich erhöht ( $p > 0,15$ ).

## **6. Limitationen der Studie**

Die retrospektive Studie beinhaltet durch ihren Charakter einen Grad der Selbstlimitierung. Außerdem kann nicht eindeutig bewiesen werden, ob das Auftreten von Wurzelresorptionen rein durch die kieferorthopädische Therapie beeinflusst worden ist oder auch durch das operative Verfahren selbst. Zusätzlich waren über die Jahre hinweg gewisse Daten nicht verfügbar, da die Weiterbehandlung in externen Kliniken oder Privatpraxen erfolgt ist. Darüber hinaus zeigten sich Lücken in der Dokumentation der Patientenakten sowie im Vorhandensein röntgenologischer Bilder, da unter anderem die Aufbewahrungsfrist von zehn Jahren in einzelnen Fällen überschritten war. Die Auswertung und Analyse der Ergebnisse erfolgten durch die Doktorandin selbst. Eine Objektivierung der Ergebnisse in weiteren Studien mit Beteiligung einer größeren Arbeitsgruppe und größerer Patientenzahl ist wünschenswert.

## 7. Literaturverzeichnis

1. Ulrike Bommas-Ebert, Phillip Teubner, Rainer Voß. Kurzlehrbuch Anatomie und Embryologie, 2. Auflage. 2006, Thieme Verlag, 2016.
2. Timms DJ. The dawn of rapid maxillary expansion. *Angle Orthod* 1999; **69**(3): 247-50.
3. Habersack K, Becker J. Die GNE- Ein Behandlungskonzept. ZWP Online 2011. <https://www.zwp-online.info/fachgebiete/kieferorthopaedie/grundlagen/die-gne-ein-behandlungskonzept> (Zuletzt abgerufen am 14.11.2021)
4. Schramm E, Mascha F, Pietzka S, Schramm A, Lapatki B, Wilde F. Chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung durch patientenspezifisch vorgefertigte transmukosal fixierte Apparaturen. *Int Poster J Dent Oral Med* 2016; **18**(3): 0-.
5. Rachmiel A, Turgeman S, Shilo D, Emodi O, Aizenbud D. Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion to Correct Maxillary Transverse Deficiency. *Ann Maxillofac Surg* 2020; **10**(1): 136-41.
6. Germa A, Clément C, Weissenbach M, et al. Early risk factors for posterior crossbite and anterior open bite in the primary dentition. *Angle Orthod* 2016; **86**(5): 832-8.
7. Garib D, Miranda F, Palomo JM, et al. Orthopedic outcomes of hybrid and conventional Hyrax expanders. *Angle Orthod* 2021; **91**(2): 178-86.
8. Persson M, Thilander B. Palatal suture closure in man from 15 to 35 years of age. *Am J Orthod*. 1977 Jul;72(1):42-52. doi: 10.1016/0002-9416(77)90123-3.
9. Angelieri F, Cevidanes LH, Franchi L, Goncalves JR, Benavides E, McNamara JA, Jr. Midpalatal suture maturation: classification method for individual assessment before rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013; **144**(5): 759-69.
10. Chamberland S, Proffit WR. Closer look at the stability of surgically assisted rapid palatal expansion. *J Oral Maxillofac Surg* 2008; **66**(9): 1895-900.
11. Starch-Jensen T, Blæhr TL. Transverse Expansion and Stability after Segmental Le Fort I Osteotomy versus Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion: a Systematic Review. *J Oral Maxillofac Res* 2016; **7**(4): e1.
12. Keskin-Yalcin B, Cakarer S, İşler SC, Özel-Yıldız S, Beycan K, Koçak-Berberoglu H. Evaluation of skeletal changes associated with surgically rapid palatal expansion without pterygomaxillary separation. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg* 2020; **121**(3): 254-8.
13. Hamedi-Sangsari A, Chinipardaz Z, Carrasco L. Following Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion, Do Tooth-Borne or Bone-Borne Appliances Provide More Skeletal Expansion and Dental Expansion? *J Oral Maxillofac Surg* 2017; **75**(10): 2211-22.
14. 1. Muñoz-Pereira ME, Haas-Junior OL, Da Silva Meirelles L, et al. Stability and surgical complications of tooth-borne and bone-borne appliances in surgical assisted rapid maxillary expansion: a systematic review. *Br J Oral Maxillofac Surg* 2021; **59**(2): e29-e47.
15. Suri L, Taneja P. Surgically assisted rapid palatal expansion: a literature review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008; **133**(2): 290-302.

16. Carvalho PHA, Moura LB, Trento GS, et al. Surgically assisted rapid maxillary expansion: a systematic review of complications. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2020; **49**(3): 325-32.
17. Williams BJ, Currimbhoy S, Silva A, O'Ryan FS. Complications following surgically assisted rapid palatal expansion: a retrospective cohort study. *J Oral Maxillofac Surg* 2012; **70**(10): 2394-402.
18. Cakarer S, Keskin B, Isler SC, Cansiz E, Uzun A, Keskin C. Complications associated with surgically assisted rapid palatal expansion without pterygomaxillary separation. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg* 2017; **118**(5): 279-82.
19. Verquin M, Daems L, Politis C. Short-term complications after surgically assisted rapid palatal expansion: a retrospective cohort study. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2017; **46**(3): 303-8.
20. Dergin G, Aktop S, Varol A, Ugurlu F, Garip H. Complications related to surgically assisted rapid palatal expansion. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2015; **119**(6): 601-7.
21. Pogrel MA, Kaban LB, Vargervik K, Baumrind S. Surgically assisted rapid maxillary expansion in adults. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 1992; **7**(1): 37-41.
22. Aziz SR, Tanchyk A. Surgically assisted palatal expansion with a bone-borne self-retaining palatal expander. *J Oral Maxillofac Surg* 2008; **66**(9): 1788-93.
23. Bays RA, Greco JM. Surgically assisted rapid palatal expansion: an outpatient technique with long-term stability. *J Oral Maxillofac Surg* 1992; **50**(2): 110-3; discussion 4-5.
24. Smeets M, Da Costa Senior O, Eman S, Politis C. A retrospective analysis of the complication rate after SARPE in 111 cases, and its relationship to patient age at surgery. *J Craniomaxillofac Surg* 2020; **48**(5): 467-71. [<https://doi.org/10.1016/j.jcms.2019.12.015>]
25. Clavien PA, Barkun J, de Oliveira ML, et al. The Clavien-Dindo classification of surgical complications: five-year experience. *Ann Surg* 2009; **250**(2): 187-96.  
(zuletzt abgerufen am 07.06.2024)
26. Thomas W. Sadler, Ulrich Drews, Beate Brand-Saberi. Taschenlehrbuch Embryologie, 13. unveränderte Auflage, Thieme Verlag 2020.
27. Nowak R, Przywitowski S, Golusinski P, Olejnik A, Zawislak E. Complications of Surgically Assisted Rapid Maxillary/Palatal Expansion (SARME/SARPE)-A Retrospective Analysis of 185 Cases Treated at a Single Center. *J Clin Med* 2024; **13**(7). [<https://doi.org/10.3390/jcm13072053>]
28. Koudstaal MJ, Poort LJ, van der Wal KG, Wolvius EB, Prah-Andersen B, Schulten AJ. Surgically assisted rapid maxillary expansion (SARME): a review of the literature. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2005; **34**(7): 709-14.
29. Akyalcin S, Alexander SP, Silva RM, English JD. Evaluation of three-dimensional root surface changes and resorption following rapid maxillary expansion: a cone beam computed tomography investigation. *Orthod Craniofac Res* 2015; **18 Suppl 1**: 117-26.
30. Knaup B, Yildizhan F, Wehrbein H. Age-related changes in the midpalatal suture. A histomorphometric study. *J Orofac Orthop* 2004; **65**(6): 467-74.
31. Goddard R, Witherow H. Surgically assisted rapid palatal expansion (SARPE). *Br J Oral Maxillofac Surg* 2011; **49**(1): 65-6.

32. Chrcanovic BR, Custodio AL. Orthodontic or surgically assisted rapid maxillary expansion. *Oral Maxillofac Surg* 2009; **13**(3): 123-37.
33. Govaerts D, Da Costa O, Garip M, Combes F, Jacobs R, Politis C. Can surgically assisted rapid palatal expansion (SARPE) be recommended over orthodontic rapid palatal expansion (ORPE) for girls above the age of 14? A cone-beam CT study on midpalatal suture maturation. *J Orofac Orthop* 2023.
34. Gauthier C, Voyer R, Paquette M, Rompre 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.
35. Verlinden CR, Gooris PG, Becking AG. Complications in transpalatal distraction osteogenesis: a retrospective clinical study. *J Oral Maxillofac Surg* 2011; **69**(3): 899-905.
36. Sharath K. S, Neeraj N. S, Mahesh K. Y, Vijayananda K. M. Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion (SARPE): A Literature Review. *Scholars Journal of Dental Sciences* 2021. [DOI: 10.36347/sjds.2021.v08i01.005.] [https://www.saspublishers.com/media/articles/SJDS\_81\_25-40.pdf] (zuletzt abgerufen am 15.06.24)
37. 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.
38. Lanigan DT, Mintz SM. Complications of surgically assisted rapid palatal expansion: review of the literature and report of a case. *J Oral Maxillofac Surg* 2002; **60**(1): 104-10.
39. Berger JL, Pangrazio-Kulbersh V, Borgula T, Kaczynski R. Stability of orthopedic and surgically assisted rapid palatal expansion over time. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1998; **114**(6): 638-45.
40. Bailey LJ, White RP, Jr., Proffit WR, Turvey TA. Segmental LeFort I osteotomy for management of transverse maxillary deficiency. *J Oral Maxillofac Surg* 1997; **55**(7): 728-31.
41. Lee K. J., Jo Y. M. Nichtoperative maxilläre Expansion. ZWP Online 2011. [https://www.zwp-online.info/fachgebiete/kieferorthopaedie/miniimplantate/nichtoperative-maxillaere-expansion] (zuletzt abgerufen am 15.06.24)
42. Romano F, Sverzut CE, Trivellato AE, Saraiva MCP, Nguyen TT. Surgically assisted rapid palatal expansion (SARPE): three-dimensional superimposition on cranial base. *Clin Oral Investig* 2022; **26**(5): 3885-97.
43. Romano FL, Sverzut CE, Trivellato AE, Saraiva MCP, Nguyen TT. Alveolar defects before and after surgically assisted rapid palatal expansion (SARPE): a CBCT assessment. *Dental Press J Orthod* 2022; **27**(2): e2219299.
44. Lin JH, Li C, Wong H, Chamberland S, Le AD, Chung CH. Asymmetric Maxillary Expansion Introduced by Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion: A Systematic Review. *J Oral Maxillofac Surg* 2022; **80**(12): 1902-11.
45. Li K, Guillemineault C. Surgical and non-surgical maxillary expansion: expansion patterns, complications and failures. *Orthod Fr* 2022; **93**(Suppl 1): 35-46.

46. Drobyshev A, Klipa I, Drobysheva N, Ilina N, Zhmyrko I. Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion: Retrospective Analysis of Complications 2012-2017. *Georgian Med News* 2021; (311): 58-62.
47. Martin A, Oyallon M, Perrin JP, et al. Alveolar bone changes after tooth-borne surgically assisted rapid maxillary expansion: A three-dimensional study. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg* 2023; **124**(1S): 101331.
48. Alqahtani KA, Jacobs R, Da Costa Senior O, Politis C, Shaheen E. Recommendations to minimize tooth root remodeling in patients undergoing maxillary osteotomies. *Sci Rep* 2024; **14**(1): 13686.
49. Jensen T, Johannesen LH, Rodrigo-Domingo M. Periodontal changes after surgically assisted rapid maxillary expansion (SARME). *Oral Maxillofac Surg* 2015; **19**(4): 381-6.
50. Kayalar E, Schauseil M, Kuvat SV, Emekli U, Firatli S. Comparison of tooth-borne and hybrid devices in surgically assisted rapid maxillary expansion: A randomized clinical cone-beam computed tomography study. *J Craniomaxillofac Surg* 2016; **44**(3): 285-93.
51. Alqahtani KA, Shaheen E, Morgan N, Shujaat S, Politis C, Jacobs R. Impact of orthognathic surgery on root resorption: A systematic review. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg* 2022; **123**(5): e260-e7.
52. Beck BW, Harris EF. Apical root resorption in orthodontically treated subjects: analysis of edgewise and light wire mechanics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1994; **105**(4): 350-61.
53. Apajalahti S, Peltola JS. Apical root resorption after orthodontic treatment -- a retrospective study. *Eur J Orthod* 2007; **29**(4): 408-12.
54. Koudstaal MJ, Wolvius EB, Schulten AJ, Hop WC, van der Wal KG. Stability, tipping and relapse of bone-borne versus tooth-borne surgically assisted rapid maxillary expansion; a prospective randomized patient trial. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2009; **38**(4): 308-15.
55. Forst D, Nijjar S, Khaled Y, Lagravere M, Flores-Mir C. Radiographic assessment of external root resorption associated with jackscrew-based maxillary expansion therapies: a systematic review. *Eur J Orthod* 2014; **36**(5): 576-85.
56. Ramieri GA, Spada MC, Austa M, Bianchi SD, Berrone S. Transverse maxillary distraction with a bone-anchored appliance: dento-periodontal effects and clinical and radiological results. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2005; **34**(4): 357-63.
57. Topkara A, Karaman AI, Kau CH. Apical root resorption caused by orthodontic forces: A brief review and a long-term observation. *Eur J Dent* 2012; **6**(4): 445-53.
58. Weltman B, Vig KW, Fields HW, Shanker S, Kaizar EE. Root resorption associated with orthodontic tooth movement: a systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010; **137**(4): 462-76; discussion 12A.
59. Dudic A, Giannopoulou C, Leuzinger M, Kiliaridis S. Detection of apical root resorption after orthodontic treatment by using panoramic radiography and cone-beam computed tomography of super-high resolution. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009; **135**(4): 434-7.
60. Baysal A, Karadede I, Hekimoglu S, et al. Evaluation of root resorption following rapid maxillary expansion using cone-beam computed tomography. *Angle Orthod* 2012; **82**(3): 488-94.

61. Muller HP, Eger T. Masticatory mucosa and periodontal phenotype: a review. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2002; **22**(2): 172-83.
62. Byloff FK, Mossaz CF. Skeletal and dental changes following surgically assisted rapid palatal expansion. *Eur J Orthod* 2004; **26**(4): 403-9.
63. Cureton SL, Cuenin M. Surgically assisted rapid palatal expansion: orthodontic preparation for clinical success. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999; **116**(1): 46-59.
64. Moura LB, Spin-Neto R, Sverzut CE, et al. Evaluation of the palatal split pattern in surgically rapid maxillary expansion-comparison of two techniques. *Oral Maxillofac Surg* 2016; **20**(3): 255-8.
65. Leung CC, Palomo L, Griffith R, Hans MG. Accuracy and reliability of cone-beam computed tomography for measuring alveolar bone height and detecting bony dehiscences and fenestrations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010; **137**(4 Suppl): S109-19.
66. Patcas R, Muller L, Ullrich O, Peltomaki T. Accuracy of cone-beam computed tomography at different resolutions assessed on the bony covering of the mandibular anterior teeth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012; **141**(1): 41-50.
67. Sun L, Zhang L, Shen G, Wang B, Fang B. Accuracy of cone-beam computed tomography in detecting alveolar bone dehiscences and fenestrations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2015; **147**(3): 313-23.
68. Hansen L, Tausche E, Hietschold V, Hotan T, Lagravere M, Harzer W. Skeletally-anchored rapid maxillary expansion using the Dresden Distractor. *J Orofac Orthop* 2007; **68**(2): 148-58.
69. Ren Y, Maltha JC, Liem RS, Stokroos I, Kuijpers-Jagtman AM. Age-dependent external root resorption during tooth movement in rats. *Acta Odontol Scand* 2008; **66**(2): 93-8.
70. Mordenfeld A, Andersson L. Periodontal and pulpal condition of the central incisors after midline osteotomy of the maxilla. *J Oral Maxillofac Surg* 1999; **57**(5): 523-9; discussion 9-30.
71. Ptok, Martin: Sprache • Stimme • Gehör: Anatomische Grundlagen, 2. aktualisierte Auflage 2014, Thieme Verlag 2016. [DOI: 10.1055/b-0034-88214]
72. Michael Schünke, Erik Schulte, Udo Schumacher. PROMETHEUS Kopf, Hals und Neuroanatomie LernAtlas Anatomie, 6. Überarbeitete Auflage, Thieme Verlag 2022.
73. Melsen B, et al. Maxillary expansion in adults: a review. *J Orofac Orthop*. 2004; **65**(1):50-55.
74. Habersack K, Kober C. Kieferorthopädische Gaumenerweiterung. Quintessenz Publishing 2022. [<https://www.quintessence-publishing.com/deu/de/news/zahnmedizin/kieferorthopaedie/kieferorthopaedische-gaumenerweiterung>] (zuletzt abgerufen am 01.12.24)
75. Schmid JQ, Gerberding E, Hohoff A, Kleinheinz J, Stamm T, Middelberg C. Non-Surgical Transversal Dentoalveolar Compensation with Completely Customized Lingual Appliances versus Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion in Adults – The Amount of Posterior Crossbite Correction. *J Pers Med*. 2022;12(11):1893.

[<https://www.zwp-online.info/fachgebiete/kieferorthopaedie/erwachsenenbehandlung/chirurgische-gaumennahterweiterung-oder-transversale-dentoalveolare-kompensation>] (zuletzt abgerufen am 01.12.24)

76. Duncan K, McNamara C, Ireland AJ, Sandy JR. Sucking habits in childhood and the effects on the primary dentition: findings of the Avon Longitudinal Study of Pregnancy and Childhood. *Int J Paediatr Dent* 2008; **18**(3): 178-88.
77. Dimberg L, Bondemark L, Soderfeldt B, Lennartsson B. Prevalence of malocclusion traits and sucking habits among 3-year-old children. *Swed Dent J* 2010; **34**(1): 35-42.
78. O'Byrn BL, Sadowsky C, Schneider B, BeGole EA. An evaluation of mandibular asymmetry in adults with unilateral posterior crossbite. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995; **107**(4): 394-400.
79. Andrade AS, Gavião MB, Derossi M, Gameiro GH. Electromyographic activity and thickness of masticatory muscles in children with unilateral posterior crossbite. *Clin Anat* 2009; **22**(2): 200-6.
80. Lam PH, Sadowsky C, Omerza F. Mandibular asymmetry and condylar position in children with unilateral posterior crossbite. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999; **115**(5): 569-75.
81. Veli I, Uysal T, Ozer T, Ucar FI, Eruz M. Mandibular asymmetry in unilateral and bilateral posterior crossbite patients using cone-beam computed tomography. *Angle Orthod* 2011; **81**(6): 966-74.
82. Dimberg L, Lennartsson B, Soderfeldt B, Bondemark L. Malocclusions in children at 3 and 7 years of age: a longitudinal study. *Eur J Orthod* 2013; **35**(1): 131-7.
83. Warren JJ, Slayton RL, Bishara SE, Levy SM, Yonezu T, Kanellis MJ. Effects of nonnutritive sucking habits on occlusal characteristics in the mixed dentition. *Pediatr Dent* 2005; **27**(6): 445-50.
84. Viggiano D, Fasano D, Monaco G, Strohmer L. Breast feeding, bottle feeding, and non-nutritive sucking; effects on occlusion in deciduous dentition. *Arch Dis Child* 2004; **89**(12): 1121-3.
85. Heimer MV, Tornisiello Katz CR, Rosenblatt A. Non-nutritive sucking habits, dental malocclusions, and facial morphology in Brazilian children: a longitudinal study. *Eur J Orthod* 2008; **30**(6): 580-5.
86. Petren S, Bondemark L, Soderfeldt B. A systematic review concerning early orthodontic treatment of unilateral posterior crossbite. *Angle Orthod* 2003; **73**(5): 588-96.
87. Gois EG, Ribeiro-Junior HC, Vale MP, et al. Influence of nonnutritive sucking habits, breathing pattern and adenoid size on the development of malocclusion. *Angle Orthod* 2008; **78**(4): 647-54.
88. Malandris M, Mahoney EK. Aetiology, diagnosis and treatment of posterior cross-bites in the primary dentition. *Int J Paediatr Dent* 2004; **14**(3): 155-66.
89. Souki BQ, Pimenta GB, Souki MQ, Franco LP, Becker HM, Pinto JA. Prevalence of malocclusion among mouth breathing children: do expectations meet reality? *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2009; **73**(5): 767-73.

90. Harari D, Redlich M, Miri S, Hamud T, Gross M. The effect of mouth breathing versus nasal breathing on dentofacial and craniofacial development in orthodontic patients. *Laryngoscope* 2010; **120**(10): 2089-93.
91. Lofstrand-Tidestrom B, Thilander B, Ahlqvist-Rastad J, Jakobsson O, Hultcrantz E. Breathing obstruction in relation to craniofacial and dental arch morphology in 4-year-old children. *Eur J Orthod* 1999; **21**(4): 323-32.
92. Lopatiene K, Babarskas A. [Malocclusion and upper airway obstruction]. *Medicina (Kaunas)* 2002; **38**(3): 277-83.
93. Vazquez-Nava F, Quezada-Castillo JA, Oviedo-Trevino S, et al. Association between allergic rhinitis, bottle feeding, non-nutritive sucking habits, and malocclusion in the primary dentition. *Arch Dis Child* 2006; **91**(10): 836-40.
94. Banning LM, Gerard N, Steinberg BJ, Bogdanoff E. Treatment of transverse maxillary deficiency with emphasis on surgically assisted-rapid maxillary expansion. *Compend Contin Educ Dent* 1996; **17**(2): 170, 4-8.
95. Bell WH, Jacobs JD. Surgical-orthodontic correction of horizontal maxillary deficiency. *J Oral Surg* 1979; **37**(12): 897-902.
96. Glassman AS, Nahigian SJ, Medway JM, Aronowitz HI. Conservative surgical orthodontic adult rapid palatal expansion: sixteen cases. *Am J Orthod* 1984; **86**(3): 207-13.
97. Woods M, Wiesenfeld D, Probert T. Surgically-assisted maxillary expansion. *Aust Dent J* 1997; **42**(1): 38-42.
98. Steinhauser EW. Midline splitting of the maxilla for correction of malocclusion. *J Oral Surg* 1972; **30**(6): 413-22.
99. Timms DJ, Vero D. The relationship of rapid maxillary expansion to surgery with special reference to midpalatal synostosis. *Br J Oral Surg* 1981; **19**(3): 180-96.
100. Melsen B. Palatal growth studied on human autopsy material. A histologic microradiographic study. *Am J Orthod* 1975; **68**(1): 42-54.
101. Mommaerts MY. Transpalatal distraction as a method of maxillary expansion. *Br J Oral Maxillofac Surg* 1999; **37**(4): 268-72.
102. Lines PA. Adult rapid maxillary expansion with corticotomy. *Am J Orthod* 1975; **67**(1): 44-56.
103. Kennedy JW, 3rd, Bell WH, Kimbrough OL, James WB. Osteotomy as an adjunct to rapid maxillary expansion. *Am J Orthod* 1976; **70**(2): 123-37.
104. Betts NJ. Surgically Assisted Maxillary Expansion. *Atlas Oral Maxillofac Surg Clin North Am* 2016; **24**(1): 67-77.
105. Lehman JA, Jr., Haas AJ, Haas DG. Surgical orthodontic correction of transverse maxillary deficiency: a simplified approach. *Plast Reconstr Surg* 1984; **73**(1): 62-8.
106. Neyt NM, Mommaerts MY, Abeloos JV, De Clercq CA, Neyt LF. Problems, obstacles and complications with transpalatal distraction in non-congenital deformities. *J Craniomaxillofac Surg* 2002; **30**(3): 139-43.

107. Rakosi T, Graber TM, editors. Orthodontic and Dentofacial Orthopedic Treatment. Thieme; 2010. [DOI:10.1055/b-002-79370]
108. Chamberland S, Proffit WR. Short-term and long-term stability of surgically assisted rapid palatal expansion revisited. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011; **139**(6): 815-22 e1.
109. Almuzian M. SARPE Activation Protocol: Latency, activation retention. Orthodontic Academy. [https://www.orthodonticacademy.co.uk/post/sarpe-activation-protocol-evidence-based-guidelines] (Zuletzt abgerufen am 23.07.2025)
110. Proffit WR, Fields HW Jr, Sarver DM. Contemporary Orthodontics. 6th ed. Elsevier; 2018.
111. Northway WM, Meade JB, Jr. Surgically assisted rapid maxillary expansion: a comparison of technique, response, and stability. *Angle Orthod* 1997; **67**(4): 309-20.
112. Verstraaten J, Kuijpers-Jagtman AM, Mommaerts MY, et al. A systematic review of the effects of bone-borne surgical assisted rapid maxillary expansion. *J Craniomaxillofac Surg* 2010; **38**(3): 166-74.
113. McNamara JA, Jr., Lione R, Franchi L, et al. The role of rapid maxillary expansion in the promotion of oral and general health. *Prog Orthod* 2015; **16**: 33.
114. Eichenberger M, Baumgartner S. The impact of rapid palatal expansion on children's general health: a literature review. *Eur J Paediatr Dent* 2014; **15**(1): 67-71.
115. Aloufi F, Preston CB, Zawawi KH. Changes in the upper and lower pharyngeal airway spaces associated with rapid maxillary expansion. *ISRN Dent* 2012; **2012**: 290964.
116. De Rossi M, De Rossi A, Hallak JE, Vitti M, Regalo SC. Electromyographic evaluation in children having rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009; **136**(3): 355-60.
117. Vidya VS, Sumathi FA. Rapid maxillary expansion as a standard treatment for obstructive sleep apnea syndrome: a systematic review. *J Dental Med Sci*. 2015; 14:51-55.
118. Ugolini A, Agostino P, Silvestrini-Biavati A, Harrison JE, Batista KB. Orthodontic treatment for posterior crossbites. *Cochrane Database Syst Rev* 2021; **12**(12): CD000979.
119. Mutinelli S, Cozzani M. Rapid maxillary expansion in early-mixed dentition: effectiveness of increasing arch dimension with anchorage on deciduous teeth. *Eur J Paediatr Dent* 2015; **16**(2): 115-22.
120. Agarwal A, Mathur R. Maxillary Expansion. *Int J Clin Pediatr Dent* 2010; **3**(3): 139-46.
121. Ficarelli JP. A brief review of maxillary expansion. *J Pedod* 1978; **3**(1): 29-35.
122. Bell RA. A review of maxillary expansion in relation to rate of expansion and patient's age. *Am J Orthod* 1982; **81**(1): 32-7.
123. Venkateshwaran, K., Kaur, S., & Shaon. Slow maxillary expansion: A review. *International Journal of Health Sciences* 2021, 5(S2), 303–314.
124. Zimring JF, Isaacson RJ. Forces Produced by Rapid Maxillary Expansion. 3. Forces Present during Retention. *Angle Orthod* 1965; **35**: 178-86.

125. Cleall JF, Bayne DI, Posen JM, Subtelny JD. Expansion of the Midpalatal Suture in the Monkey. *Angle Orthod* 1965; **35**: 23-35.
126. Barreneche-Calle LM, Marin-Arboleda RD, Gomez-Gomez SL, Agudelo-Suarez AA, Ramirez-Ossa DM. Dentoalveolar, periodontal and skeletal effects of maxillary expansion techniques assisted by temporary anchorage devices compared with conventional protocols in growing patients with transverse maxillary deficiency: A systematic review and meta-analysis. *Int Orthod* 2024; **22**(3): 100891.
127. Bench RW. The quad helix appliance. *Semin Orthod* 1998; **4**(4): 231-7.
128. Serafin M, Fastuca R, Caprioglio A. CBCT Analysis of Dento-Skeletal Changes after Rapid versus Slow Maxillary Expansion on Deciduous Teeth: A Randomized Clinical Trial. *J Clin Med* 2022; **11**(16).
129. Araujo MC, Bocato JR, Oltramari PV, de Almeida MR, Conti AC, Fernandes TM. Tomographic evaluation of dentoskeletal effects of rapid maxillary expansion using Haas and Hyrax palatal expanders in children: A randomized clinical trial. *J Clin Exp Dent* 2020; **12**(10): e922-e30.
130. Srivastava SC, Mahida K, Agarwal C, Chavda RM, Patel HA. Longitudinal Stability of Rapid and Slow Maxillary Expansion: A Systematic Review. *J Contemp Dent Pract* 2020; **21**(9): 1068-72.
131. Schwenzer N, Ehrenfeld M. Kieferorthopädie. 2nd ed. Stuttgart: Thieme; 2011.
132. Huynh T, Kennedy DB, Joondeph DR, Bollen AM. Treatment response and stability of slow maxillary expansion using Haas, hyrax, and quad-helix appliances: a retrospective study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009; **136**(3): 331-9.
133. Goldbecher H. Therapie transversaler Defizite beim Erwachsenen. ZWP Online 2019. [<https://www.zwp-online.info/fachgebiete/kieferorthopaedie/erwachsenenbehandlung/therapie-transversaler-defizite-beim-erwachsenen>] (zuletzt abgerufen am 17.07.2025)
134. Sankar SG, Prashanth B, Rajasekhar G, Prasad M, Reddy GV, Priyanka JSY. A comparison of different osteotomy techniques with and without pterygomaxillary disjunction in surgically assisted maxillary expansion utilizing modified hybrid rapid maxillary expansion device with posterior implants: A finite element study. *Natl J Maxillofac Surg* 2021; **12**(2): 171-80.
135. Stamm T., Kleinheinz J., Hohoff A., Gerberding E. Gaumennahterweiterung oder dentoalveoläre Kompensation. ZWP Online 2023. [<https://www.zwp-online.info/fachgebiete/kieferorthopaedie/erwachsenenbehandlung/chirurgische-gaumennahterweiterung-oder-transversale-dentoalveolare-kompensation>] (zuletzt abgerufen am 17.07.2025)
136. Isfeld D, Lagravere M, Leon-Salazar V, Flores-Mir C. Novel methodologies and technologies to assess mid-palatal suture maturation: a systematic review. *Head Face Med* 2017; **13**(1): 13.
137. Blaehr TL, Mommaerts MY, Kjellerup AD, Starch-Jensen T. Surgically assisted rapid maxillary expansion with bone-borne versus tooth-borne distraction appliances-a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2019; **48**(4): 492-501.

138. Bortolotti F, Solidoro L, Bartolucci ML, Incerti Parenti S, Paganelli C, Alessandri-Bonetti G. Skeletal and dental effects of surgically assisted rapid palatal expansion: a systematic review of randomized controlled trials. *Eur J Orthod* 2020; **42**(4): 434-40.
139. Silverstein K, Quinn PD. Surgically-assisted rapid palatal expansion for management of transverse maxillary deficiency. *J Oral Maxillofac Surg* 1997; **55**(7): 725-7.
140. da Silva Mesquita B, do Egito Vasconcelos BC, de Moraes SLD, et al. Pterygomaxillary Disjunction and its Influence on the Result of Surgically Assisted Maxillary Expansion: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Contemp Dent Pract* 2020; **21**(6): 696-700.
141. Brunetto DP, Sant'Anna EF, Machado AW, Moon W. Non-surgical treatment of transverse deficiency in adults using Microimplant-assisted Rapid Palatal Expansion (MARPE). *Dental Press J Orthod* 2017; **22**(1): 110-25.
142. Festila D, Enache AM, Nagy EB, Hedesiu M, Ghergie M. Testing the Accuracy of Pont's Index in Diagnosing Maxillary Transverse Discrepancy as Compared to the University of Pennsylvania CBCT Analysis. *Dent J (Basel)* 2022; **10**(2).
143. Ma T, Wang YH, Zhang CX, Liu DX. A novel maxillary transverse deficiency diagnostic method based on ideal teeth position. *BMC Oral Health* 2023; **23**(1): 82.
144. Lee KJ, Choi SH, Choi TH, Shi KK, Keum BT. Maxillary transverse expansion in adults – Rationale, appliance design and treatment outcomes. *Seminars in Orthodontics* 2018. [<https://doi.org/10.1053/j.sodo.2018.01.006>]
145. Musich D, Busch MJ. Early orthodontic treatment: current clinical perspectives. *Alpha Omegan* 2007; **100**(1): 17-24.
146. 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.
147. McNamara JA. Influence of respiratory pattern on craniofacial growth. *Angle Orthod* 1981; **51**(4): 269-300.
148. Nimkarn Y, Miles PG, O'Reilly MT, Weyant RJ. The validity of maxillary expansion indices. *Angle Orthod* 1995; **65**(5): 321-6.
149. Joondeph DR, Riedel RA, Moore AW. Pont's index: a clinical evaluation. *Angle Orthod* 1970; **40**(2): 112-8.
150. Dalidjan M, Sampson W, Townsend G. Prediction of dental arch development: an assessment of Pont's Index in three human populations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995; **107**(5): 465-75.
151. Tai B, Goonewardene MS, Murray K, Koong B, Islam SM. The reliability of using postero-anterior cephalometry and cone-beam CT to determine transverse dimensions in clinical practice. *Aust Orthod J* 2014; **30**(2): 132-42.
152. Reyneke JP, Conley RS. Surgical/Orthodontic Correction of Transverse Maxillary Discrepancies. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am* 2020; **32**(1): 53-69.
153. Bin Dakhil N, Bin Salamah F. The Diagnosis Methods and Management Modalities of Maxillary Transverse Discrepancy. *Cureus* 2021; **13**(12): e20482.

154. Menon S, Manerikar R, Sinha R. Surgical management of transverse maxillary deficiency in adults. *J Maxillofac Oral Surg* 2010; **9**(3): 241-6.

155. Prasanna AL, Venkatramana V, Aryasri AS, Katta AK, Santhanakrishnan K, Maheshwari U. Evaluation and Comparison of Intermaxillary Tooth Size Discrepancy among Class I, Class II Division 1, and Class III Subjects Using Bolton's Analysis: An in vitro Study. *J Int Oral Health* 2015; **7**(9): 58-64.

## 8. Anhang

### 8.1 Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Entwicklung Gaumen (7.- 10. Woche) (Lecturio).  
[<https://cdn.lecturio.de/wp-content/uploads/Formation-of-the-palate-1200x338.jpg>]  
(zuletzt abgerufen am 07.06.2024).....11
- Abb. 2: Hyrax-Apparatur (KFO Ibbenbüren). [<https://www.dentallabor-ibb.de/leistungen/festsitzende-apparaturen>]; mit freundlicher Genehmigung von Dr. Sabine Mirsberger (zuletzt abgerufen am 21.11.2021).....15
- Abb. 3: Hybrid-Hyrax-Apparatur (ZWP Online). [<https://www.zwp-online.info/fachgebiete/kieferorthopaedie/wechselgebiss/die-fruehe-klasse-iii-behandlung>]; mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Benedict Wilmes (zuletzt abgerufen am 21.11.2021).....15
- Abb. 4: Sagittale Osteotomie im Oberkiefer (AO Foundation, Switzerland).  
[<https://surgeryreference.aofoundation.org/cmfi/orthognathic/maxilla/maxilla-transverse-hypoplasia-of-maxilla/surgically-assisted-rapid-palatal-expansion#osteotomy>]. Copyright by AO Foundation, Switzerland (zuletzt abgerufen am 21.11.2021).....17
- Abb. 5: Prüfung der Segmentmobilität (AO Foundation, Switzerland).  
[<https://surgeryreference.aofoundation.org/cmfi/orthognathic/maxilla/maxilla-transverse-hypoplasia-of-maxilla/surgically-assisted-rapid-palatal-expansion#osteotomy>]. Copyright by AO Foundation, Switzerland (zuletzt abgerufen am 21.11.2021).....17
- Abb. 6: Einsetzen der kieferorthopädischen Apparatur (dental abgestützt)  
(AO Foundation, Switzerland).  
[<https://surgeryreference.aofoundation.org/cmfi/orthognathic/maxilla/maxilla-transverse-hypoplasia-of-maxilla/surgically-assisted-rapid-palatal-expansion#osteotomy>]. Copyright by AO Foundation, Switzerland (zuletzt abgerufen am 21.11.2021).....18
- Abb. 7: Darstellung der Sutura palatina mediana im Säuglingsalter, im jugendlichen Alter und Erwachsenenalter (Thieme Connect).  
Aus rechtlichen Gründen darf die Abbildung online nicht veröffentlicht werden. Jede weitere Nutzung durch Dritte bedarf einer eigenen Lizenzgenehmigung von Thieme.  
DOI: 10.1055/b-0034-45480 (zuletzt abgerufen am 21.11.2021).....19
- Abb. 8: DVT- Screenshot: Messung Winkel (in Grad) der Frontzähne in Relation zum Nasenboden und Frontzahnwurzellänge (in mm) sowie interdentaler Abstand (in mm) mit dem Computerprogramm Sidexis (Abteilung für Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie Universität zu Köln).....25

Abb. 9: DVT- Screenshot (präoperativ): Messung Winkel Frontzähne zum Nasenboden (in Grad) und Frontzahnwurzellänge (in mm) sowie interdentaler Abstand (in mm) mit dem Computerprogramm Sidexis (Abteilung für Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie Universität zu Köln).....	26
Abb. 10: DVT- Screenshot (postoperativ): Messung Winkel Frontzähne zum Nasenboden (in Grad) und Frontzahnwurzellänge (in mm) sowie interdentaler Abstand mit dem Computerprogramm Sidexis (Abteilung für Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie Universität zu Köln).....	27
Abb. 11: DVT- Screenshot (präoperativ): Breite der Gaumennaht an vier Messstellen von posterior nach anterior; Vermessung einer dreidimensionalen präoperativen DVT-Aufnahme (in mm) mit dem Computerprogramm Sidexis (Abteilung für Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie Universität zu Köln).....	28
Abb. 12: DVT- Screenshot (präoperativ): Breite der Gaumennaht an vier Messstellen von posterior nach anterior; Vermessung einer dreidimensionalen präoperativen DVT-Aufnahme (in mm) mit dem Computerprogramm Sidexis (Abteilung für Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie Universität zu Köln).....	29
Abb. 13: Beispiel Modellvermessung der anterioren und posterioren transversalen Breite (eigene Fotografie).....	30
Abb. 14: Altersverteilung des Patientenkollektivs; es zeigt sich ein erhöhter Anteil in der Altersgruppe 15-20 Jahre, welcher mit zunehmendem Alter absinkt (Word).....	33
Abb. 15: Geschlechterverteilung der untersuchten Patientengruppe mit leicht erhöhtem Anteil an Frauen (Word). .....	33
Abb. 16: Verteilung der Komplikationen nach cGNE (Word).....	34
Abb. 17: Auftreten von Wurzelresorptionen im Vergleich zur Struktur der Gaumennaht (spongiös/kortikal); (Word).....	38
Abb. 18: Auftreten der Wurzelresorption in Relation zur vertikalen Diskrepanz (Word).....	39
Abb. 19: Auftreten postoperativer Komplikationen nicht-dentogener Art in Relation zu den Angle-Klassen I, II und III (SPSS).....	41
Abb. 20: Postoperative Komplikationen nicht-dentogener Art vs. Dauer Krankenhausaufenthalt 1-5 Tage und 6-10 Tage (Word).....	42

## 8.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auftreten der Frontzahnlockerung an den Zähnen 11 und 21 in Relation zum interdentalen Abstand (postoperative DVT-Messung) (Word).	34
Tabelle 2: Auftreten von Wurzelresorptionen in Relation zum präoperativen interdentalen Abstand (Word)	35
Tabelle 3: Auftreten von Wurzelresorptionen in Relation zur präoperativen Breite der Gaumennaht an vier Messtellen von posterior nach anterior (Word).	36
Tabelle 4: Auftreten von Wurzelresorptionen in Bezug auf die Gaumennahtstruktur (Word)	37
Tabelle 5: Erhöhtes Auftreten der Wurzelresorption beim Risikofaktor einer vertikalen Diskrepanz (Word)	38
Tabelle 6: Auftreten der Wurzelresorption bei Extraktions- vs. Nicht-Extraktionspatienten (Word)	39
Tabelle 7: Auftreten von Wurzelresorptionen bei kompensierten und dekompenzierten Patienten (Word)	40
Tabelle 8: Postoperative Komplikationen nicht-dentogener Art in Relation zu den Angle-Klassen I, II und III; häufigeres Auftreten der Komplikationen in der Angle-Klasse-II-Gruppe (Word)	41
Tabelle 9: Auftreten von postoperativen Komplikationen nicht-dentogener Art und Dauer des Krankenhausaufenthalt(Word)	42