

**Diplomarbeit**

**Mögliche Indikationen und Behandlungskonzepte für  
dentale Implantatrestaurationen vor  
Wachstumsabschluss**

eingereicht von

**Dr. med. univ. Scherwin Benjamin Golestani**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor der Zahnmedizin**

**(Dr. med. dent.)**

an der

**Medizinischen Universität Graz**

ausgeführt an der

**Universitätsklinik für Zahnmedizin und Mundgesundheit**

Klinische Abteilung für Orale Chirurgie und Kieferorthopädie

unter der Anleitung von

Univ.-Prof. Dr. med. univ. Dr. med. dent. Norbert Jakse

Dr. med. dent. Sandra Huber, MSc

Graz, 07.08.2024

### *Eidesstattliche Erklärung*

*Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.*

*Graz, am 07.08.2024*

*Scherwin Golestani eh.*

## Danksagung

Viele Menschen haben mich dabei unterstützt und motiviert, dass diese Arbeit entstehen konnte. Dafür bedanke ich mich bei allen an dieser Stelle.

An oberster Stelle gebührt mein Dank Herrn Univ.-Prof. Dr. med. dent. Dr. med. univ. Norbert Jakse, für die Bereitstellung des Diplomarbeitsthemas, der persönlichen Expertise, Begutachtung und für die professionelle Unterstützung während der Erstellung der Arbeit.

Auch meiner Zweitbetreuerin, Frau Dr. med. dent. Sandra Huber, MSc möchte ich für die Möglichkeit der jederzeitigen Ansprechbarkeit und Ihrer Hilfestellung bei meinen Fragen ein herzliches Danke aussprechen.

Weiters möchte ich mich bei meinen Studienkolleginnen und -kollegen bedanken, die mir unvergessliche 3,5 Jahre beschert haben. Das Studium mit ihnen hat unglaublich viel Freude und Spaß bereitet. Insbesondere möchte ich mich bei meinen zwei Kollegen des Stuhlbundes der Prothetikausbildungseinheit 5 bedanken, die sich über die Jahre zu sehr engen Freunden entwickelt haben.

Mein Dank gilt überdies meinen Eltern und meiner Familie, die mir den notwendigen Rückhalt zu jeder Zeit des Studiums vermittelt haben. Ihre ermutigenden Worte haben mich darin bekräftigt, mein Ziel, neben dem Humanmedizinstudium auch noch das Zahnmedizinstudium zu absolvieren und konsequent zu erreichen.

*Graz, am 07.08.2024*

*Scherwin Golestani eh.*

## Zusammenfassung

**Einleitung:** Eine große Zahl an Kindern leidet unter einer Zahnunterzahl, verursacht durch ein Trauma, Karies, durch eine angeborene genetische Erkrankung oder einer idiopathischen Nichtanlage. Diese negative Kondition kann zu Funktionseinschränkungen führen, die das Gesichts- und Kieferwachstum negativ beeinflussen. Zusätzlich stellt dieser Mangel oft eine ästhetische Beeinträchtigung dar, die vor allem im Kindes- und Jugendalter weitere psycho-soziale Probleme nach sich ziehen kann. Behandlungsmethoden wie Adhäsivbrücken, kieferorthopädischer Lückenschluss, autogene Zahntransplantation oder abnehmbare Prothesen bieten nicht immer die optimale Voraussetzung für die orale Rehabilitation. Eine Behandlung mittels dentaler Implantate vor Wachstumsabschluss wird allerdings in der Fachwelt kontroversiell diskutiert, könnte aber in manchen Fällen die optimale Therapiealternative bieten. Diese Arbeit versucht den aktuellen Wissensstand zu dieser Thematik zusammenzufassen, um daraus jenes Indikationsspektrum zu identifizieren, welches Implantologinnen und Implantologen ermöglicht, dentale Implantate nicht nur bei Erwachsenen, sondern auch im wachsenden Kiefer bei Kindern und Jugendlichen zu setzen. Als Nebenforschungsfrage wird untersucht, ob es Kontraindikationen für die dentale Implantation vor Wachstumsabschluss gibt.

**Material und Methoden:** Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurde die Methodik des narrativen Reviews gewählt. Die damit festgelegten und verwendeten Suchkriterien und -prozesse in den verfügbaren und zugänglichen Studiendatenbanken ermöglichen einen sehr breiten Blick auf die aktuelle Datenlage. Die Daten wurden aus Arbeiten der Wissenschaftsdatenbank PubMed extrahiert.

**Ergebnisse:** Aus insgesamt 5065 inhaltlich im weiteren Sinne zutreffenden Arbeiten, konnten nach spezifischem Screening 21 Studien, welche die Einschlusskriterien erfüllten, inkludiert werden. Diese teilten sich in 7 Kohortenstudien (4 prospektive und 3 retrospektive), 13 Fallberichte und eine Fallserie auf. Insgesamt wurden in diesen Arbeiten 105 Patientinnen und Patienten im Alter zwischen 4 und 19 Jahren mit insgesamt 287 dentalen Implantaten behandelt.

**Diskussion:** In der Detailanalyse dieser Behandlungen zeigte sich, dass im interforaminären Bereich des zahnlosen Unterkiefers und in der vorderen Region des zahnlosen Oberkiefers, bei entsprechender Kenntnis über die Kieferwachstumsvorgänge, eine Indikation zur oralen Rehabilitation mittels dentaler Implantate vor Wachstumsabschluss auf jeden Fall gestellt werden kann. Im teilbezahnten Ober- und Unterkiefer können dentale Implantate als Behandlungsoption gesehen werden, abhängig von der Anzahl, Verteilung und Morphologie der Restbeziehung. Nach Implantationen vor Wachstumsabschluss an teilbezahnten Kindern und Jugendlichen kann es allerdings zu Komplikationen wie der Infraokklusion kommen. Dass dies nicht unbedingt eine Kontraindikation für eine Implantation darstellt, wird in einigen Arbeiten diskutiert. Als sehr wichtig stellt sich dabei heraus, dass vorab bereits ein Plan erarbeitet werden muss, der diese Kondition antizipiert oder behebt. Zudem zeigen die Behandlungsfälle auf, dass sich die distalen Bereiche der Mandibula aufgrund des länger andauernden Wachstums weniger zur Implantation eignen. Allerdings muss auch festgehalten werden, dass die diesbezügliche Studienlage hierzu sehr rar ist. Auf die Nebenfrage dieser Arbeit, zu möglichen Kontraindikationen für eine Implantation vor Wachstumsabschluss lässt sich aus den untersuchten Studien ableiten, dass die distale Region der Maxilla eine solche darstellt.

## **Abstract**

**Introduction:** A large number of children suffer from a dental deficiency caused by trauma, caries, congenital genetic disease or idiopathic malocclusion. This negative condition can lead to functional limitations that negatively affect facial and jaw growth. In addition, this deficiency often represents an esthetic impairment, which can lead to further psychosocial problems, especially in childhood and adolescence. Treatment methods such as adhesive bridges, orthodontic gap closure, autogenous tooth transplantation or removable dentures do not always provide the optimal conditions for oral rehabilitation. However, treatment with dental implants before growth completion is controversially discussed among experts, but in some cases could offer the best alternative therapy. This study attempts to summarize the current state of knowledge on this topic in order to identify the range of indications that would enable implantologists to place dental implants not only in adults but also in the growing jaws of children and adolescents. A secondary aim of this study was to investigate whether there are contraindications for dental implant placement before the end of growth.

**Material and methods:** The narrative review methodology was chosen to answer the research questions. The search criteria and processes defined and used in the available and accessible study databases enable a very broad view of the current data situation. The data were extracted from studies in the PubMed scientific database.

**Results:** After specific screening, 21 studies that met the inclusion criteria were included from a total of 5065 publications. These consisted of 7 cohort studies (4 prospective and 3 retrospective), 13 case reports and one case series. A total of 105 patients aged between 4 and 19 years were treated with a total of 287 dental implants in these studies.

**Discussion:** The detailed analysis of these treatments showed that in the interforaminal region of the edentulous mandible and in the anterior region of the edentulous maxilla, an indication for oral rehabilitation using dental implants before the end of growth can be made in any case, provided that the jaw growth pattern are known. In the partially edentulous maxilla and mandible, dental implants can be seen as a treatment option, depending on the number, distribution and morphology

of the remaining teeth. However, complications such as infraocclusion can occur after implants are placed before the end of growth in partially edentulous children and adolescents. Some studies have discussed the fact that this is not necessarily a contraindication for implant placement. It turns out to be very important to develop a plan in advance that anticipates or remedies this condition. In addition, the treatment cases show that the distal areas of the mandible are less suitable for implantation due to the longer duration of growth. However, it must also be noted that there are very few studies on this topic. In response to the secondary question posed in this paper regarding possible contraindications for implantation before the end of growth, it can be deduced from the studies examined that the distal region of the maxilla represents such a contraindication.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Danksagung</b> .....	<b>iii</b>
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>iv</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>vi</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>x</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>xi</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>xii</b>
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1. Ausgangssituation.....	1
1.1.1. Ursachen der Zahnunterzahl.....	1
1.1.2. Ektodermale Dysplasie .....	2
1.1.3. Fragestellungen .....	4
1.2. Pränatale Kieferentwicklung.....	5
1.3. Postnatales Kieferwachstum.....	6
1.3.1. Grundkonzept des Knochenwachstums.....	6
1.3.2. Wachstum der Maxilla.....	11
1.3.3. Wachstum der Mandibula .....	16
1.3.4. Dentale Bewegungsmuster während Kieferwachstum.....	22
1.4. Wachstumsabschluss .....	24
1.5. Ziel der Arbeit.....	26
<b>2. Material und Methoden</b> .....	<b>27</b>
2.1. Design „narrative Review“ .....	27
2.2. Suchstrategie .....	30
2.3. Datenextraktion .....	31
<b>3. Ergebnisse</b> .....	<b>33</b>
3.1. Allgemeine Übersicht .....	33
3.2. Studiendesign und Patient*innencharakteristika .....	34
3.3. Ursachen der Zahnunterzahl.....	35
3.4. Restauratives Prozedere und Implantatcharakteristika .....	35
3.5. Wachstumsadaptierte Vorgehensweisen .....	35

3.6.	Komplikationen nach dentaler Implantation .....	36
3.7.	Implantatüberlebensrate .....	39
<b>4.</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>44</b>
4.1.	Vordere Mandibula.....	44
4.2.	Vordere Maxilla .....	45
4.3.	Hintere Mandibula und Maxilla.....	48
4.4.	Konklusion .....	50
4.5.	Limitationen.....	52
<b>5.</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>54</b>

## **Abkürzungsverzeichnis**

ED – Ektodermale Dysplasie

z.B. – zum Beispiel

bzw. – beziehungsweise

OMIM – Online Mendelian Inheritance in Man

Abb. – Abbildung

Tab. – Tabelle

k. A. – keine Angabe

Kong. - Kongenital

Idiopath. – Idiopathisch

Prov. – provisorisch

Lj. – Lebensjahr

MW – Mittelwert

Mand. – Mandibula

Max. – Maxilla

AWMF – Arbeitsgemeinschaft der wissenschaftlichen medizinischen  
Fachgesellschaften

S2k – S= Stufenklassifikation; 2= Stufe 2 von 3 Stufen; k= konsensbasiert

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung der maxillaren Wachstumsverschiebung.	9
Abbildung 2: Schematische Darstellung der mandibulären Wachstumsverschiebung. ....	10
Abbildung 3: Schematische Darstellung des Wachstums am Tuberculum maxillare. ....	12
Abbildung 4: Schematische Darstellung des transversalen Maxillenwachstums an der Sutura palatina mediana .....	13
Abbildung 5: Darstellung der Suturen des harten Gaumens (rote Linie). ....	14
Abbildung 6: Schematische Darstellung der Resorptions- (-) und Depositionszonen (+) der Maxilla. ....	15
Abbildung 7: Anatomie der Mandibula. ....	19
Abbildung 8: Schematische Darstellung V-förmigen Wachstumsveränderung der Mandibula.....	20
Abbildung 9: Schematische Darstellung der Resorptions- (-) und Depositionszonen (+) des Ramus mandibulae. ....	21
Abbildung 10: Schematische Darstellung der Zahnbewegung in Pfeilrichtung mit Resorptions- (-) und Depositionszonen (+).....	23
Abbildung 11: SANRA – Checklist .....	29
Abbildung 12: Flussdiagramm zur Methodik der Literaturrecherche. ....	34
Abbildung 13: Schematische Darstellung des Wachstumseinflusses auf ein Implantat in der vorderen Maxilla. ....	47

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einschlusskriterien .....	31
Tabelle 2: Studiendesign und Patient*innenmerkmale der Kohortenstudien. ....	40
Tabelle 3: Implantatkieferposition und prothetische Versorgung der Kohortenstudien. ....	41
Tabelle 4: Studiendesign und Patient*innenmerkmale der Case Reports und Case Serien. ....	42
Tabelle 5: Implantatkieferposition und prothetische Versorgung der Case Reports und Case Serien. ....	43

# **1. Einleitung**

## **1.1. Ausgangssituation**

Diese Arbeit befasst sich mit dem sehr speziellen und schmalen Indikationsspektrum dentaler Implantate im wachsenden Kiefer. Die dentale Implantologie erlebte in den letzten Jahrzehnten eine immer stärkere Nachfrage. Sie hat sich nicht nur als Alternative, sondern in manchen Fällen auch als einzige Option für einen suffizienten und zufriedenstellenden prothetischen Ersatz eines oder mehrerer verlorener Zähne etabliert. (1, 2)

Der langfristige Erfolg bei teilbezahnten und zahnlosen erwachsenen Patientinnen und Patienten, hat zahnärztliche Implantologinnen und Implantologen immer wieder dazu ermutigt, den Einsatz auch auf jüngere, noch im Wachstum befindliche Patientinnen und Patienten auszuweiten.

### **1.1.1. Ursachen der Zahnunterzahl**

Es gibt eine große Zahl an Kindern, welche unter einer Unterzahl von Zähnen als Resultat eines Traumas, einer Karies, einer angeborenen Erkrankung wie der ektodermalen Dysplasie (ED) oder aufgrund von Nichtanlagen ohne bekannte Ursache (idiopathische kongenitale Agenesie) leiden. (3, 4)

Eine weitreichende epidemiologische schwedische Studie von Thilander et al. untersuchte die Prävalenz dentaler Malokklusionen an 6398 Schulkindern, die mit 7, 10 und 13 Jahren untersucht wurden. Es zeigte sich, dass 7,3% aller untersuchten Kinder eine Hypodontie aufwiesen: eine Zahnunterzahl durch Verlust oder Nichtanlage eines oder mehrerer Zähne. (5) Fehlen mehr als 5 Zähne spricht man von einer sogenannten Oligodontie. Ein Fehlen aller bleibenden Zähne bezeichnet man als Anodontie. Eine Zahnunterzahl kann wiederum mit einer Funktionseinschränkung einhergehen, sowie einer Unterentwicklung des betroffenen Alveolarknochensegmentes und unter Umständen einer ästhetischen Beeinträchtigung, welche vor allem im Kindes- und Jugendalter viele weitere soziale Probleme nach sich ziehen kann. (6, 7)

Die Ursachen einer Hypodontie sind sehr vielfältig. Genetische, epigenetische und Umweltfaktoren spielen hierbei eine große Rolle. Die Ursachen lassen sich wie bei vielen anderen Erkrankungen in allgemeine und lokale Ursachen unterteilen. Zu den allgemeinen gehören Fälle, in denen genetische Gründe vorliegen insbesondere Syndrome wie das Down-Syndrom, Lippen-, Kiefer-, Gaumenspalten und die ED. (8) Die OMIM (Online Mendelian Inheritance in Man), eine umfassende Wissensdatenbank zu den menschlichen Genen und genetischen Störungen, listet mehr als 120 Syndrome, die mit Zahnanomalien einhergehen. (9) Zu den lokalen Faktoren gehören Traumen, hohe Kariesaktivität, frühe Bestrahlung von Zahnkeimen sowie hormonelle und metabolische Einflüsse. (8)

### **1.1.2. Ektodermale Dysplasie**

Aufgrund der in den inkludierten Studien dieser Arbeit häufig vorliegenden ED als Ursache der Zahnunterzahl, sei die Erkrankung hier nochmal genauer beschrieben. Die Ektodermale Dysplasie (ED) ist eine Erbkrankheit, die durch eine abnorme Entwicklung von Geweben ektodermaler Herkunft gekennzeichnet ist. Die genetische Erkrankung zeichnet sich durch eine komplexe Heterogenität aus, die für bis zu 200 unterschiedliche klinische Ausprägungen namensgebend ist. Symptome zeigen sich an folgenden Geweben: Nägel, Haare, Schweißdrüsen und auch an den Zähnen. Die häufigste Form stellt die hypohidrotische oder anhidrotische Ektodermale Dysplasie dar. (10, 11) Die ED kann sich in vielen Fällen sehr nachteilig auf das Wachstum und die Entwicklung junger Menschen auswirken und die Kaufunktion stark beeinträchtigen. Die dysmorphen Merkmale ziehen somit eine Kaskade weiterer Probleme nach sich, wie z.B. ein geringes Selbstwertgefühl, psychischen Druck und eingeschränkte soziale Interaktionen. Zu den klassischen zahnmedizinischen Merkmalen der ED zählen abnorme Zahnformen (zum Beispiel Mikrodontie), Zahnhypoplasien, abnorme Zahnkeimbildung mit vorzeitigem Zahnverlust bis hin zu schwerer Oligo- beziehungsweise Anodontie. Aus der fehlenden Zahneruption resultiert eine stark verminderte Stimulation der Alveolarknochenbildung mit messerscharfem Alveolarkamm und konsekutiver fehlender Vertikaldimension.

Aufgrund der weitreichenden Folgen der oralen Ausprägungen dieser Erkrankung gilt es aus zahnmedizinischer Sicht eine möglichst frühzeitige orale Rekonstruktion zu erzielen. Die Strategien dahinter sind vielseitig und richten sich nach der individuellen oralen Situation des/der Betroffenen. In vielen Fällen kann ein festsitzender oder abnehmbarer implantatgetragener Zahnersatz zielführend sein. (12)

Zur Behandlung dieser negativen Konditionen stehen einige Alternativen zur Auswahl. Das Behandlungsmanagement hängt vom Muster und dem Schweregrad der Zahnunterzahl sowie den Patienten-/Patientinnenwünsche beziehungsweise der Wünsche der Erziehungsberechtigten ab. Verschiedenste Methoden zur Behandlung der Zahnunterzahl werden diskutiert, diese inkludieren den kieferorthopädischen Lückenschluss, restaurativen Ersatz im Sinne von Teilprothesen, Brücken, Autotransplantation und zuletzt auch dentale Implantate. (8) Der Einsatz von dentalen Implantaten bei Kindern und Jugendlichen im Wachstum ist allerdings umstritten. Zum Beispiel empfehlen die S2k Leitlinien der AWMF zur Behandlung des Zahnverlustes bei dentalem Trauma folgende Therapiealternativen: Versorgung mit Adhäsivbrücke, kieferorthopädischer Lückenschluss, autogene Zahntransplantation oder herausnehmbare Kinder-/Interimsprothesen. Die dentale Implantation wird erst nach Wachstumsabschluss empfohlen. (13)

Der kontroversiell diskutierte Einsatz von Zahnimplantaten im wachsenden Kiefer resultiert aus ihrer klinischen Geschichte. Erste Studien an im Wachstum befindlichen Schweinen zeigten, dass sich Implantate nicht wie natürliche Zähne am Wachstum beteiligen und den Wachstumsbewegungen der Kieferknochen folgen. Stattdessen verhalten sie sich wie ankylosierte Zähne: Das sind Zähne, die zum Beispiel in Folge eines Traumas, nicht am parodontalen Weichgewebe im Zahnfach hängen, sondern fest mit dem Knochen verwachsen sind. Klinische, radiologische und histologische Untersuchungen in diesen Studien zeigten, dass dadurch bei den Implantaten keine Bildung und Entwicklung des Alveolarfortsatzes stattfand. Während sich das Gewebe in einiger Entfernung von den Implantaten normal entwickelte, war die Entwicklung in unmittelbarer Nähe der Implantate verlangsamt. Die Konklusion lautete, dass das fehlende Wachstumsverhalten der Implantate zu unästhetischen und dysfunktionellen Zuständen sowie zu

parodontalen Komplikationen (zum Beispiel winkelförmiger Knochendefekt um den Nachbarzahn) führen könnte. (14, 15) Darauf folgende Studien an Menschen bestätigten diese Ergebnisse. (3, 16)

Die Schlussfolgerungen aus diesen Erkenntnissen waren, dass in vielen Arbeiten empfohlen wurde, dentale Implantate im Kindes- und Jugendalter erst nach Abschluss des Wachstums in Betracht zu ziehen. (3, 16-18)

Alternative provisorische Therapien wie herausnehmbare Prothesen oder Klebebrücken zum Ersatz der fehlenden Zähne erfüllen oftmals jedoch nicht die Bedürfnisse wachsender Patientinnen und Patienten. Der Therapieerfolg der herausnehmbaren Restaurationen sind zudem wesentlich von der Compliance abhängig. (6, 7, 19) Fixierte festsitzende Restaurationen sind im Wachstumsalter ebenfalls aus diversen Gründen wie dem Risiko des Pulpenschadens und der Zahn- und Kieferwachstumshemmung, nicht empfohlen. (3)

Dagegen zeigen aber doch einige Studien, dass dentale Implantate erfolgreich gesetzt werden können, wenn ausreichende Kenntnisse zu den Kieferwachstumsveränderungen und den zeitgleichen Zahnbewegungen bestehen. (20, 21) Allerdings müssen dabei vorab viele Faktoren in Betracht gezogen werden. Diese inkludieren: Alter des Patienten/der Patientin, die dentale Okklusion, das Weichgewebe und die skelettalen Wachstumsmuster, die Morphologie der Hypodontie, die Anzahl und Beschaffenheit der Restzähne, die Morphologie der Alveolarkämme, die orale Hygiene, das Interesse und die Erwartungen des Patienten/der Patientin, sowie die Kosten der Behandlung. (8) Letzten Endes ist die Therapie mit dentalen Implantaten ebenso eine multidisziplinäre Aufgabe, die eine fächerübergreifende Behandlungsplanung von Kieferorthopädeninnen/Kieferorthopäden, oralen Chirurgen/Chirurginnen und Prothetikerinnen/Prothetikern erfordert. (4, 8, 22)

### **1.1.3. Fragestellungen**

Diese Arbeit beschäftigt sich mit genau diesem kontroversiell diskutiertem Indikationsspektrum der dentalen Implantate im wachsenden Kiefer. Sie soll eine Basis bilden, um hierfür die Entscheidungsfindung für zukünftige Behandlerinnen und Behandler zu erleichtern. Hierfür wurden folgende Forschungsfragen definiert:

### Hauptforschungsfrage:

- Gibt es eindeutige Indikationen für dentale Implantationen vor Wachstumsabschluss?

### Nebenforschungsfragen:

- Gibt es Indikationen für dentale Implantationen vor Wachstumsabschluss, welche nur fallweise gelten?
- Gibt es Kontraindikationen für die dentale Implantation vor Wachstumsabschluss?

Um diese Forschungsfragen beantworten zu können, möchte ich im Rahmen der Einleitung einen Überblick über die Anatomie und die Entwicklung der Kieferknochen geben, beginnend in der embryonalen Phase hin zum postnatalen Wachstum. Das Verständnis hierzu ist essenziell um eine fundierte Entscheidung bezüglich passendem Implantationszeitpunkt sowie passender Implantationslokalisierung treffen zu können. Beide genannten Faktoren sind für die Behandlerin/den Behandler entscheidend, um einen langfristigen Erfolg hinsichtlich Funktion und Ästhetik erzielen zu können.

Die Literaturrecherche soll im Ergebnisteil jene Beiträge aufarbeiten, die über eine erfolgreiche Implantation im Wachstumsalter berichten. Die Gesamtaussagen dieser Beiträge sollen anschließend mit weiteren Literaturreviews zur Thematik im Diskussionsteil diskutiert werden. Das Ziel ist es, eine wissenschaftlich fundierte Aussage bezüglich der Indikationen und Behandlungskonzepte dentaler Implantate im wachsenden Kiefer abzuleiten.

## **1.2. Pränatale Kieferentwicklung**

Im Alter von 4 Wochen besteht der Kopf eines Embryos größtenteils nur aus dem Gehirn, bedeckt von Ektoderm und Mesoderm – zwei der drei nach der Befruchtung der Eizelle entstandenen Zellhaufen, auch Keimblätter genannt (Mesoderm, Ektoderm, Entoderm). (23) An der Vorderseite des Embryos bilden sich in der Region des späteren Kopfes und Halses durch Ausbuchtungen, Furchungen und Faltungen 6 sogenannte Kiemenbögen. Jeder einzelne dieser Kiemenbögen

entwickelt ein eigenes Kiemenbogenknorpel-element, eine Kiemenbogenarterie und -vene, einen Kiemenbogenmuskel und einen Kiemenbogennerven. Die Kieferknochen Mandibula (Unterkiefer) und Maxilla (Oberkiefer) entwickeln sich aus dem ersten Kiemenbogen heraus, zusammen mit ihren Nerven, dem Nervus mandibularis (Unterkiefernerve) und Nervus maxillaris (Oberkiefernerve) sowie der Kaumusculatur und zahlreichen anderen anatomischen Strukturen. (24) Am Ort des späteren Mundes befindet sich zu diesem Zeitpunkt eine Vertiefung, genannt Stomodeum (primitive Mundbucht). Diese Vertiefung ist umgeben von Wülsten, die der Formgebung des späteren Gesichtes dienen:

- die unpaare Stirnwulst – liegt über der Mundbucht
- die paarigen Oberkieferwülste – liegen seitlich der Mundbucht
- die paarigen Unterkieferwülste – liegen unter der Mundbucht

Die Stirnwulst unterteilt sich beidseits in die mittleren (medialen) und die äußeren (lateralen) Nasenwülste. Die mittleren Nasenwülste der rechten und linken Gesichtsseite verbinden sich miteinander und verschmelzen mit den hereinwachsenden Oberkieferwülsten. Aus diesem gehen unter anderem der Oberkiefer und die Oberlippe hervor. Die Unterkieferwülste verbinden sich ebenso miteinander in der Gesichtsmitte und bilden den Unterkiefer und die Unterlippe. Dieser Vorgang findet zwischen der 4. und 8. Schwangerschaftswoche statt. Nach Abschluss ist die Grundlage für den Ober- und Unterkiefer sowie die sie umgebenden Gewebe gelegt. (25)

## **1.3. Postnatales Kieferwachstum**

### **1.3.1. Grundkonzept des Knochenwachstums**

Die Morphogenese eines Organismus strebt kontinuierlich nach einem Zustand des architektonischen Gleichgewichtes ihrer wachsenden Gewebe. Während der Entwicklung ist das Gleichgewicht allerdings ständig im Wandel und wird in dieser Zeit nie vollständig erreicht, da das Wachstum immer wieder neue regionale Ungleichgewichte hervorruft. Diese wiederum signalisieren dem Organismus, dass es neuer Anpassungsvorgänge bedarf, um die angestrebte Homöostase herstellen zu können. Wird das Gleichgewicht für eine gewisse Zeit erreicht kommt es zu

einem Stillstand der regionalen Wachstumsaktivität. Dieser Zyklus wiederholt sich während der Kindheit, der Adoleszenz, des Erwachsenenalters bis hin ins hohe Alter, wobei der Wechsel zwischen morphologisches Gleichgewicht und Ungleichgewicht eine Reaktion auf sich ständig ändernde intrinsische und extrinsische Bedingungen darstellt.

Nach der vom amerikanischen Anatomen, Anthropologen und Zahnarzt Melvin Moss entwickelten Theorie befinden sich die genetischen und funktionellen Determinanten der Entwicklung eines Knochens in den ihn umschließenden Weichgewebe. Diese, auch als *functional matrix hypothesis* benannte Theorie besagt, dass das Wachstum des Knochens nicht in ihm selbst codiert ist, sondern dass der Knochen nur als Reaktion auf die funktionellen Beziehungen wächst, die mit der Summe aller mit ihm in Verbindung stehender Weichgewebe hergestellt werden. Diese Weichgewebe im Falle der Kieferknochen wie Muskeln, Zunge, Lippen, Wangen, Haut, Schleimhäute, Bindegewebe, Nerven, Blutgefäße, Atemwege, Rachen, Gehirn, Mandeln und Polypen, senden Signale an die knochenbildenden Zellen (Osteoblasten). Diese Signale steuern die Entwicklung des Knochens in Form, Größe und Wachstum. Die umgebenden Weichgewebe bilden somit den Bauplan zur Knochenentwicklung. (24, 26, 27) Sie beeinflussen die folgenden Prozesse:

- Ein- und Ausschalten der Knochenbildung: Die Weichgewebe geben den Startschuss für die Bildung von Knochengewebe und steuern auch, wann dieser Prozess abgeschlossen ist.
- Beschleunigung oder Verlangsamung des Knochenwachstums: Die Signale aus den Weichgeweben bestimmen, wie schnell der Knochen wächst.
- Gestaltung des Knochens: Die Form des Knochens wird durch die Anordnung und Funktion der umgebenden Weichgewebe beeinflusst.

Zum leichteren Verständnis eignet sich hierfür folgendes Beispiel:

- Wenn ein Muskel wächst und seine Kraft zunimmt, übertrifft er den Knochen, an dem er ansetzt in Größe und mechanischer Kapazität. Dieses Ungleichgewicht ist ein sofortiges Signal an die knochenbildenden (osteogenen), knorpelbildenden (chondrogenen), nervenbildenden (neurogenen) und bindegewebsbildenden (fibrogenen) Zellen. Woraufhin der

Knochen samt seinem Bindegewebe, seiner Blutversorgung und seiner Innervation einem Remodeling unterliegt, um so eine erneute Homöostase zwischen Muskel und Knochen herzustellen und eine Dysbalance zu vermeiden. (24)

Somit lässt sich sagen, dass die Weichgewebe die "Blaupause" für die Entwicklung eines Knochens liefern. Sie steuern die Entstehung, die Formgebung und das Wachstum des Knochens durch die Aussendung diverser intrinsisch und extrinsisch getriggelter Informationssignale.

Die sich entwickelnde Knochenform folgt seiner Funktion - *form follows function*. Die Funktion wirkt sich auf den Knochen durch Druck- und Zugebelastungen aus. Druckbelastung auf den Knochen führt zur Atrophie ebendort, wohingegen Zugbelastungen zum Knochenanbau führen. (24, 27)

Zum Grundverständnis des Knochenwachstums gehören zwei wichtige Begriffe:

das **Remodeling** und  
das **Displacement**.

Das Remodeling beschreibt den Umbau eines Knochens durch Deposition und Resorption. Bei der Deposition wird neuer Knochen gebildet und an einer Knochenoberfläche angelagert. Bei der Resorption wird bestehende Knochensubstanz abgebaut. (28) Das Remodeling findet zeitlebens statt und hat folgende Aufgaben:

- Größenveränderung des Knochens speziell im Wachstum
- Formgebung des Knochens entsprechend seiner Funktion
- Kontinuierliche strukturelle Anpassung an sich verändernde intrinsische und extrinsische Bedingungen

Als Displacement wird eine Verlagerung beziehungsweise Verschiebung eines Knochens bezeichnet: Kommt es im Wachstum zur Größenzunahme eines Knochens oder der Weichgewebe, schaffen diese damit Raum für alle mit ihnen in Verbindung stehenden weiteren Knochen. Diese wollen den neu entstandenen Raum für sich einnehmen und müssen sich daher physisch verlagern (=Translation). Auch während dem Displacement findet am Knochen eine Resorption und Deposition statt. Als Anschauungsbeispiel eignet sich hier das

Wachstum des Ober- und Unterkiefers. Der Oberkiefer steht über eine knorpelige Suture in einer direkten Nahebeziehung zum Schädelboden. Durch das expansive Wachstum der Weichteile im Mittelgesicht kommt es zu einem Zug und somit einem Displacement des nasomaxillären Komplexes nach anterokaudal. Um allerdings den Kontakt zum Schädelboden nicht zu verlieren, kommt es zu einem Remodeling im Sinne einer Deposition des Knochens in die entgegengesetzte Richtung, und zwar nach dorsokranial wie in Abbildung 1 dargestellt.

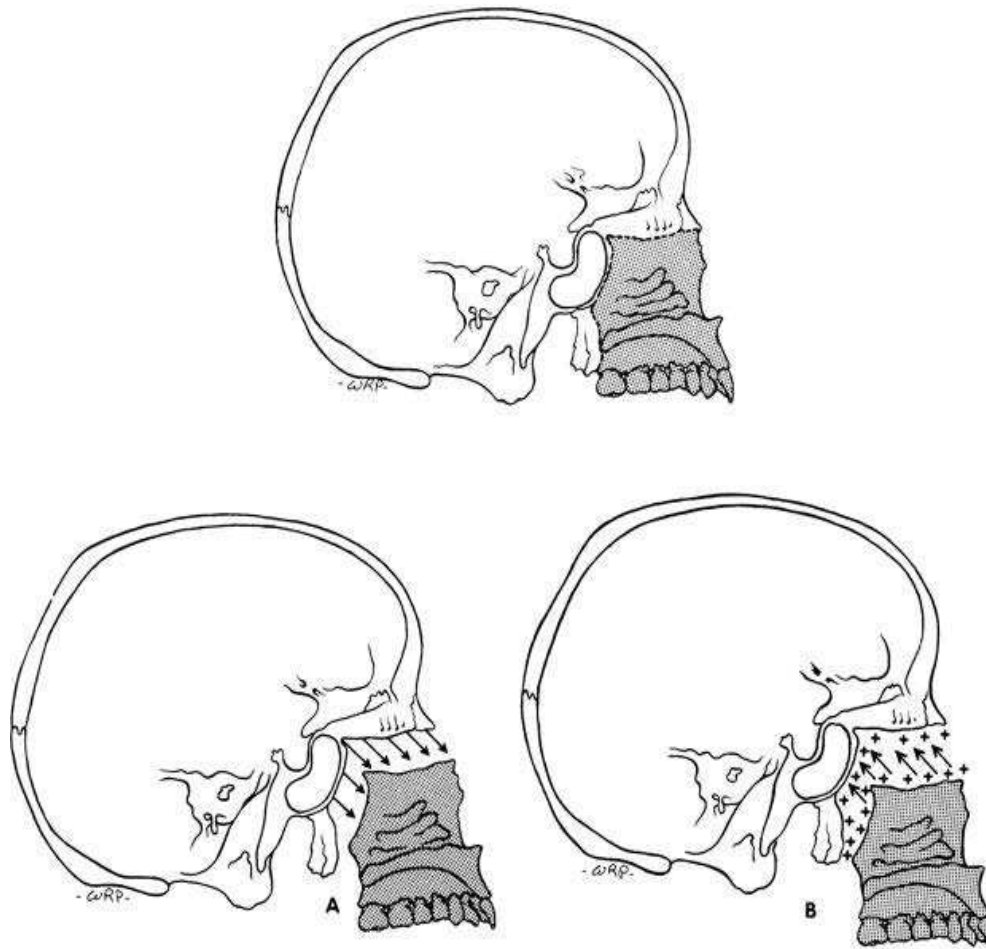


Abbildung 1: Schematische Darstellung der maxillaren Wachstumsverschiebung.

Oben Mitte: ursprüngliche Oberkieferposition. A: Verschiebung des Oberkiefers in Pfeilrichtung induziert durch das Wachstum der Gesichteweichteile. B: ossäre Reaktion mit Knochendeposition (+)  
 (übernommen aus: Enlow DH, Hans MG. *Essentials of facial growth*. 2nd ed. Ann Arbor, MI: Distributed by Needham Press; 2008. xvii, 507 p. p.)

Dasselbe gilt für den Unterkiefer. Das Wachstum im Mittelgesicht bewirkt eine Verschiebung nach anterokaudal wodurch der Gelenksfortsatz (Kondylus mandibulae) seinen Kontakt zur Gelenkspfanne (Fossa temporalis) der Schädelbasis verlieren würde. Um dem entgegenzuwirken, kommt es zu einer

Verlängerung des aufsteigenden Unterkieferastes (Ramus ascendens mandibulae) und Knochenbildung am Kondylus wie in Abbildung 2 dargestellt.

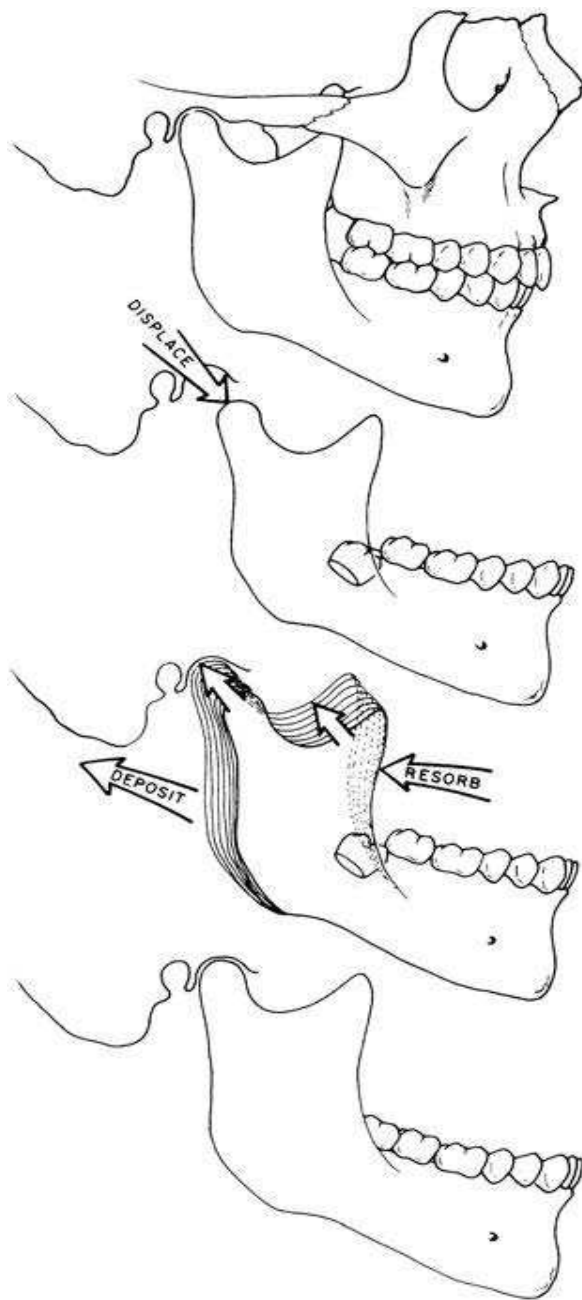


Abbildung 2: Schematische Darstellung der mandibulären Wachstumsverschiebung.

(übernommen aus: Enlow DH, Hans MG. *Essentials of facial growth*. 2nd ed. Ann Arbor, MI: Distributed by Needham Press; 2008. xvii, 507 p. p.)

Um die Wachstumsmuster der Kieferknochen genauestens untersuchen zu können, wurden in longitudinalen Studien winzige metallische und somit röntgenopake Marker, auch Implantate genannt - nicht zu verwechseln mit dentalen Implantaten

zum Ersatz eines oder mehrerer fehlender Zähne – in den Knochen eines Probanden/einer Probandin eingebracht und deren Abstände zueinander vermessen. (29-33) In den darauffolgenden Jahren wurden in regelmäßigen Abständen sogenannte kephalometrische Röntgenaufnahmen durchgeführt. Anhand der im Röntgen ersichtlichen Implantate und der sich ergebenden Divergenzen, konnten auf die Wachstumsmuster des untersuchten Knochens Rückschlüsse gezogen werden. (24, 29, 31, 34)

Zum leichteren Verständnis wird das Wachstum der Kiefer entlang seiner Ausdehnungsrichtung in den drei Raumebenen beschrieben: transversal (links-rechts), sagittal (vorne-hinten) und vertikal (oben-unten). Für Maxilla und Mandibula gilt, dass das Wachstum zuerst in der transversalen anschließend in der sagittalen und erst zum Schluss in der vertikalen abgeschlossen ist. (19, 29, 31)

In den folgenden Absätzen werden die Wachstumsmuster der Maxilla und Mandibula genauer beschrieben.

### **1.3.2. Wachstum der Maxilla**

Ein wichtiger Ort für das Wachstum der Maxilla ist das Tuber maxillae, eine beidseitige knöcherne Erhebung des Oberkieferknochens hinter den Backenzähnen. Das Tuber wächst in 3 Raumrichtungen durch Deposition wie in Abbildung 3 dargestellt. Es verlängert sich nach dorsal (3 schwarze Pfeile), in dem sich Knochen, an dem nach hinten gerichtetem Anteil anlagert. Ebenso finden Anlagerungen nach lateral an der bukkalen Seite (2 weiße Pfeile) und nach kaudal entlang der Alveolarkämme (2 schwarze Pfeile) statt. Die nach kranial gerichtete Seite unterliegt wiederum einer Resorption, wodurch es im Wachstum durch Größenabnahme des kranialen Tubers zur Vergrößerung der darüber liegenden Kieferhöhle kommt. (24, 27)

Die distale Verschiebung des ersten Molaren im Oberkiefer ist oft ein wesentlicher Bestandteil eines kieferorthopädischen Behandlungsplans. Dabei spielt das Tuber maxillae eine bedeutende Rolle. Jegliche mechanische Methode, die darauf abzielt, den ersten Oberkiefermolaren nach hinten zu bewegen, nutzt das beschriebene Wachstumspotenzial des Tubers. (24)

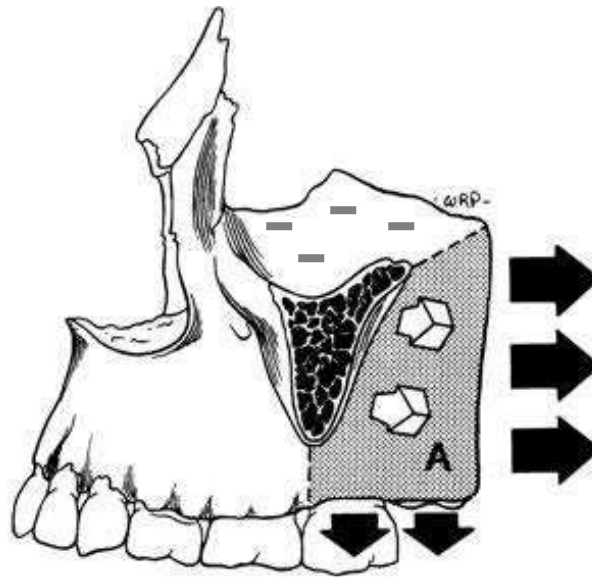


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Wachstums am Tuberculum maxillare.

Schwarze Pfeile nach rechts zeigen nach distal, schwarze Pfeile nach unten zeigen nach kaudal, weiße Pfeile zeigen nach bukkal, Minus (-) markieren die Resorptionsflächen im Bereich der Kieferhöhle.

(übernommen aus: Enlow DH, Hans MG. *Essentials of facial growth*. 2nd ed. Ann Arbor, MI: Distributed by Needham Press; 2008. xvii, 507 p. p.)

Eine weitere wichtige Rolle im Wachstum der Gesichtsschädelknochen und im speziellen der Maxilla spielen die Suturen, also jene Bereiche an denen Knochen und Knochenelemente während des Wachstums über straffes kollagenes Bindegewebe miteinander verbunden sind. Sie bilden sekundäre Knochenwachstumszentren und verknöchern erst, wenn das Wachstum in ihrer Umgebung abgeschlossen ist. (35) Wachstum wird in ihnen durch eine Zugspannung initiiert. Wie bereits oben beschrieben, zeigt die Maxilla eine nach vorne und unten gerichtete Wachstumstendenz (siehe Abbildung 1 und Abbildung 6). Björk et al. auch vom sogenannten *sutural lowering* übersetzt die suturale Absenkung (29). Die sich ausdehnenden Gesichtsteile führen zu einer Verschiebung der Knochen. Während die Knochen nach vorne und unten verschoben werden, findet als Reaktion auf die dadurch ausgelöste Zugspannung an den Suturen eine Knochenneubildung statt, wodurch es einerseits zu einer Größenzunahme der beteiligten Knochen und andererseits zu einer Aufrechterhaltung des ständigen Knochen-Knochenkontaktes kommt.

### 1.3.2.1. Transversales Wachstum der Maxilla

Das transversale Wachstum im ventralen Maxillaanteil ist in der Regel bereits vor dem pubertären Wachstumsschub abgeschlossen und findet hauptsächlich über suturales Wachstum der *Sutura palatina mediana* statt. Im dorsalen Anteil setzt sich das Wachstum einerseits aus suturalem und andererseits aus dem bereits beschriebenen Tuberwachstum zusammen und findet auch während dem pubertären Wachstumsschub statt. Daraus resultiert, dass die Breitenzunahme der Maxilla im Bereich des ersten Molaren dreimal größer ist als im Frontzahnbereich wie in Abbildung 4 angedeutet. (29) Die *Sutura palatina mediana* verknöchert in der Regel im Alter von 15 Jahren bei Mädchen und 17 Jahren bei Jungen. (18, 19)

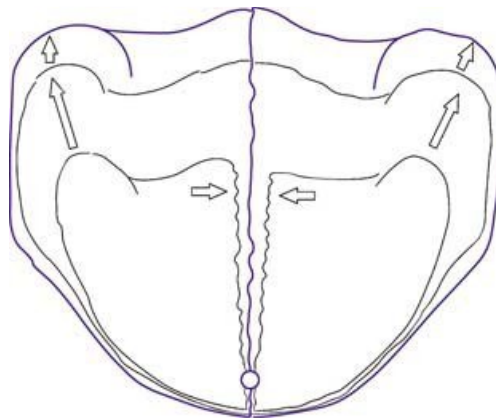


Abbildung 4: Schematische Darstellung des transversalen Maxillenwachstums an der *Sutura palatina mediana*

(übernommen aus: Op Heij DG, Opdebeeck H, van Steenberghe D, Quirynen M. Age as compromising factor for implant insertion. *Periodontol* 2000. 2003;33:172-84.)

### 1.3.2.2. Sagittales Wachstum der Maxilla

Das Längenwachstum der Maxilla findet auch hier zum einen durch suturales Wachstum und zum anderen durch Deposition an den Oberkiefertuber statt. Das suturale Wachstum in der sagittalen findet in diesem Fall in der *Sutura palatina transversa* statt, eine Naht, welche die Maxilla mit dem Os palatinum verbindet, jene Knochen, die zusammen den harten Gaumen bilden (siehe Abbildung 5). (29) Die Verschiebung der Maxilla nach anterior findet allerdings nicht dadurch statt, dass Knochen in der Sutura entsteht, welcher den Oberkiefer vom Os palatinum wegdrückt. Eine Verschiebung kann biologisch gesehen nie dadurch entstehen, dass Knochen gegen Knochen drückt. Hierbei käme es in der Druckzone zu einer

Resorption der betroffenen Knochenanteile. Die biomechanische Kraft für die Verschiebung bildet die entwicklungsbedingte Ausdehnung der Weichteile, die über Sharpey Fasern am Oberkiefer befestigt sind. (24, 27)



*Abbildung 5: Darstellung der Suturen des harten Gaumens (rote Linie).*

*Links: Sutura palatina mediana. Rechts: Sutura palatina transversa.*

*(Übernommen aus DocCheck Flexikon:*

*[https://flexikon.doccheck.com/de/Sutura\\_palatina\\_transversa#:~:text=Definition,Verlaufs%20die%20Sutura%20palatina%20mediana.](https://flexikon.doccheck.com/de/Sutura_palatina_transversa#:~:text=Definition,Verlaufs%20die%20Sutura%20palatina%20mediana.))*

Während jedoch der Oberkiefer im Wachstum nach vorne und unten wandert, wird an der anterioren Fläche Knochen resorbiert, wie Abbildung 6 veranschaulicht. (24) Laut Heij et al. können hier bis zu 25% des durch Vorwärtsdisplacement gewonnenen Knochens wieder verloren gehen. (19) Diese umfangreiche Resorption an der Vorderfläche, könnte laut Enlow et al. ein Grund für die häufig fehlende knöcherne Bedeckung einzelner Oberkieferfrontzahnwurzelspitzen sein. (24)

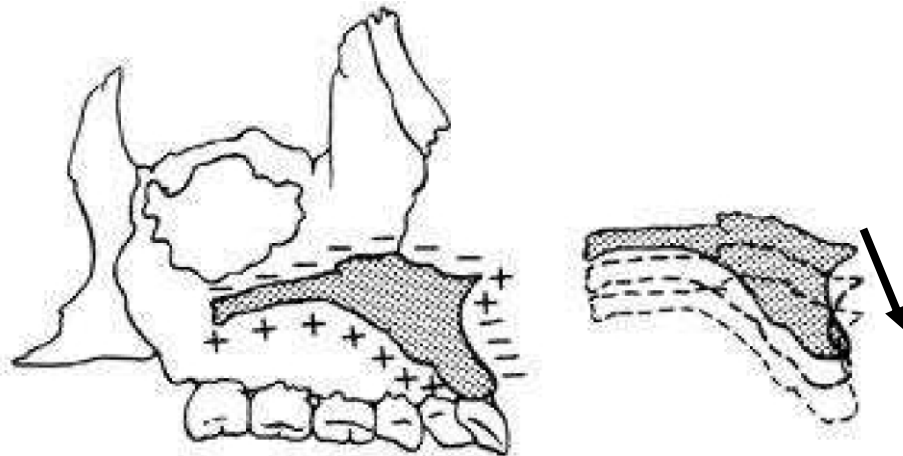


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Resorptions- (-) und Depositionszonen (+) der Maxilla.

(übernommen aus: Enlow DH, Hans MG. *Essentials of facial growth*. 2nd ed. Ann Arbor, MI: Distributed by Needham Press; 2008. xvii, 507 p. p.)

### 1.3.2.3. Vertikales Wachstum der Maxilla

Beim vertikalen Wachstum der Maxilla finden beide der oben beschriebenen Wachstumsprozesse statt: Displacement und Remodeling. Laut Ranly et al. ist für 43% des vertikalen Oberkieferwachstum das physische Verschieben der Maxilla im Sinne eines Displacement verantwortlich. Der größere Anteil von 57% findet mittels Deposition am Alveolarfortsatz statt. Das Wachstum des Alveolarfortsatz ist direkt an die Zahneruption gekoppelt. Der eruptierende Zahn zieht mittels seiner am Knochen haftenden Bindegewebsfasern den Knochen mit und leitet somit dessen Wachstum. Damit erklärt sich auch das Fehlen des Alveolarfortsatzes bei Patientinnen und Patienten mit Anodontie. (36) Während des Displacement nach vorne und unten, initiiert aus der Größenzunahme der Gesichtsweichteile, findet an der gesamten Maxilla eine Remodeling statt. (29) Es kommt zur Resorption an vielen ihrer nach kranial gerichteten Flächen, wodurch Platz zur Vergrößerung der darüber angrenzenden Augen-, Nasen- und Kieferhöhle geschaffen wird, wie unter anderem Abbildung 3 illustriert. Zeitgleich kommt es zur Deposition von Knochen an den nach kaudal beziehungsweise oral gerichteten Flächen, siehe Abbildung 6. Das Remodeling findet in dieser Phase derart intensiv statt, dass Enlow et al. einen fast vollständigen Austausch von altem gegen neues Hartgewebe beschreiben. (24)

### 1.3.3. Wachstum der Mandibula

Der Unterkiefer zeigt in seinem Aufbau viele Gemeinsamkeiten zum Oberkiefer jedoch ebenso viele Unterschiede. Aus praktischer Sicht und vor allem in Anbetracht der Fragestellung dieser Arbeit, ist das Wissen um die Anatomie, das Wachstum, die Gemeinsamkeiten und die Unterschiede von essenzieller Bedeutung. Bevor in diesem Kapitel das Wachstum des Unterkiefers genauer behandelt wird, möchte ich die wichtigsten Unterschiede, die zwischen Maxilla und Mandibula bestehen, auflisten:

- Der Unterkiefer ist ein separater Knochen, der über ein Gelenk mit dem Gesichtsschädel verbunden ist. Der Oberkiefer hingegen hat, nach Abschluss des Wachstums, verknöcherte Nähte/Suturen über die er fest mit dem Schädelboden und dem Mittelgesicht aber auch mit seinen eigenen Knochenelementen verwachsen ist.
- Das Kiefergelenk ist intraartikulär zum Großteil mit Faserknorpel ausgekleidet, einem drucktoleranten Gewebe. Die Suturen der Oberkieferknochen bestehen vor Wachstumsabschluss aus kollagenem Bindegewebe, welches druckempfindlich ist.
- Der Gelenksfortsatz des Unterkiefers, der *Processus condylaris mandibulae* entsteht über die chondrale (indirekte) Osteogenese, wohingegen der Rest des Unterkiefers (ausgenommen das Kinn) sowie die Oberkieferknochen vollständig aus desmaler (direkter) Osteogenese hervorgehen.
- Der Unterkiefer ist mit vielen Muskeln versehen (u.a. mimische Muskulatur, Kaumusukulatur) und im Gegensatz zum Oberkiefer beweglich.
- Der Unterkiefer ist ein einzelner Knochen wohingegen der Oberkiefer Teil des nasomaxillären Komplexes ist, welches über sein Nahtsystem viele separate Knochen fest miteinander verbindet. (24, 35)

Die kraniofaziale Entwicklung während der Adoleszenz zeichnet sich durch signifikante Veränderungen aus, die zur Umgestaltung der Gesichtsmorphologie führen. Hierbei sei gesagt, dass der Wachstumsablauf der Mandibula der Maxilla sehr ähnlich, aber nicht identisch ist. (19) Das Unterkieferwachstum folgt dem des Oberkiefers und wird hierbei beeinflusst durch die Kiefergelenke, die Kaumusukulatur und vor allem durch die sich entwickelnde Okklusion wie in Kapitel 1.3.4. genauer erklärt. (36)

Der Oberkiefer ist stark mit dem Wachstum der Schädelstrukturen verbunden, wohingegen sich das Wachstum des Unterkiefers mehr an dem der Körperstatur des Menschen orientiert. Dieses „differentielle Kieferwachstum“ im speziellen während der Adoleszenzphase, beeinflusst die Profilgestaltung des Gesichtes maßgeblich. Im Vergleich zum Oberkiefer zeigt der Unterkiefer in dieser Zeit einen stärkeren sagittalen Zuwachs. Dieses Wachstumsmuster transformiert das eher konvexe Kinderprofil in ein geradlinigeres Erscheinungsbild des Erwachsenen. Bei weiblichen Individuen ist der Wachstumsschub des Unterkiefers ca. 2-3 Jahre nach der Menarche, also im Alter von 14-15 Jahren, weitestgehend abgeschlossen. Demgegenüber setzt sich der Wachstumsprozess bei männlichen Individuen bis in die frühen 20er Jahre fort, erreicht jedoch in der Regel im Alter von 18 Jahren das Niveau des Erwachsenen. (19)

Einen weiteren wichtigen Faktor im Unterkieferwachstum spielen zwei Knorpelregionen. Zum einen die *Symphysis mandibulae*, eine anatomische Struktur, welche die Mandibula in eine linke und rechte Hälfte teilt, jedoch bereits im zweiten Lebensjahr verknöchert und danach nicht mehr wesentlich zum transversalen Wachstum beiträgt. Zum anderen der Knorpel des *Processus condylaris mandibulae*, in Abbildung 7 bläulich eingefärbt, der über seine chondrale Ossifikation Knochengewebe bis zum Wachstumsabschluss bildet. (19, 24, 27, 35, 37)

Zwei wichtige Strukturen der Mandibula sollen aufgrund ihrer großen Rolle im Wachstumsprozess genauer beschrieben werden, bevor im Anschluss das Unterkieferwachstum entlang der drei Raumrichtungen erklärt wird.

*Ramus mandibulae*: Der *Ramus mandibulae* spielt eine wesentliche Rolle in der Anpassung des Kiefers und des Zahnbogens an den wachsenden Oberkiefer. Er bietet nicht nur Ansatzpunkte für die Kaumuskelatur, sondern beeinflusst auch maßgeblich die Ausrichtung sowie die vertikale und horizontale Länge des Unterkiefers. Diese Anpassungen sind entscheidend, um den unteren Zahnbogen in korrekter Okklusion mit dem Oberkieferbogen zu positionieren.

*Processus condylaris mandibulae*: Der Unterkieferkondylus stellt eine wichtige Wachstumszone dar und hat erhebliche klinische Bedeutung. Funktionell gesehen ermöglicht der Kondylus mit seinem Knorpel einen drucktoleranten

Gelenkskontakt und besitzt eine regionale adaptive Wachstumskapazität. Der Knorpel zeichnet sich ebendort durch ein spezielles, avaskuläres Gewebe aus. Dies bedeutet, dass es im Vergleich zur vaskulären Weichteilmembran des Knochens (Periost) bei Druckbelastung zu keiner Kompression der Gefäße kommt, die eine Resorption der belasteten Fläche als Folge hätte. Stattdessen zeigt sich das Knorpelgewebe aufgrund seiner hydrophilen Eigenschaft als pralles und somit auf Oberflächendruck unnachgiebiges Gewebe. Diese Kapazität ermöglicht es ihm, auf verschiedene Faktoren wie okklusale Veränderungen, myofunktionelle Gewohnheiten, Atemwegsinsuffizienzen (z.B. bei chronischer Mundatmung) und Wachstumsschwankungen zu reagieren. Über sein chondrales Wachstum sorgt dieser für ein Wachstum nach dorso-kranial, um der Wachstumsrichtung des Mittelgesichts entgegenzuwirken und den Kontakt zum Kiefergelenk und der Schädelbasis beizubehalten, wie Abbildung 2 illustriert. Es gilt dabei zu beachten, dass der Kondyluskopf mit seinem Wachstumsmuster nur auf äußere Veränderungen reagiert und nicht selbst federführend sein Wachstum leitet. Enlow postuliert, dass der Kondylus auf verschiedenste Rotationskraftvektoren, die auf den Ramus einwirken, mit selektiver Zellteilung reagiert, um eine effektive Artikulation aufrecht erhalten zu können. (24)

All diese Wachstumsmodifikationen müssen mit den Veränderungen des maxillaren Wachstums übereinstimmen, um ein dauerhaftes Gleichgewicht des Gesichts zu erreichen. Die beobachteten Umbauprozesse werden kontinuierlich durch die wachsenden Weichgewebe und deren Funktion oder Dysfunktion beeinflusst, um eine harmonische Entwicklung des Gesichtes und eine stabile Okklusion zu gewährleisten. (24, 27, 35)

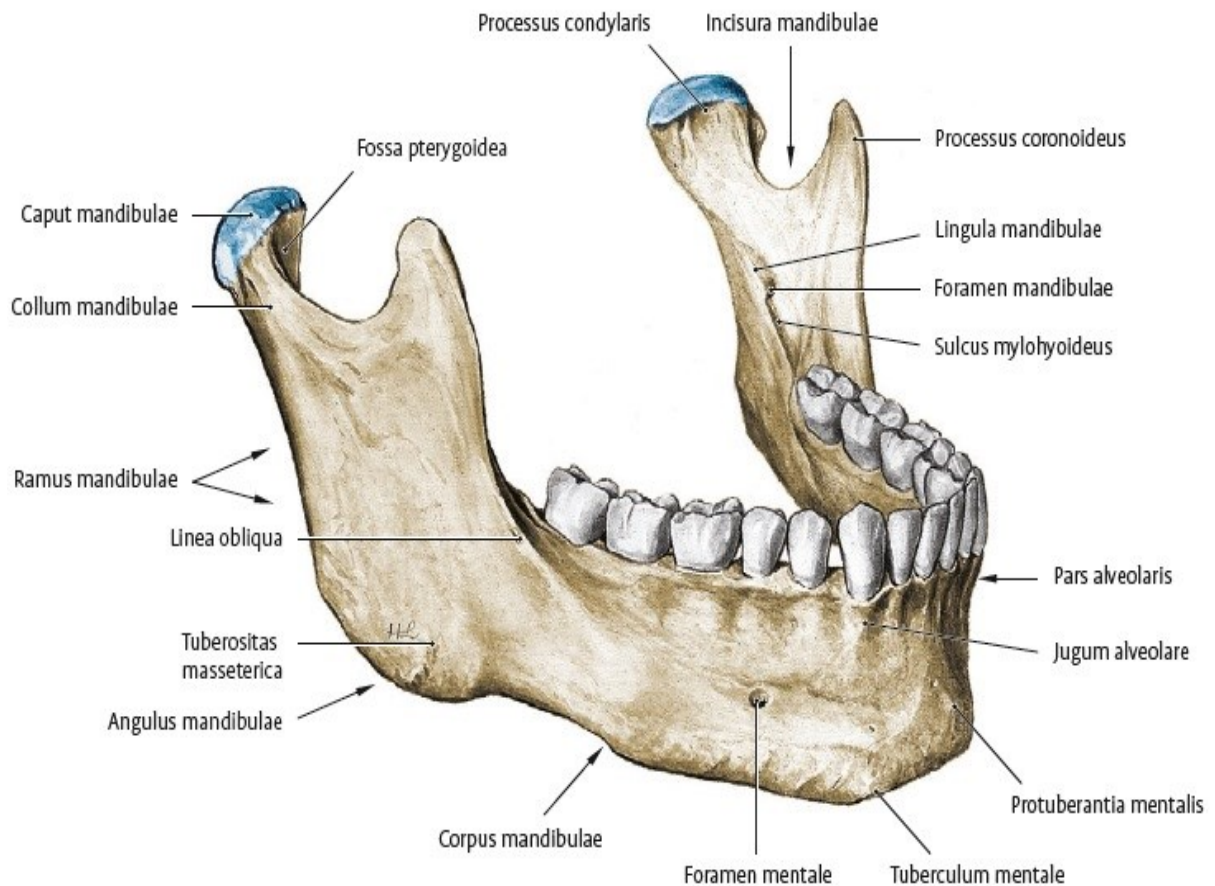


Abbildung 7: Anatomie der Mandibula.

übernommen aus: Friedrich A, Franz P, Johannes S. Waldeyer - Anatomie des Menschen. Berlin, Boston: De Gruyter; 2012.)

### 1.3.3.1. Transversales Wachstum der Mandibula

Obwohl der Unterkieferbogen in seinem vorderen Anteil bereits vor der Pubertät seine vollständige Breite erreicht, nimmt der hinteren Bereich in Verbindung mit der zunehmenden sagittalen Längenausbreitung weiterhin V-förmig an Breite zu (in Abbildung 8 schematisch dargestellt). Aufgrund der sehr frühen Verknöcherung der *Symphysis mandibulae* im ersten Lebensjahr und einer geringen Remodelingaktivität kommt das transversale Wachstum im vorderen Unterkieferteil sehr früh zum Stehen. Nach dem Durchbruch der bleibenden Unterkiefereckzähne findet fast keine Veränderung mehr statt. (38) Der hintere Anteil im Bereich der Prämolaren und Molaren zeigt hingegen eine deutlich stärkere Remodelingaktivität und durchläuft somit länger eine Veränderungsphase. Hierbei kommt es im lingualen Anteil des Unterkieferkorpus zu einer Resorption, begleitet von einer

Knochendeposition an der bukkalen Seite, welche sich schlussendlich in der transversalen Ausbreitung des Unterkiefers widerspiegelt. (19, 24)

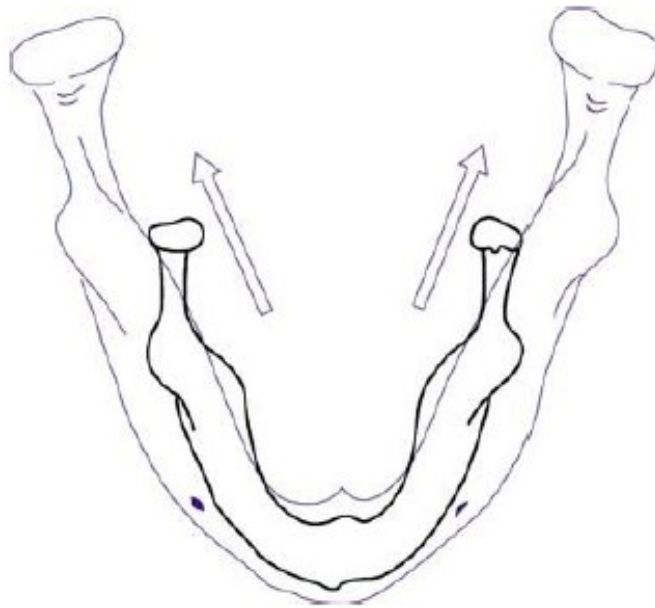


Abbildung 8: Schematische Darstellung V-förmigen Wachstumveränderung der Mandibula.

(übernommen aus: Op Heij DG, Opdebeeck H, van Steenberghe D, Quirynen M. Age as compromising factor for implant insertion. *Periodontol* 2000. 2003;33:172-84.)

### 1.3.3.2. Sagittales Wachstum der Mandibula

Wie bereits beschrieben zeigt der Kondylus mit seiner chondralen Ossifikation ein adaptives Wachstum, welches durch seine dorso-kraniale Ausrichtung wesentlich zur sagittalen Ausbreitung beiträgt (siehe Abbildung 2). Wie Abbildung 9 illustriert, reagiert der Ramus auf die ventero-kaudale Verschiebung des Mittelgesichts mit Deposition an seiner nach dorsal und Resorption an der nach ventral gerichteten Seite. Diese resorptive Zone ist vor allem im Wechselgebiss von essenzieller Bedeutung und ermöglicht den Durchbruch des ersten, zweiten und dritten Molaren. Impaktierte dritte Molaren sind unter anderem eine direkte Folge eines mangelnden sagittalen Ramuswachstums. (19, 24) Die Verschiebung des Ramus durch den ventralen Abbau und die dorsale Deposition sorgt zugleich für eine Verlängerung des *Corpus mandibularis*. Diese sequenzielle Bewegung des Ramus nach hinten wird als Arealverschiebung bezeichnet. Der sich verlängernde Korpus übernimmt somit jene Positionen die zuvor der Ramus eingenommen hat. Das heißt, es findet

ein struktureller Umbau von einem ehemaligen Teil des Ramus zu einem neuen Teil des Korpus statt. (24, 36)

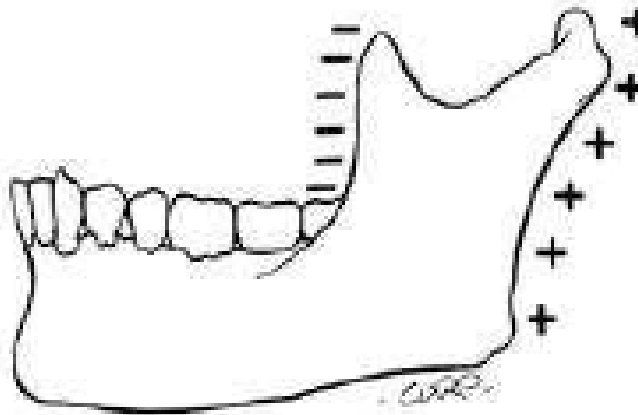


Abbildung 9: Schematische Darstellung der Resorptions- (-) und Depositionszonen (+) des Ramus mandibulae.

(übernommen aus: Enlow DH, Hans MG. *Essentials of facial growth*. 2nd ed. Ann Arbor, MI: Distributed by Needham Press; 2008. xvii, 507 p. p.)

### 1.3.3.3. Vertikales Wachstum der Mandibula

Als Reaktion auf die durch das Gesichtswachstum verursachte Verschiebung des Mittelgesichts nach vorne und unten, zeigen die Wachstumsvektoren des Ramus und Kondylus - vereinfacht dargestellt - nach oben und nach hinten. Dadurch entsteht folglich neben der bereits beschriebenen sagittalen Ausbreitung auch eine in der Vertikalen. (24) Im vertikalen Wachstum der Mandibula spielt allerdings ein weiterer, bisher unerwähnter Faktor eine große Rolle. Und zwar die Knochenanlagerung am dentoalveolären Komplex, die insbesondere während des Zahndurchbruchs Fahrt aufnimmt und der Eruption der Zähne folgt. (18, 19, 24, 38-40)

Zusammenfassend gilt für ein ausgewogenes Kieferwachstum, dass die Zunahme des Knochenbaus am Tuberculum maxillare dem Ausmaß der Vorwärtsverschiebung des Oberkiefers und auch die distal gerichtete Ausbreitung des Ramus und Kondylus dem Ausmaß der Vorwärtsbewegung der gesamten Mandibula entsprechen muss. Zeitgleich muss das Ausmaß der Vorwärtsbewegung des Unterkiefers dem des Oberkiefers entsprechen, um ein harmonisches

Gesichtsbild zu ergeben und eine suffiziente Grundlage für eine stabile Okklusion zu schaffen. (24)

#### **1.3.4. Dentale Bewegungsmuster während Kieferwachstum**

Zahnbewegungen können in allen drei Raumrichtungen erfolgen. Obwohl einzelne Zähne im Rahmen des Wachstums auch rotatorischen und Kippbewegungen ausgesetzt sind, werden die Bewegungen der Zähne – zumeist als Drift bezeichnet – in der Regel in zwei Bewegungsrichtungen unterteilt:

- die mesiale und
- die vertikale Drift.

Zunächst soll jedoch erklärt werden, wie es zur Bewegung eines Zahnes überhaupt kommen kann. Dafür sind zwei Mechanismen von Relevanz. Zum einen folgen die Zähne der durch die faziale Morphogenese induzierten antero-inferioren Verlagerung des Ober- und Unterkiefers. Zum anderen spielen auch hier wieder die umliegenden Weichgewebe eine zentrale Rolle. In diesem Fall das parodontale Weichgewebe, welches den Zahn mit dem umliegenden Knochen sowie dem Zahnfleisch verbindet und ihn in seinem Zahnfach, der Alveole, hält. Die Aufhängung des Zahnes in der Alveole findet mittels Bindegewebsfasern statt, die dafür sorgen, Druck- in Zugspannung umzuwandeln. Dadurch wird verhindert, dass resorptive Druck-, Kipp-, oder Rotationskräfte, die durch die Kaukräfte auf die Zähne einwirken, eine negative Auswirkung auf die empfindliche vaskuläre Parodontalmembran haben.

Das parodontale Weichgewebe unterliegt einem ständigen Remodeling Prozess welches auf externe Signale reagiert und somit den Zahn in seiner Position verändert. Die Alveole kann sich mittels Remodeling praktisch in jede Richtung verändern.

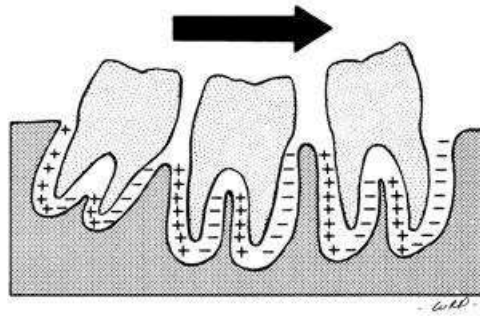


Abbildung 10: Schematische Darstellung der Zahnbewegung in Pfeilrichtung mit Resorptions- (-) und Depositionszonen (+).

(übernommen aus: Enlow DH, Hans MG. *Essentials of facial growth*. 2nd ed. Ann Arbor, MI: Distributed by Needham Press; 2008. xvii, 507 p. p.)

Die funktionellen Gründe dahinter sind einerseits die Schließung der Zahnbögen während des Wachstums und die Aufrechterhaltung dieser, wenn sich die approximalen und okklusalen Kontaktpunkte im Verlauf des Alters abnutzen und sich zu Kontaktflächen hin verändern. In diesem Fall finden beide Bewegungsformen, also die mesiale und die vertikale Drift statt. Die andere Funktion ist es, die exakte anatomisch Positionierung der Zähne und der damit einhergehenden schrittweisen Verlagerung im Rahmen des Wachstums und Umverlagerung des Ober- und Unterkiefers sicherzustellen. Die Anatomie des parodontalen Weichgewebes bietet somit eine mechanische Unterstützung, verleiht ihm elastische Stabilität und ermöglicht allen Zähnen eine funktionelle Okklusionsposition einzunehmen, indem es für vertikale und horizontale Verschiebewegungen und den damit einhergehenden Umbauprozessen des Alveolarknochens sorgt.

Diesen Prozess machen sich vor allem Kieferorthopäden zu Nutze, wenn sie mittels kieferorthopädischer Apparaturen Positionsveränderung der Zähne erzeugen möchten. Der Zahn selbst unterliegt allerdings keinem Remodeling und kann sich daher auch nicht in vergleichbarer Weise durch seinen eigenen Umbau bewegen. Zähne brechen sozusagen „ausgewachsen“ aus und werden durch biomechanische oder iatrogen zugeführte Kräfte bewegt, die außerhalb des Zahnes liegen. (24, 27)

Dentale Implantate besitzen kein parodontales Weichgewebe und nehmen dementsprechend genau wie ankylosierte Zähne nicht an den

Wachstumsbewegungen teil. (14, 15) Die daraus resultierenden potenziellen Risiken sollen im Kapitel „Diskussion“ genauer beschrieben werden.

Ein letzter wichtiger Mechanismus, der *dentoalveoläre Kompensationsmechanismus*, mit grundlegendem Einfluss auf die Zahnstellung sei hier abschließend noch beschrieben. Die individuelle Variabilität in Umfang und Richtung des Kieferwachstums ist groß und die Koordination zwischen Ober- und Unterkiefer nicht immer perfekt. (31, 41, 42) Um solche Unterschiede auszubessern, braucht es einen Mechanismus, der die Eruption und die Position der Zähne im Verhältnis zu ihren Kiefern ausgleicht. Der dentoalveoläre Kompensationsmechanismus ist somit ein System, welches versucht harmonische Beziehungen zwischen den Zahnreihen aufrechtzuerhalten. Verantwortlich für diesen Mechanismus sind drei Faktoren:

- Der erste Faktor ist das eruptive System, welches eine kontinuierliche Eruption der Zähne während dem Wachstum verantwortet. (43) Systemische Erkrankungen, die das eruptive System beeinflussen, können die dentoalveoläre Kompensation stören.
- Der zweite Faktor sind die Kräfte der umgebenden Weichgewebe, bestehend aus Zunge, Lippen und Wangen, die ebenfalls einen Einfluss nehmen. Zahnfehlstellungen können durch „abnorme“ Stellungen dieser Weichteile wie sie in etwa bei chronischer Mundatmung vorkommen, ausgelöst werden.
- Der dritte Einflussfaktor der Zahnstellung sind Fehlstellungen der Nachbarzähne während des Durchbruchs. Auch diese können den Kompensationsmechanismus wesentlich in seiner Wirksamkeit beeinflussen. (40)

#### **1.4. Wachstumsabschluss**

Während der Gehirnschädel bei einem 3-jährigen Kind bereits 90% der Größe des eines Erwachsenen entspricht, liegen beim Gesichtsschädel erst 65% seiner endgültigen Größe vor. (36) Dementsprechend findet hier über die folgenden Jahre noch viel Restwachstum statt, welches im Bereich der Kiefer den beschriebenen Wachstumsmustern folgt. Zu welchem Zeitpunkt das Wachstum schlussendlich zum Stillstand kommt unterliegt einer großen individuellen Schwankungsbreite. Dies wird

vor allem anhand des Wachstumsspurt verdeutlicht. Während dieser bei Mädchen generell um das 12. Lebensjahr und bei Jungen um das 14. Lebensjahr stattfindet, kann hier eine Variation von bis zu 6 Jahren vorliegen. Dies bedeutet, dass der Wachstumsspurt bei Mädchen bereits mit 9 Jahren aber auch erst mit 15 Jahren auftreten kann respektive 11 und 17 Jahre bei Jungen. (19) Deshalb sind die im folgenden angegebenen Werte nur als grobe Richtwerte und nicht als exakte Altersangaben zu verstehen.

Transversales Mandibulawachstum: Die Verknöcherung der *Symphysis mandibulae* findet bereits im ersten Lebensjahr statt. Die geringe Remodellingaktivität in dieser Region führt zu einem Wachstumsabschluss im interforaminären Bereich mit dem Durchbruch der bleibenden Unterkiefereckzähne zwischen 9 und 11 Jahren. Die distale Mandibula zeigt weitaus länger ein Wachstum, welches sich durch Deposition bukkal und Resorption lingual äußert und bis zum skelettalen Wachstumsabschluss andauern kann. (36)

Sagittales Mandibulawachstum: Das sagittale Wachstum kann durch die anhaltende chondrale Ossifikation am Kondylus bis in die frühe dritte Lebensdekade andauern. (36)

Transversales Maxillawachstum: Das transversale Wachstum der Maxilla findet primär über die Sutura palatina mediana statt. Während im anterioren Bereich in etwa um das 10. Lebensjahr nur mehr minimale Veränderungen stattfinden, zeigt sich im Molarenbereich Wachstum bis zur Verknöcherung der Sutura, die in etwa um das 17. Lebensjahr stattfindet. (18, 19)

Sagittales Maxillawachstum: Das sagittale Wachstum der Maxilla findet über suturales Wachstum im Bereich der Sutura palatina transversa und Deposition am Tuber maxillae statt. Diese Deposition kann noch bis zur Eruption der Weisheitszähne andauern, die in manchen Fällen erst in der dritten Lebensdekade stattfindet. (19)

Vertikales Mandibula- und Maxillawachstum: Das vertikale Wachstum des Ober- und Unterkiefers hängt stark mit der Zahneruption, also der vertikalen Drift zusammen. Fudalej et al. haben gezeigt, dass dieses Wachstum bis weit in das Erwachsenenalter anhalten kann. Nach dem 20. Lebensjahr ist dieses jedoch derart gering, dass es keine klinische Bedeutung mehr hätte. (17)

## **1.5. Ziel der Arbeit**

Diese Arbeit möchte auf Basis einer fundierten Literaturrecherche helfen, genau jenes Indikationsspektrum zu identifizieren, welches Implantologinnen und Implantologen ermöglicht, dentale Implantate nicht nur bei Erwachsenen, sondern eben auch im wachsenden Kiefer bei Kindern und Jugendlichen zu setzen. Wie in der Einleitung dargestellt, sind die einwirkenden Faktoren im wachsenden Kiefer komplex und sehr herausfordernd für die Behandlerin/den Behandler. Es bedarf daher einer sehr genauen und gewissenhaften Planung. Kenntnisse zur Anatomie und der Entwicklungsmuster des wachsenden Kiefers sind für die Behandlerin/den Behandler unabdingbar, um langfristig funktionelle und ästhetische Ansprüche gewährleisten zu können. Um dem Ziel der Arbeit zu entsprechen, soll die Literaturdatenbank PubMed nach Studien durchsucht werden, welche sich mit dieser Thematik auseinandersetzen. Auf Basis der Ergebnisse soll versucht werden, die Haupt- und Nebenforschungsfragen zu beantworten, um eine valide Aussage bezüglich möglicher Indikationen und Behandlungskonzepte für dentale Implantatrestorationen im Kindes- und Jugendalter treffen zu können.

## 2. Material und Methoden

Um die altersspezifischen Daten zu analysieren und die Forschungsfrage adäquat beantworten zu können, wurde als wissenschaftliche Herangehensweise die Methodik eines „narrative Review“ gewählt.

### 2.1. Design „narrative Review“

Bastian et al. stellten fest, dass narrative Reviews den größten Anteil aller Textsorten im medizinisch-wissenschaftlichen Bereich ausmachen. (44) Die Stärke des narrativen Reviews liegt darin, dass eine Vielzahl von Studien und Studiendesigns miteinbezogen, diese zusammengefasst und interpretiert werden können. Hingegen konzentriert sich ein „systematic Review“ eher darauf eine sehr eng gefasste Fragestellung mit einer vorgegebenen Methode zur Synthese der Ergebnisse ähnlicher Studien zu beantworten. (45)

Im Journal of Graduate Medical Education werden fünf Elemente diskutiert, die ein „narrative review“ beinhalten soll:

1. *Rationale for a Narrative Review*: Eine Begründung, warum ein narratives Review zur Beantwortung der Forschungsfrage gewählt wurde.
2. *Clarity of Boundaries, Scope and Definitions*: Die Definition der Forschungsfrage soll klar mitsamt dem Umfang und der Grenzen dargestellt werden.
3. *Justification for Inclusion and Exclusion Criteria*: Darlegung der Suchstrategie und Begründung ihrer Inklusions- und Exklusionskriterien
4. *Reflexivity and a Saturation/Sufficiency Statement*: Alle Faktoren, die die Interpretation und Analyse des herausgearbeiteten Wissens und der Daten beeinflusst haben, sollen beschrieben werden.
5. *Details on Analysis and Interpretation*: Details zur Analyse und Interpretation der erhobenen Daten sollen dargelegt werden. (46)

Diese Guidelines wurden verwendet, um einen narrativen Review in korrekter Form zu schreiben.

Um die Qualität eines narrativen Reviews als Autor gewährleisten beziehungsweise als Leser identifizieren zu können, wurde von Baetghe et al. „*SANRA - the Scale for the Assessment of Narrative Review Articles*“ eine Skala zur Bewertung von narrativen Artikeln entwickelt (siehe Abbildung 11).

Hierbei werden auf einer Skala sechs Kriterien mit 0 (niedriger Standard) bis 2 (hoher Standard) Punkten bewertet. (47) Diese Kriterien decken folgende Punkte ab:

1. Erläuterung der Bedeutung der Übersichtsarbeit
2. Erläuterung der Ziele der Übersichtsarbeit
3. Beschreibung der Literatursuche
4. Referenzierung
5. Wissenschaftliche Argumentation
6. Geeignete Darstellung der Daten

# Scale for the Assessment of Narrative Review Articles – SANRA

Please rate the quality of the narrative review article in question, using categories 0–2 on the following scale. For each aspect of quality, please choose the option which best fits your evaluation, using categories 0 and 2 freely to imply general low and high quality. These are not intended to imply the worst or best imaginable quality.

## 1) Justification of the article's importance for the readership

- The importance is not justified. \_\_\_\_\_ 0  
The importance is alluded to, but not explicitly justified. \_\_\_\_\_ 1  
The importance is explicitly justified. \_\_\_\_\_ 2

## 2) Statement of concrete aims or formulation of questions

- No aims or questions are formulated. \_\_\_\_\_ 0  
Aims are formulated generally but not concretely or in terms of clear questions. \_\_\_\_\_ 1  
One or more concrete aims or questions are formulated. \_\_\_\_\_ 2

## 3) Description of the literature search

- The search strategy is not presented. \_\_\_\_\_ 0  
The literature search is described briefly. \_\_\_\_\_ 1  
The literature search is described in detail, including search terms and inclusion criteria. \_\_\_\_\_ 2

## 4) Referencing

- Key statements are not supported by references. \_\_\_\_\_ 0  
The referencing of key statements is inconsistent. \_\_\_\_\_ 1  
Key statements are supported by references. \_\_\_\_\_ 2

## 5) Scientific reasoning

(e.g., incorporation of appropriate evidence, such as RCTs in clinical medicine)

- The article's point is not based on appropriate arguments. \_\_\_\_\_ 0  
Appropriate evidence is introduced selectively. \_\_\_\_\_ 1  
Appropriate evidence is generally present. \_\_\_\_\_ 2

## 6) Appropriate presentation of data

(e.g., absolute vs relative risk; effect sizes without confidence intervals)

- Data are presented inadequately. \_\_\_\_\_ 0  
Data are often not presented in the most appropriate way. \_\_\_\_\_ 1  
Relevant outcome data are generally presented appropriately. \_\_\_\_\_ 2

Sumscore

### Abbildung 11: SANRA – Checklist

(übernommen aus: Baethge C, Goldbeck-Wood S, Mertens S. SANRA—a scale for the quality assessment of narrative review articles. *Research Integrity and Peer Review*. 2019;4(1):5.)

Im Rahmen dieser Arbeit wurde versucht, sich anhand der Bewertungsskala zu orientieren, um entsprechende Qualitätsansprüche bestmöglich zu erfüllen.

## 2.2. Suchstrategie

Zu Beginn der Arbeit wurde eine Recherche in der Literaturodatenbank PubMed durchgeführt. Vorab wurden folgende Suchbegriffe definiert:

- Dental implants
- Child
- Children
- Adolescents
- Growth
- Growing jaw
- Growing alveolar crest

Um die Literatursuche so effizient wie möglich zu gestalten, erfolgte die Stichworteingabe mittels spezieller Hilfsmittel, die im PubMed User Guide angeführt werden.

Phrasen wie *dental implants* oder *growing jaw* würden, wenn ebenso in der Suchleiste eingegeben, von PubMed aufgespalten werden. Somit würden Ergebnisse angezeigt, welche die Stichwörter *dental*, *implants*, *growing* und *jaw* enthalten ohne die Phrase als gesamtes zu berücksichtigen. Möchte man in PubMed jedoch gezielt nach einer Phrase suchen, muss diese zwischen Anführungszeichen, wie in „*dental implants*“ und „*growing jaw*“ angeführt werden. Dadurch werden die Begriffe *dental* und *implants* beziehungsweise *growing* und *jaw* in der Suche nicht voneinander getrennt, sondern als Phrase betrachtet.

Zur Vereinfachung der Sucheingabe empfiehlt der PubMed User Guide die Verwendung von hochgestellten Sternchen, welche in der Suche automatisch durch 0 oder mehr Buchstaben ersetzt werden. Am Beispiel des Begriffs *child* wird die Suche durch Eingabe des Sternchens wie in *child\** auf sämtliche Suchbegriffe ausgeweitet, die zu Beginn den Begriff *child* enthalten. Somit sucht PubMed neben *child* zum Beispiel auch nach *children* und *childhood*.

Um Suchbegriffe oder Phrasen miteinander zu verbinden, werden sogenannte *Boolean operators* wie *AND*, *OR* oder *NOT* verwendet, die in Großbuchstaben geschrieben werden:

- *AND* liefert Ergebnisse, die alle verwendeten Suchbegriffe enthalten.
- *OR* liefert Ergebnisse, die mindestens einen der Suchbegriffe enthalten.
- *NOT* schließt Begriffe von der Suche aus.

Zwischen einzelnen Begriffen wendet PubMed automatisch den *AND*-Operator an. Gibt man die Suchbegriffe *child growing jaw* ein, sucht PubMed nach *child AND growing AND jaw*. Wie bereits beschrieben kann mit Hilfe von Anführungszeichen ein Auftrennen von Phrasen verhindert werden. Dementsprechend führt die PubMed-Suche z.B. bei dem Eingabevorgang *child „growing jaw“* zur Suche *child AND growing jaw* und infolgedessen zu exakteren Ergebnissen.

Des Weiteren lassen sich durch Klammern einzelne Begriffe und Phrasen verschachteln, die als Einheit verwendet werden sollen.

Unter Berücksichtigung dieser Hilfestellungen wurden die Suchbegriffe wie folgt eingegeben: *"dental implant\*" AND (adolescent\* OR child\* OR growth OR "growing jaw\*" OR „growing alveolar crest“)*.

Anschließend wurden die Artikel selektiert und nach Übereinstimmung mit den Einschlusskriterien wie in Tabelle 1 aufgelistet, kontrolliert.

Variablen	Einschlusskriterien
<b>Studiensprache</b>	Englisch, Deutsch
<b>Ätiologie</b>	Zahnunterzahl jeglicher Ursache
<b>Versorgung</b>	Dentale Implantation
<b>Implantationszeitpunkt</b>	Vor Wachstumsabschluss

Tabelle 1: Einschlusskriterien

### 2.3. Datenextraktion

Folgende Daten wurden aus vorgefundenen und inkludierten Studien extrahiert:

- Studiendesign

- Patient\*innenanzahl
- Alter
- Geschlecht
- Ursache der Zahnunterzahl
- Anzahl der gesetzten Implantate
- Implantatlokalisierung
- Prothetische Versorgung
- Beschriebenes Outcomeintervall
- Outcome

Diese Daten wurden in das Tabellenkalkulationsprogramm MS Excel übertragen, um die weitere Verarbeitung zu erleichtern. Nach der Extraktion wurden die Daten im Ergebnisteil schriftlich wiedergegeben und interpretiert.

## 3. Ergebnisse

### 3.1. Allgemeine Übersicht

Die systematische Suchstrategie lieferte initial n=5065 Resultate. Nach Zuhilfenahme folgender auf PubMed verfügbaren Filter:

- Studiensprache (english, german)
- untersuchte Spezies (humans)
- Altersgruppe (child 0-18 years und young adult 19-24years)

reduzierte sich die Anzahl der Ergebnisse auf n=2231, wie in Abbildung 12 unter dem Punkt „Identifikation“ dargestellt.

Diese Ergebnisse wurden zur Erleichterung des weiteren Screenings in das Literaturverwaltungsprogramm EndNote überführt.

Anschließend wurden die Ergebnisse einem systematischen Auswahlverfahren durch einen einzelnen Reviewer unterzogen:

- Im ersten Schritt erfolgte ein Titel- und Abstractscreening. Dabei wurden all jene Arbeiten ausgeschlossen, die sich gar nicht bis unzureichend mit der Fragestellung der vorliegenden Arbeit befassten.
- Als Ergebnis verblieben n=96 Studien, die dann einem Volltextscreening unterzogen wurden. Davon schieden weitere 75 Studien, die die Einschlusskriterien nicht erfüllten (siehe auch Abbildung 12 unter dem Punkt „Qualifikation“).
- Schlussendlich verblieben 21 Arbeiten, die in den Tabellen 2-5 mit den extrahierten Daten dargestellt werden.

In Abbildung 12 ist der gesamte Auswahl-/Filterprozess illustriert.

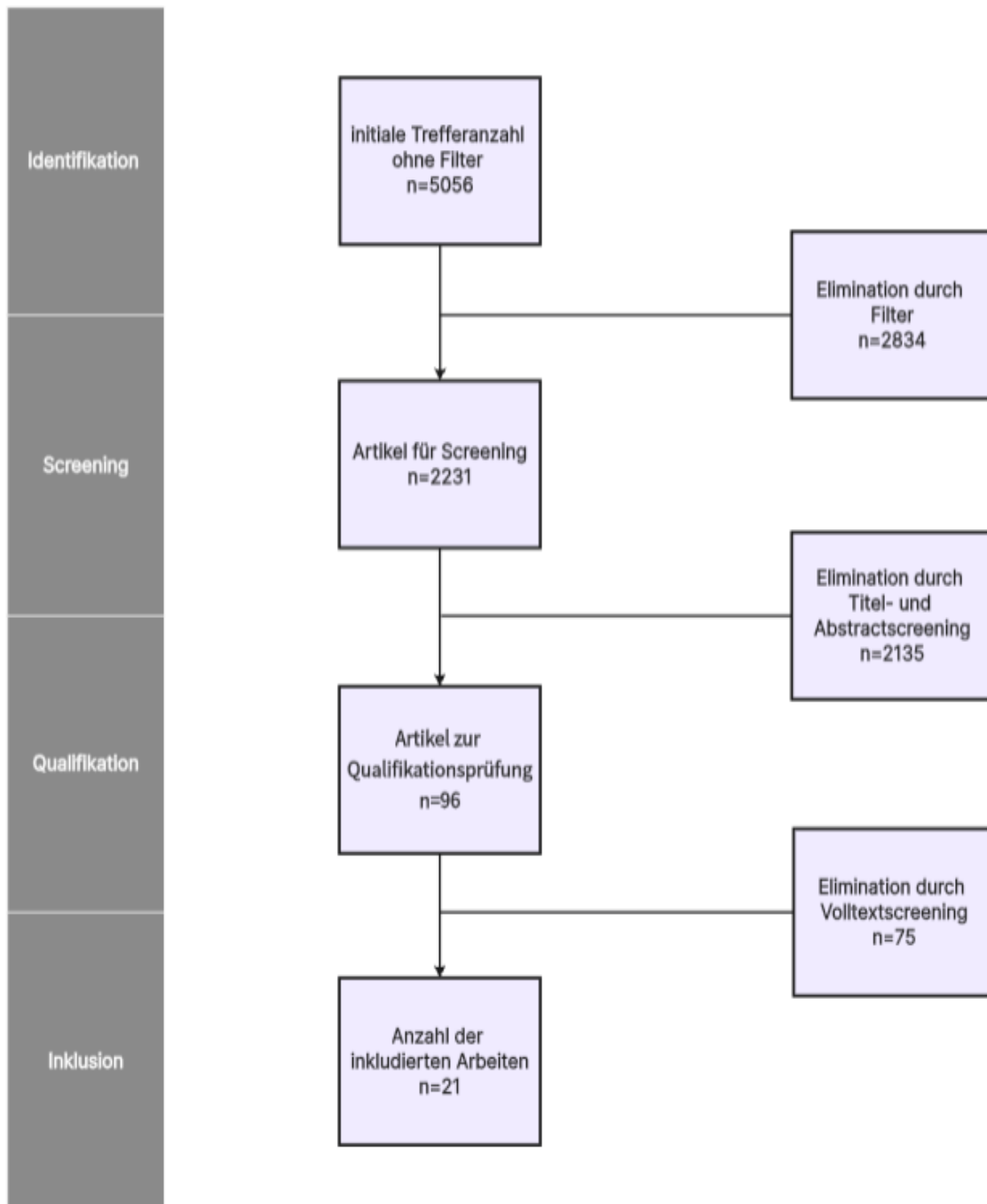


Abbildung 12: Flussdiagramm zur Methodik der Literaturrecherche.

### 3.2. Studiendesign und Patient\*innencharakteristika

Insgesamt wurden 21 Studien in diese Arbeit inkludiert, welche sich in 7 Kohortenstudien, davon 3 retrospektive und 4 prospektive Arbeiten, und 13

Fallberichte (Case report) sowie einer Fallserie (Case series) unterteilen. 105 Patientinnen und Patienten zwischen 4 und 19 Jahren (Alter festgehalten zum Zeitpunkt der Implantation) wurden mit insgesamt 287 dentalen Implantaten versorgt.

### **3.3. Ursachen der Zahnunterzahl**

Die häufigste medizinische Ursache der Zahnunterzahl waren fehlende Zahnanlagen aufgrund der hereditären ektodermalen Dysplasie, die mit Hypodontie, Oligodontie und Anodontie einherging. (22, 48-58) Danach folgten zahlenmäßig die idiopathischen kongenitalen Nichtanlagen, die in sieben Arbeiten behandelt wurden. (3, 20, 21, 59-62) Vier Studien behandelten die Implantation nach Traumageschehen. (3, 20, 63, 64)

### **3.4. Restauratives Prozedere und Implantatcharakteristika**

In 8 Studien wurden Implantation in der Maxilla (3, 20, 21, 49, 52, 62-64) und in 19 Studien in der Mandibula (3, 20-22, 48-62) durchgeführt. Die orale Rehabilitation erfolgte mit festsitzenden Implantatkronen (3, 20, 21, 49, 59, 62-64) und Implantatbrücken (20, 22, 48, 52, 57) oder mit abnehmbaren Total- und Teilprothesen (21, 50-56, 58, 60, 61) wie zum Beispiel bei Steg- oder Teleskoprestaurationen.

### **3.5. Wachstumsadaptierte Vorgehensweisen**

In 3 Studien wurden spezielle Prothesen angefertigt, welche in der Mitte geteilt waren, um im Rahmen der Behandlung das Wachstum nicht zu beeinträchtigen. (51, 52, 56)

Im Fallbericht von Singer et al. wurden die in der distalen Mandibula eingebrachten Implantate nicht im Alveolarkamm sondern bukkal davon eingesetzt, um einerseits ein suffizienteres Knochenlager zu erhalten, da bei der in diesem Fall bestehenden Oligodontie eine ausgeprägte Atrophie des Kieferkamms vorherrschte. Andererseits um das transversale Wachstum des distalen Mandibulakorpus, mit Deposition

bukkal und Resorption lingual, zu antizipieren und einer Lingualisierung der Implantate im Verlaufe des Wachstums zuvorzukommen. (57)

Artopoulou et al. benutzten in ihrem Fallbericht über die Behandlung eines 10-jährigen Mädchens mit mandibulärer Hypodontie und maxillärer Oligodontie bei ektodermaler Dysplasie sogenannte *immediate provisional implants* (IPI von Nobel Biocare™). Laut dieser Arbeit sei der Vorteil der provisorischen Implantate, dass sie nicht im selben Ausmaß wie herkömmliche Implantate osseointegrieren und dementsprechend den wachsenden Alveolarknochen an natürlichen Nachbarzähnen weniger beeinträchtigen und nach Wachstumsabschluss gut durch definitive Implantate ersetzbar sind. Auch Lambert et al. setzten in ihrer prospektiven Studie als XNDIs beschriebene *extra-narrow diameter implants*, sprich Implantate mit einem Durchmesser kleiner als 2,5mm, welche als temporäre Lösung gedacht waren. (62)

Neben Lambert et al. berichteten zwei weitere Fallberichte über die Implantation von durchmesserreduzierten Implantaten. Diese als Mini-Implantate bezeichneten Systeme sind Implantate mit einem Durchmesser von weniger als 3mm. (53, 62, 63) Kilic et al. verwendeten die Mini-Implantate aufgrund einer sehr geringen fazio-oralen Alveolarkammbreite, um der Notwendigkeit einer Knochenaugmentation zur Verbreiterung des Kieferkammes zu entgehen. (53) Giannetti et al. wiederum setzten das Mini-Implantat aus anderen Gründen. Einerseits wollte man aufgrund der Lokalisation in der ästhetischen Zone (Regio 11) die Wachstumsbeeinträchtigung auf den Kieferkamm und auf die benachbarten Zähne so weit wie möglich minimieren. Andererseits wollte man im Falle eines notwendigen Implantattausches nach Ende des Wachstums, das Risiko eines mit der Explantation von breiteren Implantatsystemen einhergehenden Knochenverlustes minimieren. (63)

### **3.6. Komplikationen nach dentaler Implantation**

Als die am häufigsten erwähnte Komplikation gilt die Infraokklusion. In sieben Arbeiten kam es infolge der Implantation vor beziehungsweise während dem Wachstum zur Infraokklusion der implantatgetragenen Restauration in Bezug auf die benachbarten natürlichen Zähne. (3, 20, 52, 57, 58, 62, 63)

In der Kohortenstudie von Kearns et al. betraf die Infraokklusion zwei Patientinnen/Patienten. Im ersten Fall handelt es sich um eine teilbezahnte 5-jährige/einen teilbezahnten 5-jährigen die/der in der vorderen Mandibula mit einem singulären Implantat versorgt wurde. Das Implantat folgte zwar der Unterkieferwachstumsbewegung nach vorne und unten, jedoch nicht der vertikalen Eruptionsbewegung der Nachbarzähne und dem konsekutiven Alveolarkammwachstum ebendort. Der zweite Fall behandelt eine teilbezahnte 7-jährige/ einen teilbezahnten 7-jährigen die/der vier Implantate in der Maxilla erhielt (genaue Lokalisation nicht beschrieben). Auch hier folgten die Implantate nicht der Eruptionsbewegung der Nachbarzähne, was wiederum zur Infraokklusion führte. In beiden Fällen wurde das Problem durch den Austausch eines längeren Abutments behoben.

Lambert et al. berichtet über 2 Fälle (3 Implantate) von Patienten/Patientinnen jünger als 15 Jahren mit entstandener Infraokklusion. Im ersten Fall zeigte sich die Schneidekante der Implantatkrone im Vergleich zu den Nachbarzähnen um weniger als 1mm nach apikal verschoben. Sie wurde mit Komposit aufgebaut und angeglichen. Im zweiten Fall stellte sich an zwei Implantaten eine Diskrepanz von mehr als 1mm dar. Die Nachbehandlung dieser Implantate und die exakte Lokalisation der genannten Infraokklusionsfälle wurde leider nicht angegeben. Stattdessen wurde postuliert, dass anhand der durchgeführten prospektiven Studie zu erkennen sei, dass eine Implantation im Alter von über 15 Jahren das Risiko einer Infraokklusion auf ein Minimum reduziert. (62)

Thilander et al. beschreiben in ihren Arbeiten die Region der Oberkieferschneidezähne und hier vor allem die lateralen Inzisivi als problematische Insertionszone für Implantate. Bei 7 von 17 gesetzten singulären Implantate ebendort kam es im Verlauf des Untersuchungszeitraumes zu einer Infraokklusion und damit einhergehend in manchen Fällen zu einer Beeinträchtigung der Ästhetik. In den letzten sechs Jahren der 10-jährigen Observationsperiode zeigte sich eine Zunahme der mittleren Infraokklusion von 0,59mm zu 0,98mm. Die Schneidekantendiskrepanz war bei jenen Patientinnen und Patienten mit der größten Körperwachstumszunahme im Beobachtungszeitraum am höchsten. Eine statistische Signifikanz zwischen den zwei Parametern wurde allerdings nicht beschrieben. Bei Patientinnen und Patienten ohne beziehungsweise

mit nur einer minimalen Körperwachstumszunahme konnte keine Infraokklusion festgestellt werden. (3, 20)

Außerhalb des ästhetischen Bereichs zeigten alle neun gesetzten singulären Implantate im Prämolarenbereich des Ober- und Unterkiefers eine Infraokklusion von 0,1 - 0,6mm. Alle Implantate befanden sich jedoch in Okklusion, was mit einer kompensatorischen Übereruption der antagonistischen Zähne erklärt wurde. In manchen Fällen ging die Infraokklusion mit einer geringfügigen okklusalen Stufe zwischen implantatgetragener Krone und den Nachbarzähnen einher.

Eine weitere Problematik ergab sich durch die Reduktion der Alveolarkammhöhe an den zu den Implantaten benachbarten natürlichen Zähnen, welche sich in der Prämolarenregion nur minimal, jedoch in der Oberkieferschneidezahnregion deutlich äußerte. Es wurde festgestellt, dass der marginale Knochanabbau umso stärker war, je näher sich die Zähne an den Implantaten befanden. (20)

In der Arbeit von Giannetti et al. zeigte sich nach Implantation in der Regio 11 bei einem 10-jährigen Buben mit Avulsion nach Trauma eine Infraokklusion von weniger als 0,5mm nach 2 Jahren Beobachtungszeitraum. (63)

Singer et al. beschrieben in ihrem Fallbericht die Behandlung eines 11-jährigen Buben mit ektodermaler Dysplasie und damit einhergehender Oligodontie. Im Unterkiefer lag nur der Zahn 46 vor, weshalb der Entschluss zur Behandlung mittels zweier in der Mitte voneinander getrennten Implantatbrücken gefällt wurde. Der 3. Quadrant wurde mit vier Implantaten und der 4. Quadrant mit drei versorgt. Aufgrund des vorhandenen Zahnes 46 konnten die Abweichungen der implantatgetragenen Restauration in Bezug zum natürlichen Zahn als Konsequenz des Wachstums beobachtet werden. Nach 20 Jahren Untersuchungszeitraum (mit einer Unterbrechung von 11 Jahren) konnten folgenden Abweichungen festgestellt werden: Die Implantatbrücke zeigte im Vergleich zum natürlichen Zahn eine Infraokklusion mit okklusaler Stufe von 2,2mm. Des Weiteren stellte sich eine Zahnwanderung von 3,3mm nach bukkal im Verhältnis zur Implantatbrücke dar. Dies geschah, obwohl die Implantate wie bereits im Kapitel 3.5. beschrieben bukkal des Alveolarkammes gesetzt wurden, unter anderem um dieser Verschiebung zuvorzukommen. (57)

### **3.7. Implantatüberlebensrate**

Komplikationen mit der Osseointegration wurden in drei Studien angegeben. (21, 52, 62)

Heuberer et al. berichteten über eine 89%ige Implantatüberlebensrate bei 71 gesetzten Implantaten nach einer mittleren Beobachtungszeit von 11 Jahren. (21) Kearns et al. (41 Implantate) und Lambert et al. (29 Implantate) beschrieben eine 97%ige Überlebensrate. (52, 62)

13 der 21 Studien berichteten über einen komplikationslosen Verlauf während des beschriebenen Beobachtungszeitraumes. (22, 48-51, 53-56, 59-61, 64)

Autor	Studiendesign	Patient*innenzahl	Alter (Mw)	Ätiologie	Implantatanzahl	Follow up (Mw)	Outcome
<b>Montanari (56)</b>	Retrospektiv	9	9-12 (10,4a)	ED	18	3-12 (8,1a)	Keine Komplikationen
<b>Heuberer (61)</b>	Retrospektiv	3	6-10 (8,6a)	Idiopath. kongenitale Oligodontie	8	1-5 (3a)	Keine Komplikationen
<b>Heuberer (21)</b>	Retrospektiv	18	6-16 (12,5a)	Idiopath. kongenitale Oligodontie	71	6-15 (11a)	89% Implantatüberlebensrate
<b>Kearns (52)</b>	Prospektiv	6	5-17 (11,2a)	ED	41	6-11 (7,8a)	97% Implantatüberlebensrate Infraokklusion (1x Mand. 4x Max.)
<b>Lambert (62)</b>	Prospektiv	19	13-19 (15,6a)	Idiopath. kongenitale Hypodontie, Trauma	29	1-7 (3,6a)	96,6% Implantatüberlebensrate Infraokklusion
<b>Thilander (20)</b>	Prospektiv	18	13-17	Idiopath. kongenitale Zahnunterzahl & Trauma	47	10	Infraokklusion OK-Inzisivi und UK-Prämolaren
<b>Thilander (3)</b>	Prospektiv	15	13-19 (15a)	Idiopath. kongenitale Zahnunterzahl & Trauma	27	3	Infraokklusion OK-Inzisivi

*Tabelle 2: Studiendesign und Patient\*innenmerkmale der Kohortenstudien.*

<b>Autor</b>	<b>Kiefer (Implantatanzahl)</b>	<b>Exakte Region</b>	<b>Prothetische Versorgung</b>
<b>Montanari (56)</b>	Mandibula	Interforaminär	Abnehmbar: Stegprothese auf längenvariablem Steg
<b>Heuberer (61)</b>	Mandibula	Interforaminär	Abnehmbar: Teleskopprothese
<b>Heuberer (21)</b>	Maxilla und Mandibula	k.A.	Abnehmbar + festsitzend: 4x abnehmbare Totalprothese + 14x Implantatkronen
<b>Kearns (52)</b>	Maxilla (19) und Mandibula (22)	Maxilla: k. A. Mandibula: interforaminär	Abnehmbar + festsitzend: 1x festsitzende Implantatbrücke und 9x abnehmbare Prothesen
<b>Lambert (62)</b>	Maxilla und Mandibula	k.A.	Festsitzen: Implantatkronen
<b>Thilander (20)</b>	Maxilla (31) und Mandibula (16)	k.A.	Festsitzend: Implantatkronen und Implantatbrücken bei ausgeprägter Hypodontie/Oligodontie
<b>Thilander (3)</b>	Maxilla (19) und Mandibula (8)	Maxilla Regio 13-23 Mandibula Regio 45-34	Festsitzend: Implantatkronen

*Tabelle 3: Implantatkieferposition und prothetische Versorgung der Kohortenstudien.*

Autor	Studiendesign	Patient*innen- zahl	Alter	Ätiologie	Implantat- anzahl	Follow Up (Mw)	Outcome
<b>Abbo (59)</b>	Case Report	1	16	Idiopath. kongenitale Hypodontie	2	1	Keine Komplikationen
<b>Alcan (22)</b>	Case Report	1	4	ED (mandibuläre Anodontie, maxilläre Oligodontie)	4	6	Keine Komplikationen
<b>Al-Ibrahim (48)</b>	Case Report	1	15	ED (bimaxilläre Oligodontie)	5	1	Keine Komplikationen
<b>Filius (60)</b>	Case Series	4	6-13	Idiopat. kongenitale Oligodontie und Anodontie	8	3-8 (5,2a)	Keine Komplikationen
<b>Kilic (53)</b>	Case Report	1	6	ED (mandibuläre Anodontie, maxilläre Oligodontie)	2	6	Keine Komplikationen
<b>Kramer (54)</b>	Case Report	1	8	ED (mandibuläre Anodontie, maxilläre Oligodontie)	2	2	Keine Komplikationen
<b>Mackie (64)</b>	Case Report	1	16	Trauma	1	1	Keine Komplikationen
<b>Artopoulou (49)</b>	Case Report	1	10	ED (mandibuläre Oligodontie und maxilläre Hypodontie)	5	0,5	Keine Komplikationen
<b>Aydinbelge (50)</b>	Case Report	1	7	ED (mandibuläre Anodontie, maxilläre Oligodontie)	2	0,5	Keine Komplikationen
<b>Giannetti (63)</b>	Case Report	1	12	Trauma	1	2	Infraokklusion
<b>Singer (57)</b>	Case Report	1	11	ED (mandibuläre und maxilläre Oligodontie)	7	20	Infraokklusion, linguale Verlagerung
<b>Smith (58)</b>	Case Report	1	5	ED (mandibuläre und maxilläre Oligodontie)	1	5,5	Infraokklusion
<b>Triches (51)</b>	Case Report	1	8	ED (mandibuläre und maxilläre Oligodontie)	4	4	Keine Komplikationen
<b>Mello (55)</b>	Case Report	1	9	ED (mandibuläre und maxilläre Oligodontie)	2	6	Keine Komplikationen

*Tabelle 4: Studiendesign und Patient\*innenmerkmale der Case Reports und Case Serien.*

<b>Autor</b>	<b>Kiefer (Implantatanzahl)</b>	<b>Exakte Region</b>	<b>Prothetische Versorgung</b>
<b>Abbo (59)</b>	Mandibula	35, 45	Festsitzend: Implantatkronen
<b>Alcan (22)</b>	Mandibula	31, 32, 41, 42	Festsitzend: 2 Implantatbrücken
<b>Al-Ibrahim (48)</b>	Mandibula	interforaminär	Festsitzend: Implantatbrücke
<b>Filius (60)</b>	Mandibula	interforaminär	Abnehmbar: Deckprothese
<b>Kilic (53)</b>	Mandibula	interforaminär	Abnehmbar: Kugelankerprothese
<b>Kramer (54)</b>	Mandibula	Interforaminär	Abnehmbar: Stegprothese
<b>Mackie (64)</b>	Maxilla	21	Festsitzend: Implantatkrone
<b>Artopoulou (49)</b>	Maxilla (1) und Mandibula (4)	22, 34, 35, 44, 45	Festsitzend: Implantatkronen
<b>Aydinbelge (50)</b>	Mandibula	interforaminär	Abnehmbar: Locatorprothese
<b>Giannetti (63)</b>	Maxilla	11	Festsitzend: Implantatkrone
<b>Singer (57)</b>	Mandibula	4x interforaminär 3x distale Mandibula	Festsitzend: 2x Implantatbrücken
<b>Smith (58)</b>	Mandibula	Unterkiefermitte	Abnehmbar: Kugelanker-Hybridprothese
<b>Triches (51)</b>	Mandibula	interforaminär	Abnehmbar: Stegprothese
<b>Mello (55)</b>	Mandibula	Interforaminär	Abnehmbar: k.A. zum Retentionsmechanismus

*Tabelle 5: Implantatkieferposition und prothetische Versorgung der Case Reports und Case Serien.*

## 4. Diskussion

Dieser narrative Review versuchte die Literatur passend zur gewählten Forschungsfrage zusammenzufassen, um diese weitestgehend und bestmöglich beantworten zu können. Es galt

- Implantatindikationen und -lokalisationen zu finden, in denen eine Implantation vor Wachstumsabschluss in jedem Fall möglich sei,
- sowie Hinweise bzw. Nachweise zu Indikationen und Lokalisationen zu finden, in denen nur fallweise an eine erfolgreiche Implantation zu denken ist und
- Indikationen und Lokalisationen aufzufinden, in denen eine Implantation vor Wachstumsabschluss eine Kontraindikation darstellt.

Hauptaugenmerk dabei wurde auf das Verhalten des Implantates im Verlauf des Wachstums gelegt. Auch sollten die eventuell damit einhergehenden Probleme abhängig von der zugrundeliegenden Ätiologie des Zahnverlustes, dem Patient\*innenalter und der Implantatlokalisierung identifiziert werden, um zukünftig die Entscheidungsfindung zu erleichtern.

### 4.1. Vordere Mandibula

Aus den gesichteten Studien geht hervor, dass der interforaminäre Bereich der Mandibula die sicherste Lokalisation für eine langfristig komplikationslose Implantatinsertion vor Wachstumsabschluss zu sein scheint. Diese Schlussfolgerung deckt sich mit denen vieler Arbeiten. (6, 12, 17, 19) Wie in der Einleitung bereits beschrieben, kommt das transversale Wachstum des vorderen Unterkiefers bereits sehr früh zum Stehen. Die Symphysis mandibulae verknöchert bereits im zweiten Lebensjahr und nach Durchbruch der Eckzähne findet praktisch keine transversale Erweiterung mehr statt.

Bei einer stark reduzierten Zahnanzahl im Sinne einer Oligo- oder Anodontie, mit fehlenden Zähnen im interforaminären Bereich, zeigen hier die Studien im untersuchten Beobachtungszeitraum von 1-12 Jahren keine iatrogen induzierten

Probleme. Das Altersspektrum der behandelten Patientinnen und Patienten spielte sich im Bereich von 4-15 Jahren ab: es wurden Patientinnen und Patienten im kindlichen Wachstum, in der präpubertären Phase und im pubertären Wachstumsspur untersucht. (22, 48, 50, 51, 53-56, 60, 61)

Werden allerdings Implantate in einem Unterkiefer mit interforaminärer Restbezahnung vor Wachstumsabschluss gesetzt, kann es zur Infraokklusion kommen, wie zwei Studien darstellten. (52, 58)

Da bei geringer Restbezahnung im Unterkiefer implantatretinierte Restaurationen wesentlich zur Wiederherstellung der Funktion und der ästhetischen Rehabilitation, mit all seinen entsprechenden positiven Auswirkungen auf das psychosoziale Leben der Implantatträgerin/ des Implantatträgers beitragen, kann hier die Hauptforschungsfrage klar positiv beantwortet werden.

Zusätzlich ist zu bedenken, dass bei Oligodontie und Anodontie die Entwicklung des Alveolarkammes durch die fehlende Bezahnung bereits eingeschränkt ist. Die Passung abnehmbarer, schleimhautgetragener Prothesen ist in solchen Fällen oft insuffizient, gleichzeitig würden derartige Restaurationen die Progredienz der Kieferkammatrophy fördern, wohingegen implantatgetragene Restaurationen zu einem Knochenerhalt beitragen. (18)

Die Empfehlung bezüglich der erfolgreichen interforaminären Implantation und postrestaurativen Rehabilitation deckt sich auch mit der des systematischen Reviews von Wang et al. (12) Es zeigt sich, dass die Indikation zur implantatgetragenen Restaurationen in der deutlich zahnreduzierten Mandibula bereits im wachsenden Kiefer gegeben ist. Hinzuzufügen sei aber, dass bedingt durch das weitere Wachstum die prothetische Versorgung in regelmäßigen Abständen den neuen, aus dem Wachstum resultierenden Gegebenheiten angepasst werden muss.

## **4.2. Vordere Maxilla**

Die Prominenz der Oberkieferfrontzähne im Vordergesicht machen sie anfällig für Traumen mit konsekutivem Zahnverlust. Zudem sind die lateralen Oberkieferschneidezähne nach den distalen Unterkieferprämolaren, die Zähne, die

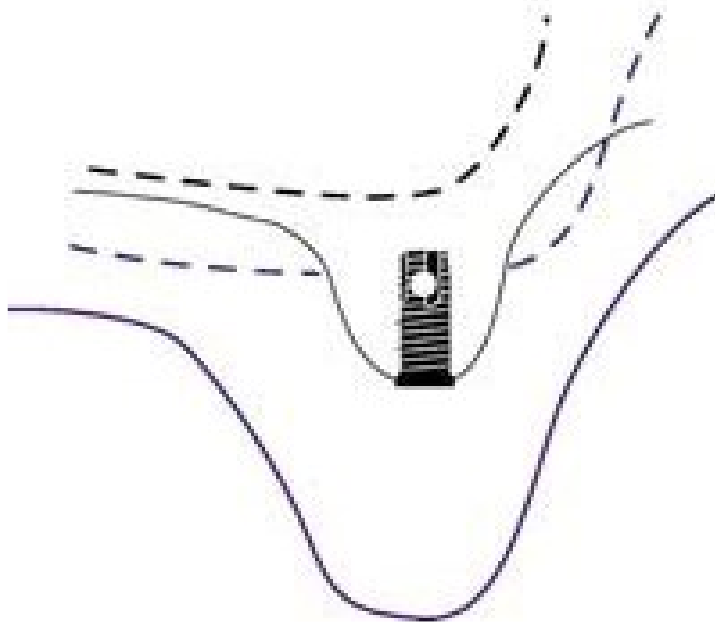
am zweithäufigsten von einer kongenitalen Nichtanlage betroffen sind, die Weisheitszähne ausgenommen. (8, 37, 65) Die vordere Maxilla hat einen ästhetisch besonders hohen Stellenwert, was sie attraktiv für eine implantatgetragene Rehabilitation macht. Die Implantation in diesem Bereich geht allerdings sehr häufig mit einer Infraokklusion einher, wenn eine Restbezaahnung in der Region vorhanden ist, wie diese Arbeit zeigt. Die Ergebnisse dieser Studie hierzu stimmen mit denen anderer Reviews zu dieser Thematik überein. (6, 7)

Vor allem als Reaktion auf die Studie von Thilander et al. entstand der Konsens die Implantation in der Oberkieferfront erst nach Wachstumsabschluss zu empfehlen. (3) Studien zur Zahneruption zeigten allerdings eine Fortsetzung der vertikalen Drift auch nach Ende des Wachstums. (17, 66) Fudalej et al. postulieren, dass dieser Umstand jedoch nach der zweiten Lebensdekade aufgrund einer nur mehr minimalen Änderung an klinischer Signifikanz verliert. Dem widerspricht die retrospektive Studie von Bernard et al., die Implantationen in der Oberkieferfront zwischen zwei Gruppen untersuchte – *young adult* (Alter zwischen 15,5-21 Jahre) und *mature adult* (Alter zwischen 40-55 Jahre). Sie zeigten, dass Infraokklusionen auch in der älteren Gruppe auftraten und das Ausmaß in manchen Fällen, dem der jüngeren Gruppe entsprach. (17)

Einige der inkludierten Studien berichteten über keinerlei Infraokklusion trotz Implantation im noch wachsenden Oberkiefer. (61, 64) Die genauen Hintergründe hierzu wurden allerdings nicht eruiert bzw. beschrieben.

Im vorderen Oberkiefer müssen zusätzlich zur möglichen Infraokklusion noch andere Faktoren in Betracht gezogen werden. Das transversale Wachstum über die *Sutura palatina mediana* findet länger statt als im Unterkiefer. Eine vorzeitige Implantation kann daher neben der Infraokklusion noch zu einigen weiteren Problemen führen, wie Heij et al. in ihrem Artikel *Age as a compromising factor for implant insertion* beschreiben. (19) Die Wachstumsbewegung des Oberkiefers nach vorne unten geht mit einem Absinken des darüber liegenden Nasenbodens einher. Ein verfrüht gesetztes Implantat könnte daher theoretisch sogar im Nasenboden landen, wie Abbildung 13 illustriert. Die schwarzen Linien stellen die anatomischen Verhältnisse zum Zeitpunkt der Implantation und die blauen Linien die Verhältnisse

nach Fortsetzung des Wachstums dar. Die strichlierten Linien markieren den Nasenboden.



*Abbildung 13: Schematische Darstellung des Wachstumseinflusses auf ein Implantat in der vorderen Maxilla.*

*Übernommen aus: Op Heij DG, Opdebeeck H, van Steenberghe D, Quirynen M. Age as compromising factor for implant insertion. Periodontol 2000. 2003;33:172-84.*

Das transversale Wachstum führt in der gesunden vollbezahnten Oberkieferfront im Laufe des Kieferwachstums zu einem Diasthema zwischen den medialen Schneidezähnen, welches durch die mesiale Drift der Zähne wieder geschlossen wird. Bei vorzeitiger Implantation an dieser Stelle kann die fehlende mesiale Drift des Implantates zu einer Verschiebung der Mittellinie führen. (19, 38)

Eine die Mittellinie überquerende Arbeit kann das transversale Wachstum behindern und zu deutlichen Wachstumseinschränkungen führen, weshalb hier derartige Implantatrestorationen in der Mitte getrennt werden müssen wie zum Beispiel bei der verwendeten Stegkonstruktion für eine Deckprothese in der Arbeit von Kearns et al. (52)

Das transversale Kieferwachstum in der vorderen Maxilla kommt allerdings noch vor dem Wachstumsspurt praktisch zu stehen. Laut Björk et al. ändert sich die Distanz zwischen den Oberkiefereckzähnen nach dem 10. Lebensjahr im Mittel nur mehr um 0,9mm. (29)

Aufgrund all der in diesem Kapitel genannten Faktoren kann die Hauptforschungsfrage nach einer sicheren Implantation vor Wachstumsabschluss in der Region der vorderen Maxilla nicht positiv beantwortet werden. Die vordere Maxilla stellt jedoch in manchen Fällen eine mögliche Implantatlokalisierung vor Abschluss des Körperwachstums dar. Kamatham et al. schreiben in ihrem systematischen Review, dass dentale Implantate nicht aufgrund der Infraokklusion allein ausgeschlossen, sondern die Vorteile der Implantate gegen mögliche Komplikationen abgewogen werden sollten. Ein geringerer Knochenverlust, bessere Ästhetik, Funktion und Hygiene sowie der psychosoziale Faktor stehen den Komplikationen entgegen. Stattdessen solle nach Möglichkeiten gesucht werden, eine auftretende Infraokklusion zu behandeln. Als Optionen werden hierbei der Tausch der prothetischen Implantatsuprastruktur oder kieferorthopädische Intrusion der natürlichen Nachbarzähne genannt. (6) Lambert et al. begegneten der Infraokklusion in einem Fall mit einem Aufbau der geringgradig in Infraokklusion stehenden Implantatkrone mittels Komposit. (62) Kearns et al. kompensierten die Infraokklusion durch den Tausch längerer Abutments. (52) Im systemischen Review von Bohner et al. wird die Platzierung des Implantates in einer koronalen Position empfohlen, um der entstehenden Infraokklusion vorzeitig zu begegnen. (7)

### **4.3. Hintere Mandibula und Maxilla**

Die Anzahl der Arbeiten die eine Implantation im distalen Bereich der Mandibula und Maxilla behandelten ist sehr gering. Vor allem in der hinteren Maxilla gibt es keine einzige inkludierte Arbeit, die sich mit dieser Region auseinandersetzt. Aufgrund der Wachstumsbewegungen in diesem Bereich scheint dies allerdings auch verständlich. Das transversale Wachstum im Bereich des ersten Molaren ist dreimal größer als im Frontzahnbereich und hält bei Mädchen circa bis zum 15. und bei Jungen bis zum 17. Lebensjahr an. Dies würde bei einer Implantation vor dem Wachstumsspurt zu einer ausgeprägten palatinalen Verlagerung des Implantates

führen, sodass das Implantat schlussendlich im Gaumen zu liegen kommt anstatt im Kieferkamm, selbst bei Kindern mit Anodontie besteht diese Gefahr. Das im vorherigen Kapitel ausgeführte Absinken des Nasenbodens findet in der distalen Maxilla durch die Kieferhöhle statt, wie auch bereits in Kapitel 1.3.2. erklärt. Implantate könnten dadurch im Verlauf des Wachstums immer weiter in die Kieferhöhle wandern, wie auch in der Arbeit von Bohner et al. berichtet wurde. (7) Des Weiteren würden Implantate im distalen Bereich die mesiale Drift der Zähne behindern. Dies gilt für Ober- und Unterkiefer. Eine Implantation in der hinteren Oberkieferregion vor Wachstumsabschluss gilt daher als Kontraindikation.

In drei Studien wurde über eine Implantation in der distalen Unterkieferregion berichtet. (49, 57, 59) In zwei dieser Arbeiten wurden im Bereich der zweiten Prämolaren Implantate gesetzt. Es wurde zwar über keine daraus resultierenden Komplikationen berichtet, der Beobachtungszeitraum in diesen Case reports betrug allerdings nur 0,5 und 1 Jahr. Dementsprechend können keine validen Aussagen bezüglich des Erfolges getätigt werden. (49, 59)

In der Arbeit von Singer et al. wurde die Implantation in der distalen Mandibula eines 11-jährigen Jungen über 20 Jahre verfolgt. Obwohl hier bereits das Wachstum antizipiert und die Implantate bukkal des Alveolarkammes gesetzt wurden, kam es trotzdem zu einer lingualen Verlagerung nach Wachstumsabschluss. Zudem zeigte sich eine Infraokklusion in Relation zum benachbarten natürlichen zweiten Molaren. Die durch die Implantate inhibierte mesiale Drift des Zahnes 47 führte diesen in einen Distalbiss im Sinne einer Angle-Klasse II Verzahnung. (57)

Die Studienlage für die distale Mandibula ist sehr rar. Je weiter hinten man implantiert, desto größer ist das Risiko einer Verlagerung. Ob hingegen eine Implantation in der Prämolarenregion langfristig erfolgreich durchgeführt werden könnte, ist aufgrund der fehlenden Datenlage leider unklar.

Generell gilt zu diskutieren, dass der kurze Beobachtungszeitraum in vielen Fällen keine eindeutige Aussage bezüglich eines erfolgreichen Outcomes zulässt. In den Arbeiten von Artopoulou et al. und Aydinbelge et al. zum Beispiel belief sich das Follow-up auf nur ein halbes Jahr. (49, 50)

Einen weiteren Faktor spielen Implantatinserktion bei sehr jungen Patientinnen und Patienten, deren Nachbeobachtungszeitraum zwar deutlich länger war, sich die

Kinder nach Ende des Follow-ups jedoch weiterhin im Wachstum befanden. Als Beispiel soll hier die Fallstudie von Alcan et al. genannt werden. In dieser wurden vier interforaminäre Implantate bei einem 4-jährigen Jungen gesetzt. Der 6-jährigen Beobachtungszeitraum verlief zwar komplikationslos und der größte Teil des in der Implantatregion stattfindenden Kieferwachstums gilt als bereits abgeschlossen, doch kann eine eindeutige Aussage bezüglich des Behandlungserfolges erst nach vollständig abgeschlossenem Wachstum getätigt werden.

#### **4.4. Konklusion**

Zahnloser Unterkiefer: Der interforaminäre Bereich der Mandibula gilt als sicherste Lokalisation für eine Rehabilitation mit dentalen Implantaten bei Kindern und Jugendlichen, speziell ab dem 10. Lebensjahr, wenn das transversale Wachstum praktisch abgeschlossen ist. Auch Implantate, die vor dem dortigen Wachstumsabschluss gesetzt wurden, zeigen vielversprechende Ergebnisse. Die verwendeten prothetischen Restaurationen müssen dann allerdings in der Mitte getrennt werden, um eine Wachstumsbeeinflussung zu vermeiden.

Teilbezahnter Unterkiefer: Eine Empfehlung zur Implantation im teilbezahnten Unterkiefer bei Kindern und Jugendlichen vor Wachstumsabschluss ist wesentlich von der Lage, Anzahl und Morphologie der Restbezaehlung abhängig. Bei exzessiver Oligodontie kann auch im teilbezahnten Unterkiefer eine Rehabilitation mittels dentaler Implantate sinnvoll sein, wenn diese im interforaminären Bereich gesetzt werden. Implantate im distalen Bereich der Mandibula können aufgrund der dortigen Wachstumsmuster viele Komplikationen nach sich ziehen und sollten vor Wachstumsabschluss vermieden werden. Zudem ist die Studienlage zur Implantation ebendort bei Kindern und Jugendlichen sehr rar. Alternative etablierte Behandlungsmethoden sind hierbei vorzuziehen.

Zahnloser Oberkiefer: Auch im zahnlosen Oberkiefer kann eine Rehabilitation mit dentalen Implantaten erfolgen. Als einzige Empfängerregion ist hierbei die vordere Maxilla zu wählen, das 10. Lebensjahr und somit der Abschluss des transversalen Wachstums der vorderen Maxilla abzuwarten.

Teilbezahnter Oberkiefer: Wird in der vorderen Maxilla bei bestehender Restbeziehung implantiert muss hier in jedem Fall mit einer Infraokklusion gerechnet und eine Behandlung dieser vorab geplant werden. Es gilt dabei, im interdisziplinären Rahmen Nutzen und Risiko einer dentalen Implantation abzuwägen. Zur Implantation bei Kindern und Jugendlichen in der distalen Maxilla liegen leider keine Fallstudien vor allerdings lässt sich aufgrund der Wachstumsmuster und des langanhaltenden Wachstums bereits vorhersagen, dass diese Region eine Kontraindikation für eine Implantation darstellt.

Zusammenfassend lässt sich bezüglich der Forschungsfragen folgendes feststellen:

- Im zahnlosen Unterkiefer ist eine klare Indikation zur oralen Rehabilitation mittels dentaler Implantate bei Kenntnis der Unterkieferwachstumsmuster im interforaminären Bereich vor Wachstumsabschluss zu stellen.
- Im zahnlosen Oberkiefer ist ebenfalls eine klare Indikation zur oralen Rehabilitation mittels dentaler Implantate bei Kenntnis der Oberkieferwachstumsmuster in der vorderen Maxillaregion vor Wachstumsabschluss zu stellen.
- Dentale Implantate vor Wachstumsabschluss sind als Behandlungsoption im interforaminären Bereich des Unterkiefers oder der ventralen Region der Maxilla bei teilbezahnten Kindern und Jugendlichen anzusehen, abhängig von Anzahl, Verteilung und Morphologie der Restbeziehung. Hierbei muss jeder Fall individuell beurteilt werden. Mögliche Komplikationen wie eine entstehende Infraokklusion der Implantatrestauration müssen vorab antizipiert werden.
- Als Kontraindikation für dentale Implantate vor Wachstumsabschluss gilt die Region der distalen Maxilla aufgrund ihrer Wachstumsmuster.

Nach Durchsicht der inkludierten Studien und in Abgleich mit den Ergebnissen anderer Reviews zu dieser Thematik lässt sich festhalten, dass eine orale Rehabilitation mit dentalen Implantaten vor Wachstumsabschluss immer dann als Behandlungsalternative Gewicht bekommt, wenn viele Zähne im betroffenen Patientinnen-/Patientenmund fehlen. Dies liegt daran, dass der Ersatz von Einzelzähnen durch Implantate vor Wachstumsabschluss häufig mit Komplikationen

wie unter anderem der Infraokklusion behaftet ist. Liegt eine Anodontie vor, ist hingegen eine klare Empfehlung zur Rehabilitation mittels dentaler Implantate an entsprechender Lokalisation und ab beschriebenem Alter auszusprechen. Bei exzessiver Oligodontie kann keine eindeutige Empfehlung zur dentalen Implantation abgegeben werden. Dabei sind die Therapieoptionen beeinflussende Faktoren wie Anzahl, Lage und Morphologie der Restbezaehlung zu beachten. Zudem gilt es vorab im interdisziplinären Rahmen Nutzen und Risiko abzuwägen.

Generell ist festzuhalten, dass zu dieser Thematik zwar viele Einzelfallstudien vorliegen, die Anzahl großer Kohortenstudien jedoch überschaubar ist. Des Weiteren sind die in vielen Fällen vorliegenden kurzen Beobachtungszeiträume ein Hindernis, um eine valide wissenschaftliche Aussage zu tätigen. Zudem wäre es sinnvoll, Kinder und Jugendliche, die Implantate erhalten in mehrere „Wachstumsgruppen“, je nach zu erwartendem Restwachstum, zu unterteilen. So könnten die Ergebnisse zum Beispiel zwischen Kindern, präpubertären Jugendlichen und Jugendliche im Wachstumsspur unterschieden und miteinander verglichen werden. Dadurch wären noch genauere bzw. altersspezifische Empfehlungen zur Indikation und Lokalisation für eine dentale Implantation und der damit einhergehenden Prognosen zu möglichen Komplikationen ableitbar.

#### **4.5. Limitationen**

Ein starker, die vorliegenden Ergebnisse beeinflussender Faktor ist die sehr geringe Anzahl an gefundenen und zutreffenden Studien mit großer und repräsentativer Patient\*innenzahl. Dadurch ist die Gefahr eines zufälligen Bias sehr hoch: Es konnten nur insgesamt 7 Kohortenstudien gefunden werden. Diese sehr geringe Anzahl ist für eine Analyse empirischer Daten als grenzwertig zu betrachten. Jedenfalls sind zufällige Verzerrungen der Ergebnisse als mitwirkend einzukalkulieren und alle Schlüsse müssen unter diesem Aspekt mit Vorsicht gezogen werden.

Eine weitere Limitation stellt die Untersucherbias dar, da die Recherche und Datenextraktion zu dieser Arbeit nur durch mich als einzelner Reviewer durchgeführt wurde. Dadurch besteht ein erhöhtes Risiko, dass relevante Literatur und Daten übersehen oder nicht korrekt ausgelesen wurden.

Die verwendete Methode eines „narrative Reviews“ ermöglichte eine Übersicht und Zusammenfassung von bestehendem Wissen und Erfahrungen zum Thema. Diese breite Sicht kann gut für fundierte Diskussionen und auch zur Entwicklung neuer, angepasster Theorien und Aussagen benutzt werden.

Auch können unter Umständen, Studienergebnisse, die zwar vorliegen aber noch nicht veröffentlicht und deshalb nicht berücksichtigt wurden, die in dieser Arbeit abgeleiteten Aussagen verändern.

Weitere Forschung und Praxisdaten sind notwendig, um die genauen Mechanismen und Auswirkungen einer Implantation vor Wachstumsabschluss besser zu verstehen.

## 5. Literaturverzeichnis

1. Gaviria L, Salcido JP, Guda T, Ong JL. Current trends in dental implants. *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg.* 2014;40(2):50-60.
2. Srinivasan M, Meyer S, Mombelli A, Müller F. Dental implants in the elderly population: a systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Implants Res.* 2017;28(8):920-30.
3. Thilander B, Odman J, Gröndahl K, Friberg B. Osseointegrated implants in adolescents. An alternative in replacing missing teeth? *Eur J Orthod.* 1994;16(2):84-95.
4. Bergendal B. When should we extract deciduous teeth and place implants in young individuals with tooth agenesis? *J Oral Rehabil.* 2008;35 Suppl 1:55-63.
5. Thilander B, Myrberg N. The prevalence of malocclusion in Swedish schoolchildren. *Scand J Dent Res.* 1973;81(1):12-21.
6. Kamatham R, Avisia P, Vinnakota DN, Nuvvula S. Adverse Effects of Implants in Children and Adolescents: A Systematic Review. *J Clin Pediatr Dent.* 2019;43(2):69-77.
7. Bohner L, Hanisch M, Kleinheinz J, Jung S. Dental implants in growing patients: a systematic review. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2019;57(5):397-406.
8. AlShahrani I TR, AlQarni MA. A Review of Hypodontia: Classification, Prevalence, Etiology, Associated Anomalies, Clinical Implications and Treatment Options. *World Journal of Dentistry.* 2013;4(2):117-25.
9. McKusick VA. Mendelian Inheritance in Man and its online version, OMIM. *Am J Hum Genet.* 2007;80(4):588-604.
10. Mikkola ML. Molecular aspects of hypohidrotic ectodermal dysplasia. *Am J Med Genet A.* 2009;149a(9):2031-6.
11. Lamartine J. Towards a new classification of ectodermal dysplasias. *Clin Exp Dermatol.* 2003;28(4):351-5.

12. Wang Y, He J, Decker AM, Hu JC, Zou D. Clinical outcomes of implant therapy in ectodermal dysplasia patients: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2016;45(8):1035-43.
13. S2k-Leitlinie - Therapie des dentalen Traumas bleibender Zähne. <https://register.awmf.org/de/leitlinien/detail/083-004>: Deutsche Gesellschaft für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie (DGMKG); Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK); 2022 31.03.2022. Contract No.: 083-004
14. Thilander B, Odman J, Gröndahl K, Lekholm U. Aspects on osseointegrated implants inserted in growing jaws. A biometric and radiographic study in the young pig. *Eur J Orthod.* 1992;14(2):99-109.
15. Odman J, Gröndahl K, Lekholm U, Thilander B. The effect of osseointegrated implants on the dento-alveolar development. A clinical and radiographic study in growing pigs. *Eur J Orthod.* 1991;13(4):279-86.
16. Cronin RJ, Jr., Oesterle LJ, Ranly DM. Mandibular implants and the growing patient. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1994;9(1):55-62.
17. Fudalej P, Kokich VG, Leroux B. Determining the cessation of vertical growth of the craniofacial structures to facilitate placement of single-tooth implants. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007;131(4 Suppl):S59-67.
18. Carmichael RP, Sándor GK. Dental implants, growth of the jaws, and determination of skeletal maturity. *Atlas Oral Maxillofac Surg Clin North Am.* 2008;16(1):1-9.
19. Op Heij DG, Opdebeeck H, van Steenberghe D, Quirynen M. Age as compromising factor for implant insertion. *Periodontol 2000.* 2003;33:172-84.
20. Thilander B, Odman J, Lekholm U. Orthodontic aspects of the use of oral implants in adolescents: a 10-year follow-up study. *Eur J Orthod.* 2001;23(6):715-31.
21. Heuberger S, Dvorak G, Mayer C, Watzek G, Zechner W. Dental implants are a viable alternative for compensating oligodontia in adolescents. *Clin Oral Implants Res.* 2015;26(4):e22-e7.

22. Alcan T, Basa S, Kargül B. Growth analysis of a patient with ectodermal dysplasia treated with endosseous implants: 6-year follow-up. *J Oral Rehabil.* 2006;33(3):175-82.
23. Thomas S. Taschenlehrbuch Embryologie. 13 ed: Thieme; 2020 15.09.2020. 536 p.
24. Enlow DH, Hans MG. Essentials of facial growth. 2nd ed. Ann Arbor, MI: Distributed by Needham Press; 2008. xvii, 507 p. p.
25. Fanghänel J, Ihlow D, Kirschneck C, Kubein-Meesenburg D, Proff P, Rudzki I. Kieferorthopädische Retention. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG; 2018. Available from: <http://www.thieme-connect.de/products/ebooks/book/10.1055/b-004-129982>.
26. Kyrkanides S, Moore T, Miller J-nH, Tallents RH. Melvin Moss' function matrix theory—Revisited. *Orthodontic Waves.* 2011;70(1):1-7.
27. Galella S, Chow D, Jones E, Enlow D, Masters A. Guiding atypical facial growth back to normal. Part 1: Understanding facial growth. *Int J Orthod Milwaukee.* 2011;22(4):47-54.
28. Ehrenfeld M, Ahlers MO, Bantleon H-P, Crismani A, Dibbets J, Fuhrmann R, et al. Kieferorthopädie. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG; 2011. Available from: <http://www.thieme-connect.de/products/ebooks/book/10.1055/b-002-44931>.
29. Björk A, Skieller V. Growth of the maxilla in three dimensions as revealed radiographically by the implant method. *Br J Orthod.* 1977;4(2):53-64.
30. Bjork A, Skieller V. Growth in width of the maxilla studied by the implant method. *Scand J Plast Reconstr Surg.* 1974;8(1-2):26-33.
31. Björk A, Skieller V. Normal and abnormal growth of the mandible. A synthesis of longitudinal cephalometric implant studies over a period of 25 years. *Eur J Orthod.* 1983;5(1):1-46.
32. Sarnäs KV, Björk A, Rune B. Long-term effect of rapid maxillary expansion studied in one patient with the aid of metallic implants and roentgen stereometry. *Eur J Orthod.* 1992;14(6):427-32.

33. Skieller V, Bjork A, Linde-Hansen T. Prediction of mandibular growth rotation evaluated from a longitudinal implant sample. *Am J Orthod.* 1984;86(5):359-70.
34. Iseri H, Solow B. Continued eruption of maxillary incisors and first molars in girls from 9 to 25 years, studied by the implant method. *Eur J Orthod.* 1996;18(3):245-56.
35. Friedrich A, Franz P, Johannes S. *Waldeyer - Anatomie des Menschen.* Berlin, Boston: De Gruyter; 2012.
36. Ranly DM. Craniofacial growth. *Dent Clin North Am.* 2000;44(3):457-70, v.
37. Behr M, Driemel O, Mertins V, Gerlach T, Kolbeck C, Rohr N, et al. Concepts for the treatment of adolescent patients with missing permanent teeth. *Oral Maxillofac Surg.* 2008;12(2):49-60.
38. Heij DG, Opdebeeck H, van Steenberghe D, Kokich VG, Belser U, Quirynen M. Facial development, continuous tooth eruption, and mesial drift as compromising factors for implant placement. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2006;21(6):867-78.
39. Agarwal N, Kumar D, Anand A, Bahetwar SK. Dental implants in children: A multidisciplinary perspective for long-term success. *Natl J Maxillofac Surg.* 2016;7(2):122-6.
40. Solow B. The dentoalveolar compensatory mechanism: background and clinical implications. *Br J Orthod.* 1980;7(3):145-61.
41. Bjork A, Palling M. Adolescent age changes in sagittal jaw relation, alveolar prognathy, and incisal inclination. *Acta Odontol Scand.* 1955;12(3-4):201-32.
42. Björk A, Skieller V. Facial development and tooth eruption. An implant study at the age of puberty. *Am J Orthod.* 1972;62(4):339-83.
43. Poole DFG, Stack MV. *The Eruption and occlusion of teeth : proceedings of the twenty-seventh symposium of the Colston Research Society held in the University of Bristol, April 3rd to 7th, 1975.* London ;: Butterworths; 1976.
44. Bastian H, Glasziou P, Chalmers I. Seventy-Five Trials and Eleven Systematic Reviews a Day: How Will We Ever Keep Up? *PLOS Medicine.* 2010;7(9):e1000326.

45. Greenhalgh T, Thorne S, Malterud K. Time to challenge the spurious hierarchy of systematic over narrative reviews? *Eur J Clin Invest.* 2018;48(6):e12931.
46. Sukhera J. Narrative Reviews in Medical Education: Key Steps for Researchers. *J Grad Med Educ.* 2022;14(4):418-9.
47. Baethge C, Goldbeck-Wood S, Mertens S. SANRA—a scale for the quality assessment of narrative review articles. *Research Integrity and Peer Review.* 2019;4(1):5.
48. Al-Ibrahim HA, Al-Hadlaq SM, Abduljabbar TS, Al-Hamdan KS, Abdin HA. Surgical and implant-supported fixed prosthetic treatment of a patient with ectodermal dysplasia: a case report. *Spec Care Dentist.* 2012;32(1):1-5.
49. Artopoulou, I, Martin JW, Suchko GD. Prosthodontic rehabilitation of a 10-year-old ectodermal dysplasia patient using provisional implants. *Pediatr Dent.* 2009;31(1):52-7.
50. Aydinbelge M, Gumus HO, Sekerci AE, Demetoğlu U, Etoz OA. Implants in children with hypohidrotic ectodermal dysplasia: an alternative approach to esthetic management: case report and review of the literature. *Pediatr Dent.* 2013;35(5):441-6.
51. Cezária Triches T, Ximenes M, Oliveira de Souza JG, Rodrigues Lopes Pereira Neto A, Cardoso AC, Bolan M. Implant-supported Oral Rehabilitation in Child with Ectodermal Dysplasia - 4-year Follow-up. *Bull Tokyo Dent Coll.* 2017;58(1):49-56.
52. Kearns G, Sharma A, Perrott D, Schmidt B, Kaban L, Vargervik K. Placement of endosseous implants in children and adolescents with hereditary ectodermal dysplasia. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1999;88(1):5-10.
53. Kilic S, Altintas SH, Yilmaz Altintas N, Ozkaynak O, Bayram M, Kusgoz A, Taskesen F. Six-Year Survival of a Mini Dental Implant-Retained Overdenture in a Child with Ectodermal Dysplasia. *J Prosthodont.* 2017;26(1):70-4.

54. Kramer FJ, Baethge C, Tschernitschek H. Implants in children with ectodermal dysplasia: a case report and literature review. *Clin Oral Implants Res.* 2007;18(1):140-6.
55. Mello BZ, Silva TC, Rios D, Machado MA, Valarelli FP, Oliveira TM. Mini-implants: alternative for oral rehabilitation of a child with ectodermal dysplasia. *Braz Dent J.* 2015;26(1):75-8.
56. Montanari M, Grande F, Lepidi L, Piana G, Catapano S. Rehabilitation with implant-supported overdentures in preteens patients with ectodermal dysplasia: A cohort study. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2023;25(6):1187-96.
57. Singer SL, Henry PJ, Liddel G, Rosenberg I. Long-term follow-up of implant treatment for oligodontia in an actively growing individual: a clinical report. *J Prosthet Dent.* 2012;108(5):279-85.
58. Smith RA, Vargervik K, Kearns G, Bosch C, Koumjian J. Placement of an endosseous implant in a growing child with ectodermal dysplasia. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1993;75(6):669-73.
59. Abbo B, Razzoog ME. Management of a patient with hypodontia, using implants and all-ceramic restorations: a clinical report. *J Prosthet Dent.* 2006;95(3):186-9.
60. Filius MA, Vissink A, Raghoobar GM, Visser A. Implant-retained overdentures for young children with severe oligodontia: a series of four cases. *J Oral Maxillofac Surg.* 2014;72(9):1684-90.
61. Heuberger S, Dvorak G, Zauza K, Watzek G. The use of onplants and implants in children with severe oligodontia: a retrospective evaluation. *Clin Oral Implants Res.* 2012;23(7):827-31.
62. Lambert F, Botilde G, Lecloux G, Rompen E. Effectiveness of temporary implants in teenage patients: a prospective clinical trial. *Clin Oral Implants Res.* 2017;28(9):1152-7.
63. Giannetti L, Murri Dello Diago A, Vecchi F, Consolo U. Mini-implants in growing patients: a case report. *Pediatr Dent.* 2010;32(3):239-44.

64. Mackie IC, Quayle AA. Implants in children: a case report. *Endod Dent Traumatol.* 1993;9(3):124-6.
65. Polder BJ, Van't Hof MA, Van der Linden FP, Kuijpers-Jagtman AM. A meta-analysis of the prevalence of dental agenesis of permanent teeth. *Community Dent Oral Epidemiol.* 2004;32(3):217-26.
66. Tallgren A, Solow B. Age differences in adult dentoalveolar heights. *Eur J Orthod.* 1991;13(2):149-56.