

Aus der Poliklinik für Kieferorthopädie
der Ludwig-Maximilians-Universität München
Direktorin: Frau Prof. Dr. med. dent. Andrea Wichelhaus

Die Infraokklusion von Milchmolaren und deren Assoziation mit dentalen und skelettalen Parametern

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnmedizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Tobias Rothmaier

aus
Altötting

2019

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatterin: APL Prof. Dr. med. dent. Ekaterini Paschos

Mitberichterstatterin: Prof. Dr. Mechthild Stöckelhuber

Dekan: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel

Tag der mündlichen Prüfung: 09.05.2019

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Literaturübersicht	7
2.1	<i>Definition</i>	7
2.2	<i>Terminologie.....</i>	7
2.3	<i>Prävalenz</i>	8
2.4	<i>Klassifikation</i>	8
2.5	<i>Verteilung der infraokkludierten Milchzähne</i>	9
2.6	<i>Ätiologie</i>	10
2.6.1	Ankylose	10
2.6.2	Genetik	12
2.6.3	Zungenlage	12
2.6.4	Trauma	13
2.6.5	Nichtanlage.....	13
2.6.6	Hyperzementose	14
2.7	<i>Assoziierte skelettale und dentale Befunde</i>	15
2.7.1	Palatinal verlagerte Eckzähne.....	15
2.7.2	Lateral incisor complex.....	15
2.7.3	Wachstum	15
2.7.4	Hypodontie	16
2.7.5	Mikrodontie.....	17
2.7.6	Verzögerte dentale Entwicklung	17
2.7.7	Abnorme Wurzelform des Nachfolgers	17
2.7.8	Kippung und Elongation	18
2.7.9	Distale Angulation des zweiten Prämolaren im UK	18
2.7.10	Verringerte vertikale Knochenhöhe	18
2.8	<i>Diagnostik.....</i>	19
2.9	<i>Therapie.....</i>	19
2.9.1	Therapie bei angelegtem Nachfolger	20
2.9.2	Therapie bei Aplasie des Nachfolgers.....	22
3	Fragestellung	23
4	Material und Methode.....	24

4.1	<i>Patienten</i>	24
4.2	<i>Tabellarische Erfassung der Daten</i>	26
4.3	<i>Erläuterung der untersuchten Parameter</i>	27
4.3.1	Allgemeine Patientendaten	27
4.3.2	Orthopantomogramm	27
4.3.3	Fernröntgenseitenaufnahme	32
4.3.4	Modellanalyse	35
4.4	<i>Statistische Auswertung</i>	38
5	Ergebnisse	40
5.1	<i>Prävalenz; Alters- und Geschlechtsverteilung</i>	40
5.2	<i>Orthopantomogramm</i>	42
5.2.1	Betroffene Zähne.....	42
5.2.2	Betroffene Quadranten im Unterkiefer.....	42
5.2.3	Infraokklusion im Oberkiefer.....	43
5.2.4	Hypodontie	44
5.2.5	Hyperdontie.....	45
5.2.6	Eckzahnverlagerung.....	45
5.2.7	Zahnachse des Nachfolgers	45
5.2.8	Lokalisation der Wurzelresorption	46
5.2.9	Ausmaß der Wurzelresorption	47
5.2.10	Zahnalter des Nachfolgers.....	48
5.2.11	Lamina Dura	48
5.2.12	Füllung des Milchzahns	50
5.2.13	Karies	50
5.2.14	Größe des Follikels	50
5.2.15	Entzündung Milchzahn/ Vitalamputation.....	50
5.3	<i>Fernröntgenseitenanalyse</i>	51
5.3.1	ML-NSL	51
5.3.2	ML-NL	51
5.3.3	ANB.....	52
5.3.4	Ind. ANB.....	52
5.3.5	Gn-tgo-Ar.....	54
5.3.6	Ratio hinten/vorn	54
5.3.7	UK1-ML.....	54
5.3.8	UK1-NB	55

5.3.9	Abstand NB zu UK Frontzahn.....	56
5.4	<i>Modellanalyse</i>	57
5.4.1	Overjet und Overbite.....	57
5.4.2	Kreuzbiss.....	57
5.4.3	Kippung Nachbarzähne.....	58
5.4.4	Okklusionskontakte	59
5.4.5	Vertikale Differenz.....	60
5.5	<i>Korrelationen</i>	61
6	Diskussion.....	63
6.1	<i>Prävalenz</i>	63
6.2	<i>Alters- und Geschlechtsverteilung</i>	63
6.3	<i>Parameter OPG</i>	64
6.4	<i>Parameter FRS</i>	71
6.5	<i>Parameter Modellanalyse</i>	75
6.6	<i>Korrelationen</i>	77
7	Schlussfolgerung.....	79
8	Zusammenfassung	81
9	Literaturverzeichnis	83
10	Anhang	97
10.1	<i>Erfassung der allgemeinen Patientendaten</i>	97
10.2	<i>Erfassung OPG</i>	98
10.3	<i>Erfassung Modellanalyse</i>	100
11	Danksagung	101
12	Eidesstattliche Versicherung	102

1 Einleitung

Während des Wachstums und der Entwicklung des menschlichen Körpers eruptieren Zähne deutlich in vertikaler Richtung. Bleibt ein Zahn in seiner vertikalen Entwicklung zurück, entsteht dadurch eine Diskrepanz zu den Nachbarzähnen und man bezeichnet diesen Zahn aufgrund seiner Position unterhalb der Okklusionsebene als infraokkludiert. [1, 2]

Diese Anomalie tritt mit einer Prävalenz von 1,4% bis 35% in unterschiedlichen Ausprägungen auf und betrifft damit eine große Zahl an Patienten. Die mit Abstand am häufigsten infraokkludierten Zähne sind die Milchmolaren der Mandibula. [3-7]

Infraokkludierte Milchzähne sind, wie in der Literatur häufig beschrieben [2, 8-10] mit anderen dentalen Anomalien assoziiert. Des Weiteren können diese Zähne den Patienten eine Vielzahl an Problemen bereiten, indem sie beispielsweise im Gebiss ihre Platzhalterfunktion für die bleibenden Zähne nicht ordnungsgemäß erfüllen. Dies äußert sich durch eine Kippung der Nachbarzähne in Richtung des infraokkludierten Zahns und kann zu einem Platzmangel in der Stützzone führen. Infraokkludierte Milchmolaren können in einigen Fällen auch eine Ankylose vorweisen, die unter Umständen ihre Exfoliation bzw. Extraktion erschwert. Auch bei der nichtseltenen Aplasie der bleibenden Nachfolger ist die Infraokklusion der Milchzähne problematisch, da die Zähne im Gegenkiefer elongieren können und es dadurch zu funktionellen Störungen (z.B. Zwangsbiss) kommen kann. [11-13]

Dies sind nur ein paar der möglichen Folgen, die aufgrund einer Infraokklusion der Milchzähne eintreten können. Um eine möglichst frühe Diagnose stellen zu können und damit die drohenden Komplikationen zu vermeiden, ist es wichtig, Risikopatienten rechtzeitig zu identifizieren, um entsprechende therapeutische Maßnahmen –wie beispielsweise eine Extraktion des betroffenen Zahns bei deutlich verzögerter Exfoliation von über einem halben Jahr oder bei starker Infraokklusion– zu ergreifen. [1]

Die bereits oben beschriebene Assoziation einer Infraokklusion mit verschiedenen dentalen Anomalien, wie z.B. Nichtanlage des Nachfolgers oder auch anderer permanenter Zähne, Mikrodontie und Eckzahnverlagerung wird in mehreren Publikationen als Hinweis für einen

hereditären Zusammenhang diskutiert. Die exakte Ätiologie ist jedoch nicht endgültig geklärt. [2, 8-10]

Um mögliche Zusammenhänge feststellen zu können, zog die vorliegende Untersuchung neben dentalen auch skelettale Parameter heran, die bis dahin in der Literatur wenig Beachtung gefunden hatten. Des Weiteren wurde eine nähere Betrachtung möglicher Unterschiede in der Ätiologie der Infraokklusion bezüglich der Anlage eines Nachfolgers angestellt, indem die untersuchten Fälle in eine Gruppe mit und eine ohne angelegten Nachfolger getrennt wurden. Eine derartige Unterscheidung war sehr selten Bestandteil vorangegangener Untersuchungen.

Ziel dieser Studie war es somit, nach möglichen Relationen zwischen der Infraokklusion von Milchmolaren und anderen dentalen Anomalien und skelettalen Parametern zu suchen. Die gewonnenen Daten sollen dazu beitragen, diese Anomalie mit ihren Begleiterscheinungen besser verstehen zu können und daraus möglicherweise Erkenntnisse für die Prävention resp. Frühbehandlung solcher Fälle zu gewinnen, um durch eine frühe Diagnose und entsprechende Intervention die bekannten Nebenwirkungen wie Kippung, Elongation, Malokklusion usw. vermeiden zu können.

2 Literaturübersicht

2.1 Definition

Infraokklusion beschreibt eine Anomalie, die durch eine insuffiziente Eruption des Zahns gekennzeichnet ist und überwiegend Milchmolaren des Wechselgebisses betrifft. Dabei weicht der betroffene Zahn in seiner vertikalen Lage von der seiner Nachbarzähne ab und nimmt eine Position unterhalb der Okklusionsebene ein [1, 2]. Die vertikale Diskrepanz kommt meistens dadurch zustande, dass der infraokkludierte Zahn in der Regel zunächst die Okklusionsebene erreicht, dann aber im Gegensatz zur restlichen Dentition die weitere Eruption einstellt. Dies ist an Schlifffacetten des infraokkludierten Zahns erkennbar, die beweisen, dass dieser schon einmal Kontakt zum Gegenkiefer gehabt haben muss [14]. Doch auch die Möglichkeit, dass ein Zahn aufgrund einer primären Eruptionsstörung nie die Okklusionsebene erreicht hat, wurde in der Vergangenheit diskutiert [15]. In den meisten Fällen bewegt sich das Ausmaß der Infraokklusion innerhalb weniger Millimeter, doch es existieren auch Extremfälle, in denen sich der betroffene Zahn komplett intraossär befindet [4], wieder zurück unter die Mukosa wandert [16] oder eine Abszesshöhle bildet [14].

2.2 Terminologie

Bezüglich der Terminologie der Infraokklusion existiert besonders in älteren Publikationen eine Vielzahl unterschiedlicher, meist synonym verwendeter Bezeichnungen wie sekundär retinierte Milchzähne [17], Milchzahnankylose [12], Milchzahndepression [18], Reinklusion [19] resp. im englischen Sprachgebrauch „submerged teeth“ [20]. Diese Termini beinhalten jedoch eine Aussage über die Ätiologie des Befundes Infraokklusion und führen damit zu einer teils verwirrenden und unübersichtlichen Literatursituation. Aus diesem Grund sind viele Autoren neuerer Studien dazu übergegangen, die neutralen Begriffe Infraokklusion oder Infraposition zu verwenden, deren Vorteil darin besteht, dass diese ausschließlich den klinischen Befund beschreiben ohne dessen Ätiologie vorwegzunehmen [8].

2.3 Prävalenz

Die Zahlen aus vorangegangenen Studien bezüglich der Prävalenz der Infraokklusion bewegen sich im einem Bereich von 1,4% bis 35% [3-7]. Als Ursache für die breite Streuung der Werte kommen einerseits die unterschiedlichen Altersverteilungen der Untersuchungsgruppen, andererseits aber auch die verschiedenen Diagnosekriterien und -methoden in Frage [4]. Beispielsweise kann die Messung der Infraokklusion sowohl anhand von Modellen, als auch anhand von Röntgenbildern oder als Blickdiagnose durchgeführt werden. *Krakowiak* stellte in seiner Untersuchung sogar fest, dass sich die Prävalenz je nach ethnischer Gruppe der Patienten unterscheidet [6, 21], während das Geschlecht in der Literatur mit großer Übereinstimmung keine Rolle spielt [5, 22].

Aus diesen Gründen ist eine genaue Aussage hinsichtlich der Prävalenz kaum zu treffen. Es bleibt jedoch festzuhalten, dass die Infraokklusion eine relativ häufig auftretende Anomalie darstellt.

2.4 Klassifikation

Um das Ausmaß der Infraokklusion klassifizieren zu können, wurde in vorangegangenen Publikationen zwischen leichter, mäßiger und starker Infraokklusion unterschieden [11, 23]. Da die Definitionen der verschiedenen Autoren nur minimale Abweichungen zueinander aufweisen wird im Folgenden exemplarisch die Einteilung von *Messer* (1980) erläutert:

- Leicht:** Die Okklusalfäche liegt ca. 1mm unterhalb der zu erwartenden Position, die anhand der in regelrechter Position stehenden Nachbarzähne beurteilt wird.
- Mäßig:** Beide Randleisten befinden sich auf Höhe oder zervikal des physiologischen Approximalkontaktes zum Nachbarzahn.
- Stark:** Die gesamte Kaufläche liegt auf gleichem Niveau oder unterhalb der Gingiva.

2.5 Verteilung der infraokkludierten Milchzähne

Verschiedene Veröffentlichungen kommen übereinstimmend zu dem Ergebnis, dass Milchmolaren der Mandibula um ein vielfaches häufiger von Infraokklusion betroffen sind, als solche der Maxilla [1, 5, 12].

In vorangegangenen Studien herrscht Uneinigkeit darüber, ob der erste oder der zweite Milchmolar des Unterkiefers häufiger von Infraokklusion betroffen ist. Es gibt mehrere Untersuchungen, die dem ersten Milchmolaren eine stärkere Tendenz zur Infraokklusion [4, 5, 11, 24] bescheinigen, aber auch solche, die zu gegenteiligen Ergebnissen kommen [8, 12, 20, 25]. *Kuroi* setzte sich mit den unterschiedlichen Prävalenzen auseinander und folgerte daraus, dass diese wohl durch die unterschiedlichen Kriterien der Studien und deren Altersverteilung zustande kamen. Bei seinen Untersuchungen waren bis zum 9. Lebensjahr die ersten Milchmolaren und danach die zweiten Milchmolaren häufiger betroffen. Diesen Unterschied könnte man nach *Kurois* Ansicht mit der zeitlichen Differenz in der Entwicklung und Eruption des Nachfolgers erklären [4]. Eine weitere Überlegung bezüglich der unterschiedlichen Ergebnisse besteht darin, dass die ersten Milchmolaren aufgrund des häufiger zu beobachtenden mildereren Verlaufes der Infraokklusion und der häufig spontanen Exfoliation möglicherweise von den untersuchenden Personen übersehen wurden und damit nicht in die Statistik eingingen [11].

Zur Situation im Oberkiefer ist die Datenlage deutlich weniger umfangreich als im Unterkiefer und ebenfalls widersprüchlich [8, 26, 27].

2.6 Ätiologie

Die Ätiologie dentaler Anomalien liegt in der komplexen multifaktoriellen Interaktion genetischer und epigenetischer Faktoren, sowie Umweltfaktoren, die jeweils zu bestimmten Zeitpunkten auf die Entwicklung der Zähne einwirken [28-30]. Aus diesem Grund muss bezüglich der Ätiologie die Kombination unterschiedlicher Faktoren berücksichtigt werden. Die diskutierten Einzelfaktoren werden auf den folgenden Seiten zusammengefasst.

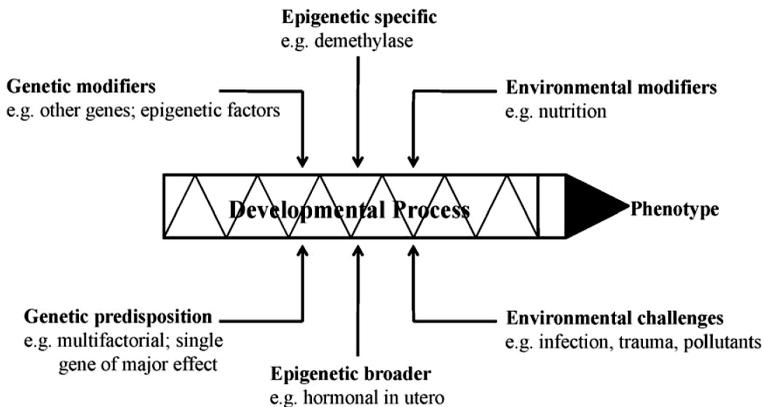


Abbildung 1: Übersicht über die Ätiologie dentaler Anomalien [31]

2.6.1 Ankylose

Wie eingangs bereits erwähnt, werden in vielen Veröffentlichungen die Termini Ankylose und Infraokklusion synonym verwendet. Da jedoch die Infraokklusion nicht in jedem Fall mit der Ankylose des Zahns gleichzusetzen ist [32], wurde in dieser Arbeit die Ankylose bewusst als mögliche Ursache aufgeführt. Es sei an dieser Stelle jedoch darauf hingewiesen, dass aufgrund der häufig unklaren Terminologie in der Literatur nicht immer genau unterschieden werden konnte, ob sich die nachfolgend genannten Einzelfaktoren auf den klinischen Befund der Infraokklusion oder die Ankylose beziehen.

Ankylose beschreibt einen pathologischen Zustand, der eine knöcherne Fusion des Zahns mit dem Alveolarknochen aufweist [33]. Die Ausdehnung dieser Knochenbrücke kann dabei mikroskopisch klein sein aber auch annähernd die komplette Wurzeloberfläche betreffen [34]. Dabei sind hauptsächlich die Furkation und die restliche innere Wurzeloberfläche bevorzugte Lokalisationen der Ankylose [17, 35]. Bezüglich der Entstehung einer Ankylose wird allgemein angenommen, dass eine Ankylose immer mit einem Defekt der Parodontallamina einhergeht und damit eine Unterbrechung der fibrösen Trennschicht zwischen Knochen und Zahn vorliegt [12]. Aufgrund dieser Verknöcherung verhalten sich ankylosierte Zähne wie Zahnimplantate und verweigern sowohl vertikale Bewegungen im Sinne einer Eruption, als auch Bewegungen entlang anderer Achsen. Damit wird neben der Eruption des Zahns auch eine orthodontische Therapie stark beeinflusst [20, 36]. Der Zeitpunkt der Ankylose ist dabei der bestimmende Faktor für das Ausmaß der Infraokklusion, während die Größe der ankylosierten Wurzeloberfläche darauf keinen Einfluss hat [37, 38]. Es existieren Einzelfälle, in denen der infraokkludierte Zahn spontan seine Eruption fortsetzt und wieder die Okklusionsebene erreicht. Grund dafür könnte eine durch Resorptionsprozesse aufgelöste Ankylose sein, die den Zahn wieder frei gibt [39]. Diese Theorie wird gestützt von der Ansicht *Kuroks*, der die Ankylose nicht als einen statischen Zustand sieht, sondern vielmehr als Teil des Remodellingprozesses, der mit der Wurzelresorption einhergeht [40, 41].

Von der Ankylose am häufigsten betroffen sind Milchmolaren, sie kann aber auch in der bleibenden Dentition vorkommen. Dort tritt sie besonders als Folge eines Traumas und bei Reimplantation von Zähnen auf [42]. Prinzipiell kann jedoch jeder Zahn ankylosieren [12].

Auch wenn die Ätiologie der Ankylose nach wie vor ungeklärt ist, werden in der Literatur mehrere Faktoren diskutiert, die mit deren Entstehung in Verbindung gebracht werden. Die Mehrzahl der Autoren vermutet genetische Ursachen [43], aber auch lokale Ursachen wie eine Störung des Metabolismus des Parodonts [44] durch Traumata oder Zungendruck [19], Infektionen sowie chemische oder thermische Irritation [45] werden in verschiedenen Studien genannt.

2.6.2 Genetik

In mehreren Untersuchungen wird aufgrund der familiären Häufung der Infraokklusion [46, 47], resp. des kombinierten Auftretens mit anderen Anomalien eine genetische Komponente vermutet [4, 48, 49].

Kuroi et al. verglichen die innerhalb von Familien beobachteten Häufigkeiten der Infraokklusion mit denen, die bei dominanter, rezessiver oder multifaktorieller Vererbung zu erwarten gewesen wären. Die Untersucher kommen zu dem Ergebnis, dass eine multifaktorielle Vererbung höchstwahrscheinlich ist, aber auch eine Vererbung über ein einzelnes, umweltsensitives Gen nicht ausgeschlossen werden kann. Da die Prävalenz bei beiden Geschlechtern gleich ausfiel ist, halten sie einen geschlechtsgebundenen oder X-chromosomalen Erbgang für unwahrscheinlich [4].

Steigmann schließt aufgrund der deutlichen Differenzen in der Prävalenz der Infraokklusion bezüglich der verschiedenen ethnischen Gruppen seiner Untersuchung ebenfalls auf eine genetische Komponente [7].

Odeh argumentiert damit, dass die zusammenhangslose anatomische Verteilung der im Zuge der Infraokklusion gehäuft auftretenden Anomalien und deren Entwicklung zu unterschiedlichen Zeitpunkten gegen lokale Umweltfaktoren als Ursache sprechen. Vielmehr unterstützt dies die Theorie eines gemeinsamen genetischen oder epigenetischen Ursprungs im Sinne eines pleiotropischen Effekts [2]. Mit dem pleiotropischen Effekt lassen sich die mit Infraokklusion assoziierten Anomalien als verschiedene phänotypische Ausprägungen eines Gens beschreiben [50].

2.6.3 Zungenlage

Der Einfluss der Zunge auf die Entwicklung von Bissanomalien im Allgemeinen ist schon seit längerer Zeit Gegenstand von Untersuchungen [51] und kann als gesichert angesehen werden.

Die Korrelation der Infraokklusion mit dem Zungendruck untersuchte *Pytlík* 1982 anhand von Patientendaten aus der Literatur und zwei eigenen Patienten. Er kommt zu der Erkenntnis, dass diese Patienten im Regelfall mit der Zunge zwischen die Zahnreihen pressen. Daraus folgert er, dass die gestörte Zungenfunktion ein Dauertrauma für die Zähne darstellt und als primäre Ursache für die Entstehung der Infraokklusion anzusehen ist [19].

Mew vermutet, dass die Infraokklusion durch die Zunge beeinflusst wird, da sich diese auf die Milchmolaren legt, im Gegensatz dazu aber der erste

bleibende Molar in seiner vertikalen Entwicklung nicht mehr gehindert wird, weil sich die Zunge mesial davon befindet [52].

Andere Autoren halten es für möglich, dass die Zunge zwar den Befund der Infraokklusion verschlimmern kann, indem sie sich einlagert, nicht aber diesen primär auslösen kann [53]. *Proffitts* Untersuchung stützt diese These, denn er sieht eine intermittierende, leichte Kraft nicht dazu in der Lage, die Eruptionsrate eines Zahnes zu beeinflussen [54].

2.6.4 Trauma

Neben der Zunge kann eine mechanische Traumatisierung des Parodonts auch bei Unfällen oder übermäßigem mastikatorischen Kraftaufwand auftreten. Dass die Ankylosierung und für Patienten im Wachstum auch die Infraokklusion durch mechanische Traumata ausgelöst werden kann, ist allgemein anerkannt [55]. Ob die Kaukraft allein eine Ankylose auslösen kann, wird in der Literatur als unwahrscheinlich eingestuft. *Biederman* vermutet aufgrund der Tatsache, dass im Erwachsenenalter die Kaukräfte höher sind als beim Heranwachsenden und trotzdem kaum ankylosierte Zähne beobachtet werden können, dass die Kaukräfte nicht als auslösender Faktor anzusehen sind. Um seiner Hypothese nachzugehen, untersuchte er bei Patienten mit zwei infraokkludierten Zähnen deren Verteilung auf die Quadranten. Die dabei bestimmte überwiegende Verteilung im selben Kiefer spricht *Biedermans* Ansicht nach gegen mastikatorische Kräfte als Auslöser, da andernfalls hauptsächlich Antagonisten hätten betroffen sein müssen [12].

2.6.5 Nichtanlage

Inwieweit die Aplasie des Nachfolgers eine Ursache für die Entstehung einer Infraokklusion darstellt, wurde in vergangenen Publikationen widersprüchlich gesehen.

Vereinzelt finden sich Veröffentlichungen, die den fehlenden Nachfolger als mögliche Ursache ansehen [56], da er zu einer Störung von Resorptions- und Reparaturprozessen im Bereich der Milchzahnwurzel beiträgt und folglich auch über die Ankylose zu einer Infraokklusion führen kann [57, 58].

Demgegenüber wird in den meisten Studien von einem fehlenden Einfluss der Aplasie des Nachfolgers auf die Entstehung der Infraokklusion berichtet

[2]. Vielmehr wird die erhöhte Neigung zu Nichtanlagen bei Infraokklusion als Folge des gemeinsamen genetischen Ursprungs angesehen [59].

2.6.6 Hyperzementose

Hyperzementose beschreibt ein übermäßiges Wachstum und damit eine Verdickung des sekundären, zellreichen Zements. Dieser findet sich physiologischerweise im mittleren und apikalen Drittel der Zahnwurzel und im Bereich der Furkation. Tritt diese Hyperzementose in jungen Jahren auf, so lässt sich diese nicht in jedem Fall radiologisch diagnostizieren [17]. Die histologische Aufarbeitung zeigt eine Verdickung des Zements in Schichten, die auf eine inkrementelle Apposition durch Zementoblasten zurückzuführen ist.

Humerfelt und Reitan kamen zu der Erkenntnis, dass eine Hyperzementose in jungen Jahren die Eruption des Zahnes beeinflussen kann. Möglicherweise können sich durch die ständige Apposition neuen Zements die Parodontalfasern im Laufe der Eruption nicht entsprechend umorientieren und führen somit zu einer verzögerten Eruption. Des Weiteren kann die Hyperzementose zu einer Atrophie der Parodontallamina und damit zu einer Ankylose des Zahns führen. [60]

2.7 Assoziierte skelettale und dentale Befunde

Die Infraokklusion wurde in der Vergangenheit von vielen Autoren mit einer erhöhten Prävalenz für weitere dentale Anomalien assoziiert [2, 8-10]. *Peck et al.* untersuchten ebenfalls diese Zusammenhänge und prägten den Begriff der „dental anomaly pattern“ (DAP). Damit bezeichnen sie die dentalen Anomalien, die in Kombination viel häufiger auftreten, als es mit stochastischen Überlegungen erklärt werden kann. Dazu zählt er unter anderem Nichtanlagen, Eckzahnverlagerung, Infraokklusion und atypische Zahngrößen resp. Zahnformen [61].

2.7.1 Palatinal verlagerte Eckzähne

Palatinal verlagerte Eckzähne treten in der Normalbevölkerung mit einer Prävalenz von ca. 2% bevorzugt beim weiblichen Geschlecht [62-64] auf. Als Entstehungsursache der Eckzahnverlagerung werden sowohl eine genetische Komponente, als auch lokale Umweltfaktoren wie mikrodonte laterale Schneidezähne diskutiert [65]. Patienten mit infraokkludierten Milchmolaren weisen mit ca. 13% deutlich häufiger palatinal verlagerte Eckzähne (PDC = palatally displaced canines) auf und besitzen damit ein erhöhtes Risiko, die damit assoziierten Anomalien wie eine Eckzahnretention oder eine Resorption der bleibenden Schneidezahnwurzeln zu entwickeln [2, 8, 9, 66].

2.7.2 Lateral incisor complex

Unter dem „lateral incisor complex“ fasst *Odeh* die von mehreren Autoren beobachteten Anomalien des seitlichen Inzisivus, bestehend aus Mikrodontie, abnormaler Form oder Aplasie zusammen, die bei Patienten mit infraokkludierten Milchmolaren gehäuft auftreten. Die Prävalenz wird in der Literatur mit 13 - 25,6% angegeben [2, 8, 9].

2.7.3 Wachstum

Es existieren sehr wenige Veröffentlichungen, die sich mit dem Wachstum des Patienten bei Infraokklusion beschäftigen.

In *Dixons* Untersuchungen stellt sich ein Zusammenhang zwischen der vertikalen Diskrepanz der Infraokklusion und einer vergrößerten unteren Gesichtshöhe und damit dem Gesichtswachstum des Patienten dar.

Aufgrund seiner Beobachtung, dass bei bisserhörender Therapie mit einem Aktivator gehäuft infraokkludierte Zähne auftreten, bekräftigt er die enge Beziehung zwischen der intermaxillären Beziehung und der Infraokklusion. Zusätzlich konnte er bei den von Infraokklusion betroffenen Patienten eine vergrößerte Angulation des Mandibularplanums zur Schädelbasis beobachten [20]. Die erhöhte Prävalenz einer vergrößerten vertikalen Dimension des Gesichts bei Infraokklusion konnte auch in einer weiteren Studie bestätigt werden [67].

In einer neueren Studie aus 2005 untersuchten *Leonardi et al.* das Wachstum des Unterkiefers bei infraokkludierten Milchmolaren in einer longitudinalen kephalometrischen Studie. Bei 28 Patienten mit Infraokklusion wurden zu zwei Zeitpunkten im Abstand von durchschnittlich 19 Monaten Fernröntgenseitenanalysen angefertigt. Während dieser Zeit wurde keinerlei orthodontische Therapie durchgeführt, um die Ergebnisse nicht zu verfälschen. Er kam zu dem Ergebnis, dass die Untersuchungsgruppe eine signifikant anteriore Rotation der Mandibula aufwies. Vorangegangene Untersuchungen haben ergeben, dass bei anteriorer Rotation eine erhöhte remodelling-Rate des Kieferknochens vorherrscht, die wiederum eng mit dem kraniofazialen Wachstum und besonders mit dem Wachstum der Mandibula verbunden ist [43, 68]. Zudem ist die remodelling-Rate fundamental wichtig für die Zahneruption und die Entwicklung des Alveolarfortsatzes [69, 70]. Im Umkehrschluss kann eine verminderte Eruption eines Zahns auf eine Störung des Wachstums hindeuten. Aufgrund seiner Beobachtungen schließt *Baccetti* auf einen Zusammenhang zwischen Infraokklusion und dem skelettalen Wachstum. Entgegen den beiden oben genannten Studien konnte er jedoch keine Auffälligkeiten bezüglich der Angulation der Mandibula ausmachen [43].

2.7.4 Hypodontie

Inwiefern die Aplasie bleibender Zähne als Ursache für die Entstehung der Infraokklusion verantwortlich in Frage kommt, ist – wie bereits oben erläutert – umstritten. Sicher ist jedoch, dass bei Patienten mit Infraokklusion eine deutlich erhöhte Prävalenz für Nichtanlagen besteht. Dies bezieht sich nicht unbedingt auf den Nachfolger des infraokkludierten Zahns, sondern in unterschiedlichem Ausmaß auf alle Zähne [2]. In einer Studie von *Shalish* waren Nichtanlagen ohne Berücksichtigung der Weisheitszähne mit ca. 21% viermal so häufig bei Patienten mit Infraokklusion vorhanden als bei solchen ohne diesen Befund. Bei

Weisheitszähnen war die Prävalenz immerhin doppelt so groß [8, 71]. Ein Zusammenhang zwischen der Nichtanlage permanenter Zähne und bestimmten Schädelwachstumstendenzen konnte nicht festgestellt werden [72].

2.7.5 Mikrodontie

Neben den oben genannten seitlichen Schneidezähnen gibt es vereinzelt Berichte über weitere mikrodonte Zähne, die bei vorherrschender Infraokklusion gehäuft auftreten. Beispielsweise wurden schmalere Eckzähne der ersten Dentition im Unterkiefer und auch schmalere Sechsjahresmolaren beim weiblichen Geschlecht dokumentiert [2]. Es bleibt festzuhalten, dass die Mikrodontie selten Gegenstand vorangegangener Untersuchungen war, aber trotzdem einen Hinweis auf eine genetische Komponente in der Entstehung darstellt. Dazu passt auch der Zusammenhang zwischen der Aplasie bleibender Zähne und der Mikrodontie [29].

2.7.6 Verzögerte dentale Entwicklung

Eine Verzögerung der dentalen Entwicklung, die auch mit einer „dentitio tarda“ einhergehen kann, wurde im Zusammenhang mit mehreren dentalen Anomalien beobachtet [73]. *Odeh* setzte sich in seiner Studie gezielt mit der dentalen Entwicklung bei Infraokklusion auseinander, indem er anhand von Orthopantomogrammen mit der Methode nach *Demirjian* und *Willems* das dentale Alter der Probanden bestimmte. Dabei stellte sich heraus, dass bei Infraokklusion das dentale Alter und damit die dentale Entwicklung geringer ausfällt als das chronologische Alter. Diese Differenz fiel bei Aplasie des Nachfolgers sogar noch deutlicher aus [2, 74]. Weitere Untersuchungen ergaben eine Verzögerung der dentalen Entwicklung der Nachfolger infraokkludierter Zähne von ca. 6 Monaten [38, 40].

2.7.7 Abnorme Wurzelform des Nachfolgers

Silvestrine et al. berichten von hakenförmigen oder vergrößerten Wurzeln der bleibenden Prämolaren, die sich unter einem ankylosierten Milchmolaren befinden. Darum lautet seine Empfehlung, die Wurzelentwicklung des Nachfolgers zu überwachen [26], während andere Autoren keinen Einfluss der Infraokklusion auf die Entwicklung des Nachfolgers sehen.

2.7.8 Kippung und Elongation

Mit zunehmendem Ausmaß der Infraokklusion eines Zahns steigt das Risiko der Kippung der Nachbarzähne in Richtung desselben. Dabei kommt es in Abhängigkeit von der Ausprägung des Befunds selten zu einer Einengung der Stützzone, da der Platzgewinn aus dem Leeway Space überwiegt [75]. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass die Kippung der Nachbarzähne nicht die Ursache der Infraokklusion darstellt, sondern als deren Folge auftritt [14]. In diesem Zusammenhang wurden auch ein erhöhtes Kariesrisiko und parodontale Probleme aufgrund der entstehenden Schmutznischen diskutiert.

Bisherige Untersuchungen legen nahe, dass die Antagonisten infraokkludierter Zähne aufgrund der fehlenden vertikalen Abstützung zur Elongation neigen.

2.7.9 Distale Angulation des zweiten Prämolaren im UK

Die distale Angulation des zweiten Prämolaren des Unterkiefers kommt in ca. 45% der Fälle vor und tritt damit bei Patienten mit Infraokklusion in etwa dreimal so häufig auf wie bei solchen ohne Infraokklusion [8]. In den meisten Fällen richtet sich der Prämolare von selbst auf und bricht regelrecht durch. Es besteht jedoch die Gefahr, dass der Prämolare irreversibel impaktiert, indem er sich unter den ersten bleibenden Molaren schiebt [76]. Des Weiteren zeigt die klinische Beobachtung, dass durch die vermehrt distale Resorption des Milchzahns Wurzelreste verbleiben können.

2.7.10 Verringerte vertikale Knochenhöhe

Dias stellte bei der Überlagerung von Röntgenbildern, die in einem zeitlichen Abstand von mindestens 12 Monaten aufgenommen wurden, fest, dass Patienten mit infraokkludierten Zähnen über eine niedrigere vertikale Knochenhöhe resp. ein verlangsamtes vertikales alveoläres Wachstum zwischen dem zweiten Milchmolaren und dem ersten bleibenden Molaren verfügen [77]. Eine ähnliche Beobachtung beschreiben *Peretz et al.*, die einen erhöhten Abstand zwischen der Schmelz-Zement-Grenze und dem Alveolarknochen infraokkludierter Zähne feststellten [78]. Für die Ausprägung des Befunds ist der Zeitpunkt der Ankylose des Milchzahns entscheidend [38]. Mehrere Untersuchungen sehen die verringerte vertikale Knochenhöhe als einen temporären Befund, da die Knochenhöhe bei

milder Infraokklusion mit dem Durchbruch des bleibenden Zahns wieder ein normales Niveau erreicht [1]. Dies deckt sich mit der Ansicht *Kurots*, der ebenfalls kein erhöhtes Risiko für langfristigen Knochenverlust mesial des ersten bleibenden Molaren sieht [79, 80].

2.8 Diagnostik

Die Diagnose einer Ankylose kann anhand der Perkussion [81], der Mobilität oder röntgenologisch gestellt werden. *Andreasen* prüfte die Sensitivität und Spezifität dieser Untersuchungsmethoden mittels histologischer Betrachtungen an Affen. Dabei zeigte sich, dass die Diagnose anhand des metallischen resp. hohen Klopfschalls sowie anhand von Mobilitätstests sensitiver und akkurater durchgeführt werden konnte als auf Basis einer röntgenologischen Untersuchung. Auf zweidimensionalen Abbildungen lässt sich beispielsweise eine labiale oder linguale Ankylose nicht diagnostizieren, da sie aufgrund von Überlagerungen nicht abgebildet werden kann. Der Autor kam zu der Erkenntnis, dass die Ankylose mit klinischen Methoden erst diagnostizierbar war, wenn sie mindestens 20% der Wurzeloberfläche betraf [34]. Die genaueste Methode, Ankylosen zu untersuchen, stellen histologische Aufarbeitungen dar, da bei dieser Methode auch mikroskopisch kleine Osteoidbrücken dargestellt werden können. Dreidimensionale radiologische Untersuchungen im Sinne eines Dental-CTs sind jedoch im Gegensatz zum DVT aufgrund ihrer hohen Abbildungsleistung bei feinen Strukturen ebenfalls zur Diagnose einer Ankylose geeignet [82].

2.9 Therapie

Eine Überwachung der Okklusion bei Heranwachsenden ist fundamental wichtig, damit eine Infraokklusion möglichst frühzeitig erkannt und in der Folge eine effiziente Therapie ermöglicht wird [83, 84]. Die Therapiewahl wird dabei von mehreren Faktoren beeinflusst. Dazu zählen unter anderem das Alter des Patienten, das Ausmaß der Infraokklusion, deren Progressionsrate, die Kippung der Nachbarzähne, das Vorhandensein weiterer dentaler Anomalien und ganz entscheidend die Anlage resp. die Aplasie des nachfolgenden Zahns [85]. Aus diesem Grund wird im

Folgendes die Therapie der Infraokklusion bezüglich der Anlage des Nachfolgers unterschieden. Prinzipiell bestehen die Möglichkeiten Monitoring, Exzaktion, Luxation, Autotransplantation oder Restauration des Zahns [86, 87]. Andere Ansätze, wie zum Beispiel eine orthodontische Therapie im Sinne einer Platzschaffung im Bereich des infraokkludierten Zahns [88, 89] werden nur vereinzelt erwähnt und scheinen für den klinischen Alltag nicht relevant zu sein. Es ist daher notwendig, dass sich der Behandler über die Vor- und Nachteile der Exzaktionstherapie im Klaren ist. Zudem muss jeder Zahn für sich betrachtet werden, um dann jeweils die für den Patienten beste Therapie wählen zu können [1].

2.9.1 Therapie bei angelegtem Nachfolger

Bevor auf aktuelle Therapieempfehlungen eingegangen wird, werden zunächst die möglichen Folgen einer über lange Zeit unbehandelten Infraokklusion aufgezeigt. Diese lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Erhöhte Schwierigkeit der Exzaktion [6], resp. Notwendigkeit einer Operation
- Progressive Infraokklusion [11]
- Obstruktion des Durchbruchs des permanenten Zahns [12]
- Entwicklung einer Malokklusion [6]
- Schädigung der Nachbarzähne durch Karies und Parodontalerkrankungen [6]
- Verkürzung der Stützzone [11]
- Mittellinienverschiebung [90]

Eine Vielzahl überwiegend älterer Publikationen empfiehlt daher eine frühzeitige Exzaktion des Zahns [6, 33]. Wird eine Exzaktionstherapie gewählt, muss sich der Behandler aufgrund einer möglichen Ankylose auf eine komplizierte Exzaktion einstellen. Dabei verbleiben häufig Wurzelfragmente im Alveolarknochen [25].

Kurol setzte sich 1985 explizit mit den Effekten der Exzaktionstherapie im Vergleich zur Non-Exzaktionstherapie in einer longitudinalen Studie auseinander. Bei 15 Patienten mit einem mittleren Alter von zehn Jahren,

die bilateral infraokkludierte Zähne aufwiesen, extrahierte er jeweils unilateral und verglich die Folgen der Extraktionstherapie mit der Non-Extraktionstherapie über einen Zeitraum von durchschnittlich 2,6 Jahren. Dazu fertigte er alle sechs Monate Röntgenbilder und Situationsmodelle an. Es zeigten 10 der 23 Molaren der Non-Extraktionsseite eine progressive Infraokklusion. Entgegen den Befürchtungen von Autoren früherer Publikationen hatte die Therapiewahl keinen Einfluss auf den Exfoliationszeitpunkt, da 70% der Molaren pünktlich, 25% innerhalb von 6 Monaten und mit Ausnahme von 3% alle spätestens 12 Monate nach der zu erwartenden Exfoliation ausgefallen waren. Diese Untersuchung zeigt, dass die Exfoliation kaum durch die Infraokklusion beeinflusst wird, da nur 3,3% dieser Zähne extrahiert werden mussten, während auf der Extraktionsseite teilweise Probleme im Sinne eines Platzmangels beobachtet wurden. *Kuroi* plädierte damit als einer der Ersten aufgrund dieser Studie zu einem eher konservativen Vorgehen bei der Therapie der Infraokklusion. [25, 91]

Zudem ist denkbar, dass durch das invasivere Vorgehen in der Vergangenheit Milchmolaren extrahiert wurden, die womöglich ordnungsgemäß ausgefallen wären, weil die Häufigkeit der spontanen Exfoliation unterschätzt wurde. [11]

Tien studierte 2013 umfassend bestehende Therapieempfehlungen in der Literatur und kam zusammenfassend in Übereinstimmung mit den oben beschriebenen Beobachtungen *Kurois* zu der Erkenntnis, dass milde bis moderate Fälle der Infraokklusion 6-12 Monate nach der erwarteten Exfoliation beobachtet werden sollen, da diese häufig spontan ausfallen. Diese Empfehlung gilt unabhängig davon, welcher Milchmolar betroffen ist und in welchem Kiefer er sich befindet. Die befürchteten Erscheinungen wie die Einengung der Stützzone, ein vertikaler alveolärer Knochendefekt oder die Elongation des Antagonisten waren nach der Eruption des Nachfolgers klinisch nicht relevant. [1]

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Indikationen für die Extraktion dieser Zähne in den letzten Jahrzehnten immer strenger gestellt wurden, da mehrere Studien die befürchteten Komplikationen eines Belassens widerlegen konnten. Vielmehr wird ein Monitoring des Zahns über einen Zeitraum von 6 Monaten, falls notwendig in Kombination mit einem okklusalen Aufbau empfohlen. Folgende klinische Befunde sprechen jedoch auch nach heutigem Stand noch für die Extraktion des infraokkludierten Zahns:

- Starke Infraokklusion mit deutlicher Kippung der Nachbarzähne [1] (Platzmanagement nach der Extraktion erforderlich)
- Deutlich abweichende Durchbruchrichtung des Nachfolgers [1]
- Verspätete Exfoliation (mehr als 6 Monate) [77]
- Zystenbildung

2.9.2 Therapie bei Aplasie des Nachfolgers

Für den Fall einer Aplasie des Nachfolgers hängt die Wahl der Therapie maßgeblich vom Alter des Patienten, Zustand des Zahns, Ausmaß der Infraokklusion, Platzbedarf und von der Wurzelresorption ab [22, 92-94]. Während manche Autoren für eine frühzeitige Extraktion und einen konsekutiven Lückenschluss plädieren, da sie freiliegende Milchzahnwurzeln als Folge von Remodellingprozessen und damit die begrenzte Lebensdauer des Milchzahns befürchten [95], wird in vielen häufig neueren Studien die positive Prognose von persistenten Milchzähnen mit milder oder moderater Infraokklusion herausgestellt.

Milchzähne haben in Studien eine Lebensdauer bis lange in das Erwachsenenalter bewiesen [96, 97]. Ein Grund dafür ist einerseits, dass nach Abschluss des Wachstums keine deutliche Progression der Infraokklusion zu erwarten ist [95] und andererseits Milchmolaren neben den Eckzähnen des Milchgebisses eine vergleichsweise geringe Resorption aufweisen, wenn kein Nachfolger vorhanden ist [71]. Dies deckt sich mit der Ansicht anderer Autoren, welche die Wurzelresorption nicht als bestimmenden Faktor für die Langlebigkeit des Milchzahns sehen [98]. Trotzdem ist bei Aplasie des Nachfolgers eine frühzeitige Behandlung im Sinne eines Aufbaus durchzuführen, um eine Kippung der Nachbarzähne sowie eine Elongation der Antagonisten zu verhindern [99].

Zusammenfassend kann man einen persistenten Milchzahn als eine semipermanente Lösung ansehen, der zwar eine gute Prognose hat, aber langfristig höchstwahrscheinlich implantologisch oder prothetisch ersetzt werden muss [100].

3 Fragestellung

Die vorliegende Untersuchung beschäftigt sich mit der Infraokklusion von Milchmolaren und deren Korrelation mit Befunden, die aus der Analyse von Röntgenbildern und Modellen gewonnen werden.

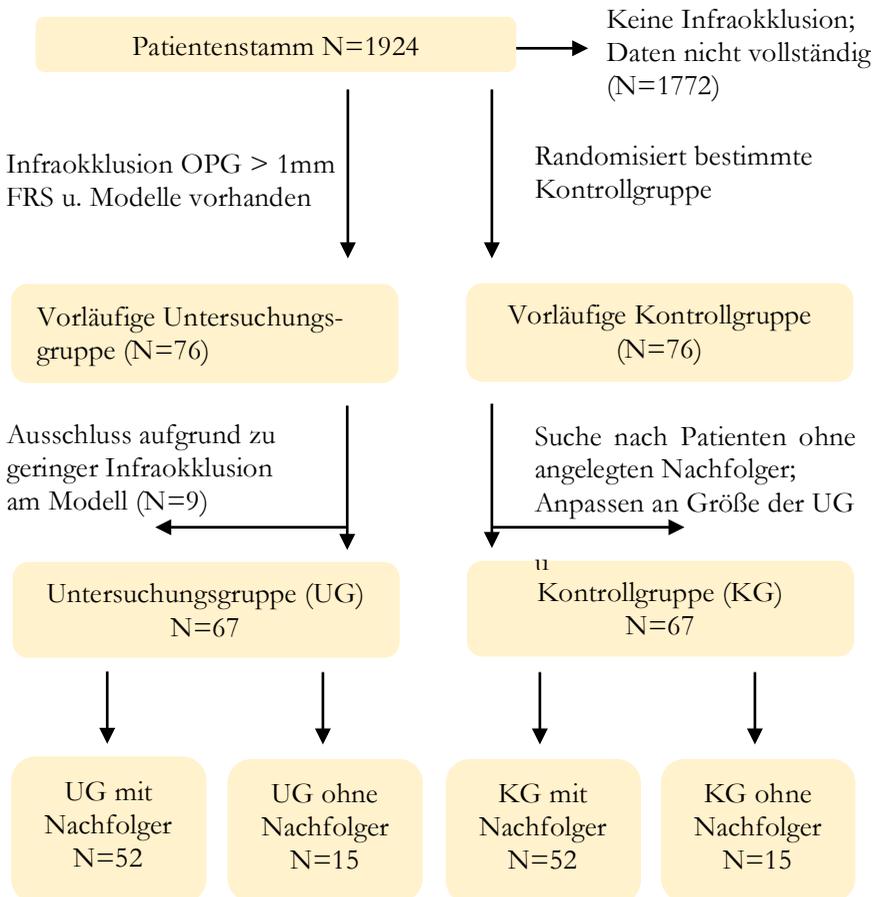
Im Laufe der Arbeit werden vor allem folgende Fragen beleuchtet:

1. Welche dentalen und skelettalen Befunde treten bei Infraokklusion auf?
2. Existiert ein Unterschied in der Ätiologie der Infraokklusion bezüglich der Anlage des Nachfolgers?
3. Lassen sich Erkenntnisse für die Prävention resp. Frühbehandlung solcher Fälle gewinnen?
4. Wie sieht der Risikopatient der Infraokklusion aus?

4 Material und Methode

4.1 Patienten

Die vorliegende, rein retrospektive Untersuchung basiert auf den Daten aus Orthopantomogrammen, Fernröntgenaufnahmen und Gipsmodellen von 134 ausgewählten Patienten.



Vor Beginn der Datenerhebung wurde eine Anzahl von ca. 50 Patienten mit in Infraokklusion stehenden Milchmolaren angestrebt, da in dieser Studie eine sehr große Zahl an Parametern pro Patient einfließen würde und das primäre Ziel war, mögliche Tendenzen und Zusammenhänge zur frühzeitigen Identifizierung von Risikopatienten zu ergründen. Es wurden nur bereits bestehende Röntgenbilder und Gipsmodelle von Patienten, die sich in einer laufenden oder abgeschlossenen kieferorthopädischen Behandlung befinden, untersucht. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden keine klinischen Befunde erhoben und auch keine zusätzlichen diagnostischen Maßnahmen am Patienten vorgenommen. Eine entsprechende Genehmigung der Ethikkommission liegt vor (646-15 UE).

Untersuchungsgruppe (UG)

Um eine entsprechende Untersuchungsgruppe zu generieren wurden in einem ersten Schritt die vorhandenen Orthopantomogramme (OPG) nach Patienten mit infraokkludierten Milchmolaren der Mandibula durchsucht. Als Kriterium diente hierbei eine vertikale Stufe im Bereich der Milchmolaren des Unterkiefers von mindestens einem Millimeter.



Abbildung 2: OPG mit deutlicher Infraokklusion des Zahns 84

Im Anschluss daran wurde bei jedem Patienten nach Fernröntgen-seitenanalysen (FRS) und Modellen gesucht, deren Alter dem des jeweiligen OPGs mit einer maximalen Abweichung von einem halben Jahr in beide Richtungen entsprach. In den meisten Fällen wurde das FRS zeitgleich mit dem OPG und der Modellherstellung im Rahmen der Erstuntersuchung durchgeführt. Alle Patienten, bei denen diese Bedingungen zutrafen, bildeten die vorläufige Untersuchungsgruppe (N=76).

Für jeden Patienten wurde im nächsten Schritt die entsprechende Modellanalyse durchgeführt. Nach deren Abschluss wurden alle Fälle, bei denen durch die Modellanalyse die im OPG erfasste Infraokklusion von mindestens 1,0 mm nicht bestätigt werden konnte, ausgeschlossen. Die dadurch entstandene definitive Untersuchungsgruppe umfasst 67 Patienten und teilt sich wiederum bezüglich der Anlage des nachfolgenden Zahns in zwei Untergruppen auf.

Kontrollgruppe (KG)

Die Kontrollgruppe wurde randomisiert bestimmt, indem nach jedem Fall mit Infraokklusion der nachfolgende Patient aus der Patientenkartei ohne diesen Befund der vorläufigen Kontrollgruppe (N=76) zugeordnet wurde. Um in den Untergruppen der Kontrollgruppe eine jeweils identische Fallzahl wie in der Untersuchungsgruppe zu erhalten, musste anschließend gezielt nach Patienten mit Aplasie des Nachfolgers ohne Infraokklusion gesucht werden, um ebenfalls einen Umfang von 15 Patienten zu erreichen. In die vorläufige Kontrollgruppe wurden analog der Untersuchungsgruppe nur Patienten mit entsprechenden FRS und Modellen aufgenommen. Die Patientenzahl der Kontrollgruppe wurde anschließend derjenigen der Untersuchungsgruppe angeglichen.

4.2 Tabellarische Erfassung der Daten

Sämtliche Daten wurden anonymisiert festgehalten, indem den Patienten zur Verschlüsselung zufällige Nummern zugeteilt wurden. Alle erhobenen Daten wurden in einer einzigen Tabelle gesammelt, um dann statistische Auswertungen durchführen zu können. Den einzelnen Spalten wurde dabei ein bestimmter Parameter, wie z.B. der ANB-Winkel oder das Geschlecht zugewiesen. Jede Zeile entsprach einem betroffenen Zahn. Das bedeutet,

dass ein Patient maximal vier Zeilen benötigte, für den Fall, dass alle Milchmolaren der Mandibula betroffen waren. Um bei der statistischen Analyse jeden Patienten nur einmal zu berücksichtigen, wurde für jeden Patienten nur der Zahn und damit die Zeile mit der am stärksten ausgeprägten Infraokklusion in die Auswertung aufgenommen.

4.3 Erläuterung der untersuchten Parameter

4.3.1 Allgemeine Patientendaten

Im Zuge der Anonymisierung wurden die Patienten mit fortlaufenden Nummern versehen. Sämtliche Parameter mussten als Zahlenwerte codiert werden, um eine statistische Auswertung zu ermöglichen. Im Anhang findet sich eine Übersicht darüber, wie die Parameter Alter, Geschlecht und die Gruppenzugehörigkeit aufgenommen wurden.

4.3.2 Orthopantomogramm

Die Tabelle 37 im Anhang fasst die aus den Panoramaraöntenaufnahmen gewonnenen Parameter und deren Codierung zusammen. Im Folgenden wird näher auf die Methodik der Erhebung einzelner Parameter eingegangen.

Zahnachse des Nachfolgers

Zur Beurteilung der Ausrichtung des Nachfolgers wurde der distale Winkel zwischen diesem und der knöchernen Begrenzung der Mandibula apikal des Zahnes gemessen. Dabei diente die Pulpa beim Einzeichnen der Zahnachse als Orientierungshilfe [101, 102]. Um eine genaue und reproduzierbare Winkelmessung zu ermöglichen, wurde das PC-Programm ImageJ in der Version 1.46 verwendet, das den Winkel zwischen zwei eingezeichneten Linien automatisch messen kann.



Abbildung 3: Auswertung des OPG mit ImageJ (106,0° und 85,3°)

Lamina Dura

Das Erkennen der Lamina dura am Orthopantomogramm gestaltet sich äußerst schwierig. Trotzdem wurden die Fälle, in denen die Qualität des OPGs eine Beurteilung zugelassen hat, auf die Durchgängigkeit derselben untersucht. Meistens handelt es sich bei der Ankylose um kleine punktuelle Unterbrechungen der Lamina dura, die sich radiologisch darstellen können [34, 103, 104].

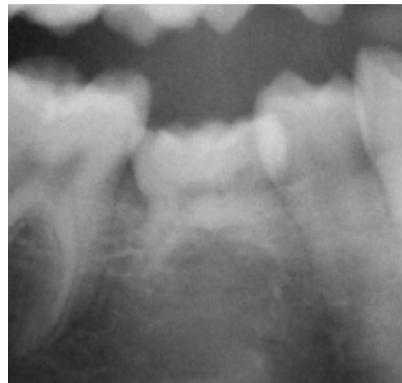


Abbildung 4 und 5: Vergleich zwischen physiologischer Lamina dura und Ankylose mit Infraokklusion

Lokalisation Wurzelresorption

Die Lokalisation der Wurzelresorption wurde als die Seite der maximalen Resorption und damit der kürzeren Wurzel definiert.

Ausmaß Wurzelresorption

Die Schwierigkeit bei der Bestimmung des Ausmaßes der Wurzelresorption lag darin, dass die ursprüngliche Länge der Milchzahnwurzeln nicht bekannt war und damit die Resorption anhand von Erfahrungswerten abgeschätzt werden musste. Deshalb wurde nur danach unterschieden, ob bereits mehr oder weniger als die Hälfte der Wurzellänge resorbiert wurde.

Entzündung Milchzahn

Eine Entzündung des Milchzahns lässt sich meist röntgenologisch durch eine erhöhte interradikuläre Radioopazität resp. durch Osteolyseprozesse diagnostizieren.

Infraokklusion Oberkiefer

Die Maxilla wurde bezüglich infraokkludierter Milchmolaren anhand einer vertikalen Stufe in derselben Art und Weise beurteilt wie die Mandibula.

Zahnalter nach Gat

Gat unterteilte das Zahnalter in sechs verschiedene Stufen, die in dieser Form auch in die Tabelle übertragen wurden [105]. Damit wurden die bleibenden Nachfolger, wenn vorhanden, beurteilt.

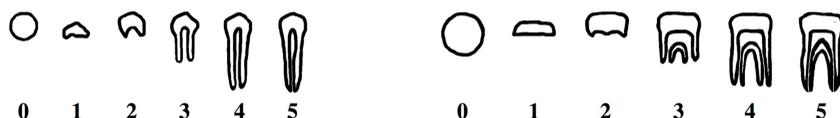


Abbildung 6: Stufen des Zahnalters nach Gat

- 0 = Keine Zeichen d. Entwicklung bzw. Follikel ohne Verkalkungszeichen
- 1 = Verkalkungszeichen der Krone bis zur Entwicklung der Kronenhälfte.
- 2 = Kronenhälfte bis zur voll ausgebildeten Krone. Keine Wurzelbildung.
- 3 = Wurzelbildung bis zur Hälfte ihrer Länge.
- 4 = Wurzelbildung von der Hälfte bis zur ganzen Länge, offener Apex.
- 5 = Voll ausgebildeter Zahn, Wurzelspitze geschlossen.

Eckzahnverlagerung

Dausch-Neumann beschäftigte sich mit der Änderung der Zahnachse des Eckzahns während seiner Entwicklung. In ihrer Publikation verbindet sie die distobukkalen Höckerspitzen der oberen Molaren miteinander, zeichnet die Achse des Eckzahns ein und misst den proximalen Winkel zwischen Eckzahnachse und Molarenverbindungsline [106]. Diese Messmethode wurde in der vorliegenden Untersuchung ebenfalls verwendet. Dabei erfolgte die Winkelmessung analog der Zahnachsenmessung der Prämolaren mit dem Programm Image]. Alle Fälle, in denen der Winkel kleiner als 70° war, wurden als potentielle Eckzahnverlagerung definiert und entsprechend in die Tabelle eingetragen.

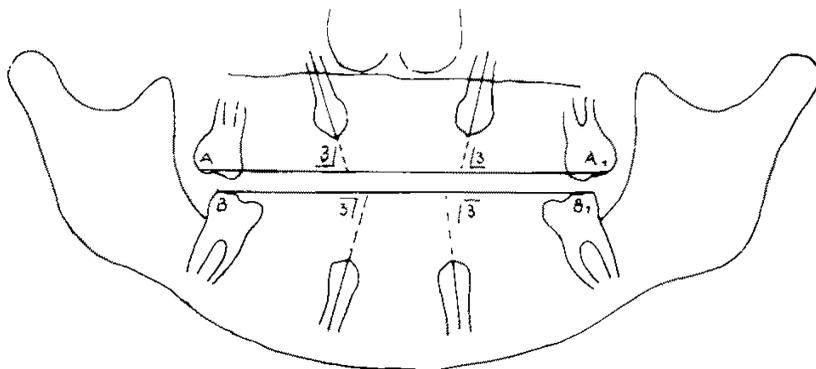


Abbildung 7: Winkel des Eckzahns nach Dausch-Neumann [106]

Karies

Da aufgrund der niedrigen Sensitivität Orthopantomogramme zur Kariesdiagnostik ungeeignet sind, konnten nur große kariöse Läsionen im Sinne von Radiotransluzenzen erkannt und in die Auswertung mit aufgenommen werden.

Füllung

Füllungen wurden anhand von approximalen resp. okklusalen Radioopazitäten diagnostiziert.

Vitalamputation

Eine mögliche Vitalamputation des Milchzahns stellt sich im Röntgenbild anhand einer radioopaken Pulpakammer dar.

4.3.3 Fernröntgenseitenaufnahme

Die Fernröntgenseitenaufnahmen lagen bereits in einer ausgewerteten Form vor. Alle Auswertungen wurden von einer erfahrenen Kieferorthopädin durchgeführt. Folgende Punkte waren dabei für die erhobenen Parameter relevant (*Hasund und Segner* 1998 [107]):

S = Sella

Zentrum der knöchernen Krypte der Sella turcica

N = Nasion

anteriorster Punkt der Sutura naso-frontalis

Ar = Artikulare

Schnittpunkt des Unterrandes der Schädelbasis mit der dorsalen Kontur des Collum mandibulae

Gn = Gnathion

tiefster Punkt der Unterkiefersymphyse

tgo = Gonion-Tangentenpunkt

konstruierter Schnittpunkt der Mandibular- mit der Ramuslinie

Spa = Spina nasalis anterior

vorderster Punkt der knöchernen Spina nasalis

Pm = Pterygomaxillare

Schnittpunkt der dorsalen Kontur des Corpus maxillae mit der Kontur des harten bzw. weichen Gaumens

A = A-Punkt

tiefster Punkt der vorderen Kontur des oberen Alveolarfortsatzes

B = B-Punkt

tiefster Punkt der vorderen Kontur des unteren Alveolarfortsatzes

Iis = Inzision inferius

inzisaler Punkt des vordersten Schneidezahns im Unterkiefer

Iia = Apex des unteren Schneidezahnes

apikaler Punkt der Wurzel des unteren vordersten Schneidezahnes

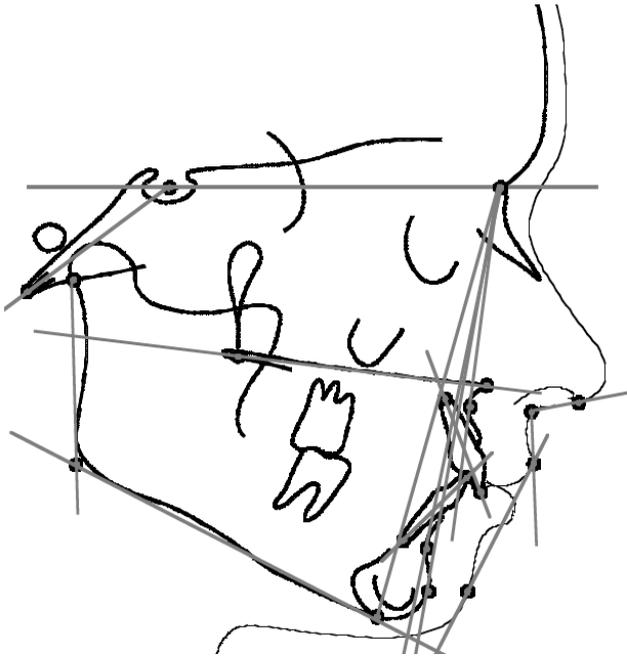


Abbildung 8: Übersicht über die relevanten FRS-Punkte [107]

Durch die Verbindung verschiedener Referenzpunkte können folgende Referenzlinien beschrieben werden:

ML = Mandibularlinie

Die Linie durch die Punkte Gnathion und Gonion wird als Mandibularlinie bezeichnet und als Referenzlinie für den Corpus mandibulae verwendet.

NSL = Nasion-Sella-Linie

Die Linie durch die Punkte Nasion und Sella dient als Hauptreferenzebene, da der gesamte Gesichtsschädel in Relation zur anterioren Schädelgrube vermessen wird.

NL = Nasallinie

Die Verbindungslinie der Punkte Spa und Pterygomaxillare wird als Bezugsebene für den Nasenboden der Oberkieferbasis verwendet.

NA-Linie

Die Verbindungslinie von Nasion und A-Punkt beschreibt die sagittale Position des Oberkiefers.

NB-Linie

Die Verbindungslinie von Nasion und B-Punkt dient zur Beschreibung der sagittalen Position des Kinns und kann als Bezugslinie für die Beurteilung der Position der Unterkieferfrontzähne herangezogen werden.

Unterkiefer-Schneidezahnachse

Als Längsachse des Unterkiefer-Schneidezahns wird die Verbindungslinie zwischen Inzisal- und Apikalpunkt desselben definiert.

Ar-tgo = Ramus-Linie

Die Ramuslinie stellt die Verbindungslinie des Punktes Artikulare und des Gonion-Tangentenpunktes dar.

Gn-tgo = Corpus-Linie

Die Verbindungslinie des Punktes Gnathion und des Gonion-Tangentenpunktes wird als Corpus-Linie bezeichnet.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden folgende Winkel, Verhältnisse und Strecken erhoben und ausgewertet:

ML-NSL

Der Winkel zwischen der Mandibularlinie und der Nasion-Sella-Linie drückt die Neigung der Mandibula in Bezug auf die anteriore Schädelbasis aus.

ML-NL

Der Winkel beschreibt den Neigungswinkel des Unterkiefers bezüglich der Oberkieferbasis und damit die Lage der Kieferbasen zueinander.

ANB

Der von den Linien NA und NB gebildete Winkel charakterisiert die sagittale Position der Maxilla in Relation zur Mandibula.

Gn-tgo-Ar

Der Kieferwinkel beschreibt die Relation des Ramus zum Corpus mandibulae und damit die Form des Unterkiefers.

Ind. ANB [108]

Der individualisierte ANB berechnet sich mittels der Formel nach *Panagiotidis und Witt* und trifft zusammen mit dem ANB-Winkel eine Aussage über die sagittale Lage des Unterkiefers:

$$\text{ind. ANB} = -35,16 + 0,4 (\text{SNA}) + 0,2 (\text{ML-NSL})$$

1-NB° / 1-NB_{mm} / 1-ML [108]

Die Stellung der unteren Inzisivi in anterior-posteriorer Richtung wird sowohl mit dem Winkel der Zahnachse zu NB bzw. zu ML, als auch durch den Abstand der Inzision inferior zu NB beurteilt.

Ratio [108]

Die Ratio besteht aus dem Quotienten der hinteren (S-tgo_{mm}) und vorderen (N-Gn_{mm}) Gesichtshöhe. Aus diesem Verhältnis lassen sich Rückschlüsse auf das Wachstumsmuster ziehen.

4.3.4 Modellanalyse

Bezüglich der Modellanalyse gibt Tabelle 38 eine Übersicht über die erhobenen Parameter und deren Codierung. Auf die Erhebung ausgewählter Parameter wird im Folgenden detaillierter eingegangen.

Ausmaß der Infraokklusion

Um eine Aussage darüber treffen zu können, wie stark ein Zahn in Infraokklusion steht, musste die vertikale Diskrepanz in Millimetern erfasst werden. Dazu wurde der Abstand vom tiefsten Punkt der mesialen Randleiste des ersten bleibenden Molars zum tiefsten Punkt der Randleiste des zweiten Milchmolaren gemessen. Als Hilfsmittel diente dabei ein

Stahllineal mit einer 0,5mm-Skalierung. Bei infraokkludierten ersten Milchmodaren wurde nach demselben Schema die vertikale Diskrepanz zum zweiten Milchmodar gemessen. Als Kriterium für die Aufnahme in die Auswertung wurde eine Abweichung von mindestens 1,0 mm festgelegt, wie es auch in vorangegangenen Studien gehandhabt wurde [2, 5].

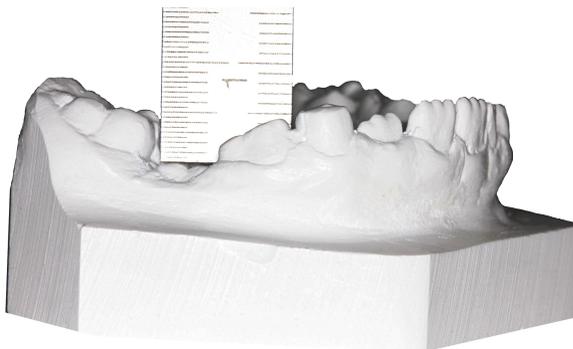


Abbildung 9: Messung Infraokklusion

Kreuzbiss

Der Parameter Kreuzbiss bezieht sich auf die Milchzähne und permanente Zähne des Seitenzahnbereichs und wurde nur als solcher deklariert, wenn das Ausmaß über den Kopfbiss hinausgeht.

Okklusionskontakte

Bei der Feststellung der Okklusionskontakte wurden die Modelle in ihre maximale Interkuspidation gebracht und diese durch Sichtkontrolle überprüft. Bei weniger eindeutigen Situationen wurde zusätzlich Okklusionsfolie verwendet um die Kontaktpunkte sichtbar zu machen.

Kippung der Nachbarzähne

Bezüglich der Kippung der Nachbarzähne in Richtung des untersuchten Zahns wurden nur die Fälle als solche deklariert, bei denen es zu einer deutlichen Kippung und damit einhergehenden Lückeneinengung gekommen ist. Dazu wurden anhand der Modelle die mesiodistale Ausdehnung des Milchzahns und der Abstand zwischen den beiden Nachbarzähnen gemessen und die Werte miteinander verglichen. War die mesiodistale Länge des Milchzahns größer als die zur Verfügung stehende Lücke, wurde dies als Lückeneinengung deklariert.

4.4 Statistische Auswertung

Die statistische Analyse der Daten erfolgte mit dem Programm SPSS 23 (SPSS Inc.; Chicago, IL, USA).

Mittelwert (MW)

Als Mittelwert wird in dieser Arbeit das arithmetische Mittel verwendet, das sich aus dem Quotienten der Summe der jeweiligen Werte und deren Anzahl berechnet.

Standardabweichung (SD)

Die Standardabweichung trifft eine Aussage über die Streuung der Werte um das arithmetische Mittel und berechnet sich aus der Quadratwurzel der Varianz.

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest (K-S)

Der Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest prüft Werte auf Normalverteilung. Ist $p > 0,05$, wird eine Normalverteilung angenommen.

Levene-Test

Mit dem Levene-Test wird die Homogenität der Varianzen überprüft, welche eine Voraussetzung zur Durchführung der ANOVA darstellt ($p > 0,1$).

Durchgeführte statistische Tests

In Abhängigkeit davon, ob eine Normalverteilung vorherrscht oder nicht, wurden die entsprechenden parametrischen bzw. nichtparametrischen Tests durchgeführt. Dabei unterscheidet sich das Vorgehen jeweils danach, wie viele Stichproben miteinander verglichen werden. Eine Übersicht über die durchgeführten Tests gibt die folgende Tabelle.

	Parametrisch	Nichtparametrisch
2 Stichproben	t-Test	Mann-Whitney-U Test
>2 Stichproben	ANOVA	Kruskal-Wallis-Test
Post Hoc	Tukey	Games Howell

Tabelle 1: Übersicht über die statistischen Tests

Chi-Quadrat-Test

Dort, wo die Codierung mit 0 und 1 im Sinne einer Ja/Nein-Entscheidung erfolgte, wurde der Chi-Quadrat-Test durchgeführt.

Spearman-Rangkorrelation

Mit dem Spearman-Korrelationskoeffizient (ρ) lässt sich ein monotoner Zusammenhang zwischen zwei nicht parametrisch verteilten Variablen beschreiben:

- $\rho < 0,4$ schwache Korrelation
- $\rho < 0,7$ mittelstarke Korrelation

Signifikanz

Es wurden folgende in der Medizin üblichen Irrtumswahrscheinlichkeiten verwendet:

- $p < 0,05$ signifikant
- $p < 0,01$ hoch signifikant

5 Ergebnisse

5.1 Prävalenz; Alters- und Geschlechtsverteilung

Infraokkludierte Milchmolaren konnten mit einer Prävalenz von 4,0% innerhalb des Patientenstamms beobachtet werden. Tabelle 2 gibt Aufschluss über das Alter der Probanden der Untersuchungs- sowie der Kontrollgruppen. Im Mittel betrug das Alter der Untersuchungsgruppe mit angelegtem Nachfolger (UG m. N.) 10,37 Jahre und ohne angelegten Nachfolger (UG o. N.) 11,92 Jahre. Dem gegenüber standen die Kontrollgruppen mit 10,23 Jahren bei angelegtem Nachfolger (KG m. N.) respektive 11,55 Jahren ohne Nachfolger (KG o. N.). Der Kolmogorov-Smirnoff-Anpassungstest ergab eine normale Verteilung des Alters ($p=0,200$).

Gruppe	UG m. N.	UG o. N.	KG m. N.	KG o. N.
Parameter	Alter			
K-S	normale Verteilung ($p=0,200$)			
MW	UG Gesamt: 10,72		KG Gesamt: 10,53	
MW	10,37	11,92	10,23	11,55
SD	1,63	1,57	1,15	1,16
Min	7,7	9,4	8,2	9,6
Max	14,2	15,2	12,7	13,4

Tabelle 2: Altersverteilung (in Jahren)

Anmerkungen zu den Tabellen:

UG m. N.= Untersuchungsgruppe mit angelegtem Nachfolger

UG o. N.= Untersuchungsgruppe ohne angelegten Nachfolger

KG m. N.= Kontrollgruppe mit angelegtem Nachfolger

KG o. N.= Kontrollgruppe ohne angelegten Nachfolger

Hinsichtlich der Geschlechtsverteilung bestand die UG m. N. aus 20 männlichen und 32 weiblichen, die UG o. N. aus 7 männlichen und 8 weiblichen Probanden. Die KG m. N. setzte sich aus jeweils 26 Probanden

beider Geschlechter zusammen, während die KG o. N. 5 männliche und 10 weibliche Probanden aufwies. Damit waren besonders in der UG m. N. und der KG o. N. die weiblichen Probanden in der Überzahl.

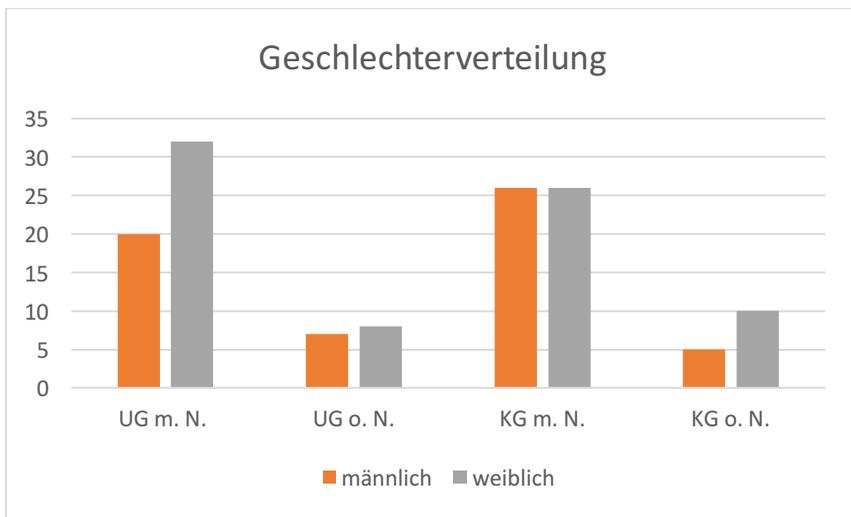


Diagramm 1: Geschlechterverteilung

Gruppe	UG m. N.	UG o. N.	KG m. N.	KG o. N.
Parameter	Geschlecht			
männlich	20	7	26	5
weiblich	32	8	26	10
Gesamt	52	15	52	15

Tabelle 3: Geschlechterverteilung (Anzahl der Probanden)

5.2 Orthopantomogramm

5.2.1 Betroffene Zähne

Die in Infraokklusion stehenden Zähne im Unterkiefer setzten sich aus 25 ersten und 42 zweiten Milchmolaren zusammen, was anteilmäßig 39% resp. 61% entsprach. Diese Zähne verteilten sich ungleich auf die beiden Untersuchungsgruppen. Während die UG m. N. zu jeweils nahezu gleichen Teilen aus ersten und zweiten Milchmolaren bestand, enthielt die UG o. N. ausschließlich zweite Milchmolaren.

Gruppe	UG m. N.	UG o. N.	Gesamt
1. Milchmolar	25	0	25
2. Milchmolar	27	15	42
Gesamt	52	15	67

Tabelle 4: Untersuchte Zähne (Anzahl)

5.2.2 Betroffene Quadranten im Unterkiefer

Hinsichtlich der Frage, ob eine oder beide Seiten im Unterkiefer betroffen waren, zeigt Tabelle 5 für die UG m. N. mit 0,63 einen etwas höheren Mittelwert als die UG o. N. mit 0,47. Dies war statistisch nicht signifikant ($p=0,243$). Die deskriptive Auswertung in Tabelle 6 veranschaulicht die relativ gleichmäßige Verteilung infraokkludierter Zähne im 3. und 4. Quadranten.

Gruppe	UG m. N.	UG o. N.
Parameter	betroffene Seiten im UK	
MW	0,63	0,47
SD	0,49	0,52
Chi-Quadrat	$p=0,243$	

Tabelle 5: betroffene Seiten im Unterkiefer (0=eine Seite; 1= beidseitig)

Gruppe	UG m. N.	UG o. N.	KG m. N.	KG o. N.
Parameter	Quadrant			
3. Quadrant	28	7	26	7
4. Quadrant	24	8	26	8
Gesamt	52	15	52	15

Tabelle 6: Verteilung der infraokkludierten Zähne auf die Quadranten

5.2.3 Infraokklusion im Oberkiefer

Anhand der OPGs wurde auch der Oberkiefer auf in Infraokklusion stehende Milchmolaren untersucht. Den Mittelwerten der Untersuchungsgruppen mit jeweils 0,33 standen deutlich niedrigere Mittelwerte der Kontrollgruppen gegenüber. Diese betragen 0,08 (KG m. N.) resp. 0,00 (KG o. N.). Die entsprechenden Standardabweichungen können Tabelle 7 entnommen werden. Der K-W-Test war hoch signifikant ($p=0,001$). Der Post-Hoc Test nach Games Howell zeigte signifikante Unterschiede zwischen der UG m. N. und der KG m. N. ($p=0,007$), der UG m. N. und der KG o. N. ($p=0,000$), sowie der UG o. N. und der KG o. N. ($p=0,08$).

Gruppe	UG m. N.	UG o. N.	KG m. N.	KG o. N.
Parameter	Infraokklusion im Oberkiefer			
MW	0,33	0,33	0,08	0,00
SD	0,47	0,49	0,27	0,00
KW	$p=0,001$			

Tabelle 7: Infraokklusion im Oberkiefer

0= keine Infraokklusion

1= Infraokklusion

Zusätzlich wurde auch die Anzahl der betroffenen Milchmolaren im Oberkiefer und deren Verteilung in den verschiedenen Untergruppen deskriptiv ausgewertet. Auch hier zeigte sich, dass die Kontrollgruppen

nahezu keine (m. N. 92,3%; o. N. 100,0%) Infraokklusion im Oberkiefer aufwiesen, während dies bei den Untersuchungsgruppen in wesentlich geringerer Häufigkeit der Fall war (UG m. N. 67,3%; UG o. N. 66,6%). Von Infraokklusion betroffen waren mit einer ähnlichen Verteilung ein resp. zwei Zähne im Oberkiefer. Drei betroffene Zähne im Oberkiefer wurden nur bei zwei Patienten der UG m. N. beobachtet.

Gruppe	UG m. N.	UG o. N.	KG m. N.	KG o. N.
keine Infraokkl.	67,3%	66,6%	92,3%	100,0%
1 Zahn	15,4%	20,0%	3,8%	0,0%
2 Zähne	13,5%	13,3%	3,8%	0,0%
3 Zähne	3,8%	0,0%	0,0%	0,0%
4 Zähne	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Gesamt	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabelle 8: Verteilung der betroffenen Zähne im Oberkiefer

5.2.4 Hypodontie

Tabelle 9 fasst zusammen, inwiefern Nichtanlagen (NA) bei der jeweiligen Gruppe auftraten. Der häufigste nicht angelegte Zahn war der zweite Prämolare im Unterkiefer. Des Weiteren war eine erhöhte Neigung zu anderen Nichtanlagen bei der UG o. N. (33,3%) und der KG o. N. (26,7%) festzustellen.

Gruppe	UG m. N.	UG o. N.	KG m. N.	KG o. N.
keine NA	86,5%	0,0%	96,2%	0,0%
ausschließlich OK 2er	0,0%	0,0%	1,9%	0,0%
ausschließlich UK 5er	7,7%	66,6%	0,0%	73,3%
andere NA	5,8%	33,3%	1,9%	26,7%
Gesamt	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabelle 9: Prozentuale Verteilung Nichtanlagen

5.2.5 Hyperdontie

In der gegenständlichen Untersuchungs- sowie Kontrollgruppe wurde kein Fall mit überzähligen Zähnen beobachtet.

5.2.6 Eckzahnverlagerung

Potentiell verlagerte Eckzähne waren ausschließlich bei der Untersuchungsgruppe mit angelegtem Nachfolger mit einer Häufigkeit von 19% festzustellen. Der K-W-Test ($p=0,001$) und der Post-Hoc Test nach Games Howell ($p=0,005$) fiel hoch signifikant aus.

Gruppe	UG m. N.	UG o. N.	KG m. N.	KG o. N.
Parameter	Eckzahnverlagerung im Oberkiefer			
MW	0,19	0,00	0,00	0,00
SD	0,40	0,00	0,00	0,00
KW	$p=0,001$			

Tabelle 10: Eckzahnverlagerung im Oberkiefer

0= keine Eckzahnverlagerung

1= Eckzahnverlagerung

5.2.7 Zahnachse des Nachfolgers

Die Zahnachsen der Nachfolger unterschieden sich zwischen den Untergruppen durch ihren Mittelwert. Dieser lag bei der Untersuchungsgruppe mit 79,49 Grad (SD=11,40) deutlich niedriger als bei der entsprechenden Kontrollgruppe mit 84,53 Grad (SD=10,95). Der Mann-Whitney-U-Test war signifikant ($p=0,011$).

Gruppe	UG m. N.	KG m. N.
Parameter	Zahnachse	
K-S	keine Normalverteilung (p=0,013)	
MW	79,49	84,53
SD	11,40	10,95
Levene	0,411	
MWU	0,011	

Tabelle 11: Zahnachse des Nachfolgers

In der folgenden Tabelle wurden nur Probanden berücksichtigt, deren Zahnachse des Nachfolgers einen Winkel $<75^\circ$ besitzt. Damit wurden nur Fälle mit deutlicher Distalkippung erfasst. Die Fälle verteilten sich zu 72,0% auf die Untersuchungsgruppe und zu 28,0% auf die Kontrollgruppe.

Gruppe	UG m. N.	KG m. N.	Gesamt
Anzahl	18	7	25
Prozent	72,0%	28,0%	100%

Tabelle 12: Verteilung der Fälle, mit Zahnachse des Nachfolgers $<75^\circ$

5.2.8 Lokalisation der Wurzelresorption

Die anhand des OPGs erhobenen Daten bezüglich der Lokalisation der Wurzelresorption zeigten eine überwiegend zentrale Resorption des Milchzahns. In unterschiedlichem Ausmaß gab es Abweichungen im Sinne einer tendenziell mesialen oder distalen Resorption, die in den einzelnen Gruppen unterschiedlich stark ausgeprägt war. Die UG m. N. wies in 25% eine mesiale und in 5,8% der Fälle eine distale Resorption auf. Bei der KG m. N. waren mit 19,2% und 7,7% ähnliche Werte festzustellen, während in der KG o. N. keinerlei mesiale, in 13,3% der Fälle aber eine distale Wurzelresorption vorzufinden war.

Gruppe	UG m. N.	UG o. N.	KG m. N.	KG o. N.
Parameter	Lokalisation Wurzelresorption			
mesial	25,0%	0,0%	19,2%	0,0%
zentral	69,2%	100,0%	73,1%	86,7%
distal	5,8%	0,0%	7,7%	13,3%
Gesamt	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabelle 13: Lokalisation der Wurzelresorption

In Tabelle 14 wurde der jeweiligen Lokalisation der Wurzelresorption die Angulation der Zahnachse des Nachfolgers zugeordnet. Der Winkel des Nachfolgers mesial resorbierter Zähne betrug im Mittel $83,24^\circ$, bei zentral resorbierten Zähnen $82,36^\circ$ und bei distaler Resorption $74,26^\circ$.

Resorption	mesial	zentral	distal
Parameter	Zahnachse Nachfolger		
MW	83,24	82,36	74,26
SD	13,20	10,24	15,51

Tabelle 14: Winkel des Nachfolgers in Abhängigkeit von der Lokalisation der Resorption

5.2.9 Ausmaß der Wurzelresorption

Die Zähne der beiden Gruppen mit angelegten Nachfolgern waren im Mittel mit 0,87 (Untersuchungsgruppe) resp. 0,75 (Kontrollgruppe) wesentlich stärker resorbiert als bei den entsprechenden Gruppen ohne Nachfolger. Trotzdem war bei 47% resp. 40% der Fälle ohne Nachfolger mehr als die Hälfte der Wurzellänge resorbiert. Der Kruskal-Wallis-Test fiel hoch signifikant ($p=0,000$) aus. Der Post-Hoc-Test nach Games Howell zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen der Untersuchungsgruppe mit angelegtem Nachfolger und der Kontrollgruppe ohne Nachfolger ($p=0,018$).

Gruppe	UG m. N.	UG o. N.	KG m. N.	KG o. N.
Parameter	Ausmaß Wurzelresorption			
MW	0,87	0,47	0,75	0,40
SD	0,35	0,52	0,44	0,51
Levene			0,000	
KW			0,000	

Tabelle 15: Ausmaß der Wurzelresorption

0= maximal Hälfte resorbiert

1= mehr als die Hälfte resorbiert

5.2.10 Zahnalter des Nachfolgers

Bezüglich des Zahnalters nach GAT lagen die Untersuchungsgruppe und die Kontrollgruppe mit einem Mittelwert von 3,02 resp. 3,00 auf dem gleichen Niveau.

Gruppe	UG m. N.	KG m. N.
Parameter	Zahnalter nach GAT	
MW	3,02	3,00
SD	0,46	0,44
Levene	0,67	
MWU	0,827	

Tabelle 16: Zahnalter des Nachfolgers

5.2.11 Lamina Dura

Im OPG zeigte die Durchgängigkeit der Lamina dura bei der Untersuchungsgruppe mit Nachfolger einen Mittelwert von 0,35, bei der ohne Nachfolger 0,43. Damit lagen die Mittelwerte deutlich unter denen der Kontrollgruppe, die 0,84 respektive 0,79 betragen und somit tendenziell häufiger eine durchgehend erkennbare Lamina dura besaßen. Es bestand

zwischen den beiden Gruppen mit angelegtem Nachfolger laut Post-Hoc-Test nach Games Howell ein hoch signifikanter Unterschied ($p=0,000$).

Gruppe	UG m. N.	UG o. N.	KG m. N.	KG o. N.
Parameter	Lamina Dura			
MW	0,35	0,43	0,84	0,79
SD	0,48	0,51	0,37	0,43
Levene	0,00			
KW	0,000			

Tabelle 17: Lamina Dura

0 = nicht durchgängig

1 = durchgängig

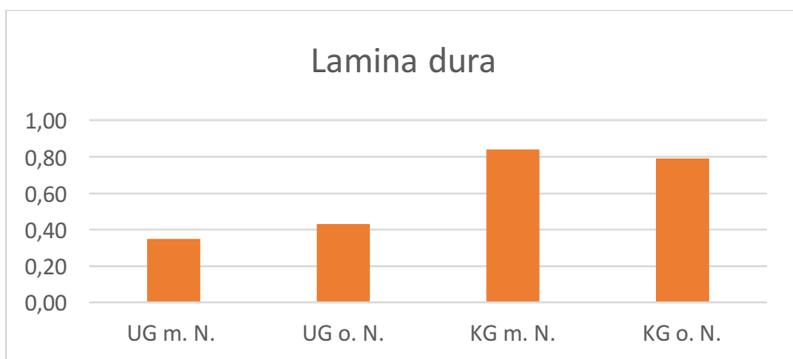


Diagramm 2: Lamina dura

5.2.12 Füllung des Milchzahns

Es existierten in den beiden Gruppen mit angelegtem Nachfolger jeweils 12 gefüllte Zähne, während die Untersuchungsgruppe ohne Nachfolger nur einen und die korrespondierende Kontrollgruppe fünf gefüllte Zähne aufwies.

Gruppe	UG m. N.	UG o. N.	KG m. N.	KG o. N.	Gesamt
Parameter	Füllung Milchzahn				
keine Füllung	40	14	40	10	104
Füllung	12	1	12	5	30
Gesamt	52	15	52	15	134

Tabelle 18: Verteilung der gefüllten Milchzähne auf die Gruppen

5.2.13 Karies

Kariöse Läsionen konnten am OPG nur bei einem Patienten ausgemacht werden. Dieser befand sich in der Untersuchungsgruppe mit angelegtem Nachfolger.

5.2.14 Größe des Follikels

Bezüglich der Follikelgröße des Nachfolgers gab es in allen Gruppen keinerlei Auffälligkeiten.

5.2.15 Entzündung Milchzahn/ Vitalamputation

Zwei Patienten der Untersuchungsgruppe wiesen eine interrädikuläre Entzündung des Milchzahns auf. Vitalamputationen konnten bei der Analyse der Röntgenbilder nicht festgestellt werden.

5.3 Fernröntgenseitenanalyse

5.3.1 ML-NSL

Der Winkel ML-NSL bewegte sich bei allen vier Gruppen auf ähnlichem Niveau. Dementsprechend fiel auch die Varianzanalyse nicht signifikant aus.

Gruppe	UG m. N.	UG o. N.	KG m. N.	KG o. N.
Parameter	ML-NSL			
MW	31,24	31,33	32,71	29,76
SD	6,81	5,99	5,36	4,06
Levene	0,254			
Anova	0,330			

Tabelle 19: ML-NSL

5.3.2 ML-NL

Die Mittelwerte der ML-NL-Winkel waren bei den Gruppen mit angelegten Nachfolgern identisch und betragen jeweils $24,34^\circ$. Mit $25,22^\circ$ etwas höher lag der betreffende Winkel bei der UG o. N., bei der KG o. N. lag er mit $22,25^\circ$ etwas niedriger. Die Mittelwerte unterscheiden sich jedoch nicht signifikant.

Gruppe	UG m. N.	UG o. N.	KG m. N.	KG o. N.
Parameter	ML-NL			
MW	24,34	25,22	24,34	22,85
SD	5,32	5,11	4,99	5,49
Levene	0,981			
Anova	0,649			

Tabelle 20: ML-NL

5.3.3 ANB

Ein Vergleich der ANB-Werte der vier Gruppen zeigte bei den Kontrollgruppen (3,98° und 3,95°) deutlich höhere Mittelwerte als bei den Untersuchungsgruppen (2,69° und 2,38°). Die Varianzanalyse war mit $p=0,014$ signifikant. Der Post-Hoc-Test nach Tukey bescheinigte einen signifikanten Unterschied ($p=0,034$) zwischen der UG m. N. und der KG m. N. (s. Tabelle 21).

Gruppe	UG m. N.	UG o. N.	KG m. N.	KG o. N.
Parameter			ANB	
MW	2,69 ^A	2,38 ^{AB}	3,98 ^B	3,95 ^{AB}
SD	2,37	2,51	2,26	2,76
Levene			0,494	
Anova			0,014	

Tabelle 21: ANB

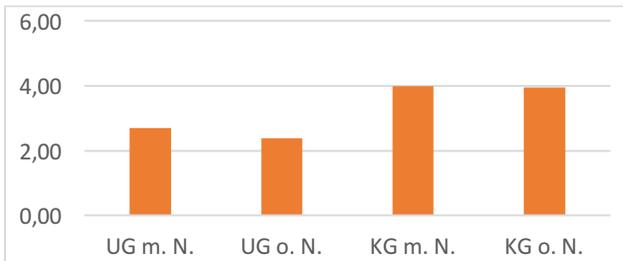


Diagramm 3: ANB

5.3.4 Ind. ANB

Ebenfalls nicht signifikant ($p= 0,970$) war das Ergebnis der Varianzanalyse für die Werte des ind. ANB. Die Gegenüberstellung des ANB und ind. ANB in Tabelle 23 und Diagramm 4 zeigt, dass in den Untersuchungsgruppen der Wert des ANB im Gegensatz zu den Kontrollgruppen deutlich unterhalb des berechneten ind. ANB lag.

Gruppe	UG m. N.	UG o. N.	KG m. N.	KG o. N.
Parameter			ind. ANB	
MW	3,17	3,25	3,27	3,09
SD	1,18	1,80	1,45	1,66
Levene			0,191	
Anova			0,970	

Tabelle 22: ind. ANB

Gruppe	UG m. N.	UG o. N.	KG m. N.	KG o. N.
ind. ANB	3,17	3,25	3,27	3,09
ANB	2,69	2,38	3,98	3,95
Differenz	0,48	0,87	-0,71	-0,86

Tabelle 23: ind. ANB im Vergleich zu ANB

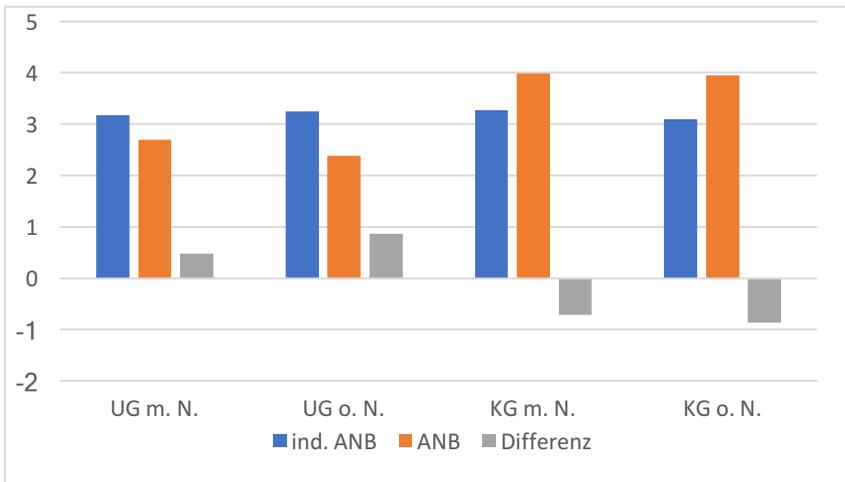


Diagramm 4: ind. ANB im Vergleich zu ANB

5.3.5 Gn-tgo-Ar

Hinsichtlich des Winkels Gn-tgo-Ar besaßen alle Gruppen ähnliche Werte und wiesen keine signifikanten Unterschiede ($p=0,389$) auf.

Gruppe	UG m. N.	UG o. N.	KG m. N.	KG o. N.
Parameter	Gn-tgo-Ar			
MW	123,91	122,55	123,92	121,05
SD	6,66	5,57	5,84	7,27
Levene	0,775			
Anova	0,389			

Tabelle 24: Gn-tgo-Ar

5.3.6 Ratio hinten/vorn

Gleiches galt für das Verhältnis aus hinterer zu vorderer Gesichtshöhe ($p=0,629$).

Gruppe	UG m. N.	UG o. N.	KG m. N.	KG o. N.
Parameter	Ratio hinten/vorn			
MW	66,13	66,15	65,74	67,50
SD	4,77	4,90	4,41	4,01
Levene	0,509			
Anova	0,629			

Tabelle 25: Ratio

5.3.7 UK1-ML

Der Winkel aus der Achse des unteren mittleren Scheidezahns UK1 und der Linie ML unterschied sich deutlich zwischen den vier Gruppen. So fielen die Mittelwerte der Untersuchungsgruppen mit $93,32^\circ$ und $92,67^\circ$ wesentlich niedriger aus als die der Kontrollgruppe ($98,16^\circ$ und $97,28^\circ$). Die

durchgeführte Varianzanalyse (Anova) war hoch signifikant ($p=0,001$). Tabelle 26 fasst außerdem die Ergebnisse des im Anschluss durchgeführten Post-Hoc-Tests nach Tukey zusammen. Dieser fiel für die UG m. N. und die KG m. N. ($p=0,002$), sowie für die UG o. N. und der KG m. N. ($p=0,029$) signifikant aus.

Gruppe	UG m. N.	UG o. N.	KG m. N.	KG o. N.
Parameter	UK1-ML			
MW	93,32 ^{AC}	92,67 ^C	98,16 ^B	97,28 ^{ABC}
SD	6,77	6,92	6,61	6,27
Levene	0,739			
Anova	0,001			

Tabelle 26: UK1-ML

5.3.8 UK1-NB

Betrachtet man den Winkel der Achse des Unterkiefer-Frontzahns zu NB, so lagen die Mittelwerte der Untersuchungsgruppen ($22,56^\circ$ und $22,45^\circ$) unter denen der Kontrollgruppen ($26,29^\circ$ und $24,17^\circ$). Nachdem die Anova einen signifikanten Unterschied ($p=0,018$) ergab, wurde der Post-Hoc-Test nach Tukey durchgeführt. Daraus resultierte ein signifikanter Unterschied ($p=0,020$) zwischen der UG m. N. und der KG m. N.

Gruppe	UG m. N.	UG o. N.	KG m. N.	KG o. N.
Parameter	UK1-NB			
MW	22,56 ^A	22,45 ^{AB}	26,29 ^B	24,17 ^{AB}
SD	6,64	5,70	6,28	5,81
Levene	0,850			
Anova	0,018			

Tabelle 27: UK1-NB

5.3.9 Abstand NB zu UK Frontzahn

Bezüglich des Abstands des Schneidezahns im Unterkiefer und NB ließ sich erkennen, dass dieser in der UG m. N. deutlich niedriger lag (3,22mm) als in der entsprechenden KG m. N. (4,56mm). Die Werte sprechen damit für eine eher retrudierte Front in der Kontrollgruppe mit angelegtem Nachfolger. Der KW-Test war dabei nicht signifikant ($p=0,062$).

Gruppe	UG m. N.	UG o. N.	KG m. N.	KG o. N.
Parameter	NB1 in mm			
MW	3,22	3,73	4,56	3,77
SD	2,85	2,78	3,16	2,83
Levene	0,812			
KW	0,062			

Tabelle 28: Abstand NB zu UK Frontzahn in mm

5.4 Modellanalyse

5.4.1 Overjet und Overbite

Beim Vermessen des Overjets und Overbites anhand der Modelle ließen sich durchwegs ähnliche Mittelwerte feststellen. Der KW-Test war bei beiden Parametern nicht signifikant ($p=0,850$ resp. $p=0,308$).

Gruppe	UG m. N.	UG o. N.	KG m. N.	KG o. N.
Parameter			Overjet	
MW	2,82	2,33	2,95	3,03
SD	2,03	1,03	1,88	2,00
Levene			0,074	
KW			0,850	
Parameter			Overbite	
MW	2,91	3,50	2,77	3,60
SD	1,86	1,07	1,72	1,07
Levene			0,024	
KW			0,308	

Tabelle 29: Overjet und Overbite in mm

5.4.2 Kreuzbiss

Tabelle 30 gibt Aufschluss darüber, ob ein Kreuzbiss auf der Seite des infraokkludierten Zahns besteht. Bei der Untersuchungsgruppe mit angelegtem Nachfolger waren 15% der Kreuzbisse auf der Seite des infraokkludierten Zahns festzustellen. Dies entsprach damit einem Anteil von etwas mehr als der Hälfte der Kreuzbiss-Fälle. Im Gegensatz dazu war bei Aplasie des Nachfolgers kein Kreuzbiss auf der Infraokklusionsseite zu erkennen.

Gruppe	UG m. N.	UG o. N.
Parameter	Kreuzbiss auf betroffener Seite	
MW	0,15	0,00
SD	0,36	0,00
Chi-Quadrat	0,000	

Tabelle 30: Kreuzbiss auf betroffener (infraokkludierter) Seite

0= kein Kreuzbiss

1= Kreuzbiss auf der Seite des infraokkludierten Zahns

Im Seitenzahnbereich ließ sich beim Vergleich der Untersuchungsgruppen eine deutlich höhere Neigung zum Kreuzbiss bei angelegtem Nachfolger (31%) als bei Aplasie des Nachfolgers (7%) beobachten. Der KW-Test war jedoch nicht signifikant ($p=0,081$).

Gruppe	UG m. N.	UG o. N.	KG m. N.	KG o. N.
Parameter	Kreuzbiss allgemein			
MW	0,31	0,07	0,13	0,20
SD	0,47	0,26	0,35	0,41
KW	0,081			

Tabelle 31: Kreuzbiss allgemein

0= kein Kreuzbiss

1= Kreuzbiss

5.4.3 Kippung Nachbarzähne

Stand ein Zahn in Infraokklusion, so neigten sich die benachbarten Zähne in 17% resp. 27% der Fälle in Richtung dieses Zahns und führten hier zu einer Verengung der Lücke. Dem gegenüber konnte dies in den Zahnreihen ohne Infraokklusion in keinem der untersuchten Modelle beobachtet werden. Der KW-Test ist hoch signifikant ($p=0,001$). Der Post-Hoc-Test nach Games Howell war zwischen der UG m. N. und den Kontrollgruppen

jeweils signifikant ($p=0,007$), ebenso zwischen der UG o. N. und den Kontrollgruppen ($p=0,010$).

Gruppe	UG m. N.	UG o. N.	KG m. N.	KG o. N.
Parameter	Kippung Nachbarzähne			
MW	0,17	0,27	0,00	0,00
SD	0,38	0,46	0,00	0,00
KW			0,001	

Tabelle 32: Kippung der Nachbarzähne

0= keine Kippung

1= Kippung

5.4.4 Okklusionskontakte

Tabelle 33 gibt eine Übersicht über die Okklusion der Milchmolaren. Demnach herrschte in den Untersuchungsgruppen wesentlich häufiger kein Kontakt zum Gegenzahn als in den Kontrollgruppen. Soweit in den Untersuchungsgruppen Kontakt zum Gegenkiefer bestand, waren die Okklusionskontakte in den Gruppen ohne angelegten Nachfolger ausnahmslos gleichmäßig verteilt, während diese in der Gruppe mit angelegtem Nachfolger öfter mesial lagen.

Gruppe	UG m. N.	UG o. N.	KG m. N.	KG o. N.	Gesamt
Parameter	Okklusionskontakte				
gleichmäßig	12	5	46	15	78
mesial	7	0	2	0	9
distal	1	0	0	0	1
kein Kontakt	32	10	4	0	46

Tabelle 33: Okklusionskontakte (Anzahl der Zähne)

Im Folgenden wird der jeweiligen Okklusion der durchschnittliche Winkel des Nachfolgers zugeordnet. Die Zahnachse des Nachfolgers lag dabei für

den Fall, dass mesial, zentral oder kein Kontakt bestand, auf dem gleichen Niveau. Bei distalem Okklusionskontakt, der nur einmal beobachtet wurde, betrug der gemessene Winkel $78,5^\circ$ und war damit etwas kleiner.

Okklusionskontakte	Zahnachse	Anzahl
zentral	82,55	58
mesial	80,57	9
distal	78,5	1
kein Kontakt	81,61	36

Tabelle 34: Gegenüberstellung der Zahnachse des Nachfolgers mit den Okklusionskontakten des Milchmolaren

5.4.5 Vertikale Differenz

Das Ausmaß der Infraokklusion der Zähne der Untersuchungsgruppe (N=67), verteilte sich entsprechend der nachstehenden Grafik.

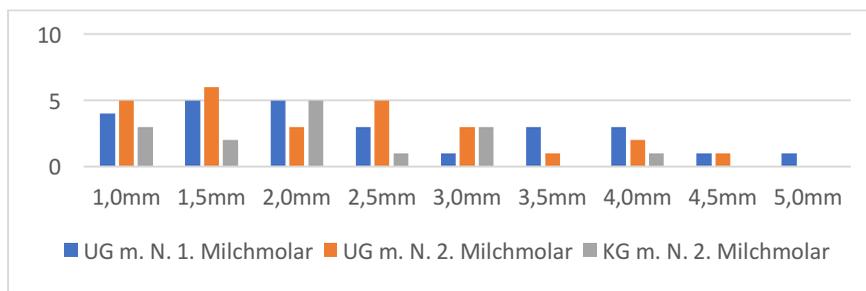


Diagramm 5: Ausmaß der Infraokklusion

Zahn	erster MM	zweiter MM
MW	2,46	2,00
SD	1,22	0,89

Tabelle 35: Ausmaß der Infraokklusion des ersten und zweiten MM in mm

5.5 Korrelationen

Aufgrund der nicht parametrischen Verteilung einiger Werte (Kolmogorov-Smirnoff-Test $p < 0,05$) wurde auf die Spearman-Rangkorrelation zurückgegriffen. Im Folgenden werden die signifikanten Korrelationen zusammengefasst:

hoch signifikante Korrelationen ($p < 0,01$):

Parameter		Koeffizient
Vertikale Stufe 4 auf 6	Vertikale Stufe 5 auf 6	0,665
Vertikale Stufe 5 auf 6	Overbite	0,398
Overjet	Overbite	0,405
Overjet	ANB	0,496
Overbite	ANB	0,304
Zahnachse des Nachfolgers	ANB	0,363

signifikante Korrelationen ($p < 0,05$):

Parameter		Koeffizient
Vertikale Stufe 4 auf 6	Overbite	0,366
Vertikale Stufe 4 auf 6	ANB	0,364
Zahnachse des Nachfolgers	Overjet	0,199
Ausmaß Wurzelresorption	Vertikale Stufe 4 auf 6	0,402
Ausmaß Wurzelresorption	Lokalisation Wurzelresorption	-0,182

Tabelle 36: Übersicht über signifikante Korrelationen
 Korrelationskoeffizient: bis 0,4 => schwache Korrelation
 bis 0,7 => mittelstarke Korrelation

Korrelationen

		vertikal 4->6	vertikal 5->6	Overjet	Overbite	ANB	Zahnachse	Lokalisation Wurzelresorption	Ausmaß Wurzelresorption
vertikal 4->6	Korrelationskoeffizient	1,000	,665**	,173	,366*	,364*	-,285	,018	,402*
	Sig. (2-seitig)		,000	,353	,043	,044	,141	,921	,025
vertikal 5->6	Korrelationskoeffizient	,665**	1,000	,124	,398**	,145	-,012	-,055	,231
	Sig. (2-seitig)	,000		,319	,001	,242	,934	,660	,060
Overjet	Korrelationskoeffizient	,173	,124	1,000	,405**	,496**	,199*	-,098	,058
	Sig. (2-seitig)	,353	,319		,000	,000	,043	,258	,508
Overbite	Korrelationskoeffizient	,366*	,398**	,405**	1,000	,304**	,102	-,005	,042
	Sig. (2-seitig)	,043	,001	,000		,000	,302	,957	,626
ANB	Korrelationskoeffizient	,364*	,145	,496**	,304**	1,000	,363**	-,086	,007
	Sig. (2-seitig)	,044	,242	,000	,000		,000	,324	,937
Zahnachse	Korrelationskoeffizient	-,285	-,012	,199*	,102	,363**	1,000	-,122	,068
	Sig. (2-seitig)	,141	,934	,043	,302	,000		,217	,491
Lokalisation Wurzelresorption	Korrelationskoeffizient	,018	-,055	-,098	-,005	-,086	-,122	1,000	-,182*
	Sig. (2-seitig)	,921	,660	,258	,957	,324	,217		,035
Ausmaß Wurzelresorption	Korrelationskoeffizient	,402	,231	,058	,042	,007	,068	-,182*	1,000
	Sig. (2-seitig)	,025	,060	,508	,626	,937	,491	,035	

** Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).

* Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig).

6 Diskussion

Die Ergebnisse dieser Untersuchung stimmen in weiten Teilen mit denen vorangegangener Studien überein, doch es wurden auch davon abweichende Werte ermittelt. Eine Gegenüberstellung erfolgt auf den folgenden Seiten. Die Herausforderung bei der Interpretation der ermittelten Werte besteht darin, zu unterscheiden, welche Parameter ursächlich für die Infraokklusion sein können und welche wiederum nur als deren Folge anzusehen sind.

6.1 Prävalenz

Die festgestellte Prävalenz von 4,0% liegt im unteren Bereich vorangegangener Veröffentlichungen, die eine breite Streuung von 1,4% bis 35% [3-7] aufweisen. Die strengen Auswahlkriterien dieser Untersuchung passen zu der eher niedrigen Prävalenz, da nur Patienten berücksichtigt wurden, bei denen sowohl ein FRS als auch Modelle vorhanden waren.

6.2 Alters- und Geschlechtsverteilung

Bezüglich des Durchschnittsaltes bestand in den erhobenen Daten eine Differenz zwischen den einzelnen Gruppen. So waren die Gruppen mit angelegten Nachfolgern durchschnittlich 10,37 resp. 10,23 Jahre alt, während die beiden Gruppen ohne Nachfolger ein Durchschnittsalter von 11,92 resp. 11,55 Jahren aufwiesen. Hierbei sei erwähnt, dass die gesamte Untersuchungsgruppe im Mittel 10,72 und die Kontrollgruppe 10,53 Jahre alt war. Unter diesen Gesichtspunkten stellt sich die Frage, aus welchem Grund das Alter bei Aplasie des Nachfolgers in dieser Untersuchung höher war. Eine mögliche Ursache liegt in der Tatsache begründet, dass bestimmte Befunde, die bei Infraokklusion mit angelegten Nachfolgern gegebenenfalls gehäuft auftreten dazu geführt haben, dass diese Patienten schon zu einem früheren Zeitpunkt beim Kieferorthopäden vorstellig wurden [8].

Insgesamt bestand der Datensatz aus 58 männlichen und 76 weiblichen Patienten. Innerhalb der verschiedenen Untergruppen fiel die Verteilung bei der UG m. N. und der KG o. N. zu Gunsten der weiblichen Patienten aus. Da in der Literatur jedoch mehrfach ein fehlender Zusammenhang [4, 5, 22,

26] der Infraokklusion bezüglich des Geschlechts dokumentiert ist, muss davon ausgegangen werden, dass andere Ursachen für die Überzahl der weiblichen Patienten eine Rolle gespielt haben. Zum einen ist die Geschlechtsverteilung des Patientenstamms der kieferorthopädischen Praxis, in der die Daten erhoben wurden, überwiegend weiblich, zum anderen können auch höhere Anforderungen des weiblichen Geschlechts an die Ästhetik der Zähne [109] eine Rolle gespielt haben.

6.3 Parameter OPG

Betroffene Zähne

In vorangegangenen Studien herrschte Uneinigkeit darüber, ob der erste oder der zweite Milchmolar des Unterkiefers häufiger von Infraokklusion betroffen ist. Die vorliegende Untersuchung umfasste 25 erste und 42 zweite Milchmolaren. Verantwortlich für diese Diskrepanz war hauptsächlich die Untersuchungsgruppe ohne angelegten Nachfolger, die ausnahmslos aus zweiten Milchmolaren bestand. Berücksichtigt man die Tatsache, dass der am häufigsten nicht angelegte Zahn, der als Nachfolger in Frage kommt, der zweite Prämolare des Unterkiefers [110] ist, lässt sich dieser Wert jedoch nachvollziehen. *Kuroł* setzte sich mit den unterschiedlichen Prävalenzen in der Literatur auseinander und kam zu dem Ergebnis, dass diese durch die unterschiedlichen Kriterien der Studien und deren Altersverteilung zustande kamen. Bei seinen Untersuchungen waren bis zum 9. Lebensjahr die ersten Milchmolaren und ab dem 9. Lebensjahr die zweiten Milchmolaren häufiger betroffen [4]. Da das Durchschnittsalter der vorliegenden Arbeit bei deutlich über neun Jahren lag und mehr zweite als erste Milchmolaren betroffen waren, steht diese Studie im Einklang mit *Kuroł's* Beobachtungen. Ein gewisser Fehler kann jedoch der Methodik der Datenerfassung geschuldet sein, weil jeweils nur der Zahn mit der am stärksten ausgeprägten Infraokklusion berücksichtigt wurde und Daten aus der Literatur für ein größeres Ausmaß der Infraokklusion beim zweiten Milchmolaren sprechen [26].

Betroffene Quadranten im Unterkiefer

Die UG mit Nachfolger war häufiger (63%) von beidseitiger Infraokklusion im Unterkiefer betroffen als die ohne Nachfolger (47%). In der Literatur liegen diese Werte mit 88,7% [111] möglicherweise aufgrund des niedrigeren durchschnittlichen Alters im Vergleich zu dieser Untersuchung wesentlich höher. Trotzdem kann man diese Zahlen als ersten Hinweis darauf deuten, dass die Trennung der Untersuchungsgruppen sinnvoll war und sich daraus möglicherweise weitere Rückschlüsse auf Ätiologie usw. ableiten lassen.

Eine Häufung der Infraokklusion auf einen der beiden Quadranten ist nicht zu beobachten, was sich auch mit den Ergebnissen aus der Literatur deckt [4, 5, 11].

Infraokklusion im Oberkiefer

Besaß ein Patient im Unterkiefer einen Zahn in Infraokklusion, war in der vorliegenden Untersuchung die Wahrscheinlichkeit, diesen Befund auch im Oberkiefer diagnostizieren zu können, deutlich erhöht. So litten die Patienten der beiden Untersuchungsgruppen zu 33% auch unter Infraokklusion im Oberkiefer. Diesen Werten standen 8% bei der KG m. N. resp. 0% bei der KG o. N. gegenüber. Der Zusammenhang zwischen Infraokklusion im Unter- und Oberkiefer wurde in der Literatur oft beschrieben und spricht für Pecks Theorie der DAP.

Es stellt sich jedoch die Frage, ob die Milchmolaren von sich aus in Infraposition stehen oder sekundär durch Einlagerung der Zunge nach kranial forciert wurden. Möglicherweise kommt es zu einer Art des interokklusalen Schluckens [112] als Folge der Einlagerung der Zunge in die Lücke des infraokkludierten Zahns. Die Tatsache, dass unter anderem ein seitlich offener Biss durch eine falsche Zungenlage beim Schlucken herbeigeführt werden kann, zeigt den ausgesprochen starken Einfluss der Zunge auf die Zahnposition [113].

Nichtanlagen

Der häufigste nicht angelegte Zahn war wie erwartet der zweite Milchmolar des Unterkiefers [2]. Auffällig ist hier, dass bei Patienten mit infraokkludierten Zähnen bei angelegtem Nachfolger die Prävalenz für Nichtanlagen mehr als dreimal so hoch wie in der korrespondierenden Kontrollgruppe ist. In der Literatur findet man diesbezüglich sogar noch

größere Differenzen zwischen den Untersuchungs- und den Kontrollgruppen [8, 114]. In dieser Untersuchung muss die Aussagekraft dieser Werte kritisch hinterfragt werden, da bewusst darauf geachtet wurde, eine gleich große Kontrollgruppe ohne angelegten Nachfolger zu generieren, was wiederum das Ergebnis verfälscht. Die Tendenz, dass Infraokklusion mit Nichtanlagen einhergeht, lässt sich den Daten trotzdem entnehmen.

Eckzahnverlagerung

Potenzielle Eckzahnverlagerungen waren mit einer Häufigkeit von 19% ausschließlich in der Untersuchungsgruppe mit angelegtem Nachfolger aufgetreten. Legt man diese 19% auf die gesamte Untersuchungsgruppe um, so bleibt immer noch eine Prävalenz von 14,7%. Dies deckt sich mit Werten aus der Literatur [2, 8].

Betrachtet man den beim physiologischem Durchbruch vorherrschenden Eckzahnwinkel nach *Dausch-Neumann*, der bei 6- bis 8-jährigen von ca. 73,5° über die sogenannte „ugly duckling“-Phase bis auf ca. 87,5° bei 12- bis 14-Jährigen ansteigt, ist es durchaus denkbar, dass in der vorliegenden Untersuchung durch die gewählte Definition einer potentiellen Eckzahnverlagerung (<70°) zu viele Zähne als verlagert bezeichnet wurden. Hinzu kommt, dass die Diagnose einer palatinalen Eckzahnverlagerung am Orthopantomogramm generell als unzuverlässig gilt [63]. Trotzdem stimmen die Ergebnisse mit vorangegangenen Studien überein und stützen zudem aufgrund der Beobachtung, dass potentiell verlagerte Eckzähne nur bei Patienten mit angelegtem Nachfolger aufgetreten waren, die oben geäußerte Vermutung, dass sich die Pathogenese der Infraokklusion in den beiden Gruppen unterscheidet. Zu der Frage, inwieweit die Wahrscheinlichkeit der Eckzahnverlagerung bei infraokkludierten Milchmolaren von der Anlage des Nachfolgers abhängt, konnte keine weitere Literatur für einen Vergleich mit der vorliegenden Studie herangezogen werden.

Zahnachse des Nachfolgers

Da sich die Prämolaren in einem als „Safe Area“ bezeichneten Bereich des OPGs befinden, ist der Fehler, der durch die Aufnahmetechnik des Orthopantomogramms zustande kommen kann, als gering anzusehen [115].

Die Zahnachse des Nachfolgers bildet mit dem knöchernen Rand der Mandibula im Mittel einen Winkel von $79,49^\circ$ in der Untersuchungsgruppe und $84,53^\circ$ in der Vergleichsgruppe ($p=0,011$). In früheren Untersuchungen fielen entsprechende Unterschiede mit $75,6^\circ$ und $85,5^\circ$ etwas größer aus [8, 101]. Allerdings wurden in diesen Untersuchungen nur zweite Prämolaren berücksichtigt, die bekanntermaßen häufiger zu einer distalen Angulation neigen als die ersten Prämolaren.

Nachdem in der Literatur die Infraokklusion mit einer distalen Angulation der Nachfolger in Verbindung gebracht wird, wurde der Datensatz gezielt nach distal gekippten Prämolaren (Winkel zwischen Zahnachse und kaudaler Knochenkontur des Unterkiefers $<75^\circ$) und deren Verteilung auf die verschiedenen Gruppen durchsucht. Dabei konnte festgestellt werden, dass sich die nach distal gekippten Zähne zu 72% auf die Untersuchungsgruppe und zu 28% auf die Kontrollgruppe verteilen und damit bei der Untersuchungsgruppe mehr als doppelt so häufig mit Infraokklusion gepaart sind.

Lokalisation der Wurzelresorption

Die Lokalisation der Wurzelresorption wird entscheidend von der Lokalisation und der Zahnachse des nachfolgenden Zahns beeinflusst [116]. Dabei weisen mesial resorbierte Milchmolaren wie erwartet einen höheren durchschnittlichen Winkel zwischen der Zahnachse und der kaudalen Knochenkontur des Unterkiefers auf als zentral resp. distal resorbierte. Der durchschnittliche Winkel des Nachfolgers bei mesialer Resorption liegt jedoch mit $83,24^\circ$ nur ca. ein Grad über dem Mittelwert bei zentraler Resorption, bei distaler Resorption dagegen mit $74,26^\circ$ deutlich darunter. Beim Studium der Orthopantomogramme wurde eine mögliche Erklärung für den geringen Durchschnittswinkel bei mesialer Resorption gefunden. Es existieren mehrere Fälle, in denen die distale Angulation des bleibenden Zahns überraschenderweise zu einer überwiegend mesialen Resorption des Milchzahns geführt hat, während in keinem Fall eine distale Resorption infolge einer mesialen Angulation vorlag. Die Ursache dafür könnte darin begründet sein, dass sich im Zuge der tendenziell anterioren Rotation der Mandibula bei Patienten mit infraokkludierten Milchmolaren eine eher distale Angulation des Nachfolgers einstellt, dessen mesiale Randleiste sich nach kranial und die distale Randleiste nach kaudal verlagert und daraus

mesial eine engere Lagebeziehung zwischen Milchzahn und bleibendem Zahn resultiert. Abbildung 13 stellt diesen Sachverhalt schematisch dar.

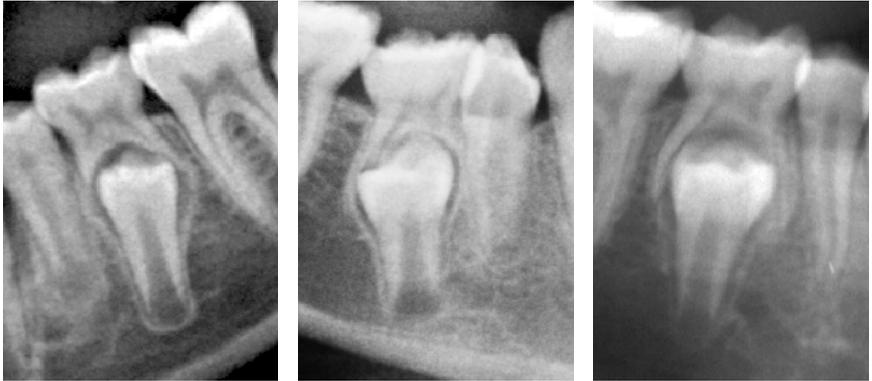


Abbildung 10-12: mesiale Resorption bei distaler Angulation des Nachfolgers

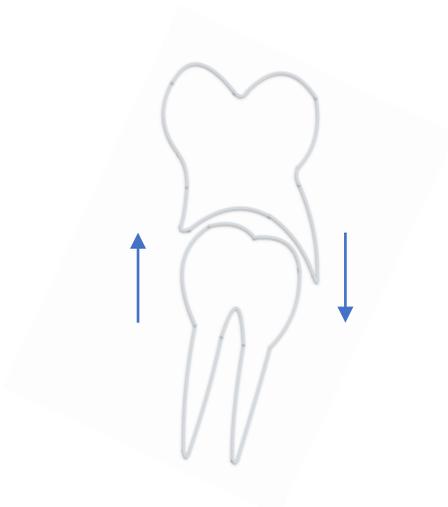


Abbildung 13: Bewegungsrichtung der Randleisten (blaue Pfeile) bei Angulation des Nachfolgers

In allen Untersuchungs- und Kontrollgruppen überwog die zentrale Resorption des Milchzahns. Die UG m. N. wies in 25% resp. 5,8% der Fälle eine mesiale resp. distale Resorption auf, und lag damit auf einem ähnlichen Niveau wie die entsprechende Kontrollgruppe. Diese Ergebnisse stimmen mit denen aus der Literatur überein [117]. Damit besteht kein Zusammenhang zwischen der Lokalisation der Wurzelresorption und der Infraokklusion bei angelegten Nachfolgern. Aufgrund der bekannten distalen Angulation der Prämolaren bei Infraokklusion würde man eine überwiegend distale Resorption vermuten. Dies ist jedoch nicht der Fall und stützt die oben genannte Vermutung, dass der Einfluss der distalen Angulation des Nachfolgers auf die Lokalisation der Wurzelresorption geringer ist, als bisher angenommen.

Bei Aplasie des Nachfolgers wies die Untersuchungsgruppe ausnahmslos eine zentrale Resorption auf, während in der korrespondierenden Kontrollgruppe in 13,3% der Fälle eine überwiegend distale Resorption vorlag. Entsprechende vorangegangene Veröffentlichungen sind aufgrund ihrer andersartigen Unterteilung bezüglich des Ausmaßes der Infraokklusion nur bedingt vergleichbar und sprechen im Gegensatz zu dieser Untersuchung unabhängig von Infraokklusion von einer tendenziell mesialen Resorption bei Aplasie des Nachfolgers [22, 118].

Zudem können bei massiv exzentrischer Resorption des Milchzahns Wurzelreste desselben im Kieferknochen verbleiben, ggf. zu Problemen führen können.



Abbildung 14: Wurzelrest bei exzentrischer Resorption des Milchzahns

Ausmaß Wurzelresorption

Erwartungsgemäß zeigten die Milchzähne ohne permanenten Nachfolger ein deutlich geringeres Ausmaß der Wurzelresorption [116, 119]. Da bei der Erhebung der Daten die ursprüngliche Länge der Milchzahnwurzeln nicht aufgenommen werden konnte, musste die Resorption anhand von Erfahrungswerten abgeschätzt werden. Aus diesem Grund wurde auch nur dahingehend unterschieden, ob bereits mehr oder weniger als die Hälfte der Milchzahnwurzel resorbiert war. Diese grobe Unterscheidung reicht jedoch aus, um feststellen zu können, dass das Ergebnis dem anderer Studien entspricht, in denen eine sehr langsame Resorption der Milchzähne ohne Nachfolger beobachtet wurde. [81] Ein Zusammenhang zwischen Infraokklusion und der Wurzelresorption lässt sich –wie auch in vielen vorherigen Untersuchungen– [118] nicht nachweisen. Im Gegensatz dazu erkannte *Hvaring* in seiner Studie einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Infraokklusion und der Wurzelresorption [22]. Allerdings wurden in die Studie nur infraokkludierte Zähne ohne Nachfolger aufgenommen, was die Aussagekraft auf die Infraokklusion im Allgemeinen stark einschränkt.

Zahnalter des Nachfolgers

Das Zahnalter nach GAT ist bei der Untersuchungs- resp. Kontrollgruppe im Durchschnitt mit 3,02 resp. 3,00 auf dem gleichen Niveau. Dies deckt sich mit den Angaben in der Literatur, nach denen ein Zahn in Infraokklusion keinen Einfluss auf die Entwicklung des Nachfolgers hat [25, 120] und spricht für die Homogenität der erhobenen Daten.

Lamina Dura

Ein signifikanter Unterschied bezüglich der Durchgängigkeit der Lamina dura im OPG ließ sich im Vergleich der beiden Gruppen mit angelegten Nachfolgern ausmachen. Danach kam eine durchgängige Lamina dura in der Untersuchungsgruppe bei 35% und in der Kontrollgruppe in 84% der Fälle vor. Da eine Unterbrechung der Lamina dura mit großer Wahrscheinlichkeit mit einer Ankylose verbunden ist, lässt sich aus den Werten ableiten, dass Zähne in Infraokklusion häufiger ankylosiert sind. Bei den Gruppen ohne angelegten Nachfolger war die Tendenz zwar ähnlich, aber bei weitem nicht so stark ausgeprägt wie bei denen mit angelegtem Nachfolger. Die

radiologische Beurteilung der Lamina dura ist vor allem für Molaren sehr ungenau, weil es zusätzlich zu einer Überlappung der verschiedenen Wurzeln kommen kann [82, 95]. Trotzdem lässt sich den Daten die eindeutige Tendenz zur Ankylose des Zahns bei Infraokklusion entnehmen, wie es auch in vorangegangenen Publikationen häufig beschrieben wurde.

Karies/ Größe des Follikels/ Entzündung des Milchzahns/ Vitalamputation

Bezüglich kariöser Läsionen konnte nur ein einziger Patient ausgemacht werden. Da die unzureichende Tauglichkeit eines Orthopantomogramms zur Kariesdiagnostik allgemein bekannt ist, sind dessen Ergebnisse nicht sehr verlässlich. In dieser Untersuchung war in Übereinstimmung mit einer vorangegangenen Studie keiner der Milchmolaren im Sinne einer Vitalamputation behandelt [121] oder wies eine abnorme Größe des Follikels seines Nachfolgers auf. Außerdem wurde nur an zwei Milchzähnen eine interradiäre Aufhellung festgestellt. Zusammenfassend spricht dies gegen eine entzündliche Genese der Infraokklusion und steht damit im Einklang mit den Erkenntnissen früherer Untersuchungen.

Füllung des Milchzahns

Anhaltspunkte für einen Zusammenhang zwischen der Anzahl gefüllter Zähne und der Infraokklusion waren nicht zu erkennen. Berichte über eine erhöhte Gefahr der Kariesbildung aufgrund der sich bildenden Schmutznischen bei infraokkludierten Zähnen konnten in der gegenständlichen Untersuchung nicht bestätigt werden. Dies könnte als Folge der in den letzten Jahrzehnten immer besser gewordenen Aufklärung zur Kariesprävention zu sehen sein.

6.4 Parameter FRS

Kephalometrische Analysen anhand von Fernröntgenseitenaufnahmen waren in vorangegangenen Studien selten Gegenstand einer Untersuchung und darüber hinaus widersprüchlich. Manche Autoren bescheinigen keine Auffälligkeiten bezüglich der Kephalometrie [81], ohne jedoch näher darauf einzugehen. Es konnte nur eine einzige Studie von *Baccetti et al.* [43]

ausgemacht werden, die sich damit im Detail auseinandersetzt. Die Mehrzahl der folgenden Vergleiche bezieht sich daher auf diese Veröffentlichung.

ML-NSL

In der vorliegenden Untersuchung bewegte sich der Winkel ML-NSL für alle Gruppen auf ähnlichem Niveau. Die statistische Auswertung belegte keinen signifikanten Unterschied ($p=0,330$). Das bedeutet im Umkehrschluss, dass der Unterkiefer bezüglich der anterioren Schädelbasis regelrecht eingelagert war und deckt sich mit den Erkenntnissen früherer Untersuchungen [43].

ML-NL

Ebenfalls nicht signifikant ($p=0,649$) war der Winkel zwischen Mandibularlinie und Nasallinie, der die Lage der beiden Kieferbasen zueinander beurteilt.

Ratio hinten/vorn

Das Verhältnis aus hinterer und vorderer Gesichtshöhe beschreibt das vorherrschende Wachstumsmuster und fiel in dieser Studie nicht signifikant ($p=0,629$) aus.

ANB

Es bestand ein signifikanter Unterschied ($p=0,014$) des ANB zwischen den beiden Untersuchungsgruppen und der Kontrollgruppe mit angelegtem Nachfolger. Die Mittelwerte der Untersuchungsgruppen lagen dabei deutlich niedriger als die der Kontrollgruppen. Zu erwarten wäre in dieser Altersklasse ein ANB von ca. 4° [122], wie er auch in den Kontrollgruppen vorherrschte. Die Untersuchungsgruppen zeigten damit eine Tendenz zur skelettalen Klasse III resp. ein stärkeres horizontales Wachstumsmuster, das mit einer anterioren Rotation der Mandibula einhergeht. In *Baccettis* Studie liegt der Mittelwert der Untersuchungsgruppe ebenfalls unter dem der Kontrollgruppe, aber nicht in einem signifikanten Ausmaß [43].

Ind. ANB

Der individualisierte ANB war für sich betrachtet nicht signifikant ($p=0,970$), doch seine Aussagekraft erfährt er erst im Vergleich mit dem gemessenen ANB-Wert.

Bei den Untersuchungsgruppen lag der Wert des ANB im Gegensatz zu den Kontrollgruppen unterhalb des berechneten ind. ANB. Das Ausmaß der Differenz ist in diesem Alter zwar noch im Normbereich, doch es lässt sich den Daten eindeutig entnehmen, dass die Untersuchungsgruppen eine tendenziell ventralere Lage des Unterkiefers aufwiesen als die Kontrollgruppen.

Gn-tgo-Ar

Der Kieferwinkel war in dieser Untersuchung nicht signifikant ($p=0,389$) und steht damit in Einklang mit den Ergebnissen von *Baccetti*'s Studie. Dies spricht für eine normale Wachstumsrichtung des Kondylus. *Baccetti* beobachtete jedoch zusätzlich die longitudinale Entwicklung der kephalometrischen Werte von 28 Patienten mit frühem Wechselgebiss, indem er im Mittel nach 19 Monaten erneut Fernröntgenseitenaufnahmen durchführte. Dabei kam er zu dem Ergebnis, dass es bei Patienten mit Infraokklusion zu einer anterioren Rotation der Mandibula kommt, die mit einer erhöhten turn-over Rate des Knochens einhergeht [43].

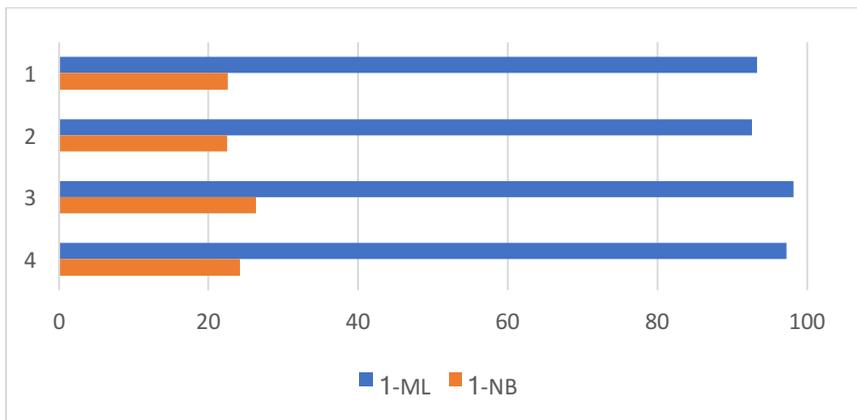


Diagramm 6: 1-ML und 1-NB im Vergleich

1-ML

Hoch signifikant ($p=0,001$) fiel hingegen der Winkel zwischen der Zahnachse des unteren mittleren Schneidezahns und der Mandibularlinie aus. Dabei unterschieden sich beide Untersuchungsgruppen von der Kontrollgruppe mit angelegtem Nachfolger. Die unteren Schneidezähne waren bei Patienten mit Infraokklusion wesentlich stärker nach lingual geneigt als die der Kontrollgruppe. Diese Beobachtung lässt sich mit der vorherrschenden anterioren Rotation der Mandibula und einer skelettalen Klasse III in Einklang bringen und bestätigt die Überlegungen vorangegangener Veröffentlichungen. Auch in *Baccettis* Untersuchung ist der Unterkiefer-Frontzahn im Durchschnitt leicht nach lingual geneigt [43], jedoch war der Unterschied im Gegensatz zu dieser Untersuchung nicht signifikant. Es ist denkbar, dass die Retroinklination im Rahmen einer dentalen Kompensation der skelettalen Anomalie der zu weit anterior liegenden Mandibula auftritt.

1-NB

Der Winkel zwischen dem unteren mittleren Schneidezahn und der Linie NB lag in den Untersuchungsgruppen signifikant niedriger ($p= 0,018$) als in den Kontrollgruppen und untermauert die Ergebnisse des Winkels 1-ML.

Abstand NB zu UK Frontzahn

Die Retroinklination der Frontzähne des Unterkiefers bei Infraokklusion wird statistisch nicht signifikant ($p=0,062$) durch den Abstand der Inzisalkante zur Linie NB dargestellt. Dieser fiel für die Untersuchungsgruppe im Schnitt geringer aus (3,22mm resp. 3,73mm) als in der Kontrollgruppe (4,56mm resp. 3,77mm). Wie bei den beiden vorgenannten Winkeln ist die Diskrepanz der Mittelwerte bei den Gruppen mit angelegten Nachfolgern deutlich größer. *Kula* erwähnt als Einziger eine Retroinklination der Unterkieferfrontzähne bei den weiblichen Patienten der Untersuchungsgruppe [67].

Eine mögliche Erklärung bezüglich der Retroinklination der Frontzähne liegt in einer verbreiterten Mandibula und damit einem größeren Platzangebot, das durch die Zunge verursacht werden könnte. Dazu müsste die Zunge eine posteriore Lage im Unterkiefer einnehmen. Möglicherweise ist dies der Fall, wenn sich der Zungenrand über den infraokkludierten

Milchmolaren legt und die Zungenspitze die Frontzähne des Unterkiefers somit nicht mehr berühren kann, sodass der Gegendruck zur Lippe wegfällt [123].

Die Retroinklination könnte auch damit zusammenhängen, dass der ankylosierte Milchmolar möglicherweise die mesialisierende Kraft des ersten Molaren abfängt und diese Kraft in der Front des Unterkiefers fehlt [1]. Ein Hinweis auf eine solche Genese könnten auch die von *Becker* beobachtete Mittellinienverschiebung in Richtung des infraokkludierten Zahns [90] und die Lückenbildung mesial des ankylosierten Zahns darstellen [124].

6.5 Parameter Modellanalyse

Overjet und Overbite

Die statistische Auswertung des horizontalen und vertikalen Überbisses war in Übereinstimmung mit einer vorangegangenen Studie [43] für beide Parameter nicht signifikant ($p=0,850$ resp. $p=0,308$). Es ist zu vermuten, dass bei den Patienten der Untersuchungsgruppen der geringere ANB-Winkel und die Retroinklination der Frontzähne im Unterkiefer keinen Einfluss auf Overjet und Overbite haben, da sie sich gegenseitig neutralisieren.

Kreuzbiss

Deutlich, aber statistisch nicht signifikant ($p=0,079$) unterschieden sich die Patienten bezüglich des Auftretens eines Kreuzbisses. In dieser Studie lagen die größten Differenzen zwischen den beiden Untersuchungsgruppen. Bei angelegtem Nachfolger traten über viermal so häufig Kreuzbisse auf wie bei Aplasie des bleibenden Zahns. Damit lag die Untersuchungsgruppe ohne Nachfolger bezüglich des Auftretens von Kreuzbissen sogar unter der korrespondierenden Vergleichsgruppe. Es wurde zudem kein Patient festgestellt, der bei Aplasie des Nachfolgers auf der Seite der Infraokklusion einen Kreuzbiss entwickelt hat. Damit zeigte sich wie auch schon bei der Eckzahnverlagerung erneut ein wesentlicher Unterschied zwischen den Untersuchungsgruppen. Das deutlich häufigere Auftreten von Kreuzbissen und Eckzahnverlagerungen bei angelegten Nachfolgern könnte man mit einer gestörten Zungenfunktion in Einklang bringen. Nimmt die Zunge eine posteriore Lage im Unterkiefer ein, so sind einerseits Kreuzbisse durch die

breitere Mandibula, aber auch Eckzahnverlagerungen durch den fehlenden Wachstumsimpuls im Oberkiefer denkbar.

Kippung Nachbarzähne

Wie erwartet kippen die Nachbarzähne mit zunehmendem Ausmaß der Infraokklusion in Richtung des betroffenen Zahns. Die transseptalen Fasern des Parodonts verlaufen dabei im Gegensatz zur physiologischen horizontalen Ausrichtung zunehmend vertikal. Die daraus resultierende Kraft wirkt auf die Nachbarzähne des infraokkludierten Zahns. Da die transseptalen Fasern koronal des Widerstandszentrums ansetzen, kippen die Kronen der Nachbarzähne aufeinander zu, während sich der Abstand zwischen den Wurzelspitzen vergrößert [75, 125].

Okklusionskontakte

Erwartungsgemäß lag in den Untersuchungsgruppen wesentlich häufiger kein Kontakt zum Gegenzahn vor als in den Kontrollgruppen. Auffällig war jedoch, dass in der Untersuchungsgruppe mit angelegtem Nachfolger in mehreren Fällen ein Okklusionskontakt nur im mesialen Bereich des Zahns besteht. Als denkbare Ursache hierfür wurde die Zahnachse des Nachfolgers untersucht, die jedoch diesbezüglich keine Auffälligkeiten zeigte. Eine mögliche Erklärung für die genannten Feststellungen wäre, dass in der Untersuchungsgruppe mit Nachfolger die Milchmolaren etwas nach distal gekippt waren und somit der mesiale Anteil des Zahns eher Kontakt zum Gegenkiefer aufbauen konnte.

Ausmaß Infraokklusion

Die in die Auswertung aufgenommenen ersten Milchmolaren verzeichneten eine durchschnittliche Infraokklusion von 2,4 mm, während diese bei den zweiten Milchmolaren 2,00 mm betrug. In der Literatur finden sich Mittelwerte von 1,91 mm für die ersten und 2,59 mm für die zweiten Milchmolaren [26]. Damit sind die Werte dieser Untersuchung ähnlich hoch, unterscheiden sich aber dahingehend, dass der erste Milchmolar ein größeres Ausmaß an Infraokklusion aufwies als der zweite. Gründe dafür können die unterschiedlichen angewandten Messmethoden für die Infraokklusion darstellen beziehungsweise die Methodik der Auswertung, bei der in der gegenständlichen Untersuchung nur der Zahn mit der am stärksten ausgeprägten Infraokklusion berücksichtigt wurde.

6.6 Korrelationen

In der Korrelationsanalyse nach Spearman zeigte sich eine schwache positive Korrelation des Ausmaßes der Infraokklusion der Milchmolaren mit dem Overbite, nicht jedoch mit dem Overjet. Betrachtet man die anteriore Rotation des Unterkiefers, die mit einer Retroinklination der Unterkieferfrontzähne sowie der Tendenz zur skelettalen Klasse III einhergeht, so kann es durchaus sein, dass sich diese beiden Anomalien bezüglich des Overjets neutralisierten und aus diesem Grund keine Korrelation erkennbar war. Nachvollziehbar ist zudem, dass bei erhöhtem Ausmaß an Infraokklusion und der damit verbundenen erhöhten Retroinklination, also einem Steilstand der Frontzähne im Unterkiefer der Overbite positiv korrelierte.

Die mittelstarke resp. schwache positive Korrelation von Overjet und Overbite mit dem ANB-Winkel erscheint logisch und kann als Bestätigung für die Homogenität der Daten angesehen werden. Gleiches gilt sowohl für die positive Korrelation von Overjet und Overbite, als auch für die positive Korrelation des Ausmaßes der Infraokklusion des ersten und zweiten Milchmolaren.

Überraschenderweise war keine signifikante Korrelation zwischen der Zahnachse des Nachfolgers und der Lokalisation der Wurzelresorption zu erkennen. Die Ursache dafür könnte sein, dass nicht nur die Angulation, sondern auch die Position des Zahnkeims berücksichtigt hätte werden müssen. Ein anderer Erklärungsansatz ist die unter 6.2 erläuterte Überlegung, dass sich bei beispielsweise distaler Angulation des Nachfolgers dessen mesiale Kronenhälfte nach kranial und die distale Kronenhälfte nach kaudal verlagern und damit die distale Angulation nicht unbedingt mit der distalen Resorption einhergehen könnte. Die Achse des Nachfolgers scheint sich in der Gesamtbetrachtung nicht als alleiniger Gesichtspunkt zur Vorhersage der Lokalisation der Wurzelresorption zu eignen.

Es ergab sich jedoch eine schwache negative Korrelation des Ausmaßes der Wurzelresorption mit deren Lokalisation. Dies bedeutet, dass bei mesialer Resorption der Milchzahn stärker resorbiert wurde als bei distaler.

Die Zahnachse des Nachfolgers korrelierte schwach positiv mit dem Ausmaß des Overjets. Anders ausgedrückt war beispielsweise bei distaler

Angulation des Nachfolgers der Overjet kleiner. Da distal angulierte Prämolaren aus klinischer Erfahrung gehäuft bei Patienten mit einer skelettalen Klasse III auftreten, lässt sich dieser Zusammenhang nachvollziehen. Außerdem lässt sich damit auch die positive Korrelation des ANB-Winkels mit der Zahnachse des Nachfolgers erklären.

Es bestand keine Korrelation des Ausmaßes der Infraokklusion mit dem Umfang der Resorption des zweiten Milchmolaren. Der erste Milchmolar zeigte jedoch eine mittelstarke positive Korrelation. Da die Resorption eines Zahns maßgeblich von dessen Nachfolger beeinflusst wird [116], liegt die Vermutung nahe, dass bei infraokkludierten Zähnen aufgrund der engeren Lagebeziehung zum Nachfolger die Resorption stärker voranschreitet. Diese Untersuchung ergab eine fehlende resp. eine mittelstarke Korrelation der Infraokklusion mit dem Ausmaß der Wurzelresorption des infraokkludierten Zahns und steht damit zum Teil im Widerspruch zu vorangegangenen Studien, die hierbei keinen Zusammenhang feststellten [118, 126].

Das Ausmaß der Infraokklusion des ersten Milchmolars korrelierte in dieser Untersuchung positiv mit dem ANB-Winkel. Der mit zunehmender Infraokklusion vergrößerte ANB-Winkel bestätigt die Beobachtung, dass die Infraokklusion mit einer skelettalen Klasse III einhergeht.

7 Schlussfolgerung

In der Literatur waren kephalometrische Daten bei vorherrschender Infraokklusion von Milchmolaren sehr selten Gegenstand einer Untersuchung. Das vereinzelt beschriebene Fehlen eines Zusammenhangs zwischen der Infraokklusion und kephalometrischen Gegebenheiten [81] konnte im Rahmen dieser Untersuchung nicht bestätigt werden. Vielmehr zeigte die Analyse der kephalometrischen Daten der Untersuchungsgruppen eindeutig eine Retroinklination der Frontzähne im Unterkiefer, gepaart mit einem verringerten ANB-Winkel.

Auch die Achse der Frontzähne wurde in vorangegangenen Publikationen kaum untersucht. In einer Studie von *Leonardi* aus 2005 [43] ist den Daten ebenfalls eine Retroinklination der Frontzähne zu entnehmen, die jedoch nicht signifikant ausgefallen war, weshalb ihr auch keine weitere Beachtung geschenkt wurde. Die Retroinklination der Schneidezähne des Unterkiefers ist beispielsweise eindeutig mit einer Mentalisdysfunktion vergesellschaftet. Eine mögliche Erklärung für diese Retroinklination bei vorherrschender Infraokklusion von Milchmolaren stellt die mit der anterioren Rotation der Mandibula verbundene erhöhte turn-over-Rate des Kieferknochens dar. [68, 70]

Ebenso könnte eine verbreiterte Mandibula und das damit einhergehende größere Platzangebot im anterioren Bereich des Unterkiefers eine Retroinklination der Frontzähne herbeiführen. Maßgeblich beeinflusst wird die sagittale und transversale Entwicklung des Unterkiefers jedoch durch die Zunge [51]. Autoren vorangegangener Studien haben teilweise einen fundamentalen Einfluss der Zunge auf die Infraokklusion postuliert [19]. Darin aber die alleinige Ursache auszumachen, erscheint aufgrund der vielfach beobachteten assoziierten Anomalien und familiären Häufung als unwahrscheinlich. Trotzdem hat die Zunge sicherlich einen herausragenden modulierenden Einfluss auf die Entwicklung der Infraokklusion. Besteht auch nur eine geringe – höchstwahrscheinlich nicht von der Zunge verursachte – Infraposition eines Zahns, so lagern die Patienten ihre Zunge automatisch dort ein und üben damit einen gewissen Druck aus. Damit ließe sich das gehäufte Auftreten von Kreuzbissen und verkleinerten ANB-Winkeln erklären, weil in diesem Fall der durch die Zunge ausgelöste Wachstumsimpuls im Oberkiefer fehlt und stattdessen im Unterkiefer liegen würde. Führt man diesen Gedanken fort, so stellt sich die Frage, ob

möglicherweise sogar die Genese der häufig beschriebenen, mit Infraokklusion assoziierten Anomalien durch dieses Zungenpressen beeinflusst wird. So liegt zum Beispiel die Überlegung nahe, dass die eher seltenen Fälle der Infraokklusion im Oberkiefer maßgeblich durch die Effekte der Einlagerung und des Pressens der Zunge im Bereich des im Unterkiefer infraokkludierten Zahns entstanden sind. Dies würde auch mit dem deutlich geringeren Auftreten von infraokkludierten Zähnen im Oberkiefer in Einklang stehen. Gleiches gilt für Eckzahn-verlagerungen, die möglicherweise durch den fehlenden Wachstumsimpuls am anterioren Gaumen begünstigt wurde. Denkbar wäre natürlich auch, dass beispielsweise eine Kombination aus Zungendruck und erhöhter turn-over-Rate die mit Infraokklusion assoziierten Begleiterscheinungen beeinflussen. In der vorliegenden Arbeit bestand eine wesentliche Herausforderung darin, bei der Interpretation der ermittelten Werte zu unterscheiden, welche Parameter als Ursache der Infraokklusion und welche wiederum nur als deren Folge anzusehen sind.

Im Gegensatz zu praktisch allen vorangegangenen Publikationen fand in der vorliegenden Arbeit eine Aufteilung der Untersuchungsgruppe bezüglich der vorhandenen Anlage des Nachfolgers statt. Grundidee war dabei, die Infraokklusion auch in Abhängigkeit von der Anlage des Nachfolgers zu untersuchen und beide Gruppen miteinander zu vergleichen.

Die ermittelten Werte stimmten überwiegend mit denen aus vorherigen Untersuchungen überein. In einigen Fällen gab es jedoch deutliche Differenzen zu diesen, die nicht nur zwischen den Untersuchungs- und Kontrollgruppen, sondern auch zwischen den beiden Untersuchungsgruppen auftraten. Es zeigte sich, dass viele Werte, wie z.B. auch die Retroinklination der Frontzähne in den Untersuchungsgruppen generell sehr ähnlich lagen, in der Untersuchungsgruppe mit angelegtem Nachfolger aber überwiegend eine stärkere Ausprägung zeigten. Auch die Parameter Eckzahnverlagerung und Kreuzbiss waren in dieser Gruppe signifikant häufiger.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung legen nahe, dass die Infraokklusion bei gleichzeitiger Aplasie des Nachfolgers einer getrennten Betrachtung bedarf. Welche Kausalitäten hierbei eine Rolle spielen, darüber lässt sich nur spekulieren. Der Einfluss der Zunge und das vorliegende Wachstumsmuster könnte jedoch – wie bereits oben geschildert – von größerer Bedeutung sein, als bisher in der Literatur vermutet wird.

8 Zusammenfassung

Die Infraokklusion von Milchmolaren beschreibt eine Eruptionsstörung von Milchzähnen, die in ihrer vertikalen Entwicklung zurückbleiben und dadurch eine Position unterhalb der Okklusionsebene einnehmen. Diese mit einer Häufigkeit von 1,4% bis 35% bei unterschiedlichen Ausprägungen auftretende Anomalie betrifft eine durchaus große Zahl an Patienten und rechtfertigt eine intensive Betrachtung.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, nach möglichen Relationen zwischen der Infraokklusion von Milchmolaren und anderen dentalen Anomalien, aber auch skelettalen Parametern zu suchen. Dabei wurde eine differenzierte Betrachtung bezüglich der Anlage des nachfolgenden, bleibenden Zahns vorgenommen.

Im Rahmen der rein retrospektiven Untersuchung wurden die Daten ausschließlich anhand von bereits bestehenden Orthopantomogrammen, Fernröntgenaufnahmen und Gipsmodellen gewonnen und anonymisiert erfasst. Die Untersuchungsgruppe umfasste 67 Probanden, die bei einem Durchschnittsalter von 10,7 Jahren eine Infraokklusion von mindestens 1mm aufwiesen, sowie eine gleich große Kontrollgruppe ohne Infraokklusion. Von jedem der ausgewählten Fälle wurden die Situationsmodelle analysiert sowie deren Orthopantomogramme nach weiteren dentalen Anomalien wie Nichtanlagen, Eckzahnverlagerungen und Karies untersucht. Zudem wurden anhand der Fernröntgenseitenaufnahmen kephalometrische Daten erfasst.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung lassen sich nach statistischer Auswertung wie folgt zusammenfassen:

- Die Infraokklusion war in dieser Untersuchung mit einer erhöhten Prävalenz für weitere dentale Anomalien wie z.B. Nichtanlagen oder Eckzahnverlagerungen assoziiert, was sich auch mit den Ergebnissen in der Literatur deckt [2, 8-10].

- Der zum Teil in vorangegangenen Untersuchungen [81] erwähnte fehlende Zusammenhang zwischen der Infraokklusion und kephalometrischen Gegebenheiten konnte nicht bestätigt werden. Vielmehr zeigte die Analyse der kephalometrischen Daten der Untersuchungsgruppen eine statistisch signifikante Retroinklination der Frontzähne im Unterkiefer, gepaart mit einem verringerten ANB-Winkel.
- Durch die erfolgte Trennung der Untersuchungsgruppe in Bezug auf die Anlage des Nachfolgers konnten zudem weitere Ergebnisse gewonnen werden. Es zeigten sich besonders bei den Parametern Eckzahnverlagerung und Kreuzbiss deutliche Unterschiede in Abhängigkeit davon, ob der entsprechende Nachfolger angelegt war.

Die Therapieoptionen bei infraokkludierten Milchmolaren wurden in der Vergangenheit sehr häufig und kontrovers diskutiert. Für die Wahl einer geeigneten Therapie ist daher ein möglichst umfassendes Verständnis der Genese dieser Anomalie unabdingbar.

Die in dieser Untersuchung festgestellte Retroinklination der Frontzähne des Unterkiefers und der verringerte ANB-Winkel konnten in der bisherigen Literatur nicht gefunden werden. Sie können jedoch mit der bereits in der Literatur beschriebenen, bei Infraokklusion vorherrschenden, anterioren Rotation der Mandibula und der damit einhergehenden erhöhten turn-over Rate des Kieferknochens in Einklang gebracht werden. [43, 68] Es wurde bereits häufig beschrieben, dass genetische Faktoren als Ursache für die Infraokklusion sowie die damit assoziierten Anomalien anzusehen sind. Dies konnte in der vorliegenden Untersuchung bestätigt werden.

Im Rahmen dieser Untersuchung stellte sich zudem heraus, dass die Infraokklusion häufig mit einem tendenziell horizontalen Wachstumsmuster einhergeht. Die sich daraus ergebenden Möglichkeiten der Früherkennung solcher Fälle halten sich jedoch in Grenzen. Die wesentlich sinnvollere Herangehensweise ist es, sich nicht auf die Früherkennung der Infraokklusion zu versteifen, da der Erkenntnisgewinn für die Therapie begrenzt ist und das Auftreten infraokkludierter Zähne vielmehr als Indikator für die möglicherweise vorhandenen assoziierten Anomalien anzusehen.

9 Literaturverzeichnis

1. Tieu, L.D., et al., *Management of ankylosed primary molars with premolar successors: a systematic review*. The Journal of the American Dental Association, 2013. **144**(6): p. 602-611.
2. Odeh, R., G. Townsend, and S. Mihailidis, *Infraocclusion: Dental development and associated dental variations in singletons and twins*. 2015: Elsevier Ltd.
3. Stahl, F., R. Grabowski, and K. Wigger, *Epidemiological Significance of Hoffmeister's "Genetically Determined Predisposition to Disturbed Development of the Dentition"*. 2003, Munich: Urban & Vogel.
4. Kurol, J., *Infraocclusion of primary molars: an epidemiologic and familial study*. 1981, Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.
5. Odeh, R., S. Mihailidis, and G. Townsend, *Prevalence of infraocclusion of primary molars determined using a new 2D image analysis methodology*. 2016.
6. Krakowiak, F., *Ankylosed primary molars*. ASDC journal of dentistry for children, 1977. **45**(4): p. 288-292.
7. Koyoumdjisky-Kaye, E. and S. Steigman, *Ethnic variability in the prevalence of submerged primary molars*. Journal of dental research, 1982. **61**(12): p. 1401-1404.
8. Shalish, M., et al., *Increased occurrence of dental anomalies associated with infraocclusion of deciduous molars*. Angle Orthodontist, 2010. **80**(3): p. 440-445.

9. Baccetti, T., *A controlled study of associated dental anomalies*. The Angle orthodontist, 1998. **68**(3): p. 267-274.
10. Salem, K., et al., *Infraocclusion of Primary Molars and Associated Dental Anomalies*. Research Journal of Biological Sciences, 2009. **4**(12): p. 1217-1220.
11. Messer, L.B. and J.T. Cline, *Ankylosed primary molars: results and treatment recommendations from an eight-year longitudinal study*. Pediatr Dent, 1980. **2**(1): p. 37-47.
12. Biederman, W., *The incidence and etiology of tooth ankylosis*. 1956: Elsevier Science (USA).
13. Müller, G., *Die Retention von Milchzähnen (II)*. 1975, Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag.
14. Darling, A.I. and B.G.H. Levers, *Submerged human deciduous molars and ankylosis*. 1973: Elsevier Ltd.
15. Wise, G., S. Frazier-Bowers, and R. D'souza, *Cellular, molecular, and genetic determinants of tooth eruption*. Critical Reviews in Oral Biology & Medicine, 2002. **13**(4): p. 323-335.
16. 和光, 衛., 博. 北川, and 卓. 原田, *Three Cases of Submerged Permanent and Deciduous Teeth in Alveolar Bone in the Mandibular Molar Region and Review of the Literature*. 1998: Japanese Society for Oral and Maxillofacial Radiology.
17. Raghoobar, G.M., et al., *Secondary retention of permanent molars: a histologic study*. Journal of Oral Pathology & Medicine, 1989. **18**(8): p. 427-431.

18. Hoffmeister, H., *Pathologische Trias oder Vielfalt beim Zahnwechsel?* 1986, Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag.
19. Pytlik, W., *Das abwegige Verhalten der Zunge beim Schlucken als Ursache der Ankylose und Zahndurchbruchsbehinderung.* 1982, Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag.
20. Dixon, D.A., *Observations on submerging deciduous molars.* 1964, D. Practitioner 13: Elsevier Science (USA).
21. Mueller, C.T., et al., *Prevalence of ankylosis of primary molars in different regions of the United States.* ASDC J Dent Child, 1983. **50**(3): p. 213-8.
22. Hvaring, C.L., B. gaard, and A. Stenvik, *The prognosis of retained primary molars without successors: infraocclusion, root resorption and restorations in 111 patients.* 2014: Oxford University Press.
23. Brearley, L.J. and D.H. McKibben, Jr., *Ankylosis of primary molar teeth. I. Prevalence and characteristics.* ASDC J Dent Child, 1973. **40**(1): p. 54-63.
24. Steigman, S., E. Koyoumdjisky-Kaye, and Y. Matrai, *Submerged Deciduous Molars in Preschool Children: An Epidemiologic Survey.* Journal of Dental Research, 1973. **52**(2): p. 322-326.
25. Kurol, J. and G. Koch, *The effect of extraction of infraoccluded deciduous molars: A longitudinal study.* American journal of orthodontics, 1985. **87**(1): p. 46-55.
26. Silvestrini, B.A., et al., *Incidence and distribution of deciduous molar ankylosis, a longitudinal study.* European journal of paediatric dentistry: official journal of European Academy of Paediatric Dentistry, 2011. **12**(3): p. 175-178.

27. Aranha, A.M.F., et al., *Tooth ankylosis in deciduous teeth of children with cleft lip and/or palate*. Brazilian oral research, 2004. **18**(4): p. 329-332.
28. Cobourne, M.T. and P.T. Sharpe, *Diseases of the tooth: the genetic and molecular basis of inherited anomalies affecting the dentition*. 2013, Hoboken, USA: John Wiley & Sons, Inc.
29. Brook, A., J. Jernvall, and R. Smith, *The dentition: the outcomes of morphogenesis leading to variations of tooth number, size and shape*. 2014.
30. Ohazama, A. and P.T. Sharpe, *TNF signalling in tooth development*. 2004: Elsevier Ltd.
31. Brook, A.H., *Multilevel complex interactions between genetic, epigenetic and environmental factors in the aetiology of anomalies of dental development*. 2009: Elsevier Ltd.
32. Müller, G. and E. Sauerwein, *Die Retention von Milchzähnen*. 1973, Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag.
33. Biederman, W., *Etiology and treatment of tooth ankylosis*. American Journal of Orthodontics, 1962. **48**(9): p. 670-684.
34. Andersson, L., L. Blomlöf, and S. Lindskog, *Tooth ankylosis: Clinical, radiographic and histological assessments*. 1984: Elsevier Inc.
35. Kuroi, J. and B.C. Magnusson, *Infraocclusion of primary molars: a histologic study*. 1984, Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.
36. Winter, G., M. Gelbier, and J. Goodman, *Severe infra-occlusion and failed eruption of deciduous molars associated with eruptive and developmental disturbances in the permanent dentition: a report of 28 selected cases*. British Journal of Orthodontics, 1997. **24**(2): p. 149-158.

37. Ureles, S.D., J.M. Chrzan, and L.A. Norton, *A role for TNF in bone resorption of deciduous molars in human beings*. 2000: Mosby, Inc.
38. Kjær, I., M. Fink-Jensen, and J.O. Andreasen, *Classification and sequelae of arrested eruption of primary molars*. 2008, Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.
39. Oliveira Gondim, J., *An Unusual Case of Severe Primary Molar Infraocclusion*. 2013: American Academy of Pediatric Dentistry.
40. Kurol, J., *Infraocclusion of primary molars. An epidemiological, familial, longitudinal clinical and histological study*. Swedish dental journal. Supplement, 1983. **21**: p. 1-67.
41. Mancini, G., et al., *Primary tooth ankylosis: report of case with histological analysis*. ASDC J Dent Child, 1995. **62**(3): p. 215-9.
42. Andreasen, J.O., *Analysis of pathogenesis and topography of replacement root resorption (ankylosis) after replantation of mature permanent incisors in monkeys*. Swedish dental journal, 1980. **4**(6): p. 231-240.
43. Leonardi, M., et al., *Mandibular growth in subjects with infraoccluded deciduous molars: a superimposition study*. The Angle Orthodontist, 2005. **75**(6): p. 927-934.
44. Sezer, B., *Infraocclusion of primary molars: A review and report of a case*. 2002: American Academy of Pediatric Dentistry.
45. Atrizadeh, F., J. Kennedy, and H. Zander, *Ankylosis of teeth following thermal injury*. Journal of periodontal research, 1971. **6**(3): p. 159-167.
46. Raghoebar, G.M., L.P. Ten Kate, and C.A.M. Hazenberg, *Secondary retention of permanent molars: a report of five families*. 1992: Elsevier Ltd.

47. Via, W.F., *Submerged deciduous molars: familial tendencies*. 1964: Elsevier Inc.
48. Peck, S., L. Peck, and M. Kataja, *Prevalence of tooth agenesis and peg-shaped maxillary lateral incisor associated with palatally displaced canine (PDC) anomaly*. 1996: Mosby, Inc.
49. Dewhurst, S.N., J.C. Harris, and R. Bedi, *Infraocclusion of primary molars in monozygotic twins: report of two cases*. 1997, Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.
50. Kaiser, G., E. Rosenfeld, and K. Wetzelschaidt, *Bio- und Gentechnologie. Anwendungsfelder und wirtschaftliche Perspektiven*, Frankfurt/M., New York: Campus, 1997.
51. Breustedt, A., *Die Funktionen von Zunge, Lippen und Wangen im Lichte experimenteller Untersuchungsergebnisse*. 1966, Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag.
52. Mew, J., *Re: Infraocclusion and the tongue*. *The Angle orthodontist*, 2006. **76**(3): p. following 541.
53. Hoffmeister, H., *Zungendruck oder vererbte Störanfälligkeit Hauptursache der Infraposition und Inklusion von Milchmolaren?* 1983, Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag.
54. Proffit, W. and S. Frazier-Bowers, *Mechanism and control of tooth eruption: overview and clinical implications*. 2009, Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.
55. Turgut, M.D., *Management of Occlusal and Developmental Disturbances Resulting from an Ankylosed Maxillary Second Primary Molar: Case Report*. 2003: American Academy of Pediatric Dentistry.

56. Casto, F.M., *Impacted deciduous teeth*. 1921: Elsevier Inc.
57. Lai, P.Y. and W.K. Seow, *A controlled study of the association of various dental anomalies with hypodontia of permanent teeth*. *Pediatr Dent*, 1989. **11**(4): p. 291-6.
58. Ertuğrul, F., A.V. Tuncer, and B. Sezer, *Infraclusion of primary molars: A review and report of a case*. *Journal of Dentistry for Children*, 2002. **69**(2): p. 166-171.
59. Garib, D.G., S. Peck, and S.C. Gomes, *Increased Occurrence of Dental Anomalies Associated with Second-Premolar Agenesis*. *The Angle Orthodontist*, 2009. **79**(3): p. 436-441.
60. Humerfelt, A. and K. Reitan, *Effects of hypercementosis on the movability of teeth during orthodontic treatment*. *The Angle orthodontist*, 1966. **36**(3): p. 179-189.
61. Peck, S., *Dental Anomaly Patterns (DAP) A New Way to Look at Malocclusion*. 2009.
62. Ericson, S. and J. Kurol, *Resorption of incisors after ectopic eruption of maxillary canines: a CT study*. *The Angle orthodontist*, 2000. **70**(6): p. 415-423.
63. Ericson, S. and J. Kurol, *Radiographic examination of ectopically erupting maxillary canines*. 1987: Mosby, Inc.
64. Grover, P.S. and L. Lorton, *The incidence of unerupted permanent teeth and related clinical cases*. 1985: Elsevier Inc.
65. Becker, A., I. Gillis, and N. Shpack, *The etiology of palatal displacement of maxillary canines*. *Clinical orthodontics and research*, 1999. **2**(2): p. 62-66.

66. Ericson, S. and J. Kurol, *Early treatment of palatally erupting maxillary canines by extraction of the primary canines*. The European Journal of Orthodontics, 1988. **10**(4): p. 283-295.
67. Kula, K., et al., *An occlusal and cephalometric study of children with ankylosis of primary molars*, in *Journal of Pedodontics*. 1984.
68. Björk, A., *Prediction of mandibular growth rotation*. American journal of orthodontics, 1969. **55**(6): p. 585-599.
69. Cahill, D.R. and S.C. Marks, *Tooth eruption: evidence for the central role of the dental follicle*. 1980, Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.
70. Marks, S.C. and H.E. Schroeder, *Tooth eruption: Theories and facts*. 1996, Hoboken: Wiley Subscription Services, Inc., A Wiley Company.
71. Haselden, K., J.A. Hobkirk, and J.K. Goodman, *Root resorption in retained deciduous canine and molar teeth without permanent successors in patients with severe hypodontia*. 2001, Oxford, UK: Blackwell Science Ltd.
72. Bauer, N., K. Heckmann, and A. Sand, *Craniofacial Growth Patterns in Patients with Congenitally Missing Permanent Teeth**. 2009, Munchen: Urban and Vogel.
73. Rozylo-Kalinowska, I., A. Kolasa-Raczka, and P. Kalinowski, *Dental age in patients with impacted maxillary canines related to the position of the impacted teeth*. 2011: Oxford University Press.
74. Demirjian, A., H. Goldstein, and J. Tanner, *A NEW SYSTEM OF DENTAL AGE ASSESSMENT*. 1973, Baltimore: Johns Hopkins Press.

75. Becker, A., et al., *The effects of infraocclusion: Part 1. Tilting of the adjacent teeth and local space loss*. 1992: Mosby, Inc.
76. Peck, S., *On the phenomenon of intraosseous migration of nonerupting teeth*. 1998: Mosby, Inc.
77. Dias, C., L. Quadrado Closs, and V. Fontanella, *Vertical alveolar growth in the presence of infraoccluded mandibular primary molars*. 2011: Mosby, Inc.
78. Peretz, B., et al., *Inter-relations between infraocclusion of primary mandibular molars, tipping of adjacent teeth, and alveolar bone height*. *Pediatric dentistry*, 2013. **35**(4).
79. Kurol, J. and L. Olson, *Ankylosis of primary molars—a future periodontal threat to the first permanent molars?* *The European Journal of Orthodontics*, 1991. **13**(5): p. 404-409.
80. Kurol, J., *Ankylosis of Primary Molars—A future Periodontal threat to the First Permanent Molars?* 1993: Mosby, Inc.
81. Kurol, J. and B. Thilander, *Infraocclusion of primary molars with aplasia of the permanent successor: a longitudinal study*. *The Angle orthodontist*, 1984. **54**(4): p. 283-294.
82. Holberg, C., S. Steinhäuser, and P. Geis, *Cone-Beam Computed Tomography in Orthodontics: Benefits and Limitations*. 2005, Munich: Urban & Vogel.
83. Loriato, L.B., et al., *Late diagnosis of dentoalveolar ankylosis: impact on effectiveness and efficiency of orthodontic treatment*. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2009. **135**(6): p. 799-808.

84. Chaushu, S., A. Becker, and G. Chaushu, *Orthosurgical treatment with lingual orthodontics of an infraoccluded maxillary first molar in an adult*. 2004: Mosby, Inc.
85. Ekim, S.L. and S. Hatibovic-Kofman, *A treatment decision-making model for infraoccluded primary molars*. 2001, Oxford, UK: Blackwell Science Ltd.
86. Nolte, D., K. Hinrichs, and S. Lange, *Die autogene Zahntransplantation: ein aktueller evidenzbasierter systematischer Review*.
87. McGeown, M. and A. O'Connell, *Management of primary molar infraocclusion in general practice*. Journal of the Irish Dental Association, 2014. **60**(4).
88. Ponduri, S., D.J. Birnie, and J.R. Sandy, *Infraocclusion of secondary deciduous molars—an unusual outcome*. Journal of orthodontics, 2009. **36**(3): p. 186-189.
89. Steiner-Oliveira, C., M.B.D. Gavião, and M.N. dos Santos, *Congenital agenesis of premolars associated with submerged primary molars and a peg-shaped lateral incisor: a case report*. Quintessence International, 2007. **38**(5).
90. Becker, A., et al., *The effects of infraocclusion: Part 3. Dental arch length and the midline*. 1992: Mosby, Inc.
91. Kurol, J., *Impacted and ankylosed teeth: Why, when, and how to intervene*. 2006: Mosby, Inc.
92. Sidhu, H. and A. Ali, *Case report: Hypodontia, ankylosis and infraocclusion: report of a case restored with a fibre-reinforced ceramic bridge*. British dental journal, 2001. **191**(11): p. 613-616.

93. Fines, C.D., J. Rebellato, and M. Saiar, *Congenitally missing mandibular second premolar: treatment outcome with orthodontic space closure*. 2003: Mosby, Inc.
94. Sabri, R., *Management of over-retained mandibular deciduous second molars with and without permanent successors*. World J Orthod, 2008. **9**(3): p. 209-20.
95. Raghoebar, G.M., G. Boering, and A. Vissink, *Clinical, radiographic and histological characteristics of secondary retention of permanent molars*. 1991: Elsevier Ltd.
96. Sletten, D.W., B.M. Smith, and K.A. Southard, *Retained deciduous mandibular molars in adults: a radiographic study of long-term changes*. 2003: Mosby, Inc.
97. Bjerklin, K., et al., *Agenesis of mandibular second premolars with retained primary molars. A longitudinal radiographic study of 99 subjects from 12 years of age to adulthood*. The European Journal of Orthodontics, 2008. **30**(3): p. 254-261.
98. Aktan, A.M., İ. Kara, and İ. Şener, *An evaluation of factors associated with persistent primary teeth*. 2012: Oxford University Press.
99. Giachetti, L., F. Bertini, and D. Landi, *Morphological and functional rehabilitation of severely infra-occluded primary molars in the presence of aplasia of the permanent premolar: A clinical report*. 2005: Mosby, Inc.
100. Ith-Hansen, K. and I. Kjr, *Persistence of deciduous molars in subjects with agenesis of the second premolars*. 2000: Oxford University Press.
101. Shalish, M., S. Peck, and A. Wasserstein, *Malposition of unerupted mandibular second premolar associated with agenesis of its antimere*. 2002: Mosby, Inc.

102. Shalish, M., *Adequacy of mandibular premolar position despite early loss of its deciduous molar*. 2002: American Academy of Pediatric Dentistry.
103. Mitchell, D.L. and J.D. West, *Attempted orthodontic movement in the presence of suspected ankylosis*. 1975: Elsevier Science (USA).
104. Herman, E., *Evaluation and management of ankylosed teeth*. NY State Dent. J., 1964. **30**: p. 327-333.
105. Gat, H., et al., *Dental age evaluation. A new six-developmental-stage method*. Clin Prev Dent, 1984. **6**(2): p. 18-22.
106. Dausch-Neumann, D., *Der Durchbruchsweg bleibender Eckzähne*. 1970, Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag.
107. Segner, D. and A. Hasund, *Individualisierte Kephalometrie*. 1998, Hamburg: Segner. 156 S. .:
108. Ehrenfeld, M., et al., *Kieferorthopädie*. 2011: Thieme.
109. Jacobson, A., *The subjective need and demand for orthodontic treatment*. 1994: Mosby, Inc.
110. Larmour, C.J., et al., *Hypodontia—a retrospective review of prevalence and etiology. Part I*. Quintessence Int, 2005. **36**(4): p. 263-70.
111. 勝又, 由., 徹. 齊藤, and 恵. 山田, *A Study on the Prevalance and Longitudinal Change of Infraocclusions of Primary Molars*. 1994: The Japanese Society of Pediatric Dentistry.
112. Lisson, J., A and K. Heckmann, A, *Die Rolle der Orofazialen Dyskinesien bei „offenem Biss“*. 2008: © Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York.

113. Brückl, H. and E. Träger, *Untersuchungen über Art und Häufigkeit anomaler Schluckgewohnheiten*. 1962, Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag.
114. Symons, A.L., F. Stritzel, and J. Stamation, *Anomalies associated with hypodontia of the permanent lateral incisor and second premolar*. J Clin Pediatr Dent, 1993. **17**(2): p. 109-11.
115. Wasserstein, A., et al., *Angular Changes and Their Rates in Concurrence to Developmental Stages of the Mandibular Second Premolar*. The Angle Orthodontist, 2004. **74**(3): p. 332-336.
116. Obersztyń, A., *Experimental Investigation of Factors Causing Resorption of Deciduous Teeth*. Journal of Dental Research, 1963. **42**(2): p. 660-674.
117. Prove, S., A. Symons, and I. Meyers, *Physiological root resorption of primary molars*. J Clin Pediatr Dent, 1992. **16**(3): p. 202-6.
118. Nordquist, I., B. Lennartsson, and J. Paulander, *Primary teeth in adults--a pilot study*. Swedish dental journal, 2004. **29**(1): p. 27-34.
119. Kırziođlu, Z., T. Köşeler Şentut, and M. Özyay Ertürk, *Clinical features of hypodontia and associated dental anomalies: a retrospective study*. 2005, Oxford, UK: Munksgaard International Publishers.
120. Steigman, S., E. Koyoumdjisky-Kaye, and Y. Matrai, *Relationship of submerged deciduous molars to root resorption and development of permanent successors*. J Dent Res, 1974. **53**(1): p. 88-93.
121. Göz, G., *Die Prävalenz der Milchmolaren–Ankylose und deren Korrelation mit weiteren Zahnanomalien im Patientengut einer kieferorthopädischen Praxis*. 2011.

122. Bishara, S.E., J.A. Fahl, and L.C. Peterson, *Longitudinal changes in the ANB angle and Wits appraisal: Clinical implications*. 1983: Elsevier Inc.
123. Karwetzky, R., *Der seitlich offene Biß*. 1982, Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag.
124. Yilmaz, R., A. Darling, and B. Levers, *Mesial drift of human teeth assessed from ankylosed deciduous molars*. Archives of oral biology, 1980. **25**(2): p. 127-131.
125. Becker, A., et al., *The effects of infraocclusion: Part 2. The type of movement of the adjacent teeth and their vertical development*. 1992: Mosby, Inc.
126. Rune, B. and K.-V. Sarnäs, *Root resorption and submergence in retained deciduous second molars. A mixed-longitudinal study of 77 children with developmental absence of second premolars*. European Journal of Orthodontics, 1984. **6**(2): p. 123-131.

10 Anhang

10.1 Erfassung der allgemeinen Patientendaten

Parameter	Wert
Alter	Alter in Jahren
Geschlecht	0 = männlich 1 = weiblich
Gruppe	1 = Untersuchungsgruppe mit Nachfolger (UG m. N.) 2 = Untersuchungsgruppe ohne Nachfolger (UG o. N.) 3 = Kontrollgruppe mit Nachfolger (KG m. N.) 4 = Kontrollgruppe ohne Nachfolger (KG o. N.)

10.2 Erfassung OPG

Parameter:	Wert:
Zahn	1 = erster Milchmolar 2 = zweiter Milchmolar
Quadrant	3 = dritter Quadrant 4 = vierter Quadrant
betroffene Seiten im UK	0 = eine Seite 1 = beide Seiten
Anlage Nachfolger	0 = Aplasie 1 = Nachfolger angelegt
Zahnalter GAT	0-5 gemäß den Stadien
Zahnachse	Gemessener Wert in Grad
Lamina Dura	0 = Lamina dura nicht durchgängig 1 = Lamina dura durchgängig
Karies	0 = keine Karies 1 = Karies
Füllung	0 = keine Füllung 1 = Füllung
Wurzelkanalbehandlung	0 = keine Wurzelkanalbehandlung 1 = Wurzelkanalbehandlung
Lokalisation Wurzelresorption	0 = mesial 1 = zentral 2 = distal
Ausmaß Wurzelresorption	0 = maximal die Hälfte der Wurzellänge 1 = mehr als die Hälfte der Wurzellänge
Entzündung Milchzahn	0 = keine Entzündung 1 = Entzündung

Hyperdontie	0 = keine Hyperdontie 1 = Hyperdontie
Hypodontie	0 = keine Hypodontie 1 = OK 2er 2 = UK 5er 3 = UK 2er 4 = OK 5er 5 = OK 3er 6 = multiple Nichtanlagen
Infraokklusion im OK	0 = keine Infraokklusion 1 = Infraokklusion
Betroffene Zähne im OK	0-4 gemäß der Anzahl
Eckzahnverlagerung OK	0 = keine Eckzahnverlagerung 1 = Eckzahnverlagerung

Tabelle 37: Parameter OPG

10.3 Erfassung Modellanalyse

Parameter:	Wert:
vertikale Differenz 4->6	in mm
vertikale Differenz 5->6	in mm
Okklusionskontakte	0 = gleichmäßig 1 = mesial 2 = distal 3 = kein Kontakt
Kreuzbiss	0 = kein Kreuzbiss 1 = Kreuzbiss
Kreuzbiss auf betroffener Seite	0 = kein Kreuzbiss 1 = Kreuzbiss
Overjet	in mm
Overbite	in mm
Kippung Nachbarzähne	0 = keine Kippung 1 = Kippung

Tabelle 38: Parameter Modellanalyse

11 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen haben.

Ich möchte mich bei Frau Prof. Dr. Andrea Wichelhaus sehr herzlich dafür bedanken, dass ich meine Dissertation an der Poliklinik für Kieferorthopädie durchführen durfte.

Besonders danke ich auch meinen Eltern für die uneingeschränkte, liebevolle Unterstützung während meines Studiums.

Mein größter Dank gilt meiner Doktormutter und Betreuerin Prof. Dr. med. dent. Ekaterini Paschos für die Überlassung des Dissertationsthemas und das mir damit entgegengebrachte Vertrauen. Ohne ihre exzellente und immer freundliche Betreuung über die Jahre hinweg, ihre vielen kompetenten Ratschläge und ihre bewundernswerte Energie wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

12 Eidesstattliche Versicherung

Tobias Rothmaier

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema „Die Infraokklusion von Milchmolaren und deren Assoziation mit dentalen und skelettalen Parametern“ selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

Neuötting, 20.05.2019

Tobias Rothmaier