

Diplomarbeit

Kieferorthopädische Miniimplantate in der Buccal-Shelf und Infrazygomatic Crest-Region Eine Literaturrecherche

eingereicht von
Marc Ksiazek

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor der Zahnmedizin
(Dr. med. dent)**

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der
**Klinische Abteilung für Orale Chirurgie und
Kieferorthopädie**

unter Anleitung von
**Univ. ZA Dr.med.univ. Dr.med.dent. Gal Ivancic
Univ. OÄ Priv.-Doz.ⁱⁿ Drⁱⁿ.scient.med. Drⁱⁿ.med.dent. Barbara Kirnbauer**

Graz, 18.11.2024

Eidesstattliche Erklärung

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

Des Weiteren erkläre ich hiermit, dass, sofern bei der Erstellung dieser Arbeit Künstliche Intelligenz (KI) Werkzeuge zur Generierung und/oder Korrektur bestimmter Textpassagen verwendet wurden, dieser Einsatz unter Einhaltung ethischer Grundsätze, akademischer Integrität und den Vorgaben meiner Universität erfolgte, sowie in Folge dies transparent gemacht und in angemessener Weise gekennzeichnet wurde.

Graz, 18.11.2024

Marc Ksiazek eh.

Danksagungen

Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen bedanken, die mich in den letzten Monaten unterstützt und motiviert haben.

Ganz besonders gilt dieser Dank Univ. ZA Dr.med.univ. Dr.med.dent. Gal Ivancic, der mich über die gesamte Zeit betreut hat. Erst durch ausgiebige Unterstützung, Motivation und kritisches Hinterfragen war es mir möglich diese Arbeit zu beenden. Vielen Dank für die Geduld, Mühe und Zeit.

Außerdem bedanke ich mich bei Univ. OÄ Priv.-Dozⁱⁿ.Drⁱⁿ.scient.med. Drⁱⁿ.med.dent. Barbara Kirnbauer für die umfassende Betreuung, Unterstützung und Auswertung der Diplomarbeit.

Zusammenfassung

Hintergrund: Temporary anchorage devices haben sich als wichtiges kieferorthopädisches Hilfsmittel etabliert und haben das Behandlungsspektrum erweitert. Durch die dadurch geschaffene skelettale Verankerung sind Distalisierungen ohne laborgefertigte Apparaturen möglich geworden. Ausschlaggebend für eine erfolgreiche Therapie ist die exakte Positionierung im Ober- und Unterkiefer, sowie Insertionstechnik und die Dimension des gewählten Implantats.

Zielsetzung: Ziel dieser Literaturrecherche ist die Erarbeitung einer Übersicht, welche den aktuellen klinischen Stand bezüglich der Lokalisation, Insertion, Planung und der biomechanischen Belastbarkeit von kieferorthopädischen Miniimplantaten im Bereich der Buccal-Shelf-Region und Infrazygomatic Crest-Region liefert.

Methode: Für die Datenerhebung und Analyse wurde eine Suchstrategie mit zuvor definierten Schlagwörtern angewandt. Die in den Datenbanken ermittelten Ergebnisse wurden tabellarisch zusammengefasst. Dafür wurden in der ersten Selektionsphase die Artikel in den Datenbanken durch das Lesen des Abstracts auf ihre Relevanz hin geprüft. Passende Artikel wurden auf diese Weise ausgesucht und anschließend durch lesen des vollständigen Papers auf Eignung geprüft. In ihrer Ausführung unzureichende Artikel wurden auf diese Weise ermittelt und aussortiert.

Ergebnisse: Anhand der Selektionskriterien wurden 625 Artikel nach Eingabe der Suchbegriffe in den wissenschaftlichen Datenbanken gesammelt. Weiterhin wurden die Artikel, die nicht den zuvor definierten Parametern entsprachen, ausselektiert. Nach einer anschließenden Prüfung auf Duplikate wurden 565 Artikel ausgeschlossen.

Von den 60 verbliebenen Artikeln wurde der Abstract gelesen und anschließend 32 Artikel ausgemustert. Von den Verbliebenen 28 Artikeln wurde das vollständige Paper gelesen. Am Ende der Selektion verblieben 21 Artikel, die für die Erstellung der Diplomarbeit genutzt wurden.

Schlussfolgerung: In der Buccal-Shelf-Region wird mehrheitlich eine Lokalisation distal vom zweiten Molaren empfohlen. Ein Vorbohren führt zur Schonung der Knochenstruktur und reduziert das postoperative Schmerzintervall. Die Angulation beträgt 30 Grad. Eine Implantatlänge von 9-12 mm und ein Schaftdurchmesser von 1.8-2.0 mm ermöglichen ein breites Behandlungsspektrum.

In der Infrazygomatic Crest-Region liegt die bevorzugte Insertionsposition auf Höhe der mesio-bukkalen Wurzel des zweiten Molaren. Selbstbohrende Implantate erzielen, aufgrund der weniger stark ausgeprägten Kortikalis, gute Ergebnisse. Der von der Mehrheit der Autoren empfohlene Insertionswinkel beträgt 60 Grad. Die Dimensionierung der Implantate liegt hier ebenfalls bei einer Länge von 9-12 mm und einem Durchmesser von 1.8-2.0 mm.

Abstract

Background: Temporary anchorage devices have established themselves as an important orthodontic aid and have expanded the range of treatments. The resulting skeletal anchoring makes distalizations possible without laboratory-made appliances. The decisive factor for successful therapy is the exact positioning in the upper and lower jaw, as well as the insertion technique and the dimensions of the selected implant

Objective: The aim of this literature search is to develop an overview that provides the current clinical status with regard to the localization, insertion, planning and biomechanical resilience of orthodontic mini-implants in the area of the buccal shelf region and infrazygomatic crest region.

Methods: A search strategy with previously defined keywords was used for data collection and analysis. The results determined in the databases were summarized in tables. In the first selection phase, the articles in the databases were checked for their relevance by reading the abstract. Suitable articles were selected in this way and then checked for suitability by reading the full paper. Items that were inadequate in their execution were identified and sorted out in this way.

Results: Using the selection criteria, 625 articles were collected in the scientific databases after entering the search terms. Furthermore, the articles that did not correspond to the previously defined parameters were selected. After a subsequent check for duplicates, 565 articles were excluded. Of the 60 remaining articles, the abstract was read and 32 articles were then discarded. Of the remaining 28 articles, the full paper was read. At the end of the selection, 21 articles remained that were used to write the thesis.

Conclusion: In the buccal-shelf-region, localization distal to the second molar is generally recommended. Pre-drilling protects the bone structure and reduces the postoperative pain interval. The angulation is 30 degrees. An implant length of 9-12 mm and a shaft diameter of 1.8-2.0 mm enable a wide range of treatments.

In the infrazygomatic crest region, the preferred insertion position is at the level of the mesio-buccal root of the second molar. Self-drilling implants achieve good results due to the less pronounced cortical bone. The insertion angle recommended by the majority of authors is 60 degrees. The dimensions of the implants are also 9-12 mm long and 1.8-2.0 mm in diameter.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung.....	II
Danksagungen.....	III
Zusammenfassung.....	IV
Abstract.....	VI
Abkürzungen und deren Erklärung.....	X
Abbildungsverzeichnis.....	XII
Fotoverzeichnis.....	XII
Tabellenverzeichnis.....	XIII
1. Einleitung.....	1
1.1 Implantate – Geschichte und Neuzeit.....	1
1.1.1 Materialkundliche Überlegungen.....	3
1.1.2 Oberflächenbeschaffenheit.....	6
1.2 Temporary Anchorage Devices.....	8
1.2.1 Verankerung.....	8
1.2.2 TADs – Hilfsmittel in der modernen Kieferorthopädie.....	11
1.2.3 Material der TADs.....	14
1.2.4 Länge und Durchmesser von TADs.....	16
1.2.5 Insertionslokalisation.....	17
1.2.6 Aufbau der Mini-Implantate.....	18
1.2.6.1 Schaft.....	19
1.2.6.2 Transgingivaler Bereich.....	22
1.2.6.3 Schraubenkopf.....	23
1.2.7 Zusätzliches Instrumentarium.....	28
1.2.8 Risiken.....	29
1.2.9 Explantation und Nachsorge.....	33
1.2.10 Erfolge und Misserfolge.....	34
2 Material und Methode.....	36
2.1 Selektion der Datenbanken, zentrale Fragestellung und Suchstrategie.....	36
2.2 Datenerhebung und Analyse.....	37
2.3 Auswahlkriterien der Artikel.....	38

3 Ergebnisse.....	39
3.1 Selektion und Auswahl.....	39
3.2 Abbildung der Literaturrecherche.....	40
3.3 Artikelübersicht.....	41
3.4 Artikel.....	45
4 Diskussion.....	81
4.1 Insertionsposition der TADs im Bereich der IZC.....	81
4.2 Insertionsposition der TADs im Bereich der BS.....	83
4.3 Insertionstechnik in der Buccal-Shelf.....	84
4.4 Insertionstechnik in der Infrazygomatic Crest.....	86
4.5 Insertion unter Berücksichtigung zusätzlicher biologischer Faktoren.....	87
4.6 Dimension der Temporary Anchorage Devices.....	88
4.7 Dimension der TADs in der Buccal-Shelf-Region.....	88
4.8 Dimension der TADs in der Infrazygomatic Crest-Region.....	89
4.9 Materialkundliche Überlegungen.....	89
5 Schlussfolgerung.....	91
6 Literaturverzeichnis.....	95

Abkürzungen und deren Erklärung

AG	Attached gingiva
BS	Buccal-Shelf
Bss	Bone screws
BTH	Bone thickness and height
CA.	Circa
CAD	Computer-aided design
CAM	Computer-aided manufacturing
CBCT	Cone-beam computed tomography
CEJ	Cemento-enamel junction
CN	Centi-Newton
DB1M	Disto-buccal cusp of 1st molar
DB2M	Disto-buccal cusp of 2nd molar
DVT	Digitale Volumen Tomography
E-Modul	Elastizitätsmodul
G	Gramm
IANC	Inferior alveolar nerve canal
IP	Insertionsposition
ISQ	Implantat stability quotient
ITADs	Interradicular anchorage devices
IZC	Infrazygomatic Crest
MANOVA	Multivariate analysis of Variance
MBS	Mandibular buccal shelf
MB1M	Mesio-buccal cusp of 1st molar
MM	Moveable mucosa
Ncm	Newtoncentimeter
N/mm ²	Megapascal
OMI	Orthodontic mini implants
PD	Pre-drilling
pH	Pondus hydrogenii bzw. Potential des Wasserstoffes

SD	Self-drilling
SS	Stainless steel
TADs	Temporary Anchorage Devices
TiA	Titanium alloy
Ti6AlV4	Titan-6-Aluminium-4-Vanadium
TSADs	Temporary skeletal anchorage devices

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:

Aufbau einer Minischraube am Beispiel von tomas-pin SD 08 (Ludwig et al., 2007a)

Abbildung 2:

Verschiedene Kopfvarianten von Minischrauben (Ludwig et al., 2007a)

Abbildung 3: Studienherkunft nach Kontinenten

Fotoverzeichnis

Foto 1: Dewimed

Durchmesser: 1,60 mm Länge: 9,00 mm Kreuzslot

Foto 2: Jeil Medical,

Durchmesser: 2,00 mm Länge: 12,00 mm Crosshole

Foto 3: Biokey Anchorage Screw; Durchmesser: 2,00 mm Länge: 8,00 mm
Round hole

Foto 4: Biokey Anchorage Screw;

Durchmesser: 1,40 mm Länge: 6,00 mm

Round head

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:

Elastizitätsmodule einiger gängiger Implantatmaterialien im Vergleich zum Knochen (Georg Thieme Verlag; Zahnärztliche Chirurgie; 3.aktualisierte Auflage S.133)

Tabelle 2:

Anforderungen an skelettale Verankerungssysteme (Ludwig et al., 2007)

Tabelle 3:

Erkrankungen und Risiken (Ludwig et al., 2007a)

Tabelle 4:

Artikelübersicht; beinhaltet alle Informationen der inkludierten Artikel mit Erscheinungsjahr, Autor und Journal

Tabelle 5:

Aufschlüsselung der Studien

Tabelle 6:

Übersicht Buccal-Shelf

Tabelle 7:

Übersicht Infrazygomatic Crest

1. Einleitung

Temporary anchorage devices sind temporäre, als Verankerung genutzte, Implantate und haben zu zahlreichen Fortschritten im kieferorthopädischen Behandlungsspektrum geführt und dieses erweitert.

Insbesondere die en-masse-Distalisierung, als Grundbaustein zahlreicher Behandlungsplanungen, wurde durch diese Behandlungsmethode erleichtert und in einigen Fällen erst möglich. Dank der skelettalen Verankerung besteht außerdem kein Risiko von ungewollten Zahnbewegungen, da die kieferorthopädisch geplanten Zahnbewegungen entkoppelt von der Restbeziehung ablaufen und die Kraftvektoren auf Mandibula und Maxilla abgeleitet werden. Dies macht vom Kieferorthopäden zuvor in der Behandlungsplanung mit einkalkulierte Gegenmaßnahmen, zur Vermeidung ungewollter Zahnbewegungen, obsolet und stellt einen absoluten Mehrgewinn dar. Planungszeit und somit auch Kosten werden reduziert und der Behandlungskomfort für den* Patienten* die Patientin* erhöht. Zudem kann eine Reduzierung der Behandlungszeit beobachtet werden.

(Ludwig et al., 2007)

1.1 Implantate – Geschichte und Neuzeit

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts wurde im Handbuch "Manual de art dentaire" (Leitfaden der Zahntechnik; 1807) von Jourdan u. Magiolo erstmals die chirurgische Insertion eines konischen Goldhohlzylinders in eine leere Alveole beschrieben und mit einer vierarmigen Krallen mechanisch abgestützt. Diese wurde im Anschluss mit einem Stiftzahn versorgt.

Younger hat vermutlich Anfang der 1880er Jahre als Erster eine künstliche Alveole aufbereitet, was eine Spätimplantation ermöglichte.

An der Harvard Universität setzte Strock als Erster eine Schraube aus einer rostfreien Platin-Iridium-Legierung (Vitallium) ein. Außerdem wurde durch Strock erstmals eine korrekte Okklusion, als eine Voraussetzung für einen Langzeiterfolg eines zahnärztlichen Implantats, beschrieben.

In den 1930er Jahren hielten nicht-oxidierende Metalle wie Kobalt, Chrom und Molybdän Einzug in die allgemeine Chirurgie, was zeitnah auch zur Erforschung und Anwendung dieser Werkstoffe in der Zahnheilkunde führte.

Als einer der Väter der modernen Implantologie zählt Formigini, der die Anwendung von Tantal propagierte. Zahlreiche Modifikationen seitens Formigini führten schließlich zur Entwicklung der Heliokoloidalschraube, die seitdem als Standard in die Implantologie Einzug hielt.

Nichols begann in den 1950er Jahren ausgedehnte Studien zum Thema subperiostal eingebrachte Implantate unter biomechanischen Aspekten durchzuführen und eingehend zu untersuchen. Für seinen Versuchsaufbau verwendete er anfangs diverse Tierarten, wobei er am Ende vor allem Hunde als geeignete Spezies für ausgedehnte Untersuchungen verwendete, um die mechanische Stabilität zu prüfen. Die Implantationen erfolgten hierbei vor allem in den Unterkiefer der Hunde, da er eine dem Menschen ähnliche Knochenstruktur aufweist und Vergleiche mit dem menschlichen Knochen erlaubt.

(Nichols et al., 1954)

In den 1970er Jahren kam es durch Per-Ingvar Branemark zu weiteren Impulsen in der Implantologie, die bis heute anhalten. Branemark modifizierte die bis dahin bekannten Implantatformen weiter, was zu wurzelähnlichen Gestaltung des Implantatkörpers führte. Außerdem entdeckte er beinahe zufällig während seiner zahlreichen histologischen Experimente die hohe Körperverträglichkeit von Titan als Werkstoff in der Implantologie.

(Branemark et al., 1985)

Die durch Branemark entwickelten Schrauben aus Reintitan gelten bis heute als Goldstandard und wurden in den letzten Jahrzehnten durch die Weiterentwicklung

neuer Titanlegierungen wie zum Beispiel Titan-6-Aluminium-4-Vanadium modifiziert. (Branemark et al., 1969)

Als Verankerungselemente in der Kieferorthopädie hielten zahnmedizinisch genutzte Implantate in den 1940er Jahren Einzug. Zu erwähnen sind hierbei die Forschungsversuche von Gainsforth und Highley, die Mitte der 40er Jahre des vergangenen Jahrhunderts erste Versuche mit inserierten Minischrauben als Verankerungselemente für kieferorthopädische Therapien verwendeten. Sie verwendeten hierfür bereits bekannte und in der prothetischen Zahnmedizin erfolgreich angewandte Chrom-Kobalt-Legierungen. Diese als Vitallium bezeichnete Metalllegierung erfüllte zur damaligen Zeit alle Anforderungen für den zahnmedizinischen Gebrauch und zeichnete sich durch eine relativ hohe Biokompatibilität aus.

Gainsforth und Highley ließen aus diesem Material erste Schrauben anfertigen, die sie anschließend inserierten. Die zuvor bescheinigte hohe Biokompatibilität konnte allerdings im klinisch Gebrauch nicht bestätigt werden. Es kam zu akut inflammatorischen Prozessen und Abstoßung des Materials und somit zum vorzeitigen Verlust der kieferorthopädischen Minischrauben. In anschließenden histologischen Untersuchungen fand man heraus, dass es zur bindegewebigen Ausheilung zwischen Knochen und Implantatoberfläche gekommen ist, was dazu führte, dass Vitallium als nicht geeignete Legierung eingestuft wurde und heute keine Anwendung mehr findet. (Branemark et al., 1985)

1.1.1 Materialkundliche Überlegungen

Wie die Geschichte der Implantologie zeigt, war man lange auf der Suche nach einem Material, welches die Anforderungen an Bruchfestigkeit und Biokompatibilität erfüllt.

Orale Implantate sind einer Vielzahl biomechanischer und biochemischer Faktoren ausgesetzt, welche aus dem mikrobiellen Umfeld und der jeweiligen

Kaubelastung bzw. im Falle der TADs, aus der im Verlauf der kieferorthopädischen Behandlung erzeugten Zug- und Druckkräfte, hervorgingen.

Prothetisch genutzte Implantate haben den Zweck, eine direkte, strukturelle und funktionelle Verbindung zwischen vitalem Knochen und der Oberfläche des Implantats zu bilden, die eine dauerhafte prothetische und okklusale Belastung erlaubt. Dies erfolgt nach Insertion in den Alveolarkamm durch die anschließende Osseointegration, was die Abstützung und Retention des prothetischen Zahnersatzes ermöglicht. (Branemark et al., 1985)

TADs hingegen verfügen über eine glatte Schaftoberfläche, die keine strukturelle Verbindung des umliegenden Knochengewebes mit der Implantatoberfläche ermöglichen, Retention entsteht hier durch das Gewindedesign. Da durch den temporären Charakter der TADs keine Osseointegration gefordert ist, entfällt auch die Einheilphase und eine sofortige biomechanische Belastung wird ermöglicht. (Ludwig et al., 2007)

Das orale Milieu hat nicht zu unterschätzende Auswirkungen, sowohl auf temporäre Miniimplantate, als auch auf prothetische Langzeitimplantat. Dies ist unter anderem durch den pH-Wert, der durch das orale Mikrobiom, aber auch durch die Nahrungsaufnahme beeinflusst wird, bedingt. Da das Implantat über längere Zeit in der Mundhöhle verbleibt, kommt es zwangsläufig zu korrosionschemischen Prozessen an der Oberfläche, welche die Haltbarkeit und somit den Behandlungserfolg kieferorthopädischer Implantate beeinflussen. Hierbei ist es in Studien zu unterschiedlichen Ergebnissen bezüglich der verwendeten Legierungen gekommen. Niedrige pH-Werte bewirken eine Veränderung der Oberfläche und können zytotoxische Prozesse auslösen, die im schlimmsten Fall zu Abstoßungsprozessen führen können. Um diese Prozesse zu untersuchen, wurden unterschiedliche Implantatmaterialien einem sauren Milieu ausgesetzt und anschließend unter metallurgischen und histologischen Punkten untersucht. In der Studie von Galeotti et al. (2013) wurden folgende Implantatsysteme berücksichtigt: Miniscrew Anchorage System (Titanlegierung Grad 5), Orthodontic Mini-Implants (chirurgischer Edelstahl), Ortho Screw

(Titanlegierung Grad 5) und Spider Screw Anchorage System (Titanlegierung Grad 4). Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass Titanlegierungen allgemein eine höhere Oberflächenstabilität aufweisen und somit auch weniger zytotoxisches Potential aufweisen.

Limitiert durch die Intraorale Anatomie und die dadurch eingeschränkte Dimensionierung der verschiedenen Implantate, beschränken sich die materialkundlichen Überlegungen im Bereich der Festigkeitseigenschaften auf eine ausreichende plastische Verformbarkeit und eine möglichst hohe Dehngrenze.

Dabei ist man zur Erkenntnis gekommen, dass metallische Werkstoffe einen optimalen Kompromiss zwischen Verformbarkeit und Festigkeit bilden, wie aus folgender Tabelle unter Berücksichtigung des E-Moduls hervorgeht.

Implantatmaterialien im Vergleich zum Knochen und anderen Materialien unter Berücksichtigung des E-Moduls

Material E-Modul (N/mm²)

Spongiosa	2.000
Kompakta	20.000
Glaskohle	25.000
Titan	120.000
Niob	160.000
Tantal	180.000
Cr-Ni	200.000
Aluminiumoxid	400.000

Tabelle 1: Elastizitätsmodule einiger gängiger Implantatmaterialien im Vergleich zum Knochen (Georg Thieme Verlag; Zahnärztliche Chirurgie; 3.aktualisierte Auflage S.133)

Ausgehend von den vorliegenden Ergebnissen wird deutlich, weshalb Titan einen optimalen Kompromiss zwischen Biokompatibilität und guten biomechanischen Eigenschaften bildet. Dies macht dieses Material nicht nur in der klassischen prothetischen Implantologie einsetzbar, sondern auch in der kieferorthopädischen Implantologie. (Gültig et al., 1994)

1.1.2 Oberflächenbeschaffenheit

Die Oberflächenbeschaffenheit hat elementaren Einfluss für das Implantat selbst. Das jeweilige Mikrodesign der Implantatoberfläche entscheidet über Einheilung, Stabilität und Entzündungsfreiheit, beeinflusst aber auch unter anderem die Implantationstechnik, Nachsorge und eventuelle Sofortbelastung des Implantatkörpers.

Hierbei werden die besonderen Eigenschaften des Titans noch einmal deutlich. Durch langjährige Erfahrung und zahlreiche Studien mit diesem Material hat es sich als Material der Wahl etabliert.

Besonders hervorzuheben ist die Oberflächenbeschaffenheit des Titans, die aus einer 2-4 Nanometer dicken Oxidschicht besteht. Diese wird dem Implantatkörper nach fertiger Ausarbeitung in einem chemischen Prozess aufgelagert.

(Kasemo et al., 1988)

Bei der operativen Insertion des Implantats kommt es zunächst zu einer Stressreaktion im Körper. Durch die Verletzung des Weichgewebes und des darunterliegenden Knochens kommt es zur Anlagerung von diversen Makromolekülen und Wasser auf der Implantatoberfläche. Unter den zahlreichen Makromolekülen befinden sich unter anderem Zytokine und Wachstumsfaktoren. Diese sind ausschlaggebend für die Anlagerung von Knochenzellen und der damit

verbundenen Osseointegration. Verschiedene Studien haben erwiesen, dass die Rauigkeit der Implantatoberfläche direkten Einfluss auf histologischer Ebene hat. Durch die vergrößerte Oberfläche lagern sich Osteoblasten deutlich leichter an und es kommt durch die günstigeren Umstände zur verbesserten Proliferation und Differenzierung dieser. Durch das stabile Milieu kommt es schnell zu stabilen metabolischen Verhältnissen für die Osteoblasten und eine stabile Integration des Implantats, ist mit hoher Wahrscheinlichkeit, gewährleistet. (Gültig et al., 1994)

Für die Herstellung einer solchen Oberfläche haben sich je nach Hersteller verschiedene Verfahren etabliert, die sich im Grundaufbau aber alle ähnlich sind. Ziel ist es, den grazen Implantatkörper mit einer begrenzten Grundoberfläche durch spezielle mechanische und chemische Verfahren so zu bearbeiten, dass man ein Maximum an Oberfläche gewinnt, wodurch die positiven Eigenschaften erreicht werden. Hierfür wird zunächst der fertig hergestellte Implantatkörper mechanisch aufgeraut. Dies erfolgt durch einen Beschuss der Oberfläche mit kleinen, sehr feinen Partikeln, ähnlich dem Sandstrahlen. Verwendet werden hierfür zum Beispiel Aluminiumoxidpartikel oder Titanoxidpartikel. Diese Grundbearbeitung der Oberfläche erzeugt bereits eine sehr fein strukturierte Fläche. Als nächster Bearbeitungsschritt erfolgt das Ätzen der Oberfläche. Hierfür werden verschiedene Säuren verwendet, unter anderem Flusssäure, Schwefelsäure und Salzsäure. Diese Säuren rauhen nicht nur die Oberflächen an, sondern gehen oftmals auch eine chemische Verbindung mit dem Ausgangsmaterial ein. Diese Verbindungen finden sich dann in der Oxidschicht wieder und haben ebenfalls Einfluss auf die Biokompatibilität des Implantats. Ein Beispiel hierfür ist die Fluorwasserstoff-Methode. Durch das Ätzen mit Fluorwasserstoff kommt es zur Akkumulation von Fluor in der Oxidschicht. Fluor wirkt durch seine Ladungseigenschaften anziehend auf Calcium und Phosphat, eine Grundvoraussetzung für die Knochenbildung. (Guo et al., 2007)

1.2 Temporary Anchorage Devices

1.2.1 Verankerung

Das Fundament jeder kieferorthopädischen Therapie, ist eine stabile Verankerung, die es ermöglichen soll, physikalische Kräfte umzuleiten und somit nutzbar zu machen. Das Resultat ist eine gezielte Zahnbewegung. Die Kräfte, welche auf die Verankerung wirken, sowie die gewünschte Bewegung des Zahnes ermöglichen, sind reziprok zueinander. Daraus ergeben sich Kraft und Gegenkraft, die sich gegenseitig beeinflussen.

Die physikalischen Grundlagen werden durch die drei Newton'schen Gesetze beschrieben und bilden die Grundlage, für zielgerichtete Zahnbewegungen in der Kieferorthopädie.

1. Newton'sche Gesetz:

Das erste Newton'sche Axiom beschreibt das Trägheitsgesetz.

Es besagt: Jeder Körper behält seine Geschwindigkeit nach Betrag und Richtung so lange bei, bis er durch äußere Kräfte gezwungen wird, seinen Bewegungszustand zu ändern. (Studyflix. 2022)

2. Newton'sche Gesetz:

Das Aktionsprinzip, auch *lex secunda*, ist das zweite Newton'sche Gesetz.

Es lautet: „Wirkt auf einen Körper eine Kraft, so wird er in Richtung dieser Kraft beschleunigt. Die Beschleunigung ist dabei direkt proportional zur Kraft und indirekt

proportional zur Masse des Körpers.“ Zu diesem Gesetz gehört folgende

mathematische Formulierung: $F = m * a$

F steht für die Kraft, m für die Masse und a für die Beschleunigung.

(Studyflix. 2022)

3. Newton'sche Gesetz:

Das dritte Newton'sche Gesetz ist das Reaktionsprinzip. Dieses Gesetz besagfolgendes: „Besteht zwischen zwei Körpern 1 und 2 eine Kraftwirkung, so ist die Kraft, die Körper 1 auf Körper 2 auswirkt, gleich der Kraft, die Körper 2 auf Körper 1 auswirkt.“ (Studyflix. 2022)

In der Kieferorthopädie gibt es verschiedene Formen der Verankerungen, die je nach Autor unterschiedlich definiert werden. Im wesentlichen unterscheiden wir jedoch zwischen zwei Formen der Verankerung, nämlich extraorale und intraorale.

Die extraorale Therapie erfolgt über die Abstützung an extraoralen Geweben, wie z.B. am Schädelknochen oder Nacken. Geläufige Apparaturen sind die Delaire-Maske und der Headgear.

Hierbei ist eine sehr gute Compliance seitens des* Patienten* der* Patientin* nötig, da die extraoralen Apparaturen zuverlässig über mehrere Stunden am Tag getragen werden müssen. Die Optik und geringe Alltagstauglichkeit nehmen dabei erheblichen negativen Einfluss auf diese Verankerungsform und beeinträchtigen den Therapieerfolg bei fehlender Zusammenarbeit. (Ludwig et al., 2007)

Intraorale Systeme hingegen bieten deutliche Vorteile, da sie die* Patienten* Patientinnen* weniger stark im Alltag beeinträchtigen. Wir unterscheiden hierbei zahngetragene Systeme und knochengetragene Systeme. Die zahngetragenen Systeme sind weiter verbreitet, actio und reactio erfolgen hier auf dentaler Ebene, was oft zu ungewollten Bewegungen der als Verankerung genutzten Bezahnung führt. Die Therapie kann hier sowohl intra-maxillär, als auch inter-maxillär erfolgen.

Bei der intra-maxillären Therapie erfolgt die Zahnbewegung auf ebene eines Kiefers. Der Anker und der zu bewegende Zahn oder Zahngruppe befinden sich gemeinsam entweder im Ober- oder Unterkiefer. Im Gegenzug dazu befindet sich bei der inter-maxillären Therapie der Verankerungspunkt im gegenüberliegenden

Kiefer. Der jeweilige Kraftvektor wird z.B. über Gummizüge vom Unterkiefer auf den Oberkiefer, oder umgekehrt, umgeleitet.

Bei den knochengetragenen, enossalen Systemen kommen Mini-Schrauben und Platten zum Einsatz, welche eine dentale Verankerung obsolet machen.

Hier haben sich die Mini-Schrauben, welche auch als TADs bezeichnet werden, in den letzten Jahren durchgesetzt. Der Vorteil dieser Verankerungsform ist die direkte Übertragung der Zug- und Druckkräfte auf den jeweiligen Kieferknochen.

Dadurch können ungewollte Zahnbewegungen, die bei dentaler Verankerung entstehen können, vermieden werden, was sich positiv auf Planungsaufwand und Therapiedauer auswirkt. (Ludwig et al., 2007)

Arten der Verankerung: Schema

- Extraorale Verankerungen

- Headgear
- Delaire-Maske

- Intraorale Verankerung

- Intra-maxilläre Verankerung dental

- Torque und Multiband-Mechaniken
- **Oberkiefer:** Transpalatinalbogen, Nance-Appliance
- **Unterkiefer:** Lipbumper, Lingualbogen

- Intra-maxilläre Verankerung skelettal

- Plattensysteme und TADs
- **Oberkiefer:** Infrazygomatic Crest
- **Unterkiefer:** Buccal-Shelf

- Inter-maxilläre Verankerung dentale

- Gummizüge
- non-Compliance Klasse II Geräte (z.B. Herbst-Scharnier, Jasper-Jumper)

1.2.2 TADs – Hilfsmittel in der modernen Kieferorthopädie

Festsitzende Verankerungssysteme, in Form von kieferorthopädischen Miniimplantaten, haben zu Neuentwicklungen in der Kieferorthopädie geführt und das Behandlungsspektrum deutlich erweitert. Komplexe und oft langwierige Behandlungen, wie die Distalisierung von Molaren im Ober- und Unterkiefer wurden durch kieferorthopädische Miniimplantate vereinfacht, beziehungsweise erst ermöglicht.

In den letzten Jahren kam es zu zahlreichen Weiterentwicklungen auf diesem Gebiet der Kieferorthopädie, ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Insertionslokalisation.

Als Temporary anchorage devices (TADs) bezeichnet man einteilige Implantatsysteme, welche über einen speziell geformten Schraubenkopf verfügen, der es ermöglicht kraftliefernde Elemente in Form von Drahtfedern oder Gummizügen am Implantat zu befestigen. Über diesen enossalen Anker werden die auftretenden Zug- und Druckkräfte direkt auf die skelettale Strukturen des Ober- und Unterkiefers übertragen.

TADs können generell im gesamten knöchernen Bereich des Ober- und Unterkiefers inseriert werden. Hierbei ist auf eine exakte präoperative Diagnostik zu achten, um Verletzungen der Nervenbahnen, Blutgefäße oder die Perforation der Kieferhöhlen zu vermeiden. (Tarawneh et al., 2007)

ITADs (Interradicular temporary anchorage devices), welche zwischen den Wurzeln der Zähne implantiert werden, haben sich als eine schnelle und einfache Methode etabliert, um Verankerung zu schaffen. Jedoch lassen kieferorthopädische Miniimplantate, welche zwischen Zahnwurzeln liegen, keine en-masse-Distalisierung zu, da der Schraubenkörper eine physische Blockade darstellt. Außerdem ist eine Verletzung der Zahnwurzel möglich, was zum Zahnverlust führen kann.

TADs am harten Gaumen haben sich im Gegenzug als sichere Methode zur Schaffung von Verankerung etabliert, jedoch bedarf diese Methode größere Apparaturen am Gaumen, sowie oft teure Laborarbeiten und mehrere Termine für den* Patienten* die* Patientin*. Beispiele für solche Apparatur sind der „Beneslider“ und der „Distal-Jet“, welche in Kombination mit kieferorthopädischen Miniimplantaten im Bereich des Gaumens für die Distalisierung genutzt werden. (Ludwig et al., 2007)

Als therapeutische Alternative wurden Lokalisationen für eine Insertion im Bereich der Infrazygomatic Crest (IZC) und der Buccal-Shelf (BS) beschrieben.

IZC-Schrauben bieten dabei den Vorteil eine en-masse-Distalisierung ohne aufwendige Apparaturen durchzuführen, sowie Chairside-Applikationen zu ermöglichen. Dies wirkt sich positiv auf den Kosten- und Zeitfaktor aus und ermöglicht eine adäquate kieferorthopädische Versorgung.

TADs in die BS-Region stellen derzeit die einzig mögliche Option für eine en-masse-Distalisierung im Unterkiefer dar, ohne dabei auf komplexe Apparaturen zurückzugreifen. (Chang et al., 2015; Chang et al., 2022)

Kieferorthopädische Minischrauben haben das Behandlungsspektrum und den Therapieumfang deutlich erweitert. Die Distalisierung von Molaren im Unter- und Oberkiefer sind in einigen Fällen erst durch das Einsetzen von TADs möglich geworden. Dennoch gibt es unterschiedliche Meinungen zu Therapiekonzepten, sowie Empfehlungen hinsichtlich Insertionslokalisierung, Implantationstechnik und TAD-Dimension. Klassische kieferorthopädische Großgeräte sind somit immer noch Standard in zahlreichen Therapiekonzepten und werden dies auch in

Zukunft bleiben. Kieferorthopädische Schrauben sind eine Alternativvariante und durch deren konsequente Weiterentwicklung wird sich in Zukunft das Behandlungsspektrum in der Kieferorthopädie weiterentwickeln.

(Ghosh et al., 2018)

Die folgende Tabelle liefert einen Überblick, bezüglich der Vorteile und Eigenschaften der Temporary anchorage devices:

Geringere Kosten	Laborgefertigte kieferorthopädische Apparaturen entfallen
Einfache Entfernung	Da keine Osseointegration erfolgt, einfache Explantation
Klinisch gleichwertige Ergebnisse im Vergleich zu herkömmlichen Verankerungssystemen	Verzicht auf komplexe, laborgefertigte Apparaturen
Unabhängig von der Compliance der Patientin* des* Patienten*	Da feststehend ist keine Interaktion seitens des* Patienten* der* Patientin* erforderlich Cave: Mundhygiene
Nutzbarkeit mit bekannten kieferorthopädischen Mechaniken	Mit geläufigen kraft-liefernde Elementen nutzbar
Ausreichender Widerstand gegen orthodontische Kräfte	Druck- und Zugkräfte werden direkt auf den Knochen übertragen und im Therapieverlauf nachjustiert Sollwert: 8-14 oz (227-397g, 231-405cN)

Sofortige Belastbarkeit	Keine Osseointegration des Implantatkörpers erforderlich
Primärstabilität	Retention und Stabilität durch Gewindestruktur gewährleistet
Einfache Platzierung und Nutzung	Insertion erfolgt in unbezahnten Kieferarealen, entkoppelt von dentalen Strukturen
Geringe Dimension	Schonung der oralen Hart- und Weichgewebe
Biokompatibilität	Gewebeverträglichkeit durch hochwertige Materialien

Tabelle 2: Anforderungen an skelettale Verankerungssysteme
(Ludwig et al., 2007)

1.2.3 Material der TADs

Bei der Materialauswahl der TADs sind im Vergleich zum Langzeitimplantat zwei grundsätzliche Unterschiede zu beachten, welche sich auf die Auswahl des Materials auswirken, nämlich der temporäre Charakter der TADs und die nicht erforderliche Osseointegration. Daraus folgt, dass anfangs relativ günstige Materialien verwendet worden sind, welche dennoch alle notwendigen Anforderungen an ein Medizinprodukt erfüllten, außerdem genügend biomechanische Stabilität und eine glatte Oberfläche, um Osseointegration zu

vermeiden, da ein leichtes Entfernen nach Abschluss der kieferorthopädischen Behandlung erwünscht ist.

Anfangs wurde hierfür Chrom-Cobalt-Legierungen verwendet. Ein wesentlicher Nachteil dieser Materialien war, dass es zur bindegewebigen Ausheilung kam, was zu einer erhöhten frühzeitigen Verlustrate führte. Auch wenn keine Osseointegration bei TADs gewünscht ist, so ist doch eine ausreichende Stabilität erforderlich, um kraft-liefernde Elemente daran zu befestigen.

(Ludwig et al., 2007)

Dies führte zur Einführung von TADs aus Reintitan.

Wie schon durch Branemark beschrieben, weist Titan eine hohe Biokompatibilität auf, was durch die Ausbildung einer Passivschicht durch oxidiertes Titan noch erhöht wird. Da es hierdurch zu keiner Abwehrreaktion des Körpers auf den Fremdkörper kommt, kommt es auch zu keiner bindegewebigen Ausheilung, wie es zum Beispiel bei älteren TADs aus anderen Legierungen der Fall war. Die bindegewebige Ausheilung war der immunologischen Reaktion der körpereigenen Abwehr zuzuschreiben. Durch Ausbleiben dieser immunologischen Reaktion haben Schraube und Knochen direkten Kontakt und können biomechanisch belastet werden, bei reduzierter vorzeitiger Verlustrate. (Branemark et al., 1985)

Es kam aber auch bei den kieferorthopädischen Schrauben zu Weiterentwicklungen, ähnlich wie bei den klassisch verwendeten prothetischen Implantaten. Durch die Einführung neuer Legierungen wie zum Beispiel Titan-6-Aluminium-4-Vanadium (Ti6AlV4) nahmen die positiven Eigenschaften der Implantate im Bereich der Materialkunde zu. Dies ermöglicht unter anderem kleinere Implantatdurchmesser und neue Formen, die sich vielseitig nutzen lassen und das Behandlungsspektrum in den letzten Jahren für kieferorthopädische Behandlungen erweitert haben. Hierzu zählen eine höhere Vickers-Härte, eine höhere Verschleißresistenz, verringerte Bruchdehnung, eine höhere Dehngrenze, bessere Oberflächenbeschaffenheit und Biokompatibilität, sowie eine höhere Zugfestigkeit und Primärstabilität. (Ludwig et al., 2007)

1.2.4 Länge und Durchmesser von TADs

Der Durchmesser der TADs ist stark abhängig vom Insertionsort. Dieser kann vielfältig und sehr variabel ausfallen. Hierbei sind die lokalen Gegebenheiten wie Knochenangebot und Knochenqualität zu beachten, sowie lokale anatomische Besonderheiten. In der geschlossenen Zahnreihe besteht immer die Gefahr der Beschädigung der Zahnwurzel und der daraus resultierenden Resorption in diesem Bereich, bis hin zum Zahnverlust.

Um genügend Stabilität in diesem Bereich zu erhalten, sowie Resorptionen zu vermeiden werden zirkulär um das Implantat eine Mindestknochendicke von 1.0 mm in der Literatur beschrieben.(Ludwig et al., 2012)

Folglich steigt mit dem Implantatdurchmesser auch das benötigte Knochenangebot, was einen limitierenden Faktor darstellt. Um dennoch flexibel agieren zu können, haben sich bei den TADs kleinere Durchmesser, als bei prothetisch genutzten Implantaten, etabliert.

Dies muss allerdings als Kompromisslösung angesehen werden, da mit kleiner werdendem Durchmesser die Primärstabilität abnimmt und die Frakturgefahr steigt.

Die Obergrenze für den Durchmesser von TADs variiert je nach Autor zwischen 2,0 und 2,5 mm. Die Untergrenze wird mit 1,0 mm Durchmesser angegeben. (Sander et al., 2010)

Was den Faktor Länge des Miniimplantats angeht, führen längere Schrauben zu mehr Kontaktfläche und somit zu mehr Stabilität. Der* Operateur* die* Operateurin* muss in der präoperativen Planung bereits mit der Wahl der Implantatlänge eine Grundlage für den Behandlungserfolg schaffen. Ebenfalls ausschlaggebend ist der Anteil der Schraube, der in Kontakt zur Kortikalis steht. Die Kortikalis liefert die benötigte Primärstabilität. Dabei muss zwischen monokortikalen und bikortikalen Schrauben unterschieden werden, wobei klinisch vor allem monokortikale Schrauben zum Einsatz kommen. Bikortikale Schrauben

sind in der Planung deutlich aufwendiger, da hier die Gefahr einer Perforation der Kieferhöhle im Oberkiefer erhöht ist. (Ludwig et al., 2012)

1.2.5 Insertionslokalisierung

Durch Weiterentwicklung der bildgebenden Verfahren ist es möglich geworden präoperativ die Lokalisation der TADs exakt zu planen. Vor allem durch das DVT (Digitale Volumentomographie) ist es möglich geworden, Knochenangebot und Knochenqualität zu bestimmen und in die Planung mit einzubeziehen.

Statistisch ergeben sich dadurch Präferenzen im Ober- und Unterkiefer, für den jeweiligen Insertionsort. Im Falle der Mandibula findet man im Bereich des ersten und zweiten Molaren vestibulär ein günstiges Knochenangebot mit einer deutlich ausgeprägten Kompakta. Außerdem besteht in diesem Bereich nicht die Gefahr der Verletzung von sensiblen anatomischen Strukturen. Dennoch muss dies präoperativ mit Hilfe der Bildgebung kontrolliert und ausgeschlossen werden. Im Oberkiefer finden wir im Bereich des zweiten Molaren ein ausreichendes Knochenangebot in der IZC-Region, sowie auf der palatinalen Seite auf Höhe der beiden Prämolaren. (Poggio et al., 2006).

Hier muss ebenfalls präoperativ eine exakte Planung erfolgen, da es ebenfalls zur Verletzung von sensiblen anatomischen Strukturen kommen kann. Außerdem kann es bei der Wahl eines zu langen kieferorthopädischen Implantats zur Eröffnung der Kieferhöhle kommen. (Chang et al., 2019)

Zunehmend wird hier auf digitale Planungsverfahren gesetzt. Durch den digitalen Workflow ergeben sich praktische Vorteile, wie z.B. die Reduzierung der Behandlungszeit und Sitzungen. Mit Hilfe von Intraoral-Scans lassen sich präoperativ durch das CAD/CAM-Verfahren (computer-aided design/computer-aided manufacturing) Operationsschienen herstellen, die den* Chirurgen* die* Chirurgin* bei der Insertion im palatinalen Bereich unterstützen. Die Studie von Stursa et al., 2023 hat gezeigt, dass sich in einigen Fällen durch den Einsatz

vorgefertigter Insertionsschienen Vorteile ergeben können. Dabei erzielen vor allem kommerziell angefertigte Insertionsschienen gute Ergebnisse.

Trotz des besseren Knochenangebots im Bereich der Mandibula hat sich durch verschiedene Studien eine höhere Erfolgsrate bei Insertionen im Oberkiefer ergeben. Die Gründe hierfür sind bis heute nicht eindeutig geklärt und werden in der Fachwelt kontrovers diskutiert. Ein Grund hierfür könnte die höhere Kaubelastung im Bereich des Unterkiefers sein, die mit einer größeren biomechanischen Belastung des Miniimplantates einhergeht. (Park et al., 2006)

Ebenfalls möglich ist die Insertion im interradikulären Bereich. Hier besteht allerdings immer die Gefahr der Verletzung der benachbarten Zahnwurzeln, was zu Resorptionen und in Folge dessen auch zum Zahnverlust führen kann. Bei rechtzeitiger Intervention kann dies durch Entfernung des Implantats verhindert werden und es kommt in den meisten Fällen zur komplikationslosen Abheilung der verletzten Wurzel. Der Mindestabstand zur Wurzel wird in der Literatur mit ca. 2 mm angegeben. (Liou et al., 2007)

Neben den oben genannten Insertionslokalisationen sind kieferorthopädische Miniimplantate im Unterkiefer außerdem im Bereich der Symphyse und Parasymphyse möglich, sowie im Oberkiefer im Bereich des Tubers. (Wilmes et al., 2016)

1.2.6 Aufbau der Mini-Implantate

Mit Blick auf die spezielle Aufgabe als temporärer Anker, ergeben sich diverse Unterschiede der TADs verglichen mit Implantaten, die einem prothetischen Zweck dienen. Grundsätzlich bestehen TADs aus einem Schraubenkopf, einem transgingivalen Bereich und einem Schaft mit Gewinde.

TADs werden immer mit der Absicht einer sofortigen mechanischen Belastung implantiert, ohne erforderliche Osseointegration, wie bei prothetisch versorgten Implantaten. Retention erfolgt durch das Schraubendesign des Schafts. Der

Schraubenkopf dient der Befestigung von kraft-liefernden Elementen und erfüllt die Aufgabe der Kraftübertragung auf den Schaft.



Abbildung 1 Aufbau einer Minischraube am Beispiel von tomas-pin SD 08 (Ludwig et al., 2007a)

1.2.6.1 Schaft

Die Funktion des Schraubenschafts besteht darin eine mechanisch belastbare Verbindung mit dem Knochen zu schaffen. Dieser mechanische Halt wird durch das Gewinde generiert und benötigt keine Osseointegration. Grundsätzlich unterscheiden wir zwei Schaftdesigns, nämlich konische und zylindrische Schäfte. Beide Formen haben unterschiedliche Eigenschaften, die sich in folgenden Vor- und Nachteilen äußern.

Zylindrische Schäfte haben einen gleichmäßigen Durchmesser und werden grundsätzlich mit einem vergleichsweise niedrigen Drehmoment inseriert. Daraus folgt eine Schonung des Gewebes und somit eine bessere Heilung. Allerdings ergeben sich durch das Schaftdesign Schwierigkeiten mit der Primärstabilität.

Konische Schraubenschäfte hingegen liefern eine sehr hohe Primärstabilität, was durch den sogenannten Keileffekt erreicht wird. Allerdings erzeugt der Keileffekt auch eine stärkere Kompression des Knochens, was unter Umständen zu Heilungsstörungen und Entzündungen führen kann. In Folge dessen ist die Verlustrate von konischen Schraubenschäften geringfügig höher als bei zylindrischen Schraubenschäften. Die konische Form ermöglicht außerdem ein leichteres Herausdrehen des Implantats nach abgeschlossener kieferorthopädischer Behandlung, was zusätzlich das Bruchrisiko minimiert. (Baumgaertl et al., 2014)

Die unterschiedlichen anatomischen Verhältnisse spielen ebenfalls eine Rolle. Je nach Lokalisation ergeben sich unterschiedliche Knocheneigenschaften. Der Knochen besteht aus der Substantia spongiosa, die eine schwammartige, biomechanisch weniger belastbare Struktur aufweist und der Substantia compacta, welche eine dichte, biomechanisch besser zu belastende Struktur aufweist. Diese unterschiedlichen Knocheneigenschaften müssen bei der Insertion beachtet werden, da ein möglichst großer Anteil an Substantia compacta gewünscht wird. Hinzu kommt, dass der Anteil an der Substantia compacta auch vom Geschlecht, Alter und der Genetik abhängig ist. (Wolf et al., 2012)

Ein weiteres Designelement, den Schaft betreffend, ist das Gewinde.

Grundsätzlich unterscheiden wir zwischen selbstschneidenden und selbstbohrenden Gewinden.

Selbstbohrende Gewinde erfordern keine Pilotbohrung. Durch ihr spezielles Design kommt es zur Verdrängung des umliegenden Knochens.

Selbstschneidende Gewinde hingegen brauchen eine Pilotbohrung um eine ordnungsgemäße Insertion zu ermöglichen. Beide Designs erfordern eine genaue präoperative Planung, da sich Vor- und Nachteile in Abhängigkeit der jeweiligen Knochenphysiologie ergeben.

Selbstbohrende Gewinde ersparen, wie schon erwähnt, eine Vorbohrung, was den operativen und zeitlichen Aufwand reduziert. Konstruktionsbedingt kommt es bei einem Schaft mit selbstbohrenden Gewinde zu einer Verdrängung des Knochens.

Die dadurch hervorgerufenen Druck- und Spannungskräfte erzeugen eine Kompression und Stauchung des Knochengewebes, was zu Inflammationen, Wundheilungsstörungen, bis hin zur Knochennekrose führen kann. Zwar ist der operative Aufwand geringer, das postoperative Risiko eines vorzeitigen Verlustes, sowie Schmerzen größer.

Allerdings ergibt sich durch die Verdrängung und Kompression des umliegenden Knochens eine optimale Verteilung des Schafts im Insertionsgebiet und somit auch eine größere biomechanische Sofortbelastbarkeit des kieferorthopädischen Implantates. Um die durch die Verdrängung und Kompression bedingten Nachteile zu reduzieren erfolgt heute auch vermehrt eine Vorbohrung vor Insertion eines Schafts mit selbstbohrenden Eigenschaften. (Ludwig et al., 2007)

Selbstschneidende Gewinde zeichnen sich durch eine schonendere Insertion mit geringerem Risiko zur Inflammationsbildung und lokalen nekrotisierenden Prozessen aus, was die Wundheilung beschleunigt.

Dies ist auf die Pilotbohrung zurückzuführen, welche einen Insertionschacht bildet, der ein schonendes Einbringen des kieferorthopädischen Implantats ermöglicht. Neben der besseren Wundheilung kommt es auch zu weniger postoperativen Schmerzen oder Hämatombildungen.

Verglichen mit selbstbohrenden Gewinden ist die Primärstabilität und somit die biomechanische Belastbarkeit reduziert, was bei der präoperativen Planung beachtet werden muss. (Wang et al., 2008)

1.2.6.2 Transgingivaler Bereich

Der transgingivale Bereich bildet das Bindeglied zwischen dem Schaft und dem Schraubenkopf. Er befindet sich dabei an einer besonders sensiblen Stelle, nämlich dem Übergang vom Hart zum Weichgewebe. Strategisch ist dieser Bereich des Miniimplantats von großer Bedeutung, da er eine potenzielle Schwachstelle darstellt. Die Gingiva und der transgingivale Bereich müssen eine möglichst dichte Einheit bilden, da dieser Bereich ein Einfallstor für diverse Mikroorganismen bildet, die zur Entstehung eines akut inflammatorischen Prozesses, der Periimplantitis führen kann. Folge ist oftmals der vorzeitige Verlust des Implantats und somit der kieferorthopädisch genutzten Verankerung. Auch hier gibt es unterschiedliche Designs des transgingivalen Anteils der Miniimplantate, die sich durch unterschiedliche Eigenschaften auszeichnen. Eine allgemeingültige Regel für alle Miniimplantate, ist die Notwendigkeit einer optimalen Hygienefähigkeit des transgingivalen Implantatanteils. Hierbei müssen unter-sich-gehende Stellen und Stufen unbedingt vermieden werden. Dies führt nämlich zur vermehrten Plaqueakkumulation und vermehrter Anlagerung von Speiseresten, durch erschwerte Reinigung dieses Bereichs. Somit ergibt sich ein optimales Milieu für Mikroorganismen, die durch metabolische Prozesse zunächst eine des Weichgewebes und auf lange Sicht eine Perimplantitis verursachen. (Ludwig et al., 2007; Chang et al., 2015)

Diese Erkenntnisse haben dazu geführt, dass sich bestimmte Grundformen durchgesetzt haben. Hierzu zählen konisch, zylindrisch und auch mehrkantige Formen. Zusätzlich spielt das Verhältnis von Schraubenkopfdurchmesser zum Durchmesser des transgingivalen Anteils eine wichtige Rolle.

Hier unterscheiden wir:

- Durchmesser transgingivaler Anteil < Schraubenkopfdurchmesser
- Durchmesser transgingivaler Anteil > Schraubenkopfdurchmesser
- Durchmesser transgingivaler Anteil = Schraubenkopfdurchmesser

Sowohl die Form, als auch das Verhältnis der Durchmesser zueinander, spielen eine Rolle für den Behandlungserfolg. Wenn der Schraubenkopfdurchmesser deutlich größer ist als der transgingivale Anteil, können sich am Übergang der beiden Anteile unter anderem vermehrt Speisereste ansammeln, da dieser Bereich eine gute Hygiene deutlich erschwert. Folglich kommt es zur vermehrten Akkumulation von pathogenen Mikroorganismen die durch ihre Stoffwechselprodukte Entzündungen und degenerative Prozesse hervorrufen, die zu einer Periimplantitis führen können. Deshalb sollte der transgingivale Anteil und der Schraubenkopf ähnliche Durchmesser aufweisen. (Chang et al., 2015)

Das Design betreffend haben sich konische Formen als Vorteilhaft ausgezeichnet. Durch ihre verjüngende Wölbung, kann sich das Zahnfleisch optimal anschmiegen, ohne einen übermäßigen Druck auf das Gewebe auszuüben. Dies führt zu einem auf lange Sicht dichten Verbund, der es Mikroorganismen nicht erlaubt in tiefere Bereiche vorzudringen und dort degenerative Prozesse auszulösen, die zum Implantatverlust führen können. Zylindrische und mehrkantige Designs führen nachweislich zu vermehrten druckbedingten Degeneration der Schleimhaut, was das Eindringen von Mikroorganismen und die damit verbundenen degenerativen Prozessen zur Folge hat. (Ludwig et al., 2007)

1.2.6.3 Schraubenkopf

Die Entwicklungen der letzten Jahre haben zu einer Vielzahl von Schraubenkopfdesigns geführt. Der Schraubenkopf fungiert als Bindeglied zwischen kraft-liefernden Elementen und dem kieferorthopädischen Implantat selbst. Seine Form ermöglicht die Befestigung von elastischen Ketten, diversen Drähten und Federn. Trotz einer Vielzahl an Schraubenkopfformen haben sich einige Designkonzepte durchgesetzt.



Abbildung 2: Verschiedene Kopfvarianten von Minischrauben (Ludwig et al., 2007a)

A) Schraubenkopf mit Haken:

Dieses Design ermöglicht ein einfaches Einhaken von Drähten, Federn und elastischen Ketten. Es ist darauf zu achten, dass die offene Seite des Hakens möglichst entgegengesetzt zur Richtung des kraft liefernden Vektors ist, um ein Herauslösen zu vermeiden. Außerdem kann es bei zu schwacher Dimensionierung des Hakens und zu großer Krafteinwirkung zum Aufbiegen oder auch zum Bruch kommen.

Schraubenköpfe mit Haken ermöglichen Distalisierungen, Mesialisierungen und Intrusionsbewegungen. (Ludwig et al., 2007)

B) Schraubenkopf mit Kugelkopf:

Das Kugelkopfdesign ermöglicht sowohl die Mesialisierungs- als auch die Distalisierungs- Bewegung. Eine exakte Ausrichtung wie beim Schraubenkopf mit Haken entfällt durch das Kugelkopfdesign und ermöglicht ein sicheres und einfaches Befestigen der kraft-liefernden Elemente in jeglicher Position. Es ergibt sich dadurch ein vielseitigeres Einsatzspektrum.

(Ludwig et al., 2007)

C) Schraubenkopf mit Bohrungen und Ösen:

Schraubenköpfe mit Bohrungen und Ösen erfordern, ähnlich wie beim Hakendesign, eine exakte Positionierung und Ausrichtung des Kopfes. Erfolgt dies nur ungenau, kann es für den Behandler eine Herausforderung darstellen Drähte durch die Bohrung einzufädeln. Dies kann sich auch auf den kraftliefernden Vektor auswirken und zu ungewollten Rotationen und Kippungen führen. Bei zu großer Bohrung und damit abnehmender Stärke des Materials, kann außerdem das Bruchrisiko steigen. Folge wäre ein notwendiger Austausch der Schraube. Dieses Design ermöglicht die Mesialisierung, Distalisierung und Intrusion. (Ludwig et al., 2007)

D) Schraubenkopf mit Slot

Hauptvorteil des Slotdesigns, ist die Verwendung von Vierkant-Drähten. Diese ermöglichen ein dreidimensionales Bewegungsprofil und damit eine Vielzahl an Behandlungsoptionen.

Dazu zählen Mesialisierung, Distalisierung, Intrusion, Extrusion und Rotation. Ein Nachteil ergibt sich auch hier durch eine erforderliche, exakten Ausrichtung des Slots, der je nach Behandlungsplanung vertikal oder horizontal ausgerichtet sein muss, um gewünschte Zahnbewegungen zu ermöglichen. (Ludwig et al., 2007)

E) Schraubenkopf mit Kreuzslot

Der Kreuzschlitz ermöglicht die gleichen Behandlungsmöglichkeiten wie Schraubenköpfe mit einfachem Slot, allerdings mit mehr Spielraum bei der Ausrichtung des Kopfes. Dieses Design findet in der kieferorthopädischen Therapie deutlich mehr Einsatzmöglichkeiten als das einfache Slotdesign und

wird deshalb auch häufiger verwendet. Wesentliche Nachteile dieses Designs werden in der Literatur nicht genannt. (Ludwig et al., 2007)



Foto 1: Dewimed

Durchmesser: 1,60 mm Länge: 9,00 mm

Kreuzslot



Foto 2: Jeil Medical,

Durchmesser: 2,00 mm Länge: 12,00 mm

Crosshole



Foto 3: Biokey Anchorage Screw; Durchmesser:
2,00 mm Länge: 8,00 mm
Round hole



Foto 4: Biokey Anchorage Screw;
Durchmesser: 1,40 mm Länge: 6,00 mm
Round head

1.2.7 Zusätzliches Instrumentarium

Die Insertion der Minischraube erfordert einige Hilfsmittel, um den chirurgischen Eingriff effizient und komplikationslos zu vollziehen. Hierbei ergeben sich einige Vorgehensweisen für den* Operateur* die* Operateurin*. Heute als obsolet zu betrachten, ist die Inzision mittels Skalpell, um sich direkten Zugang zum Knochen zu verschaffen. Dieser Behandlungsansatz führte in der Vergangenheit zum vermehrten Auftreten von Komplikationen. Grund hierfür ist unter anderem die Gefahr einer Lappenbildung und damit eine schlechtere Hygienefähigkeit, sowie eine vermehrte Akkumulation von Plaque. Dies führt in der Folge zu inflammatorischen Prozessen und einem erhöhten Risiko des Schraubenverlustes. Außerdem erfordert eine Inzision das Setzen von Nähten, die bei nicht akkurat durchgeführten Mundhygiene ebenfalls ein erhöhtes Entzündungsrisiko mit sich bringen. Um die Schleimhaut zu überwinden und bedingt durch die geringe Größe der heute verwendeten Schrauben hat sich das Stanzen mittels Einwegstanzen durchgesetzt. Dies ermöglicht ein minimal-invasives Vorgehen und damit einen optimalen Heilungsverlauf. Die durch das Stanzen erzeugten glatten Wundränder heilen schnell und legen sich zudem optimal an die Schraube an. (Ludwig et al., 2007)

Die Verwendung eines Winkelstücks mit einem Rosenbohrer als Aufsatz hat sich in einigen Fällen ebenfalls als nützliches Instrumentarium erwiesen. Durch Körnung der Insertionsstelle wird diese exakt markiert und erleichtert die Insertion der Schraube. Durch eine anschließende Pilotbohrung, können die Schrauben schonend und in gewünschter Angulation inseriert werden. Die Weiterentwicklung des Schaftdesigns der Schrauben und das Aufkommen von selbst-bohrenden Schrauben macht diesen Behandlungsschritt allerdings nicht zwingend notwendig. Ebenfalls gibt es kieferorthopädisch genutzte Schrauben, die keine Stanzung oder Inzision erfordern, da sie die Gingiva eigenständig durchdringen können. (Chang et al., 2015; Ludwig et al., 2007)

Der* Behandler*die* Behandlerin* hat außerdem die Möglichkeit zwischen einer manuellen und einer maschinellen Einbringung der Schraube zu wählen.

Bei der manuellen Methode mithilfe eines Schraubendrehers ergibt sich ein hohes taktiler Gefühl beim Eindrehen, es muss aber eine aufmerksame und durchgehende Kontrolle des Drehmoments während der Insertion geachtet werden. Bei der Verwendung langer Hebel bei der manuellen Insertion, kann es nämlich schnell zu einem ungewollt hohen Drehmoment und in Folge dessen zur Schädigung des Gewebes oder sogar zum Schraubenbruch kommen. Der große Vorteil der maschinellen Einbringung der Schraube mittels Winkelstück liegt in der durchgehenden und vorher einstellbaren Drehmomentkontrolle. Dies ermöglicht eine schonende und gleichmäßige Insertion der Schraube, was das Bruchrisiko minimiert. (Wang et al., 2008)

1.2.8 Risiken

Das Setzen von Implantaten und Minischrauben ist ein chirurgischer Eingriff und damit zwangsläufig mit Risiken und Komplikationen verbunden. Das Vorgehen benötigt eine exakte präoperative Planung, um operative aber auch postoperative Risiken zu minimieren bzw. managen zu können. Das operative Vorgehen ist zudem nicht alternativlos. Auch eine Behandlung ohne TADs ist in vielen Fällen möglich und muss in der kieferorthopädischen Planung berücksichtigt werden und dem Patienten aufgezeigt werden. Besteht ein zu hohes Operationsrisiko durch bekannte Vorerkrankungen, ist von der kieferorthopädischen Therapie mittels Minischrauben abzuraten, trotz ihres minimal-invasiven Charakters.

Die Insertion einer Minischraube bewirkt immer ein Durchbrechen der epithelialen Barriere, welche dem Organismus Schutz vor diversen Störfaktoren in Form von in der Mundflora vorhandenen Pathogenen, aber auch chemischen und physikalischen Störfaktoren bietet, was zu Infektionen mit damit einhergehenden akut inflammatorischen Prozessen führen kann. Außerdem kann es zur Verletzung der Knochenstrukturen durch zum Beispiel mechanische Kompression führen, sowie zur Verletzung von Nerven und Blutgefäßen.

(Hernandez et al., 2008)

Ein Gesunder Organismus wird mit den oben beschriebenen Störfaktoren für gewöhnlich fertig und die Therapie verläuft problemlos. Folgende Tabelle zeigt geläufigsten Risikofaktoren auf, die bei der Therapieplanung beachtet werden müssen. (Ludwig et al., 2007)

Diabetes mellitus	Führt zu einer erhöhten Anfälligkeit für Infektionen und Wundheilungsstörungen. Entgleisung des Stoffwechsels durch das Anästhetikum und präoperativen Stress sind möglich. Außerdem sind Sensibilitätsstörungen und dadurch bedingte Druckstellen möglich.
Endokarditis	Möglichkeit einer artifiziellen Endokarditis mit potenzieller Lebensgefahr. Präoperative antibiotische Abschirmung dringend erforderlich.
Osteoporose	Führt zu einer geringeren Primärstabilität des Implantats, sowie zu einer erhöhten Resorption des Alveolarknochens.
Hämorrhagische Diathese	Erhöhte operative und postoperative Blutungsneigung
Rauchen	Wundheilungsstörungen, Periimplantitisrisiko steigt
Allergien	Selten auf das Implantatmaterial, akute allergische Reaktionen auf das Anästhetikum möglich. Symptomatik: Urtikaria, Schwellung, Exanthem, Kurzatmigkeit bis hin zur akuten Lebensgefahr

Medikamente	Antikoagulantien: postoperative Nachblutungen Nifedipin und Phenytoin: periimplantäre Schleimhautschwellung mit erhöhter Entzündungsgefahr
Schlechte Mundhygiene	Erhöhtes Risiko für Periimplantitis
Habbits	Durch mechanische Überbelastung kommt es zur Lockerung bis hin zum Implantatverlust
Systemische Grunderkrankungen	Führen zu einer geringeren Abwehrbereitschaft des Körpers gegenüber Infektionen. Reduzierte metabolische Leistung des Körpers verzögert Wundheilung und die Regeneration.

Tabelle 3:Erkrankungen und Risiken (Ludwig et al., 2007)

Ausschlaggebend für den Behandlungserfolg und das Minimieren von Risiken ist die schon genannte präoperative Planung. Planungsfehler sind durch die Einhaltung von Richtlinien und der jeweiligen Erfahrung des* Operateurs* der* Operateurin deutlich reduzierbar. (Hernandez et al., 2008)

Eine häufige Komplikation, beim Umgang mit kieferorthopädischen Miniimplantaten, ist die Verletzung benachbarter Strukturen. Anatomische Kenntnisse und eine exakte Planung mithilfe bildgebender Verfahren reduzieren operative Komplikationen deutlich.

Mögliche Verletzungen, die während der Insertion entstehen können, sind die Eröffnung des Sinus maxillaris, Verletzung bzw. Durchtrennung von Nerven und Blutgefäßen, sowie die Verletzung benachbarter Zahnwurzeln was zur

Schädigung des parodontalen Ligaments, Devitalisierung, Ankylose, bis hin zum Zahnverlust führen kann. Beim frühzeitigen Erkennen der Verletzung der Zahnwurzel und dem darauffolgenden Entfernen des Implantats, kommt es in den meisten Fällen durch verschiedene Umbauvorgänge zum problemlosen Ausheilen der verletzten Zahnwurzel und der Zahnverlust kann somit vermieden werden. (Glasl et al., 2010)

Einer dieser Reparaturmechanismen ist die Ausbildung einer zusätzlichen Zementschicht im Bereich der Verletzung durch die erhöhte Aktivität von Blasten in der geschädigten Region der Zahnwurzel. Dieser Umbauprozess kann bis zu drei Monate dauern. (Kuroda et al., 2014)

Ebenfalls ausschlaggebend für den Erfolg und die Minimierung von Risiken ist die Insertion selbst. Diese sollte im Zweifelsfall unter Anwendung einer Vorbohrung erfolgen, da so die Kompression des apikalen Knochengewebes reduziert wird und unter Anwendung einer ausreichenden und konstanten Kühlung. Ist keine adäquate Kühlung vorhanden, kann es zu erhöhten Temperaturen und in Folge dessen zur Denaturierung von Proteinen im Gewebe kommen, was zu nekrotischen Prozessen und damit zum Verlust der Sekundärstabilität bzw. zum totalen Verlust des kieferorthopädisch genutzten Implantats führt. (Sander et al., 2010)

Zudem sollte auf ein möglichst geringes Drehmoment geachtet werden, um Gewebe und auch das Schraubenmaterial zu schonen. Große Krafteinwirkung jeglicher Art bis zum Erreichen der Primärstabilität des Mini-Implantats sind während der Operation unbedingt zu vermeiden. Außerdem ist auf eine strikte Hygiene unter Anwendung steriler Instrumente zu achten, da somit eine Infektion des Operationsgebiets und in Folge dessen akute inflammatorische Prozesse vermeidbar sind, die zum Implantatverlust führen können. (Ludwig et al., 2007)

Die Lokalisation der Insertion ist ein maßgeblicher Faktor. Wie schon genannt stellen die Verläufe der Nerven und ihre Variationen ein Hindernis dar, welches eine exakte präoperative Abklärung bedarf.

Im Unterkiefer muss der Verlauf des Nervus alveolaris inferior, bei geplanter Insertion eines kieferorthopädischen Implantats im Bereich der Unterkiefer-

Molaren, festgestellt werden. Hierfür eignet sich ein DVT, um präoperativ abweichende anatomische Verläufe auszuschließen.

Im Oberkiefer ist bei geplanter Insertion im Bereich des Gaumens auf den Nervus palatinus major zu achten. Dieser kommt aus dem Foramen palatinum und verzweigt sich anschließend. Um eine Schädigung des Nervus palatinus major zu vermeiden, wird eine Insertionslokalisation mesial des zweiten Molaren in der Literatur empfohlen, da hier die Gefahr einer Verletzung gering ist.

(Hernandez et al., 2008)

Wird dies alles beachtet und fließt in die Planung mit ein, ist in den aller meisten Fällen eine komplikationslose und adäquate Therapie möglich. Die vollständige Bewegung des Zahnes an die gewünschte Position muss erreicht werden, ohne dass das kieferorthopädische Implantat selbst im Weg steht und damit zum Störfaktor wird.

Eine zielorientierte Herangehensweise und Planung führen zum Behandlungserfolg und minimieren Planungs- und Behandlungsfehler.

(Ludwig et al., 2012)

1.2.9 Explantation und Nachsorge

Im Gegensatz zu prothetisch genutzten Implantaten, ist der dauerhafte Verbleib von kieferorthopädisch verwendeten Implantaten nicht vorgesehen. Nach der Beendigung der kieferorthopädischen Therapie, ist eine Explantation der Minischraube vorgesehen. Dies bringt ein gewisses Risiko mit sich, da es hierbei zu einem Bruch der Schraube kommen kann. Auslöser hierfür sind die relativ hohen Drehmomente, die bei der Explantation auftreten. Wenn es zu einem Schraubenbruch kommt, ist eine chirurgische Entfernung des im Knochen verbliebenen Schraubenanteils unumgänglich.

In den allermeisten Fällen verläuft die Explantation jedoch komplikationslos.

Durch das sichere Einrasten der hierfür verwendeten Ratsche, wird eine mögliche

Aspiration der Minischraube verhindert. Die postoperative Nachsorge verläuft in den meisten Fällen komplikationslos und erfordert keine medikamentöse Abschirmung, bei Bedarf können allerdings Schmerzmittel verabreicht werden, die nach der Operation bestehende Wunde verheilt innerhalb weniger Tage. (Ludwig et al., 2007)

1.2.10 Erfolge und Misserfolge

Erfolg und Misserfolg einer kieferorthopädischen Behandlung mit TADs unterliegen einer Vielzahl von Definitionen, die einen neutralen Vergleich sehr schwer machen.

Zum Beispiel wird der Schraubenbruch von den meisten Autoren als Behandlungsmisserfolg gewertet. Da ein solcher Schraubenbruch allerdings meistens bei der Schraubenexplantation nach einer erfolgreichen kieferorthopädischen Behandlung auftritt, kann man dies zwar als Komplikation, aber nicht zwangsläufig als Misserfolg der Gesamtbehandlung werten.

Allgemeine Ziele der Behandlung mit TADs, welche als Erfolg gewertet werden können, sind zum Beispiel eine komplikationslose Insertion der Minischraube, ohne Verletzung von Blutgefäßen, Nerven oder Zahnwurzeln, sowie eine entzündungsfreie und schmerzfreie Einheilung. Hinzu kommt eine ausreichende Primärstabilität der Schraube, die der biomechanischen Belastung über den kompletten Zeitraum der kieferorthopädischen Behandlung standhält. Ein ebenfalls wichtiges Kriterium für den Erfolg der Behandlung ist die Lokalisation der Minischraube, die eine Bewegung der Zähne während der kompletten kieferorthopädischen Behandlung ermöglichen soll, bis die gewünschte Position erreicht ist. (Schätzle et al., 2010)

Ein Erfolg oder Misserfolg kann objektiv nur unter einzelnen Behandlungsaspekten verglichen werden. Eine vergleichende Studie von Yi et al. aus dem Jahre 2017 beschäftigte sich beispielsweise mit den Ausfallraten

unterschiedlicher Schraubendesigns. Besonderes Augenmerk dieser Studie galt dem Vergleich zwischen selbst-bohrenden und selbst-schneidenden Schraubendesigns. Ergebnis dieser Studie war, dass selbst-bohrende Schrauben nach Zahnwurzelkontakt eine höhere Ausfallrate aufwiesen, es aber ansonsten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich Erfolg und Misserfolg gab.

Deutlichen Einfluss auf die Erfolgsrate hat die Dicke der Kortikalis. Diese variiert je nach Lokalisation und hat messbaren Einfluss auf die Stabilität. Mit der Dicke der Kortikalis am Insertionspunkt steigt auch die Primärstabilität der Minischraube. Durch diese erhöhte Primärstabilität werden Mikrobewegungen der Minischraube verringert. Diese Mikrobewegungen werden durch die auftretenden Zug- und Druckkräfte ausgelöst und können bei unzureichender Stabilität der Schraube zum Verlust führen. Passiert dies vor Erreichen der gewünschten Zahnposition, ist dies als Behandlungsmisserfolg zu werten und erfordert eine erneute Insertion. (Ludwig et al., 2007)

2 Material und Methode

2.1 Selektion der Datenbanken, zentrale Fragestellung und Suchstrategie

Ziel dieser Diplomarbeit ist es eine Literaturübersicht zu erstellen, die zur Beantwortung folgender Thematiken dient:

- Welche Lokalisation in der Infrazygomatic Crest- und Buccal-Shelf-Region wird anhand des heutigen Kenntnisstandes mehrheitlich empfohlen?
- Welche Insertionstechniken haben sich durchgesetzt?
- Planungsvorgehen bei Anwendung kieferorthopädischer Miniimplantate.
- Biomechanische Belastbarkeit der Miniimplantate in der Infrazygomatic Crest- und Buccal-Shelf-Region.

Die Literatur für diese Arbeit wurde in den medizinischen Datenbanken PubMed, Web of Science und European Journal of Orthodontics anhand einer computerbasierten Literaturrecherche durchgeführt.

Zu Beginn dieser wissenschaftlichen Arbeit wurde eine Suchstrategie mit der Hilfe folgender Schlüsselwörter erstellt:

Folgende Strategie wurde erstellt:

Buccal-Shelf: (TAD dimension OR TAD size OR orthodontic miniscrew size) AND (bone strength OR location OR insertion) AND (insertion technique OR predrilling OR selfdrilling)

Infrazygomatic Crest: (TAD dimension OR TAD size OR orthodontic miniscrew size) AND (bone strength OR location OR insertion) AND (insertion technique OR predrilling OR selfdrilling)

Ziel dieser Arbeit war es mittels Literaturrecherche einen Überblick über den derzeitigen Kenntnisstand zu ermitteln, sowie die Evaluierung bestehender Behandlungsempfehlungen zusammenzufassen.

2.2 Datenerhebung und Analyse

Für die Datenerhebung und Analyse wurde die oben beschriebene Suchstrategie mit den angegebenen Schlagwörtern angewandt. Die in den Datenbanken ermittelten Ergebnisse wurden tabellarisch zusammengefasst.

Die Darstellung in den Tabellen erfolgte anhand der zuvor definierten Parameter. Dafür wurden in der ersten Selektionsphase die Artikel in den Datenbanken durch das Lesen des Abstracts auf ihre Relevanz hin geprüft. Passende Artikel wurden auf diese Weise ausgesucht und anschließend durch lesen des vollständigen Papers auf Eignung geprüft.

In ihrer Ausführung unzureichende Artikel wurden auf diese Weise ermittelt und aussortiert.

2.3 Auswahlkriterien der Artikel

Alle Studien, welche den zuvor festgelegten Auswahlparametern entsprachen, wurden in die Diplomarbeit eingeschlossen und berücksichtigt.

Die Relevanten Artikel wurden zwischen 2007 und 2023 verfasst. Ausgeschlossen wurden Artikel deren Informationsgehalt unzureichend war, oder deren Vorgehen für nicht reproduzierbar erachtet wurde.

Nicht in englischer Sprache verfasste Artikel wurden ebenfalls aussortiert und nicht weiter berücksichtigt.

Für die weitere Suche wurden ebenfalls systematische Reviews sowie Metaanalysen herangezogen, welche auf für die Diplomarbeit nützliche und relevanten Artikel verwiesen haben.

3 Ergebnisse

3.1 Selektion und Auswahl

Für diese Literaturrecherche wurden anhand der genannten Selektionskriterien 625 Artikel nach Eingabe der Suchbegriffe in den wissenschaftlichen Datenbanken gesammelt.

Weiterhin wurden die Artikel, die nicht den zuvor definierten Parametern entsprachen, ausselektiert. Nach einer anschließenden Prüfung auf Duplikate wurden 565 Artikel ausgeschlossen.

Von den 60 verbliebenen Artikeln wurde der Abstract gelesen und anschließend 32 Artikel ausgemustert. Von den Verbliebenen 28 Artikeln wurde das vollständige Paper gelesen. Am Ende der Selektion verblieben 21 Artikel, die für die Erstellung der Diplomarbeit genutzt wurden.

3.2 Abbildung der Literaturrecherche

Suchergebnisse nach Selektion der Datenbanken Pubmed (n=411),
Web of Science (n=128), European Journal of Orthodontics (n=86)

n=625

Ausgeschlossene Artikel nach Anwendung von Filtern
(Sprache, Fachgebiet, Art des Artikels, Duplikate)

n=565

Inkludierte Artikel nach Durchsicht der Abstracts

n=28

Inkludierte Artikel nach Durchsicht der
gesamten Artikel

n=21

3.3 Artikelübersicht

Nr.	Titel	Autor	Jahr	Journal
1	Clinical analysis of successful insertion of orthodontic mini-implants in infrazygomatic crest	He et al.	2023	BMC Oral Health
2	A computed tomographic image study on the thickness of the infrazygomatic crest of the maxilla and its clinical implications for miniscrew insertion	Liou et al.	2007	American Association of Orthodontics
3	Miniscrew insertion sites of infrazygomatic crest and mandibular buccal shelf in different vertical craniofacial patterns: A cone-beam computed tomography study	Matias et al.	2021	The Korean Journal of Orthodontics
4	Assessment of infrazygomatic bone depth for mini-screw insertion	Baumgaertel et al.	2009	Department of Orthodontics School of Dental Medicine
5	Failure rates for stainless steel versus titanium alloy infrazygomatic crest bone screws: A single-center, randomized double-blind clinical trial	Chang et al.	2019	Angle Orthodontist
6	Success of infrazygomatic crest bone screws: patient age, insertion angle, sinus	Chang et al.	2022	AJO-DO

	penetration, and terminal insertion torque			
7	Safe sites for orthodontic miniscrew insertion in the infrazygomatic crest area in different facial types: A tomographic study	Lima et al.	2021	AJO-DO
8	Safe zones for miniscrews in maxillary dentition distalization assessed with cone-beam computed tomography	Liu et al.	2016	AJO-DO
9	Comparison of bone thickness in infrazygomatic crest area at various miniscrew insertion angles in Dravidian population – A cone beam computed tomography study	Murugesan et al.	2020	Elsevier
10	Maxillary Sinus Dimensions in Skeletal Class I Chinese Population with Different Vertical Skeletal Patterns: A Cone-Beam Computed Tomography Study	Wang et al.	2022	MDPI
11	Safe sites for buccal shelf bone screw placement in various skeletal malocclusions: A CBCT study	Athira et al.	2023	Journal of Orthodontic Science
12	Buccal bone thickness of posterior mandible for microscrews implantation in	Wang et al.	2022	Elsevier

	molar distalization			
13	Buccal bone thickness of posterior mandible for microscrews implantation in molar distalization	Nucera et al.	2017	Angle Orthodontist
14	Evidence-based selection of orthodontic miniscrews, increasing their success rate in the mandibular buccal shelf. A randomized, prospective clinical trial	Sarul et al.	2022	BMC Oral Health
15	Primary failure rate for 1680 extra-alveolar mandibular buccal shelf mini-screws placed in movable mucosa or attached gingiva	Chang et al.	2015	Angle Orthodontist
16	CBCT comparison of buccal shelf bone thickness in adult Dravidian population at various sites, depths and angulation – A retrospective study	Sreenivasagan et al.	2021	Elsevier
17	Comparative assessment of the stability of buccal shelf mini-screws with and without pre-drilling- a split-mouth, randomized controlled trial	Ummat et al.	2024	Springer
18	Bone thickness and height of the buccal shelf area and the mandibular canal position for miniscrew insertion in patients with different vertical facial patterns, age,	Eto et al.	2023	Angle Orthodontist

	and sex			
19	Evaluations of miniscrew type-dependent mechanical stability	Han et al.	2019	Elsevier
20	Comparison of the loading behavior of self-drilling and predrilled miniscrews throughout orthodontic loading	Wang et al.	2008	CE
21	Cortical bone thickness at common miniscrew implant placement sites	Farnsworth et al.	2009	CE

Tabelle 4:

Artikelübersicht; beinhaltet alle Informationen der inkludierten Artikel mit Erscheinungsjahr, Autor und Journal

3.4 Artikel

Studie Nr.1	Studienhintergrund und Methode	Studienresultat	Schlussfolgerung
He et al.	<p>Die Insertionsposition von Miniimplantaten in der Infrazygomatic Crest Region ist auf Grund von anatomischen Variationen nicht sicher. In dieser Studie wurden mit Hilfe der cone beam computed tomography (CBCT) Methode in der Infrazygomatic Crest-Region inserierte Implantate verglichen.</p> <p>Es wurden 40 CBCT-Aufnahmen von erfolgreich eingebrachten Miniimplantaten bei erwachsenen Patienten* Patientinnen* angefertigt. Die Insertionsposition und Winkel, sowie die Dicke des bukkalen und palatinalen Knochens wurden vermessen.</p>	<p>In dem Koordinatensystem war die Implantationsposition der 40 erfolgreich gesetzten Miniimplantate (-0.4+/-2, 8.2 +/- 2.5) und der Implantationswinkel zwischen der Längsachse des Implantats und der horizontalen Referenz 56.4 Grad +/- 7.7 Grad.</p> <p>Die gemessene Knochendicke bukkal lag bei 4.1mm +/- 2.5mm und palatinal bei 7.2mm +/- 3.2mm, sowie einer</p>	<p>Unter Verwendung der Längsachse des ersten Molaren im Oberkiefer als vertikale Referenz, können Miniimplantate sicher in die Infrazygomatic Crest-Region mit einem distalen Abstand von 0.4mm und einer Distanz von 8.2mm von der Schmelz-Zement-Grenze vom ersten Oberkiefermolaren in einem Implantationswinkel von 56.4 Grad inseriert werden.</p>

		kortikalen Knochendicke von 2.4mm +/- 0.6mm.	
--	--	--	--

Studie Nr.2	Studienhintergrund und Methode	Studienresultat	Schlussfolgerung
Liou et al.	Ziel dieser Studie war es die Dicke des Knochens in der Infrazygomatic Crest Region im Bereich des ersten Oberkiefermolaren unter Berücksichtigung verschiedener Winkel und Positionen zur Okklusalebene des Oberkiefers zu messen. Die Messungen wurden anschließend verwendet um eine Richtlinie für die Insertion von Miniimplanaten in der Infrazygomatic Crest-Region zu erstellen, welche eine Verletzung der mesio-bukkalen Wurzel des ersten Oberkiefermolaren	Die Dicke der Infrazygomatic Crest über dem ersten Oberkiefermolaren reicht von 5.2mm +/- 1.1mm bis 8.8mm +/- 2.3mm gemessen von 40 Grad bis 75 Grad zur Okklusalebene des Oberkiefers und 13mm bis 17mm über der Okklusalebene des Oberkiefers.	Bei angenommen 6mm minimaler IZC-Dicke für das sichere Einbringen eines Miniimplantats, sowie zur Vermeidung der Verletzung der mesio-bukkalen Wurzel des ersten Oberkiefermolaren ergibt sich für die Insertion eine Lokalisation von 14–16mm über der Oberkieferokklusal ebene und eine Angulation zum ersten

	<p>minimieren.</p> <p>Für diese Studie wurden Computertomographien von 16 erwachsenen Patienten* Patientinnen* verwendet.</p> <p>Die Aufnahmen beinhalten die IZC allgemein und die mesio-bukkale Wurzel des ersten Oberkiefermolaren.</p> <p>Das Knochenangebot der IZC und die Insertionsposition des kieferorthopädischen Miniimplantats wurden unter Zunahme des Insertionswinkels um je 5 Grad in einem Messbereich von 40 Grad, bis einschließlich 75 Grad zur Okklusionsebene gemessen.</p>		<p>Oberkiefermolaren von 55 Grad bis 70 Grad zur Okklusalebene des Oberkiefers.</p>
--	--	--	---

Studie Nr.3	Studienhintergrund und Methode	Studienresultat	Schlussfolgerung
Matias et al.	Um die optimale Insertionslokalisation in der	Es konnten keine signifikanten	Es ergibt sich kein signifikanter

	<p>IZC und MBS (Manbibular Buccal Shelf) bei verschiedenen kranio-fazialen Gesichtstypus zu bestimmen, wurde die cone beam computed tomography (CBCT) als bildgebendes Verfahren angewendet.</p> <p>Die CBCT-Aufnahmen von unbehandelten Individuen wurden als Referenz verwendet.</p> <p>Die Teilnehmer wurden in drei Gruppen aufgeteilt.</p> <p>Gruppe 1: Brachiofacialer Gesichtstypus n=15 Durchschnittsalter = 23.3</p> <p>Gruppe 2: Mesiofacialer Gesichtstypus n=15 Durchschnittsalter = 19.2</p> <p>Gruppe 3: Dolichofacialer Gesichtstypus</p>	<p>statistischen Unterschiede der Knochendicke in der IZC-Region zwischen den Gruppen festgestellt werden.</p> <p>Für die MBS-Region kamen einige Untersuchungen zum Ergebnis, dass es keine signifikanten statistischen Unterschiede der Knochendicke in dieser Region gibt.</p> <p>Andere Untersuchungen wiederum ergaben eine erhöhte Knochendicke beim brachiofacialen Typus im Bereich der distalen Wurzel des ersten Molaren im Unterkiefer und beim dolichofacialen Typus im Bereich der mesialen und distalen Wurzel des</p>	<p>Unterschied der Knochendicke in der IZC-Region bei verschiedenen Gesichtstypen. Der Gesichtstypus könnte Einfluss auf die Knochendicke in der MBS-Region haben, allerdings sind die Ergebnisse nicht aussagekräftig genug, um von klinischer Relevanz zu sein.</p>
--	--	--	---

	<p>n=15 Durchschnittsalter = 17.8</p> <p>In der IZC-Region waren die evaluierten Regionen 11, 13 und 15 mm über den Höckerspitzen der linken und rechten ersten Molaren.</p> <p>In der MBS-Region lagen die Regionen auf den Projektionen der distalen Wurzel des ersten Molaren und der mesialen und distalen Projektionen des zweiten Molaren bei 4mm bis 8mm Abstand zur Schmelz-Zement-Grenze.</p>	zweiten Molaren im Unterkiefer	
--	--	--------------------------------	--

Studie Nr.4	Studienhintergrund und Methode	Studienresultat	Schlussfolgerung
Baumgaertel et al.	Um die Knochenstärke in der IZC-Region für die Insertion von kieferorthopädischen Miniimplantaten zu	Die größte Knochenstärke lag bei einer durchschnittlichen Höhe von	Beim Inserieren eines kieferorthopädischen Implantats (6mm oder länger)

	<p>untersuchen, wurden neunundzwanzig Erwachsenenschädel mittels CBCT-Technik analysiert. Dafür wurden je drei verschiedene Achsen und fünf unterschiedliche Schichten ausgewählt.</p>	<p>11.48mm +/- 1.92mm von der Schmelz-Zementgrenze entfernt vor. Als Messpunkt diente bei den Untersuchungen der erste Mahlzahn des Oberkiefers. Am tiefsten Messpunkt wurde eine Knochenstärke von 7.05mm +/- 3.7mm gemessen. Sowohl die gewählte Achse, als auch die gewählte Schicht bei dem angewanten Messverfahren haben signifikanten Einfluss auf die gemessene Knochendicke.</p>	<p>in die IZC-Region unter Einhaltung von genügend Abstand zu den Molarenwurzeln, kann eine Perforation in den Sinus maxillaris erwartet werden. Allerdings variiert die Knochendicke zwischen den verschiedenen Individuen, weshalb präoperative Messungen erforderlich sind.</p>
--	--	---	--

Studie Nr.5	Studienhintergrund und Methode	Studienresultat	Schlussfolgerung
Chang et al.	<p>Um die Ausfallraten verschiedener Implantatmaterialien zu vergleichen wurden Implantate aus Edelstahl (SS/ stainless steel) und Titanlegierung (TiA/ titanium alloy) in die IZC-Region der Maxilla inseriert und miteinander verglichen.</p> <p>Insgesamt nahmen an dieser Studie 386 Patienten teil, davon waren 76 männlich, 310 weiblich. Das Durchschnittsalter lag bei 24.3 Jahren, die Altersspanne lag bei 10.3 bis 59.4 Jahren.</p> <p>Es handelt sich hierbei um eine Blind-Studie im Split-Mouth-Design.</p> <p>Die Schrauben wurden entweder im Bereich der attached Gingiva oder im Bereich der Mukosa mit 5mm soft tissue clearance inseriert.</p>	<p>Von den 772 Inserierten Implantaten sind im Behandlungszeitraum 49 ausgefallen, was einer Fehlerrate von 6.3% entspricht. Davon waren 27 aus SS (7.0% der 386 SS-Implantate) und 22 aus TiA (5.7% der 386 TiA-Implantate).</p> <p>Die Differenz von 1.3% war statistisch nicht signifikant (P=.07).</p> <p>Es konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen SS- oder TiA-Ausfällen in Zusammenhang mit (1) rechter vs linker Seite,</p>	<p>Die Gesamterfolgsquote von 93.7% impliziert, dass stainless steel (SS) und Titanlegierung (TiA) gleichermaßen empfehlenswert im IZC-Bereich sind.</p>

	<p>Alle Minischrauben wurden sofort mechanisch belastet.</p> <p>Die mechanische Kraft wurde monatlich auf bis zu 14 oz (397g oder 389cN) reaktiviert. Dies erfolgt bilateral direkt über einen Bogendraht. Dies erfolgte über einen Zeitraum von 6. Monaten.</p>	<p>(2) unilateral vs bilateral oder (3) Alter festgestellt werden.</p> <p>Signifikante Ausfallraten für SS-Implantate ($P < .05$) konnten nur in zwei Subgruppen festgestellt werden:</p> <p>Rechte Seite (7.8%)</p> <p>Bereich der attached Gingiva (7.4%)</p> <p>Die unilaterale Ausfallrate betraf 21 Patienten und die bilaterale Ausfallrate 14 Patienten.</p>	
--	--	---	--

Studie Nr.6	Studienhintergrund und Methode	Studienresultat	Schlussfolgerung

<p>Chang et al.</p>	<p>Ziel dieser Studie war es die Erfolgsrate von Mini-Implantaten in einem Behandlungszeitraum von 6 Monaten in der IZC-Region festzustellen, in Relation zum Alter der* Patienten* der* Patientinnen*, Insertionswinkel, Sinuspenetration und Insertionstorque. 100 Patienten (27 männlich; 73 weiblich; Durchschnittsalter 25.8 Jahre; Altersumfang von 11.0 bis 53.8 Jahre) erhielten bilateral Temporary Anchorage Devices (TADs) in die IZC-Region (n=200) inseriert. Alle TADs wurden mit 14oz (397g oder 389 cN) mechanisch belastet und monatlich aktiviert über einen Zeitraum von 6 Monaten. Der Insertionstorque wurde gemessen, sowie die Insertionstiefe des</p>	<p>Verglichen mit TADs in der IZC-Region, die nicht den Sinus maxillaris penetriert haben, zeigte die Untersuchung bei den 96 TADs (48%), welche den Sinus maxillaris penetriert haben: 3.23mm Sinuspenetration, 21.3% abfallen des Insertionstorques und 31.5% weniger Knochenkontakt an der TAD-Oberfläche. Die Perforationswahrscheinlichkeit steigt mit dem Alter an, von 35.7% bei 11-19-jährigen auf bis zu 62.5% bei über 30-jährigen (P<0.01). Der Insertionstorque steigt bei der Altersgruppe von</p>	<p>Sowohl die Knochenqualität in der IZC-Region, als auch die Penetrationsrate steigen mit dem Alter an. Die Sinuspenetration hat keinen signifikanten Effekt auf die 6-Monats-Erfolgsrate von IZC-TADs. Dies entsteht dadurch, dass der Verlust der Knochenquantität im höheren Alter durch die Zunahme der Knochenqualität in der IZC-Region ausgeglichen wird.</p>
---------------------	---	--	---

	<p>Implantats im Knochen radiographisch bestimmt, sowie die eventuelle Penetrationstiefe in den Sinus maxillaris ermittelt.</p>	<p>11-19 Jahren hin zur Altersgruppe von 20-29 Jahren, bedingt durch die Zunahme der Knochendichte im höheren Alter. Bei der Altersgruppe >30 Jahren nimmt die Knochendichte langsam ab, was zu einem statistischen Anstieg der Sinusperforationen ($P < 0.05$) führt. Die Penetration des Sinus maxillaris hat keinen signifikanten Effekt auf die Erfolgsrate der TADs in der IZC-Region ergeben. Circa 5% der TADs gingen verloren, wenn der Insertionstorque signifikant ($P < 0.05$) auf 7.37 N-cm abgefallen ist,</p>	
--	---	--	--

		verglichen mit dem Durchschnittstorque bei Insertion von 11.63 N-cm bei erfolgreichen TADs.	
--	--	---	--

Studie Nr.7	Studienhintergrund und Methode	Studienresultat	Schlussfolgerung
Lima et al.	Temporary skeletal anchorage devices (TSADs) werden für die Optimierung der skelettalen Verankerung in der Kieferorthopädie verwendet. Ihre Insertion in die IZC-Region erlaubt eine effiziente mechanische Belastung. Verschiedene Gesichtstypen haben eine unterschiedliche Knochenmorphologie. Ziel ist es Unterschiede in der Knochendicke bei	Die IZC-Bereiche mit minimaler Knochendicke für die TAD-Insertion sind wie folgt gestaffelt: Gruppe 1: Zwischen dem ersten und zweiten Molaren 11mm apikal vom Alveolarkamm, mesiale Wurzel des zweiten Molaren 9mm	Der sichere Bereich für die Insertion von IZC-Minischrauben liegt 11mm vom Alveolarkamm zwischen dem ersten und zweiten Molaren und an der mesialen Wurzel des zweiten Molaren für alle drei Gesichtstypen.

	<p>unterschiedlichen Gesichtstypen in der IZC-Region zu analysieren und eine sichere Insertionslokalisation für jeden Gesichtstypus zu ermitteln.</p> <p>Für diese retrospektive Studie wurden 86 CBCT-Aufnahmen in drei Gruppen aufgeteilt und dem jeweiligen Gesichtstypus zugeordnet:</p> <p>Gruppe 1: 24 CBCT-Aufnahmen von hyperdivergenten Patienten</p> <p>Gruppe 2: 30 CBCT-Aufnahmen von neutralen Patienten</p> <p>Gruppe 3: 32 CBCT-Aufnahmen von hypodivergenten Patienten</p> <p>Die Messung der Knochendicke in der IZC-Region erfolgte in 6 Zonen zwischen dem zweiten Prämolaren und der distalen Wurzel des</p>	<p>apikal vom Alveolarkamm und die distale Wurzel des zweiten Molaren 11mm vom Alveolarkamm.</p> <p>Gruppe 2 und 3: Zwischen dem ersten und zweiten Molaren 11mm vom Kieferkamm und die mesiale Wurzel des zweiten Molaren 11mm vom Alveolarkamm entfernt.</p>	
--	--	--	--

	zweiten Molaren je 5, 7, 9 und 11mm apikal des Alveolarkamms.		
--	---	--	--

Studie Nr.8	Studienhintergrund und Methode	Studienresultat	Schlussfolgerung
Liu et al.	<p>Grund für diese Studie war es, die anatomische Struktur der IZC-Region mit Hilfe von CBCT-Aufnahmen zu bewerten und sichere Zonen für die Distalisierung der Dentition des Oberkiefers zu ermitteln. Hierfür wurde der IZC-Bereich von 60 Patienten in drei Regionen analysiert. Dies erfolgte:</p> <ul style="list-style-type: none"> - zwischen dem zweiten Prämolaren und ersten Molaren (U5-U6) - zwischen der mesialen und distalen Wurzel des 	<p>Die bukkale Knochendicke war im Bereich U6-U7 höher als in den Regionen U6 und U5-U6. Die bukkale Knochendicke wird tendenziell größer zum Sinusboden hin. Der dickste Bereich bukkal lag 11mm apikal von U6-U7 und betrug 4.07mm. Die prozentuelle Knochenhöhe vom Alveolarkamm hin zum Sinusboden</p>	<p>Das Ergebnis dieser Studie ist, dass die Region U6-U7 die am besten geeignete ist, um kieferorthopädische Miniimplantate im IZC-Bereich zu inserieren, um im Oberkiefer zu distalisieren.</p>

	<p>ersten Molaren (U6) - zwischen dem ersten und zweiten Molaren (U6-U7) Es wurde die Knochendicke bukkal der Wurzeln und interradi­kulär gemessen, im Abstand von 5, 7, 9 und 11mm apikal vom Alveolarkamm entfernt, in Richtung des Sinusbodens. Die bukkale Knochendicke wurde von der Spitze des Alveolarkamms ausgehend bis zum Sinusboden gemessen.</p>	<p>war kleiner als 10mm, und zwar um einen Wert von 38% im Bereich U5-U6, 52% im Bereich U6 und 43% im Bereich U6-U7. Der Interradi­kuläre Abstand war im Bereich U6 am kleinsten und im Bereich U5-U6 am größten.</p>	
--	---	--	--

Studie Nr.9	Studienhintergrund und Methode	Studienresultat	Schlussfolgerung
Murugesan et al.	<p>IZC-Minischrauben stellen eine wichtige Entwicklung in der kieferorthopädischen Verankerung dar. Die Dimension der Schraube und die Insertionsposition</p>	<p>Das Knochenangebot lag bei 4.5 bis 9.0mm bei einer Angulation von 40 bis 75 Grad und</p>	<p>Die statistisch beste Insertionsposition liegt 12-17mm von der Okklusalebene des ersten Molaren</p>

	<p>hängen vom Knochenangebot in der IZC-Region ab. Die Knochenmorphologie variiert bei verschiedenen ethnischen Populationen. Um das Knochenangebot in der IZC-Region im Bereich der disto-bukkalen Wurzel des ersten Oberkiefermolaren beurteilen zu können, wurden CBCT-Aufnahmen verwendet, um die optimale Position und Angulation zu ermitteln. Dies dient der Bestimmung der optimalen Implantatgröße für die dravidianische Population. Das Knochenangebot in der IZC-Region wurde bei 10 Patienten mittels CBCT-Aufnahmen ermittelt. Die Messungen wurden an der disto-bukkalen Wurzel des ersten Molaren in verschiedenen Angulationen im Winkel von 40-75 Grad</p>	<p>einem Abstand von 11 bis 17mm zur Okklusalebene. Student t-test (Sicherheitsintervall 95%) wurde angewandt, um Geschlechtsvariationen zu determinieren und um das Knochenangebot der rechten und linken Seite zu vergleichen. ANOVA und post-hoc-Test wurden angewandt, um statistische Differenzen zwischen gemessener Knochendicke und verschiedenen Angulationswinkeln zu determinieren.</p>	<p>in einem Winkel von 65 bis 70 Grad, ohne Verletzung der anatomischen Strukturen in diesem Bereich, keiner mukosalen Irritation und adäquater Stabilität der Schraube. Die ideale Schraubengänge für die dravidianische Population liegt statistisch bei 9 bis 11mm.</p>
--	--	--	--

	durchgeführt, zur Okklusalebene des ersten Molaren.		
--	---	--	--

Studie Nr.10	Studienhintergrund und Methode	Studienresultat	Schlussfolgerung
Wang et al.	Wegen der anatomischen Nähe der Zahnwurzeln der Oberkiefermahlzähne zum Sinus maxillaris ergeben sich zahlreiche Schwierigkeiten bei zahnärztlichen Behandlungen in dieser Region, von der Wurzelbehandlung bis hin zu oralchirurgischen Eingriffen. Speziell in der kieferorthopädischen Behandlung mit Hilfe von TADs ist die genaue Lokalisation des Sinus maxillaris entscheidend und nimmt Einfluss auf die Behandlungsplanung.	Die Messungen unter Verwendung der CBCT-Technik der skelettalen Klasse 1. und einer zuvor durchgeführten Studie, bei der das gleiche Studienmuster an Patienten der Skelettalen Klasse 2. angewendet wurde, haben ergeben, dass die Parameter Volumen, Weite, Höhe und Tiefe des Sinus maxillaris bei den	Es gibt keine signifikanten Unterschied der Ausdehnung und der Lokalisation des Sinus maxillaris zwischen den verschiedenen vertikalen Gesichtstypen. Allgemein ist Ausdehnung des Sinus maxillaris bei Männern tendenziell größer als bei Frauen.

	<p>Diese Studie hat das Ziel Lokalisation und Dimension des Sinus maxillaris bei chinesischen Patienten mit einer skeletalen Klasse 1. zu bestimmen unter Verwendung der CBCT-Technik.</p> <p>Es wurden 32 weibliche und 28 männliche Patienten untersucht.</p>	<p>verschiedenen Gesichtstypen nicht signifikant variieren.</p> <p>Die gemessenen Parameter waren bei den männlichen Patienten größer als bei den weiblichen Patientinnen, was auf die allgemein größere Physionomie der Männer zurückzuführen ist.</p>	
--	---	---	--

Studie Nr.11	Studienhintergrund und Methode	Studienresultat	Schlussfolgerung
Athira et al.	In dieser retrospektiven Studie wurden CBCT-Aufnahmen von 48 Patienten* Patientinnen* im Alter von 18-30 Jahren	Die Dicke des kortikalen Knochens steigt nach distal hin vom ersten zum zweiten	Die bevorzugte Insertionslokalisierung in der Buccal-Shelf-Region liegt distal vom zweiten

	<p>verglichen. Die 48 Patienten* Patientinnen* wurden in vier Gruppen aufgeteilt.</p> <p>Es wurden sieben Schichten je 3, 5 und 7mm vom Alveolarkamm entfernt untersucht.</p> <p>Die Untersuchung wurde im Winkel von 90 Grad zum Alveolarkamm durchgeführt und ein zweites Mal im Winkel von 30 Grad zum Alveolarkamm.</p>	<p>Molaren bei allen vier Gruppen.</p>	<p>Molaren.</p> <p>Die maximale Stärke des kortikalen Knochens wurde hier distal vom zweiten Molaren, 7mm in vertikaler Ausrichtung vom Kieferkamm entfernt, bei einer Angulation des kieferorthopädischen Implantats von 30 Grad zur Längsachse des Zahnes gemessen.</p>
--	---	--	---

Studie Nr.12	Studienhintergrund und Methode	Studienresultat	Schlussfolgerung
Wang et al.	Die Studie beschäftigt sich mit dem interradikulären Platzangebot und der bukkalen Knochendicke der posterioren Region der Mandibula, um	Die größte Knochendicke im bukkalen Bereich wurde auf Höhe der mesialen Wurzel des	Die sicherste Insertionsposition in der Buccal-Shelf-Region liegt mesial vom zweiten Molaren in

	<p>kieferorthopädische Miniimplantate in diesem Bereich sicher inserieren zu können, sowie eine anschließende Distalisierung der Zähne im Unterkiefer zu ermöglichen. Hierfür wurden 63 CBCT-Aufnahmen gesammelt und ausgewertet. Die bukkale Knochendicke wurde in vier Sektionen gemessen, die wie folgt aufgeteilt wurden:</p> <p>P1: Wurzel des zweiten Prämolaren</p> <p>P2: Mesiale Wurzel des ersten Molaren</p> <p>P3: Distale Wurzel des ersten Molaren</p> <p>P4: Mesiale Wurzel des zweiten Molaren</p> <p>Die schmalste Stelle des interradiikulären Bereichs wurde ebenfalls gemessen. Der interradiikuläre Spalt</p>	<p>zweiten Molaren in einem Abstand von 6mm und 8mm vom Alveolarkamm gemessen. Dort betrug die gemessene Dicke bei einem Abstand von 6mm zum Alveolarkamm 6.77mm +/- 2.50mm und bei einem Abstand von 8mm zum Alveolarkamm 7.46mm +/- 1.94mm. Dies ermöglicht eine suffiziente Insertion der Miniimplantate in einem Winkel von 10-30Grad zur jeweiligen Wurzel. Die Messungen haben ergeben, dass der Abstand zwischen der mesialen und distalen Wurzel des ersten Molaren am schmalsten ist.</p>	<p>einem Abstand von 6-8mm zum Alveolarkamm und einem Insertionswinkel von 10-30 Grad zur jeweiligen Wurzel. Diese Positionierung macht einen Implantat-Wurzel-Kontakt sehr unwahrscheinlich. CBCT-Messungen werden vor der Implantation als Planungsinstrument empfohlen.</p>
--	--	--	--

	<p>und die bukkale Knochendicke wurden auf vier verschiedenen Höhen gemessen. Diese lagen je 2, 4, 6 und 8mm vom Alveolarkamm entfernt.</p>	<p>Dieser beträgt 1.53mm +/- 0.69mm bei einem Abstand von 4mm zum Alveolarkamm und 2.13mm +/- 0.65mm bei einem Abstand von 6mm zum Alveolarkamm. Implantationen in diesem Bereich haben somit ein erhöhtes Risiko der Wurzelf perforation.</p>	
--	---	--	--

Studie Nr.13	Studienhintergrund und Methode	Studienresultat	Schlussfolgerung
Nucera et al.	<p>Diese Studie analysiert die Dicke des bukkalen Knochens, die Tiefe des bukkalen Knochens, sowie die tiefe des kortikalen Knochenanteils in der MBS, um die beste Insertionsposition für</p>	<p>Es zeigt sich mesial und distal vom zweiten Molaren ausreichend Knochenstärke. In einem Abstand von 4mm von der</p>	<p>Einige Regionen der MBS (Mandibular Buccal-Shelf) bieten genügend Knochenquantität und auch Qualität für die sichere</p>

	<p>kieferorthopädische Miniimplantate zu bestimmen. Dafür wurden CBCT-Aufnahmen von 30 Erwachsenen im Alter von 30.9 +/- 7.0 Jahren verwendet. Alle Aufnahmen wurden mit einem i-CAT-CBCT-Scanner aufgenommen und ins DICOM-Format umgewandelt.</p>	<p>Schmelz-Zement-Grenze des zweiten Molaren lag die Knochenstärke gemessen an der mesialen Wurzel durchschnittlich bei 18.51mm und in einem Abstand von 6mm zur Schmelz-Zement-Grenze durchschnittlich bei 14.14mm. Die Messungen an der distalen Wurzel ergaben eine Dicke von 19.91mm im Abstand von 4mm und 16.5mm im Abstand von 6mm zur Schmelz-Zement-Grenze. Alle Seiten zeigten eine kortikale Knochenstärke von über 2mm.</p>	<p>Insertion von Miniimplantaten. Die Insertionsposition mit den optimalen anatomischen Gegebenheiten korreliert mit der distalen Wurzel des zweiten Molaren in einem Abstand von 4mm zur Schmelz-Zement-Grenze. Mit Blick auf die Stärke der hier vorliegenden Kortikalis wird ein Vorbohren empfohlen um ein übermäßig hohes Drehmoment beim Inserieren zu vermeiden.</p>
--	---	---	---

Studie	Studienhintergrund und	Studienresultat	Schlussfolgerung
--------	------------------------	-----------------	------------------

Nr.14	Methode		
Sarul et al.	<p>MBS-Miniimplantate spielen bei der Behandlung der Klasse III eine große Rolle und ermöglichen Zahnbewegungen die anders nicht mögliche wären.</p> <p>Leider ist die Stabilität und die Fehlerrate in der Buccal-Shelf-Region höher als in anderen intraoralen Bereichen.</p> <p>Ziel dieser Studie war es den Einfluss der Größe der Minischraube auf den Langzeiterfolg bezüglich Langzeitstabilität, Inflammationen der periimplantären Mukosa und postoperativen Schmerz >48h zu untersuchen.</p> <p>Hierfür wurden 184 Miniimplantate des Modells Absoanchor (Dentos, South Korea) in zwei Größen implantiert und Verglichen:</p>	<p>91.3% der SH2018-10 und 75% der SH1514-08 Miniimplantate waren stabil.</p> <p>Inflammationen der periimplantären Mukosa waren bei beiden Modellen nachweisbar. 50% der SH2018-10 und 26.09% der SH1514-08 waren von mukosalen Inflammationsprozessen betroffen.</p> <p>Mit dem Implantat assoziierter postoperativer Schmerz war bei 60.87% der Patienten, die mit dem Modell SH2018-10 und bei 26.09% der Patienten die mit dem Modell</p>	<p>Größere SH2018-10 Miniimplantate sind die Verankerung der Wahl für kieferorthopädische Behandlungen in der Buccal-Shelf-Region, trotz des erhöhten Inflamationsrisikos und länger anhaltenden postoperativen Schmerzen.</p> <p>Diese Komplikationen sollten präoperativ mit dem Patienten besprochen werden und auf die Vorteile verwiesen werden.</p>

	<p>1) SH2018-10 Länge: 10mm Durchmesser: 1.8mm-2.0mm</p> <p>2) SH1514-08 Länge: 8mm Durchmesser: 1.4mm-1.5mm</p> <p>Diese wurden bei 92 weißen Patienten im Alter von 20 bis 50 Jahren mit einer diagnostizierten Klasse III und einer geplanten en-masse-Distalisierung implantiert.</p>	<p>SH1514-08 versorgt worden sind nachzuweisen. Obwohl die Inflamationsrate bei den längeren Miniimplantaten höher war, nahm dies keinen Einfluss auf die Langzeitstabilität.</p>	
--	---	---	--

Studie Nr.15	Studienhintergrund und Methode	Studienresultat	Schlussfolgerung
Chang et al.	Um die initiale Fehlerrate über vier Monate zu ermitteln, wurden Minischrauben in der Buccal-Shelf-Region im	121 (7.1%) der 1680 Minischrauben gingen über den Behandlungszeitra	In der Region der MBS inserierten Schrauben haben eine hohe Erfolgsquote

	<p>Bereich der attached Gingiva (AG) und der mobilen Mukosa (MM) inseriert.</p> <p>Insgesamt wurden 1680 Edelstahlschrauben (SS) in der Dimension 2x12mm in die Buccal-Shelf-Region bei 840 Patienten (405 männlich; 435 weiblich) inseriert.</p> <p>Das Alter lag bei 16 (+/-5) Jahren.</p> <p>Alle Implantate wurden lateral vom Kieferkamm und bukkal der Wurzeln der ersten und zweiten Molaren inseriert.</p> <p>Der Schraubenkopf lag dabei 5mm über der Schleimhaut.</p> <p>Die mechanische Belastung der Schrauben lag dabei zwischen 8 oz und 14 oz (227-397g, 231-405cN) und wurde über vier Monate aufrecht erhalten.</p>	<p>um verloren.</p> <p>7.31% lagen in der MM, 6.85% in der AG. Dieses Ergebnis war statistisch nicht signifikant.</p> <p>Die Ausfälle waren bei 89 Patienten unilateral und bei 16 Patienten bilateral zu verzeichnen.</p> <p>Die Ausfälle auf der linken Seite waren mit 9.29% signifikant höher (P<.001), verglichen mit der rechten Seite (5.12%).</p> <p>Das Durchschnittsalter der* Patienten* der* Patientinnen* mit Ausfällen lag bei 14 (+/- 3) Jahren.</p>	<p>(93%).</p> <p>Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen Platzierung in der MM oder AG festgestellt werden.</p> <p>Die Fehlerraten waren auf der linken Seite und bei jüngeren Patienten höher.</p> <p>Da es bei 16 Patienten zu bilateralen Ausfällen kam, liegt bei 1.9% vermutlich eine Prädisposition für Implantatverluste bei dieser Behandlungsmethode vor.</p>
--	---	--	--

Studie	Studienhintergrund und	Studienresultat	Schlussfolgerung
--------	------------------------	-----------------	------------------

Nr.16	Methode		
Sreeniva- sagan et al.	<p>Ziel dieser Studie war die Ermittlung des Angebots an Knochen und Kortikalis in der MBS-Region bei verschiedenen Insertionstiefen und Angulationen der dravidanischen Population um die Beste Position für die Insertion von Minischrauben im Bereich der Buccal-Shelf zu ermitteln.</p> <p>Für diese retrospektive Studie wurden 30 CBCT-Aufnahmen von 30 Patienten* Patientinnen* verglichen, die sich einer kieferorthopädischen Behandlung unterzogen haben. Das Alter lag bei 16 bis 25 Jahren.</p> <p>Die Stärke des Knochens und der Kortikalis wurden in Relation zur mesio-bukkalen Wurzel des ersten Molaren (MB1M), zur disto-bukkalen Wurzel des ersten Molaren</p>	<p>Die höchste gemessene Knochendicke wurde in einer Tiefe von 8mm bei der MB2M (6.41+/- 0.29mm) und 12mm in Relation zur DB2M (6.56+/- 0.28mm) gemessen.</p> <p>Die höchste maximale Knochendicke in Abhängigkeit von der Angulation wurde im Bereich der DB2M mit 11.42mm +/-0.35mm gemessen. Der Angulationswinkel betrug 30 Grad.</p> <p>Der maximale Abstand zur Wurzel wurde ebenfalls im Bereich der DB2M unter Anwendung</p>	<p>Die Insertionsposition mit der optimale Knochenquantität lag im Bereich der disto-bukkalen Wurzel des zweiten Molaren in einer Tiefe von 8mm oder größer und einer Angulation von 30 bis 45 Grad.</p> <p>Der ermittelte Angulationsradius ermöglicht einen sicheren Abstand zur Wurzel und eine Penetration von mindestens 2mm Kortikalis.</p>

	<p>(DB1M) und zur disto- bukkalen Wurzel des zweiten Molaren (DB2M) evaluiert.</p> <p>Die Messungen erfolgten in einem Abstand von 4mm, 8mm und 12mm von der Schmelz-Zement-Grenze (CEJ).</p> <p>Der Angulationswinkel der Messungen betrug 30, 45 und 60 Grad.</p>	<p>eines Winkels von 30 Grad gemessen und betrug 5.35mm +/- 0.2mm.</p> <p>Der höchste Messwert die Kortikalis betreffend, wurde erneut auf höhe der DB2M gemessen und betrug 2.97mm +/- 0.15mm bei einem Messwinkel von 45 Grad.</p>	
--	---	--	--

Studie Nr.17	Studienhintergrund und Methode	Studienresultat	Schlussfolgerung
Ummat et al.	<p>Ziel der Untersuchung war der Vergleich der Stabilität von MBS-Schrauben unter Anwendung von self- drilling- und pre-drilling- Insertionstechnik.</p> <p>Beim Versuchsaufbau</p>	<p>Eine statistisch relevante Differenz zwischen dem ISQ wurde in den pre- drilling- und self- drilling-Gruppen festgestellt, mit</p>	<p>MBS-Schrauben, die mittels pre-drilling- Verfahren inseriert worden sind, zeigten eine höhere Primär- und</p>

	<p>handelte es sich um eine split-mouth-Kontrollstudie bei sieben Patienten* Patientinnen*.</p> <p>Jeder erhielt zwei MBS-Minischrauben.</p> <p>Diese wurden unter Anwendung eines pre-drilling- und self-drilling-Protokolls inseriert.</p> <p>Der jeweilige Quadrant wurde durch Münzwurf bestimmt. Die Stabilität wurde gleich nach Insertion, sowie 1, 2, 3 und 4 Monate mittels Periotest (Osstell Beacon TM) gemessen. Der Implant Stability Quotient (ISQ) wurde zwischen den beiden Quadranten verglichen.</p> <p>Das Friedmans Two-Way Analysis of Variance und der Wilcoxon signed rank test wurden angewendet um die verschiedenen Patienten* Patientinnen* untereinander zu vergleichen. Ein statistisch relevantes Ergebnis wurde mit einem</p>	<p>dem Ergebnis, dass das pre-drilling-Protokoll eine höhere Stabilität erzielt hat. Die Primärstabilität der MBS-Schrauben nahm zunächst ab, aber die Sekundärstabilität blieb akzeptabel.</p>	<p>Sekundärstabilität als self-drilling-Schrauben.</p> <p>Der mittels Resonance Frequency Analysis ermittelte ISQ kann als valides Hilfsmittel für die Bestimmung der Stabilität verwendet werden.</p>
--	--	---	--

	P-Wert von weniger als 0.05 festgelegt.		
--	---	--	--

Studie Nr.18	Studienhintergrund und Methode	Studienresultat	Schlussfolgerung
Eto et al.	<p>CBCT-Aufnahmen von 205 Patienten* Patientinnen* (110 Frauen; 95 Männer) wurden unter Berücksichtigung des Alters, Geschlechts und des vertikalen Gesichtstypus verglichen. Die Knochendicke der Buccal-Shelf-Region und die Knochendicke zum inferior alveolar nerve canal (IANC) wurden an der mesialen und distalen Wurzel der ersten und zweiten Molaren gemessen und verglichen.</p>	<p>Die Knochendicke nimmt nach distal hin konstant zu ($P < .001$). Dies gilt für alle Gruppen unter Berücksichtigung des Alters, Geschlechts und Gesichtstypus. Die Knochendicke zum IANC unterliegt nach distal hin Schwankungen abhängig von genauen Verlauf des Nervus alveolaris inferior. Dies ist ebenfalls bei allen</p>	<p>Die ideale Position für die Insertion von Miniimplantaten in der Buccal-Shelf-Region liegt im Bereich der distalen Wurzel des zweiten Molaren, unabhängig vom vertikalen Gesichtstypus, des Alters und Geschlechts. Die Knochendicke im Bereich der Buccal-Shelf-Region und des IANC ist bei</p>

		<p>untersuchten Gruppen festzustellen, allerdings geht aus den Untersuchungen hervor, dass die den Nervenkanal umschließende Knochendicke im Durchschnitt kleiner ist als bei Männern.</p> <p>Außerdem geht hervor, dass die allgemeine Knochendicke im Bereich des zweiten Molaren unabhängig vom Geschlecht bei Patienten* Patientinnen* über 40 Jahren abnimmt.</p>	<p>Frauen allgemein geringer als bei Männern.</p>
--	--	--	---

Studie	Studienhintergrund und	Studienresultat	Schlussfolgerung
--------	------------------------	-----------------	------------------

Nr.19	Methode		
Han et al.	<p>Minischrauben dienen in der kieferorthopädischen Behandlung seit längerem als Verankerung. Form, Länge und Durchmesser sind dabei Parameter, die substantziellen Einfluss auf die Stabilität und somit den Behandlungserfolg haben. Ziel dieser Studie war es die mechanischen Eigenschaften von Miniimplantaten in Bezug auf ihre Stabilität zu messen. Hierfür wurden verschiedenen Implantate in Knochenblöcke inseriert und die Ergebnisse unter Verwendung verschiedener Messmethoden ausgewertet.</p> <p>Für den Versuchsaufbau wurden zwei verschiedene Miniimplantatsysteme (15x Tomas und 15x AbsoAnchor) in künstliche Knochenblöcke mit einem Durchmesser von 1.5, 2.0</p>	<p>Der maximale Insertionstorque, Explantationstorque, Implantatstabilität und die statische und dynamische Flexibilität stiegen signifikant an mit der dicke des Knochenblocks. Allerdings konnte man beobachten, dass die Periotestwerte mit zunehmender Knochenblockdicke abnahmen. Außerdem konnte ermittelt werden, dass die statische Flexibilität des Implantats mit der Implantatstabilität korreliert.</p>	<p>Die Untersuchungen dieser Studie legen nahe, dass Miniimplantate mit größerem Durchmesser und Länge stabiler sind und den mechanischen Einflüssen in der kieferorthopädischen Therapie besser widerstehen können.</p>

	<p>und 3.0mm inseriert.</p> <p>Es wurden der maximale Insertionstorque, der Explantationstorque, die Implantatstabilität, statische und dynamische Flexibilität und die Energieabsorptionsfähigkeit für jedes Implantatsystem gemessen.</p>		
--	---	--	--

Studie Nr.20	Studienhintergrund und Methode	Studienresultat	Schlussfolgerung
Wang et al.	<p>Ziel dieser retrospektiven Studie war es das Belastungsverhalten von selbst-bohrenden Miniimplantaten mit Implantaten, die eine Vorbohrung benötigen, zu vergleichen.</p> <p>Die Insertion erfolgte in der IZC-Region der Maxilla.</p> <p>Für die Studie wurden die Miniimplantate von 32 Patientinnen verglichen.</p>	<p>Sowohl die selbst-bohrenden Miniimplantate, als auch die Implantate die mittels Vorbohrung inseriert wurden, haben durch den Kraftvektor, der von der Nickel-Titan-Feder ausging, eine signifikante</p>	<p>Das Belastungsverhalten der Miniimplantate zeigte in der IZC-Region der Maxilla keine signifikanten Unterschiede.</p> <p>Unter der Einwirkung biomechanischer Kräfte im Zuge der kieferorthopädisch</p>

	<p>Davon waren 16 selbst-bohrend und die anderen 16 erforderten eine Vorbohrung.</p> <p>Alle Minischrauben hatten einen Durchmesser von 2mm und waren zwischen 10mm und 17mm lang.</p> <p>In allen 32 Fällen wurden die Implantate zwei Wochen nach Insertion durch Nickel-Titan-Federn mechanisch Belastet.</p> <p>Alle 32 Implantate blieben während der gesamten Behandlungszeit stabil, ohne das es zur erhöhten Mobilität oder zum Implantatverlust gekommen ist.</p> <p>Radiologische Aufnahmen wurden sofort nach der Insertion (T1) und fünf Monate (T2) nach der Insertion angefertigt und verglichen.</p>	<p>Verschiebung innerhalb des Knochens erfahren.</p> <p>Die Messungen ergaben aber keine signifikanten Unterschiede zwischen selbst-bohrenden und nicht-selbst-bohrenden Implantaten.</p> <p>Sie korrelierten in beiden Fällen mit der Implantatlänge und der Belastungsperiode.</p> <p>Die Verschiebungen im Oberkieferknochen betragen:</p> <p>0.0mm-1.6mm Extrusion</p> <p>0.0mm-1.5mm Kippung des Schafts nach mesial oder distal in Abhängigkeit von der Richtung</p>	<p>en Behandlung, kam es in beiden Fällen zu Verschiebungen des Implantatkörpers innerhalb der Maxilla.</p> <p>Die Verschiebungen korrelierten alle mit der Implantatlänge und Behandlungsdauer. Kürzere Implantate erfuhren eine größere Verschiebung als längere Implantate.</p>
--	---	--	--

		des Kraftvektors 0.0mm-1.5mm Kippung des Implantatkopfs	
--	--	--	--

Studie Nr.21	Studienhintergrund und Methode	Studienresultat	Schlussfolgerung
Farnsworth h et al.	Ziel dieser Studie war es Altersbedingte, Geschlechtsspezifische und regionale Unterschiede der Kortikalisdicke der Maxilla und Mandibula zu ermitteln. Hierfür wurden CBCT-Aufnahmen von 52 Patienten verglichen. Die Voxel-Größe lag bei 0.39mm. Unter den 52 Patienten befanden sich 26 Jugendliche (13 Mädchen im Alter von 11-13 Jahren und 13 Jungen im Alter von 14-16 Jahren), sowie 26 Erwachsene (13 Männer	Die Multivariate analysis of variance (MONOVA) zeigte keine signifikanten Variationen der Kortikalisdicke unter den Geschlechtern. Es ergaben sich allerdings deutliche Unterschiede zwischen der Gruppe der Jugendlichen und den Erwachsenen (P<0.05). Die Kortikalis der	Die Dicke der Kortikalis ist bei Erwachsenen im Bereich der IZC- und der BS-Region größer als bei Jugendlichen. Allerdings gibt es Unterschiede innerhalb der jeweiligen Regionen des Kiefers, die vor der Insertion berücksichtigt werden müssen.

	<p>und 13 Frauen im Alter von 20-45 Jahren). Die CBCT-Aufnahmen wurden mittels 3D-Software formatiert (Version 10.5 Dolphin Imaging Systems, Chatsworth).</p> <p>Es wurden standardisierte Orientierungspunkte verwendet um die Dimension der Kortikalis in 16 Schnittebenen zu Messen, aufgeteilt nach folgenden Regionen:</p> <p>3 paramediane Schnitte der palatinalen Seite, 1 Schnitt der IZC-Seite, 4 Schnitte der interradiikulären Ebene der Mandibula von bukkal und 4 bukkale sowie 4 linguale interradiikuläre Schnittebenen der Maxilla</p>	<p>Erwachsenen war signifikant Dicker, außer im Bereich der IZC, der Mandibula bukkal auf Höhe des ersten und zweiten Molaren und der posterioren palatinalen Seite.</p> <p>Allgemein wurden in der IZC-Region und in der BS-Region bei allen Patienten höchsten Kortikaliswerte gemessen.</p>	
--	---	--	--

Name	Jahr	Land	Art der Studie	Studienpopulation
------	------	------	----------------	-------------------

(alphabetisch)				(falls angegeben)
Athira et al.	2023	Indien	Retrospektive Studie	48
Baumgaertel et al.	2009	USA	Klinische Studie	29
Chang et al.	2015	Taiwan	Retrospektive Studie	840
Chang et al.	2019	Taiwan	Klinische Studie	386
Chang et al.	2022	Taiwan	Klinische Studie	100
Eto et al.	2023	Brasilien	Retrospektive Studie	205
Farnsworth et al,	2009	USA	Retrospektive Studie	52
Han et al.	2019	USA	Klinische Studie	-
He et al.	2023	China	Klinische Studie	40
Lima et al.	2021	Brasilien	Retrospektive Studie	86
Liou et al.	2007	Taiwan	Klinische Studie	16
Liu et al.	2016	China	Klinische Studie	60
Matias et al.	2021	Brasilien	Klinische Studie	45
Murugesan et al.	2020	Indien	Klinische Studie	10
Nucera et al.	2017	Italien	Retrospektive Studie	30
Sarul et al.	2022	Polen	Klinische Studie	92
Sreenivasagan et al.	2021	Indien	Retrospektive Studie	30
Ummat et al.	2024	Indien	Kontrollstudie	7
Wang et al.	2008	Taiwan	Klinische Studie	32

Wang et al.	2022	China	Klinische Studie	63
Wang et al.	2022	China	Klinische Studie	50

Tabelle 5: Aufschlüsselung der Studien

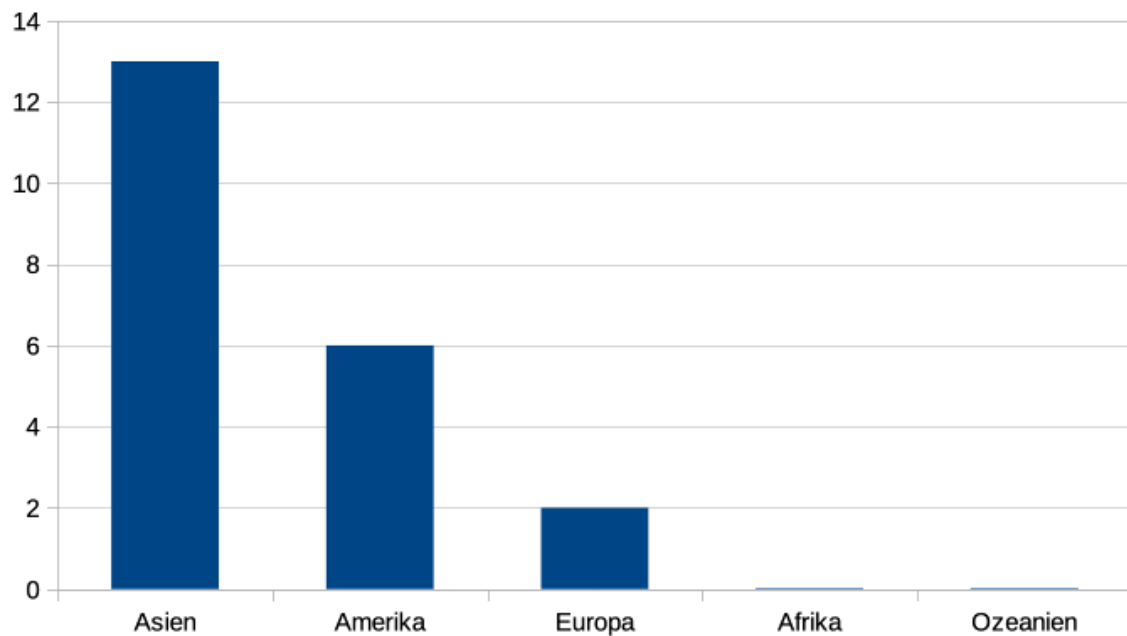


Abbildung 3: Studienherkunft nach Kontinenten

4 Diskussion

4.1 Insertionsposition der TADs im Bereich der IZC

Es hat sich gezeigt, dass die Insertionsposition im Bereich der Infrazygomatic Crest erheblichen Einfluss auf den Behandlungserfolg hat. Eine korrekte Positionierung ist ausschlaggebend für komplikationslose und schnelle Therapieerfolge. Ein wesentlicher Faktor für die kieferorthopädische Therapie mit Temporary anchorage devices, ist eine Mindestknochenstärke von 6mm, worin sich die Fachwelt einig ist.

Das anatomische Knochenangebot variiert jedoch im Bereich der Infrazygomatic Crest, weshalb sich in den vergangenen Jahren eine Prävalenz für die Insertionslokalisation herauskristallisiert hat.

Die von den meisten Autoren empfohlene Insertionsposition für kieferorthopädische Minischrauben liegt zwischen dem ersten und zweiten Molaren auf der Höhe der mesialen Wurzel des zweiten Molaren.

(Lima et al., 2021; Liu et al., 2016)

Untersuchungen mittels bildgebender Verfahren haben hier ein optimales Knochenangebot im Bereich der Infrazygomatic Crest ergeben. Jedoch muss das geplante Insertionsgebiet präoperativ untersucht werden, da Untersuchungen ergeben haben, dass es zu altersbedingten Abweichungen kommen kann. Insbesondere die Knochenquantität, aber auch die Qualität variieren im Altersverlauf.

Ab einem Alter von 30. Jahren nimmt die Knochenquantität bei Patienten* Patientinnen* zunehmend ab. Daraus resultiert ein gesteigertes Risiko für eine Perforation des Sinus maxillaris in dieser Altersgruppe. Weiterführende Studien haben aber ergeben, dass eine Perforation keinen signifikanten Effekt auf die 6-Monats-Erfolgsrate hat. Dies ist durch die Zunahme der Knochenqualität zu erklären, die im höheren Alter zunimmt. (Chang et al., 2022)

Ebenfalls von Bedeutung ist die Ausdehnung und Größe des Sinus maxillaris mit Blick auf die unterschiedlichen Gesichtstypen und das damit einhergehende Perforationsrisiko. Es ergaben sich hier aber keine signifikanten Unterschiede, allgemein konnte man aber feststellen, dass der Sinus bei Männern größer ist als bei Frauen, was bei der präoperativen Planung beachtet und durch bildgebende Verfahren begutachtet werden muss. (Wang et al., 2022)

Die Gefahr der Perforation ist eine relativ häufige Komplikation im Bereich der Infrazygomatic Crest und steigt bei Implantatlängen über 6mm deutlich an. Minimiert werden kann das Risiko durch eine möglichst enge Lagebeziehung des Implantatkörpers zu den Zahnwurzeln der Molaren, was allerdings auch die Gefahr der Verletzung dieser Strukturen erhöht. Allgemein gilt, dass bei Einhaltung eines ausreichenden Abstands zu den Zahnwurzeln auch das Perforationsrisiko des Sinus maxillaris ansteigt. (Baumgaertel et al., 2009)

Auch wenn eine Perforation, wie beschrieben, die 6-Monats-Erfolgsrate der Temporary anchorage devices nicht negativ beeinflusst, sollte das Risiko dennoch vom* Operateur* von* der* Operateurin* durch genau präoperative Planung minimiert werden, da es zu längeren postoperativen Schmerzen führen kann, sowie zu verzögerter Wundheilung nach Explantation des Implantats. (Chang et al., 2022)

Auch der Gesichtstypus wurde als Planungsrelevant für die Insertion beschrieben, diese Annahme stützt sich jedoch auf ältere Studien, die keine moderne Bildgebung zur Beurteilung in der IZC-Region verwendet haben. Neuere Untersuchungen, die auf CBCT-Aufnahmen basieren, konnten keine signifikanten Unterschiede der Knochendicke bei unterschiedlichen Gesichtstypen im Bereich der Infrazygomatic Crest feststellen. (Matias et al., 2021)

Die optimale Position für eine Insertion, ist wie bereits erwähnt, dem individuellen Knochenangebot geschuldet.

Dies kann auch unter ethnischen Gruppen eine gewisse Variabilität aufweisen. Einige Autoren empfehlen eine Insertion auf Höhe der mesialen Wurzel des ersten Molaren im Oberkiefer, da sich hier in einigen Fällen ein besseres Knochenangebot auffinden lässt. (Murugesan et al., 2020; He et al., 2023)

4.2 Insertionsposition der TADs im Bereich der BS

Die geläufigste Insertionslokalisierung in der Buccal-Shelf liegt distal vom zweiten Unterkiefermolaren und wird allgemein als zu präferierende Lokalisation für Temporary anchorage devices empfohlen. Das hier vorzufindende Knochenangebot, sowie die Weichgewebssituation, ermöglicht eine sichere Insertion und stabile Verhältnisse über den gesamten Behandlungszeitraum. Die durchschnittliche Stärke der Kortikalis liegt hier bei konstant über 2 mm, 7-8 mm in vertikaler Ausrichtung vom Kieferkamm entfernt und wurde für alle Altersgruppen, sowie Geschlechter, durch DVT-Aufnahmen erfasst und bestätigt. (Athira et al., 2023)

Außerdem nimmt die Dicke der Kortikalis, ausgehend vom ersten Molaren des Unterkiefers, nach distal hin relativ gleichmäßig zu, mit einem Maximum im Bereich distal vom zweiten Unterkiefermolaren.

Die Kortikalis hat sich als ein wichtiger Faktor für die Primärstabilität herausgestellt und ermöglicht eine zeitnahe biomechanische Belastung des Implantats für den Kieferorthopäden, was einen schnellen Therapiebeginn mit Absicht einer Distalisierung der Molaren ermöglicht. (Athira et al., 2023)

Es herrscht aber auch hier eine gewisse Variabilität und eine Insertionsposition weiter mesial ist ebenfalls möglich. Auch hier ergeben sich ausreichende Verhältnisse bezüglich Knochenqualität und Quantität im Bereich der Buccal-Shelf. So wird zum Beispiel die Insertion auf der Höhe der mesialen Wurzel des zweiten Unterkiefermolaren auch als sicher beschrieben. Vorteile ergeben sich in diesem Gebiet durch den leichteren Zugang und bessere Sichtverhältnisse für den* Operateur* die* Operateurin*. Außerdem erleichtert diese Insertionsposition eine bessere Hygienefähigkeit durch den* Patienten* die* Patientin*, was für den Therapieerfolg einen wichtigen Faktor darstellt. Nachteilig wirkt sich hier jedoch die Lagebeziehung zu den Molarenwurzeln aus, was einen geringeren Spielraum für die Insertionsangulation zur Folge hat. (Wang et al., 2022)

Zusätzlich variieren hier die Schleimhautverhältnisse stärker. Insertionen sind hier sowohl in der befestigten Gingiva als auch in der mobilen Mukosa möglich und können Einfluss auf die präoperative Planung haben. Eine vergleichende Studie hat aber ergeben, dass der Langzeiterfolg von TADs nicht signifikant von Insertion im Bereich der mobilen Mukosa oder befestigten Gingiva beeinflusst wird.

(Chang et al., 2015)

Ebenfalls ist eine mögliche Insertionsposition auf Höhe der distalen Wurzel des zweiten Molaren beschrieben, in einem vertikalen Abstand von ca. 4mm zur Schmelz-Zement-Grenze des zweiten Unterkiefermolaren. (Nucera et al., 2017)

Eine andere Studie beschreibt allerdings einen größeren vertikalen Abstand für eine Insertion in diesem Bereich, der mit circa 8mm vom Kieferkamm entfernt definiert worden ist. (Sreenivasagan et al., 2021)

4.3 Insertionstechnik in der Buccal-Shelf

Bei den Insertionstechniken unterscheidet man grundsätzlich zwischen selbstbohrenden Implantatmodellen (self-drilling, SD) und solchen, die eine Vorbohrung (pre-drilling, PD) erfordern. Die aus der Literaturrecherche vorliegenden Ergebnisse lauten wie folgt:

Im Bereich der Buccal-Shelf haben wir anatomisch bedingt eine stärker ausgeprägte Knochenstruktur die sowohl makroskopische als auch mikroskopische Unterschiede im Vergleich zum Oberkiefer aufweist. Dies äußert sich insbesondere durch eine dickere Kortikalis, die für mehr Primärstabilität sorgt, aber beim Insertionsprozess höhere Kräfte erfordert. Diese höheren Kräfte können unter mikroskopischen Gesichtspunkten zur vermehrten Schädigungen der histologischen Knochenstrukturen führen.

Dieser Umstand ergibt sich aus mehreren Faktoren. Durch die höheren Widerstandskräfte kommt es unter anderem zu einer erhöhten Wärmebildung, die das umliegende Gewebe bei unzureichender Kühlung schädigen kann. Außerdem erfordert die stabilere Knochenstruktur der Mandibula in diesem Bereich einen

erhöhten Insertionsdruck, der bei ungeübten Operateuren* Operateurinnen* einen kritischen Punkt erreichen kann. Dieser führt zu ungewollten apikalen Stauchungen und Quetschungen, die zu nekrotischen Folgeschäden führen können. (Farnsworth et. al., 2009)

Die von Ummat et al. (2024) durchgeführte Studie hat sich mit der im Unterkiefer vorliegenden Situation auseinandergesetzt und die Insertionstechniken in der Buccal-Shelf-Region mit Blick auf die Stabilität beschäftigt. In der Kontrollstudie wurden unter Anwendung eines Split-Mouth-Protokolls bei den* Patienten* den* Patientinnen auf einer Seite TADs unter Anwendung einer Vorbohrung inseriert und auf der gegenüberliegenden Seite selbst-bohrende TADs inseriert. Anschließend wurde mittels Periotest die Primärstabilität der Implantate ermittelt. Die Studie bestätigte eine hohe Primärstabilität gleich nach Insertion der mittels Vorbohrung eingebrachten Implantate und in Folge der weiterführenden kieferorthopädischen Behandlung eine gute Sekundärstabilität. Die Sekundärstabilität wurde über die gesamte Behandlungsdauer protokolliert und mittels Periotest in zeitlichen Abständen von 1, 2, 3 und 4 Monaten gemessen. (Ummat et al., 2024)

Der ISQ (Implant Stability Quotient) nahm durch die Vorbohrung in der Anfangsphase kurzzeitig stärker ab als bei SD-Implantaten, blieb aber dennoch höher. Die Sekundärstabilität der PD-Implantate blieb über den gesamten Messzeitraum von 4 Monaten konstant über den ISQ-Werten der SD-Implantate. (Ummat et al., 2024)

Im Bereich des zweiten Molaren variiert auch der empfohlene Insertionswinkel. Liegt dieser bei relativ konstanten 30 Grad bei Insertion distal vom zweiten Molaren, so ergibt sich bukkal von diesem oft ein größerer Winkel, bedingt durch die Physiognomie der Knochenstruktur der Buccal-Shelf in dieser Region. So wird bei einer Insertion bukkal des Molaren ein Winkel von 30-45 Grad beschrieben. (Sreenivasagan et al., 2021)

Mit Blick auf die Insertionstechnik wird in der Buccal-Shelf-Region eine Vorbohrung nahegelegt. Dies hängt mit den kortikalen Verhältnissen zusammen

und ermöglicht eine sichere Insertion mit geringerem Schmerzintervall für den* Patienten* die* Patientin*.

Bezogen auf den Langzeiterfolg konnten hierbei aber keine signifikanten Unterschiede mit Blick auf den Insertionsvorgang beobachtet werden.
(Nucera et al., 2017)

Der ebenfalls von Eto et al., 2023 berücksichtigte Gesichtstypus nimmt keinen signifikanten Einfluss auf die Positionsplanung, allerdings muss bei Frauen von einer allgemein etwas zarteren Knochenphysiologie ausgegangen werden. Dies sollte im Idealfall vom* Operateur* von* der* Operateurin* mitberücksichtigt werden.

4.4 Insertionstechnik in der Infrazygomatic Crest

Im Oberkiefer ergibt sich durch eine schwächer ausgeprägte Kortikalis eine andere physiologische Situation als im Unterkiefer. Eine Studie, die sich mit den Insertionstechniken im Bereich der Infrazygomatic Crest auseinandergesetzt hat, zeigt hier keine statistisch relevanten Unterschiede bezüglich Implantatstabilität oder Implantatverlustrate. (Wang et al.,2008)

Auch die Implantatverschiebungen innerhalb einer Behandlungsperiode zeigten keine statistisch signifikanten Unterschiede. Sowohl SD-Implantate als auch PD-Implantate erzielten vergleichbare Ergebnisse. Unterschiede ergaben sich jedoch im Bereich der gewählten Implantatlänge. Die biomechanischen Kräfte führten bei kürzeren Implantaten zu einer größeren Verschiebung, als bei längere Implantaten. Dies ergibt sich durch die bessere Druckverteilung bei längeren Implantaten. Der jeweilige Kraftvektor hat durch die größere Fläche einen kleineren Druckquotienten pro Flächeneinheit. Dennoch ergeben sich auch bei längeren Implantaten Mikroentzündungen im Knochen, die bei allen TADs zu Positionsverschiebungen innerhalb einer Behandlungsperiode führen.
(Wang et al.,2008)

Der Insertionswinkel muss vom* Behandler* von* der* Behandlerin* präoperativ durch exakte Bildgebung bestimmt werden. Hier ergibt sich eine relativ große Streuung von 55 bis 70 Grad zur Okklusalebene der Molaren. Dies geht unter anderem aus dem individuellen Knochenangebot hervor, wird aber auch von der Wurzelform und eventuell verkippten Molaren beeinflusst. Ausschlaggebend für die Angulation der kieferorthopädischen Implantate ist in jedem Fall ein ausreichender Abstand zur Wurzel, um deren Schädigung und damit einhergehenden potenziellen Zahnverlust auszuschließen. Daher muss bei jedem* Patienten* jeder* Patientin* ein optimaler Kompromiss zwischen Knochenangebot und Lagebeziehung zur Zahnwurzel gefunden werden. (Liou et al., 2007)

4.5 Insertion unter Berücksichtigung zusätzlicher biologischer Faktoren

Die Wahl der richtigen Insertionstechnik ist nicht nur von der Position im Ober- oder Unterkiefer abhängig, sondern zeigt auch eine gewisse Varianz bezüglich des Alters.

Es hat sich ergeben, dass jugendliche Patienten* Patientinnen* gut auf selbstbohrende Implantate reagieren und es keine signifikanten Unterschiede der Primärstabilität und in weiterer Folge der Sekundärstabilität im Vergleich zu PD-Implantaten gibt, sowohl im Bereich der BS als auch der IZC.

Auch kam es zu keinen signifikanten Unterschieden der Implantatverlusten in Abhängigkeit von der gewählten Insertionstechnik.

Dies ergibt sich durch die zartere Knochenstruktur bei Jugendlichen, die mit einer schwächer ausgeprägten Kortikalis einhergeht und somit geringeren Insertionsstauchungen und Quetschungen der umliegenden Knochenstrukturen. Geschlechtsspezifische Unterschiede die Insertionstechnik betreffend, konnten nicht ermittelt werden. Allerdings ergeben sich bei jedem* Patienten* jeder* Patientin* Inhomogenitäten in der Knochenqualität und Quantität im Bereich der

BS und IZC, weshalb eine präoperative bildgebende Diagnostik unbedingt empfohlen wird. (Farnsworth et al., 2011)

4.6 Dimension der Temporary Anchorage Devices

Allgemein hängt die gewählte Länge und der Durchmesser der TADs von den anatomischen Gegebenheiten in der jeweiligen Region ab, insbesondere vom Knochenangebot der IZC und BS.

Länge und Durchmesser der TADs sollten nicht zu klein dimensioniert werden, da kleinere Schrauben während der Behandlung zu größeren Verschiebungen und Kippungen des Implantatkörpers tendieren. Dies kann in weiterer Folge zu ungünstigen Positionen der Schraubenköpfe führen, an denen die kraft-liefernden Elemente befestigt werden und im weiteren Therapieverlauf zu Komplikationen führen. (Wang et al., 2008)

Somit bestätigt sich, dass TADs mit größerem Durchmesser und Länge stabiler sind und mechanischen Kräften besser widerstehen, allerdings der maximale Insertionstorque und Explantationstorque ebenfalls stark ansteigen, was zu Gewebstraumata führen kann. (Han et al., 2019)

Es lassen sich aber Tendenzen erkennen, die die richtige Auswahl für den* Kieferorthopäden* die* Kieferorthopädin* erleichtern.

Es gilt, dass Temporary anchorage devices umso widerstandsfähiger gegenüber Zug- und Druckkräften sind, je größer der Durchmesser und die Länge ist.

4.7 Dimension der TADs in der Buccal-Shelf-Region

Größere Schrauben sind die Verankerung der Wahl für Behandlungen im Bereich der Buccal-Shelf. Längen von 9-10 mm und Durchmesser von 1.8-2.0 mm erzielen gute und stabile Verhältnisse für die Distalisierung in dieser Region. Allerdings konnte auch beobachtet werden, dass die Länge mit der

postoperativen Schmerzsymptomatik korreliert und es zu einem leicht erhöhten Risiko von Inflammationen der periimplantären Schleimhaut kommt.

(Sarul et al., 2022)

Es können aber auch hier die Parameter in Abhängigkeit vom* Behandler* der* Behandlerin* schwanken. Schrauben mit einer Länge von 12 mm und einem Durchmesser von 2 mm sind geläufige Dimension für TADs in der Buccal-Shelf-Region, mit deren Hilfe ein breites Behandlungsspektrum abgedeckt werden kann. (Chang et al., 2015)

4.8 Dimension der TADs in der Infrazygomatic Crest-Region

Für Schrauben in der Infrazygomatic Crest geht man von ähnlichen Parametern aus. So werden hier Längen von 9-11 mm mit hohen Erfolgsquoten inseriert. (Murugesan et al., 2020)

Allerdings muss jeder* Behandler* jede* Behandlerin* Vor- und Nachteile der gewählten Schraubenlänge und Durchmesser abwägen. So steigt in der IZC-Region mit der Länge der Schraube auch das Risiko, den Sinus maxillaris zu verletzen. Ab einer Schraubenlänge von über 6 mm, bei falscher Angulation, steigt das Perforationsrisiko stark an. (Baumgaertel et al., 2009)

4.9 Materialkundliche Überlegungen

Bezüglich der Materialwahl haben sich in den letzten Jahren Titanlegierungen und medizinischer Edelstahl durchgesetzt. Unter metallurgischen Gesichtspunkten konnten sich diese Materialien, durch ihre guten physikalischen Eigenschaften, etablieren. Auch die nötige Gewebeverträglichkeit und ihre Korrosionsstabilität gegenüber dem oralen Milieu, sind gewährleistet. Studien belegen außerdem, dass beide Materialien keine signifikanten Unterschiede, was

den Behandlungserfolg betrifft, aufweisen und somit gleichermaßen empfehlenswert sind, sowohl für die IZC und BS. (Chang et al., 2019)

5 Schlussfolgerung

Buccal-Shelf

Insertionsposition	Die mehrheitlich empfohlene Insertionsposition befindet sich distal vom zweiten Molaren.
Insertionstechnik	Pre-Drilling mit Blick auf die kortikalen Bedingungen empfohlen. Schonung des Gewebes ermöglicht gute Primärstabilität, sowie reduziertes postoperatives Schmerzintervall für den* Patienten* die* Patientin*. Angulation von 30 Grad, 6-8 mm vom Alveolarkamm entfernt.
TAD-Dimension	Eine Länge von 9-12 mm, sowie ein Schaftdurchmesser von 2.0 mm decken ein breites Behandlungsspektrum ab.

Tabelle 6: Übersicht Buccal-Shelf

Infrazygomatic Crest

Insertionsposition	Die mehrheitlich empfohlene Insertionsposition befindet sich auf Höhe der mesio-bukkalen Wurzel des zweiten Molaren
Insertionstechnik	Self-Drilling-Schrauben erzielen im Oberkiefer gute Ergebnisse. Der Insertionswinkel liegt bei 60 Grad.
TAD-Dimension	Eine Länge von 9-12 mm und ein Durchmesser von 1.8-2.0 mm werden empfohlen.

Tabelle 7: Übersicht Infrazygomatic Crest

Die durchgeführte Literaturrecherche hat ergeben, dass Temporary anchorage devices das kieferorthopädische Behandlungsspektrum deutlich erweitert haben. Kosten und Zeitaufwand werden durch diesen Therapieansatz reduziert und en-masse-Distalisierungen ohne teure, laborgefertigten Apparaturen möglich. Allgemein gilt für die Dimensionierung von TADs, dass in Länge und Durchmesser größere Schrauben stabiler sind und den mechanischen Zug- und Druckkräften besser widerstehen können. (Wang et al., 2008)

Allerdings nehmen mit größerer Dimensionierung andere Komplikationen zu, wie zum Beispiel Perforationen des Sinus maxillaris, Inflammationen und postoperative Schmerzen. Die Wahl der richtigen Größe liegt beim* Behandler* bei* der* Behandlerin* und muss präoperativ mittels Bildgebung bestimmt werden und den individuellen Gegebenheiten angepasst werden. (Sarul et al., 2022)

Aus der Recherche geht hervor, dass in der Buccal-Shelf mit Schraubenlängen von 9-12 mm und Durchmessern von 1.8-2.0 mm ein breites Behandlungsspektrum abgedeckt werden kann. (Chang et al., 2015)

Für die Infrazygomatische Crest-Region werden etwas kürzere Längen von 9-11mm empfohlen. (Murugesan et al., 2020)

Die Schraubenparameter unterliegen auch hier der individuellen anatomischen Situation. So werden auch durchaus kürzere Längen empfohlen, um das Perforationsrisiko des Sinus maxillaris zu minimieren. (Baumgaertl et al., 2009)

Bezüglich Insertionstechnik und Implantatmaterial zeigt sich, dass medizinischer Edelstahl (SS) und Titanlegierungen gleichermaßen zu empfehlen sind. Zwar sind die physikalischen Eigenschaften von Titanlegierungen objektiv besser, konnten bezogen auf den Therapieerfolg im Vergleich zum medizinischen Edelstahl aber keine signifikant besseren Ergebnisse liefern. (Chang et al., 2019)

Hinzu kommt der Kostenfaktor, der bei Titanlegierungen höher ist als bei Edelstahl-Schrauben und bei der Planung mit beachtet werden muss.

Die Insertionstechnik hängt stark von der Gewebestruktur ab. So werden im Bereich der IZC gleichermaßen Implantatmodelle, die eine Vorbohrung erfordern und solche die selbstbohrend sind, empfohlen. (Wang et al., 2008)

Beide zeigen keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Erfolgsrate.

In der Buccal-Shelf hingegen wird eine Vorbohrung mit Blick auf die hier vorliegenden Knochenstrukturen empfohlen, selbst-bohrende Modelle können aber auch hier angewendet werden. (Ummat et al., 2024)

Allgemein gilt, dass die Insertion mittels Vorbohrung schonender fürs Gewebe ist und sich auf die postoperative Heilung und Schmerzsymptomatik auswirkt. Hinzu kommt, dass bei Erwachsenen die Knochenhärte bis zu einem gewissen Alter zunimmt, was eine Vorbohrung bei Patienten* Patientinnen* zwischen dem 20. und 40. Lebensjahr empfehlenswert macht. (Farnsworth et al., 2011)

Eine Insertionsposition im Bereich der Infrazygomatische Crest zwischen dem ersten und zweiten Molaren auf Höhe der mesio-bukkalen Wurzel des zweiten Molaren wird empfohlen. (Liou et al., 2007)

Der Abstand zur Okklusionsebene soll zwischen 12 und 17 mm betragen (Wang et al., 2022), unter Einhaltung eines Insertionswinkels von mindestens 55 Grad. (He et al., 2023)

Der Winkel kann in Abhängigkeit der individuellen Gegebenheiten auf bis zu 70 Grad ansteigen. (Liou et al., 2007)

In der Buccal-Shelf liegt die geläufigste Insertionsposition distal vom zweiten Molaren, Insertionen bukkal vom zweiten Molaren werden aber ebenfalls mit Erfolg angewendet. (Nucera et al., 2017)

Ein Abstand von 6-8mm zum Alveolarkamm wird als Referenz festgelegt, unterliegt aber auch hier individuellen Schwankungen. (Wang et al., 2022)

Der Insertionswinkel liegt in der Buccal-Shelf-Region bei 30 bis 45 Grad, wobei er von distal nach mesial hin relativ konstant ansteigt. (Sreenivasagan et al., 2021)

Die nachfolgenden Tabellen sollen eine kurze Übersicht über die Ergebnisse dieser Recherche liefern. Die Empfehlungen basieren auf dem aktuellen Kenntnisstand und spiegeln die derzeitige Datenlage wider. Dennoch ist vor jeder Insertion von Mini-Schrauben eine genaue, individuelle Planung dringend erforderlich.

6 Literaturverzeichnis

Athira,V., Shashidhar, K., Kuttappa, M., Nayak, U., Ravy, M., Souza, N. Safe sites for buccal shelf bone screw placement in various skeletal malocclusions: A CBCT study. J Orthodont Sci 2023;12:63

Baumgaertel, S., Hans, M., 2009 .Assessment of infrazygomatic bone depth for mini-screw insertion. Clin. Oral Impl. Res. 20, 2009;638-642

Baumgaertel, S. 2011. Kieferorthopadische Implantologie – wie kleine Schraubchen die moderne Kieferorthopadie verändern. Available: <https://www.zmkaktuell.de/fachgebiete/implantologie/story/kieferorthopaedische-implantologie-wie-kleine-schraebchen-die-moderne-kieferorthopaedieveraendern> 556.html

Baumgaertel, S. Temporary skeletal anchorage devices: The case for miniscrews, American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Mai 2014, Vol. 145, S. 558-565

Branemark, P., Breine, U., Adell, R., Hansson, B., Lindström, J. and Ohlsson, Å., 1969. Intra-osseous anchorage of dental prostheses: I. Experimental studies. *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery*, 3, pp. 81-100.

Branemark, P., Zarb, G., Albrektsson, T. 1985. Einführung in die Osseointegration. *Brånemark P, Zarb G, Albrektsson T: Gewebeintegrierter Zahnersatz. Osseointegration in klinischer Zahnheilkunde. Quintessenz, Berlin 1985*, pp. 11-76.

Chang, C., Liu S., Roberts W., Primary failure rate for 1680 extra-alveolar mandibular buccal self miniscrews placed in movable mucosa or attached gingiva, Angle Orthodontist. 2015, Vol. 85, S. 905-910

Chang, C., Lin, J., and Roberts, W., 2019. Failure rates for stainless steel versus titanium alloy infrazygomatic crest bone screws: A single-center, randomized double-blind clinical trial. *Angle Orthod.*2019;89:40-46

Chang, C., Lin, J., and Roberts, W., 2022. Success of infrazygomatic crest bone screws: patient age, insertion angle, sinus penetration, and terminal insertion torque
Am J Orthod Dentofacial Orthop 2022;161:783-90

Eto, V., Figueiredo, N., Eto, L., Azevedo, G., Silva, A., Andrade Jr., I. Bone thickness and height of the buccal shelf area and the mandibular canal position for miniscrew insertion in patients with different vertical facial patterns, age, and sex. 2023, *Angle Orthodontist*, Vol 93, No 2.

Farnsworth, D., Rossouw, E., Ceen, R. and Buschang, P. Cortical bone thickness at common miniscrew implant placement sites. 2011, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*; 139:495-503

Galeotti, A., Uomo, R., Spagnuolo, G., Paduano, S., Cimino, R., Valetta, R. & D'Anto, V. 2013. Effect of pH on in vitro biocompatibility of orthodontic miniscrew implants. *Prog Orthod*, 14, 15.

Ghosh, J., Nanda, R. 1996. Evaluation of an intraoral maxillary molar distalization technique. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, Volume 110; Issue 6; Dec.1996; Pages 639-646

Glasl B, Ludwig B, Kinzinger G, Zipprich H, Lisson J, Aktuelle Übersicht zum Risikopotenzial von Wurzelverletzungen bei interradikulärer Insertion orthodontischer Miniimplantate/Minischrauben: Experimentelle Ergebnisse und Literaturrecherche, *Kieferorthopädie: Die Zeitschrift für die Praxis*, 2010, Vol. 24,

Guo, J., Padilla, R., Ambrose, W., De Kok, I. and Cooper, L., 2007. The effect of hydrofluoric acid treatment of TiO₂ grit blasted titanium implants on adherent osteoblast gene expression in vitro and in vivo. *Biomaterials*, 28(36), pp. 5418-5425.

Han, C., Watanabe, K., Tsatalis, A., Lee, D., Zheng, F., Kyung, H., Deguchi, T., Kim, D. Evaluations of miniscrew type-dependent mechanical stability. 2019, *Clinical Biomechanics* 69;211-27

He, Y., Liu, J., Huang, R., Chen, X., Jia, X., Zeng, N., Fan, X., and Huang, X., 2023. Clinical analysis of successful insertion of orthodontic mini-implants in infrazygomatic crest. *BMC Oral Health*, 23:348

Hernandez, L., Montoto, G., Puente Rodriguez, M., Galban, L. & Martinez, V. 2008. 'Bone map' for a safe placement of miniscrews generated by computed tomography. *Clin Oral Implants Res*, 19, 576-81.

Kasemo, B., and Lausmaa, J., 1988. Biomaterial and implant surfaces: a surface science approach. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*

Kuroda S., Tanaka E. Risks and complications of miniscrew anchorage in clinical orthodontics. *Japanese Dental Science Review*, 2014, Vol. 50, S. 79-85

Lima, A., Domingos, R., Ribeiro, A., Neto, J., Paiva, J. 2022. Safe sites for orthodontic miniscrew insertion in the infrazygomatic crest area in different facial types: A tomographic study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2022;161:37-45

Liou, E., Chen, P., Wang, Y. and Lin, J., 2007. A computed tomographic image study on the thickness of the infrazygomatic crest of the maxilla and its clinical implications for miniscrew insertion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*; 131:352-6

Liu, H., Wu, X., Yang, L., and Ding, Y. 2017. Safe zones for miniscrews in maxillary dentition distalization assessed with cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2017;151:500-6

Ludwig, B., Bohm, B., Glasl, B., Landes, C., Lietz, T., Schopf, P. & Wilmes, B. 2007a. *Mini-Implantate in der Kieferorthopädie Innovative Verankerungskonzepte*, Berlin, Quintessenz Verlags-GmbH

Ludwig, B., Glasl, B., Lietz, T. & Kopp, S. 2007b. Minischrauben: Kleiner Aufwand – großer Nutzen. *Zahnärztliche Mitteilungen: Heft 05/2007*

Ludwig, B., Glasl, B., Lietz, T. & Lisson, J. A. 2008a. Minischrauben in der Praxis: Teil I: Skelettale Verankerung und Minischrauben. *KN Kieferorthopädie Nachrichten: Kompendium 2008* [Online].

Ludwig, B., Glasl, B., Lietz, T. & Lisson, J. A. 2008. Minischrauben in der Praxis: Teil II: Hinweise zur Insertion von Minischrauben. *KN Kieferorthopädie Nachrichten: Kompendium 2008* [Online].

Matias, M., Flores-Mir, C., Rodrigues de Almeida, M., Viera, B., De Freitas, K., Nunes, D., Ferreira, M., Ursi, W. 2021. Miniscrew insertion sites of infrazygomatic crest and mandibular buccal shelf in different vertical craniofacial patterns: A cone-beam computed tomography study. *Korean J Orthod* 2021;51(6):387-396

Mohammed, H., Wafaie, K., Rizk, M., Almuzian, M., Sosly, R. and Bearn, D. 2018. Role of anatomical sites and correlated risk factors on the survival of orthodontic miniscrew implants: a systematic review and meta-analysis. *Prog Orthod*, 19, 36.

Murugesan, A., Sivakumar, A. 2020. Comparison of bone thickness in infrazygomatic crest area at various miniscrew insertion angles in Dravidian population – A cone beam computed tomography study. *International Orthodontics* 2020; 18;105-114

Nichols, F., 1954. Semiburied denture implants; review of literature and experimental study. *Journal of oral surgery*, 12(3), pp. 217-231.

Nucera, R., Lo Giudice, A., Bellocchio, A., Spinuzza, P., Caprioglio, A., Perillo, L., Matarese, G., Cordasco, G. Buccal bone thickness of posterior mandible for microscrews implantation in molar distalization. 2017, *Angle Orthodontist*, Vol,87, No 5

Park H., Jeong S., Kwon O., Factors affecting the clinical success of screw implants used as orthodontic anchorage, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2006, Vol. 130, S. 18-25

Poggio, P., Incorvati, C., Velo, S. and Carano, A. 2006. "Safe zones": a guide for miniscrew positioning in the maxillary and mandibular arch. *Angle Orthod*, 76, 191-7.

Sander F., Schwenzer N., Ehrenfeld M., *Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde: Kieferorthopädie*, 2. Auflage, Stuttgart, 2011

Sarul, M., Lis, J., Park, H., and Rumin, K. Evidence-based selection of orthodontic miniscrews, increasing their success rate in the mandibular buccal shelf. A randomized, prospective clinical trial. *BMC Oral Health* (2022) 22:414

Schätzle M., Männchen R., Überlebensraten und Risikofaktoren von temporären skelettalen Verankerungen, *Kieferorthopädie*, 2010, Vol. 24, S. 267-277

Sreenivasagan, S., Sivakumar, A. CBCT comparison of buccal shelf bone thickness in adult Dravidian population at various sites, depths and angulation – A retrospective study. 2021, *International Orthodontics* 2021; 19

Studyflix. 2022. *Newton'sche Axiome* [Online]. Available: <https://studyflix.de/ingenieurwissenschaften/newtonsche-axiome-1432>

Stursa, L., Wendl, B., Jakse, N., Pichelmayer, M., Weiland, F., Antipova, V., Kirnbauer, B. 2023. Accuracy of Palatal Orthodontic Mini-Implants Placed Using Fully Digital Planned Insertion Guides: A Cadaver Study

Tarawneh, F. 2007. The use of miniscrew implants for temporary skeletal anchorage in orthodontics: a comprehensive review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 103, e6-15.

Ummat, A., Shetty, S., Desai, A., Nambiar, S., Natarajan, S. Comparative assessment of the stability of buccal shelf mini-screws with and without pre-drilling - a split-mouth, randomized controlled trial. 2024. *Clinical Oral Investigations*, 28:567

Wang, J., Zou, M., Syverson, A., Zheng, Z., and Li, C. Maxillary Sinus Dimensions in Skeletal Class I Chinese Population with Different Vertical Skeletal Patterns: A Cone-Beam Computed Tomography Study. *Diagnostics* 2022, 12, 3144.

Wang, Y., and Liou, E. Comparison of the loading behavior of self-drilling and predrilled miniscrews throughout orthodontic loading. 2008, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*; 133:38-43

Wang, Y., Sun, J., Shi, Y., Li, X., Wang, Z. Buccal bone thickness of posterior mandible for microscrews implantation in molar distalization. *Annals of Anatomy* 244 (2022) 151993

Wilmes, B., Ludwig, B., Vasudavan, S., Nienkemper, M. and Drescher, D.
2016. The T-Zone: Median vs. Paramedian Insertion of Palatal Mini-Implants.
Wolf, H., Wichelhaus, A. Kieferorthopädie – Therapie, Band 1: Grundlegende
Behandlungskonzepte (Farbatlanten der Zahnmedizin), 1. Auflage, Stuttgart, 2012

YI, J., LI, M., LI, C., LI, Y., LI, X. & Zhao, Z. 2017. Comparison of the success
rate between self-drilling and self-tapping miniscrews: a systematic review and
meta-analysis. Eur J Orthod, 39, 287-293.