

Aus dem Bereich Klinische Medizin
der Medizinischen Fakultät
der Universität des Saarlandes

**Anatomische Studie zur interradikulären Insertion von
kieferorthopädischen Miniimplantaten - die befestigte Gingiva**

***Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät***

der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2012

vorgelegt von: Stefanie Hakenholz
geb. am: 21.12.1974 in Moers

Aus der Poliklinik für Kieferorthopädie,
Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar
Direktor: Prof. Dr. Jörg Lisson

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	4
1.1 Summary	7
2. Einleitung.....	9
2.1 Einführung in die Thematik und Fragestellung	9
2.2 Grundlagen und Stand der Forschung	11
2.2.1 Temporäre skelettale Verankerung mit Miniimplantaten	11
2.2.2 Knöchernen Strukturen.....	12
2.2.3 Weichgewebe.....	14
3. Material und Methode.....	17
3.1 Patientenkollektiv und Einschlusskriterien	17
3.2 Erhobene Parameter	17
3.2.1 Werkzeuge	17
3.2.2 Mukogingivale Grenzlinie	19
3.2.3 Schleimhautdicke.....	21
3.3 Statistische Methoden und grafische Darstellung	23
3.4 Literaturrecherche.....	24
4. Ergebnisse	25
4.1 Patientencharakteristika	25
4.1.1 Alter	25
4.1.2 Geschlecht.....	26
4.2 Mukogingivale Grenzlinie im anatomischen Verlauf	27
4.2.1 1. Quadrant.....	27
4.2.2 2. Quadrant.....	28
4.2.3 3. Quadrant.....	30
4.2.4 4. Quadrant.....	32
4.3 Schleimhautdicke im anatomischen Verlauf	34
4.3.1 1. Quadrant.....	34
4.3.2 2. Quadrant.....	35
4.3.3 3. Quadrant.....	36
4.3.4 4. Quadrant.....	38
4.4 Breite der befestigten Gingiva OK vs. UK.....	39
4.4.1 Messpunkt 1	39
4.4.2 Messpunkt 2	40
4.4.3 Messpunkt 3	42
4.4.4 Messpunkt 4	43
4.5 Schleimhautdicke OK vs. UK.....	45
4.5.1 Messpunkt 1	45
4.5.2 Messpunkt 2	46
4.5.3 Messpunkt 3	47
4.5.4 Messpunkt 4	48

4.6 Korrelation zwischen den Messpunkten	50
4.6.1 Mukogingivale Grenzlinie	50
4.6.2 Schleimhautdicke	52
5. Diskussion.....	54
5.1 Knöcherner Strukturen	54
5.2 Weichgewebe	55
5.2.1 Breite der befestigten Gingiva	56
5.2.2 Dicke der befestigten Gingiva.....	59
5.2.3 Bedeutung der Gingivabreite-und Dicke in der Kieferorthopädie.....	64
6. Literaturverzeichnis	67
7. Lebenslauf.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
8. Danksagung.....	72

1. Zusammenfassung

Kieferorthopädische Miniimplantate ermöglichen heute Zahnbewegungen, die früher nur mit großem apparativen Aufwand möglich waren. Als temporäre skelettale Verankerungen bieten sie vielfältige Anwendungsmöglichkeiten bei geringem Kostenaufwand und überschaubarem Risiko.

Ein großes Problem bei der Behandlung mit Miniimplantaten stellt allerdings der vorzeitige Implantatverlust dar. Verlustraten zwischen 5 und 25% sind nicht ungewöhnlich. Gründe hierfür liegen häufig in der gewählten Lokalisation.

Die anatomischen Gegebenheiten am geplanten Insertionsort müssen schon bei der Schraubenauswahl berücksichtigt werden. Auch die Weichgewebsverhältnisse sind hier von Bedeutung. Die Länge des Miniimplantats muss der Dicke der Gingiva am Insertionsort angepasst sein, um eine ausreichende Insertionstiefe und somit Stabilität der Schraube im Knochen gewährleisten zu können. Von einer Insertion in die bewegliche Schleimhaut sollte abgesehen werden, um periimplantäre Weichgewebsirritationen oder Schraubenüberwucherungen zu vermeiden.

Im Rahmen dieser Studie wurden bei insgesamt 52 Patienten (56,9 % weiblich, 43,1% männlich) die Breite und Schleimhautdicke der befestigten Gingiva von Ober- und Unterkiefer gemessen. Hauptkriterium bei der Patientenauswahl war ein vollbezahntes permanentes Gebiss bis einschließlich zu den zweiten Molaren ohne gravierende Fehlstellungen. Ziel der Studie war es, aus anatomischer Sicht geeignete interradikuläre Insertionsorte zu finden und diese auch für den Praktiker leicht auffindbar zu machen. Dazu wurde der Verlauf der mukogingivalen Grenzlinie im Verhältnis zum approximalen Kontaktpunkt ermittelt. Innerhalb der befestigten Gingiva wurde an mehreren Messpunkten oberhalb der mukogingivalen Grenzlinie außerdem die jeweilige Dicke der Gingiva bestimmt.

Ein ausreichendes Knochenangebot für die interradikuläre Insertion liegt im Oberkiefer vor zwischen seitlichem Schneidezahn und Eckzahn und zwischen dem zweiten Prämolare und dem ersten Molaren. Zwischen den mittleren oberen Schneidezähnen ist es sogar sehr gut, aber erst 11,5 mm apikal vom Kontaktpunkt. Im Unterkiefer ist das Knochenangebot im Seitenzahnbereich sehr gut, aber im Frontzahnbereich ungenügend. Der Fokus dieser Studie lag daher auf den Interdentalräumen im Seitenzahnbereich von Ober- und Unterkiefer.

Bereiche, in denen ein geeignetes Knochenangebot innerhalb der Grenzen der befestigten Gingiva vorliegt, sind nur die Interdentalräume zwischen den Prämolaren, zwischen dem zweiten Prämolaren und dem ersten Molaren und zwischen dem ersten und zweiten Molaren im Unterkiefer.

Im Rahmen dieser Studie stellte sich heraus, dass die befestigte Gingiva im Unterkieferseitenzahnbereich durchschnittlich 1 mm schmaler ist als die im Oberkiefer und sich in distaler Richtung weiter verjüngt. Die in den Interdentalräumen von Ober- und Unterkiefer gemessenen Schleimhautdicken sind - trotz individueller Schwankungen - mit 2 mm bis 2,5 mm relativ konstant.

Die Studie zeigt außerdem, dass Limitationen bei der Anwendung von kieferorthopädischen Miniimplantaten im Rahmen einer interradikulären Insertion nicht nur durch das Knochenangebot vor Ort, sondern auch durch die dort vorliegenden Weichgewebsverhältnisse bedingt sein können.

1.1 Summary

Today orthodontic mini-implants enable dental movements that have only been possible using a large number of instruments. As temporary skeletal anchorage devices they offer a varied range of possibilities while entailing low costs and manageable risks.

However, one big problem in connection with the treatment with mini-implants is the premature loss of the implants. Loss rates between 5 and 25% are not unusual. Mostly the reason therefore is the chosen localisation.

Anatomic circumstances in view of the planned insertion site must be considered as early as during the selection of the screws. The soft tissue ratio is also of importance. The length of the mini-implant must be adjusted to the thickness of the gingiva at the insertion site in order to guarantee sufficient insertion depth and as a result stability of the screw in the bone. Insertion into the movable mucous membrane should be avoided to avoid peri-implantary irritations of the soft tissue or the overgrowth of the screws.

In the scope of this study, the width and thickness of the mucous membrane of the attached gingiva of 52 patients' maxilla and mandible was measured (56.9% female, 43.1% male). Main criterion in view of the selection of those patients was an intact set of permanent teeth up to including the second molars without any major positional errors. Objective of the study was the finding of suitable interradicular insertion sites from the anatomic view, which could be easily identified by the practitioner. To that end, the path of the mucogingival border in relation to the approximal contact point was determined. In addition, the respective thickness of the gingiva was determined within the gingiva at various measurement points above the mucogingival border.

In the maxilla, sufficient bone for interradicular insertion can be found between the lateral incisor and the canine and between the second premolar and the first molars. The space between the central incisors of the maxilla is especially suitable, but only from 11.5 mm apical of the contact point. In the mandible, bone availability in the lateral area is very adequate, but insufficient in the front area. The focus of this study therefore was placed onto the interdental spaces in the lateral area of both, maxilla and mandible.

Areas with adequate bone width within the limits of the attached gingiva can only be found in the interdental spaces between the premolars, between the second premolars and the first molars and between the first and second molars in the mandible.

In the scope of this study it became apparent that the attached gingiva of the mandible is on average 1 mm narrower than of the maxilla and tapering into distal direction. The thickness of the mucous membranes in the interdental spaces of maxilla and mandible - in spite of individual deviations - is relatively constant with 2 mm and 2.5 mm.

The study also shows that the limits of the application of orthodontic mini-implants in the scope of an interradicular insertion are not only determined by bone availability, but also by the existing soft tissue ratio.

2. Einleitung

2.1 Einführung in die Thematik und Fragestellung

Die temporäre skelettale Verankerung mit Miniimplantaten hat in den letzten Jahren in der kieferorthopädischen Behandlung enorm an Bedeutung gewonnen. Das liegt zum einen an der unkomplizierten Handhabung, zum anderen an den vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten⁴¹. Die sichere und unbewegliche knöcherne Verankerung ist dabei ein wichtiger Baustein für eine erfolgreiche Therapie mit dieser Behandlungsmethode. Nur so können effektive aktive Zahnbewegungen im Rahmen einer complianceunabhängigen kieferorthopädischen Therapie nahezu ohne unerwünschte Nebeneffekte gewährleistet werden.

Ein großes Problem bei der Behandlung mit Minischrauben stellt aber nach wie vor der vorzeitige Schraubenverlust dar. Verlustraten zwischen 5 und 25% sind nicht ungewöhnlich^{6, 10, 35, 39}. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass die Verlustraten unter anderem von folgenden Faktoren abhängen:

- der Lokalisation bzw. der Insertionsstelle
- der Dimension des Miniimplantats
- der Erfahrung des Behandlers^{5, 37, 44}.

Dabei steht die Wahl der jeweils passenden Minischraube in direktem Zusammenhang mit den anatomischen Gegebenheiten am geplanten Insertionsort³⁸.

Im vollbezahnten Gebiss stehen im Prinzip - in Abhängigkeit vom Behandlungskonzept - zwei Regionen für die Insertion zur Verfügung: der harte vordere Gaumen und die interradikulären Septen im bukkalen Bereich des Ober- und Unterkiefers⁹.

Für die interradikuläre Insertion steht ein schmaler Korridor zur Verfügung, der zervikal vom krestalen Knochenrand und apikal von der mukogingivalen Grenzlinie begrenzt wird. In mesiodistaler Richtung ergeben sich die Grenzen durch die Abstände der Zahnwurzeln zueinander. Ein Miniimplantat benötigt für eine ausreichende Stabilität mindestens 0,5 mm Knochen zirkulär⁴², daraus ergibt sich für ein Implantat von 1,6 mm Durchmesser ein Platzbedarf von mindestens 2,6 mm in mesiodistaler Richtung.⁴⁷ Eine möglichst genaue Kenntnis der anatomischen Gegebenheiten am geplanten Insertionsort ist ein großer Vorteil bei der Auswahl der passenden Schraube - das gilt für die knöchernen Strukturen, aber ebenso für die Weichgewebe.

Der Schraubenkopf des Miniimplantats sollte auf jeden Fall im Bereich der befestigten („attached“) Gingiva zu liegen kommen, um spätere Komplikationen wie Überwucherungen oder periimplantäre Infektionen zu vermeiden. Das Verhältnis von Kopflänge des Schraubenkopfes (transgingivaler Anteil) zur Länge des Gewindeanteils (kortikaler Anteil) der Schraube sollte dabei wegen der Hebelwirkung mindestens 1:1 betragen. Ein relativ zu großer Hebelarm kann unter Belastung zum Verlust der Schraube führen⁷. Das bedeutet für den Anwender, dass auch die Dicke der Gingiva am Insertionsort bei der Schraubenauswahl berücksichtigt werden muss.

Daher wurden in dieser Arbeit folgende Fragestellungen aufgearbeitet:

- Wie stellen sich Lage und Verlauf der mukogingivalen Grenzlinie im Seitenzahnbereich des Ober- und Unterkiefers im Bezug auf den approximalen Kontaktpunkt dar?
- Wie dick ist die Schleimhaut am Übergang von fester zu beweglicher Gingiva?
- Gibt es einen Einfluss der anatomischen Verhältnisse der befestigten Gingiva und der Schleimhaut auf die Auswahl der Minischrauben?
- Lassen sich für die interradikuläre Insertion von kieferorthopädischen Miniimplantaten besonders gut geeignete Lokalisationen festlegen?

Als Bezugspunkt für die Messungen wurde dabei der approximale Kontaktpunkt festgelegt.

2.2 Grundlagen und Stand der Forschung

2.2.1 Temporäre skelettale Verankerung mit Miniimplantaten

Die Verwendung von Kortikalisschrauben, abgeleitet von Osteosyntheseschrauben, entstammt ursprünglich der Traumatologie. Bereits 1945 machten Gainsforth et al. Versuche mit im Knochen verankerten Schrauben, an denen kieferorthopädische Drähte befestigt wurden²⁰, die jedoch fehlschlugen.

So wurde diese Idee erst Ende der siebziger Jahre von Sherman wieder aufgegriffen⁵³. Creekmore und Eklund beschäftigten sich 1983 ebenfalls mit Implantaten zur temporären skelettalen Verankerung. Sie inserierten ein von den chirurgischen Osteosyntheseschrauben abgeleitetes Miniimplantat subnasal im Bereich der Spina nasalis zur Oberkiefer-Frontzahnintrusion, das nach zehntägiger Einheilzeit erstmals belastet wurde¹⁵.

Es folgten zahlreiche weitere klinische und tierexperimentelle Studien, die sich intensiv mit der Thematik beschäftigten^{48, 49, 59, 60}. Wehrbein et al. entwickelten 1996 mit dem Orthosystem ein einteiliges enossales Verankerungssystem, das eine compliance-unabhängige Behandlung von Angle-Klasse-II-Patienten unter Verzicht auf extraorale Apparaturen ermöglichen sollte⁶⁴.

Heute sind die Minischrauben als temporäre skelettale Verankerungen ein fester Bestandteil kieferorthopädischer Behandlungskonzepte²⁶ (s. Abb.1)



Abb.1: Kieferorthopädisches Miniimplantat

Die Risiken bei der temporären Verankerung mit kieferorthopädischen Miniimplantaten sind überschaubar.

Bei einer Insertion unmittelbar in den Parodontalspalt ist die Verletzung einer Zahnwurzel möglich. Meist tritt aber nach der Entfernung eine spontane Reparatur des Parodonts ein^{4, 22}. Die Stabilität der Schraube bei versehentlicher Insertion in den Parodontalspalt ist allerdings stark beeinträchtigt, im ungünstigsten Fall führt das zum Verlust der Schraube³³.

Werden kleine Schraubendurchmesser verwendet, kann es während der Insertion oder unter Belastung zum Schraubenbruch kommen. Diese Gefahr besteht besonders bei Insertion in sehr festen kortikalen Knochen.

Die Schraubeninsertion in die bewegliche Schleimhaut jenseits der mukogingivalen Grenzlinie sollte nach Möglichkeit vermieden werden¹¹. Häufige Komplikationen in diesem Zusammenhang sind periimplantäre Infektionen oder Schraubenüberwucherungen. Sie sind für den Patienten meist sehr unangenehm und führen nicht selten zu einem vorzeitigen Implantatverlust^{61, 63}.

Die mit 5 bis 25%^{6, 10, 35} immer noch vergleichsweise hohen Verlustraten könnten ein Grund sein, warum sie sich noch nicht als Standard in der kieferorthopädischen Behandlung etablieren konnten.

Verschiedene Studien haben sich mit den Gründen für einen vorzeitigen Implantatverlust auseinandergesetzt^{2, 6, 10, 11, 35, 37, 44, 46, 58}. Häufig sind hohe Verlustraten assoziiert mit der gewählten Lokalisation des Miniimplantats⁶. Auch das Weichgewebe am Insertionsort hat einen Einfluss auf die Überlebensrate⁴⁶.

2.2.2 Knöcherne Strukturen

Kieferorthopädische Miniimplantate sind prinzipiell an verschiedenen anatomischen Orten einsetzbar, allerdings hat diese universelle Einsetzbarkeit aufgrund verschiedener limitierender Faktoren auch ihre Grenzen. Eine ausreichende Knochenmenge und –qualität sind ebenso Voraussetzung für eine erfolgreiche Verankerung wie die Anatomie der umgebenden Weichgewebe^{9, 35}. In dieser Studie geht es um interradikuläre Insertionsmöglichkeiten - also die Insertion in die Zwischenräume zwischen den Wurzeln zweier benachbarter Zähne - im oberen und unteren Seitenzahnbereich.

Minischrauben durchdringen bei ihrer Insertion Kortikalis und Spongiosa des Ober- und/oder Unterkiefers. Sie sind, im Sinne eines „immediate loading“ prinzipiell sofort nach Insertion belastbar, sofern sie primärstabil sind^{5, 18, 19}. Vor allem die Qualität des

am Insertionsort vorliegenden Knochens hat auf die Primärstabilität einen entscheidenden Einfluss. Liegt ein sehr fester kortikaler Knochen vor, besteht allerdings bei einem eher geringen Schraubendurchmesser von weniger als 1,4 mm Frakturgefahr, vor allem ab einem Drehmoment von 25 Ncm. Diese lässt sich aber durch eine Vorbohrung minimieren^{27, 65}. Ein minimaler Schraubendurchmesser von 1,6 mm ist aber wünschenswert, um Schraubenfrakturen während der Insertion oder unter kieferorthopädischer Belastung zu vermeiden⁵.

Für eine stabile interradiikuläre Verankerung sind periimplantär mindestens 0,5 mm Knochen nötig⁴², einige Autoren fordern sogar 1 mm⁴⁷. Zusammen mit einem für die Eigenstabilität der Schraube notwendigen Schraubendurchmesser von 1,6 mm ergibt sich daraus ein nötiger Mindestabstand von 2,6 mm zwischen den Zahnwurzeln benachbarter Zähne. Idealerweise wären über 3,1 mm Abstand nötig, um die Verletzung von angrenzenden Zahnwurzeln sicher ausschließen zu können³⁹.

Auch die am geplanten Insertionsort vorliegende Knochenquantität spielt für die Stabilität der Schraube eine entscheidende Rolle. Im Prinzip steht für die interradiikuläre Insertion nur ein schmaler Korridor zur Verfügung (s. Abb.2).

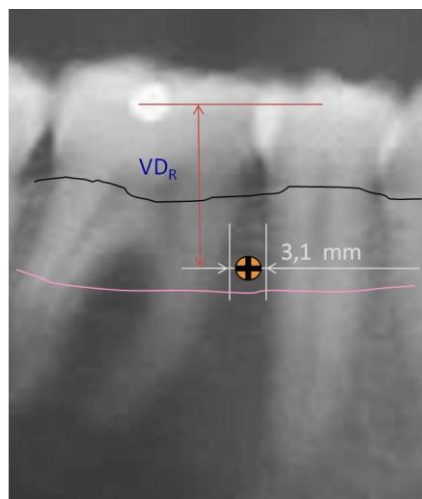


Abb.2: Bevorzugter Insertionsort und angrenzende Strukturen

Ideale Voraussetzungen für die interradiikuläre Insertion, nämlich ein Platzangebot von 2,6 bis über 3,1 mm Knochen, finden sich im Oberkiefer zwischen den mittleren beiden Schneidezähnen⁵. Außerdem sind die Insertionsbedingungen zwischen dem seitlichen

Schneidezahn und dem Eckzahn und zwischen dem zweiten oberen Prämolaren und dem ersten Molaren sehr gut^{9, 39}.

Im Unterkiefer sind die knöchernen Voraussetzungen für eine erfolgreiche interradiikuläre Insertion und ausreichende Primärstabilität besser als im Oberkiefer. Hier sind eigentlich alle Interdentalräume zwischen dem Eckzahn und dem zweiten Molaren für die Insertion von Miniimplantaten gut oder sehr gut geeignet³⁹. Hinzu kommt, dass im Unterkiefer eine deutlich dickere Kortikalis vorliegt, was eine wichtige Voraussetzung für die Primärstabilität ist³⁹.

Der Unterkieferfrontzahnbereich hingegen ist für eine interradiikuläre Insertion ungeeignet, da die Abstände zwischen den Wurzeln der Frontzähne zu gering sind.

2.2.3 Weichgewebe

Die keratinisierte befestigte oder „attached“ Gingiva ist fest mit dem darunter liegenden Alveolarfortsatz verbunden. Sie reicht als sogenanntes Zahnfleisch von den Zähnen bis zur Mundschleimhautgrenze (mukogingivale Grenzlinie), die den Übergang zur nicht-keratinisierten beweglichen Mundschleimhaut markiert. Zwischen zwei Zähnen bilden die vestibuläre und die linguale Papille einen Gingivasattel, den Col²¹.

Bei der Platzierung von kieferorthopädischen Miniimplantaten ist gerade die befestigte Gingiva im Hinblick auf eine mögliche Insertion von Interesse. Eine Platzierung in die bewegliche Schleimhaut führt mit großer Wahrscheinlichkeit zu periimplantären Gewebeirritationen, häufig verbunden mit Schmerzen und inflammatorischen Veränderungen oder sogar Schleimhautüberwucherungen. Im ungünstigsten Fall führen solche Entzündungen zum Schraubenverlust^{61, 62}. Bei der interradiikulären Insertion sollte daher der Schraubenkopf des Miniimplantats nach Möglichkeit im Bereich der befestigten Gingiva zu liegen kommen¹¹ (s. Abb. 3).

Die Platzierung im Bereich der befestigten Gingiva ist natürlich nur dann möglich und sinnvoll, wenn darunter auch ein ausreichendes Knochenangebot vorliegt.

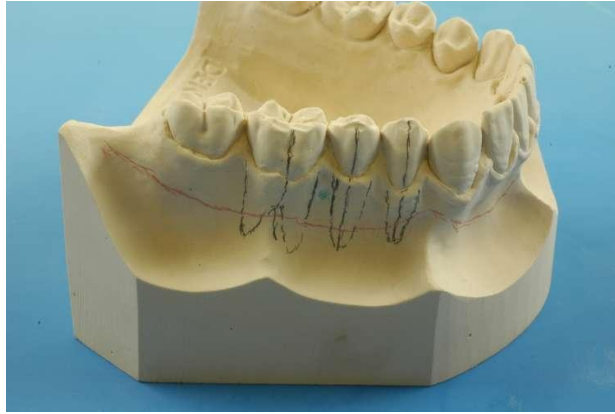


Abb.3 : Darstellung der Zahnwurzeln im Verhältnis zur mukogingivalen Grenzlinie am Modell

Auch die Dicke der Schleimhaut im geplanten Insertionsgebiet ist bei der Planung zu berücksichtigen. Ist beispielsweise die Gingiva an der Insertionsstelle sehr dick und die gewählte Schraube relativ dazu eher kurz, kann die Schraube nicht ausreichend tief in den Knochen eindringen. Somit entsteht ein ungünstig großer Hebelarm, der wiederum spätestens unter Belastung zum Verlust der Schraube führen kann ^{6,7}.

Die anatomischen Verhältnisse sowohl der knöchernen als auch der Weichgewebe am geplante Insertionsort sollten also schon bei der Planung und der Auswahl der geeigneten Schraube berücksichtigt werden ⁴⁰. Bei einer Auswahl von inzwischen über 30 verschiedenen Systemen können Länge und Gestaltung der Minischraube individuell an die anatomischen Gegebenheiten am gewünschten Insertionsort angepasst werden. Bislang gibt es einige wenige Studien, die sich mit der Dicke der Schleimhaut in Ober- und Unterkiefer beschäftigt haben ^{8, 14, 24, 31, 34}. Die bisher einzige Publikation zur Breite der befestigten Gingiva im konkreten Zusammenhang mit kieferorthopädischen Miniimplantaten veröffentlichte Cha et al. im Jahre 2008 ⁸. Sie vermaßen dazu die Ober- und Unterkiefer-Zahnbögen von insgesamt 61 jungen koreanischen Erwachsenen mit einem Ultraschall-Gerät.

Mit einer ähnlichen Methode wie in der vorliegenden Studie bestimmten Costa et al. die Dicke der Gingiva bei zwanzig Patienten und untersuchten außerdem das Knochenangebot an zehn ausgewählten Insertionsregionen ¹³.

Auch im Bereich zwischen den Wurzeln der ersten beiden oberen Schneidezähne finden sich ausreichende Knochendicken zur kortikalen Verankerung ⁴³. Auch der Abstand zwischen den Wurzeln ist hier groß genug für eine interradikuläre Insertion ³⁹. Wegen der dort vorliegenden mobilen Schleimhaut und des Frenulum labiale sind die Möglichkeiten hier aber stark eingeschränkt.

Die Weichgewebsverhältnisse am Insertionsort sind also ein nicht zu vernachlässigender Faktor, wenn es um die erfolgreiche Behandlung mit kieferorthopädischen Miniimplantaten geht.

Ziel der Studie war es, aus anatomischer Sicht geeignete interradikuläre Insertionsorte zu finden und diese auch für den Praktiker leicht auffindbar zu machen. Dazu wurde der Verlauf der mukogingivalen Grenzlinie im Verhältnis zum approximalen Kontaktpunkt ermittelt. Innerhalb der befestigten Gingiva wurde außerdem an mehreren Messpunkten oberhalb der mukogingivalen Grenzlinie die jeweilige Dicke der Gingiva bestimmt. Der Fokus lag dabei auf den Interdentalräumen im Seitenzahnbereich von Ober- und Unterkiefer.

3. Material und Methode

3.1 Patientenkollektiv und Einschlusskriterien

Zwischen Mai und Oktober 2010 wurden in der kieferorthopädischen Praxis Dr. Ludwig / Dr. Glasl, Traben-Trarbach und der zahnärztlichen Praxis Dr. Weil / Dr. Tsanopoulos, Kirchberg/Hunsrück Patienten für die vorliegende Studie rekrutiert. Wichtigstes Einschlusskriterium war die vollständige Bezahnung bis einschließlich zum zweiten Molaren. Die Mundschleimhäute der Patienten wurden dabei quadrantenweise vermessen.

Patienten mit gravierenden Fehlstellungen oder nichtangelegten Zähnen wurden von der Studie ausgeschlossen. Bei Patienten mit Brückenversorgungen, implantatgetragendem Zahnersatz oder Schatlücken im Seitenzahnbereich wurden jeweils nur die Quadranten vermessen, auf die diese Ausschlusskriterien nicht zutrafen.

Vor Einschluss in die Studie erfolgte eine ausführliche Aufklärung der Patienten bzw. der Erziehungsberechtigten, sofern die Patienten das 18. Lebensjahr noch nicht vollendet hatten. Die Datenerhebung erfolgte anonymisiert, wobei insbesondere die Datenauswertung und die statistische Analyse ohne persönliche Daten erfolgten, sodass ein Rückschluss auf die Patienten nicht möglich war und die Anonymität der Patienten erhalten blieb. Die Durchführung erfolgte in Übereinstimmung mit der Deklaration von Helsinki⁵⁷.

3.2. Erhobene Parameter

3.2.1 Werkzeuge

Für die Messungen der Breite der befestigten Gingiva wurden WHO-Sonden verwendet. Die WHO-Sonde (s. Abb. 4) ist eine von der Weltgesundheitsorganisation empfohlene Sonde, deren Spitze eine Kugel mit 0,5 mm Durchmesser aufweist.

Durch diese spezielle Form wurde eine Verletzung der Gingiva minimiert, so dass eine atraumatische und für den Patienten wenig belastende Untersuchung gewährleistet wurde.

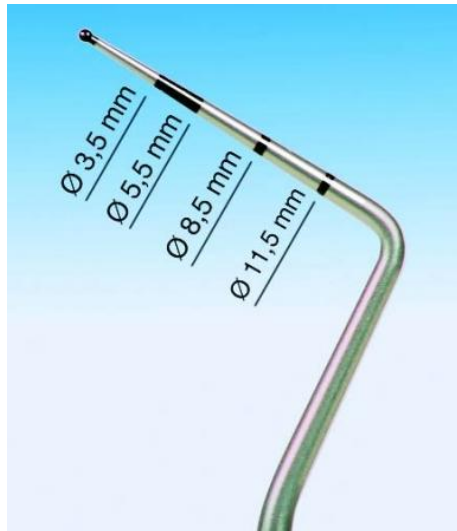


Abb.4: WHO-Sonde mit Skalierung

Die WHO-Sonde besitzt eine typische Skalierung, die dem Behandler das Messen und Ablesen erleichtern soll.

Die Codierung ist zur leichteren Ablesbarkeit farblich markiert:

0,5-3,5/ 3,5-5,5/ 5,5-8,5/8,5-11,5 mm (s. Abb. 4)

Messwerte, die sich anhand der Skalierung der WHO-Sonde nicht eindeutig bestimmen ließen, wurden noch einmal mit einer Schieblehre exakt nachgemessen (Abb. 5).

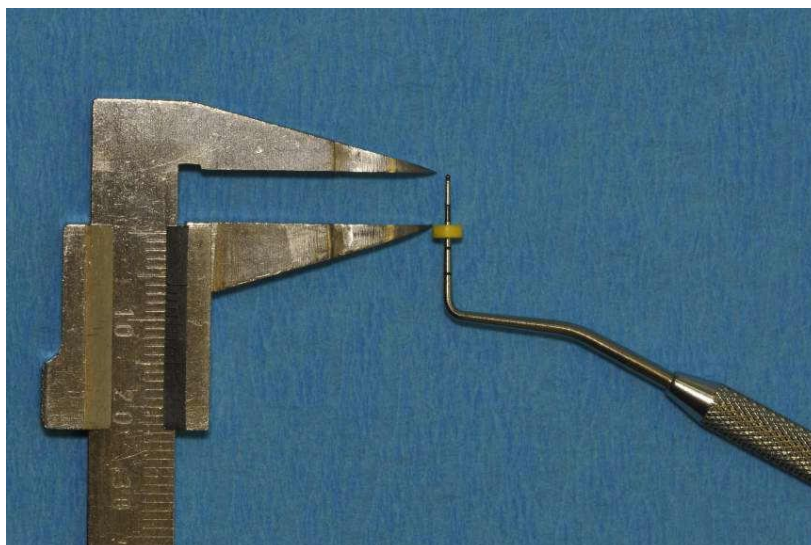


Abb.5: Messung mit einer Schieblehre

Zur Messung der Schleimhautdicke stellte sich eine schlanke Wurzelkanaleingangssonde zur Perforation der Schleimhaut als am geeignetsten heraus. Solche Sonden sind spitz genug, die Schleimhaut zu perforieren, ohne dabei größere Gewebedefekte zu verursachen. Andererseits ist der Schaft dieser Sonde breit genug, einen Silikonstopp für die exakte Längebestimmung aufzunehmen, ohne dass dieser verrutscht (Abb. 6). So konnte die Schleimhautdicke mit einem Lineal exakt gemessen werden.



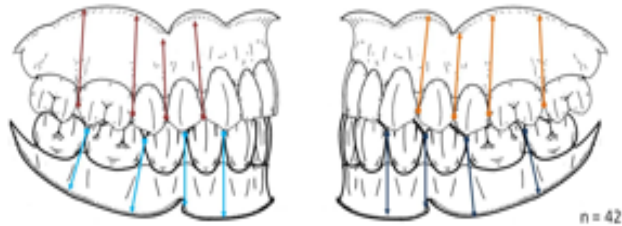
Abb.6: Wurzelkanaleingangssonde mit Silikonstopp

3.2.2 Mukogingivale Grenzlinie

Die mukogingivale Grenzlinie markiert den Übergang von befestigter zu beweglicher Schleimhaut und somit gleichermaßen die Breite der befestigten Gingiva.

Die Breite der befestigten Gingiva wurde vom Approximalkontakt aus senkrecht zur mukogingivalen Grenzlinie gemessen - und zwar von Regio 3 nach dorsal bis Regio 7 (s. Abb. 7).

12,0	11,5	12,0	12,0	Maximum (mm)	14,0	12,0	12,0	10,0
6,0	5,0	6,0	6,0	Minimum (mm)	6,0	5,0	6,0	6,0
8,1 ±1,4	8 ±1,4	8,2 ±1,1	8,3 ±1,4	Mukogingivale Grenzlinie Mittelwert ± Sd (mm)	8,2 ±1,6	8,1 ±1,4	7,9 ±1,3	7,7 ±1,1
16	15	14	13	Messdistanz	23	24	25	26



46	45	44	43	Messdistanz	33	34	35	36
7,3 ±1,2	7,4 ±1,5	7,4 ±1,3	7,3 ±1,2	Mukogingivale Grenzlinie Mittelwert ± SD (mm)	7,3 ±1,1	7,4 ±1,3	7,4 ±1,3	7,3 ±1,2
4,0	4,0	5,0	5,0	Minimum (mm)	5,0	4,0	5,0	5,0
11,0	13,0	12,0	10,0	Maximum (mm)	10,0	11,0	11,0	10,0

Abb.7: Verlauf der mukogingivalen Grenzlinie im Verhältnis zum approximalen Kontaktpunkt an verschiedenen Messpunkten

Der Frontzahnbereich wurde bewusst nicht in die Messungen miteinbezogen, da die anatomischen Verhältnisse hier keinen ausreichenden interradikulären Abstand für Minischrauben von 1,6 mm Durchmesser bieten. Eine Ausnahme bildet der subnasale Raum zwischen den Wurzeln der beiden mittleren oberen Schneidezähne.

Der Übergang von befestigter (keratinisierter) Gingiva zu beweglicher Schleimhaut ist normalerweise gut sichtbar bzw. durch Mobilisierung darstellbar; ein vorheriges Einfärben z.B. mit Lugol'scher Lösung war somit nicht erforderlich.

3.2.3 Schleimhautdicke

Die Messungen der Schleimhautdicke wurden in Lokalanästhesie durchgeführt, da sie von einigen Patienten als sehr schmerzhaft empfunden wurden. Bei Patienten, die sich zum Zeitpunkt der Messung ohnehin gerade in zahnärztlicher Behandlung in Lokalanästhesie befanden, konnte auf eine zusätzliche Lokalanästhesie verzichtet werden.

Gemessen wurde 1 mm oberhalb der mukogingivalen Grenzlinie in senkrechter Verlängerung des Approximalkontakts und somit etwa mittig zwischen den Wurzeln zweier benachbarter Zähne (s. Abb. 8). Ein Sicherheitsabstand von 1 mm zur mukogingivalen Grenzlinie gewährleistet, dass der Schraubenkopf des Miniimplantats innerhalb der befestigten Gingiva zu liegen kommt.

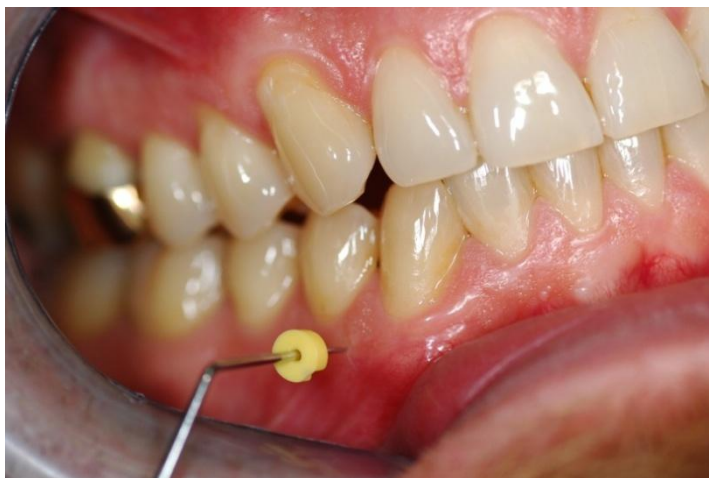
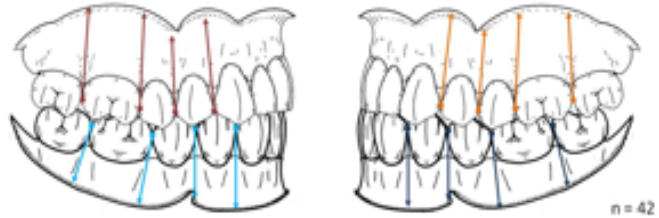


Abb.8: Messung der Schleimhautdicke Regio 43/44

Auch hier wurde interradikulär von Regio 3 (Eckzahnregion) nach distal bis Regio 7 (zweiter Molar) gemessen (s. Abb. 9).

5,0	5,5	5,0	4,0	Maximum (mm)	5,0	5,0	5,0	5,5
1,0	1,0	0,5	1,0	Minimum (mm)	1,5	1,0	1,0	1,0
2,4 $\pm 1,0$	2,4 $\pm 1,1$	2,3 $\pm 1,1$	2,2 $\pm 1,7$	Dicke der Gingiva Mittelwert \pm SD (mm)	2,5 $\pm 1,0$	2,5 $\pm 1,0$	2,5 $\pm 1,0$	2,3 $\pm 1,1$
16	15	14	13	Messpunkt	23	24	25	26



46	45	44	43	Messpunkt	33	34	35	36
2,3 $\pm 0,9$	2,2 $\pm 0,8$	2,1 $\pm 0,8$	2,0 $\pm 0,8$	Dicke der Gingiva Mittelwert \pm SD (mm)	2,0 $\pm 0,7$	2,1 $\pm 0,8$	2,3 $\pm 0,7$	2,4 $\pm 1,0$
1	1	0,5	0,5	Minimum (mm)	0,5	0,5	1	1
4,0	4,0	4,0	4,0	Maximum (mm)	3,5	4,0	4,0	5,0

Abb.9: Dicke der befestigten Gingiva an verschiedenen Messpunkten

3.3 Statistische Methoden und grafische Darstellung

Die statischen Auswertungen wurden mit Hilfe von SPSS für Windows, Version 17.0 (SPSS Inc., U.S.A.) durchgeführt. Die kontinuierlichen Variablen wurden als Mittelwerte dargestellt, während als Streumaße die Standardabweichungen gewählt wurden.

Die Überprüfung der Verteilungsform der kontinuierlichen Variablen wurde mittels des Kolmogorov-Smirnov-Tests durchgeführt.

2 verbundene, nicht normalverteilte Stichproben wurden mittels des Wilcoxon-Tests verglichen. Mehr als 2 verbundene, nicht normalverteilte Stichproben wurden durch den Friedman-Test überprüft.

Die Korrelation zwischen 2 Parametern wurde durch den Korrelationskoeffizienten nach Spearman- Rho berechnet. Dabei wurde der Korrelationskoeffizient nach folgender Einteilung bewertet:

$r < 0,2$ → sehr geringe Korrelation

$r = 0,2 - 0,5$ → geringe Korrelation

$r = 0,5 - 0,7$ → mittlere Korrelation

$r = 0,7 - 0,9$ → hohe Korrelation

$r = > 0,9$ → sehr hohe Korrelation

Bei allen durchgeführten Tests erfolgte eine zweiseitige Signifikanzüberprüfung, wobei für alle statistischen Tests ein p-Wert $< 0,05$ als statistisch signifikant gesehen wurde.

In den grafischen Darstellungen, die ebenfalls mit SPSS erstellt wurden, wurden zur Veranschaulichung der Mediane und Quartilsabstände Boxplots verwendet. Während in den Boxen der Median sowie die 25.-75. Perzentile aufgetragen sind, entsprechen die T-Balken dem kleinsten und größten Wert, sofern diese keine Ausreißer bzw. Extremwerte sind.

Ausreißer sind dabei Werte, die zwischen $1 \frac{1}{2}$ - 3 Boxlängen außerhalb der Box liegen; sie sind in den Grafiken als Kreise dargestellt, während Extremwerte mehr als 3 Boxlängen außerhalb der Box gemessen wurden und als Kreuze aufgetragen sind. Die Korrelation von 2 Variablen wurde durch Streudiagramme veranschaulicht.

3.4 Literaturrecherche

Zu dieser Studie wurden die Themen intraradikuläre Insertion von Miniimplantaten und Lage, Ausdehnung und Dicke der befestigten Gingiva unter Berücksichtigung des aktuellen Stands der Forschung sowie die Entwicklungen der letzten Jahre recherchiert und aufgearbeitet. Daher erstreckt sich die gesamte Literaturrecherche über den Zeitraum zwischen 1945 bis 2011. Die Recherche umfasste wissenschaftliche Übersichtsarbeiten, Reviews, prospektive bzw. retrospektive anatomische und klinische Tier – und Humanstudien sowie Beiträge aus der aktuellen Fachliteratur.

Für die Onlinesuche wurde das Literaturverwaltungsprogramm Endnote[®] benutzt, mit dem auf wissenschaftliche Literaturdatenbanken zurückgegriffen werden kann. Mit diesem Programm ist außerdem die Erstellung und Verwaltung eigener Datenbanken möglich sowie das Einfügen von Zitaten innerhalb eines Dokuments. Die Formatierung des Literaturverzeichnisses entspricht der offiziellen Formatierung der Universität Homburg.

Zur Literaturrecherche wurde in erster Linie die öffentliche Datenbank PubMed genutzt. Pubmed ist eine englischsprachige Meta-Datenbank und dokumentiert Artikel aus dem gesamten biomedizinischen Bereich. Sie wird als Service der National Library of Medicine der Vereinigten Staaten von Amerika angeboten und ist online abrufbar. Als bibliografische Referenzdatenbank hat Pubmed Zugriff auf über 20 Millionen Zitate, zu denen jährlich ca. 500.000 Dokumente hinzukommen. Der Schwerpunkt der Recherche lag auf deutsch- und englischsprachigen amerikanischen und europäischen Publikationen.

Als Suchbegriffe wurden unter anderen folgende Stichwörter ausgewählt:

Gingiva thickness, anatomy & histology, orthodontic/skeletal anchorage, success rates, miniscrews, microscrews, miniimplantat, oral soft tissues, gingival biotype.

Unter den Treffern vor allem solche berücksichtigt, die in engerem Zusammenhang mit Miniimplantaten bzw. temporären skelettalen Verankerungen in der Kieferorthopädie stehen. So wurde ein umfassender Überblick über den aktuellen Wissenstand zu Einfluss-, Risikofaktoren und Erfolgsraten von kieferorthopädischen Miniimplantaten geschaffen.

4. Ergebnisse

4.1 Patientencharakteristika

4.1.1 Alter

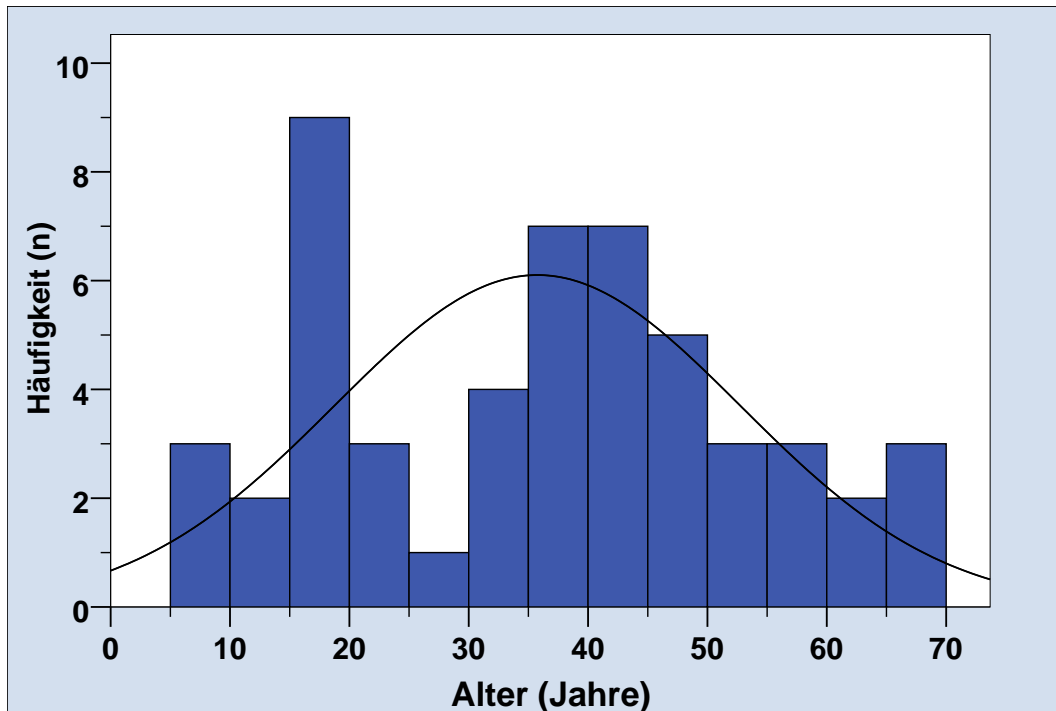


Abb.10: Altersverteilung

n	52
Mittelwert±SD (Jahre)	35,75±17,0
Median	37,0
Standardabweichung	17,0
Minimum	8
Maximum	69
Perzentile	
25	19,0
50	37,0
75	47,8

Tab.1: Alter des Kollektivs (Jahre)

Wie in Abb. 10 ersichtlich, war im Patientenkollektiv eine weite Altersspanne zu erheben, die von 8 bis maximal 69 Jahren reichte. Am häufigsten wurden dabei Patienten zwischen dem 15 und 20 Lebensjahr rekrutiert, so dass in der Abbildung hier ein Häufigkeitsgipfel ersichtlich ist. Das mittlere Alter lag bei 36 ± 17 Jahren.

4.1.2 Geschlecht

Im vorliegenden Kollektiv, dass aus 52 Patienten bestand, war die Mehrheit weiblich, wobei dieser Anteil 56,9% (n=33) betrug.

4.2 Mukogingivale Grenzlinie im anatomischen Verlauf

4.2.1 1. Quadrant

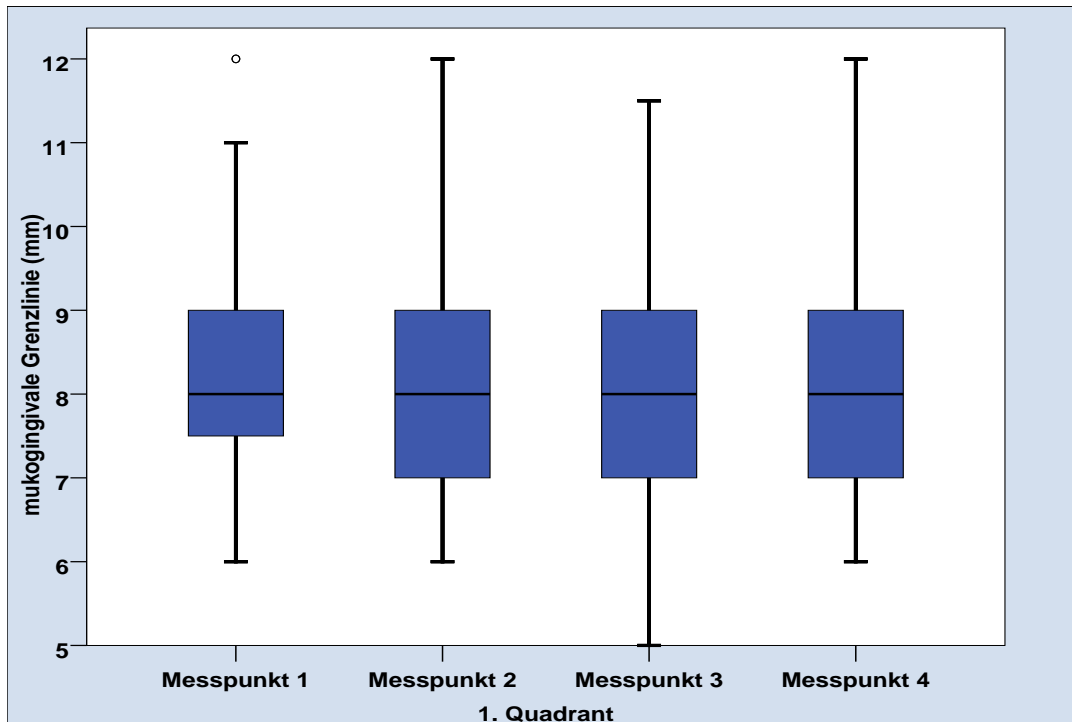


Abb.11: Mukogingivale Grenzlinie an Messpunkten 1-4

MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

n=42		MP1	MP2	MP3	MP4
Breite der befestigten Gingiva (mm)					
MW± SD		8,3±1,4	8,2±1,1	8,0±1,4	8,1±1,4
Median		8,0	8,0	8,0	8,0
Minimum		6,0	6,0	5,0	6,0
Maximum		12,0	12,0	11,5	12,0
Perzentile	25	7,4	7,0	7,0	7,0
	50	8,0	8,0	8,0	8,0
	75	9,0	9,0	9,0	9,0

Tab. 2: Mukogingivale Grenzlinie an Messpunkten 1-4 (mm)

MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

Die Breite der befestigten Gingiva (=mukogingivale Grenzlinie) an verschiedenen Messpunkten ist in Abb. 11 und Tab. 2 aufgeführt. Hierbei zeigt sich, dass im 1.Quadranten die Messpunkte 1-4 ohne wesentliche Unterschiede ausfielen, wobei Mittelwerte zwischen 8,0±8,3 mm gemessen wurden. Hierbei wurde die geringste Breite am Messpunkt 3 mit 8,0±1,4 mm erhoben, während die breiteste Stelle am Messpunkt 1 mit 8,3±1,4 mm berechnet wurde. Bezüglich der weiteren Einzelwerte sei auf Tab. 2

verwiesen. Hinsichtlich des beschriebenen diskreten Unterschieds wurde im Friedman-Test keine Signifikanz, sondern allenfalls ein Trend mit $p=0,091$ berechnet.

4.2.2 2. Quadrant

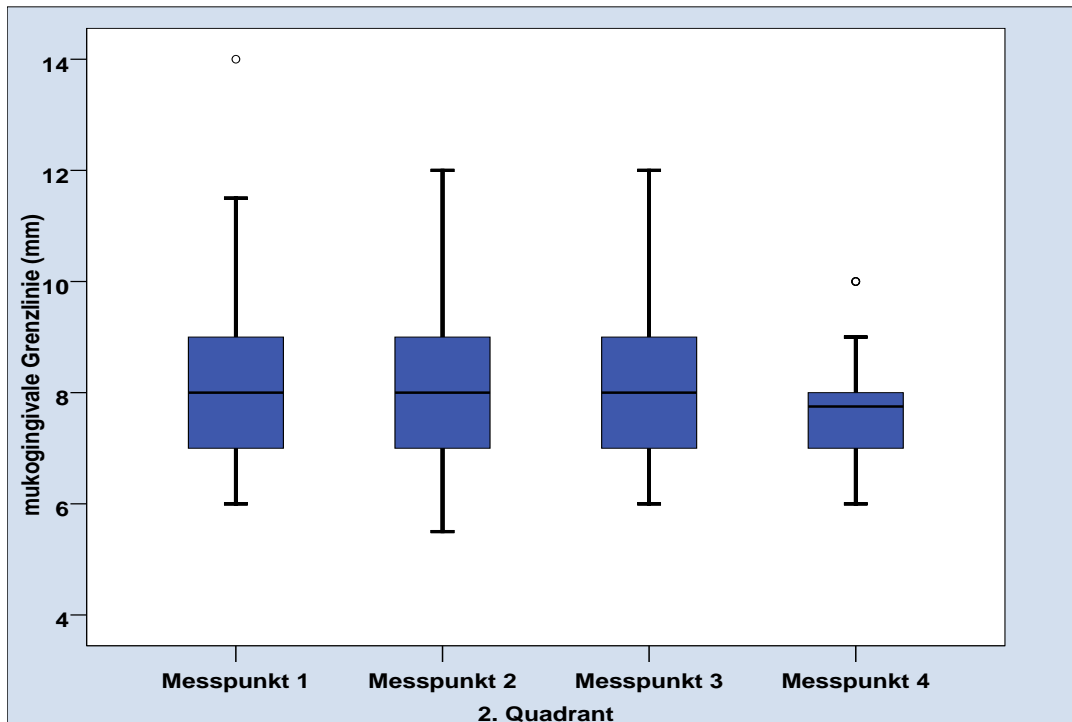


Abb.12: Mukogingivale Grenzlinie an Messpunkten 1-4
MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

n=42	MP1	MP2	MP3	MP4
Breite der befestigten Gingiva (mm)				
Mittelwert \pm SD	8,2 \pm 1,6	8,1 \pm 1,4	7,9 \pm 1,3	7,7 \pm 1,1
Median	8,0	8,0	8,0	7,8
Minimum	6,0	5,5	6,0	6,0
Maximum	14,0	12,0	12,0	10,0
Perzentile				
25	7,0	7,0	7,0	7,0
50	8,0	8,0	8,0	7,8
75	9,0	9,0	9,0	8,0

Tab.3: Mukogingivale Grenzlinie an Messpunkten 1-4 (mm)
MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

Die Breite der befestigten Gingiva im Seitenzahnbereich des 2.Quadranten betrug zwischen 7,7 und 8,2 mm, wie aus Abbildung 12 und Tabelle 3 zu entnehmen ist. Die Mediane waren nahezu identisch (8,0 bzw. 7,8 mm).

Die geringste Breite war, wie in Abb.12 und Tab.3 ersichtlich, hier an Messpunkt 4 im hinteren Seitenzahnbereich mit 7,7 mm, die größte an Messpunkt 1 im vorderen Seitenzahnbereich mit 8,2 mm zu beobachten. Der Friedman-Test ergab bezüglich der beschriebenen Unterschiede eine Signifikanz von $p=0,002$.

Insgesamt sind die Werte im zweiten Quadranten vergleichbar mit den Messwerten aus dem ersten Quadranten.

4.2.3 3. Quadrant

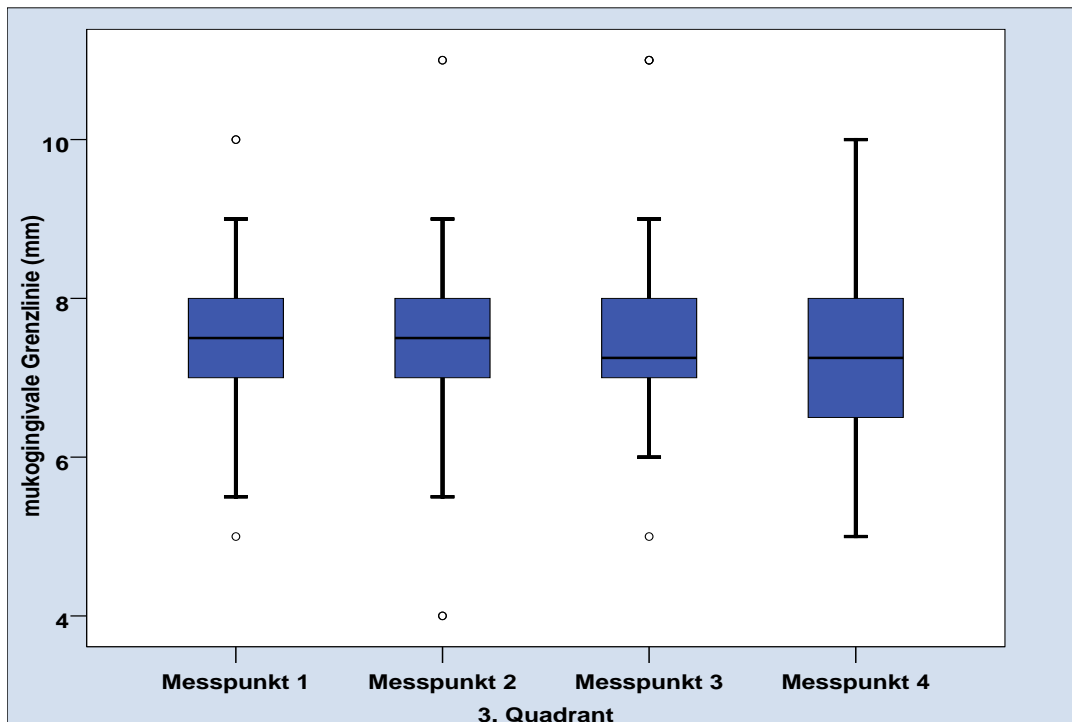


Abb.13: Mukogingivale Grenzlinie an Messpunkten 1-4
 MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

n=42	MP1	MP2	MP3	MP4
Breite der befestigten Gingiva (mm)				
Mittelwert ± SD	7,3±1,1	7,4±1,3	7,4±1,3	7,3±1,2
Median	7,5	7,5	7,3	7,3
Minimum	5,0	4,0	5,0	5,0
Maximum	10,0	11,0	11,0	10,0
Perzentile 25	6,9	7,0	6,9	6,5
50	7,5	7,5	7,3	7,3
75	8,0	8,0	8,0	8,0

Tab. 4: Mukogingivale Grenzlinie an Messpunkten 1-4 (mm)
 MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

Wie aus Abbildung 13 und Tabelle 4 zu entnehmen, wurden im 3. Quadranten im Mittel Messwerte zwischen 7,3 und 7,5 mm Breite erhoben. Kleinster Wert waren 4 mm und der größte 11 mm.

Insgesamt gesehen zeigten sich zwischen den 4 Messpunkten keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf die befestigte Gingiva (Friedman-Test; $p=0,0682$).

4.2.4 4. Quadrant

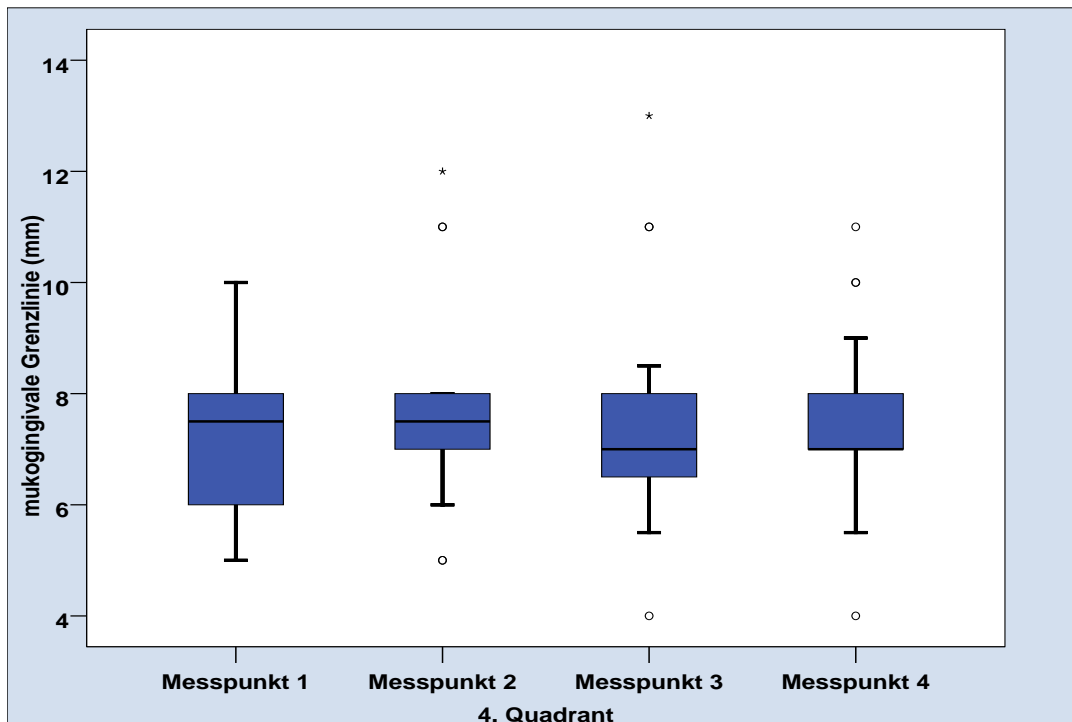


Abb.14: Mukogingivale Grenzlinie an Messpunkten 1-4
MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

n= 42	MP1	MP2	MP3	MP4
Breite der befestigten Gingiva (mm) Mittelwert±SD	7,3±1,2	7,4±1,3	7,4±1,5	7,3±1,2
Median	7,5	7,5	7,0	7,0
Minimum	5,0	5,0	4,0	4,0
Maximum	10,0	12,0	13,0	11,0
Perzentile 25	6,0	7,0	6,5	6,9
50	7,5	7,5	7,0	7,0
75	8,0	8,0	8,0	8,0

Tab. 5: Mukogingivale Grenzlinie an Messpunkten 1-4 (mm)
MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

Im vierten Quadranten ergaben die Messungen der Breite der befestigten Gingiva Mittelwerte zwischen 7,3 – 7,4 mm, wie in Tabelle 5 aufgetragen.

Der niedrigste gemessene Wert waren hier 4 mm an Messpunkt 3 und 4, der höchste 13 mm an Messpunkt 3. Beim Vergleich der Messpunkte konnte keine signifikanten

Unterschiede berechnet werden (Friedman-Test; $p=0,733$). Insgesamt sind diese Werte vergleichbar mit den Werten aus dem 3. Quadranten.

4.3 Schleimhautdicke im anatomischen Verlauf

5.3.1 1. Quadrant

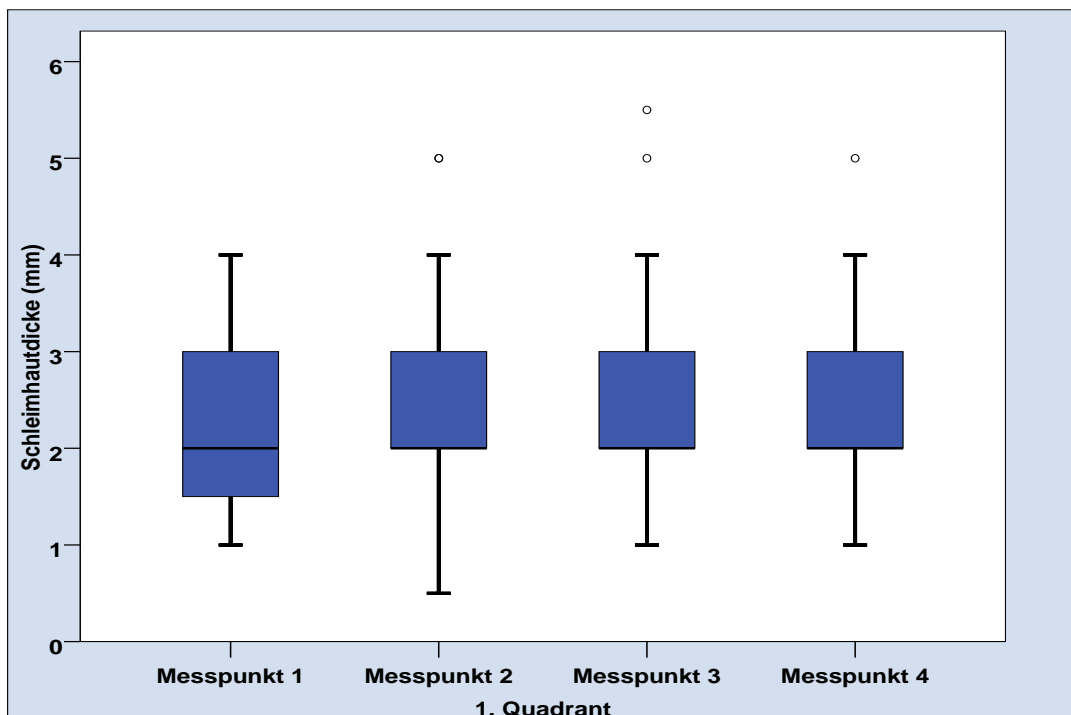


Abb.15: Schleimhautdicke an verschiedenen Messpunkten

MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

n =42		MP1	MP2	MP3	MP4
Schleimhautdicke(mm)					
Mittelwert±SD		2,2 ± 1,7	2,3 ± 1,1	2,4 ± 1,1	2,4 ± 1,0
Median		2,0	2,0	2,0	2,0
Minimum		1,0	0,5	1,0	1,0
Maximum		4,0	5,0	5,5	5,0
Perzentile	25	1,5	1,8	2,0	2,0
	50	2,0	2,0	2,0	2,0
	75	3,0	3,0	3,0	3,0

Tab. 6: Schleimhautdicke an verschiedenen Messpunkten (mm)

MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

Die gemessenen Werte unterschieden sich geringfügig, so dass bei allen 4 Messpunkten identische Mediane von 2,0 mm und annähernd gleiche Mittelwerte zwischen 2,2 – 2,4 mm erhoben wurden. Bei allen 4 Messpunkten fielen weiterhin große Spannbreiten der befestigten Gingiva auf, die insgesamt von 0,5 im Messpunkt 2

bis 5,5 mm im Messpunkt reichten, was eine hohe Standardabweichung von 1,1 – 1,7 mm bedingte. Bezüglich der Einzeldaten gibt die Tab. 6 Auskunft.

Im Friedman-Test wurde hinsichtlich der beschriebenen Unterschiede keine statistische Signifikanz berechnet ($p=0,477$).

4.3.2 2. Quadrant

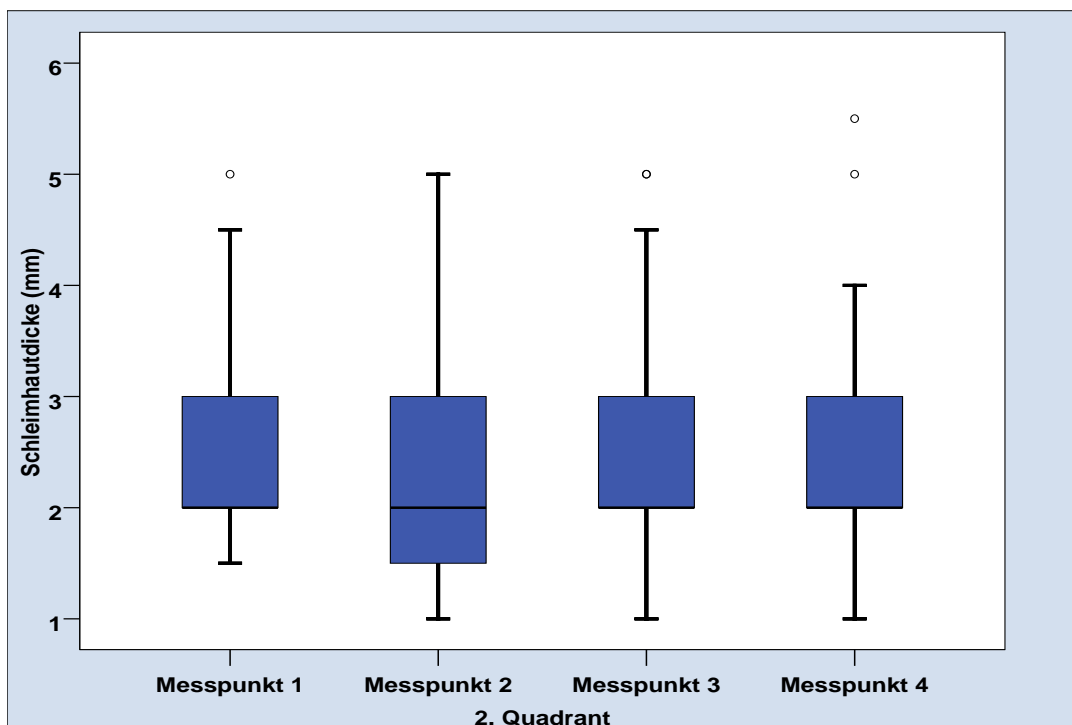


Abb.16: Schleimhautdicke an verschiedenen Messpunkten

MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

n =29	MP1	MP2	MP3	MP4
Schleimhautdicke(mm)				
Mittelwert±SD	2,5±1,0	2,5±1,0	2,5±1,0	2,3±1,1
Median	2,0	2,0	2,0	2,0
Minimum	1,5	1,0	1,0	1,0
Maximum	5,0	5,0	5,0	5,5
Perzentile				
25	2,0	1,5	2,0	1,8
50	2,0	2,0	2,0	2,0
75	3,0	3,0	3,0	3,0

Tab.7: Schleimhautdicke an verschiedenen Messpunkten (mm)

MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

Bei den Messungen im zweiten Quadranten ergaben sich ähnliche Werte wie im ersten, im Mittel wurden hierbei $2,3 \pm 1,1$ mm (Messpunkt 4) bzw. $2,5 \pm 1$ mm (Messpunkte 1, 2 und 3) gemessen. Die kleinsten gemessene Werte waren hier 1 mm, die größten 5,5 mm (siehe Abbildung 16).

Im Hinblick auf die beschriebenen Unterschiede ergab sich keine Signifikanz (Friedman-Test; $p=0,848$).

Zusammenfassend gab es somit keine wesentlichen Unterschiede bezüglich der Schleimhautdicke an den verschiedenen Messpunkten.

4.3.3 3. Quadrant

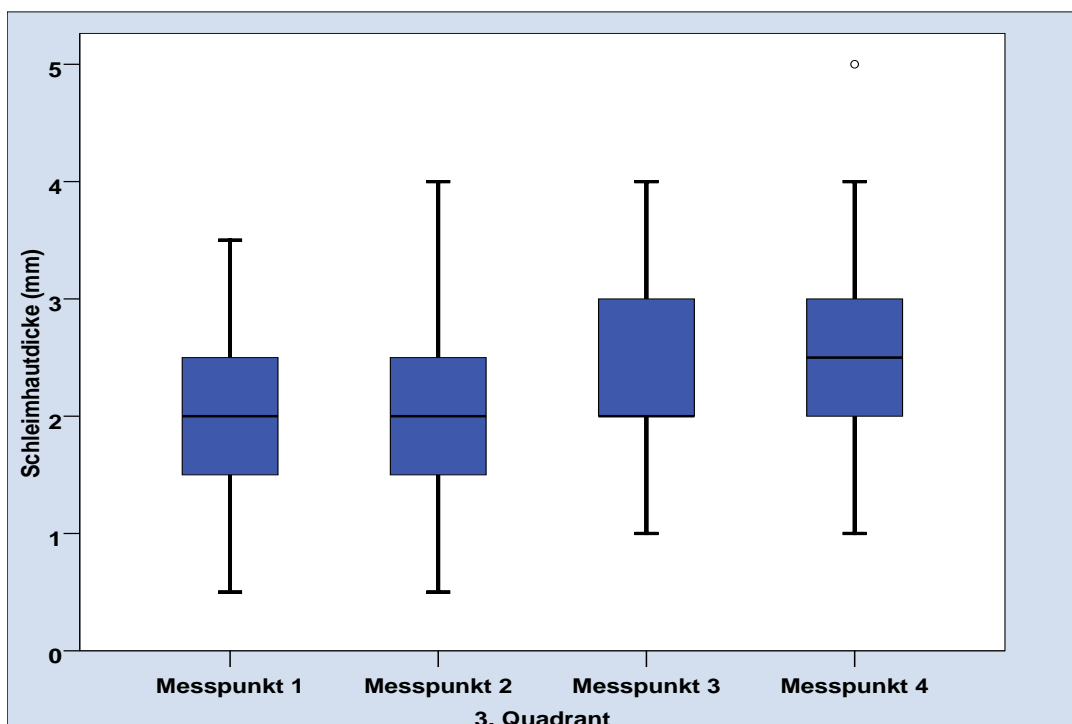


Abb.17: Schleimhautdicke an verschiedenen Messpunkten

MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

n=29	MP1	MP2	MP3	MP4
Schleimhautdicke(mm)				
Mittelwert ± SD	2,0±0,7	2,1±0,8	2,3±0,7	2,4±1,0
Median	2,0	2,1	2,0	2,5
Minimum	0,5	0,5	1,0	1,0
Maximum	3,5	4,0	4,0	5,0
Perzentile 25	1,5	1,5	2,0	2,0
50	2,0	2,0	2,0	2,5
75	2,5	2,5	3,0	3,0

Tab. 8: Schleimhautdicke an verschiedenen Messpunkten (mm)

MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

In Abbildung 17 und Tabelle 8 ist der Einfluss der Schleimhautdicke an verschiedenen Messpunkten im 3. Quadranten dargestellt. Hierbei sieht man, dass die Messpunkte 1-3 ähnliche Werte aufwiesen. Auffällig waren deutliche Schwankungen der Schleimhautdicke, die zwischen 0,5 mm (Messpunkte 1 und 2) und 5 mm (Messpunkt 4) lagen.

Aufgrund dieser deutlichen Unterschiede errechnete sich im Friedman-Test für den dritten Quadranten eine Signifikanz von $p=0,015$.

Insgesamt ergibt sich daher ein Anhalt dafür, dass die Lage des Messpunktes einen signifikanten Einfluss auf die dort gemessene Schleimhautdicke hatte.

4.3.4 4. Quadrant

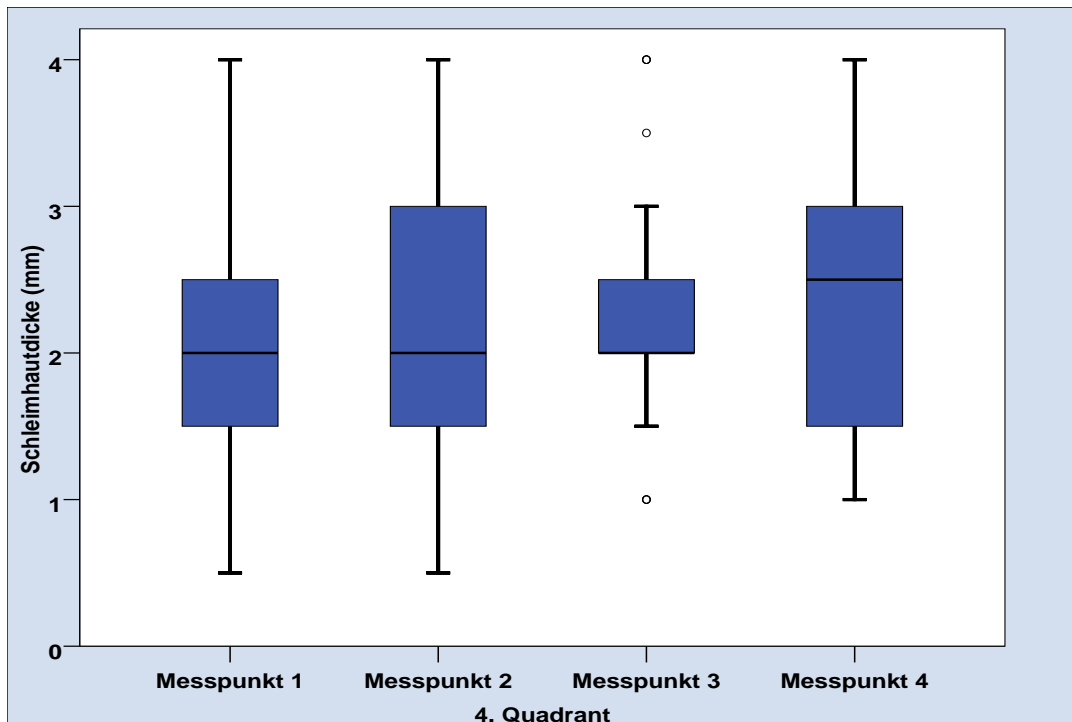


Abb.18: Schleimhautdicke an verschiedenen Messpunkten
 MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

n=29	MP1	MP2	MP3	MP4
Schleimhautdicke (mm)				
Mittelwert±SD	2,0±0,8	2,1±0,8	2,2±0,8	2,3±0,9
Median	2,0	2,0	2,0	2,5
Minimum	0,5	0,5	1,0	1,0
Maximum	4,0	4,0	4,0	4,0
Perzentile 25	1,5	1,5	2,0	1,5
50	2,0	2,0	2,0	2,5
75	2,5	3,0	2,8	3,0

Tab. 9: Schleimhautdicke an verschiedenen Messpunkten (mm)
 MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

Die im vierten Quadranten gemessenen Werte lagen, wie aus Tabelle 9 zu entnehmen, im Mittel zwischen $2,0 \pm 0,8$ und $2,3 \pm 0,9$ mm, wobei der kleinste gemessene Wert 0,5 mm (Messpunkte 1 und 2) und der größte 4 mm waren. Die Mediane waren bis auf Messpunkt 4 (2,5 mm) an allen Messpunkten mit 2 mm identisch. Der Friedman-Test ergab somit keine statistische Signifikanz ($p=0,250$).

4.4 Breite der befestigten Gingiva OK vs. UK

4.4.1 Messpunkt 1

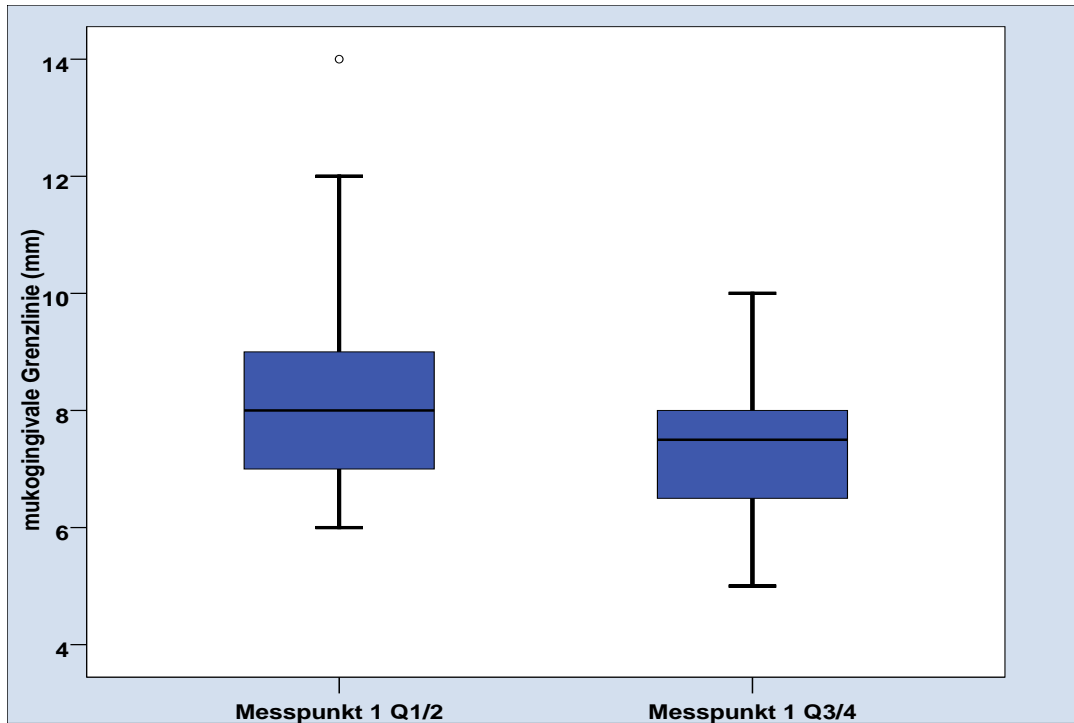


Abb.19: Messpunkt 1 im OK vs. UK

MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

n=84	MP1 Q1/2	MP1 Q3/4
Breite der befestigten Gingiva (mm)		
Mittelwert ± SD	8,2 ± 1,5	7,3 ± 1,1
Median	8,0	7,5
Minimum	6,0	5,0
Maximum	14,0	10,0
Perzentile		
25	7,0	6,5
50	8,0	7,5
75	9,0	8,0

Tab.10: Messpunkt 1 im OK vs. UK (mm)

MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

Der Vergleich der gemessenen Werte an Messpunkt 1 im ersten und zweiten Quadranten des Oberkiefers ergab eine Breite der befestigten Gingiva von durchschnittlich $8,2 \pm 1,5$ mm und eine mittlere Breite von $7,3 \pm 1,1$ mm im Seitenzahnbereich des Unterkiefers.

Der Unterschied zwischen den Messwerten von Ober- und Unterkiefer stellt sich auch anhand der Boxplots in Abbildung 17 dar.

Der geringste gemessene Wert war 5 mm (UK), der größte betrug im Oberkiefer 14 mm und im Unterkiefer 10 mm, wie der Tab.10 zu entnehmen ist. Daraus ergibt sich ein im Durchschnitt um 0,9 mm geringerer Wert für den vorderen unteren Seitenzahnbereich im Vergleich zum entsprechenden Wert im Oberkiefer.

Dieser deutlicher Unterschied ergab im Wilcoxon-Test eine Signifikanz von $p < 0,001$.

4.4.2 Messpunkt 2

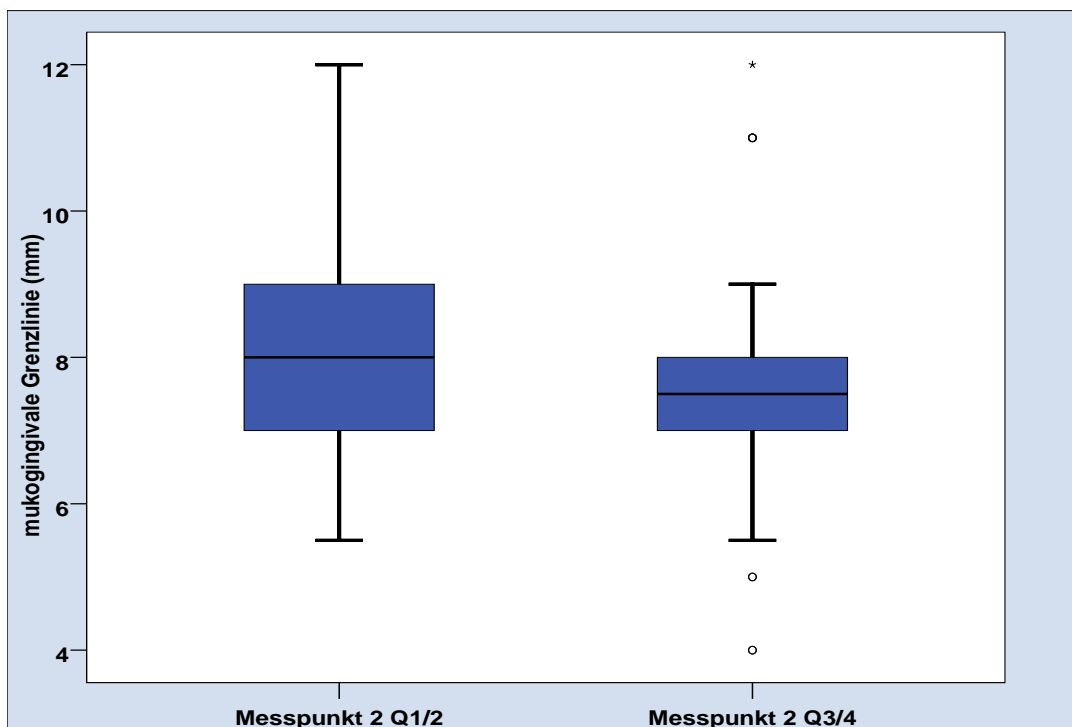


Abb. 20: Messpunkt 2 im OK vs. UK

MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

n=84	MP2 Q1/2	MP2 Q3/4
Breite der befestigten Gingiva (mm)	8,1±1,4	7,4±1,3
Mittelwert±SD		
Median	8,0	7,5
Minimum	5,5	4,0
Maximum	12,0	12,0
Perzentile 25	7,0	7,0
50	8,0	7,5
75	9,0	8,0

Tab.11: Messpunkt 2 im OK vs. UK (mm)

MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

An Messpunkt 2 im ersten und zweiten Quadranten des Oberkiefers wurden Breiten der befestigten Gingiva von 8,1±1,4 mm und Breiten von 7,4±1,3 mm im Seitenzahnbereich des Unterkiefers erhoben. Geringster gemessener Wert war 5,5 mm im Oberkiefer; im Unterkiefer betrug er dagegen 4 mm. Der größte im Oberkiefer sowie im Unterkiefer gemessene Wert wurde mit jeweils 12 mm angegeben, wie aus Tab.11 zu entnehmen ist. Daraus ergab sich ein im Durchschnitt um 0,5 mm geringerer Wert für den unteren Seitenzahnbereich im Vergleich zum entsprechenden Wert im Oberkiefer. Der Wilcoxon-Test berechnete für diesen Unterschied eine Signifikanz von $p < 0,001$.

4.4.3 Messpunkt 3

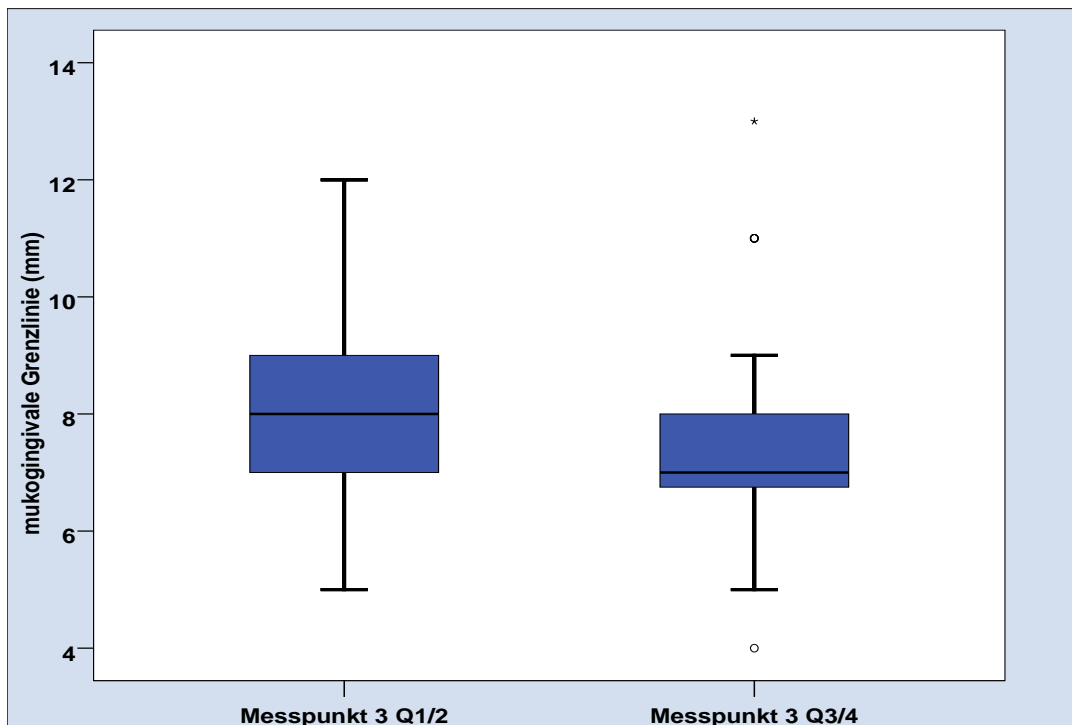


Abb. 21: Messpunkt 3 im OK vs. UK
 MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

n=84	MP3 Q1/2	MP3 Q3/4
Breite der befestigten Gingiva (mm)	8,0±1,4	7,3±1,4
Mittelwert ± SD		
Median	8,0	7,0
Minimum	5,0	4,0
Maximum	12,0	13,0
Perzentile 25	7,0	6,6
50	8,0	7,0
75	9,0	8,0

Tab.12: Messpunkt 3 im OK vs. UK (mm)
 MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

Wie aus Abbildung 21 und Tabelle 12 zu entnehmen, ergaben die Messungen an Messpunkt 3 im ersten und zweiten Quadranten des Oberkiefers für die Breite der befestigten Gingiva durchschnittliche Werte von 8,0±1,4 mm und eine mittlere Breite von 7,3±1,4 mm im Seitenzahnbereich des Unterkiefers. Der kleinste gemessene Wert

war 5,0 mm im Oberkiefer und 4,0 mm im Unterkiefer. Der größte gemessene Wert betrug im Oberkiefer 12 mm und im Unterkiefer 13 mm, wie in Tab.12 aufgeführt.

Insgesamt ergibt sich ein im Durchschnitt um 1 mm geringerer Wert für den unteren Seitenzahnbereich im Vergleich zum Oberkiefer, wobei im Wilcoxon-Test hierfür eine statistische Signifikanz ermittelt wurde ($p < 0,001$).

4.4.4 Messpunkt 4

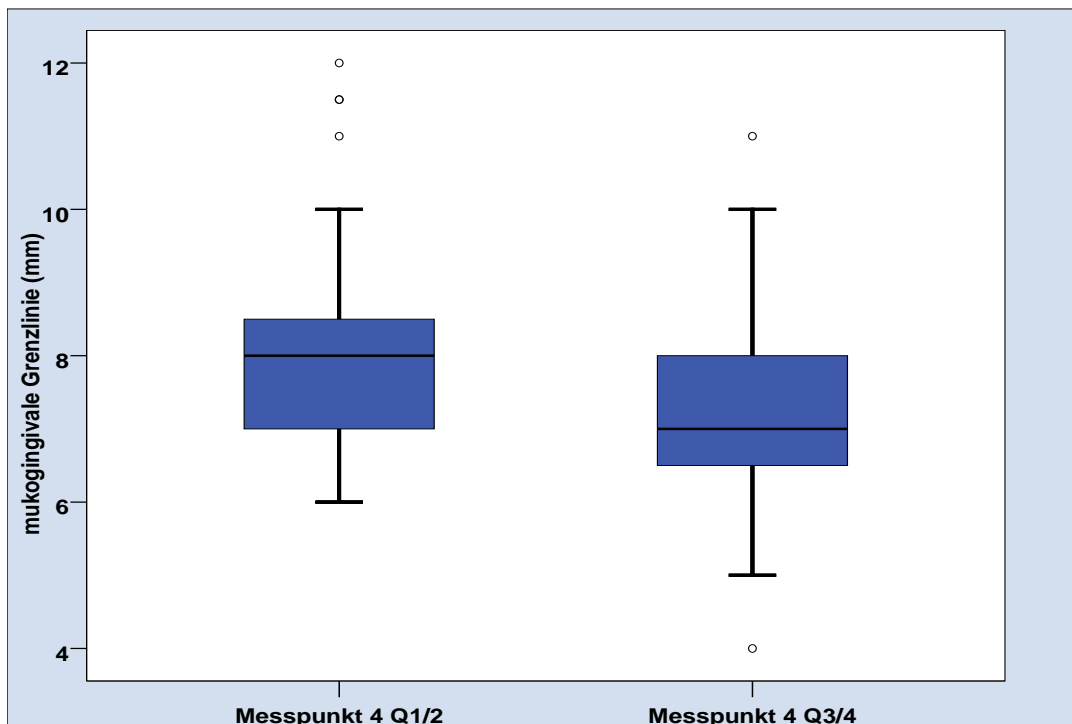


Abb. 22: Messpunkt 4 im OK vs. UK

MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

n=84	MP4 Q1/2	MP4 Q3/4
Breite der befestigten Gingiva (mm)		
Mittelwert \pm SD	7,9 \pm 1,3	7,3 \pm 1,2
Median	8,0	7,0
Minimum	6,0	4,0
Maximum	12,0	11,0
Perzentile		
25	7,0	6,5
50	8,0	7,0
75	8,5	8,0

Tab.13: Messpunkt 4 im OK vs. UK (mm)

MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

Die gemessenen Breiten der befestigten Gingiva an Messpunkt 4 im ersten und zweiten Quadranten des Oberkiefers ergaben eine mittlere Breite von $7,9 \pm 1,3$ mm (Median: 8 mm) und eine mittlere Breite von $7,3 \pm 1,2$ mm (Median: 7 mm) im Seitenzahnbereich des Unterkiefers. Kleinste gemessene Werte waren 6 mm im Oberkiefer bzw. 4 mm im Unterkiefer. Der größte gemessene Wert betrug im Oberkiefer 12 mm und im Unterkiefer 11 mm, wie der Tab.13 zu entnehmen ist.

Daraus ergibt sich ein im eine durchschnittliche Differenz von 1 mm für den hinteren unteren Seitenzahnbereich im Vergleich zum entsprechenden Wert im Oberkiefer. Für diese Differenzen zwischen Ober- und Unterkiefer wurde im Wilcoxon-Test eine statistische Signifikanz berechnet ($p < 0,001$).

Insgesamt fällt auf, dass deutliche Unterschiede in den anatomischen Gegebenheiten von Ober- und Unterkiefer bestehen, was den Verlauf der mukogingivalen Grenzlinie und die Breite der befestigten Gingiva betrifft. Im Unterkiefer fällt sie im Durchschnitt 1 mm geringer aus als im Oberkiefer.

4.5 Schleimhautdicke OK vs. UK

4.5.1 Messpunkt 1

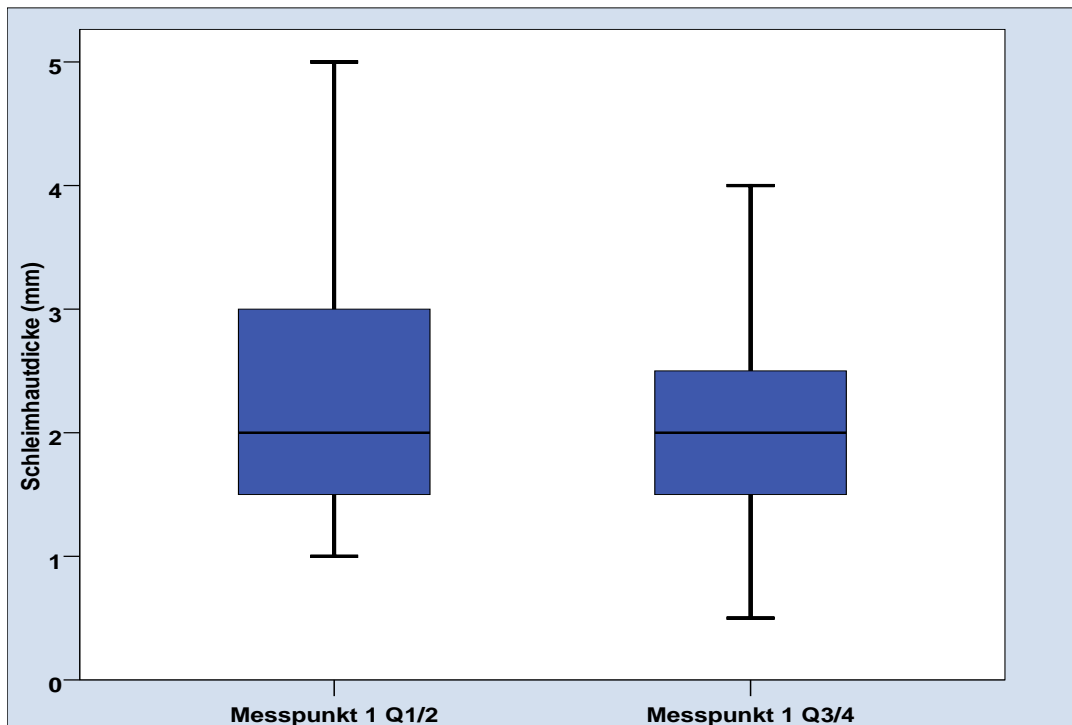


Abb. 23: Messpunkt 1 im OK vs. UK

MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

n=62	MP1 Q1/2	MP1 Q3/4
Schleimhautdicke(mm)		
Mittelwert±SD	2,3±0,9	2,0±0,7
Median	2,0	2,0
Minimum	1,0	0,5
Maximum	5,0	4,0
Perzentile		
25	1,5	1,5
50	2,0	2,0
75	3,0	2,5

Tab.14: Messpunkt 1 im OK vs. UK

MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

Die an Messpunkt 1 in Ober- und Unterkiefer gemessenen Schleimhautdicken sind in Abbildung 23 und Tabelle 14 dargestellt. Im Oberkiefer betragen sie im Mittel $2,3 \pm 0,9$ mm, im Unterkiefer $2,0 \pm 0,7$ mm. Im Unterkiefer waren die Messwerte somit durchschnittlich $0,3$ mm kleiner als im Oberkiefer.

Im Wilcoxon-Test errechnete sich bezüglich dieses Unterschiedes eine Signifikanz von $p=0,007$.

4.5.2 Messpunkt 2

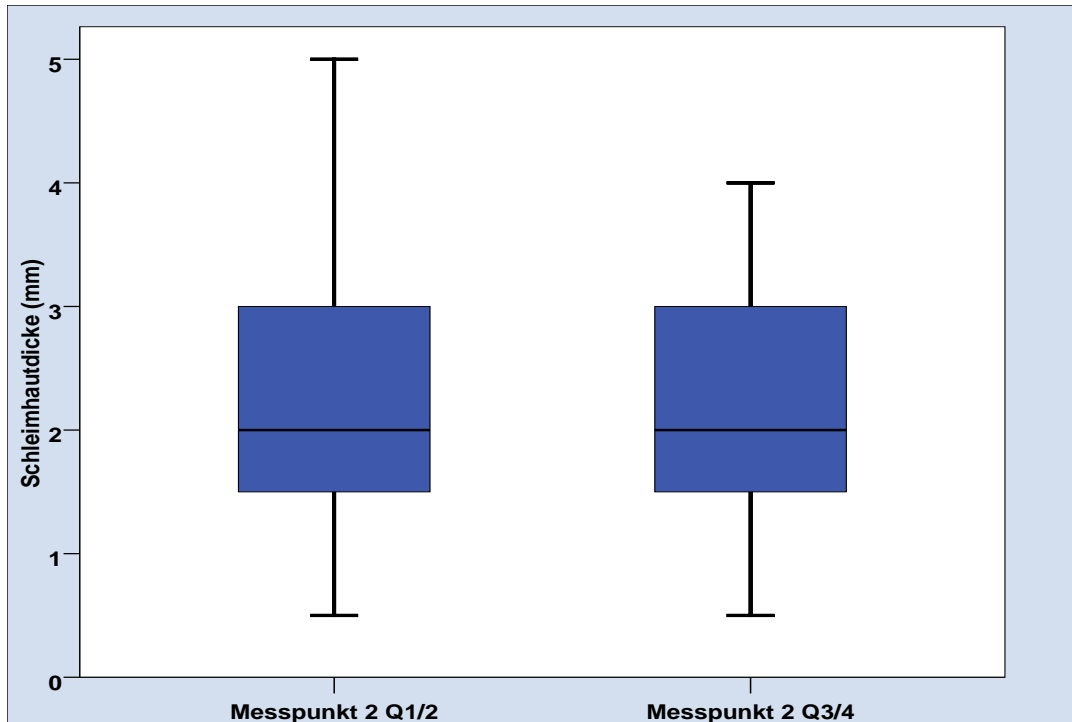


Abb. 24: Messpunkt 2 im OK vs. UK

MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

n=62	MP2 Q1/2	MP2 Q3/4
Schleimhautdicke (mm)		
Mittelwert \pm SD	2,4 \pm 1,0	2,1 \pm 0,8
Median	2,0	2,0
Minimum	0,5	0,5
Maximum	5,0	4,0
Perzentile		
25	1,5	1,5
50	2,0	2,0
75	3,0	3,0

Tab.15: Messpunkt 2 im OK vs. UK (mm)

MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

In Abbildung 24 ist die Schleimhautdicke an Messpunkt 2 im Vergleich OK vs. UK dargestellt. Hierbei wird deutlich, dass im OK diskret dickere Schleimhäute aufgetreten sind ($2,4 \pm 1,0$ vs. $2,1 \pm 0,8$ mm), wobei sich hinsichtlich dieses diskreten Unterschieds keine Signifikanz zeigte (Wilcoxon-Test: $p=0,087$).

4.5.3 Messpunkt 3

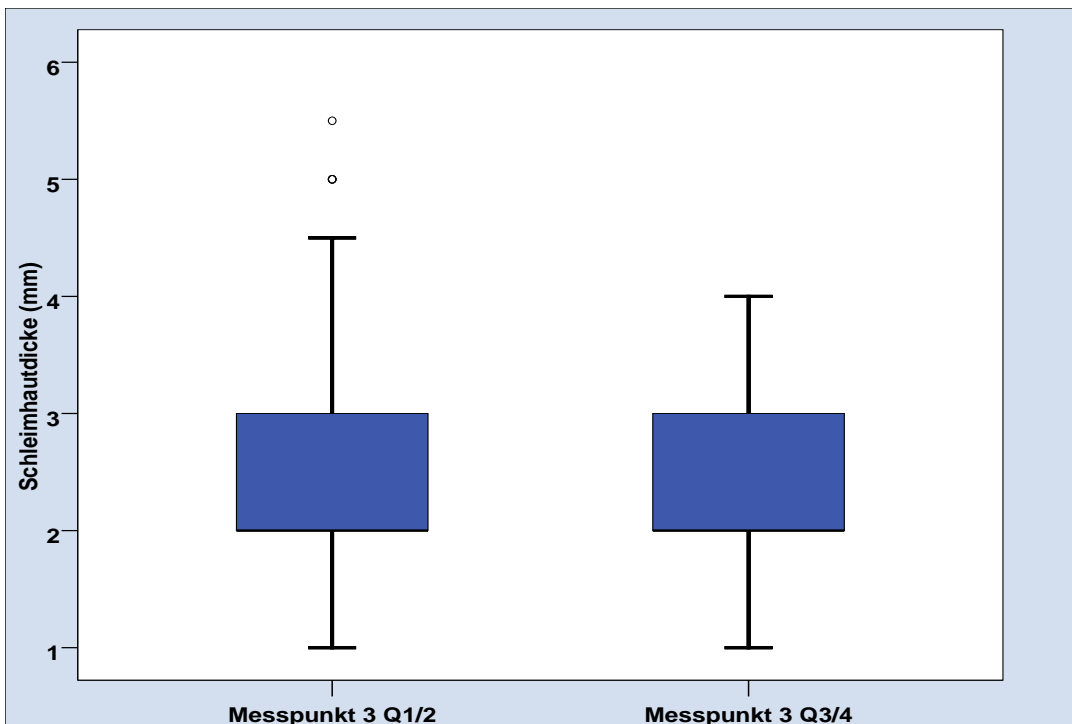


Abb. 25: Messpunkt 3 im OK vs. UK
 MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

n=62		MP3 Q1/2	MP3 Q3/4
Schleimhautdicke (mm)			
Mittelwert \pm SD		$2,5 \pm 1,0$	$2,3 \pm 0,7$
Median		2,0	2,0
Minimum		1,0	1,0
Maximum		5,5	4,0
Perzentile	25	2,0	2,0
	50	2,0	2,0
	75	3,0	3,0

Tab.16: Messpunkt 3 im OK vs. UK (mm)
 MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

Die an Messpunkt 3 gemessenen Schleimhautdicken sind in Abbildung 25 und Tabelle 16 dargestellt. Im Oberkiefer betragen sie im Mittel $2,5 \pm 1,0$ mm und im Unterkiefer $2,3 \pm 0,7$ mm. Die geringste gemessene Schleimhautdicke betrug 1,0 mm. Größter gemessener Wert im Oberkiefer waren 5,5 mm, im Unterkiefer dagegen 4 mm.

Die Unterschiede zwischen Ober- und Unterkiefer waren aus statistischer Sicht nicht signifikant (Wilcoxon-Test $p=0,201$).

4.5.4 Messpunkt 4

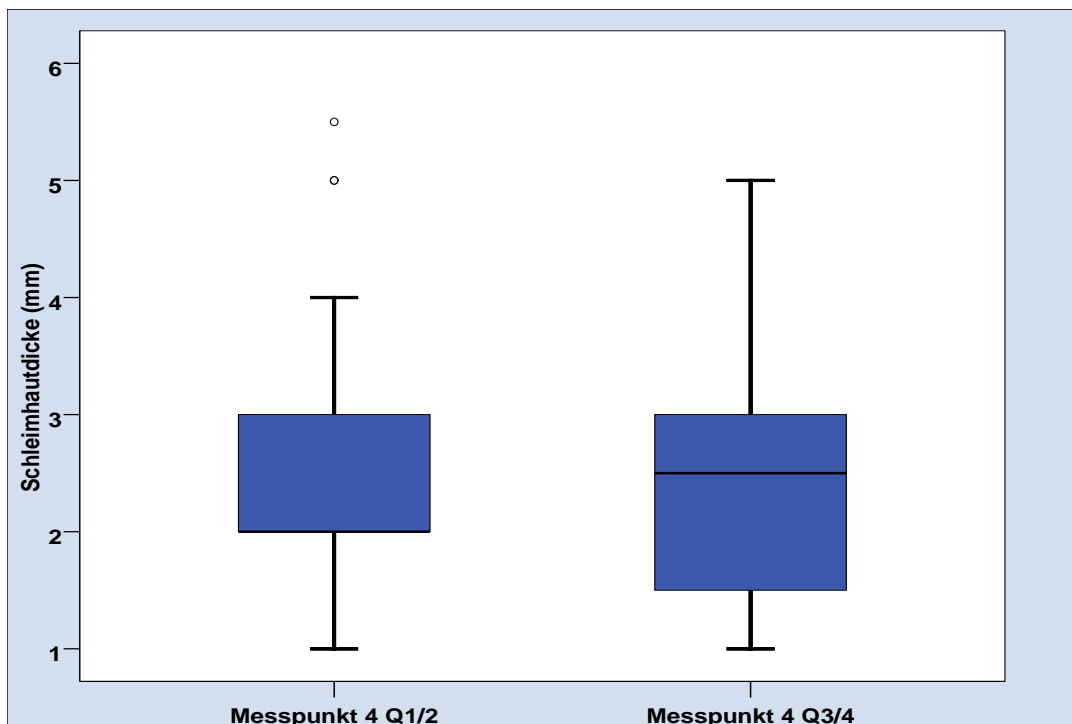


Abb.26: Messpunkt 4 im OK vs. UK

MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

n=58	MP4 Q1/2	MP4 Q3/4
Schleimhautdicke(mm)		
Mittelwert ± SD	2,4 ± 1,1	2,3 ± 0,9
Median	2,0	2,5
Minimum	1,0	1,0
Maximum	5,5	5,0
Perzentile 25	2,0	1,5
50	2,0	2,5
75	3,0	3,0

Tab.17: Messpunkt 4 im OK vs. UK (mm)

MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

Die an Messpunkt 4 gemessenen Schleimhautdicken betragen im Oberkiefer im Mittel $2,4 \pm 1,1$ mm und im Unterkiefer $2,3 \pm 0,9$ mm.

Die Unterschiede der in Ober- und Unterkiefer gemessenen Werte waren hier insgesamt diskret, so dass der Wilcoxon-Test ergab somit keinen signifikanten Unterschied ergab ($p = 0,978$).

Die Dicke der befestigten Gingiva im Ober- und Unterkiefer unterschied sich also - im Gegensatz zur Breite der befestigten Gingiva - kaum.

4.6 Korrelation zwischen den Messpunkten

4.6.1 Mukogingivale Grenzlinie

			MP1	MP2	MP3	MP4
Spearman-Rho	MP1	Korrelationskoeffizient	1,000	,845(**)	,797(**)	,793(**)
		Sig. (2-seitig)	.	,000	,000	,000
		n	168	168	168	168
	MP2	Korrelationskoeffizient	,845(**)	1,000	,875(**)	,814(**)
		Sig. (2-seitig)	,000	.	,000	,000
		n	168	168	168	168
	MP3	Korrelationskoeffizient	,797(**)	,875(**)	1,000	,809(**)
		Sig. (2-seitig)	,000	,000	.	,000
		n	168	168	168	168
	MP4	Korrelationskoeffizient	,793(**)	,814(**)	,809(**)	1,000
		Sig. (2-seitig)	,000	,000	,000	.
		n	168	168	168	168

Tab.18: Korrelationen

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

MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

In Tab.18 sind die Korrelationen nach Spearman-Rho zwischen den 4 Messpunkten aufgetragen. Hierbei wird ersichtlich, dass es zwischen den Messpunkten eine hohe, signifikante Korrelation zwischen $r=0,797$ und $r=0,875$ gab.

Insgesamt sieht man, dass eine hohe Korrelation hinsichtlich der mukogingivalen Grenzlinie zwischen allen 4 Messpunkten bestand und somit alle Messpunkte vergleichbare Aussagen zu den mukogingivalen Grenzlinien erlaubten.

In Abb.23 ist exemplarisch die Korrelation zwischen MP1 und MP 2 aufgetragen:

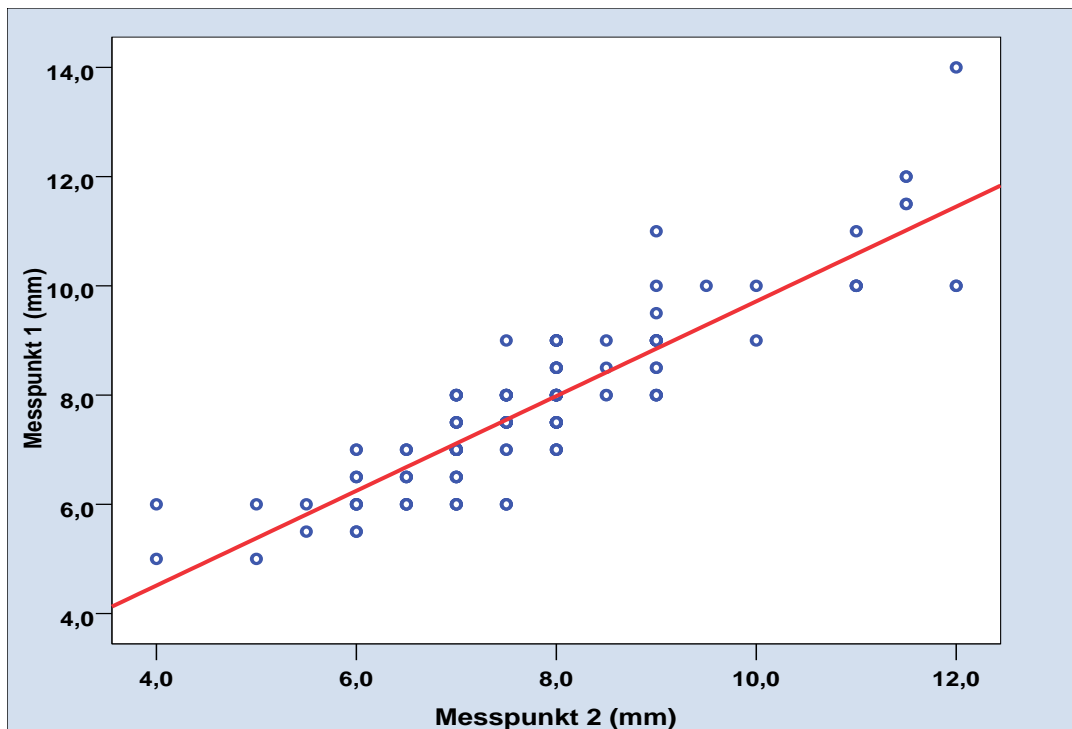


Abb.27: Korrelation zwischen MP1 und MP2
 MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

In Abb. 27 wird ersichtlich, dass sich die Messungen von MP1 und MP2 sehr nahe um die Regressionsgerade gruppierten, was den hohen Korrelationskoeffizienten von $r=0,845$ erklärt.

4.6.2 Schleimhautdicke

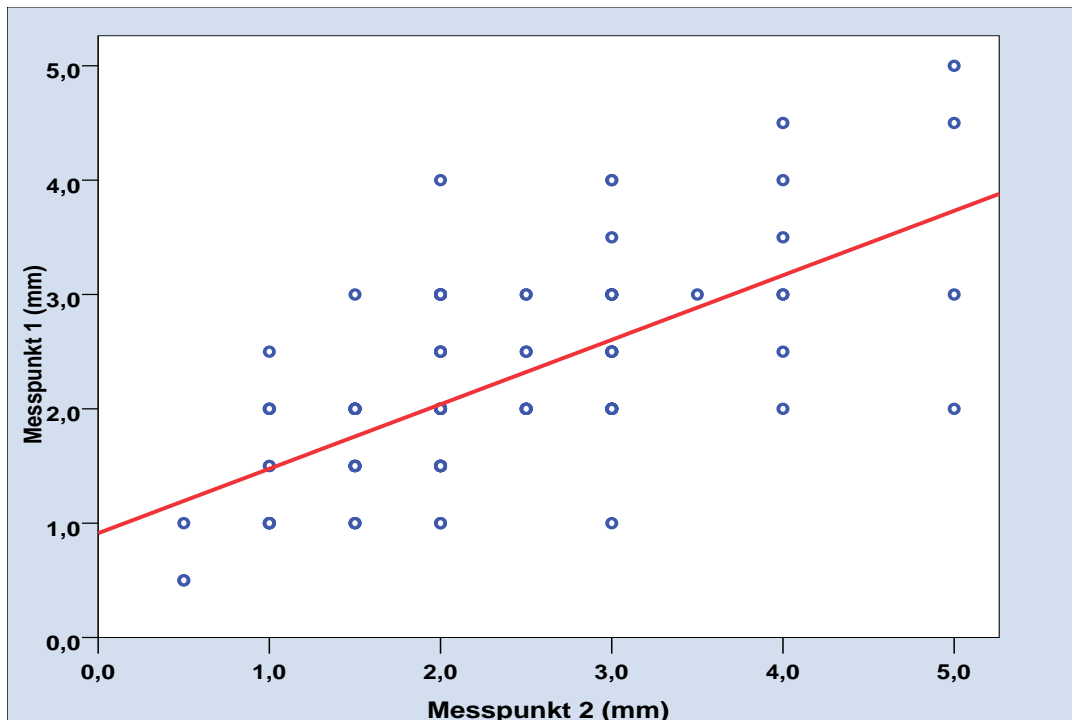


Abb.28: Korrelation zwischen MP1 und MP2

MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

			MP1	MP2	MP3	MP4
Spearman-Rho	MP1	Korrelationskoeffizient	1,000	0,614(**)	0,431(**)	0,227(*)
		Sig. (2-seitig)	.	0,000	0,000	0,014
		n	124	124	124	116
	MP2	Korrelationskoeffizient	0,614(**)	1,000	0,622(**)	0,301(**)
		Sig. (2-seitig)	0,000	.	0,000	0,001
		n	124	124	124	116
	MP3	Korrelationskoeffizient	,431(**)	,622(**)	1,000	,514(**)
		Sig. (2-seitig)	0,000	0,000	.	0,000
		n	124	124	124	116
	MP4	Korrelationskoeffizient	0,227(*)	0,301(**)	0,514(**)	1,000
		Sig. (2-seitig)	0,014	0,001	0,000	.
		n	116	116	116	116

Tab.19: Korrelationen

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

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

MP1: Regio 3/4, MP2: Regio 4/5, MP3: Regio 5/6, MP4: Regio 6/7

Abbildung 28 zeigt die Korrelationen der Messwerte für die Schleimhautdicke zwischen Messpunkt 1 und 2. In Tabelle 19 sind sehr variable Korrelationskoeffizienten ersichtlich, wobei der niedrigste an Messpunkt 4 mit 0,227 errechnet wurde. Hier zeigt sich bei den verschiedenen Messpunkten eine geringere Korrelation als bei der Breite der befestigten Gingiva.

Insgesamt sieht man, dass es bei den Messungen zur Schleimhautdicke wesentlich weitere Streuungen als bei der mukogingivalen Grenzlinie gab, so dass es kaum möglich ist, von einem Wert auf den anderen zu schließen.

5. Diskussion

5.1 Knöcherner Strukturen

Es gibt zahlreiche Studien sowohl zu geeigneten Insertionsorten für Miniimplantate, als auch zu dem dort vorhandenen Knochenangebot ^{5, 9, 10, 12, 25, 39}. Die Knochenmenge in mesiodistaler Richtung ist für die interradiäre Insertion von besonderem Interesse.

Die Knochenqualität wiederum hat einen großen Einfluss auf die Primärstabilität des Miniimplantats ⁶⁶. Bei sehr festem kortikalen Knochen besteht bei einem geringen Schraubendurchmesser Frakturgefahr ⁶⁵. Um Schraubenfrakturen zu vermeiden, sollten Schrauben mit mindestens 1,6 mm Durchmesser verwendet werden ⁵⁵.

Für eine stabile interradiäre Verankerung sind periimplantär mindestens 0,5 mm Knochen nötig, einige Autoren fordern hier sogar mindestens 1 mm ^{42, 47}. Zusammen mit dem für die Eigenstabilität notwendigen Schraubendurchmesser von 1,6 mm ergibt sich daraus ein Mindestabstand von 2,6 mm zwischen den Zahnwurzeln. Ideal wären über 3,1 mm, um die Verletzung angrenzender Zahnwurzeln sicher ausschließen zu können ³⁹.

Ein für eine interradiäre Insertion ausreichendes Knochenangebot findet sich im Oberkiefer zwischen seitlichem Schneidezahn und Eckzahn und zwischen zweitem Prämolare und erstem Molare. Ideal ist es zwischen den beiden mittleren Schneidezähnen, allerdings erst ab 11,5 mm apikal vom Kontaktpunkt. Allerdings erlaubt hier das Frenulum labiale bzw. die mobile Schleimhaut keine interradiäre Insertion. Im Unterkiefer ist das interradiäre Knochenangebot bei allen Seitenzähnen sehr gut, im Frontzahnbereich dagegen ungenügend ³⁹.

Bei der interradiären Insertion kann es zu einer Verletzung einer benachbarten Zahnwurzel kommen. Dabei kann die Stabilität der Schraube beeinträchtigt sein, im ungünstigsten Fall führt das zum Verlust der Schraube ³³. Das Parodontium des betroffenen Zahns trägt meist keinen bleibenden Schaden davon ^{4, 22}.

Inwiefern die anatomischen Gegebenheiten eine unproblematische Insertion zulassen, lässt sich anhand von Planungshilfen (CT, CBCT, OPG, Planungsmodell) sehr gut im Vorfeld ermitteln.

Richtwerte aus zahlreichen Studien bieten darüber hinaus eine gute Orientierung. Das Knochenangebot im Seitenzahnbereich innerhalb des Bereichs der befestigten Gingiva ist für eine interradiäre Insertion nicht immer optimal. Ein sehr gutes interradiäres

Knochenangebot im Oberkieferseitenzahnbereich findet sich zwischen dem zweiten Prämolaren und dem ersten Molaren. Im Unterkiefer sind im Prinzip alle interradikulären ab dem Eckzahn für eine interradikuläre Insertion geeignet ³⁹.

5.2 Weichgewebe

Die für diese Studie verwendete Messmethodik zur Messung der Breite und Dicke der befestigten Gingiva und ihre Durchführung sind neu und wurden bisher in keiner vergleichbaren Publikation in dieser Form angewandt.

Somit ist die Beschreibung der hier durchgeführten Methodik besonders wichtig, wobei auf Reproduzierbarkeit der Ergebnisse und die Möglichkeit einer einfachen praktischen Umsetzbarkeit sehr viel Wert gelegt wurde. In vergleichbaren Studien zur Breite der befestigten Gingiva finden sich zwar ähnliche Ergebnisse, allerdings unterscheidet sich die Messmethodik deutlich von der in der vorliegenden Studie angewandten.

In einigen Publikationen wurden Weichgewebsstrukturen als Bezugspunkte für die Messungen gewählt ⁸. Andere Studien liefern zwar zuverlässige und vergleichbare Ergebnisse, sind aber aufgrund der Messmethodik im Hinblick auf ihre Verwertbarkeit für die Insertion von Miniimplantaten nur bedingt geeignet ³⁴.

In der vorliegenden Studie wurde der approximale Kontaktpunkt (= Kontaktpunkt der Kronen zweier benachbarter Zähne) als Ausgangspunkt sämtlicher Messungen festgelegt. Der Approximalkontakt als Bezugspunkt ist eine klinisch leicht auffindbare, stabile Struktur, die sich im Laufe des Lebens nur sehr geringfügig verändert ³.

Die Messwerte zur Breite der befestigten Gingiva - also dem Abstand zwischen Approximalkontakt und mukogingivaler Grenzlinie - sind im Zusammenhang mit der Studie von Mark Schieren zu sehen ³⁹, in der das interradikuläre Knochenangebot in Ober- und Unterkiefer von insgesamt 39 Patienten mittels digitaler Volumetomographien vermessen wurde. Aus den Ergebnissen beider Studien und der Darstellung der Korrelation zwischen der Breite und Dicke der befestigten Gingiva und dem vorliegenden interradikulären Knochenangebot ergibt sich ein klinischer Nutzen beim Auffinden und Festlegen eines geeigneten Insertionsortes für Miniimplantate.

Die Publikationen zur Dicke der befestigten Gingiva ^{8, 14, 24, 31} sind aufgrund der unterschiedlichen Methodik ebenfalls nur bedingt vergleichbar mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie, wie im Folgenden noch genauer ausgeführt wird.

5.2.1 Breite der befestigten Gingiva

Die mukogingivale Grenzlinie markiert den Übergang von befestigter („attached“) zu beweglicher Gingiva. Bei der Verwendung von Minischrauben zur temporären skelettalen Verankerung ist unbedingt auf eine Positionierung innerhalb der attached Gingiva zu achten ¹¹. Eine Insertion in die bewegliche Schleimhaut jenseits der mukogingivalen Grenzlinie führt häufig zu Weichgewebsirritationen, oft sogar zu einer Überwucherung des Schraubenkopfes. Derartige Komplikationen sind meistens mit Schmerzen für den Patienten verbunden, da sie häufig mit inflammatorischen Veränderungen einhergehen und führen nicht selten zu einem Verankerungsverlust ^{61, 63}.

Cha et al. veröffentlichten 2008 bisher einzige Publikation zur Breite der befestigten Gingiva im Zusammenhang mit kieferorthopädischen Miniimplantaten ⁸. Dazu wurden die kompletten Ober- und Unterkiefer-Zahnbögen von 61 jungen koreanischen Erwachsenen vermessen. Als Messpunkte dienten einerseits die Spitzen der jeweiligen Papillen und andererseits die mukogingivale Grenzlinie.

Die so gewonnenen Messwerte zur Breite der befestigten Gingiva unterscheiden sich dabei nur geringfügig von den hier vorgestellten Ergebnissen. Vergleicht man die Ergebnisse bei Cha et al. in absoluten Zahlen einschließlich der Standardabweichung mit den im Rahmen dieser Studie gemessenen Werten, ist die Übereinstimmung sogar sehr hoch. Die Abweichungen der Durchschnittswerte liegen im Zehntelmillimeterbereich.

Cha et al. haben den Abstand zwischen der Spitze der Papille und der mukogingivalen Grenzlinie zur Feststellung der Breite der befestigten Gingiva gemessen. Die Lage der Spitze der Papille ist nicht identisch mit dem approximalen Kontaktpunkt. Je nach parodontalem Zustand kann sich dieser Unterschied noch vergrößern.

Die Kontur der Weichgewebe kann sich aus unterschiedlichen Gründen schnell ändern. In unserer Studie wurde der Approximalkontakt als Messpunkt festgelegt.

Der proximale Kontaktpunkt erschien dabei geeigneter als fester Bezugspunkt, da er im Grunde genommen keinen kurzfristigen Veränderungen unterliegt und klinisch leicht auffindbar ist ³.

Der anatomische Verlauf der Weich- und auch der Hartgewebe hingegen ist Schwankungen unterworfen; so ändert sich z.B. die Breite der befestigten Gingiva allein schon wachstumsbedingt ⁵⁰. Ein Rückgang des Gingivasaums lässt sich mit zunehmendem Alter beobachten ³⁶, wenn auch häufig assoziiert mit parodontalen Erkrankungen ⁵².

Pathologische Prozesse wie Parodontalerkrankungen können teilweise sogar erheblichen horizontalen und vertikalen Knochenabbau verursachen, was in der Folge auch einen Rückgang der parodontalen Weichgewebe mit sich bringt ^{1, 30}. Einige Parodontitiden führen zu einem rapiden Attachmentverlust in relativ kurzer Zeit ⁴⁵.

Auch kieferorthopädische Behandlungen führen manchmal zu gingivalen Rezessionen ⁵⁶, außerdem können sie durch Plaqueretention und erschwerte Hygienefähigkeit Gingivitis und Gingivahyperplasien begünstigen ³². Allgemein kann eine reduzierte Mundhygiene zu plaquebedingten Gingivitis und Gingivahyperplasien führen, die wiederum auch eine klinisch sichtbare Änderung des Gingivaverlaufs bewirken können ⁵¹. Auch die Einnahme mancher Medikamente führt bei einigen Patienten zu Gingivahyperplasien ^{29, 54}.

Der Gingivasaum und die Spitze der Papille sind also nur von relativer Stabilität und somit aus unserer Sicht als fester Referenzpunkt nur bedingt geeignet.

Ein weiterer Unterschied der beiden Studien besteht darin, dass die in die vorliegende Studie eingeschlossenen Patienten alle der kaukasischen Population zuzuordnen sind. Bei Cha et al. handelt es sich ausschließlich um junge Koreaner.

Es wäre möglich, dass sich auch aus dieser Tatsache einige geringfügige Unterschiede in den Messwerten ergeben.

Es gibt außer dieser Studie nur zwei weitere, in denen Messungen zur Breite der befestigten Gingiva bzw. dem Abstand zwischen Zähnen und mukogingivaler Grenzlinie gemacht wurden ^{8, 34}.

Aus diesem Grund ist eine definitive Aussage zu einem eventuell vorhandenen ethnischen Einfluss auf diese Struktur nicht möglich.

Allerdings gibt es tatsächlich einen solchen ethnischen Unterschied im Abstand zwischen der Schmelz-Zement-Grenze und der krestalen Knochenkante / Limbus

alveolaris⁶⁷. Somit ist davon auszugehen, dass auch andere anatomische Strukturen, v.a. die in unmittelbarer Nachbarschaft zum Limbus alveolaris, in unterschiedlichen Volksstämmen verschieden ausgeprägt sind.

Den Frontzahnbereich, der bei Cha et al. ebenfalls vermessen wurde, wurde in dieser Untersuchung ganz bewusst ausgeklammert. Grund hierfür ist, dass bis auf eine Ausnahme nur der Seitenzahnbereich einen ausreichenden Abstand zwischen den Wurzeln für die Insertion von Miniimplantaten mit 1,6 mm Durchmesser bietet.

In der Subnasalregion, genauer dem Bereich zwischen den Wurzeln der ersten beiden oberen Schneidezähne, finden sich zur Verankerung ausreichende Knochendicken⁴³, außerdem ist der Abstand zwischen den Wurzeln hier groß genug³⁹. Allerdings sind die Möglichkeiten der Insertion von Minischrauben wegen der mobilen Schleimhaut und des Frenulum labiale hier stark limitiert. Eine Minischraube dort zu platzieren, wo sich zwischen den Wurzeln der ersten beiden Schneidezähne ausreichend Knochen befindet, ist ohne Kontakt zum Frenulum praktisch nicht möglich. Bewegungseinschränkungen und entzündliche Veränderungen wären die Folge, letztere führen häufig zu Verankerungsverlust^{40, 46}.

Aus diesen Gründen ist der Frontzahnbereich im Bezug auf die Insertion von Miniimplantaten trotz eines hervorragenden Knochenangebots von geringerem Interesse.

In einer weiteren Studie betrachteten Lang und Loe die Breite der befestigten Gingiva im Zusammenhang mit der gingivalen Gesundheit³⁴.

Dazu haben sie den geringsten Abstand zwischen Gingivasaum und mukogingivaler Grenzlinie in Ober- und Unterkiefer, also den Abstand von der tiefsten Stelle des Gingivasaums zum Übergang von fester zu beweglicher Schleimhaut gemessen.

Diese Studie zeigt große Ähnlichkeiten mit anderen hier erwähnten Messungen.

Goasind et al. maßen die Breite der befestigten Gingiva nach derselben Methodik²⁴. Dabei wurden Werte zwischen 0,5 und 8,0 mm gemessen, im Durchschnitt waren es $3,45 \pm 1,22$ mm. Die Messwerte wurden dabei umso kleiner, je weiter dorsal gemessen wurde.

Im Verlauf des Gingivasaums befindet sich der tiefste Punkt immer über der Prominenz der Wurzel, also an einer für die Insertion von Miniimplantaten ungeeigneten Stelle. Je

nach parodontalem Zustand kann der Gingivasaum auch sehr tief liegen, wie das zum Beispiel bei freiliegenden Zahnhälsen der Fall ist.

Im Zusammenhang mit der Insertion von Miniimplantaten sind diese Messungen daher schwer verwertbar. Von den wenigen Publikationen, die zu diesem Thema erschienen sind, gibt es nur eine Studie ⁸, die Schleimhautdicken im konkreten Zusammenhang mit der Insertion von Minischrauben beschreibt.

Die aus der vorliegenden Studie errechneten Mittelwerte können zusammen mit den Ergebnissen von Cha et al. als Richtwerte zum Auffinden geeigneter Insertionsorte für Miniimplantate herangezogen werden.

Dabei muss aber trotzdem immer der individuelle wellenförmige anatomische Verlauf der mukogingivalen Grenzlinie berücksichtigt werden, der sich auch in den gemessenen Minimal- und Maximalwerten widerspiegelt.

5.2.2 Dicke der befestigten Gingiva

Die Dicke der Schleimhaut am geplanten Insertionsort schon bei der Planung zu kennen, ist ein großer Vorteil bei der Auswahl der geeigneten Schraube ⁴⁰. Mittlerweile hat man die Auswahl zwischen über 30 verschiedenen Systemen. Länge und Gestaltung der Minischraube können so individuell an die anatomischen Gegebenheiten angepasst und optimiert werden.

Die älteste Untersuchung zu diesem Thema stammt von Goasland et al. ²⁴. Dazu wurde die Gingivadicke auf der halben Strecke vom tiefsten Punkt des Sulkus zur mukogingivalen Grenzlinie gemessen.

Die durchschnittliche Dicke der Gingiva betrug dabei im Oberkiefer 1 mm, im Unterkiefer 1,5 mm, wobei dabei jeweils auf den Jugalveolen gemessen wurde.

Daher muss man davon ausgehen, dass die Messwerte durch eine Abflachung der Gingiva auf der Prominenz der Jugalveolen geringer ausfielen, als dies bei Messungen in den jeweiligen Interdentalräumen der Fall gewesen wäre.

Analog zu der in dieser Studie angewandten Methode untersuchten Costa et al. die Dicke der Gingiva bei zwanzig Patienten und bestimmten das Knochenangebot an zehn ausgewählten Insertionsregionen ¹³.

Allerdings sind diese Regionen nur bedingt vergleichbar mit denen in dieser Untersuchung.

Grund hierfür ist, dass der Publikation nicht zu entnehmen ist, an welchen Stellen genau die Dicke der Gingiva gemessen wurde. Aus der Beschreibung der Messmethodik lässt sich aber entnehmen, dass einige Messwerte vermutlich im Bereich der beweglichen Schleimhaut erhoben wurden.

Die Gingivadicke betrug bei Costa im Durchschnitt zwischen 2,1 mm und 3,38 mm, dabei war der kleinste gemessene Wert 1,5 mm, während der Maximalwert bei 3,8 mm lag. Angesichts der wenigen Probanden von zehn in dieser Studie sind die Standardabweichungen überraschend gering, ansonsten sind die Durchschnittswerte mit den von uns gemessenen Werten vergleichbar.

Bei Cha et al. wurde, ähnlich wie in der vorliegenden Studie, die Dicke der befestigten Gingiva bei 61 Patienten in unmittelbarer Nähe der mukogingivalen Grenzlinie gemessen.

Dazu wurde ein Ultraschallgerät benutzt, die Schleimhaut wurden also nicht, wie in dieser Untersuchung, perforiert.

Wenn man die so ermittelten Messwerte mit den vorliegenden Werten vergleicht, fällt auf, dass die gemessenen Werte in der koreanischen Untersuchung durchschnittlich nur 1,2 mm betragen.

Ähnliche Ergebnisse ergaben Messungen an Kadavern aus einer koreanischen Population bei Kim et al. ³¹.

Vergleicht man diese Werte mit den Messwerten der 58 Patienten aus der vorliegenden Studie, so ist die bei den Probanden der hiesigen Gruppe gemessene Gingiva im Durchschnitt ca. doppelt so dick.

Bei Cha et al. sind leider keine Minimal- und Maximalwerte angegeben, so gab es bei den Patienten aus der vorliegenden Studie auch solche mit einer Gingivadicke von 1 mm.

In Anbetracht von nur drei vergleichbaren Publikationen zu diesem Thema mit einer verhältnismäßig geringen Anzahl an Patienten können keine eindeutigen Aussagen darüber gemacht werden, ob die Unterschiede sich aus den unterschiedlichen Messverfahren ergeben oder eventuell ethnische Gründe haben.

In letzter Zeit hat sich der Begriff des „Biotyps“ zur Beschreibung und Kategorisierung der Gingivadicke in der dentalen Literatur etabliert. Der Biotyp entspricht hierbei dem Phänotyp und wird in einen „dünnen“ und einen „dicken“ Biotyp unterschieden.

Eine Zuordnung zur jeweiligen Gruppe findet klinisch mit Hilfe einer Parodontal-Sonde statt. Dazu wird die Sonde am mittleren oberen Schneidezahn in den Sulkus eingeführt. Bleibt die Sonde durch die Schleimhaut sichtbar, handelt es sich um den „dünnen“ Biotyp. Scheint die Sonde nicht durch die Schleimhaut hindurch, liegt ein dicker Biotyp vor²⁸.

Bei Männern liegt zum überwiegenden Teil (84%) ein dicker Biotyp vor, bei Frauen ist dieser Biotyp deutlich weniger häufig (45%)¹⁶.

De Rouck et al. fanden in derselben Untersuchung eine Korrelation zwischen Zahnform und dem Biotyp. Dabei findet sich bei Menschen mit quadratischen Zähnen häufig dickeres Gewebe, bei schmalen Zähnen liegt dagegen meist ein dünner Biotyp vor.

Allerdings galt das nur für 2/3 der 100 untersuchten Probanden; bei den übrigen fanden sich schmale Zähne in Kombination mit einer vergleichsweise kräftigen Gingiva. Die alleinige visuelle Zuordnung zu einem jeweiligen Biotyp ohne eine vorherige Sondierung ist also eher unzuverlässig und ungenau^{17, 28}.

Für die Planung der temporären skelettalen Verankerung im Zusammenhang mit einer kieferorthopädischen Behandlung ist eine möglichst genaue Kenntnis der anatomischen Gegebenheiten am Insertionsort von Vorteil. Planungshilfen wie Röntgenbilder und Modelle sind dazu ebenso hilfreich wie anatomische Richtwerte.

So können Fehler bei der Planung und der Behandlung vermieden und Risiken besser eingeschätzt werden²³. Außerdem wird die Auswahl der geeigneten Schraube im Vorfeld erleichtert.

Unterdessen gibt es einige Studien sowohl zu geeigneten Insertionsorten als auch zu dem dort vorhandenen Knochenangebot^{5, 9, 10, 12, 25, 39}.

Zwar sind chirurgische Komplikationen im Zusammenhang mit Minischrauben eher selten⁶², ein paar Dinge müssen jedoch bei Planung und Insertion unbedingt beachtet werden. Es besteht die Gefahr der Verletzung einer benachbarten Zahnwurzel. Zwar tritt in den meisten Fällen nach der Entfernung eine spontane Reparatur des Parodonts ein^{4, 22}, die Stabilität der Schrauben bei Insertion in den Parodontalspalt kann aber beeinträchtigt werden. Das kann im ungünstigsten Fall zum Schraubenverlust führen³³.

Die Primärstabilität des Miniimplantats von der Knochenqualität am Insertionsort ab⁶⁶. Bei sehr festem kortikalen Knochen besteht Frakturgefahr, die sich durch eine Vorbohrung aber minimieren lässt⁶⁵. Um Schraubenfrakturen bei der Insertion oder Belastung zu vermeiden, sollten Schrauben mit einem Mindestdurchmesser von 1,6 mm

verwendet werden.⁵⁵ Periimplantär sind mindestens 0,5 mm Knochen nötig, um eine stabile Verankerung zu gewährleisten - einige Autoren fordern sogar mindestens 1 mm^{42, 47}. Mit einem für die Eigenstabilität der Schraube notwendigen Schraubendurchmesser von 1,6 mm ergibt sich so ein mesiodistaler Platzbedarf von 2,6 mm zwischen den Wurzeln. Um die Verletzung angrenzender Zahnwurzeln sicher ausschließen zu können, wäre ein Platzangebot von über 3,1 mm ideal³⁹. So wäre außerdem eine ausreichende periimplantäre Knochenmenge gewährleistet.

Ob die anatomischen Gegebenheiten eine unproblematische Insertion zulassen, lässt sich Anhand von Planungshilfen (CT, CBCT, OPG, Planungsmodell) lässt sich sehr gut im Vorfeld ermitteln.

Keine der üblichen Planungshilfen gibt aber Auskunft über die Dicke der Schleimhaut. Die Kenntnis der Schleimhautdicke ist aus mehreren Gründen von Bedeutung; unter anderem hilft sie bei der Auswahl der geeigneten Länge des Miniimplantats. Grundsätzlich sollte die Minischraube mindestens 6 mm lang sein^{14, 47}, um eine ausreichende mechanische Retention im Knochen zu gewährleisten. Bei sehr dicker Schleimhaut besteht die Gefahr, dass die Hebelwirkung durch den nicht im Knochen fixierten Anteil der Schraube, also Schraubenhals und Schraubenkopf, zu groß wird⁷. Damit wäre die Stabilität des Miniimplantats, spätestens unter Belastung, gefährdet.

Wenn man von der gesamten Ausdehnung des Alveolarfortsatzes in orovestibulärer Richtung die Dicke der vestibulären und der oralen Schleimhaut abzieht, erhält man relativ genaue Informationen über die Stärke des Knochens. Die meisten Miniimplantate werden monokortikal inseriert, was bedeutet, dass sie nur in einer Seite des Knochens verankert werden.

Bei der Planung einer monokortikalen Insertion subtrahiert man einen Millimeter Sicherheitsabstand von der Gesamtknochenstärke und erhält so die maximale Länge des Miniimplantats.

Für eine bikortikale Insertion im Unterkiefer ist die Dicke der Schleimhaut von geringerer Bedeutung: Die Länge der Schraube ergibt sich aus der Gesamtausdehnung des Kiefers plus des gewünschten Schraubenüberstands auf der lingualen Seite.

Ist die Gingiva weniger als zwei Millimeter dick, hätte das Auswirkungen auf die Insertionstiefe bei Miniimplantaten mit Tiefenstopp. Einige Minischrauben haben am

Übergang vom Gewinde zum Schraubenhals eine Stufe (s. Abb. 29) Dieser stufenförmige Übergang war ursprünglich als Tiefenstopp gedacht: Bei der Insertion sollte der Behandler spüren, wenn der Absatz auf die Knochenoberfläche auftrifft und somit der komplette Gewindeanteil im Kochen versenkt ist.



Abb.29: Beispiele für Tiefenstopps bei Miniimplantaten

Es hat sich allerdings gezeigt, dass dies noch nicht einmal bei der manuellen Insertion zu spüren ist, obwohl die hinsichtlich der Taktilität der maschinellen deutlich überlegen ist.

Das bedeutet, das Aufsetzen des Tiefenstopps wird vom Behandler in diesem Moment nicht wahrgenommen. Wird aber trotzdem weiter gedreht, dringt unter Umständen der Tiefenstopp, je nach Beschaffenheit des Knochens, sogar noch etwas in diesen ein. Das Drehmoment steigt dann leicht an und die Schraube wird, sobald der Tiefenstopp nicht mehr weiter in den Knochen eindringen kann, durchdrehen und dabei mit dem Gewinde den spongiösen Knochen zerstören ⁴⁰.

Ist die Gingiva dicker als zwei Millimeter, stellt sich dieses Problem nicht. Der Halsteil ist bei Miniimplantaten mit Tiefenstopp maximal zwei Millimeter hoch. Da der Kopf für die Kopplung mit einem Zahn oder einer kieferorthopädischen Apparatur aus der Gingiva herausragen muss, darf man das Miniimplantat nur soweit einschrauben, bis das Ende des Halsbereichs auf Höhe der Gingivaoberfläche liegt. In diesem Fall berührt der Tiefenstopp die Knochenoberfläche nicht.

Die hier und in den hier zitierten Studien ermittelten Durchschnittswerte bieten zur Abschätzung der Schleimhautdicke eine gute Orientierung.

Von folgenden Richtwerten bei der Dicke der Gingiva sollte man bei der Planung eines vestibulär gelegenen interradikulären Insertionsortes ausgehen: Durchschnittlich 2,0 mm Schleimhautdicke im Unterkiefer, im Oberkiefer sind es durchschnittlich 2,5 mm. Bei einem vorliegenden sogenannten „dünnen“ Biotyp sollte man eher von geringeren Werten ausgehen.

Es gibt bisher keine Studie, die den Zusammenhang zwischen dem Biotyp und der Dicke der befestigten Gingiva an der mukogingivalen Grenzlinie untersucht hat. Daher ist es auch nicht möglich, in diesem Zusammenhang konkrete Zahlen zu nennen.

Interradikulär sind für ein Miniimplantat von 1,6 mm Durchmesser mehr als 3,1 mm Abstand nötig. Der Abstand zwischen den Wurzeln vergrößert sich normalerweise Richtung apikal.

Sichtbare Strukturen wie die mukogingivale Grenzlinie und der proximale Kontaktpunkt helfen bei der Orientierung und Eingrenzung eines geeigneten Insertionsortes.

Der Approximalkontakt als fester Bezugspunkt ist sowohl klinisch als auch röntgenologisch gut zu erkennen und kann eine Kongruenz zwischen den Planungsunterlagen herstellen

Die Kenntnis über die Dicke der Schleimhaut ist auch insofern hilfreich, als man durch den Verzicht auf die Messung der Schleimhautdicke Zeit sparen kann.

Allerdings ist diese Zeitersparnis gering und man erhält durch Verzicht auf die Messung auch keinen Eindruck von der vorliegenden Knochenqualität. Bei Patienten mit einem dünnen Gingivatyp sollte man nicht auf eine eigene Messung verzichten, um eventuelle Probleme wie z.B. die oben genannten beim Eindrehen von Miniimplantaten mit Tiefenstopp zu vermeiden.

5.2.3 Bedeutung der Gingivabreite- und Dicke in der Kieferorthopädie

Die bukkalen interdentalen Septen von Ober- und Unterkiefer sind vom knöchernen Angebot prinzipiell alle für die Insertion von kieferorthopädischen Miniimplantaten geeignet, wenn auch einige Regionen günstigere Voraussetzungen für eine erfolgreiche Insertion mit sich bringen als andere^{6,9}. Im Oberkiefer ist das interradikulär zwischen den beiden mittleren Schneidezähnen, zwischen seitlichem Schneidezahn und

Eckzahn, und zwischen zweitem Prämolare und erstem Molare. Im Unterkiefer sind die radikulären Septen ab dem Eckzahn Richtung distal alle sehr gut geeignet.

Die Auswahl der passenden Schraube hängt vom Behandlungskonzept, den Platzverhältnissen am Insertionsort und der erwarteten mechanischen Beanspruchung während Insertion und Belastung im Rahmen der kieferorthopädischen Behandlung ab. Außerdem ist die Dicke der Schleimhaut bei der Auswahl zu berücksichtigen. Eine sehr dicke Schleimhaut im Insertionsgebiet würde ein ausreichend tiefes Eindringen der Schraube in den Knochen verhindern, damit wäre der Hebelarm relativ zu groß. Das könnte unter Belastung Verankerungsverlust bedeuten⁶. Entsprechend muss in so einem Fall eine längere Schraube gewählt werden.

Die Kenntnis der Gingivadicke am geplanten Insertionsort erleichtert die Auswahl der passenden Schraube. Unter Berücksichtigung der in dieser Studie gemessenen Werte lässt sich sagen, dass sich die Schleimhautdicke in den interdentalen Septen von Ober- und Unterkiefer mit 2,0 bis 2,5 mm als relativ konstant herausgestellt hat. Individuelle Schwankungen, die sich in den gemessenen Minimal- und Maximalwerten widerspiegeln, sollten berücksichtigt werden.

Im Bezug auf die Breite der befestigten Gingiva wurde ermittelt, dass sie im Unterkiefer mit 7,3 bis 7,4 mm durchschnittlich 1 mm geringer ausfällt als im Oberkiefer mit 7,7 bis 8,3 mm. Nach distal wird die befestigte Gingiva schmaler.

Es hat sich herausgestellt, dass das interradikuläre Knochenangebot im Seitenzahnbereich innerhalb der Breite der befestigten Gingiva nicht immer optimal ist. Bereiche, in denen ein ausreichendes Knochenangebot im Bereich der befestigten Gingiva vorliegt, sind die Interdentalräume zwischen den Prämolaren, zwischen den zweiten Prämolaren und den ersten Molaren, und außerdem zwischen dem ersten und zweiten Molaren im Unterkiefer³⁹. Ludwig et al. empfehlen daher, bei Nachweis des optimalen Knochenlagers außerhalb befestigten Gingiva, die Minischrauben in einem schrägen Winkel zu setzen (s. Abb. 30).

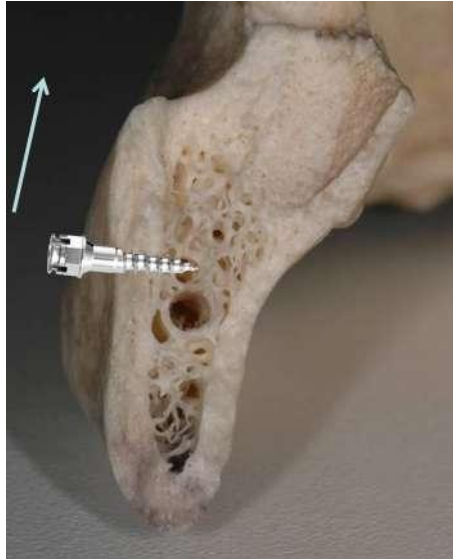


Abb. 30: Änderung des Insertionswinkels

Damit ist gewährleistet, dass der Gewindeanteil der Minischraube einen ausreichenden Halt im Knochen findet, ohne dabei eine angrenzende Wurzel zu verletzen ³⁸. Außerdem kommt auf diese Art der Schraubenkopf im Bereich der attached Gingiva zu liegen. So können Schleimhautreizungen und –entzündungen vermieden werden. Die Möglichkeit der Insertion im schrägen Winkel funktioniert allerdings nur, wenn die mukogingivale Grenzlinie nicht allzu weit vom optimalen Knochenlager entfernt ist.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung sollen die Behandlungsplanung und das Auffinden eines geeigneten Insertionsortes für ein kieferorthopädisches Miniimplantat sowie die Auswahl der passenden Schraube erleichtern.

6. Literaturverzeichnis

1. Albandar JM, Buischi YA, Barbosa MF (1991) Destructive forms of periodontal disease in adolescents. A 3-year longitudinal study. *J Periodontol* 62:370-6
2. Antoszewska J, Papadopoulou MA, Park HS, Ludwig B (2009) Five-year experience with orthodontic miniscrew implants: a retrospective investigation of factors influencing success rates. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 136:158 e1-10; discussion -9
3. Ash MM, ed. *Wheeler's Dental Anatomy, Physiology and Occlusion*. 7 ed. Philadelphia: Saunders; 1993.
4. Asscherickx K, Vannet BV, Wehrbein H, Sabzevar MM (2005) Root repair after injury from mini-screw. *Clinical oral implants research* 16:575-8
5. Berens A, Wiechmann D, Dempf R (2006) Mini- and Micro-screws for Temporary Skeletal Anchorage in Orthodontic Therapy. *J Orofac Orthop* 67:450-8
6. Berens A, Wiechmann D, Rüdiger J (2005) Erfolgsraten von Mini- und Mikroschrauben zur skelettalen Verankerung in der Kieferorthopädie. *IOK* 37:283 - 7
7. Buchter A, Wiechmann D, Koerdt S, Wiesmann HP, Piffko J, Meyer U (2005) Load-related implant reaction of mini-implants used for orthodontic anchorage. *Clinical oral implants research* 16:473-9
8. Cha BK, Lee YH, Lee NK, Choi DS, Baek SH (2008) Soft tissue thickness for placement of an orthodontic miniscrew using an ultrasonic device. *Angle Orthod* 78:403-8
9. Chaimanee P, Suzuki B, Suzuki EY (2011) "Safe zones" for miniscrew implant placement in different dentoskeletal patterns. *The Angle orthodontist* 81:397-403
10. Chen YJ, Chang HH, Huang CY, Hung HC, Lai EH, Yao CC (2007) A retrospective analysis of the failure rate of three different orthodontic skeletal anchorage systems. *Clinical oral implants research* 18:768-75
11. Cheng SJ, Tseng IY, Lee JJ, Kok SH (2004) A prospective study of the risk factors associated with failure of mini-implants used for orthodontic anchorage. *Int J Oral Maxillofac Implants* 19:100-6
12. Cope JB, Graham JW. Treatment Planning for Temporary Anchorage Device Applications. In: Cope JB, ed. *Ortho TADs The Clinical Guide and Atlas*. 1st edition ed. Dallas: Under Dog Media LP; 2007:67-88.
13. Costa A. Intraoral Hard and Soft Tissue Dimensions for Temporary Anchorage Device Placement. In: Cope JB, ed. *Ortho TADs The Clinical Guide and Atlas*. 1st edition ed. Dallas: Under Dog Media LP; 2007:109-17.
14. Costa A, Pasta G, Bergamaschi G (2005) Intraoral hard and soft tissue depths for temporary anchorage devices. *Semin Orthod* 11:10-5
15. Creekmore TD, Eklund MK (1983) The possibility of skeletal anchorage. *J Clin Orthod* 17:266-9
16. De Rouck T, Eghbali R, Collys K, De Bruyn H, Cosyn J (2009) The gingival biotype revisited: transparency of the periodontal probe through the gingival margin as a method to discriminate thin from thick gingiva. *J Clin Periodontol* 36:428-33
17. Eghbali A, De Rouck T, De Bruyn H, Cosyn J (2009) The gingival biotype assessed by experienced and inexperienced clinicians. *J Clin Periodontol* 36:958-63
18. Favero L, Brollo P, Bressan E (2002) Orthodontic anchorage with specific fixtures: related study analysis. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics* : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics 122:84-94
19. Freudenthaler JW, Haas R, Bantleon HP (2001) Bicortical titanium screws for critical orthodontic anchorage in the mandible: a preliminary report on clinical applications. *Clinical oral implants research* 12:358-63

20. Gainsforth BL, Higley LB (1945) A study of orthodontic anchorage possibility in basal bone. *Am J Orthod Oral Surg* 31:406-17
21. Gänger P, Hoffmann, T., Willershausen, B., ed. *Konsevierende Zahnheilkunde und Parodontologie*. 2. Auflage ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2005.
22. Glasl B, Ludwig B, Kinzinger G, Zipprich H, Lisson J (2010) Aktuelle Übersicht zum Risikopotenzial von Wurzelverletzungen bei interrädikulärer Insertion orthodontischer Miniimplantate/Minischrauben. *Experimentelle Ergebnisse und Literaturrecherche. Kieferorthop* 24:7-15
23. Glasl B, Ludwig B, Lietz T, Bowman JS, Baumgaertel S. Risks and Prevention Strategies. In: Ludwig B, Baumgaertel S, Bowman JS, eds. *Mini-Implants in Orthodontics. Innovative Anchorage Concepts*. 1st ed. London: Quintessence Publishing Co Ltd; 2008:123-38.
24. Goaslind GD, Robertson PB, Mahan CJ, Morrison WW, Olson JV (1977) Thickness of facial gingiva. *J Periodontol* 48:768-71
25. Hernandez LC, 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
26. Heymann GC, Tulloch JF (2006) Implantable devices as orthodontic anchorage: a review of current treatment modalities. *J Esthet Restor Dent* 18:68-79; discussion 80
27. Hung E, Oliver D, Kim KB, Kyung HM, Buschang PH (2010) Effects of Pilot Hole Size and Bone Density on Miniscrew Implants' Stability. *Clin Implant Dent Relat Res*
28. Kan JY, Morimoto T, Rungcharassaeng K, Roe P, Smith DH (2010) Gingival biotype assessment in the esthetic zone: visual versus direct measurement. *Int J Periodontics Restorative Dent* 30:237-43
29. Kaur G, Verhamme KM, Dieleman JP, Vanrolleghem A, van Soest EM, Stricker BH, Sturkenboom MC (2010) Association between calcium channel blockers and gingival hyperplasia. *J Clin Periodontol* 37:625-30
30. Kehl M, Swierkot K, Mengel R (2011) Three-dimensional measurement of bone loss at implants in patients with periodontal disease. *J Periodontol* 82:689-99
31. Kim HJ, Yun HS, Park HD, Kim DH, Park YC (2006) Soft-tissue and cortical-bone thickness at orthodontic implant sites. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 130:177-82
32. Klukowska M, Bader A, Erbe C, Bellamy P, White DJ, Anastasia MK, Wehrbein H (2011) Plaque levels of patients with fixed orthodontic appliances measured by digital plaque image analysis. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics* 139:e463-70
33. Kuroda S, Yamada K, Deguchi T, Hashimoto T, Kyung HM, Takano-Yamamoto T (2007) Root proximity is a major factor for screw failure in orthodontic anchorage. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics* 131:S68-73
34. Lang NP, Loe H (1972) The relationship between the width of keratinized gingiva and gingival health. *J Periodontol* 43:623-7
35. Lee SJ, Ahn SJ, Lee JW, Kim SH, Kim TW (2010) Survival analysis of orthodontic mini-implants. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics* 137:194-9
36. Levy SM, Warren JJ, Chowdhury J, DeBus B, Watkins CA, Cowen HJ, Kirchner HL, Hand JS (2003) The prevalence of periodontal disease measures in elderly adults, aged 79 and older. *Spec Care Dentist* 23:50-7

37. Lim HJ, Choi YJ, Evans CA, Hwang HS (2011) Predictors of initial stability of orthodontic miniscrew implants. *Eur J Orthod*
38. Ludwig B. *Mini-Implantate in der Kieferorthopädie. Innovative Verankerungskonzepte*. Berlin: Quintessenz; 2007.
39. Ludwig B, Glasl B, Kinzinger GS, Lietz T, Lisson JA (2011) Anatomical Guidelines for Miniscrew Insertion: Vestibular Interradicular Sites. *J Clin Orthod* 45:165-73
40. Ludwig B, Özkan V, Glasl B, Lietz T (2006) Aspekte zum Risikopotenzial kortikaler kieferorthopädischer Verankerungselemente. *Kieferorthop* 20:209-21
41. Luzi C, Verna C, Melsen B (2009) Guidelines for success in placement of orthodontic mini-implants. *J Clin Orthod* 43:39-44
42. Maino BG, Maino G, Mura P (2005) Spider Screw: skeletal anchorage system. *Prog Orthod* 6:70-81
43. Melsen B (2005) Mini-implants: Where are we? *Journal of clinical orthodontics : JCO* 39:539-47; quiz 1-2
44. Moon CH, Lee DG, Lee HS, Im JS, Baek SH (2008) Factors associated with the success rate of orthodontic miniscrews placed in the upper and lower posterior buccal region. *Angle Orthod* 78:101-6
45. Novak MJ (1999) Necrotizing ulcerative periodontitis. *Ann Periodontol* 4:74-8
46. Park HS, Jeong SH, Kwon OW (2006) Factors affecting the clinical success of screw implants used as orthodontic anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 130:18-25
47. Poggio PM, Incorvati C, Velo S, Carano A (2006) "Safe zones": a guide for miniscrew positioning in the maxillary and mandibular arch. *Angle Orthod* 76:191-7
48. Roberts WE, Nelson CL, Goodacre CJ (1994) Rigid implant anchorage to close a mandibular first molar extraction site. *Journal of clinical orthodontics : JCO* 28:693-704
49. Roberts WE, Smith RK, Zilberman Y, Mozsary PG, Smith RS (1984) Osseous adaptation to continuous loading of rigid endosseous implants. *Am J Orthod* 86:95-111
50. Saario M, Ainamo A, Mattila K, Ainamo J (1994) The width of radiologically-defined attached gingiva over permanent teeth in children. *J Clin Periodontol* 21:666-9
51. Savage NW, Daly CG (2010) Gingival enlargements and localized gingival overgrowths. *Aust Dent J* 55 Suppl 1:55-60
52. Schatzle M, Loe H, Burgin W, Anerud A, Boysen H, Lang NP (2003) Clinical course of chronic periodontitis. I. Role of gingivitis. *J Clin Periodontol* 30:887-901
53. Sherman AJ (1978) Bone reaction to orthodontic forces on vitreous carbon dental implants. *American journal of orthodontics* 74:79-87
54. Silverstein LH, Koch JP, Lefkove MD, Garnick JJ, Singh B, Steflik DE (1995) Nifedipine-induced gingival enlargement around dental implants: a clinical report. *J Oral Implantol* 21:116-20
55. Sung JH, Kyung HM, Bae SM, Park HS, Kwon OW, McNamara J. *Microimplants in Orthodontics*. 2nd Edition ed. Daegu: Dentos; 2006.
56. Tanaka OM, Avila AL, Silva GM, Anez MC, Taffarel IP (2010) The effects of orthodontic movement on a subepithelial connective tissue graft in the treatment of gingival recession. *J Contemp Dent Pract* 11:E073-9
57. The World Medical Association I (2008) Declaration of Helsinki. Note of Clarification on Paragraph 30 added by the WMA General Assembly, Tokyo 2004
58. Tsaousidis G, Bauss O (2008) Einfluss der Insertionsstelle auf die Misserfolgsraten kieferorthopädischer Verankerungsschrauben. *J Orofac Orthop* 69:349-56
59. Turley PK, Kean C, Schur J, Stefanac J, Gray J, Hennes J, Poon LC (1988) Orthodontic force application to titanium endosseous implants. *The Angle orthodontist* 58:151-62
60. Turley PK, Shapiro PA, Moffett BC (1980) The loading of bioglass-coated aluminium oxide implants to produce sutural expansion of the maxillary complex in the pigtail monkey (*Macaca nemestrina*). *Arch Oral Biol* 25:459-69

61. Ure DS, Oliver DR, Kim KB, Melo AC, Buschang PH (2011) Stability changes of miniscrew implants over time. *The Angle orthodontist*
62. Wehrbein H (2008) [O 25] Skeletal anchorage in orthodontics. *Clin Oral Implants Res* 19:842
63. Wehrbein H, Gollner P (2007) Skeletal Anchorage in Orthodontics - Basics and Clinical Application. *J Orofac Orthop* 68:443-61
64. Wehrbein H, Merz BR, Diedrich P, Glatzmaier J (1996) The use of palatal implants for orthodontic anchorage. Design and clinical application of the orthosystem. *Clinical oral implants research* 7:410-6
65. Wilmes B, Panayotidis A, Drescher D (2011) Fracture resistance of orthodontic mini-implants: a biomechanical in vitro study. *Eur J Orthod*
66. Wilmes B, Rademacher C, Olthoff G, Drescher D (2006) Parameters affecting primary stability of orthodontic mini-implants. *J Orofac Orthop* 67:162-74
67. Wong BK, Leichter JW, Chandler NP, Cullinan MP, Holborow DW (2007) Radiographic study of ethnic variation in alveolar bone height among New Zealand dental students. *J Periodontol* 78:1070-4

Die Ergebnisse dieser Studie wurden im Rahmen eines Artikels veröffentlicht:

Ludwig, Björn / Hakenholz, Stefanie / Glasl, Bettina / Lisson, Jörg / Kinzinger, Gero / Lietz, Thomas (2012)

Anatomische Studie zur interradikulären Insertion von Miniimplantaten – die befestigte Gingiva
Kieferorthopädie 26 (2012), Nr.2

8. Danksagung

Ich möchte mich ganz herzlich bei Herrn Professor Lisson bedanken, der mir diese Doktorarbeit ermöglicht hat.

Außerdem gilt mein besonderer Dank Herrn Dr. Ludwig für die motivierende und engagierte Betreuung dieser Arbeit.

Frau Dr. Kottmann möchte ich danken für ihre hervorragende statistische Aufbereitung und kompetente Beratung.

Darüber hinaus möchte ich mich bei Bettina Alfaro für die Hilfe bei der Übersetzung bedanken.

Vielen Dank auch an meine Familie für die freundlichen und aufmunternden Worte.

Meinem Mann danke ich für seine Unterstützung und dafür, dass er mir während der ganzen Zeit den Rücken freigehalten hat.