

**Beurteilung der Position von Minischrauben per Orthopantomogramm  
im Vergleich zur digitalen Volumentomographie**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Hohen Medizinischen Fakultät  
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität  
Bonn

Ruth Bennemann  
aus Witten

2011

Angefertigt mit Genehmigung der  
Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: Prof. Dr. Christoph Bourauel
2. Gutachter: Prof. Dr. Andreas Jäger

Tag der Mündlichen Prüfung: 14.11.2011

Aus der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik, Propädeutik und Werkstoffwissenschaften  
Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn  
Direktor: Prof. Dr. med. dent. Helmut Stark  
-Stiftungsprofessur für Oralmedizinische Technologie-  
Prof. Dr. rer. nat. Christoph Bourauel

Meinen Eltern



## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	7
1.1	Einleitung zum Thema .....	7
1.2	Die Minischraube .....	8
1.2.1	Historie der Implantate in der Kieferorthopädie .....	8
1.2.2	Charakteristika der Minischraube .....	9
1.2.3	Indikation .....	10
1.2.4	Insertion von Minischrauben.....	10
1.2.5	Kritische Faktoren .....	11
1.3	Bildgebende Verfahren .....	12
1.3.1	Orthopantomogramm .....	12
1.3.2	Digitale Volumetomographie.....	14
1.3.3	Reliabilität und Validität eines diagnostischen Verfahrens .....	15
1.3.3.1	Validität .....	15
1.3.3.2	Reliabilität .....	15
2	Fragestellung und Ziel der Untersuchung.....	16
3	Material und Methode .....	17
3.1	Schädel .....	17
3.2	Minischrauben.....	17
3.3	Röntgen der Schädel.....	18
3.3.1	Orthopantomogramm .....	19
3.3.2	Digitale Volumetomographie.....	19
3.4	Bewertungsbogen .....	19
3.4.1	Erstellen des Bewertungsbogens.....	19
3.4.2	Auswahl der Probanden .....	22
3.5	Datenverarbeitung und statistische Auswertung.....	22
3.5.1	Auswertung der Bewertungsbögen .....	23
3.5.2	Auswertung der digitalen Volumetomogramme .....	23
3.5.3	Statistische Auswertung .....	24
4	Ergebnisse .....	25
4.1	Position der Minischraube in Bezug zur Zahnwurzel .....	25

4.1.1	Einschätzungen des Abstandes: Minischraube und Zahnwurzel .....	35
4.2	Position der Minischraube in Bezug zur gegenüberliegenden Kortikalis .....	35
4.2.1	Einschätzungen zur Perforation der gegenüberliegenden Kortikalis .....	41
4.3	Position der Minischraube in Bezug zum Sinus maxillaris bzw. Nervus alveolaris inferior .....	42
4.3.1	Einschätzungen des Abstandes: Minischraube und Sinus maxillaris bzw. Nervus alveolaris inferior .....	54
5	Diskussion .....	55
5.1	Vergleichbarkeit des Orthopantomogramms vom mazerierten Schädel und vom Menschen .....	55
5.2	Probanden .....	55
5.3	Bewertungsbogen und Ergebnisse .....	56
5.3.1	Die Frage nach dem Abstand zwischen Schraube und Zahnwurzel .....	56
5.3.2	Die Frage nach der Perforation der gegenüberliegenden Kortikalis .....	58
5.3.3	Die Frage nach dem Abstand der Schraube zum Sinus maxillaris bzw. Nervus alveolaris inferior .....	59
5.3.4	Einflussfaktoren auf Ergebnisse .....	62
5.4	Orthopantomogramm versus digitaler Volumentomographie .....	63
5.5	Klinische Schlussfolgerungen .....	65
6	Zusammenfassung .....	66
7	Anhang .....	67
7.1	Bewertungsbogen .....	67
7.2	Statistische Tabellen .....	70
8	Literaturverzeichnis .....	75
9	Danksagung .....	80
10	Lebenslauf .....	81

# 1 Einleitung

## 1.1 Einleitung zum Thema

Die kieferorthopädische Behandlung von Dysgnathien mit Hilfe von Minischrauben, oder umgangssprachlich auch als Miniimplantat bezeichnet, hat in den vergangenen Jahren an Bedeutung gewonnen. Die Verankerung kieferorthopädischer Apparaturen mit Hilfe von orthodontischen Implantaten ermöglicht es heute, Zähne ohne reziproke Nebenwirkungen zu bewegen, was mit konventionellen kieferorthopädischen Behandlungen nicht möglich ist.

Um die Anwendung von Minischrauben im klinischen Alltag zu optimieren und Misserfolge zu minimieren, hat sich die Wissenschaft in den letzten Jahren mit Themen rund um die Minischraube beschäftigt. Dabei gelten als kritische Faktoren für den Erfolg einer Minischraubenimplantation neben der Größe des Implantates und der Art der Belastung insbesondere auch die Positionierung der Minischraube (Chen et al., 2009). In zahlreichen Studien wurde das interradikuläre Knochenangebot untersucht, welches für eine erfolgreiche Implantation zur Verfügung stehen sollte. Wissenschaftler untersuchten außerdem unterschiedlich große Insertionswinkel, mit der die Schraube inseriert werden sollte, um einen größtmöglichen Knochenkontakt zu erzielen (Deguchi et al., 2006; Fayed et al., 2010; Ishii et al., 2004; Lim et al., 2008; Martinelli et al., 2010; Schnelle et al., 2004). Es gibt aber bisher keine Studie, die untersucht hat, wie viel Knochen mindestens zwischen Wurzel und Schraube vorhanden sein sollte. Nach *Kuroda et al.* (2007) weisen aber Minischrauben, welche nahe der Wurzel platziert sind, häufiger Misserfolge auf als solche, die eine -im Röntgenbild sichtbare- Distanz bewahren.

Das seit Jahrzehnten in der Zahnmedizin verwendete Orthopantomogramm (OPT) findet seine Anwendung sowohl in der präoperativen Diagnostik und Planung als auch zur postoperativen Kontrolle. Die Aussagekraft des OPTs wird jedoch dadurch limitiert, dass ein dreidimensionales Gebilde zweidimensional abgebildet wird. Hinzu kommt, dass die charakteristische Vergrößerung und Verzerrung einer Panoramaschichtaufnahme zu einem Mangel an Schärfe führt, der die Aussagekraft des OPTs zusätzlich begrenzt (Reddy et al., 1994).

Seit neuerer Zeit findet die digitale Volumentomographie (DVT) als dreidimensionale Darstellung auch in der Kieferorthopädie ihre Anwendung. Die DVT-Technologie ermöglicht es, die Position von interradikulär-inserierten Minischrauben bezüglich ihres Knochenkontaktes, ihrer

Knochenpenetration und ihrer iatrogenen Folgen zu beurteilen. Dies ist durch eine zweidimensionale konventionelle Röntgenaufnahme nicht oder nur eingeschränkt möglich (Kim et al., 2010). Zusätzlich bedeutet die digitale Volumentomographie aber ebenfalls eine deutlich höhere Strahlenbelastung für den Patienten (Schnelle, 2001). Darüber hinaus hat sich die dreidimensionale Darstellungsmöglichkeit durch die hohen Anschaffungskosten der entsprechenden Geräte noch nicht als Routinetechnologie durchsetzen können.

OPT und DVT weisen hinsichtlich ihres Darstellungspotentials sowie ihrer Strahlenbelastung verschiedene Vor- und Nachteile auf. Daher soll im Rahmen dieser Studie die Genauigkeit dieser radiologischen Verfahren (OPT versus DVT) mit Hilfe von Schädelaufnahmen und anhand einer Umfrage geprüft werden.

## **1.2 Die Minischraube**

### **1.2.1 Historie der Implantate in der Kieferorthopädie**

Schon im 19. Jahrhundert hatte man die Idee, kieferorthopädische Apparaturen nicht dental zu befestigen, sondern stattdessen skelettale Verankerungsmöglichkeiten zu nutzen (Ludwig und Lietz, 2007). Im Jahr 1945 versuchten *Gainsforth* und *Higley* in einer tierexperimentellen Studie erstmals, Schrauben in den Kieferknochen von Hunden zu inserieren und als skelettale Verankerungsmöglichkeit zu nutzen. Alle inserierten Schrauben fielen allerdings innerhalb von 16 bis 31 Tagen aus. Weitere experimentelle Versuche von Wissenschaftlern waren zunächst wenig erfolgversprechend. Ab 1980 wurde das Thema von *Creekmore* und *Eklund* (1983) erneut aufgegriffen. Sie inserierten eine Minischraube aus Vitallium unterhalb der Spina nasalis, um eine Intrusion der oberen Frontzähne zu erzielen. *Brånemark et al.* (1977) prägten zu dieser Zeit den Begriff der Osseointegration. *Brånemark* versteht darunter eine unmittelbare Verbindung zwischen lebendem Knochengewebe und der Oberfläche eines Implantats. *Roberts et al.* untersuchten in Anlehnung daran 1984 den Knochen-Implantat-Kontakt enossaler Titanimplantate unter orthodontischer Krafteinwirkung. Sie zeigten, dass die Implantate auch bei längerer Kraftapplikation als orthodontische Verankerungselemente dienen können. Diese umfangreichen klinischen und tierexperimentellen Studien legten den Grundstein für den heutigen erfolgreichen Einsatz kortikaler Stabilisierungsmethoden.



1996 wurde von *Wehrbein et al.* erstmals ein speziell für die Kieferorthopädie konzipiertes orthodontisches Verankerungssystem (Orthosystem, Institut Straumann) vorgestellt. Diese kieferorthopädischen Implantate werden hauptsächlich im Gaumen eingesetzt. 1997 berichtete *Kanomi* von einem erfolgreichen Fall bei Verwendung einer Minischraube (Durchmesser 1,2 mm, Länge 6 mm), bei dem die unteren Schneidezähne 6 mm intrudiert wurden, ohne dass es zu Wurzelresorptionen oder Parodontopathien kam. *Kanomi* (1997) und *Costa et al.* (1998) implantierten in ihren Studien Mikro- und Minischrauben zunächst in den basalen Knochen unterhalb der Zahnwurzeln, um Wurzelverletzungen vorzubeugen. Aufgrund dieser hohen Position der Minischraube wurde die applizierte Kraft jedoch limitiert. *Park* (1999) und *Park et al.* (2001) implantierten später Mikroschrauben zwischen die Wurzeln, um die horizontale Komponente der angreifenden Kraft zu vergrößern (Poggio et al., 2006). Minischrauben, die oft auch als Miniimplantate bezeichnet werden, werden auch heute häufig zwischen den Wurzeln oder im Gaumen platziert.

### **1.2.2 Charakteristika der Minischraube**

Prinzipiell bestehen Minischrauben aus drei Anteilen: dem Implantatkopf, dem Implantathals (transgingivaler Bereich) und dem Gewinde. Es gibt jedoch viele verschiedene Designs von unterschiedlichen Herstellern, die sich hinsichtlich ihrer Form, ihrer Länge, ihres Durchmessers oder ihres Gewindes unterscheiden. Bezüglich des Materials haben sich – wie auch bei dentalen Implantaten - Titan oder Titanlegierungen bewährt.

Das limitierte interradikuläre Platzangebot bei bezahnten Patienten stellt besondere Anforderungen an die Eigenschaften einer Minischraube. Nur durch ein zierliches Design der Schraube können Wurzelverletzungen vermieden werden. Andererseits muss aber gewährleistet sein, dass die Schraube genügend Stabilität aufweist, um orthodontischen Kräften standhalten zu können. Eine Schraube weist umso mehr Stabilität auf, je größer der Durchmesser der Minischraube ist. Es konnte aber kein Zusammenhang zwischen der Stabilität und der Länge der Minischraube festgestellt werden (Miyawaki et al., 2003). Als idealer Durchmesser gilt ein Durchmesser von 1,2 bis 1,5 mm und eine Länge von 6-8 mm (Poggio et al., 2006). Des Weiteren unterscheiden sich Minischrauben darin, ob sie selbstschneidende oder selbstbohrende Gewinde haben. Die selbstschneidende Schraube wird nach Durchführung einer Vorbohrung (Pilotbohrung) inseriert. Bei

einer selbstbohrenden Schraube ist keine Vorbohrung notwendig. Nach *Böhm und Fuhrmann* (2006) kann diese Insertionstechnik allerdings zu Rissen im periimplantären Knochen führen. Heute gibt es auf dem Markt über 40 Anbieter von Minischrauben. Die Anzahl der Schrauben pro System variiert von zwei bis zu 154 verschiedenen Typen (Ludwig et al., 2008).

### 1.2.3 Indikation

Die Indikationsbereiche für die Anwendung von Minischrauben haben sich in den letzten Jahren erweitert. Nach *Fritz et al.* (2003) und *Huang et al.* (2005) gelten als Indikationsgebiete:

- Unzureichende desmodontale Verankerungsqualität durch reduzierte Zahnzahl oder fortgeschrittenen Attachmentverlust der Ankerzähne,
- Nichtakzeptanz extraoraler Verankerungshilfen, z.B. Ablehnung eines Headgears oder einer Delairmaske,
- Übertragung orthopädischer Kräfte bei kraniofazialen Dysgnathien,
- In- oder Extrusion der Zähne,
- Lückenschluss,
- Reposition von Zahnfehlstellungen,
- Verstärkung einer Verankerung,
- partielle Zahnlosigkeit sowie
- Korrektur einer unerwünschten Okklusion.

Die Implantatverankerung bietet außerdem eine bessere Ästhetik, meist wird die Behandlungszeit verkürzt und Nebenwirkungen konventioneller intra- und extraoraler Verankerungshilfen können vermieden werden (Fritz et al., 2003).

### 1.2.4 Insertion von Minischrauben

Vor der Insertion einer Minischraube werden radiologische, bildgebende Verfahren angewandt, um die Insertion bestmöglich den individuellen anatomischen Gegebenheiten anpassen zu können. Der Insertionsort wird ausgewählt nach der Quantität und Qualität des Knochens sowie nach

dem Behandlungsziel der sich anschließenden kieferorthopädischen Therapie. Aus diesem Grund gibt es zahlreiche Publikationen, die verschiedene Insertionsorte und/oder –winkel bezüglich ihres Knochenangebots untersuchten (Deguchi et al., 2006; Fayed et al., 2010; Ishii et al., 2004; Lim et al., 2008; Martinelli et al., 2010; Poggio et al. 2006; Schnelle et al., 2004). Nach *Ishii et al.* (2004) ist die sicherste Position für eine Miniimplantation im interalveolären Bereich, im Oberkiefer ca. 6-8 mm vom Rand des Alveolarkamms aus nach apikal im Septum interalveolare. *Lim et al.* (2008) empfahlen eine Insertion von 4 bis 6 mm vom Rand des Alveolarkamms mit einem Insertionswinkel von 30° oder 45°, um einen breiten Kontakt zum kortikalen Knochen zu erzielen. *Poggio et al.* (2006) berichteten, dass die sicherste Position im Oberkiefer zwischen dem ersten Molaren und dem zweiten Prämolaren 2-8 mm vom Rand des Alveolarkamms ist. Nach lokaler Anästhesie und ggf. einer Vorbohrung kann die Minischraube eingedreht werden. Es besteht die Möglichkeit der manuellen Insertion mit einem Schraubendreher oder der maschinellen Insertion mit speziellen Winkelstücken mit Drehzahl- und Drehmomentbegrenzung.

### 1.2.5 Kritische Faktoren

Für eine erfolgreiche Insertion einer Minischraube sollten einige Aspekte Berücksichtigung finden. Studien existieren, die über mögliche Einflussfaktoren auf eine erfolgreiche Miniimplantation berichten (Kim et al., 2010; Ono et al., 2008; Wawrzinek et al., 2008). Dennoch herrscht keine Übereinkunft, in welchem Maß die Faktoren Einfluss auf eine erfolgreiche Miniimplantation haben (Fayed et al., 2010). Nach *Chen et al.* (2009) lassen sich die Faktoren, die für eine erfolgreiche Implantation Bedeutung besitzen, wie folgt einteilen:

- Faktoren, die sich auf die Position beziehen,
- Faktoren, die sich auf die Belastung des Implantates beziehen und
- Faktoren, die sich auf die Größe des Implantates beziehen.

Wird eine Minischraube interradikulär positioniert, ist das Knochenangebot durch den Abstand der Wurzeln begrenzt. Als günstige Position für eine Miniimplantation gilt eine Position mesial oder distal des ersten Molaren. Das interradikuläre Knochenangebot ist in diesem Bereich meist größer (Deguchi et al., 2006; Hu et al., 2009). Dennoch bleibt die Gefahr einer Wurzelf perforation

nicht aus. Nach *Kuroda et al.* (2007) ist die Nähe der Schraube zur Wurzel ein Hauptrisikofaktor für den Verlust einer Minischraube. Von besonderer Wichtigkeit scheint auch die Dicke der Kortikalis für die Stabilität der Schraube zu sein (Miyawaki et al., 2003). Des Weiteren müssen Belastungsparameter berücksichtigt werden. Eine Überlastung der Schraube sollte vermieden werden. Die meisten Minischrauben halten einer 1-2 N frühen oder sofortigen horizontalen Belastung stand (Chen et al., 2009). Bei der Auswahl des Durchmessers sind das Knochenangebot und die mechanischen Eigenschaften der Schraube zu berücksichtigen. Ist der Durchmesser zu klein, kann es zur Fraktur der Schraube kommen (Miyawaki et al., 2003).

In dieser Arbeit geht es insbesondere darum, mit bildgebenden Verfahren die Position der Minischraube nach Insertion als eine der kritischen Faktoren richtig einschätzen zu können.

### **1.3 Bildgebende Verfahren**

Zur Diagnostik und Therapie in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde sind bildgebende Verfahren essentiell. Zu den in der Zahnmedizin am häufigsten angewandten Verfahren gehört die Panoramaschichtaufnahme. Neben dieser Aufnahme spielen Zahnfilme, Computertomogramme und digitale Volumentomogramme eine wichtige Rolle. Die Panoramaschichtaufnahme im Vergleich zur digitalen Volumentomographie soll im Rahmen dieser Studie genauer betrachtet werden.

#### **1.3.1 Orthopantomogramm**

Das Orthopantomogramm, kurz OPT, ermöglicht die gleichzeitige Darstellung des gesamten Ober- und Unterkieferbereiches, d.h. die Zähne, der umgebende Knochen, die Kieferhöhlen sowie beide Kiefergelenke werden auf einem Film abgebildet. Die Orthopantomographie ist ein röntgenologisches Schichtverfahren (Panoramaschichtaufnahme), d.h. während der Aufnahme bewegen sich Strahler und Film um die darzustellende Ebene, wobei die außerhalb dieser Schicht liegenden Strukturen verwischt werden. Charakteristisch für das Verfahren sind die Primär- und die Sekundärschlitze. Die fokusnahe Primärlinse engt die Nutzstrahlung zu einem schmalen Strahlenbündel ein. Die Sekundärlinse fängt die Streustrahlung in Richtung Film ab. Das Prinzip des Schichtverfahrens besteht darin, dass sich Röntgenstrahler und Film (bzw. Sensor) gekoppelt, aber in gegenläufiger Richtung um die darzustellende Ebene (Schichtebene) bewegen.

In dieser Ebene unterscheiden sich die Winkelgeschwindigkeiten von Strahlenquelle und Bildträger am geringsten, d.h. für diese Schicht liegt ein Minimum an Bewegungsunschärfe vor: Sie wird scharf abgebildet. Die Schichtdicke wird durch den Schichtwinkel (gebildet durch Anfangs- und Endposition der Röntgenröhre) bestimmt. Bei den meisten Geräten beträgt die Schichtdicke in der Frontzahnregion 5–10 mm und in der Seitenzahnregion 15–20 mm. Deshalb kann selbst ein eugnather Zahnbogen nicht immer in allen Bereichen scharf abgebildet werden. Der Verwischungseffekt wird durch die Ablauform von Strahler und Filmkassette (linear oder flächenförmig) bestimmt. Mehrdimensionale Bewegungen ermöglichen einen sehr guten Verwischungseffekt, während die Zeichenschärfe dagegen nicht so günstig ist. Heute gibt es Panoramageräte, die der gekrümmten elliptischen Form des Kiefers gerecht werden. Durch einen Mikroprozessor gesteuert wird die Röntgenröhre harmonisch fortlaufend parabelartig um die Drehzentren geführt. Die Panoramaschichtaufnahme (PSA) bildet aufgrund eines großen Film-Objekt-Abstandes die Strukturen vergrößert ab. Der Vergrößerungsfaktor einer PSA liegt zwischen 1,2 und 1,5 und ist in den einzelnen Kieferabschnitten nicht einheitlich (Rother, 2006; Rücker und Spitzer, 2008). Um eine optimale Aufnahme zu erhalten, ist bei der Positionierung des Patienten darauf zu achten, dass die Frankfurter Horizontale und die Medianebene am Patienten entsprechend ausgerichtet werden. Nach Einstellung der Belichtungsparameter wird der Patient gebeten, die Zunge an den Gaumen zu legen um Luftüberlagerungen zu vermeiden. Danach erfolgt unverzüglich die Exposition (Rother, 2006).

Die PSA dient als Befundgrundlage für zahlreiche diagnostische Fragestellungen und liefert dem Zahnarzt einen guten Überblick über das gesamte Kausystem. Die Strahlenexposition bei einer PSA ist geringer als beispielsweise beim CT oder DVT (Schnelle, 2001). Sie hilft außerdem bei der Entscheidung über die Durchführung ergänzender Zahnfilmaufnahmen. Allerdings hat die Panoramaschichtaufnahme auch einige entscheidende Nachteile. Die PSA kann nicht die reelle Lagebeziehung der anatomischen Strukturen wiedergeben. Ein dreidimensionales Gebilde wird lediglich zweidimensional dargestellt. So wird eine gekrümmte Schicht in einer Ebene abgebildet, so dass in der Mitte des Bildes eine frontale und auf den Seiten eine laterale Ansicht des Kiefer-Gesichts-Schädels erscheint. Zudem ist der Knochen in vestibulo-lingualer und vestibulo-palatinaler Richtung nicht beurteilbar. Ein grundsätzliches Problem sind auch die in vertikaler und horizontaler Richtung unterschiedlichen Vergrößerungsfaktoren in Abhängigkeit von den Regionen. In der präimplantologischen Diagnostik finden häufig Metallkugeln Anwendung. Diese werden dann beispielsweise als horizontal verbreiterte Ellipsen abgebildet (Gómez Román et

al., 2003). Hinzu kommt, dass die PSA ein aufnahmetechnisch bedingtes geringes Auflösungsvermögen aufweist (Rother, 2006; Rucker und Spitzer, 2008).

Die genannten Nachteile erschweren die präzise Beurteilung von Strukturen. Insbesondere die Beurteilung der Position von Minischrauben mittels eines OPTs ist daher nur eingeschränkt möglich.

### **1.3.2 Digitale Volumentomographie**

Mit der Entwicklung der digitalen Volumentomographie (DVT) 1977 erfuhr die bildgebende Diagnostik in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde eine wesentliche Erweiterung ihrer diagnostischen Möglichkeiten (Scherer et al., 2007). Mit der DVT wird ein dreidimensionales Abbild der zu untersuchenden Strukturen erstellt. So ist es möglich, eine Schnittbilddiagnostik in allen Ebenen durchzuführen und zusätzlich eine frei drehbare dreidimensionale Darstellung des Schädels zu rekonstruieren. Im Gegensatz zur Computertomographie (CT), deren Strahlenbündel eng kollimiert ist, arbeitet die DVT mit einem kegelförmigen Strahlenbündel (Cone-beam-Prinzip). Mit diesem kegelförmigen Strahlenbündel werden bei einer 360°-Rotation des Strahlers um den Patientenkopf Durchleuchtungsaufnahmen aufgenommen. Aus diesem Volumendatensatz erfolgt die Rekonstruktion eines primären Schnittbildes. Aus dieser primären Rekonstruktion können dann alle weiteren sekundären Rekonstruktionen in allen Ebenen und in 3D-Darstellung erfolgen. Die Aussagekraft einer DVT entspricht gegenwärtig nur der einer Computertomographie im Hochkontrastbereich (d.h. im Knochen), dafür geht die DVT aber auch mit einer wesentlich geringeren Strahlenbelastung als das CT einher. Im Vergleich zur PSA entspricht die DVT etwa der effektiven Dosis von 4-20 Panoramaschichtaufnahmen (Rother, 2006; Rucker und Spitzer, 2008). Ein weiterer Vorteil der Anwendung des DVTs im zahnärztlichen Bereich ist, dass im Rahmen von Sekundärrekonstruktionen eine Reihe von wichtigen Zusatzfunktionen ausgeführt werden können. Hierbei handelt es sich beispielsweise um Bildoptimierung, Längen- und Winkelmessungen, farbliche Markierung von anatomischen Strukturen oder Vermessen von Distanzen im Raum (Scherer et al., 2007).

### **1.3.3 Reliabilität und Validität eines diagnostischen Verfahrens**

#### **1.3.3.1 Validität**

Unter Validität versteht man die Eignung eines Verfahrens zur Untersuchung eines bestimmten Sachverhaltes. Ein Test wird dann als valide oder „gültig“ bezeichnet, wenn er genau das misst, was er zu messen vorgibt (Flechter et al., 1999).

#### **1.3.3.2 Reliabilität**

Die Reliabilität beschreibt, bis zu welchem Maß wiederholte Messungen (hier: Beurteilungen anhand eines Bewertungsbogens) eines stabilen Zustandes (hier: OPT-Aufnahmen), die durch unterschiedliche Untersucher oder mit unterschiedlichen Instrumenten zu verschiedenen Zeiten und an verschiedenen Orten vorgenommen werden, zu gleichen Ergebnissen führen. Synonyme für die Reliabilität sind Zuverlässigkeit, Reproduzierbarkeit oder Präzision des Verfahrens (Flechter et al., 1999).

## **2 Fragestellung und Ziel der Untersuchung**

Minischrauben können als skelettale Verankerung zur Behandlung von Dysgnathien verwendet werden. Zu deren Planung und zur postoperativen Diagnostik kommen verschiedene Röntgenverfahren zum Einsatz. In der vorliegenden Studie wurde das OPT auf seine Genauigkeit analysiert. Es wurde untersucht, inwieweit das OPT eine Einschätzung bezüglich der Position einer Minischraube zulässt. Diese Einschätzung erfolgte durch Probanden, die anhand eines Bewertungsbogens die Position der Schraube bezüglich des Abstandes zur Wurzel, zum Sinus maxillaris bzw. Nervus alveolaris inferior und zur gegenüberliegenden Kortikalis beurteilen sollten. Die Probanden stammten aus verschiedenen Bereichen der Zahnmedizin: Kieferorthopäden, Oral- oder Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgen und Zahnmedizinstudenten. Zentrale Fragestellung war, ob die Probanden anhand derselben röntgenologischen Aufnahmen (OPTs) zu den gleichen Beurteilungen der Schraubenposition gelangen und inwieweit diese Einschätzungen von am DVT durchgeführten Messungen abweichen. Das OPT als Standardverfahren in der zahnmedizinischen Diagnostik sollte auf diese Weise hinsichtlich seiner diagnostischen Möglichkeiten mit dem DVT verglichen werden.



### 3 Material und Methode

Um die Röntgenaufnahmen vergleichen zu können, wurden in dieser Studie von jedem Gebiss sowohl ein OPT als auch ein DVT angefertigt. Die OPTs wurden Probanden vorgelegt, die anhand eines Bewertungsbogens die Position der Minischraube einschätzen sollten. Um den Vergleich zum DVT ziehen zu können, wurden die DVTs ausgemessen und die Ergebnisse mit den Bewertungsbögen verglichen.

#### 3.1 Schädel

Aus strahlenhygienischen Gründen fanden in dieser Studie humane, mazerierte Schädel Verwendung, die durch die Anatomie Köln zur Verfügung gestellt wurden. Die Schädel waren Bestand der Anatomischen Sammlung und wurden nicht für diese Studie extra angefertigt. Für die Auswahl der Schädel war wichtig, dass sie möglichst gut erhalten und im Prämolaren- und Molarenbereich bezahnt waren, um in diesem Bereich Minischrauben zu inserieren. Neun Schädel erfüllten diese Kriterien.

#### 3.2 Minischrauben

Als Minischrauben wurden tomas<sup>®</sup>-Pins “temporary orthodontic micro anchorage system” von der Firma Dentaaurum verwendet. Mit einem Durchmesser von 1,2 mm und einer Länge von 8 mm entsprechen die Maße des tomas<sup>®</sup>-Pins denen in der Praxis gängigen Dimensionen (siehe Kapitel 1.2.2 Charakteristika des Miniimplantates).



Abbildung 1: tomas<sup>®</sup>-Pin mit einer Länge von 8 mm und einem Durchmesser von 1,2 mm, welcher in dieser Studie verwendet wurde (DENTAURUM, 2011).

In jeden Quadranten der neun Schädel wurde ein tomas<sup>®</sup>-Pin entsprechend den Herstellerangaben maschinell inseriert, d.h. insgesamt wurden 36 tomas<sup>®</sup>-Pins inseriert. Bei der Insertion wurde in beliebiger Reihenfolge versucht, die tomas<sup>®</sup>-Pins in verschiedene Positionen zu bringen. Das heißt, einige Pins sollten optimal, einige sehr nahe der Wurzel sitzen oder sie berühren, und wieder andere sollten die Wurzel perforieren. Bestenfalls sollten die Pins also so inseriert sein, dass alle im Bewertungsbogen beschriebenen Möglichkeiten (Positionen 1-4) abgedeckt sind (siehe Kapitel 3.4 Bewertungsbogen), um alle Positionen in die Beurteilung der Probanden mit einzubeziehen.

### 3.3 Röntgen der Schädel

Für die optimale Positionierung der Schädel sowohl im OPT als auch im DVT wurde eine Halterung verwendet. Dabei handelte es sich um ein Fotostativ, an welchem eine kippbare, plane Holzplatte befestigt war, so dass nach Positionierung der Schädel mit Styroporplatten die Schädel mit Hilfe des Lichtvisiers genau mittig und parallel zur Frankfurter Horizontalen ausgerichtet werden konnten.



Abbildung 2: Platzierung des Schädels im Orthopantomogramm. Die Halterung wurde verwendet um eine optimale Platzierung sowie ein Verrutschen des Schädels während der Aufnahme zu vermeiden.

### **3.3.1 Orthopantomogramm**

Zur Erstellung der Orthopantomogramme kam das Gerät Orthophos XG Plus der Firma Sirona zum Einsatz. Aufgrund der fehlenden Weichteilbedeckung der Schädel wurde die Röhrenspannung auf 62 kV, die Röhrenstromstärke auf 8 mA und die Belichtungszeit auf 13,2 Sekunden eingestellt. Der Vergrößerungsfaktor betrug 1,7. Die neun OPTs wurden mit einem kalibrierten HP Tetenal Drucker gedruckt.

### **3.3.2 Digitale Volumentomographie**

Die digitalen Volumentomogramme wurden mit dem Galileos Comfort (VO1 HC) Gerät der Firma Sirona erstellt. Die Röhrenspannung betrug 85 kV, die Röhrenstromstärke 14 mA und die Belichtungszeit 14 Sekunden.

## **3.4 Bewertungsbogen**

In dieser Studie geht es um die Genauigkeit, die das OPT dem Behandler im klinischen Alltag liefert. Aus diesem Grund wurde die Studie mit Probanden aus zahnmedizinischen Bereichen anhand einer Umfrage durchgeführt. Ein Bewertungsbogen wurde erstellt, um die Einschätzungen der Probanden anschließend auszuwerten, und untereinander und mit dem DVT vergleichen zu können. Jeder Proband sollte den Bewertungsbogen ausfüllen, indem er die beiliegenden 9 OPTs entsprechend der klinischen Praxis beurteilt (Bewertungsbogen siehe Anhang).

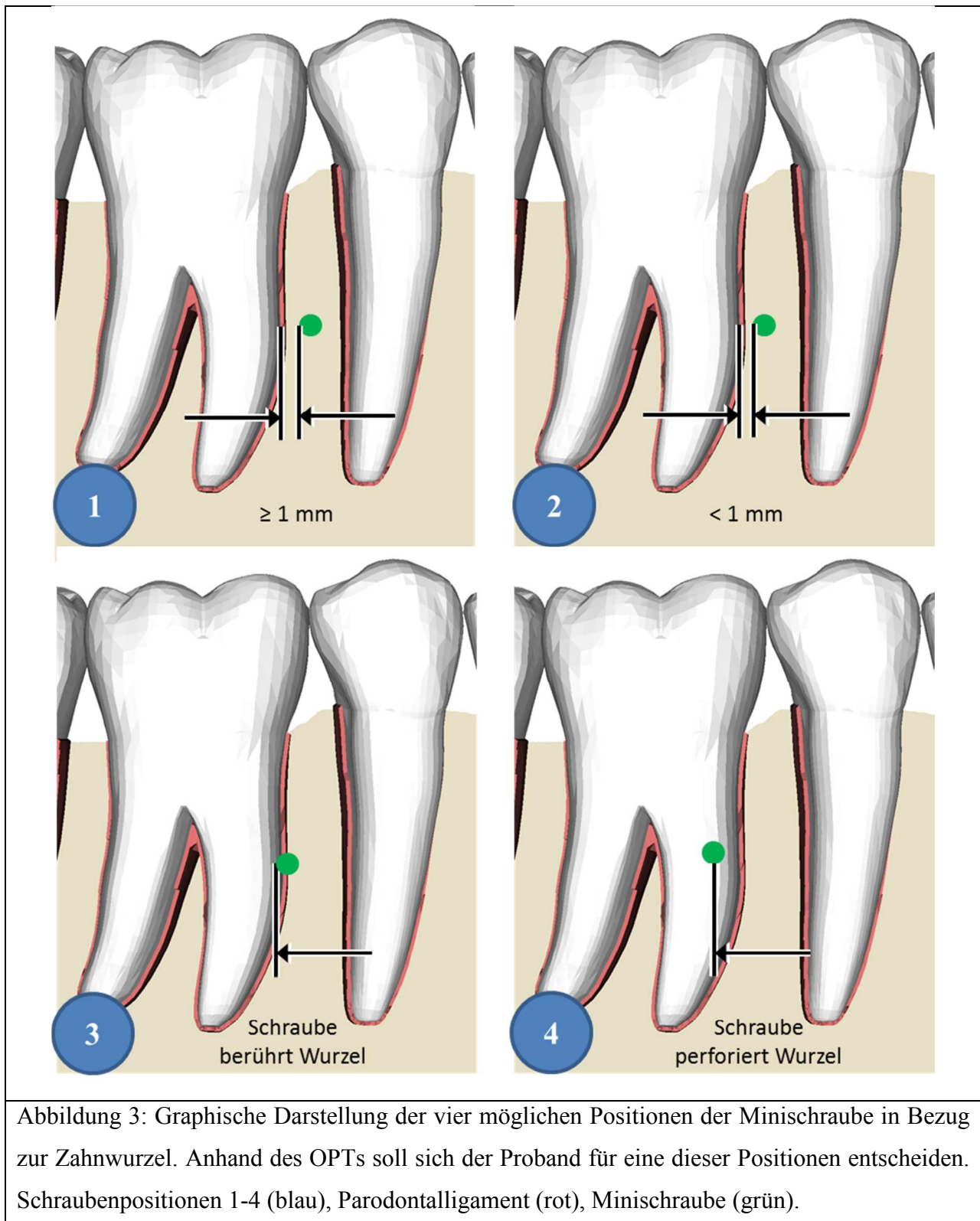
### **3.4.1 Erstellen des Bewertungsbogens**

Der Bewertungsbogen beinhaltet zu jedem der neun OPTs dieselben Fragen. In jedem Quadranten eines OPTs befindet sich eine Minischraube. Die Position und das Verhältnis jeder Schraube zu den umliegenden Strukturen sollen, wie im Folgenden beschrieben, vom Probanden beurteilt werden.

In dem Bewertungsbogen wird der Proband zunächst gebeten, die Position der Minischraube zu beurteilen. Dazu soll er eine der Ziffern 1-4 jeder Minischraube zuordnen. Die Ziffern 1-4 beziehen sich dabei auf vier mögliche Positionen der Schraube (siehe auch Abbildung 3):

- |                         |   |
|-------------------------|---|
| 1 = ideale Position:    | Die Schraube hat mindestens 1 mm Abstand zur Wurzel und ist vollkommen von Alveolarknochen umgeben. |
| 2 = mäßige Position:    | Die Schraube hat weniger als 1 mm Abstand zur Wurzel, aber berührt die Wurzel nicht.                |
| 3 = kritische Position: | Die Schraube berührt die Wurzeloberfläche bzw. liegt unmittelbar davor.                             |
| 4 = schlechte Position: | Die Schraube perforiert die Wurzel.   |

Diese Einteilung (Schraubenposition 1-4) beruht auf Angaben aus der Literatur, in der ein Mindestabstand von 1 mm als sinnvoll erachtet wird (Poggio et al., 2006; Liou et al., 2004). Dabei handelt es sich allerdings um Annahmen, denn es gibt keine Daten, die angeben, wie viel Knochen zwischen Minischraube und Zahnwurzel notwendig ist, um die parodontale Gesundheit und die Stabilität der Minischraube zu gewährleisten (Poggio et al., 2006). Unter der Annahme, dass die Breite des Parodontalspalt ca. 0,25 mm beträgt, gehen *Poggio et. al.* (2006) davon aus, dass ein Mindestabstand von einem Millimeter ausreicht, um das parodontale Gewebe zu erhalten. Ebenso empfehlen *Liou et al.* (2004), dass Minischrauben dann in einem zahnlosen Bereich platziert werden sollten, wenn der Patient nicht ausreichenden interradikulären Platz aufweist oder weniger als eine 1 mm Lücke zwischen Minischraube und Wurzel besteht. Durch diese Art der Fragestellung soll sich der Proband auf eine möglichst präzise Einschätzung festlegen. Vermutlich wird aber gerade diese präzise Einschätzung am OPT schwerfallen. Um auch das zu berücksichtigen, beinhaltet die sich anschließende Frage eine Selbsteinschätzung des Probanden. Der Proband soll angeben, wie sicher er sich ist, dass er die Position der Schraube richtig beurteilt hat. Er kann aus den Antwortmöglichkeiten „sicher“, „wahrscheinlich“ oder „unsicher“ wählen.



In der nächsten Frage des Bewertungsbogens wird der Proband gebeten, die Wahrscheinlichkeit einzuschätzen, mit der die Schraube die gegenüberliegende Kortikalis perforiert. Er hat die Möglichkeit „hoch“, „gering“ oder „weiß nicht“ anzukreuzen. Da die bukkolinguale bzw. die bukkopalatinale Richtung im OPT nicht beurteilbar ist, wird man hier erwarten, dass in den meisten Fällen „weiß nicht“ angekreuzt wird. Gegebenenfalls lässt sich aber aufgrund der Höhe der Insertion oder durch Erfahrung des Probanden auf das Knochenangebot schließen. Als letzte Aufgabe wird der Proband aufgefordert, den kürzesten Abstand der Schraube zum Sinus maxillaris (1. und 2. Quadrant) bzw. zum Nervus alveolaris inferior (3. und 4. Quadrant) mit Hilfe eines Endlineals abzuschätzen. Diese Fragestellung soll herausstellen, ob die vom Betrachter als kürzeste angenommene Distanz im OPT stark von der im DVT bestimmten abweicht.

### **3.4.2 Auswahl der Probanden**

In der Studie wurden Probanden aus verschiedenen zahnmedizinischen Bereichen befragt. Es wurden drei Gruppen festgelegt, aus denen sie zufällig ausgewählt wurden: Zahnmedizinstudenten, Oral- oder Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgen und Kieferorthopäden. Die Gruppe der Zahnmedizinstudenten wurde ausgewählt, um zu beurteilen, ob die Erfahrung des Betrachters bei der Beurteilung des Röntgenbildes eine Rolle spielt. Es ist beispielsweise möglich, dass die Einschätzungen von Studenten stärker von den im DVT gemessenen Werten abweichen, als die erfahrenerer Behandler. Die Gruppe der Chirurgen wurde in diese Studie mit aufgenommen, da man davon ausgehen kann, dass sie in der Implantologie am meisten Erfahrung haben. Aufgrund ihrer Mehrererfahrung in der Implantologie könnte man vermuten, dass die Chirurgen die Situation im OPT besser abschätzen. Andererseits könnten Kieferorthopäden, die bereits Minischrauben gesetzt haben, bei der Einschätzung der Dimension dieser Minischrauben den Chirurgen voraus sein. Es wurden insgesamt 30 Probanden befragt, bei denen es sich um 10 Zahnmedizinstudenten, 10 Oral- oder Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgen und 10 Kieferorthopäden handelte.

### **3.5 Datenverarbeitung und statistische Auswertung**

Die Einschätzungen der Probanden anhand der OPTs sollen mit den im DVT gemessenen Werten verglichen werden. Dazu wurden zunächst die Bewertungsbögen ausgewertet. Anschließend er-

folgte die Ausmessung der DVTs durch die Verfasserin dieser Arbeit mit dem Galileos Viewer der Firma Sirona. Zuletzt wurde durch eine graphische Darstellung ein Vergleich zwischen den Einschätzungen der Probanden anhand der OPTs und den Auswertungen des DVTs gezogen.

### **3.5.1 Auswertung der Bewertungsbögen**

Die Auswertung und graphische Darstellung der Daten erfolgte mit Hilfe von Microsoft Excel 2010. Zunächst wurden alle Daten aus den Bewertungsbögen in Tabellen aufgenommen. Zum Vergleich wurden die OPTs auch von der Verfasserin dieser Arbeit in der Rolle als Experimentatorin ausgewertet. Sie füllte zehn Bewertungsbögen mit einem jeweiligen zeitlichen Abstand von einem Tag aus. Diese Daten wurden ebenfalls aufgenommen und dienen dem Vergleich mit den Werten der Probanden. Außerdem zeigt eine 10fache Auswertung eines Probanden (hier: die Verfasserin) die Zuverlässigkeit der Messmethode. Die erste und zweite Frage des Bewertungsbogens beziehen sich auf die Position der Schraube in Bezug zur Wurzel. Zur graphischen Darstellung der Antworten wurden Säulendiagramme erstellt, um den Zusammenhang zwischen der gewählten Position („ideal“, „mäßig“, „kritisch“, „schlecht“) des Probanden und seiner Selbsteinschätzung („sicher“, „wahrscheinlich“, „unsicher“) in einem Diagramm zu veranschaulichen. Die nächste Frage des Bewertungsbogens betrifft die Perforation der Kortikalis. Das Ergebnis wird in Kreisdiagrammen dargestellt, da sich diese Form der Präsentation bei nominalskalierten Daten anbietet. Bei der letzten Frage nach der Entfernung zum Sinus maxillaris bzw. Nervus alveolaris inferior liegen metrische Untersuchungsvariablen vor, die in Form von Box-Plots präsentiert werden.

### **3.5.2 Auswertung der digitalen Volumentomogramme**

Die Auswertung der DVTs wurde mit dem Galileos Viewer der Firma Sirona durchgeführt. Mit Hilfe des Galileos Viewers wurden die Abstände zwischen Wurzel und Schraube gemessen und ihnen anschließend die entsprechende Position 1-4 (siehe Erstellen des Bewertungsbogens 3.4.1) zugewiesen, um sie mit den Beurteilungen der Probanden vergleichen zu können. Des Weiteren wurde bei jeder Schraube kontrolliert, ob die gegenüberliegende Kortikalis perforiert ist. Zuletzt wurden die kürzesten Distanzen zwischen Schraube und Sinus maxillaris bzw. Nervus alveolaris

inferior ausgemessen. Die Auswertung aller DVTs erfolgte zweimal. Bei Abweichungen wurde der Mittelwert verwendet. Abschließend wurden die Auswertungen der DVTs in die Diagramme, die auf Grundlage der Bewertungsbögen erstellt wurden, eingetragen, um den direkten Vergleich zu ermöglichen.

### 3.5.3 Statistische Auswertung

Alle Daten wurden in Tabellen aufgenommen und die Angaben der Probanden auf statistische Signifikanz untersucht. Es handelte sich um normalverteilte Daten, daher wurde der t-Test mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % durchgeführt.

Die Frage zur Beurteilung des Abstandes zwischen Minischraube und Wurzel (Zuordnung von Position 1-4) wurde dahingehend untersucht, ob eine der drei Probandengruppen in der Angabe ihrer Position besonders häufig bzw. besonders selten Übereinstimmungen mit der im DVT bestimmten Position aufwies. Es wurde der t-Test durchgeführt, um die statistische Signifikanz zwischen den drei Probandengruppen bei der Beurteilung der Schraubenposition im Vergleich zum Wert des DVTs zu untersuchen (siehe Anhang: Tabelle 1 und 2).

Bei der Frage nach der Distanz zwischen Schraube und Sinus maxillaris bzw. Nervus alveolaris inferior wurde ebenfalls der t-Test gegen alle Gruppen durchgeführt. Es wurde untersucht, ob signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen in der Beurteilung der Distanz bestanden. Dazu wurden 108 t-Tests durchgeführt (9 OPTs \* 4 Quadranten \* 3 zu prüfende Gruppen, siehe Anhang: Tabelle 3). Waren signifikante Unterschiede feststellbar, wurden diese auf Regelmäßigkeiten untersucht. Anschließend wurde geprüft ob zwischen den Probanden und der eigenen zehnfachen Auswertung (Experimentatorin) signifikante Unterschiede bestanden (siehe Anhang: Tabelle 4). Zur Berechnung der statistischen Signifikanz für den Vergleich von Probanden, Experimentatorin und DVT wurde der Medianwert der Probanden verwendet, damit einzelne vorhandene Ausreißer in der Probandengruppe weniger berücksichtigt werden. Der Medianwert der Probanden sowie der Medianwert der eigenen zehnfachen Auswertung (Experimentatorin) wurden untereinander und mit dem Wert des DVTs verglichen und die Differenzen errechnet. Auf diese Differenzen wurde der t-Test für verbundene Stichproben angewendet (siehe Anhang: Tabelle 5).



## 4 Ergebnisse

Entsprechend den in Kapitel 3.4.2 beschriebenen Kriterien wurden 30 Probanden befragt. Die Ergebnisse werden im Folgenden gemäß der Reihenfolge der Fragen im Bewertungsbogen dargestellt.

### 4.1 Position der Minischraube in Bezug zur Zahnwurzel

Die Auswertung der Frage nach der Beurteilung der Schraubenposition sowie der Selbsteinschätzung der Probanden erfolgte anhand von Säulendiagrammen. Abbildung 4 zeigt ein Beispiel für die graphische Darstellung dieser Ergebnisse. Auf der x-Achse sind die vier möglichen Positionen dargestellt („ideal“, „mäßig“, „kritisch“, „schlecht“). Auf der y-Achse ist die Anzahl der Probanden abgetragen. Die Säulen sind entsprechend der Selbsteinschätzung der Probanden farblich unterlegt („sicher“, „wahrscheinlich“, „unsicher“). In jedem Diagramm befindet sich eine Säule, die schwarz umrandet ist. Diese markiert die Ziffer, welche der im DVT bestimmten Position entspricht. Die eigene zehnmahlige Auswertung der Bewertungsbögen wurde in den Diagrammen zum Vergleich ebenfalls dargestellt. Es wurde die Fläche schraffiert, die der Position und Selbsteinschätzung entspricht, die in den eigenen Beurteilungen überwog. Im Folgenden wird in diesem Fall von der Beurteilung der Experimentatorin gesprochen. Abbildungen 5 bis 13 zeigen die Diagramme für alle Quadranten der neun Schädel, welche im Folgenden besprochen werden.

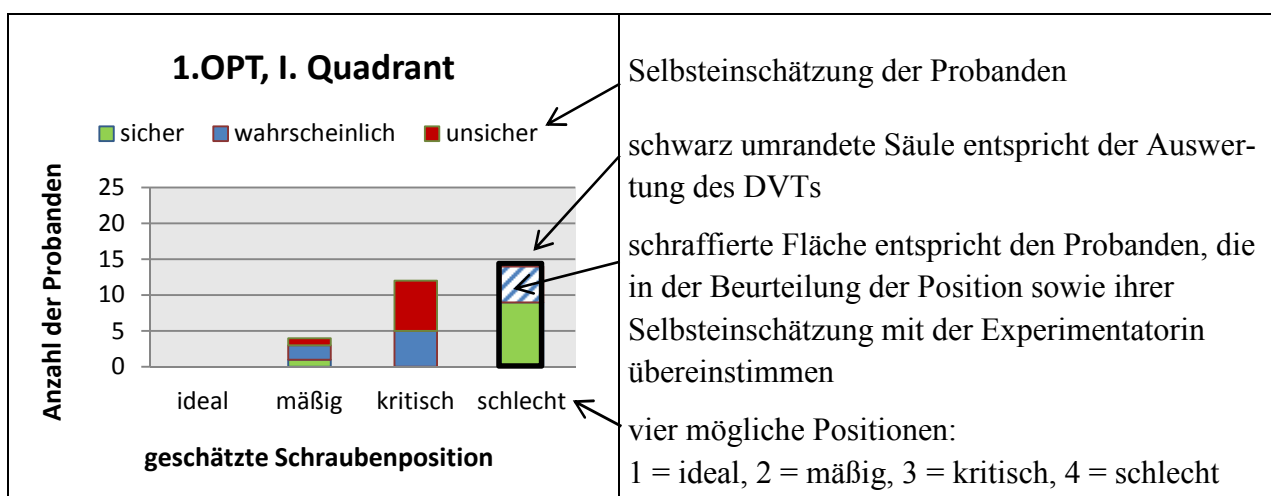


Abbildung 4: Beispiel für die graphische Darstellung der Ergebnisse zur Frage nach der Position der Schraube sowie der Selbsteinschätzung der Probanden.

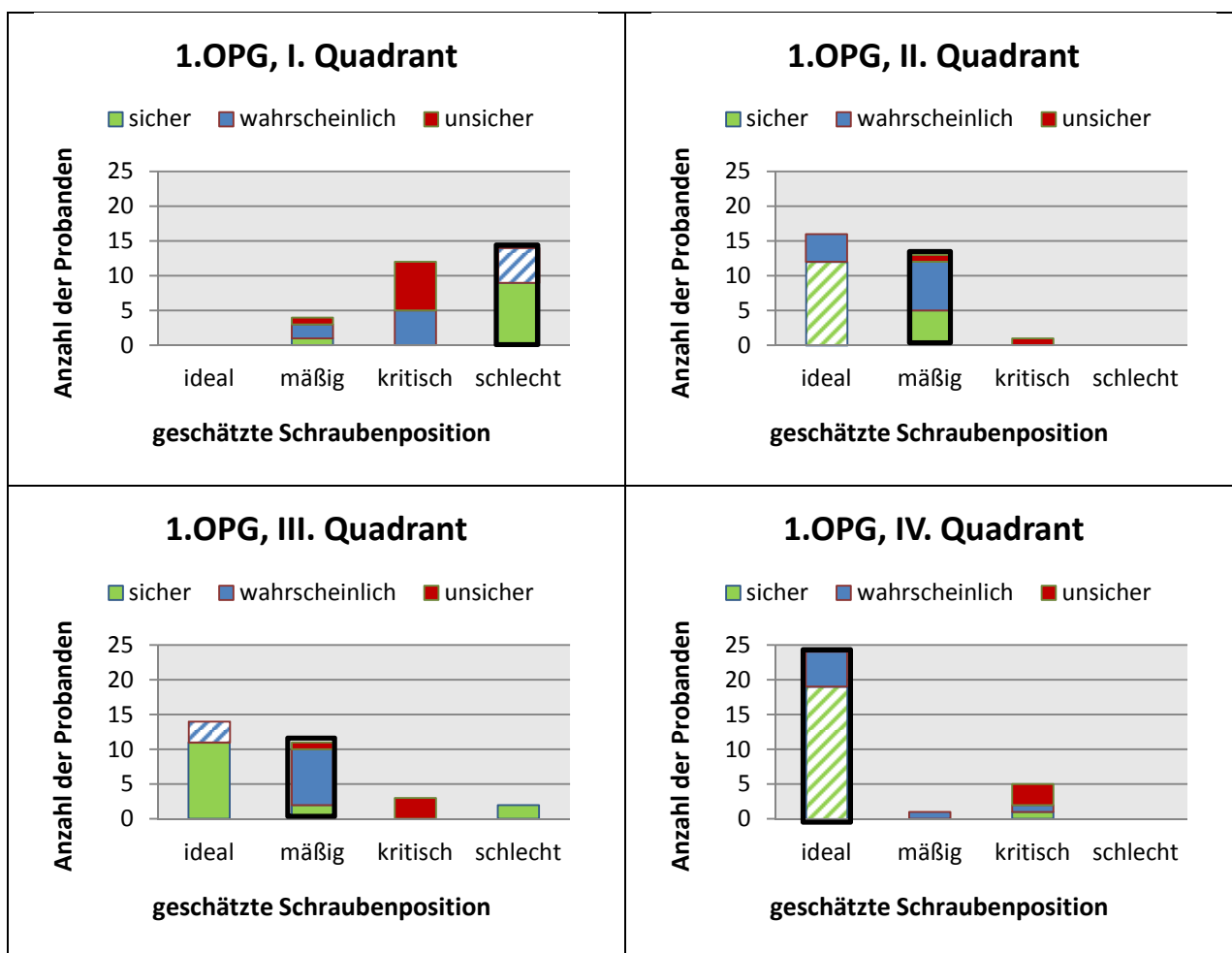


Abbildung 5: Einschätzung der Probanden zur Position der Schraube am ersten OPT. Position 1 = ideal, 2 = mäßig, 3 = kritisch, 4 = schlecht. Säulen entsprechend der Selbsteinschätzung farbige unterlegt, schwarze Umrahmung = DVT, schraffierte Fläche = Probanden, die in der Beurteilung der Position sowie ihrer Selbsteinschätzung mit der Experimentatorin übereinstimmen.

Schädel 1: Die graphische Darstellung von Quadrant I zeigt, dass die Mehrheit der Probanden die Position der Schraube als „kritisch“ oder „schlecht“ einschätzten. Die Ausmessung des DVTs ergab, dass die Position der Schraube als „schlecht“ einzustufen war. Ein Großteil der Probanden konnte also die Position richtig einschätzen oder bewertete sie als „kritisch“. In Quadrant II und III wird deutlich, dass eine Mehrheit die Position als „ideal“ oder „mäßig“ einstufte, also zwei Einschätzungen, die in die ähnliche Richtung gehen. Die Auswertung des DVTs gab ebenfalls an, dass die Position in beiden Quadranten „mäßig“ war. Die Quadranten I-III lassen vermuten, dass die Probanden zwischen zwei Positionen, die nah beieinander liegen, schwer differenzieren konnten. In Quadrant IV nahmen ca. 80 % eine „ideale“ Position der Schraube an, was mit dem DVT übereinstimmte. Viele dieser Probanden waren sich „sicher“ die Position richtig zu beurteilen.

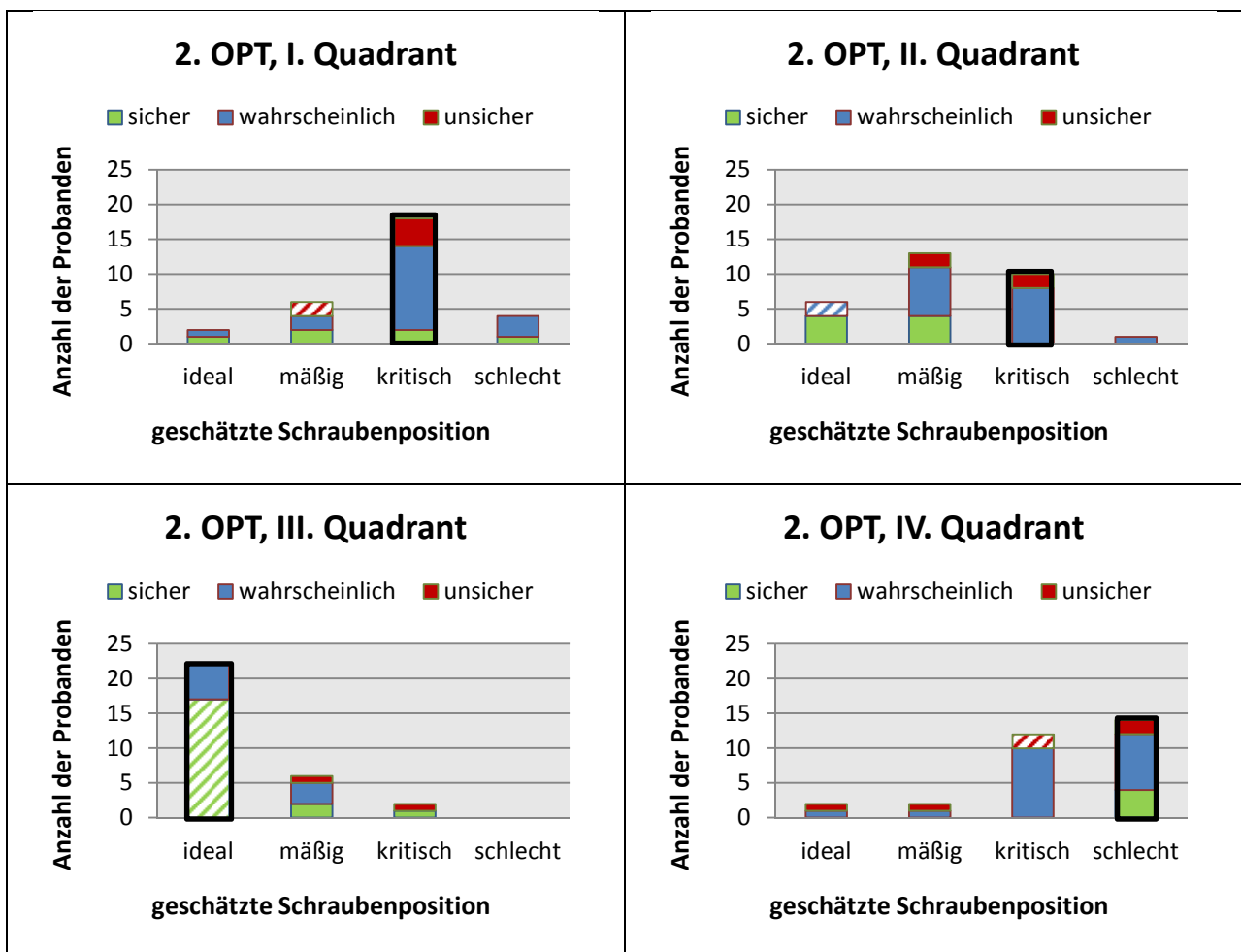


Abbildung 6: Einschätzung der Probanden zur Position der Schraube am zweiten OPT. Position 1 = ideal, 2 = mäßig, 3 = kritisch, 4 = schlecht. Säulen entsprechend der Selbsteinschätzung farbige unterlegt, schwarze Umrahmung = DVT, schraffierte Fläche = Probanden, die in der Beurteilung der Position sowie ihrer Selbsteinschätzung mit der Experimentatorin übereinstimmen.

Schädel 2: Die Position der Schraube in Quadrant I beurteilte die Mehrheit als „kritisch“. Ca. 67 % dieser Probanden hielten ihre Entscheidung für „wahrscheinlich“. Die Bewertung „kritisch“ entspricht der Auswertung des DVTs. In Quadrant II stimmte nur ein Drittel der Probanden mit der im DVT bestimmten Position überein. In Quadrant III wurde die Position von ca. 73 % als „ideal“ eingestuft. Sie waren sich in den meisten Fällen „sicher“, dass sie die Position richtig beurteilt haben. Anscheinend war im OPT ausreichend Platz zur Wurzel erkennbar, denn anhand des DVTs wurde die Position ebenfalls als „ideal“ eingestuft. In Quadrant IV gab die Mehrheit die Position „kritisch“ oder „schlecht“ an; die Position anhand des DVTs wurde ebenfalls als „schlecht“ bewertet. Eine Differenzierung zwischen den Positionen „kritisch“ und „schlecht“ scheint aber nicht möglich gewesen zu sein.

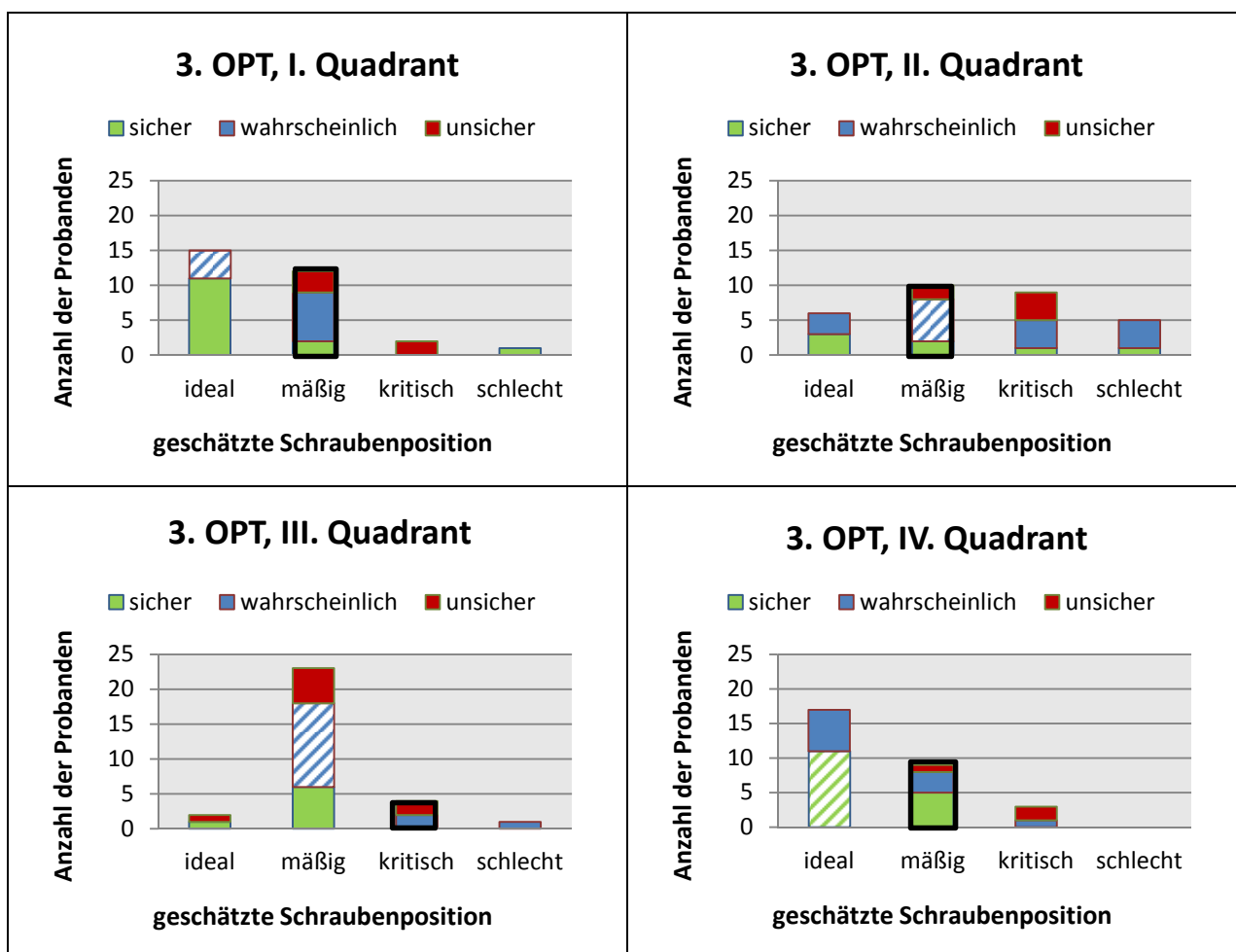


Abbildung 7: Einschätzung der Probanden zur Position der Schraube am dritten OPT. Position 1 = ideal, 2 = mäßig, 3 = kritisch, 4 = schlecht. Säulen entsprechend der Selbsteinschätzung farbige unterlegt, schwarze Umrahmung = DVT, schraffierte Fläche = Probanden, die in der Beurteilung der Position sowie ihrer Selbsteinschätzung mit der Experimentatorin übereinstimmen.

Schädel 3: Die Abbildung des ersten Quadranten zeigt, dass die Position überwiegend als „ideal“ oder „mäßig“ bewertet wurde. Im DVT wurde ebenfalls die Position „mäßig“ als die Zutreffende bestimmt. Auch dieses Diagramm lässt vermuten, dass eine Differenzierung zwischen Position 1 und 2 schwerfiel. In Quadrant II hingegen beurteilte nur ein minimal höherer Anteil die Position als „mäßig“, welche ebenfalls anhand des DVTs bestimmt wurde. Auffälligerweise existierten sowohl Probanden, die die Position als „ideal“ einschätzten, als auch solche, die die Position als „schlecht“ bezeichneten. In Quadrant III entschied sich die Mehrheit für eine „mäßige“ Position, obwohl diese anhand des DVTs als „kritisch“ einzustufen war. Im vierten Quadranten bewerteten ca. 57 % die Position als „ideal“. Ca. 64 % dieser Probanden war sich sicher, mit ihrer Beurteilung richtig zu liegen. Im DVT aber wurde die Position „mäßig“ bestimmt.

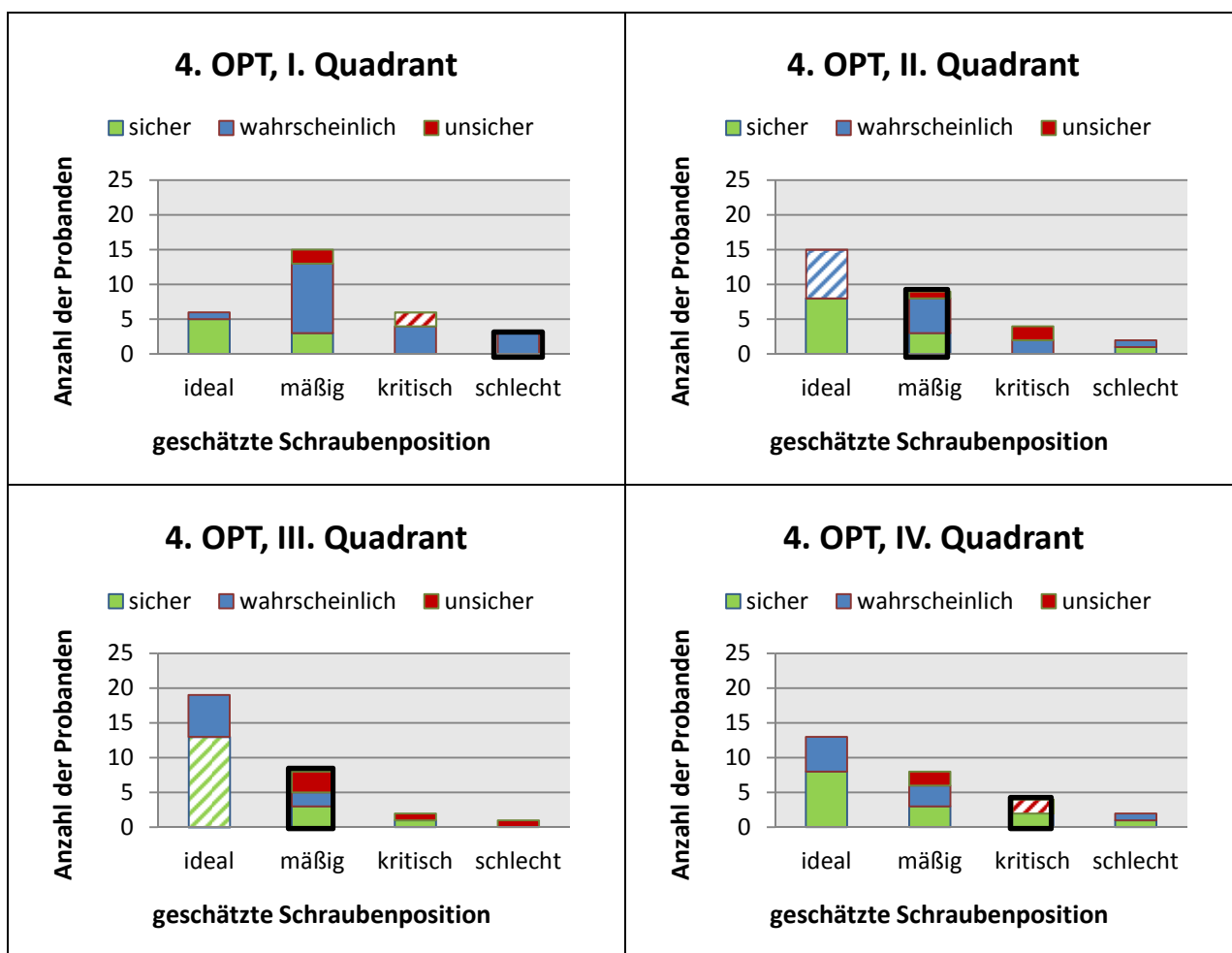


Abbildung 8: Einschätzung der Probanden zur Position der Schraube am vierten OPT. Position 1 = ideal, 2 = mäßig, 3 = kritisch, 4 = schlecht. Säulen entsprechend der Selbsteinschätzung farblich unterlegt, schwarze Umrahmung = DVT, schraffierte Fläche = Probanden, die in der Beurteilung der Position sowie ihrer Selbsteinschätzung mit der Experimentatorin übereinstimmen.

Schädel 4: Ein Großteil der Probanden schätzte die Schraubenposition in Quadrant I als „mäßig“ ein. Anhand des DVTs wurde die Position als „schlecht“ eingestuft, welche nur von drei Probanden als die Richtige angenommen wurde. In Quadrant II beurteilte die Mehrheit die Position als „ideal“. Im DVT zeigte sich eine „mäßige“ Position. Erneut lässt sich vermuten, dass die Differenzierung der Positionen 1 und 2 schwer fiel. Das Säulendiagramm für Quadrant III weist eine ähnliche Tendenz auf. Ca. 63 % ging davon aus, dass es sich um eine „ideale“ Position handelte. Im DVT wurde die Position wieder als nur „mäßig“ bestimmt. Auffällig ist, dass eine hohe Anzahl an Probanden sich „sicher“ war, dass die Schraube „ideal“ positioniert wurde. Im DVT aber wurde die Position als „mäßig“ eingestuft. In Quadrant IV schätzten die Probanden die Position überwiegend als eher positiv ein. Die Auswertung des DVTs ergab jedoch die Position „kritisch“.

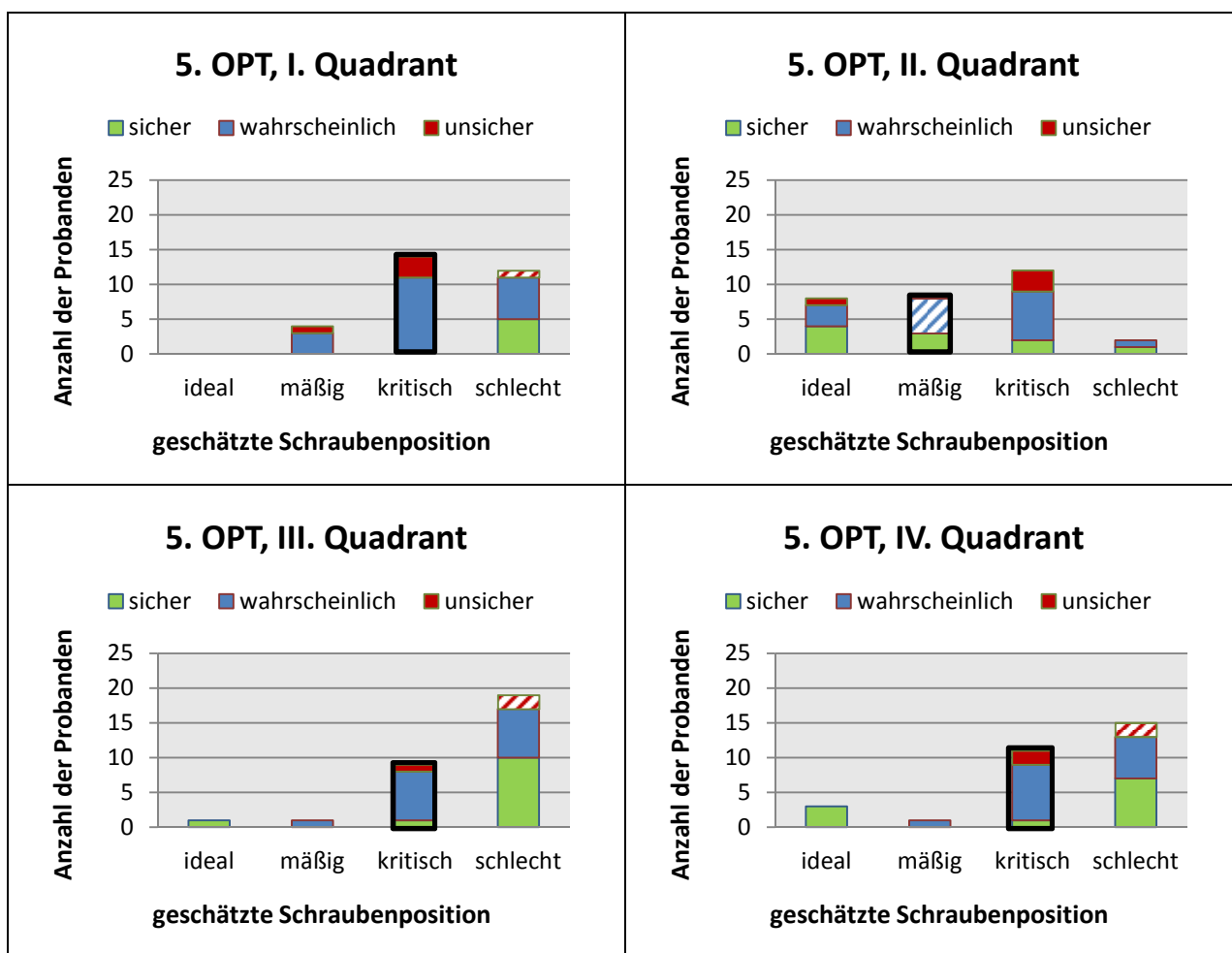


Abbildung 9: Einschätzung der Probanden zur Position der Schraube am fünften OPT. Position 1 = ideal, 2 = mäßig, 3 = kritisch, 4 = schlecht. Säulen entsprechend der Selbsteinschätzung farbige unterlegt, schwarze Umrahmung = DVT, schraffierte Fläche = Probanden, die in der Beurteilung der Position sowie ihrer Selbsteinschätzung mit der Experimentatorin übereinstimmen.

Schädel 5: Die Abbildung des ersten Quadranten zeigt, dass ca. 87 % die Position als „kritisch“ oder „schlecht“ bewerteten. Die Auswertung des DVTs ergab ebenfalls, dass es sich um eine „kritische“ Position der Minischraube handelte. Quadrant II lässt keine eindeutige Tendenz erkennen. Die Abbildung zeigt eine relativ gleichmäßige Verteilung der Probanden auf alle Positionen. Die Diagramme von Quadrant III und IV spiegeln eine ähnliche Situation wie die des ersten Quadranten wieder. Es scheint erneut, als seien die Positionen „kritisch“ und „schlecht“ anhand des OPTs schwierig zu differenzieren. Auffällig ist, dass die Probanden, die die Position als „schlecht“ bewerteten, sich häufig „sicher“ waren, dass diese Beurteilung auch tatsächlich zutrifft. Im DVT wurde sie sowohl im dritten als auch im vierten Quadranten als „kritisch“ eingestuft. Diese Position wurde allerdings nur von 30 % bzw. 37 % richtig eingeschätzt.

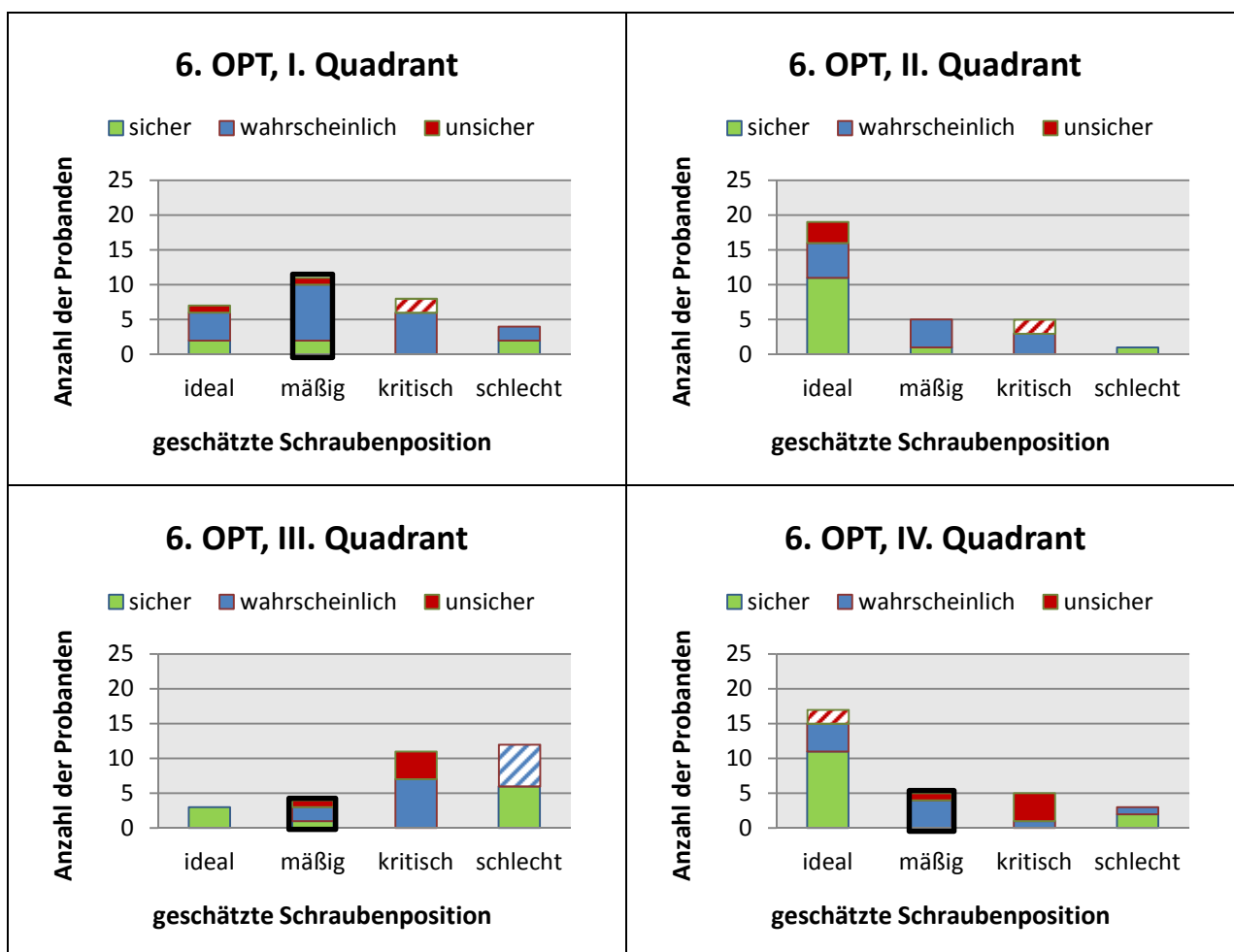


Abbildung 10: Einschätzung der Probanden zur Position der Schraube am sechsten OPT. Position 1 = ideal, 2 = mäßig, 3 = kritisch, 4 = schlecht. Säulen entsprechend der Selbsteinschätzung farbige unterlegt, schwarze Umrahmung = DVT, schraffierte Fläche = Probanden, die in der Beurteilung der Position sowie ihrer Selbsteinschätzung mit der Experimentatorin übereinstimmen.

Schädel 6: Wie das Säulendiagramm des ersten Quadranten deutlich macht, fielen die Beurteilungen der Probanden unterschiedlich aus. Eine geringe Mehrheit (ca. 37 %) schätzte die Position als „mäßig“ ein. Diese Position stimmt mit der Auswertung des DVTs überein. Im zweiten Quadranten war eine Auswertung des DVTs leider nicht möglich, da eine am Schädel festmontierte Metallspirale starke Artefakte verursachte und dieser Bereich nicht gut dargestellt werden konnte. Im dritten und vierten Quadranten wurde die Schraubenposition im DVT als „mäßig“ eingestuft. In beiden Fällen wichen die Einschätzungen der Probanden ab. Im dritten Quadranten tendierten die Probanden in Richtung „kritische“ bzw. „schlechte“ Position, im vierten Quadranten beurteilte die Mehrheit die Position als „ideal“. Auffällig ist, dass die Selbsteinschätzung „sicher“ zum größten Teil in der Kombination mit der „idealen“ Position auftrat.

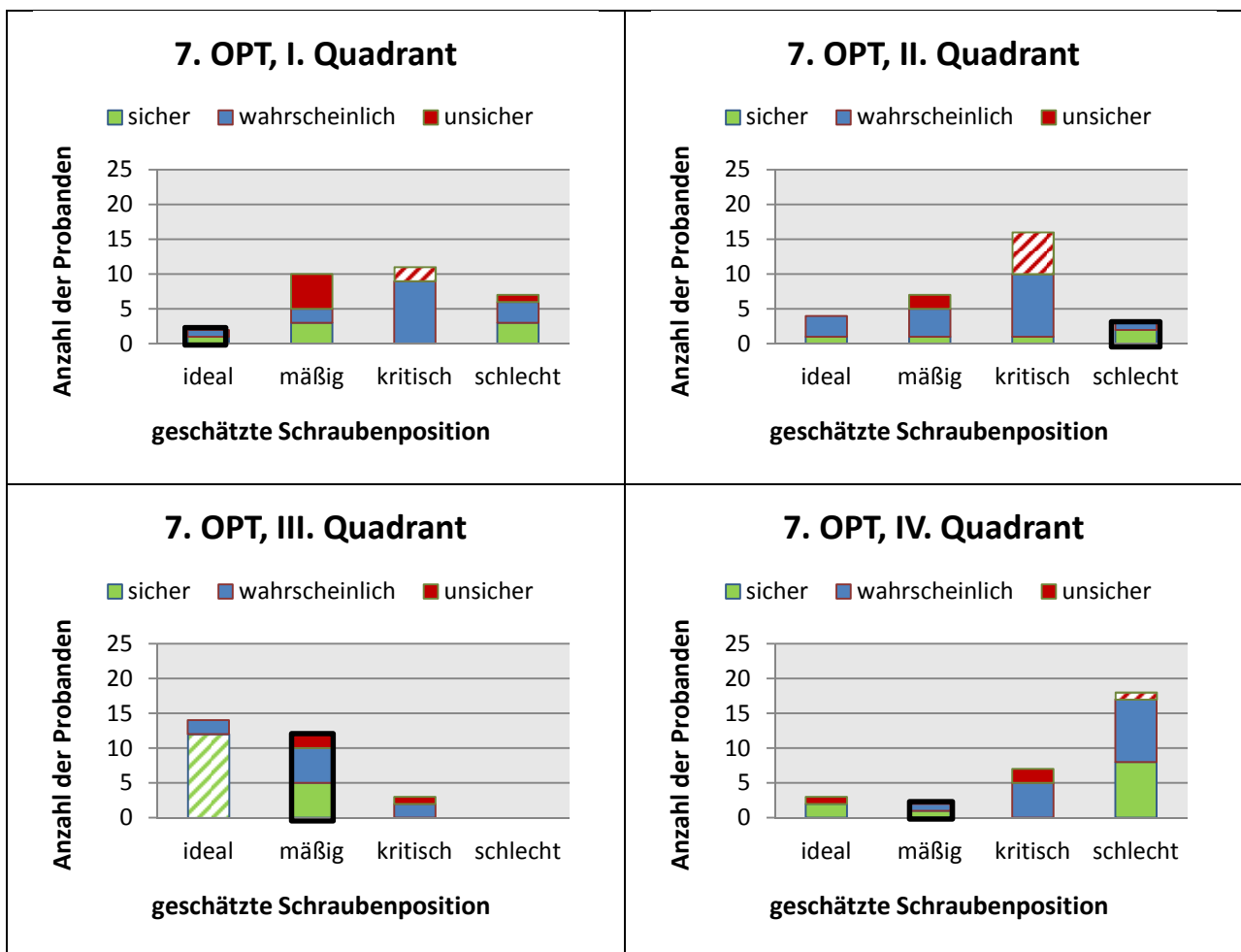


Abbildung 11: Einschätzung der Probanden zur Position der Schraube am siebten OPT. Position 1 = ideal, 2 = mäßig, 3 = kritisch, 4 = schlecht. Säulen entsprechend der Selbsteinschätzung farbige unterlegt, schwarze Umrahmung = DVT, schraffierte Fläche = Probanden, die in der Beurteilung der Position sowie ihrer Selbsteinschätzung mit der Experimentatorin übereinstimmen.

Schädel 7: Im siebten OPT ist auffällig, dass in drei Quadranten (I, II, IV) die Einschätzung vieler Probanden von der Auswertung des DVTs abwich. In Quadrant I zeigte das DVT, dass die Schraube „ideal“ positioniert wurde. Nur 7 % der Probanden haben sich jedoch für diese Position entschieden. Die Mehrheit dagegen schätzte die Position als „kritisch“ oder „mäßig“ ein. In Quadrant II besteht ebenfalls eine große Abweichung gegenüber der Auswertung des DVTs. Ca. 53 % beurteilten die Position als „kritisch“. Anhand des DVTs wurde diese Position als „schlecht“ eingestuft. Das Diagramm von Quadrant III zeigt erneut, dass sich ähnlich viele Probanden für die Position „ideal“ bzw. „mäßig“ entschieden. Die im DVT bestimmte Position ist „mäßig“. In Quadrant IV nahmen 70 % an, dass die Schraube die Wurzel perforiert. Im DVT konnte aber gezeigt werden, dass sich die Schraube „mäßig“ in Beziehung zur Wurzel befand.



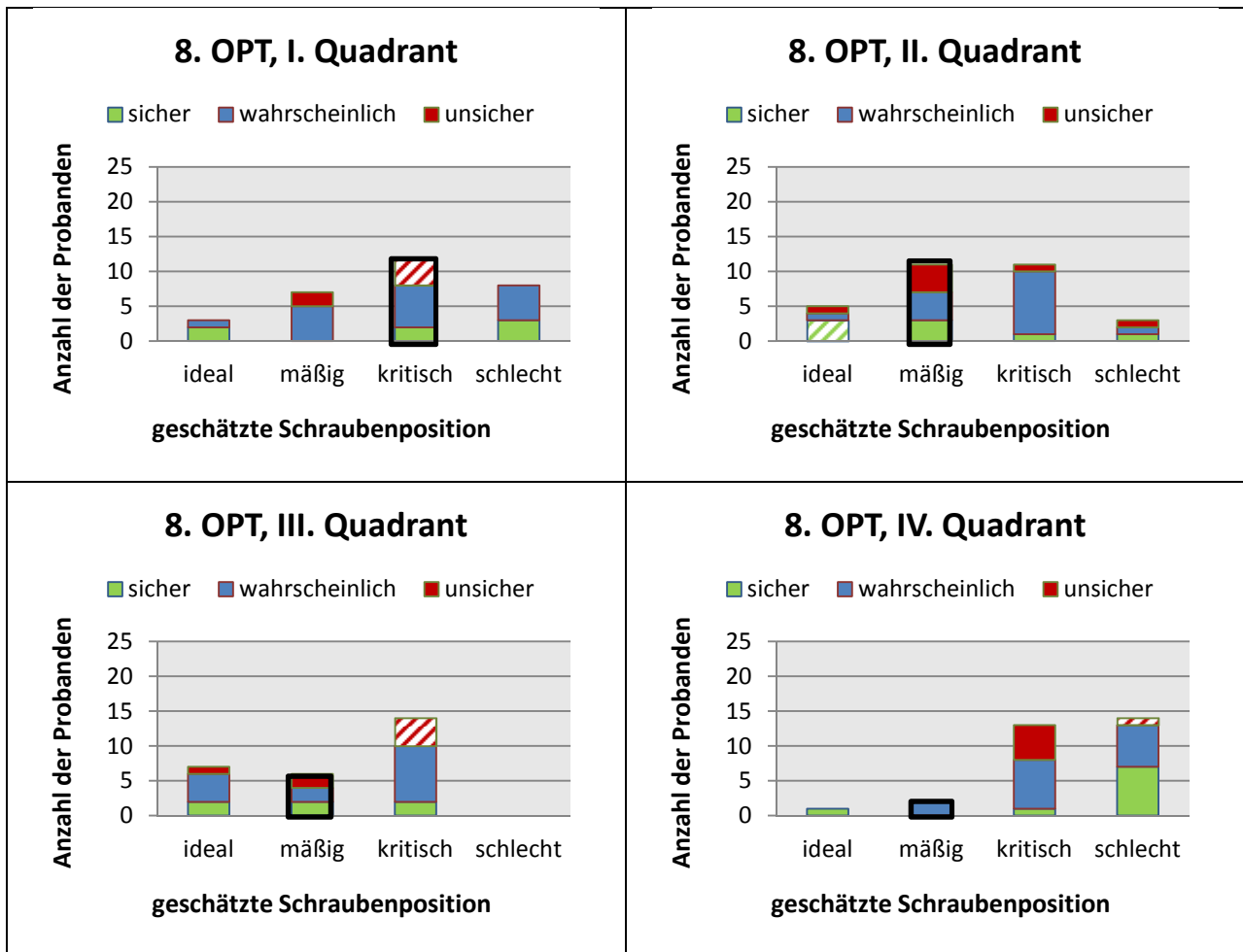


Abbildung 12: Einschätzung der Probanden zur Position der Minischraube am achten OPT. Position 1 = ideal, 2 = mäßig, 3 = kritisch, 4 = schlecht. Säulen entsprechend der Selbsteinschätzung farblich unterlegt, schwarze Umrahmung = DVT, schraffierte Fläche = Probanden, die in der Beurteilung der Position sowie ihrer Selbsteinschätzung mit der Experimentatorin übereinstimmen.

Schädel 8: Die Probanden beurteilten die Position der Schraube des ersten Quadranten sehr unterschiedlich. Eine geringe Mehrheit beurteilte die Position entsprechend der Auswertung des DVTs als „kritisch“. Dennoch wichen 60 % von der im DVT bestimmten Position ab. Das Säulendiagramm von Quadrant II bildet die höchsten Säulen für die Position „mäßig“ und „kritisch“ ab. Die Position „mäßig“ wurde auch im DVT bestimmt. In Quadrant III wurde anhand des DVTs die Position ebenfalls als „mäßig“ beurteilt. Einige Probanden beurteilten die Situation zwar auch als „mäßig“, der überwiegende Anteil aber hielt die Position für „kritisch“. In der Abbildung für Quadrant IV wird deutlich, dass die Position eher als zu schlecht bewertet wurde. 90 % waren der Meinung, dass die Schraube „kritisch“ oder „schlecht“ positioniert war. Im DVT wurde sie als „mäßig“ eingestuft. Nur zwei Probanden stimmten mit der im DVT bestimmten Position überein.

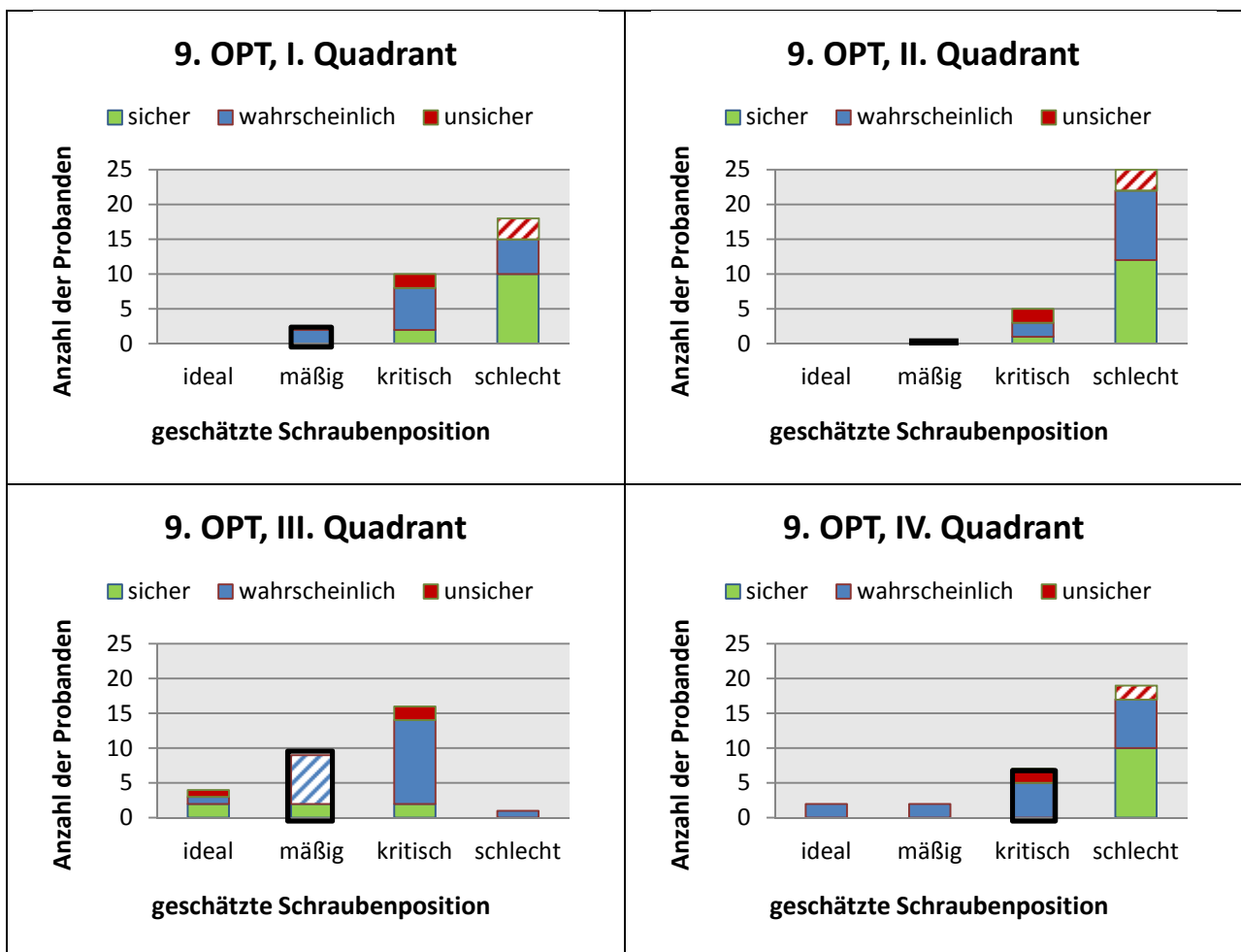


Abbildung 13: Einschätzung der Probanden zur Position der Schraube am neunten OPT. Position 1 = ideal, 2 = mäßig, 3 = kritisch, 4 = schlecht. Säulen entsprechend der Selbsteinschätzung farbige unterlegt, schwarze Umrahmung = DVT, schraffierte Fläche = Probanden, die in der Beurteilung der Position sowie ihrer Selbsteinschätzung mit der Experimentatorin übereinstimmen.

Schädel 9: Im ersten, zweiten und dritten Quadranten wurde anhand des DVTs die Position „mäßig“ bestimmt. Im Quadrant I beurteilte jedoch die Mehrheit die Position als „schlecht“. Zudem waren sich von diesen Probanden ca. 56 % „sicher“, dass sie sich richtig entschieden haben. Ähnlich sieht die Situation im zweiten Quadranten aus. Ca. 83 % entschieden sich für die „schlechte“ Position. Von denen waren sich wiederum ca. 48 % „sicher“, die Position zutreffend beurteilt zu haben und ca. 40 % hielten ihre Beurteilung für „wahrscheinlich“. Im dritten Quadranten wurde die Position überwiegend als „kritisch“ eingeschätzt. Ca. 30 % beurteilten die Position entsprechend der Einstufung anhand des DVTs als „mäßig“. Im vierten Quadranten wurde die Position von den meisten Probanden als „schlecht“ eingeschätzt. Ein großer Anteil gab auch an, die Position als „kritisch“ einzustufen, was der im DVT bestimmten Position entspricht.

#### **4.1.1 Einschätzungen des Abstandes: Minischraube und Zahnwurzel**

Die Ergebnisse der Befragung zur Einschätzung des Abstandes zwischen Minischraube und Zahnwurzel und zur Selbsteinschätzung der Probanden wurden in den Abbildungen 5 bis 13 graphisch dargestellt und in den direkten Vergleich zum DVT gesetzt. In den Abbildungen wird deutlich, dass die Beurteilungen der Probanden in vielen Fällen unterschiedlich ausfielen und häufig ein recht großer Anteil der Probanden nicht mit dem DVT übereinstimmte. Die drei Gruppen Kieferorthopäden, Oral- oder Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgen und Studenten wurden in den Graphen nicht differenziert. Anhand des t-Tests konnte nämlich nachgewiesen werden, dass bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % keine signifikanten Unterschiede in der Beurteilung des Abstandes Schraube-Wurzel zwischen den Gruppen bestanden. Keine der drei Gruppen schätzte den Abstand signifikant besser oder schlechter im Vergleich zum DVT ein (siehe Anhang: Tabelle 1 und 2). Im Allgemeinen schätzten die Probanden ihre Beurteilung als „sicher“ oder „wahrscheinlich“ ein. Nur wenige Probanden gaben an, sich bei ihrer Beurteilung „unsicher“ gewesen zu sein.

#### **4.2 Position der Minischraube in Bezug zur gegenüberliegenden Kortikalis**

Zur Auswertung der Frage nach der Beurteilung der Kortikalis wurden Kreisdiagramme angefertigt. Die Abbildungen 14 bis 22 zeigen die Kreisdiagramme für alle Quadranten der neun Schädel. Die Diagramme stellen dar, wie hoch jeweils der Anteil an Probanden ist, die die Wahrscheinlichkeit der Perforation der gegenüberliegenden Kortikalis als „hoch“ (rot), „gering“ (grün) oder „weiß nicht“ (blau) angaben. Der Vergleich zur Beurteilung der Kortikalis anhand des DVTs wird im grau unterlegten Kästchen zum direkten Vergleich gezeigt.

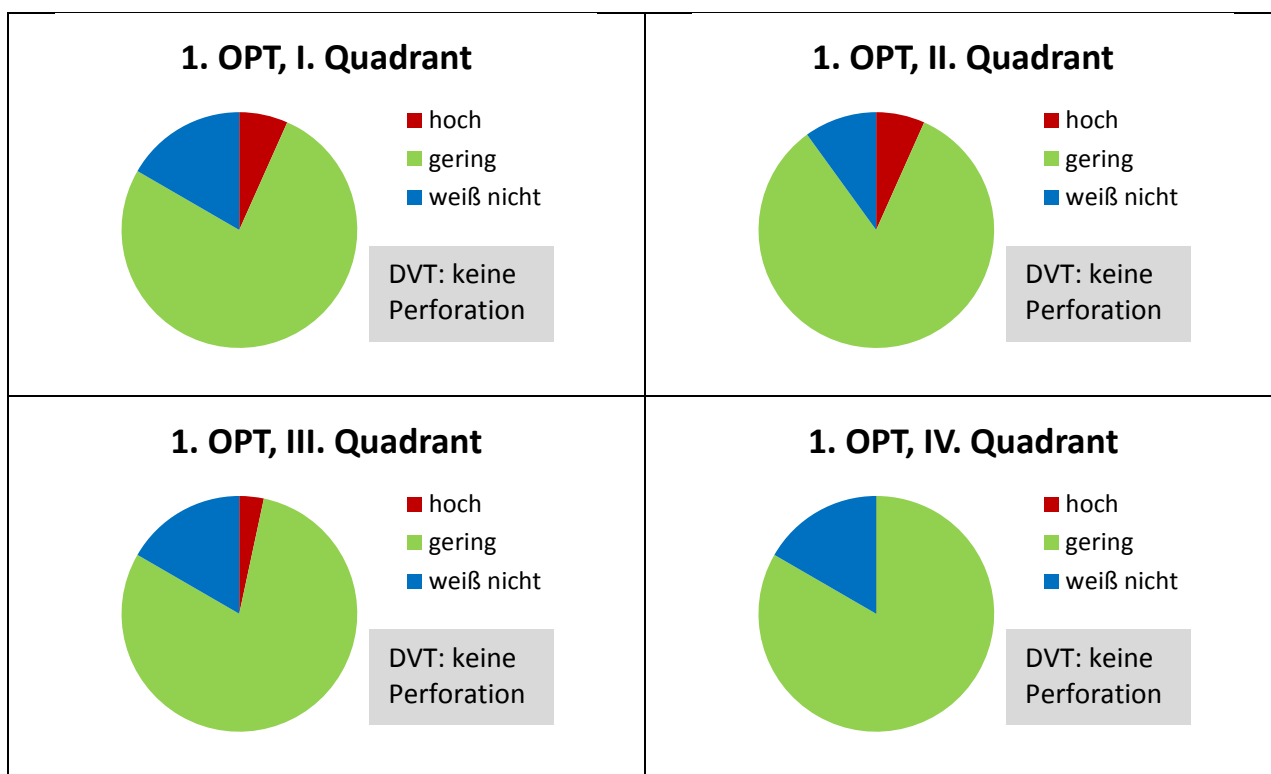


Abbildung 14: Jeweils Anteil der Probanden, die die Wahrscheinlichkeit der Perforation der Kortikalis im ersten OPT als „hoch“ (rot), „gering“ (grün) oder „weiß nicht“ (blau) angaben.

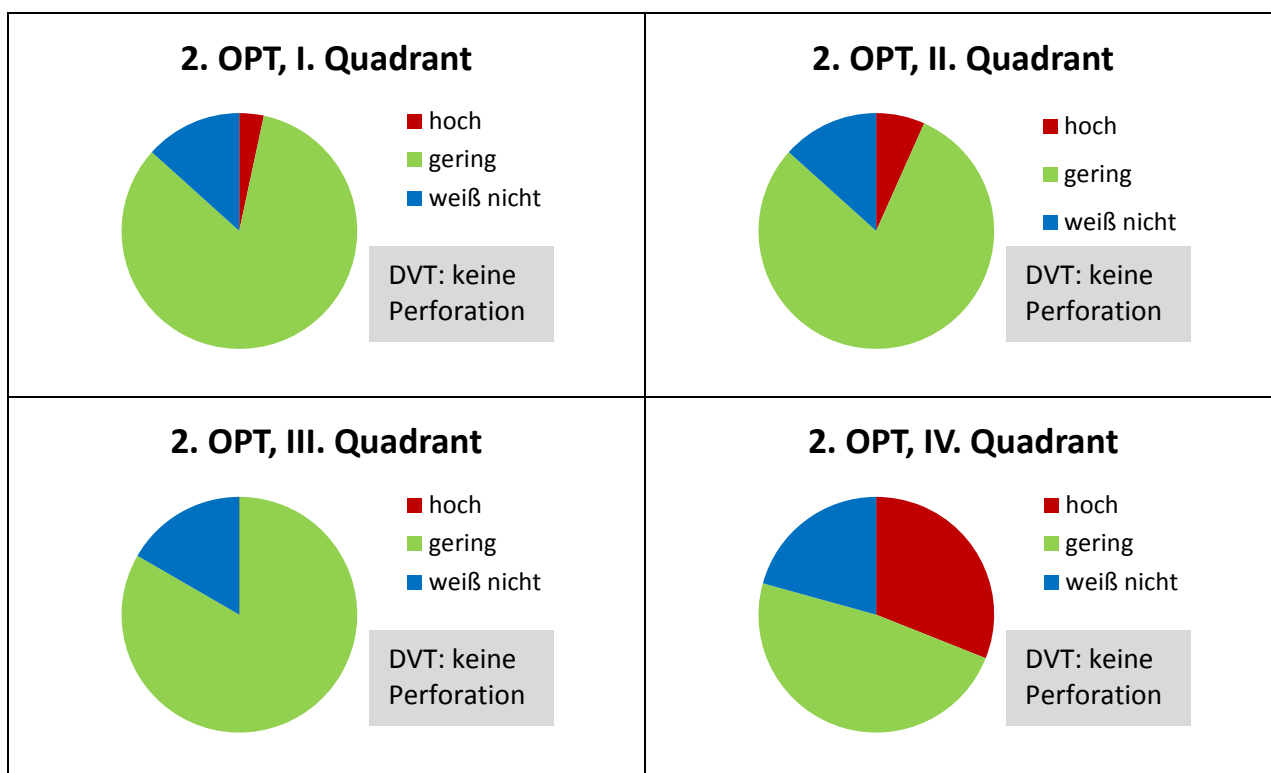


Abbildung 15: Jeweils Anteil der Probanden, die die Wahrscheinlichkeit der Perforation der Kortikalis im zweiten OPT als „hoch“ (rot), „gering“ (grün) oder „weiß nicht“ (blau) angaben.

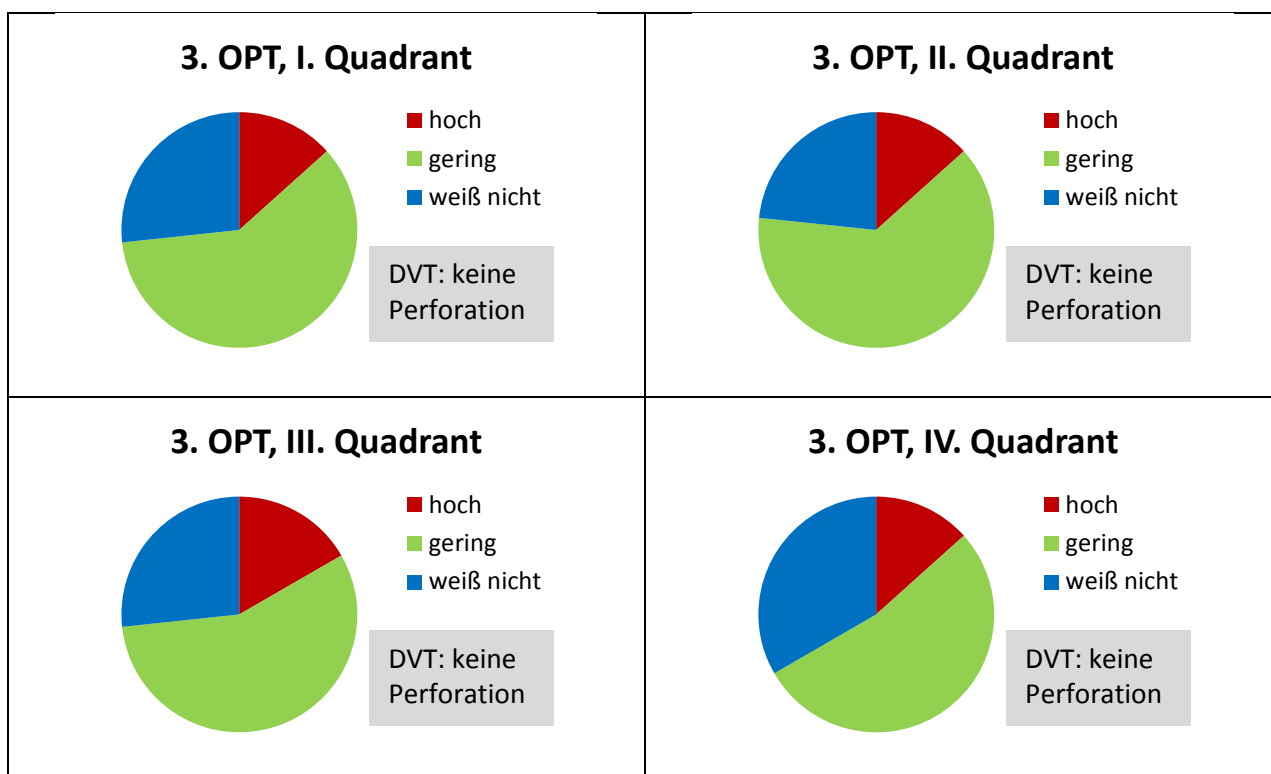


Abbildung 16: Jeweils Anteil der Probanden, die die Wahrscheinlichkeit der Perforation der Kortikalis im dritten OPT als „hoch“ (rot), „gering“ (grün) oder „weiß nicht“ (blau) angaben.

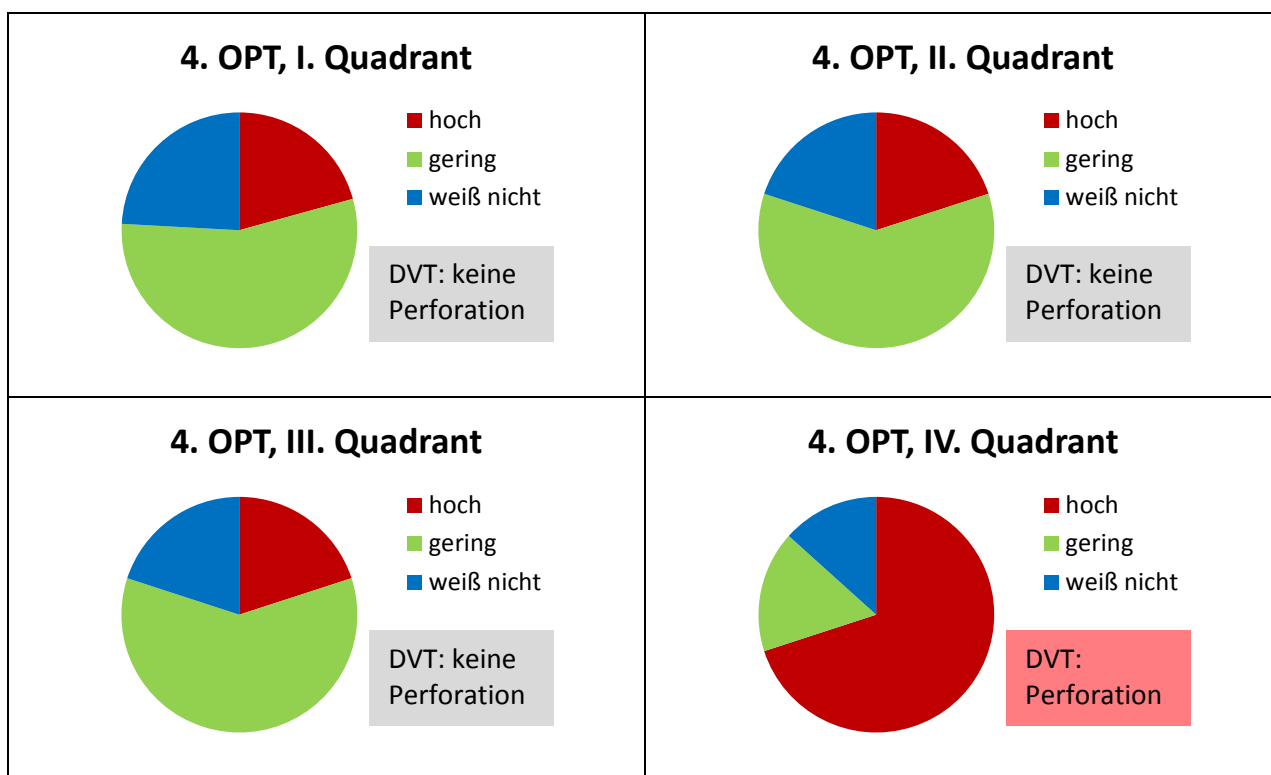


Abbildung 17: Jeweils Anteil der Probanden, die die Wahrscheinlichkeit der Perforation der Kortikalis im vierten OPT als „hoch“ (rot), „gering“ (grün) oder „weiß nicht“ (blau) angaben.

Im Folgenden werden die Abbildungen 14 bis 22 gemeinsam besprochen. Bei der Betrachtung von Abbildung 14 und 15 fällt auf, dass der mit Abstand größte Anteil an Probanden angab, dass sie die Wahrscheinlichkeit der perforierten Kortikalis als „gering“ einschätzten. Nur eine äußerst geringe Anzahl an Probanden hielt die Wahrscheinlichkeit der Perforation für „hoch“. Im DVT zeigte sich das gleiche Ergebnis. Es konnte gezeigt werden, dass keine Perforation der Kortikalis vorhanden war. Folglich stimmte die Mehrheit der Probanden in allen Quadranten mit der Auswertung des DVTs überein.

In den danach folgenden Abbildungen nimmt der Anteil derer, die die Wahrscheinlichkeit der Perforation als „hoch“ angaben, leicht zu. Dennoch überwiegt in fast allen Abbildungen die Anzahl derjenigen Probanden, die die Wahrscheinlichkeit der Perforation für „gering“ hielten. In Abbildung 17 zeigt das Diagramm des vierten Quadranten (4. OPT, IV) einen auffallend hohen Anteil an Probanden, die die Wahrscheinlichkeit der Perforation als „hoch“ einschätzten. Hier konnte im DVT tatsächlich eine Perforation gezeigt werden. In Abbildung 18 zeigen erneut drei Kreisdiagramme, dass ein Großteil der Probanden die Wahrscheinlichkeit der Perforation als „gering“ einschätzte. Das Diagramm des dritten Quadranten weist einen auffällig erhöhten Anteil derer auf, die die Wahrscheinlichkeit der Perforation als „hoch“ einschätzten. Im DVT konnte jedoch gezeigt werden, dass keine Perforation vorhanden war.

Eine ähnliche Situation besteht auch in Abbildung 19. In dem dritten Quadranten des sechsten OPTs konnte keine Perforation im DVT festgestellt werden, obwohl ein größerer Anteil an Probanden die Wahrscheinlichkeit einer Perforation als „hoch“ angab. In Abbildung 20 ist ebenfalls der Anteil an Probanden, der „gering“ angab, der größte. In Abbildung 21 fällt ein Kreisdiagramm auf, in dem ein erhöhter Anteil an Probanden die Wahrscheinlichkeit einer Perforation als „hoch“ angab. Im DVT konnte tatsächlich eine Perforation gezeigt werden. Abbildung 22 weist keine Besonderheiten auf.

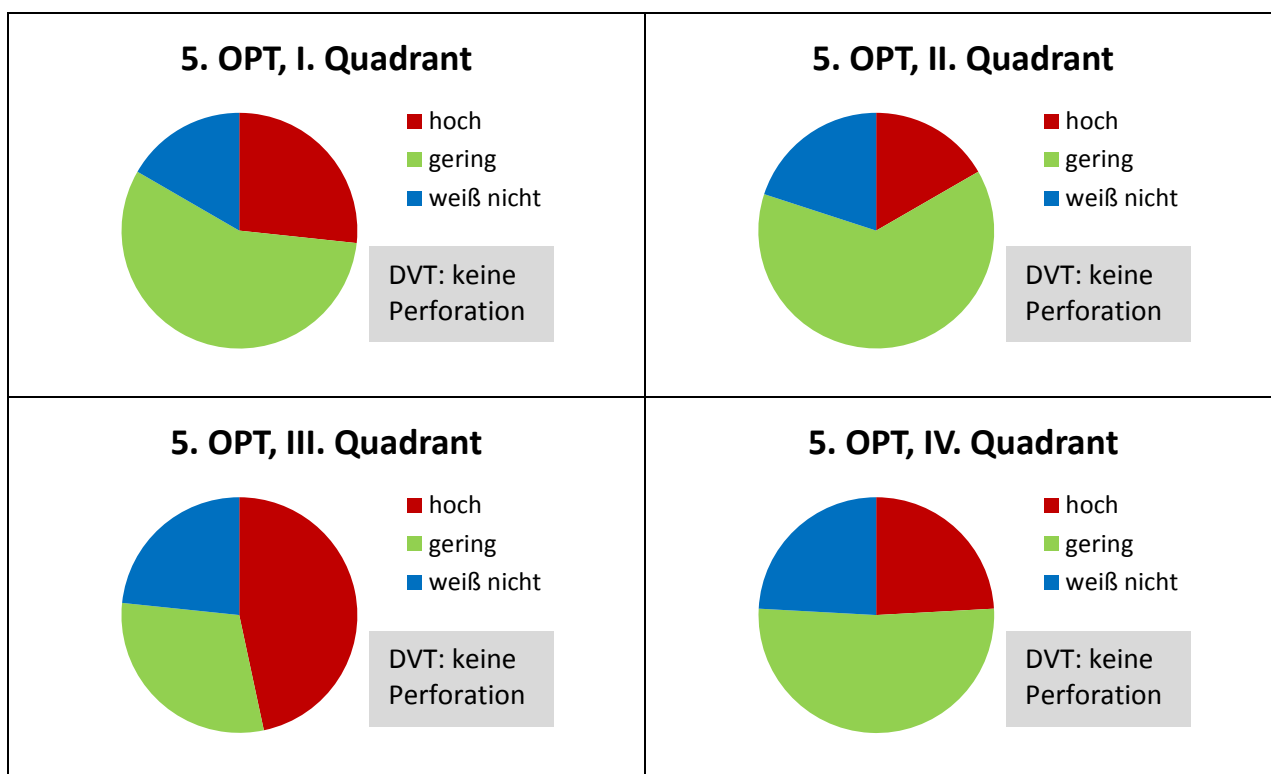


Abbildung 18: Jeweils Anteil der Probanden, die die Wahrscheinlichkeit der Perforation der Kortikalis im fünften OPT als „hoch“ (rot), „gering“ (grün) oder „weiß nicht“ (blau) angaben.

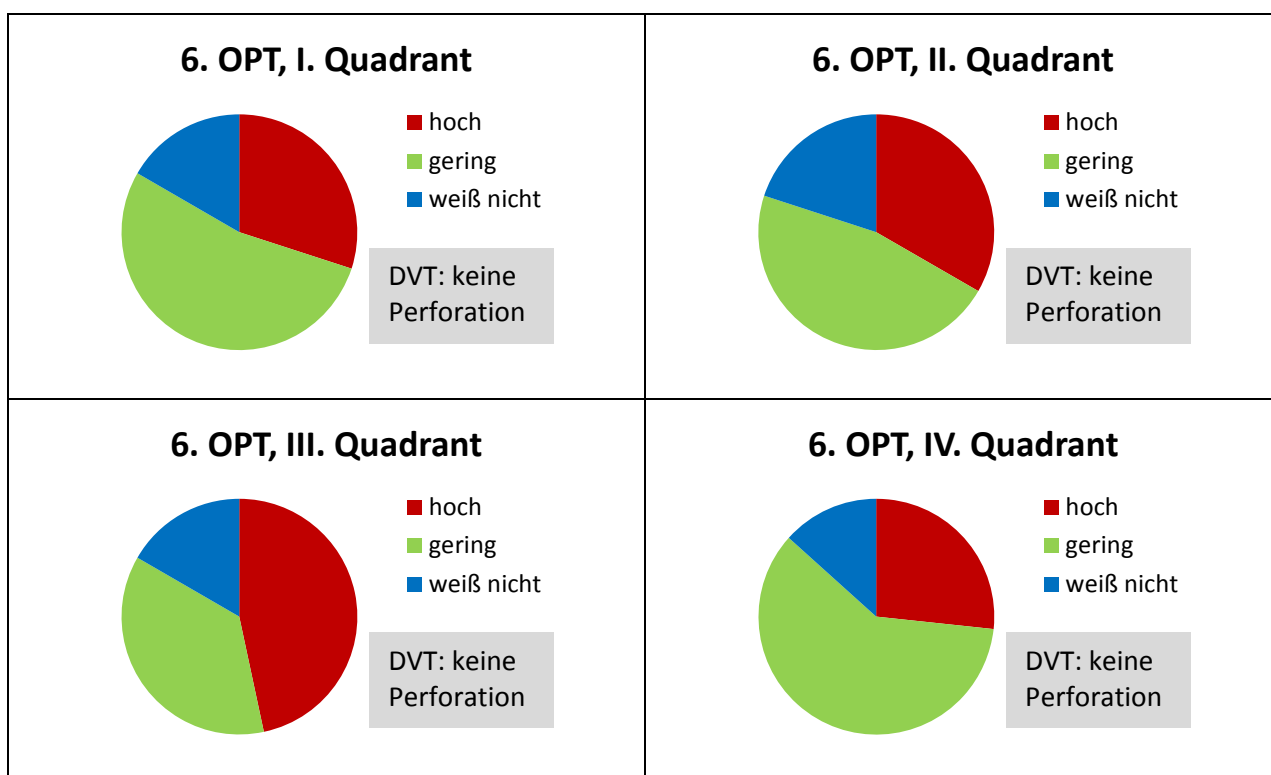


Abbildung 19: Jeweils Anteil der Probanden, die die Wahrscheinlichkeit der Perforation der Kortikalis im sechsten OPT als „hoch“ (rot), „gering“ (grün) oder „weiß nicht“ (blau) angaben.

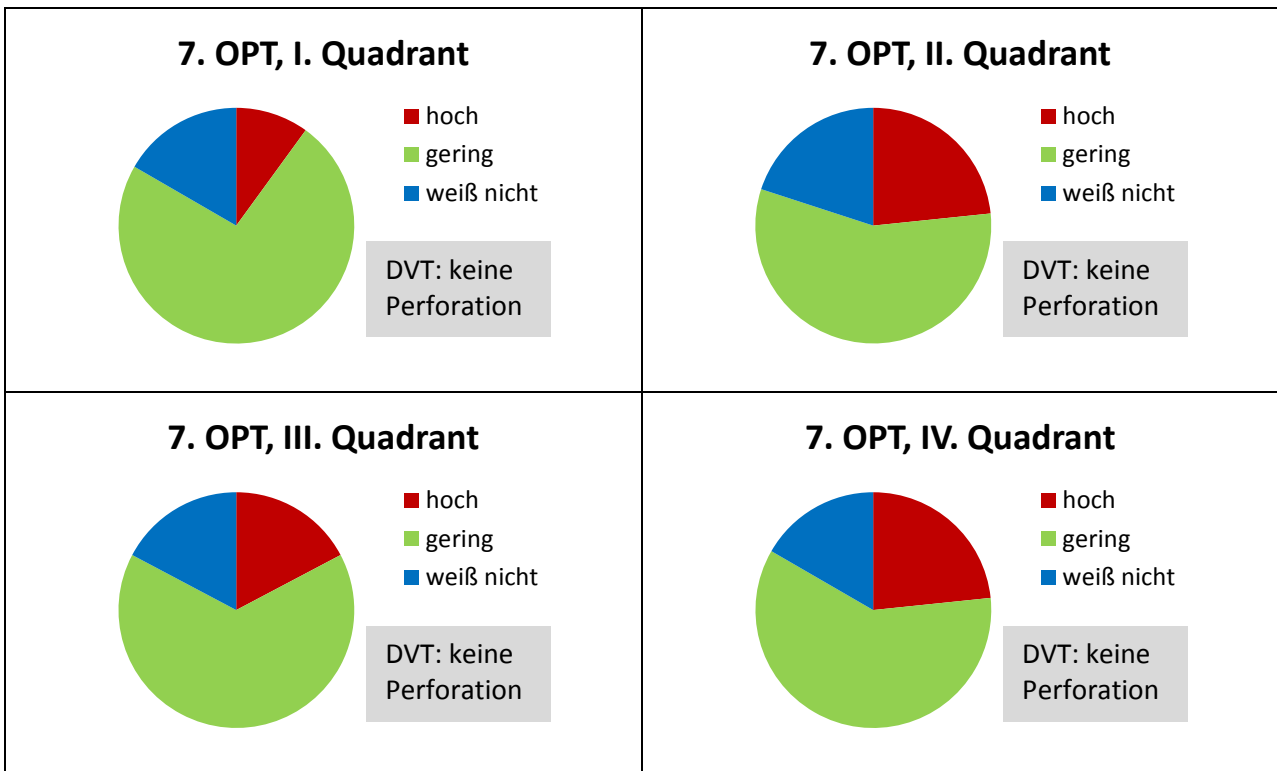


Abbildung 20: Jeweils Anteil der Probanden, die die Wahrscheinlichkeit der Perforation der Kortikalis im siebten OPT als „hoch“ (rot), „gering“ (grün) oder „weiß nicht“ (blau) angaben.

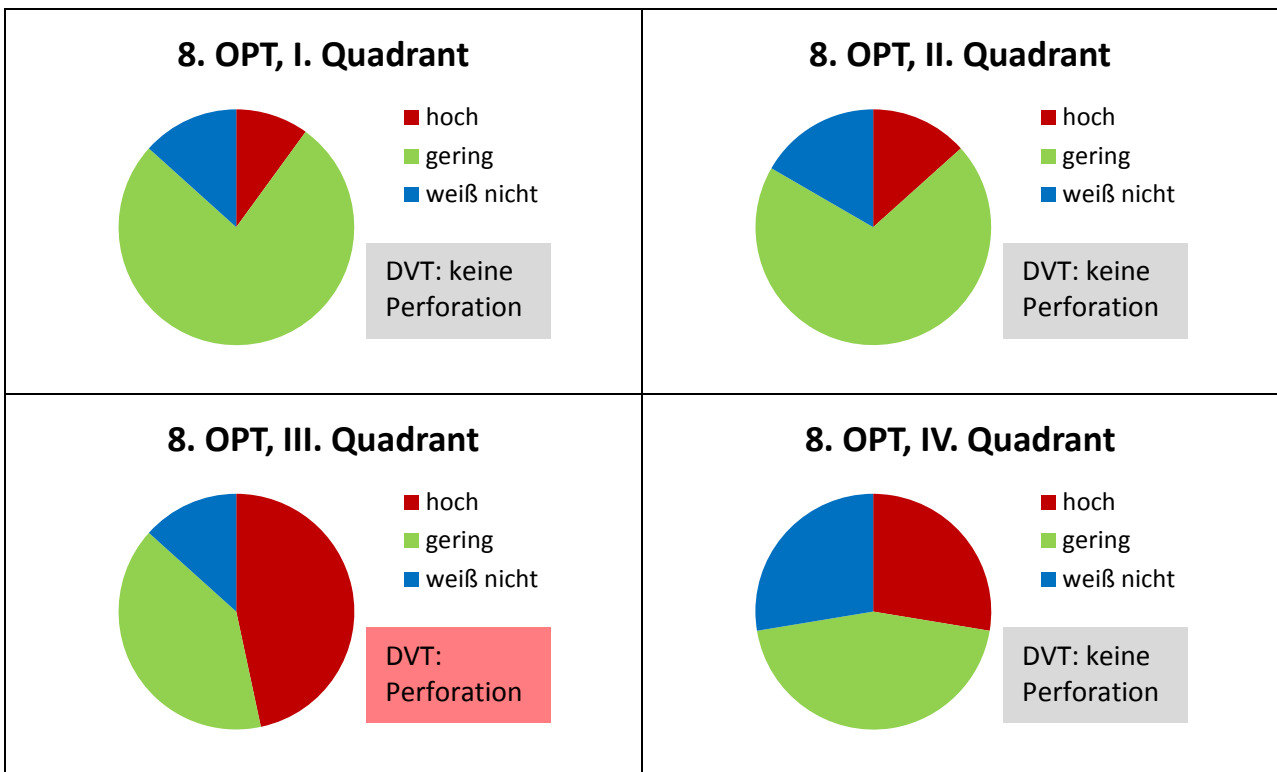


Abbildung 22: Jeweils Anteil der Probanden, die die Wahrscheinlichkeit der Perforation der Kortikalis im neunten OPT als „hoch“ (rot), „gering“ (grün) oder „weiß nicht“ (blau) angaben.



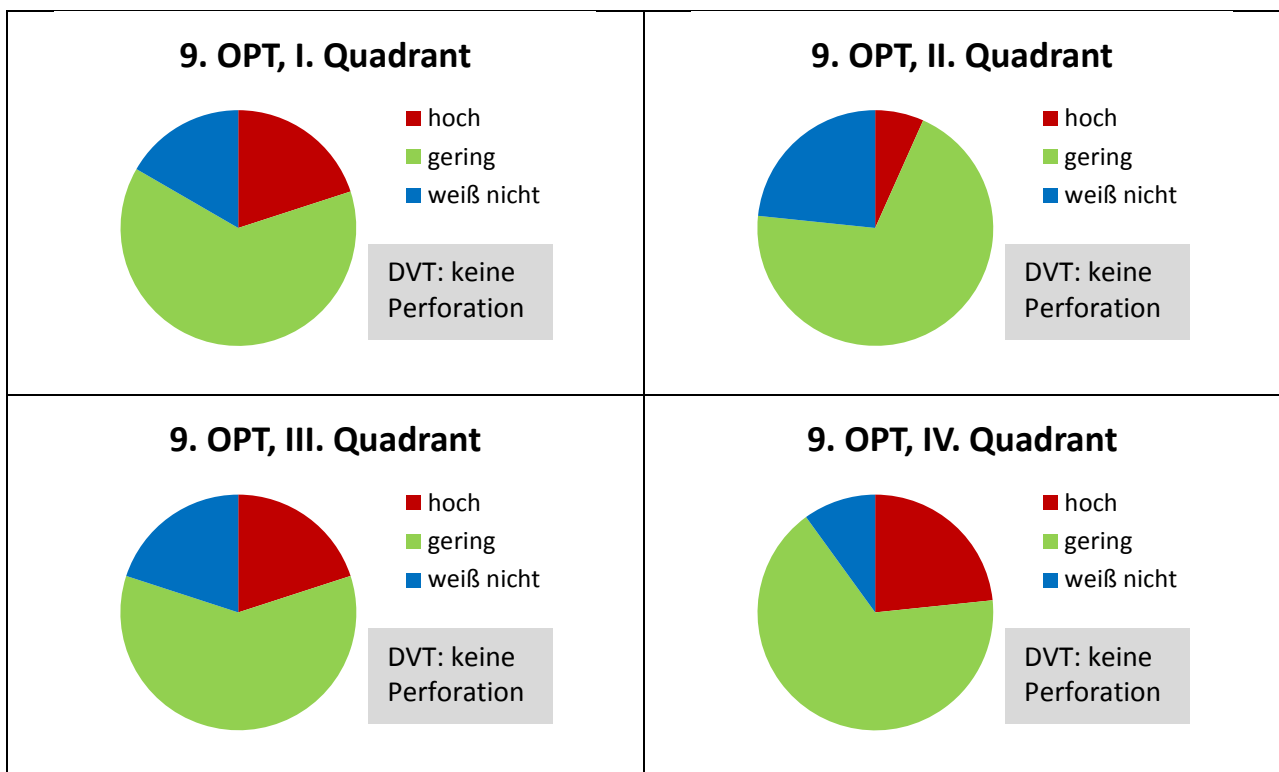


Abbildung 22: Jeweils Anteil der Probanden, die die Wahrscheinlichkeit der Perforation der Kortikalis im neunten OPT als „hoch“ (rot), „gering“ (grün) oder „weiß nicht“ (blau) angaben.

#### 4.2.1 Einschätzungen zur Perforation der gegenüberliegenden Kortikalis

Abbildungen 14 bis 22 zeigen, dass viele Probanden die Wahrscheinlichkeit einer Perforation der gegenüberliegende Kortikalis im Allgemeinen als eher „gering“ einstufen. Mit Hilfe des DVTs konnte diese Einschätzung bestätigt werden. Nur in zwei Fällen wurde die gegenüberliegende Kortikalis perforiert, und zwar im vierten Quadranten des vierten OPTs und im dritten Quadranten des achten OPTs. In diesen Fällen erkannte ein Großteil der Probanden diese Perforation.

### 4.3 Position der Minischraube in Bezug zum Sinus maxillaris bzw. Nervus alveolaris inferior

Die Probanden sollten in dem Bewertungsbogen den Abstand zum Sinus maxillaris bzw. zum Nervus alveolaris inferior am OPT mit Hilfe eines Endolineals ausmessen und eintragen. Diese Einschätzungen sollten mit denen der Experimentatorin sowie mit den Werten des DVTs verglichen werden. Um diesen Vergleich zu veranschaulichen, wurden Box-Plots verwendet (Beispieldarstellung siehe Abbildung 23). Box-Plots ermöglichen das Ablesen des Medianwerts sowie des Interquartilsabstandes. Der Interquartilsabstand gibt den Wertebereich an, in dem sich die mittleren 50 % der Daten befinden (Ausdehnung der Box). Die Darstellung lässt daher Rückschlüsse auf die Streuung eines Großteils der Probanden zu. Die Länge der Whisker (Antennen) ist auf maximal das 1,5-Fache des Interquartilsabstands beschränkt. Liegen keine Werte außerhalb dieser Grenze, befindet sich am Ende der Whisker das Maximum bzw. Minimum. Andernfalls werden die Werte außerhalb der Whisker als Ausreißer eingetragen. Diese Ausreißer werden als Sternchen dargestellt. Signifikante Unterschiede zwischen zwei Probandengruppen werden durch eine Klammer zwischen den jeweiligen Box-Plots und einem +-Zeichen markiert ( $\overline{+}$ ). Ist keine Klammer vorhanden, handelt es sich um nicht signifikante Unterschiede.

Zunächst wurde untersucht, ob Unterschiede zwischen den drei Gruppen 1.) Kieferorthopäden, 2.) Oral- oder Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgen und 3.) Studenten in der Beurteilung der Distanz zum Sinus maxillaris bzw. Nervus alveolaris inferior bestanden. Abbildung 24 zeigt exemplarisch anhand der ersten Quadranten aller neun OPTs die Einschätzungen der drei untersuchten Gruppen im Vergleich.

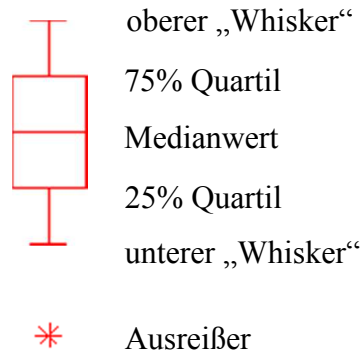


Abbildung 23: Beispiel zur Erklärung eines Box-Plots. Erläuterung siehe 4.3.

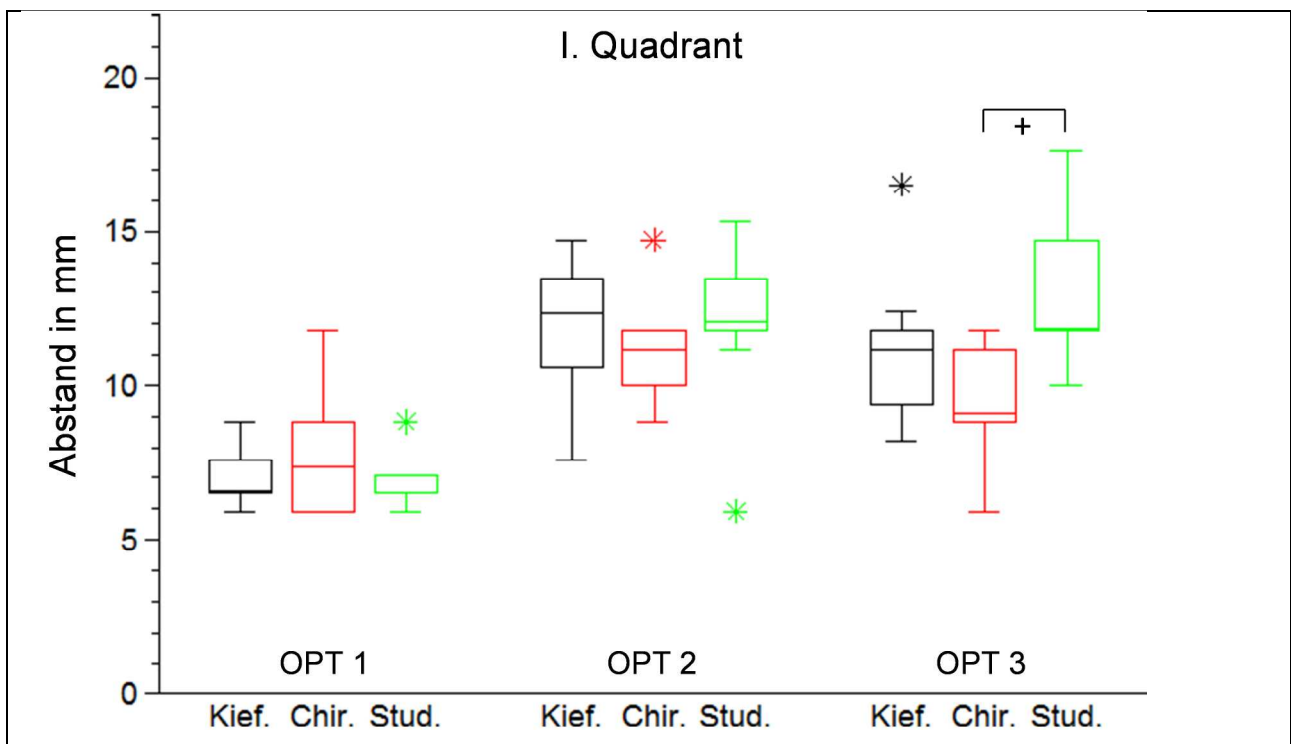


Abbildung 24a: Beurteilungen des Abstandes zwischen Minischraube und Sinus maxillaris im ersten Quadranten an OPT 1, 2 und 3 durch Kieferorthopäden (schwarz), Chirurgen (rot) und Studenten (grün). Kief. = Kieferorthopäden, Chir. = Chirurgen, Stud. = Studenten,  $\overline{+}$  = signifikanter Unterschied zwischen zwei Gruppen. Fortsetzung nächste Seite.

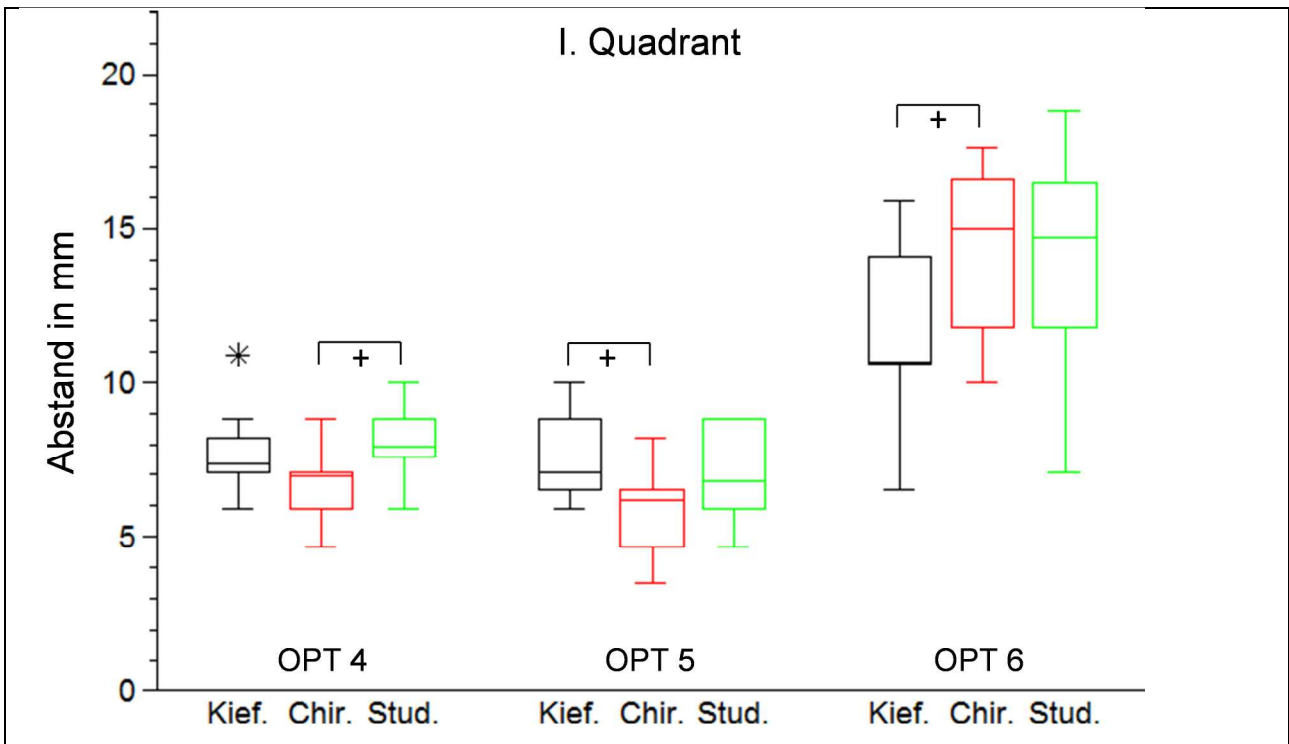


Abbildung 24b: (Fortsetzung)

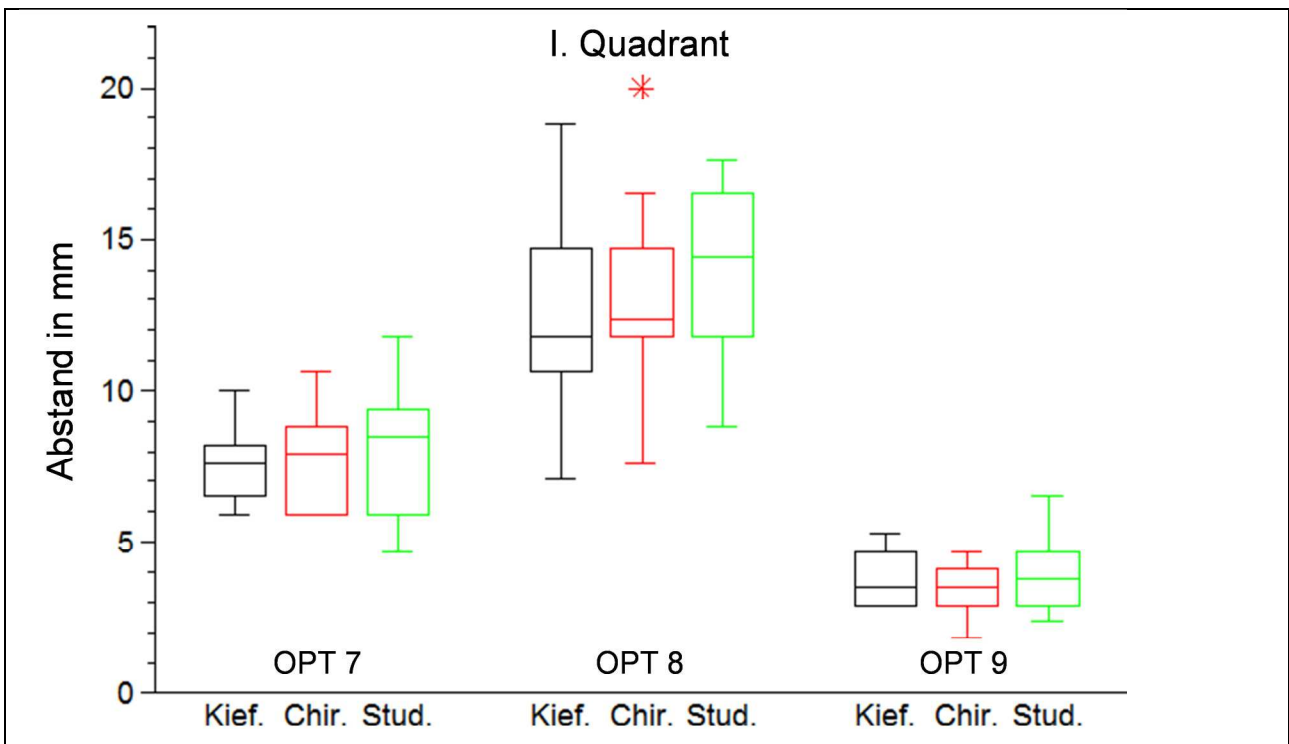


Abbildung 24c: (Fortsetzung)

Abbildung 24 zeigt graphisch am Beispiel des ersten Quadranten aller neun OPTs, dass die Beurteilungen der Gruppen der Kieferorthopäden, der Oral- oder Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgen und der Studenten im Vergleich in den meisten Fällen eng beieinander lagen. Anhand des t-Tests, der für alle Quadranten durchgeführt wurde, konnte diese Aussage bestätigt werden. In 97 von 108 durchgeführten t-Tests waren keine signifikanten Unterschiede feststellbar (siehe Anhang: Tabelle 3). Bei den elf Fällen, bei denen signifikante Unterschiede vorhanden waren, konnte keine Regelmäßigkeit in diesen Abweichungen erkannt werden. Im Weiteren werden daher diese drei Gruppen zu einer Gesamtgruppe zusammengefasst.

Im Folgenden soll ein Vergleich der Auswertungen dieser Gesamtgruppe von Probanden zum DVT sowie zu den eigenen Beurteilungen (Experimentatorin) gezogen werden. Dazu dient erneut die graphische Darstellung in Form von Box-Plots. Die folgenden Abbildungen 25 bis 28 stellen die Einschätzungen graphisch nebeneinander dar. Sie zeigen jeweils die Gruppe der Probanden im Vergleich zur Auswertung der Experimentatorin sowie zu dem Wert, der im DVT bestimmt wurde. Zunächst werden die Box-Plots für die ersten Quadranten aller OPTs der Reihenfolge nach in Abbildung 25 dargestellt und direkt im Anschluss besprochen. Für die folgenden Quadranten II, III und IV wird analog vorgegangen. Bei der Betrachtung muss berücksichtigt werden, dass 30 Werte von 30 verschiedenen Probanden, 10 Werte einer Experimentatorin und ein Wert des DVTs gegenübergestellt werden. Aus diesem Grund variiert die Streubreite der Werte. Der Medianwert wird zum Vergleich dienen.

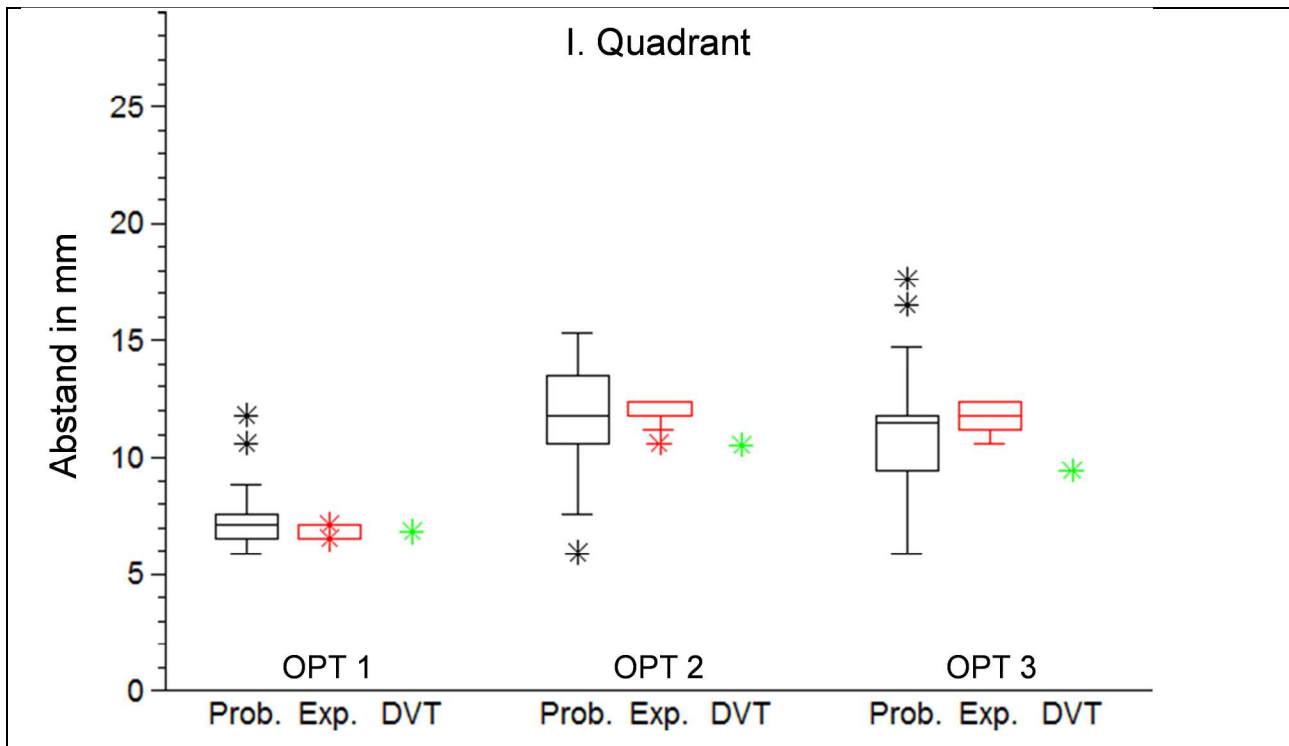


Abbildung 25a: Beurteilung des Abstandes zwischen Minischraube und Sinus maxillaris durch Probanden (schwarz) und Experimentator (rot) anhand des OPTs im Vergleich zum Wert des DVTs (grün). Prob. = Probandengruppe, Exp. = Experimentatorin, DVT = Digitale Volumentomographie,  $\boxed{+}$  = signifikanter Unterschied. Fortsetzung unten/nächste Seite.

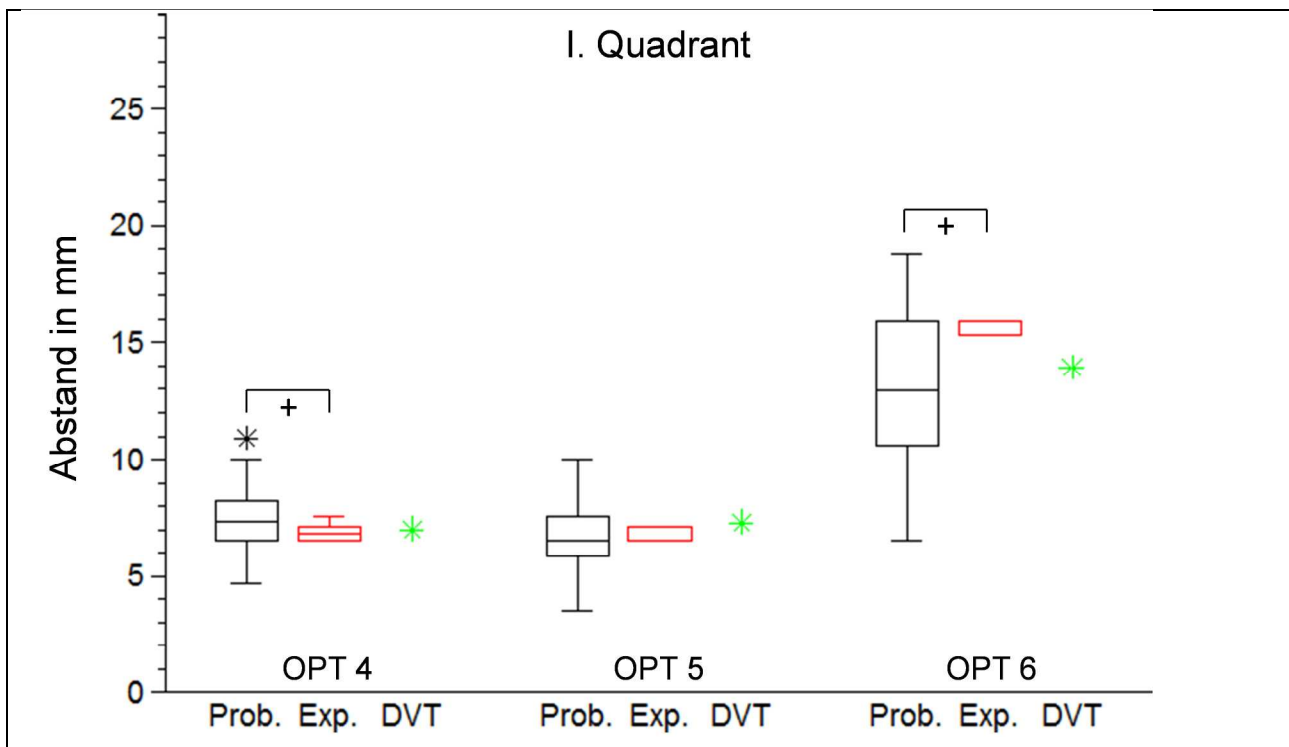


Abbildung 25b: (Fortsetzung)

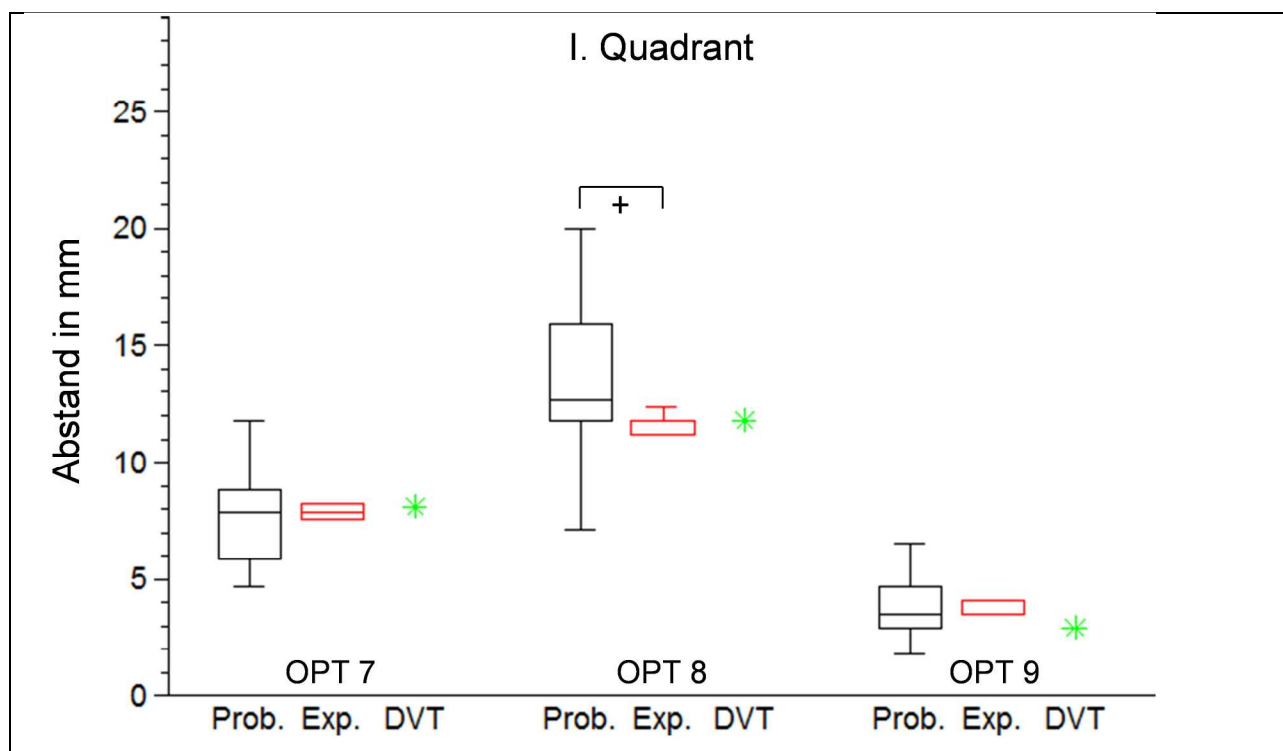


Abbildung 25c: (Fortsetzung)

Betrachtet man in Abbildung 25 die Angaben für das erste OPT, liegt der Medianwert der Probanden, der Experimentatorin wie auch der Wert des DVTs recht genau auf derselben Höhe. Die Probanden und die Experimentatorin konnten anhand des OPTs die Entfernung der Minischraube zum Sinus maxillaris offensichtlich gut einschätzen. Im Gegensatz hierzu fällt in der Darstellung des zweiten und dritten OPTs die größere Streubreite der Probandengruppe ins Auge. Zudem befindet sich in beiden Fällen der Wert des DVTs auf Höhe des ersten Quartils von der Probandengruppe. Ein Viertel der Probanden unterschätzte und drei Viertel überschätzte also den Abstand zum Sinus maxillaris. In beiden gerade genannten Fällen liegen die eigenen Einschätzungen oberhalb des Medianwertes der Probandengruppe.

In der Darstellung für das vierte und fünfte OPT sind nur geringe Diskrepanzen zwischen Probanden, Experimentatorin und DVT zu erkennen. Im sechsten OPT fällt erneut die Streubreite der Probandengruppe ins Auge. Die eigenen Auswertungen fielen im Schnitt größer aus als die Werte der Probanden. Der Wert des DVTs liegt zwischen dem Medianwert und dem 75 %-Quartil der Probandengruppe. Im siebten OPT stimmen die drei Werte nahezu überein. Demgegenüber fielen im achten OPT die Einschätzungen der Probanden sehr unterschiedlich aus. Das 25 %-Quartil der Probanden entspricht im Wert in etwa den eigenen Auswertungen sowie dem Wert des DVTs. Im neunten OPT wurde die Distanz von den Untersuchern im Vergleich zum DVT gut eingeschätzt.

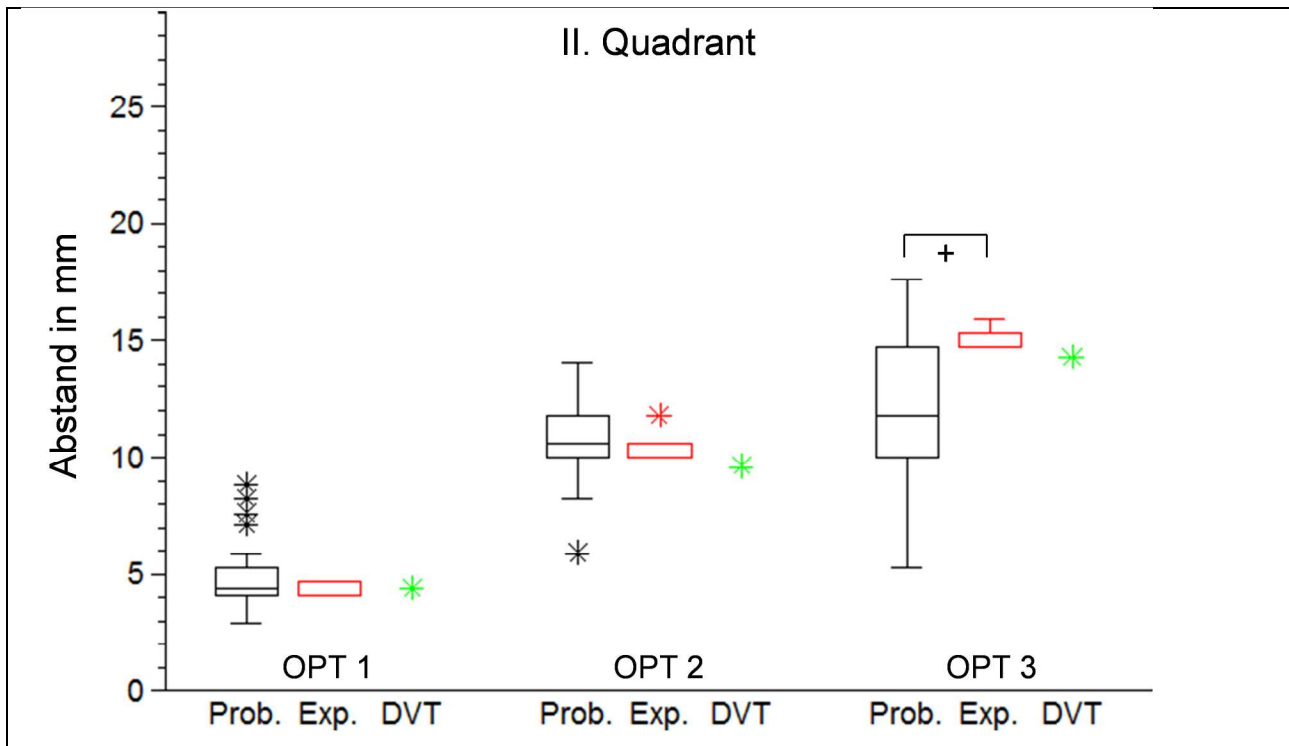


Abbildung 26a: Beurteilung des Abstandes zwischen Minischraube und Sinus maxillaris durch Probanden (schwarz) und Experimentator (rot) anhand des OPTs im Vergleich zum Wert des DVTs (grün). Prob. = Probandengruppe, Exp. = Experimentatorin, DVT = Digitale Volumentomographie,  $\boxed{+}$  = signifikanter Unterschied. Fortsetzung unten/nächste Seite.

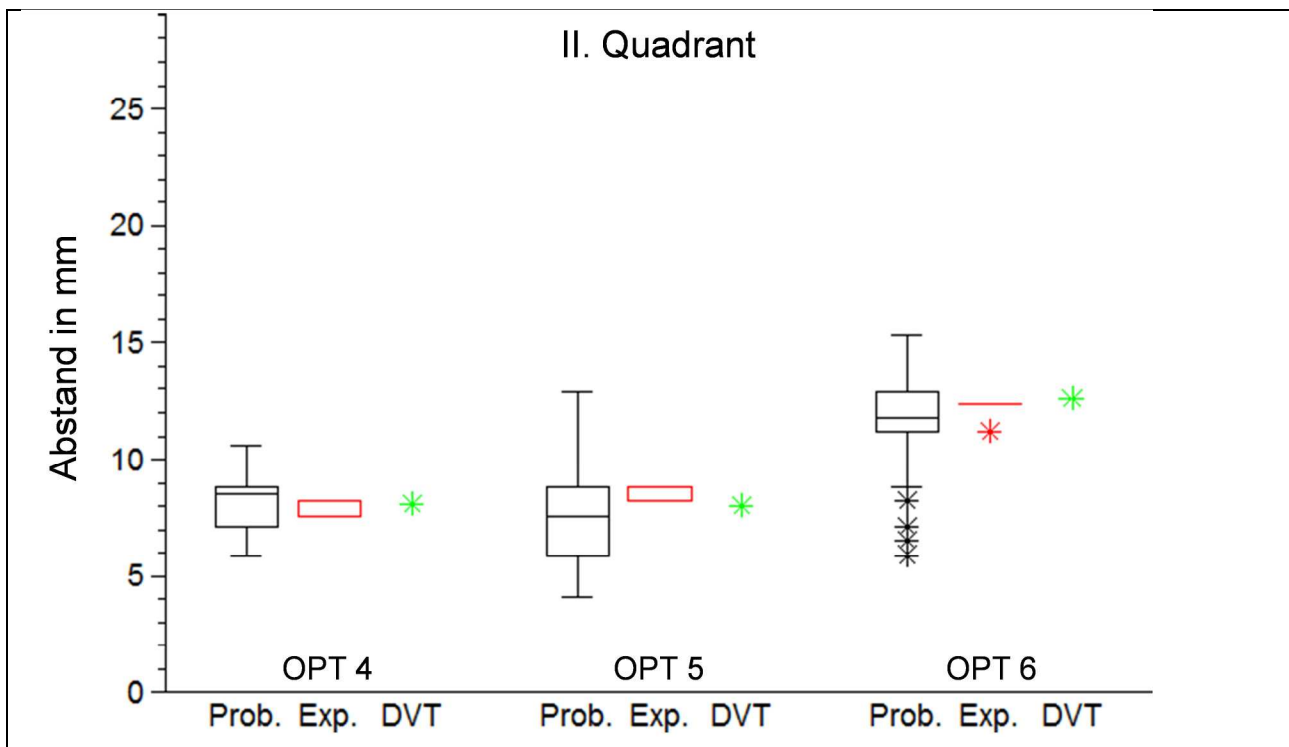


Abbildung 26b: (Fortsetzung)



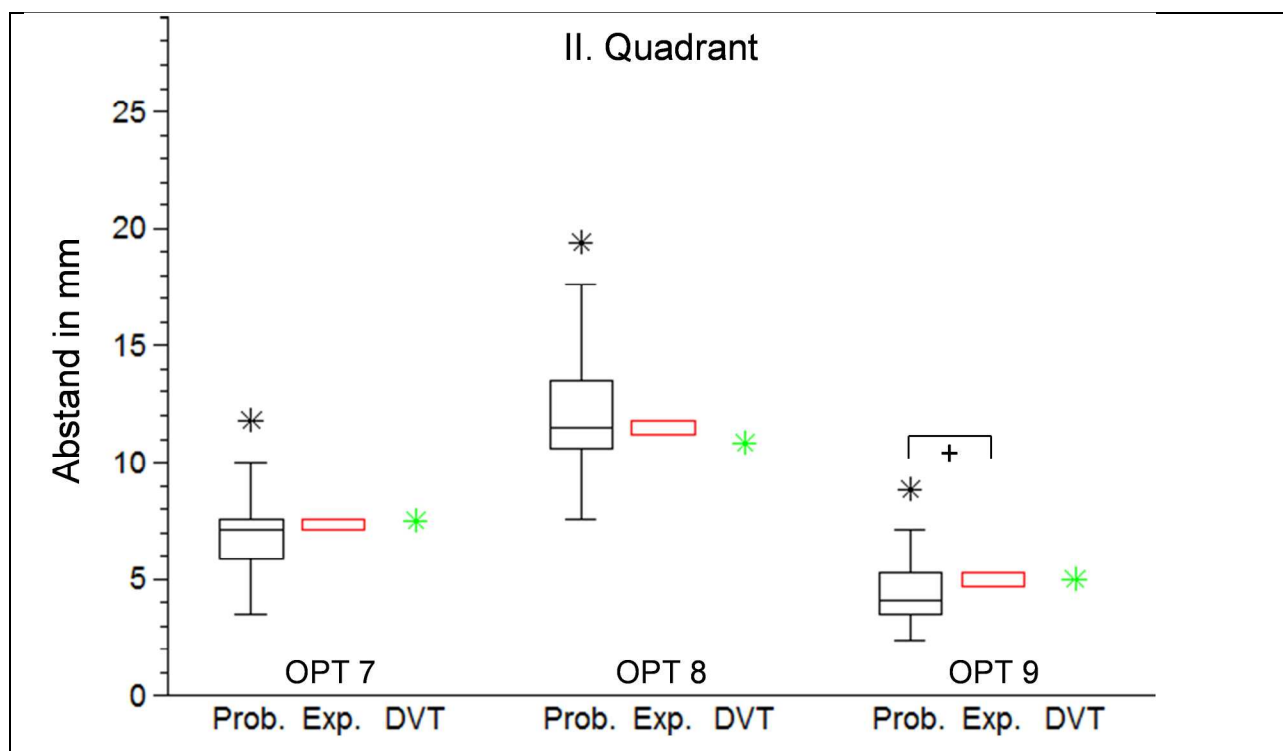


Abbildung 26c: (Fortsetzung)

Abbildung 26 zeigt die Einschätzungen bzw. Ausmessungen für alle Minischrauben des zweiten Quadranten. Im ersten OPT stimmen im Allgemeinen die Einschätzungen der Probanden mit den eigenen Beurteilungen sowie mit der Ausmessung des DVTs überein. Unter den Probanden befanden sich aber auch einige Ausreißer, die die Distanz deutlich höher einschätzten. In der Graphik für das zweite OPT liegt der Medianwert der Probanden sowie des Experimentators gering (etwa 1mm) oberhalb des Wertes, welcher im DVT bestimmt wurde. Im dritten OPT ist die Spannbreite der Werte in der Probandengruppe auffällig groß. Vergleicht man die Gruppe der Probanden zunächst mit der Beurteilung der Experimentatorin, fällt auf, dass diese die Distanz als größer bewertete. Ihre Angaben befinden sich nämlich geringfügig oberhalb des 75 %-Quartils. Zieht man nun den Vergleich zum Wert des DVTs, welcher auf Höhe des 75 %-Quartils liegt, trifft diese Einschätzung der Experimentatorin zu. Im vierten OPT wurde die Distanz zwischen Minischraube und Wurzel von allen Beteiligten im Vergleich zum DVT sehr exakt beurteilt. Im fünften OPT differierten die Probanden in ihren Angaben, die Streuung der Werte ist etwas erhöht. Die eigenen Angaben zur Beurteilung der Entfernung zum Sinus maxillaris fielen geringfügig größer aus. Dennoch liegen beide, sowohl der Median der Probanden als auch die Werte der Experimentatorin in der Nähe des Wertes des DVTs.

Im sechsten OPT wurde von der Mehrheit der Probanden die Distanz zum Sinus maxillaris ähnlich eingeschätzt wie es auch im DVT ausgemessen wurde. Der Median der Probanden liegt nur leicht unterhalb des DVT-Wertes, die eigenen Beurteilungen liegen ungefähr auf Höhe dieses Wertes. Dennoch existierten in diesem Beispiel auffallend viele Probanden, die die Entfernung deutlich geringer einschätzten. Im siebten OPT liegen die eigenen Angaben geringfügig höher als der Medianwert der Probanden. Die Ausmessung des DVTs ergab einen Wert, der auf Höhe des 3.Quartils der Probandengruppe liegt, d.h. 75 % der Probanden schätzte die Distanz als mehr oder weniger geringer ein.

Im achten Quadranten ist ersichtlich, dass die Angaben der Probanden erneut sehr differieren. Der Medianwert der Probanden sowie die eigenen Einschätzungen stimmen aber überein und liegen nur geringfügig oberhalb des DVT-Wertes. Im letzten, nämlich dem neunten OPT, liegt der Medianwert der Probanden unterhalb des im DVT bestimmten Wertes. Die Einschätzung der Experimentatorin stimmt jedoch mit der Ausmessung des DVTs überein.

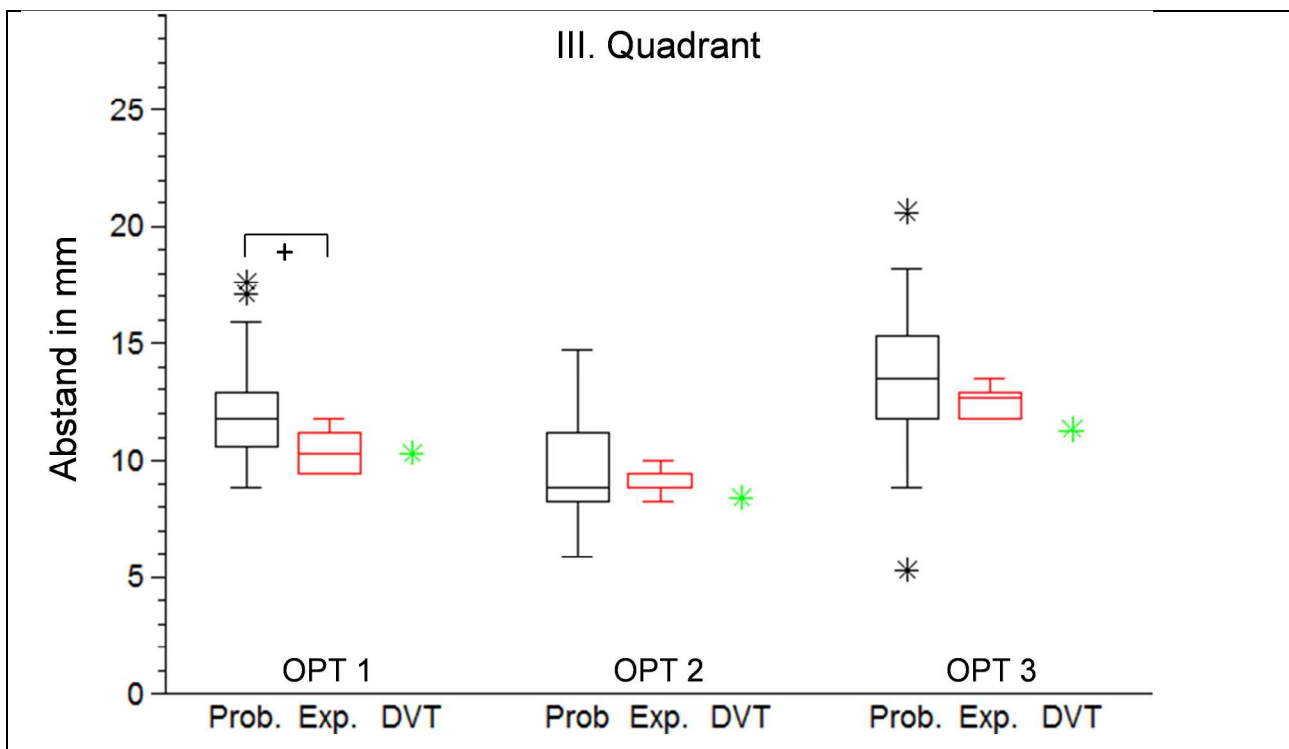


Abbildung 27a: Beurteilung des Abstandes zwischen Minischraube und Nervus alveolaris inferior durch Probanden (schwarz) und Experimentator (rot) anhand des OPTs im Vergleich zum Wert des DVTs (grün). Prob. = Probandengruppe, Exp. = Experimentatorin, DVT = Digitale Volumentomographie,  $\boxed{+}$  = signifikanter Unterschied. Fortsetzung nächste Seite.

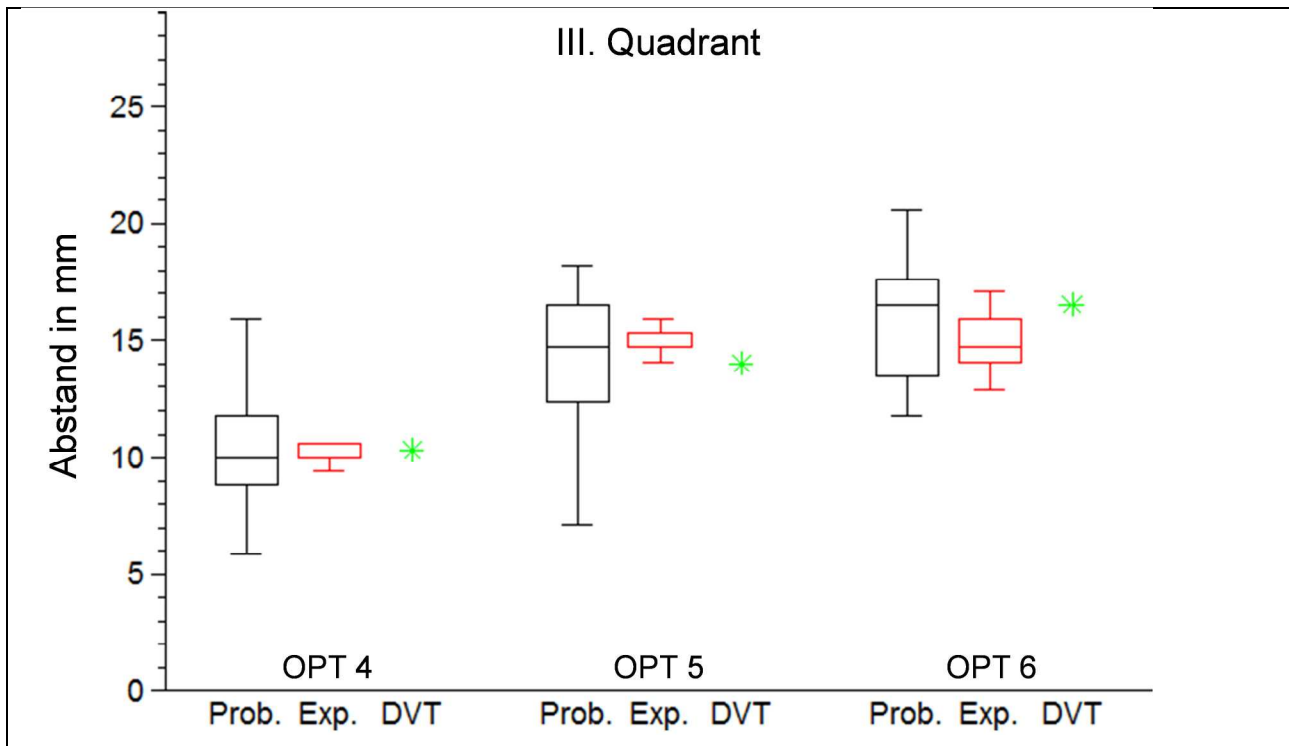


Abbildung 27b: (Fortsetzung)

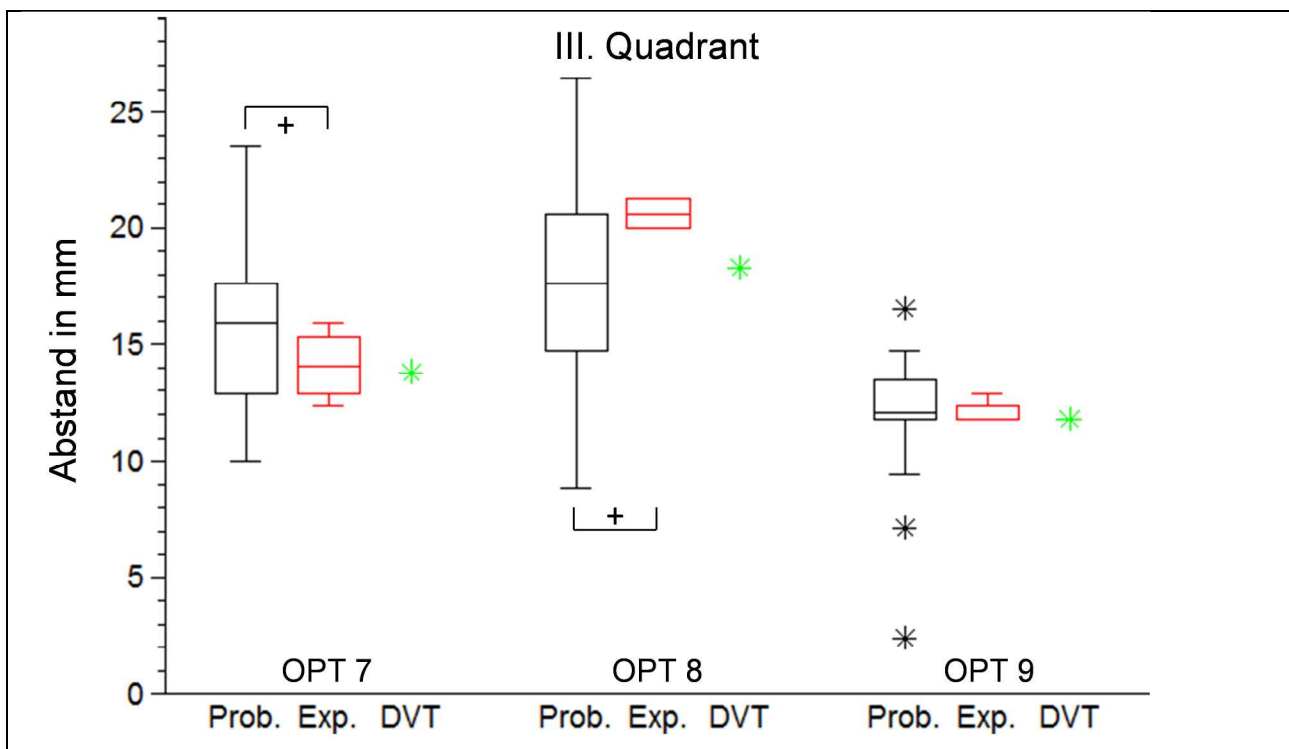


Abbildung 27c: (Fortsetzung)

In Abbildung 27 zeigen die Box-Plots der Probanden im Allgemeinen eine größere Streubreite als in den vorherigen Abbildungen für die oberen Quadranten. Außerdem stimmt die Bewertung der Experimentatorin seltener mit dem Median der Probanden exakt überein. Im ersten OPT liegen der Median der eigenen Auswertungen sowie der Wert des DVTs auf derselben Höhe. Allerdings schwanken die eigenen Bewertungen im Vergleich zu vorangegangenen Abbildungen stärker. Der Medianwert der Probanden liegt im Vergleich zum DVT höher. Im zweiten OPT befindet sich der Median der Probanden auf der Höhe des DVT-Wertes, die eigenen Einschätzungen fielen geringfügig größer aus. Im dritten OPT wurde die Distanz sowohl von den Probanden als auch von der Experimentatorin überschätzt. Betrachtet man die Graphen für das vierte sowie fünfte OPT, ist ersichtlich, dass jeweils alle Angaben gut übereinstimmen, solange man jeweils den Median vergleicht. Dennoch ist die Streuung der Probandengruppe groß. Im sechsten OPT fallen die Angaben der Experimentatorin unterschiedlich aus. Im siebten sowie achten OPT ist die Streuung der Probandengruppe extrem groß. Im neunten OPT stimmen die Werte erneut gut überein, dennoch existieren auch hier einige Ausreißer.

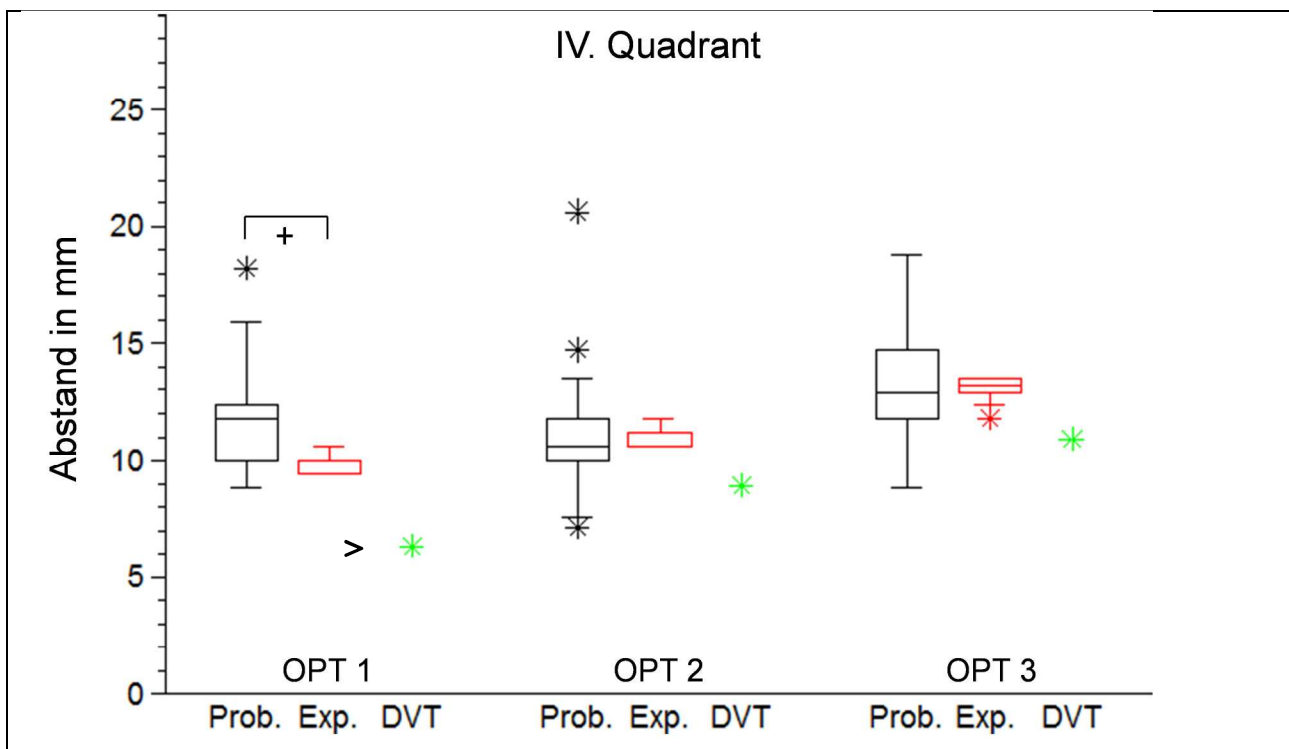


Abbildung 28a: Beurteilung des Abstandes zwischen Minischraube und Nervus alveolaris inferior durch Probanden (schwarz) und Experimentator (rot) anhand des OPTs im Vergleich zum Wert des DVTs (grün). Prob. = Probandengruppe, Exp. = Experimentatorin, DVT = Digitale Volumentomographie,  $\overline{+}$  = signifikanter Unterschied, > Mindestdistanz. Fortsetzung nächste Seite.

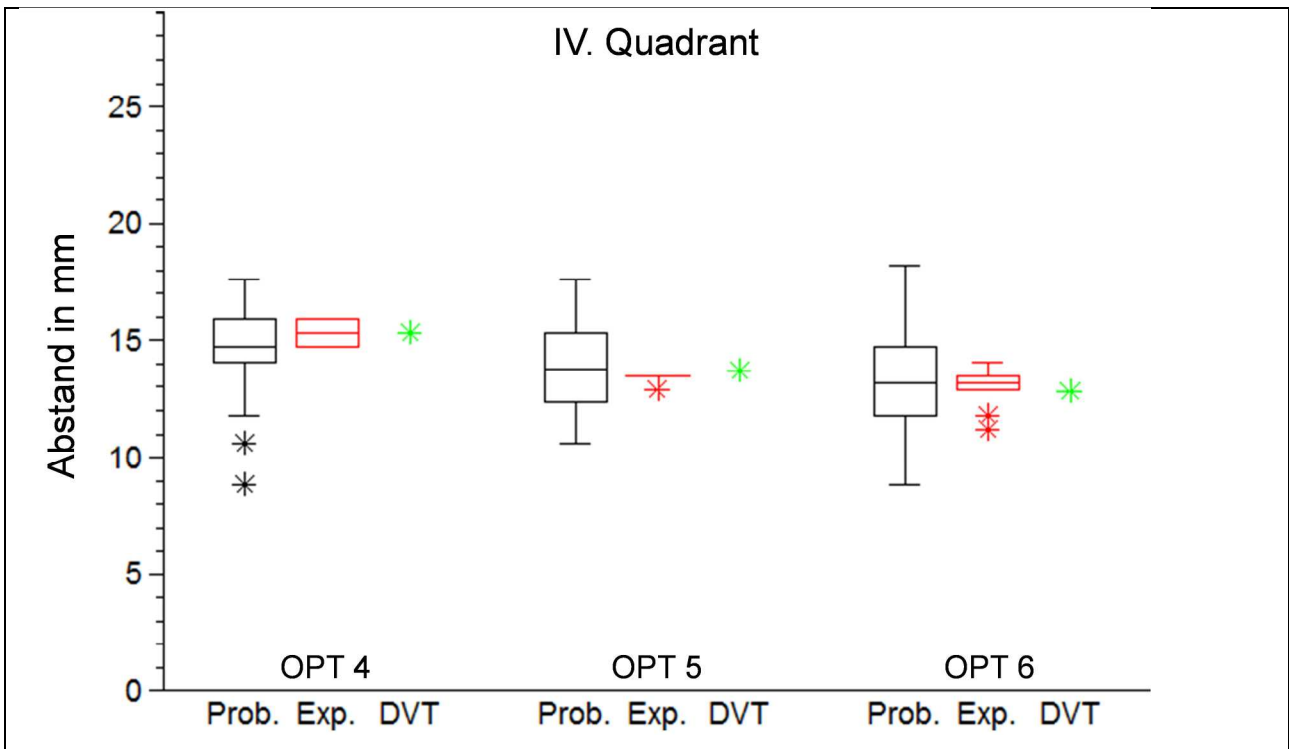


Abbildung 28b: (Fortsetzung)

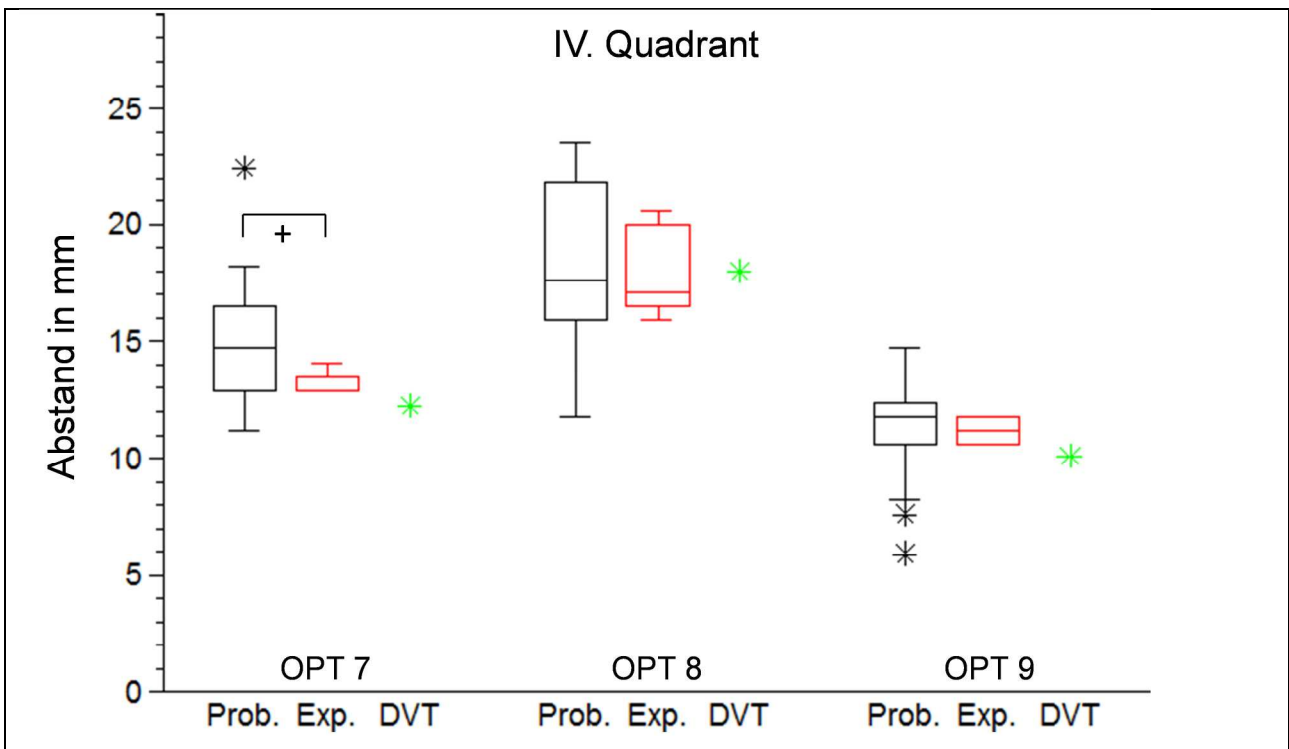


Abbildung 28c: (Fortsetzung)

Im Folgenden soll die Abbildung 28 beschrieben werden (Beurteilungen der Minischrauben im vierten Quadranten). Im ersten DVT war eine exakte Ausmessung der Entfernung zum Nerv nicht möglich, da er nicht dargestellt werden konnte. Es ist anhand des DVTs zwar anzunehmen, dass die Entfernung größer als 6,3 mm war, dieser Wert kann allerdings nicht verglichen werden. Im zweiten sowie im dritten OPT wurde die Distanz sowohl von den Probanden als auch von der Experimentatorin um ca. 2 mm überschätzt. Der Box-Plot der Probanden des zweiten OPTs weist auffällig große Ausreißer auf.

Im vierten, fünften und sechsten OPT stimmen die eigenen Beurteilungen ungefähr mit dem Medianwert der Probandengruppe überein. Zieht man den Vergleich zum DVT, fällt auch hier auf, dass die Werte des OPTs nur geringfügig von dem im DVT bestimmten Wert abweichen. Im siebten OPT schätzten Probanden und Experimentatorin die Distanz höher ein als sie tatsächlich im DVT gemessen wurde. Im achten OPT fällt zunächst die große Streubreite der eigenen Auswertungen auf. In keinen bisher aufgeführten Abbildungen variierten die Angaben so stark wie in diesem Fall. Offensichtlich war es nicht möglich, den Referenzpunkt eindeutig festzulegen. Dies erklärt auch die große Streuung innerhalb der Probandengruppe. Im neunten OPT ist der Interquartilsabstand gering. Das heißt, ein Großteil der Probanden schätzte die Distanz ähnlich ein. Die Entfernung wurde jedoch tendenziell zu hoch gegenüber dem DVT eingeschätzt.

#### **4.3.1 Einschätzungen des Abstandes: Minischraube und Sinus maxillaris bzw. Nervus alveolaris inferior**

Die vorangegangenen Abbildungen veranschaulichen, wie der Abstand zwischen Minischraube und Sinus maxillaris bzw. Nervus alveolaris inferior von den Probanden sowie der Experimentatorin anhand der OPTs im Vergleich zum DVT eingeschätzt wird. Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % konnte in den überwiegenden Fällen kein signifikanter Unterschied zwischen den Beurteilungen der Probanden und den eigenen Auswertungen erkannt werden (siehe Abbildung 25 bis 28 sowie Anhang: Tabelle 4). Beim Vergleich der Differenzen der Medianwerte der Probanden und der Experimentatorin untereinander sowie mit dem DVT wurde anhand des t-Tests für verbundene Stichproben ebenfalls gezeigt, dass zwischen Probanden und Experimentatorin keine signifikanten Unterschiede bestanden. Im Vergleich zum DVT konnten aber signifikante Unterschiede festgestellt werden (siehe Anhang: Tabelle 5).

## **5 Diskussion**

In dieser Studie wurde der Frage nachgegangen, wie gut mit Hilfe des OPTs die Position einer Minischraube beurteilt werden kann. Dazu wurde das OPT hinsichtlich seiner diagnostischen Möglichkeiten mit dem DVT verglichen. Es sollte überprüft werden, ob die am OPT durchgeführte Diagnostik eine exakte Beurteilung der Schraubenposition zulässt und ob diese von am DVT durchgeführten Messungen abweicht. Zudem wurde untersucht, ob Probanden unterschiedlicher Bereiche anhand derselben röntgenologischen Aufnahmen zu den gleichen Beurteilungen gelangen.

### **5.1 Vergleichbarkeit des Orthopantomogramms vom mazerierten Schädel und vom Menschen**

Aus strahlenhygienischen Gründen wurden in dieser Studie mazerierte Schädel verwendet, um dieselbe Gebissituation sowohl im OPT als auch im DVT darzustellen. Die fehlende Weichteilbedeckung am mazerierten Schädel führt im Röntgenbild zu einer Aufhellung. Dieser Tatsache wurde durch eine verringerte Röhrenspannung von 62 kV, einer Stromstärke von 8 mA und einer Belichtungszeit von 13,2 s Rechnung getragen. Um eine optimale Positionierung des mazerierten Schädels im Röntgengerät zu erreichen, wurde er mit Hilfe eines Stativs, der Subnasalstütze sowie der Stirnstütze in seiner Lage fixiert. Dennoch entspricht das OPT vom mazerierten Schädel nicht vollkommen einem am Patienten angefertigten OPT. Es wäre wünschenswert gewesen, die Aufnahmen an Probanden zu erstellen, um eine höhere Praxisnähe zu erzielen. Aufgrund der unverhältnismäßig hohen Strahlenbelastung war dies nicht möglich. Es ist anzunehmen, dass der Unterschied des OPTs vom mazerierten Schädel gegenüber eines am Patienten angefertigten OPTs nur wenig Einfluss auf die Beurteilung der Schraubenposition in Bezug zur Wurzel hat. Eine größere Schwierigkeit kann das OPT eines mazerierten Schädels für die Beurteilung von Strukturen, beispielsweise des Sinus maxillaris, darstellen.

### **5.2 Probanden**

In dieser Studie wurden 10 Kieferorthopäden, 10 Oral- oder Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgen und 10 Studenten der Zahnmedizin befragt. Diese drei Gruppen wurden herangezogen, um

eine Information darüber zu bekommen, ob verschiedene Fachbereiche in ihrer Bewertung variieren. Zwischen diesen drei Gruppen von Probanden konnten bis auf wenige Ausnahmen keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. In einigen wenigen Fällen waren zwar signifikante Unterschiede vorhanden, diese wiesen aber keinerlei Regelmäßigkeiten auf. In dieser Studie scheint also die Ausbildung des Probanden eine untergeordnete Rolle bei der Beurteilung der Schraubenposition zu spielen.

### **5.3 Bewertungsbogen und Ergebnisse**

Es wurden insgesamt 30 Probanden aus dem zahnmedizinischen Bereich anhand des Bewertungsbogens befragt, wie sie die Position der Minischraube einschätzen würden. Aus ihren Angaben im Bewertungsbogen wurden die Ergebnisse gewonnen. Diese Ergebnisse werden in Bezug auf die Fragestellung im Bewertungsbogen diskutiert.

#### **5.3.1 Die Frage nach dem Abstand zwischen Schraube und Zahnwurzel**

Die Abbildungen 5 bis 13 stellten die Bewertungen der Probanden und die Auswertungen des DVTs durch graphische Darstellungen in den direkten Vergleich. In den Abbildungen wurde deutlich, dass die Beurteilungen der Probanden in vielen Fällen unterschiedlich ausfielen und ein großer Anteil der Probanden nicht mit dem DVT übereinstimmte. Dies kann zum einen daran liegen, dass die Position anhand der Aufnahmen schwer zu beurteilen war, die Probanden sich aber dennoch zwingend für eine Position entscheiden sollten. Es kann aber auch darin begründet liegen, dass die drei Gruppen Kieferorthopäden, Oral- oder Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgen und Studenten aufgrund unterschiedlicher Erfahrung die Schraubenposition anders beurteilten. Der letztgenannte Punkt ist auszuschließen, denn anhand des t-Tests konnte nachgewiesen werden, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen bestanden (siehe Anhang: Tabelle 2).

Anscheinend bereitete es den Probanden Schwierigkeiten, der Schraube eine entsprechende Ziffer 1-4 zuzuordnen. Das OPT weist offensichtlich keine Darstellung auf, die diese Bewertung und Differenzierung zwischen den Positionen ermöglicht. In mehreren Abbildungen wurde deutlich, dass viele Probanden die Position „ideal“ oder „mäßig“ wählten, wohingegen die Positionen „kritisch“ und „schlecht“ wenig vertreten waren. Die umgekehrte Situation existierte ebenfalls. Oft



stimmte in diesen Fällen eine der beiden meist genannten Positionen mit der Auswertung des DVTs überein. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass Position 1 gegen 2 sowie Position 3 gegen 4 im OPT jeweils schwer voneinander zu differenzieren waren. Die Probanden konnten also nicht beurteilen, ob die Schraube tatsächlich einen Millimeter von Alveolarknochen umgeben war oder ob es sich um weniger als einen Millimeter zirkulären Knochen handelte. Sie konnten in einigen Fällen auch nicht differenzieren, ob die Wurzel perforiert oder lediglich berührt wurde. Die Probanden konnten aber tendenziell richtig angeben, ob es sich eher um eine „ideal“ oder „mäßig“ inserierte Schraube oder um eine „kritisch“ oder „schlecht“ inserierte Schraube handelte. Andere Säulendiagramme zeigen, dass sich jeweils eine vergleichbare Anzahl an Probanden für unterschiedliche Positionen entschied. Ebenfalls existieren Fälle, in denen die überwiegende Mehrheit von der im DVT bestimmten Position stark abwich. Beispielsweise gaben die Probanden an, die Position als „schlecht“ einzuschätzen, im DVT wurde dieselbe Position als „mäßig“ eingestuft. Offensichtlich war eine richtige Beurteilung anhand des OPTs nicht möglich. In anderen Fällen wurde die Position von der Mehrheit der Probanden auch entsprechend des DVTs eingeschätzt. In diesen Fällen handelte es sich meist um die „ideale“ Position. Die Abbildungen lassen damit die Schlussfolgerung zu, dass die exakte Bewertung zur Position der Schraube im OPT nur in wenigen Fällen möglich ist. Nur eindeutige Positionen, d.h. beispielsweise solche, bei denen ein sehr großer Abstand zwischen Schraube und Wurzel bestand, konnten mit Sicherheit als „ideal“ eingestuft werden. Da die Einschätzungen der Probanden oft unterschiedlich ausfielen, geht damit einher, dass ein relativ großer Anteil der Probanden von der im DVT ausgemessenen Position abwich.

Zur Selbsteinschätzung der Probanden ist festzuhalten, dass insgesamt nur wenige Probanden angaben, sich bei der Beurteilung „unsicher“ gewesen zu sein. Im Allgemeinen hielten sie ihre Zuordnung für „wahrscheinlich“ oder waren sich „sicher“. Wie oben aufgeführt, stimmten aber die Positionen, die die Probanden als die Richtige angaben, häufig nicht mit dem DVT überein. Die Probanden schätzten sich also in vielen Fällen falsch ein. Auffällig ist, dass in Kombination mit der „idealen“ Position häufig die Selbsteinschätzung „sicher“ einherging. Diese Selbsteinschätzung war in vielen Fällen richtig.

Die Einteilung in die vier Positionen für den Bewertungsbogen erfolgte auf Grundlage vorheriger Literaturrecherche, in der im Allgemeinen ein Abstand zwischen Schraube und Wurzel von einem Millimeter als erfolgversprechend erachtet wird (Liou et al., 2004; Poggio et al., 2006). Um bei interradikulärer Platzierung einen Abstand von einem Millimeter einhalten zu können, muss

eine exakte Positionierung der Minischraube erfolgen. Es kann zur Wurzelnähe oder zur Perforation kommen. Aus diesem Grund wäre es sinnvoll, eine solche Position zu erkennen, um dann ggf. reagieren zu können. Die Einteilung in Positionen in dieser Studie zeigt nun, dass eine Diagnostik am OPT in vielen Situationen nicht ausreichend Informationen liefern kann. Im Gegensatz dazu, könnte das DVT eben solche Informationen ermöglichen. Bei Betrachtung dieses Ergebnisses sollte auch Beachtung finden, dass sich nur wenige Probanden bei ihrer Diagnostik am OPT „sicher“ waren, die Position richtig beurteilt zu haben, es sei denn, es handelte sich um die „ideale“ Position. Ein unklarer Befund bedeutet für den Behandelnden gleichzeitig Ungewissheiten für den einzuschlagenden Therapieweg.

An dieser Fragestellung muss kritisch beurteilt werden, dass die Probanden nicht die Möglichkeit hatten, den vorliegenden Fall klinisch zu beurteilen. Bei Betrachtung der klinischen Situation und dem Hinzuziehen der OPT-Aufnahme gelangt der Betrachter möglicherweise zu einer anderen Beurteilung der Schraubenposition. Hätte der Betrachter zudem die Schraube selbst inseriert, würde er wahrscheinlich eine Perforation gespürt haben.

### **5.3.2 Die Frage nach der Perforation der gegenüberliegenden Kortikalis**

Die Ergebnisse der Frage nach der Perforation der gegenüberliegenden Kortikalis zeigen, dass ein Großteil der Probanden die Situation dem DVT entsprechend einschätzte. Diese Einschätzung beruht wahrscheinlich nicht auf der Darstellung des OPTs, da dieses keine Transversalebene zeigt. Anhand der DVT-Aufnahmen konnte gezeigt werden, dass im Normalfall bei einer Schraubenlänge von 8 mm und regelrechter Insertion eine Perforation der gegenüberliegenden Kortikalis unwahrscheinlich ist. Es ist anzunehmen, dass die Probanden, die die Wahrscheinlichkeit einer Perforation für „hoch“ hielten, die Länge der Schraube von 8 mm nicht in Bezug zur Alveolarkammbreite sehen konnten. Zudem wurden die Schrauben anguliert inseriert, wodurch ein zusätzlicher Abstand zur gegenüberliegenden Kortikalis gewonnen wurde. In zwei Fällen war eine Perforation vorhanden, viele Probanden erkannten diese. In diesen beiden OPTs ist ersichtlich, dass die Schrauben nicht regelrecht inseriert wurden. Sie befinden sich sehr weit crestal und wurden zudem horizontal inseriert. Sie scheinen nicht von Alveolarknochen umgeben zu sein. Diese Position wird in der Realität wahrscheinlich nicht vorkommen.

Ausnahmefälle, bei denen die Alveolarkammbreite geringer ist, müssen jedoch durch die Auswahl einer kürzeren Schraube oder eines anderen Insertionswinkels Berücksichtigung finden. Denn je nach Region kann die Gesamtdicke des Knochens zwischen 4 mm und 12 mm betragen (Costa et al.; 2005). Um eine Perforation zu vermeiden oder postoperativ zu erkennen, kann eine DVT-Aufnahme hilfreich sein und dem Behandelnden Sicherheit verschaffen. Jedoch ist, wie oben erwähnt, die Wahrscheinlichkeit einer Perforation gering. Zudem lässt die klinische Inspektion eine grobe Beurteilung der transversalen Breite zu.

### **5.3.3 Die Frage nach dem Abstand der Schraube zum Sinus maxillaris bzw. Nervus alveolaris inferior**

Die Abbildungen 25 bis 28 veranschaulichen, wie der Abstand zwischen Minischraube und Sinus maxillaris bzw. Nervus alveolaris inferior anhand unterschiedlicher Möglichkeiten, nämlich anhand des OPTs und des DVTs, eingeschätzt wurde. Dazu wurden die Bewertungen graphisch direkt nebeneinander platziert. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Abbildungen 25 bis 28 entsprechend der Reihenfolge quadrantenweise diskutiert.

Im ersten Quadranten aller neun OPTs zeigen die Bewertungen der Experimentatorin eine gute Übereinstimmung mit der Gruppe der Probanden. Nur in einem Beispiel (6. OPT) wurde eine größere Differenz als 1,5 mm festgestellt. Zieht man nun den Vergleich von dem Medianwert der Probandengruppe zu dem jeweils gemessenen Wert im DVT, stellt man fest, dass auch diese beiden eine gute Übereinstimmung aufweisen. Bei Betrachtung aller Abbildungen der ersten Quadranten beträgt die höchste Abweichung des Medianwertes der Probanden von der DVT-Messung nur 1,3 mm. Vergleicht man also den Medianwert mit dem DVT, war eine relativ exakte Bewertung anhand des OPTs möglich. In dieser Betrachtung sollte aber ebenso Berücksichtigung finden, dass einige Probanden von dem DVT-Wert abwichen. Dazu kann man beispielsweise die Interquartilsbreite betrachten. Im Mittel beträgt die Interquartilsbreite 2,3 mm. Der maximale Interquartilsabstand beträgt 5,1 mm und der minimale 1,2 mm. Zudem existieren unter den Probanden vereinzelt Ausreißer. Eine exakte Bewertung des Abstandes war folglich nicht allen Probanden möglich, dennoch lag ein Großteil der Probanden mit seiner Einschätzung in vielen Fällen in der Nähe des DVT-Wertes.

Im zweiten Quadranten sieht die Situation ähnlich aus, wie es für den ersten Quadranten zuvor beschrieben wurde. Die Gruppe der Probanden sowie die eigenen Beurteilungen stimmten in den meisten Fällen nahezu überein. Nur im dritten OPT lag eine größere Abweichung zwischen dem Medianwert der Probandengruppe sowie den Angaben der Experimentatorin vor. Vergleicht man den Medianwert der Probandengruppe mit dem DVT, stellt man erneut fest, dass diese Werte ebenfalls recht gut übereinstimmen. Abgesehen von der Abweichung im dritten OPT, die 2,5 mm beträgt, sind alle Abweichungen in diesem Quadranten kleiner oder gleich 1,0 mm. Dennoch sollte auch hier Beachtung finden, dass beispielsweise in OPT 1 oder OPT 6 einige Ausreißer vorhanden sind, die die Situation offensichtlich nicht richtig einschätzten. Im zweiten Quadranten beträgt die Interquartilsbreite im Mittel 2,0 mm. Die höchste Interquartilsbreite beträgt 4,6 mm und die niedrigste 1,0 mm. Das heißt, auch im zweiten Quadranten wurde der Abstand zum Sinus maxillaris beim Vergleich des Medianwertes gut eingeschätzt.

Nach Betrachtung der beiden Oberkieferquadranten folgt nun die Zusammenfassung zur Beurteilung der Minischrauben im Unterkiefer bezüglich des Abstandes zum Nervus alveolaris inferior. Im dritten Quadranten bestehen beim Vergleich des Medianwertes der Probandengruppe mit den eigenen Auswertungen größere Abweichungen als in den beiden zuvor beschriebenen Quadranten I und II. Im Mittel lässt sich ein Unterschied von 1,1 mm feststellen. Damit ist der Unterschied geringfügig größer als im ersten und zweiten Quadranten. Im Vergleich zum DVT liegt in drei Fällen die Experimentatorin dem DVT-Wert näher, in drei Fällen die Probandengruppe und die übrigen Fälle stimmen im Betrag der Abweichung exakt überein (jeweils Vergleich des Medianwertes). Die größten Abweichungen zwischen Medianwert der Probanden und DVT bestehen in OPT 1, 3 und 7. Hier finden sich Abweichungen zwischen 1,5 und 2,2 mm. Der größte Interquartilsabstand liegt bei 5,9 mm. Im Mittel liegt der Interquartilsabstand bei 3,1 mm. Er liegt damit im Mittel ebenfalls höher als im ersten und zweiten Quadranten. Anhand der Box-Plots ist zudem abzulesen, dass einige Probanden von dem im DVT bestimmten Wert stark abwichen.

Aus den gerade beschriebenen Graphen lässt sich schlussfolgern, dass für eine Mehrheit der Probanden eine grobe Einschätzung der Entfernung zum Nervus alveolaris inferior möglich war. Dennoch sollte auch hier die Streubreite der angegebenen Werte Beachtung finden. Viele Probanden lagen von dem DVT-Wert weit entfernt. Die Angaben der Probanden scheinen zudem bei der Beurteilung des dritten Quadranten mehr untereinander zu differieren als in den ersten beiden Quadranten. Daraus kann man schließen, dass den Probanden die Beurteilung des Abstandes zum Nervus alveolaris inferior größere Schwierigkeiten bereitete als zum Sinus maxillaris.

Es soll nun der letzte, vierte Quadrant für alle OPTs besprochen werden. Im vierten Quadranten des ersten OPTs konnte der DVT-Wert aufgrund von Artefakten nicht eindeutig bestimmt werden. Aus diesem Grund war ein Vergleich nicht möglich und dieser Graph wird daher nicht weiter besprochen. Die Abweichungen vom Median der Probandengruppe zum Median der Experimentatorin sind im vierten Quadranten aller OPTs gering, im Mittel liegen sie bei ca. 0,7 mm. Aus diesem Grund wird nur die Probandengruppe mit dem im DVT ausgemessenen Wert verglichen. In OPT 3, 4, 7 und 9 ist eine größere Abweichung zwischen Probandengruppe und DVT vorhanden als in den übrigen Aufnahmen. Sie beträgt in den genannten OPTs zwischen 1,7 mm und 2,5 mm, ansonsten liegen die Differenzen bei unter einem Millimeter. Im vierten Quadranten ist die Abweichung der Probanden von dem DVT-Wert im Mittel am größten. Die höchste Interquartilsbreite ist bei dem Box-Plot des siebten OPTs aufzufinden und beträgt 5,6 mm. Im Mittel liegt die Interquartilsbreite im vierten Quadranten bei 2,5 mm. Dieser Wert ist ebenfalls höher als im ersten und zweiten Quadranten. Betrachtet man auch im vierten Quadranten die jeweils höchsten und niedrigsten von den Probanden angegebenen Werte, ist eine große Differenz deutlich zu erkennen. Wie im dritten Quadranten differieren auch im vierten Quadranten die Angaben der Probanden untereinander mehr als in Quadrant I und II. Es liegt ebenfalls die Vermutung nahe, dass eine Beurteilung des Abstandes zum Sinus maxillaris leichter fiel als zum Nervus alveolaris inferior.

Es lässt sich schlussfolgern, dass im Allgemeinen anhand des OPTs eine gute Einschätzung bezüglich der Entfernung zum Sinus maxillaris oder zum Nervus alveolaris inferior möglich ist. Ein großer Anteil der Probanden schätzte den Abstand ähnlich ein, wie er auch im DVT bestimmt wurde. Die Einschätzungen im Oberkiefer lagen näher an den Werten des DVTs, als die des Unterkiefers. Für die Befragten war offensichtlich die Beurteilung der Distanz zum Sinus maxillaris einfacher. Es existieren aber für alle Quadranten auch Probanden, die anhand des OPTs die Entfernung zum Sinus maxillaris bzw. Nervus alveolaris inferior vollkommen anders einschätzten als die Distanz, die im DVT gemessen wurde. Diese Werte werden bei Vergleich des Medians nicht berücksichtigt. Da ein nicht zu vernachlässigender Anteil der Probanden mehr oder weniger vom Medianwert abweichen, müssen aber auch diese Probanden berücksichtigt werden. Interessant wäre zu klären, warum diese Probanden von dem DVT-Wert abweichen. Es ist beispielsweise möglich, dass die Probanden einen anderen Referenzpunkt wählten, dass sie sich für die Diagnostik weniger Zeit nahmen oder die Distanz falsch gemessen haben. Leider ist es nicht möglich, diese Ursache herauszuarbeiten. Bei Betrachtung der OPTs (sowie den dazugehörigen Graphen)

fällt auf, dass die Begrenzung des Sinus maxillaris in OPT 1 und OPT 2 (jeweils im ersten und zweiten Quadranten) klar dargestellt ist. Gleichzeitig ist an den Graphen dieser Quadranten zu erkennen, dass die Abweichungen der Probanden untereinander sowie zum DVT besonders gering sind. Dies spricht dafür, dass in einem OPT, welches insgesamt eine gute Darstellung aufweist, dieser Abstand gut zu beurteilen ist. Ähnliches gilt für den Abstand zum Nervus alveolaris inferior, der in den OPTs der mazerierten Schädel in vielen Fällen nicht gut dargestellt werden konnte. Die Abbildung aller Strukturen konnte in dieser Studie also nicht gewährleistet werden. In einigen OPTs sind daher keine eindeutigen Referenzpunkte zu erkennen. Dies kann unter anderem ein Grund dafür sein, dass einige Probanden vom DVT-Wert stärker abwichen.

#### **5.3.4 Einflussfaktoren auf Ergebnisse**

Im Allgemeinen muss bei Betrachtung der Ergebnisse des Bewertungsbogens folgendes berücksichtigt werden: Die verminderte Qualität der Röntgenbilder aufgrund der mazerierten Schädel wurde bereits erwähnt. Hinzu kommt, dass die Probanden unterschiedlich viel Zeit in die Auswertung investierten. Im Schnitt dauerte die Auswertung der neun OPTs ca. 25 Minuten; viele Probanden nahmen sich aber auch mehr oder weniger Zeit. Des Weiteren befindet sich ein nicht quantifizierbarer Fehler in der Reliabilität bei der Auswertung des OPTs. Im Rahmen dieser Studie war es nicht möglich, jeden Probanden einzeln zu kalibrieren. Dazu hätte jeder Proband die OPTs mehrmals bewerten müssen, um zu untersuchen, ob die Auswertung beim nächsten Mal dieselbe wäre. Stattdessen wertete ich, als Experimentatorin, die OPTs zehnmal in einem zeitlichen Abstand von einem Tag aus, um die Reliabilität zu bestimmen. Dieses Ergebnis wurde graphisch dargestellt und zeigt, dass geringe Abweichungen bestehen (Abbildung 25 bis 28, jeweils roter Box-Plot).

#### 5.4 Orthopantomogramm versus digitaler Volumentomographie

Das OPT als Standardverfahren der zahnmedizinischen Diagnostik findet nach wie vor Anwendung in der gesamten Zahnheilkunde. Die Vorteile des OPTs sind eine geringe Strahlenbelastung, ein geringer finanzieller Aufwand und eine gute Übersicht über das gesamte Gebiss sowie über umliegende Strukturen. Das OPT weist ebenso einige Nachteile auf. Es sind keine bukkolingualen Messungen möglich, es besteht eine hohe Vergrößerung sowie eine Verzerrung, die Auflösung ist reduziert und die Lokalisierung der Anatomie kann Schwierigkeiten bereiten (European guidelines on radiation protection in dental radiology, 2004). Die Einschränkungen dieser Aufnahme, insbesondere bezüglich der Beurteilung der Position einer Minischraube, wurden in dieser Studie deutlich. Anhand des OPTs kann die exakte Platzierung der Schraube nicht erkannt werden. Probanden gelangen anhand derselben Aufnahme zu verschiedenen Beurteilungen.

Das DVT hingegen, ermöglicht eine Beurteilung aller Positionen und Distanzen. Andere Studien untersuchten ebenfalls die Diagnostik am OPT im Vergleich zur dreidimensionalen Aufnahme. *Freisfeld et al.* (1993) untersuchten in einer Vergleichsstudie zwischen Panoramaschichtaufnahme und Computertomogramm die Beziehung der Oberkiefer-Sechsjahrmolaren zur Kieferhöhle. Ihre Ergebnisse zeigten die Grenzen des zweidimensionalen OPTs und die Überlegenheit des aussagestarken CTs. Fünf Jahre später verglichen *Freisfeld et al.* (1998) die Beurteilung des Platzangebots für die Unterkiefer-Weisheitszähne anhand des OPTs und anhand des CTs. Sie stellten fest, dass das diagnostische Spektrum zur Bestimmung des Platzangebots für die unteren Weisheitszähne mit dem CT entscheidend erweitert werden kann. Auch *Reddy et al.* (1994) untersuchten die Vorteile der Computertomographie gegenüber der konventionellen Panoramaschichtaufnahme für die Planung von (Zahn-)Implantaten. Offensichtlich fühlten sich Zahnärzte bei Anwendung der Computertomographie deutlich sicherer als wenn ihnen nur eine Panoramaschichtaufnahme zur Verfügung stand. Auch im Vergleich zur zweidimensionalen Fernröntgen-seitenaufnahme ermöglicht das CT eine genauere Vermessung der Strukturen (Harrell, 2009). Die 3D-Rekonstruktion und Visualisierung von CT-Aufnahmen kann zudem weitere detaillierte Informationen über Minischrauben und Zahnbewegungen liefern (Liu et al., 2011). Heute ist das CT ein unerlässliches diagnostisches Hilfsmittel, welches insbesondere in der Medizin Anwendung findet.

In der Zahnmedizin wurde die neue Aufnahmetechnik der digitalen Volumentomographie eingeführt, die im Vergleich zum CT weniger aufwendig ist und eine geringere Strahlenbelastung von

ca. 75-80 % bedeutet (Scherer et al., 2007). Die digitale Volumentomographie spielt bereits auch in der Kieferorthopädie eine Rolle. Die 3-dimensionale Darstellung von kraniofazialen Strukturen verspricht eine wesentlich höhere Präzision und Verlässlichkeit von Simulationsverfahren (Scherer et al., 2007). Allerdings ist bei einer höheren Strahlenbelastung des DVTs gegenüber einem OPT, verbunden mit dem Risiko gesundheitlicher Spätfolgen, die Anwendung des DVTs in kritischer Nutzen-Risiko-Relation abzuwägen.

Diese Studie sollte die Grenzen der Diagnostik am OPT herausstellen. Eine Beurteilung der Perforation der gegenüberliegenden Kortikalis ist anhand des OPTs nicht möglich. Dennoch ist, wie bereits dargestellt, unter normalen Umständen die Wahrscheinlichkeit einer Perforation gering und die OPT-Aufnahme (gegenüber dem DVT) ausreichend. Für die Stabilität einer Schraube aber spielt beispielsweise auch die Dicke der Kortikalis eine große Rolle und hat Einfluss auf die Erfolgsrate der Implantation (Miyawaki et al., 2003; Motoyoshi et al., 2007). Anhand der Panoramaaufnahme kann die Dicke vom kortikalen Knochen nicht gemessen werden, wohingegen das DVT diese Messung ermöglichen kann. Für den Betrachter ist eine sichere Diagnostik am OPT auch in Bezug auf die Schraubenposition zur Wurzel nicht möglich. Dagegen könnte die DVT-Aufnahme auch diese Diagnostik ermöglichen.

In Anbetracht der Strahlenbelastung aber erscheint die Anfertigung einer DVT-Aufnahme allein für den Bereich der Miniimplantation nicht zwingend notwendig. Unter Beachtung entsprechender Leitlinien zur Auswahl des Insertionsortes sowie durch eine entsprechende präoperative Planung können Wurzelperforationen vermieden werden (Lim et al., 2008; Lee et al., 2009; Martinielli et al., 2010). Zudem stellt die digitale Volumentomographie nicht nur für den Patienten, sondern auch für den Mediziner einen hohen finanziellen und zeitlichen Aufwand dar. Da aber die DVT-Aufnahme ansonsten eine große Hilfe darstellt, ist frühzeitig darauf zu achten, ob im Rahmen von weiteren Behandlungsmaßnahmen die Anfertigung anderer Röntgenaufnahmen indiziert ist. Ist dies der Fall, ist es möglich, durch einen einmaligen DVT-Scan mit der Option der verschiedenen Rekonstruktionen von OPT, FRS und Schädel-PA eine wiederholte Strahlenexposition zu vermeiden (Scherer et al., 2007). Zudem muss in Ausnahmefällen abgewogen werden, ob die Anfertigung einer DVT-Aufnahme bei beispielsweise geringem Knochenangebot indiziert ist. Ist nur wenig Knochen vorhanden, kann mit der DVT-Aufnahme präoperativ nicht nur der richtige Insertionsort und -winkel gewählt werden, sondern auch die Dimensionen der Schraube auf das Knochenangebot entsprechend abgestimmt werden. *Reddy et al.* (1994) zeigten beispielsweise, dass die präoperativ anhand des OPTs bestimmte (Zahn-) Implantatlänge sich signi-



fikant von der unterschied, welche tatsächlich im Rahmen der Operation bestimmt wurde. Die präoperative Planung anhand des OPTs als auch des CTs hingegen zeigten keine signifikanten Unterschiede in der Auswahl der Implantatlänge. Man kann vermuten, dass dies auch auf die Minischrauben und die digitale Volumetomographie in ähnlicher Weise übertragbar ist.

*Ammar et al.* (2011) empfehlen zur präoperativen Planung ein Modell aus 3D-Rekonstruktion und Finite-Elemente-Analyse. Dieses Modell ermöglicht eine patienten-spezifische Planung der Bewegung von ein oder mehreren Zähnen. Darüber hinaus können mehrere mögliche Platzierungen der Minischraube präoperativ praktisch getestet werden, um eine optimale Behandlung zu planen. Bei einer präoperativen Planung mittels 3D-Simulation würde die Bedeutung des postoperativ angefertigten OPTs sinken, da durch diese Planung Fehler und Wurzelperforationen vermieden werden können. Es bleibt abzuwarten, inwieweit dieses Modell in der Praxis Verwendung finden kann.

## **5.5 Klinische Schlussfolgerungen**

In dieser Studie wurde deutlich, dass das OPT eine grobe Einschätzung der Position der Schraube in Bezug zu umliegenden Strukturen zulässt. Unter Berücksichtigung der relativ geringen Strahlenbelastung im Vergleich zum DVT scheint das OPT nach wie vor eine Einschätzung zu ermöglichen, die für den Bereich der Minischrauben im Normalfall ausreicht. In einigen, weniger eindeutigen Fällen aber gelangen Probanden anhand desselben OPTs zu unterschiedlichen Beurteilungen. Diese Beurteilungen scheinen nicht aufgrund eines unterschiedlichen Ausbildungsstandes zu differieren, da kein signifikanter Unterschied zwischen den drei Gruppen Kieferorthopäden, Oral- oder Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgen und Zahnmedizinstudenten festgestellt werden konnte. Die Ausbildung des Probanden hatte in dieser Studie somit keinen Einfluss auf die Beurteilung der OPTs. Vielmehr zeigte sich, dass sich die Probanden unabhängig von der Gruppenzugehörigkeit in vielen Fällen nicht einig waren. Es zeigte sich auch, dass die Einschätzungen häufig von der im DVT bestimmten Position abwichen.

Aus diesem Grund sollte der Behandelnde in Zweifelsfällen, bestenfalls bereits präoperativ, die Möglichkeiten der dreidimensionalen Diagnostik nutzen. Dies gilt beispielsweise dann, wenn sich der Behandelnde nicht sicher sein kann, ob die Gefahr besteht, dass eine Wurzel perforiert wird oder dies bereits geschehen ist, oder auch ob das transversale Knochenangebot ausreicht.

## 6 Zusammenfassung

In der Kieferorthopädie finden Minischrauben zur kortikalen Verankerung Verwendung. Diese werden häufig interradiär inseriert, wodurch das Platzangebot durch die benachbarten Wurzeln limitiert wird. Als kritische Faktoren für den Erfolg einer Minischraubenimplantation gelten daher neben der Größe des Implantates und der Art der Belastung insbesondere auch die Position der Minischraube. Das Orthopantomogramm (OPT) als Standardverfahren der zahnmedizinischen Diagnostik wurde in dieser Studie hinsichtlich seiner diagnostischen Möglichkeiten zur Beurteilung der Schraubenposition untersucht und mit der digitalen Volumentomographie (DVT) verglichen. Zudem wurde untersucht, ob die Beurteilung der Schraubenposition anhand des OPTs durch Zahnmediziner aus verschiedenen Bereichen unterschiedlich ausfällt.

In neun mazerierte Schädel wurden tomas<sup>®</sup>-Pins inseriert und von jedem Schädel jeweils ein OPT und ein DVT angefertigt. Anschließend wurden 10 Kieferorthopäden, 10 Oral- oder Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgen und 10 Studenten diese neun OPTs vorgelegt. Ihre Aufgabe war es, anhand eines Bewertungsbogens die Position der Schraube bezüglich des Abstandes zur Wurzel, zum Sinus maxillaris bzw. Nervus alveolaris inferior und zur gegenüberliegenden Kortikalis zu beurteilen. Die Verfasserin dieser Arbeit dagegen führte eine Ausmessung derselben Distanzen am DVT durch. Anschließend wurden die Einschätzungen der Probanden mit den Auswertungen des DVTs verglichen und graphisch gegenübergestellt. Die Auswertung zeigte, dass die Position der Minischraube anhand des OPTs im Bezug zur Wurzel nicht exakt bewertet werden kann. Es ist lediglich möglich, eine Tendenz anzugeben, ob die Minischraube sich in einer positiven oder negativen Position befindet. Anhand des DVTs konnte gezeigt werden, dass eine Perforation der gegenüberliegenden Kortikalis bei Verwendung einer 8 mm langen Schraube unwahrscheinlich ist. Die Distanz zum Sinus maxillaris bzw. Nervus alveolaris inferior ist für die Mehrheit der Probanden anhand des OPTs gut einzuschätzen. Es existierten aber einige Probanden, die sich vollkommen verschätzen. Festzuhalten bleibt, dass eine grobe Beurteilung der Schraube anhand des OPTs möglich ist. Dennoch sind dieser Aufnahme eindeutige Grenzen gesetzt. Trotz einer besseren Darstellungsmöglichkeit anhand des DVTs erscheint eine Anfertigung dieser Aufnahme unter Berücksichtigung der erhöhten Strahlenexposition nicht zwingend notwendig. Sie empfiehlt sich insbesondere im Rahmen der präoperativen Planung oder wenn die digitale Volumentomographie durch die Option der verschiedenen Rekonstruktionen von OPT, FRS und Schädel-PA eine erneute Strahlenexposition vermeiden kann.

## **7 Anhang**

### **7.1 Bewertungsbogen**

Auf der folgenden Seite befindet sich eine Anweisung für den Probanden zum Ausfüllen des Bewertungsbogens. Im Anschluss daran ist exemplarisch die erste Seite des Bewertungsbogens aufgeführt. Sie beinhaltet die Fragen zum ersten sowie zweiten OPT. Die Seiten für die übrigen OPTs sind, bis auf die Nummerierung, identisch und werden daher nicht dargestellt.

## Bewertungsbogen

In diesem Bewertungsbogen geht es darum, die Position der Miniimplantate (Durchmesser=1,2mm; Länge=8mm) anhand der 9 OPTs möglichst genau einzuschätzen.

Bitte kreuzen Sie für jeden Quadranten in den 9 OPTs genau eine der genannten Möglichkeiten 1 - 4 an.

- 1 = ideale Position: Die Schraube hat mind. 1mm Abstand zur Wurzel und ist vollkommen von Alveolarknochen umgeben.
- 2 = mäßige Position: Die Schraube hat weniger als 1mm Abstand zur Wurzel, aber berührt die Wurzel nicht.
- 3 = kritische Position: Die Schraube berührt die Wurzeloberfläche bzw. liegt unmittelbar davor.
- 4 = schlechte Position: Die Schraube perforiert die Wurzel.

Kreuzen Sie bitte danach an, wie sicher Sie sich sind, dass Sie die Position der Schraube richtig beurteilt haben.

Für wie hoch halten Sie die Wahrscheinlichkeit, dass die Schraube in dieser Position die gegenüberliegende Kortikalis perforieren könnte? Kreuzen Sie bitte eine der Möglichkeiten „hoch“, „gering“ oder „weiß nicht“ an.

Geben Sie zuletzt an, wie groß Sie den Abstand zum Sinus maxillaris bzw. Nervus alveolaris inferior mit Hilfe eines Endolineals einschätzen.

**1. OPT**

- I.      Quadrant:      1  2  3  4   
sicher  wahrscheinlich  unsicher   
perforierte Kortikalis?   hoch       gering    weiß nicht   
geschätzter Abstand zum Sinus maxillaris: \_\_\_\_mm
- II.      Quadrant:      1  2  3  4   
sicher  wahrscheinlich  unsicher   
perforierte Kortikalis?   hoch       gering    weiß nicht   
geschätzter Abstand zum Sinus maxillaris: \_\_\_\_mm
- III.     Quadrant:      1  2  3  4   
sicher  wahrscheinlich  unsicher   
perforierte Kortikalis?   hoch       gering    weiß nicht   
geschätzter Abstand zum N.alveolaris inf.: \_\_\_\_mm
- IV.     Quadrant:      1  2  3  4   
sicher  wahrscheinlich  unsicher   
perforierte Kortikalis?   hoch       gering    weiß nicht   
geschätzter Abstand zum N.alveolaris inf: \_\_\_\_mm

**2. OPT**

- I.      Quadrant:      1  2  3  4   
sicher  wahrscheinlich  unsicher   
perforierte Kortikalis?   hoch       gering    weiß nicht   
geschätzter Abstand zum Sinus maxillaris: \_\_\_\_mm
- II.      Quadrant:      1  2  3  4   
sicher  wahrscheinlich  unsicher   
perforierte Kortikalis?   hoch       gering    weiß nicht   
geschätzter Abstand zum Sinus maxillaris: \_\_\_\_mm
- III.     Quadrant:      1  2  3  4   
sicher  wahrscheinlich  unsicher   
perforierte Kortikalis?   hoch       gering    weiß nicht   
geschätzter Abstand zum N.alveolaris inf.: \_\_\_\_mm
- IV.     Quadrant:      1  2  3  4   
sicher  wahrscheinlich  unsicher   
perforierte Kortikalis?   hoch       gering    weiß nicht   
geschätzter Abstand zum N.alveolaris inf: \_\_\_\_mm

## 7.2 Statistische Tabellen

	Quadrant	Position 1-4, bestimmt im	Jeweils Anzahl der Probanden, die die Position angaben, welche auch im DVT bestimmt wurde.		
		DVT	Kieferorthopäden	Chirurgen	Studenten
1. OPT	I	4	5	4	5
	II	2	5	3	5
	III	2	4	4	3
	IV	1	7	10	7
2. OPT	I	3	8	5	5
	II	3	3	4	3
	III	1	7	8	7
	IV	4	5	3	6
3. OPT	I	2	3	5	4
	II	2	3	5	2
	III	3	1	1	2
	IV	2	3	3	4
4. OPT	I	4	2	0	1
	II	2	2	4	3
	III	2	4	1	3
	IV	3	1	3	1
5. OPT	I	3	4	5	5
	II	2	2	4	2
	III	3	4	4	1
	IV	3	4	4	3
6. OPT	I	2	4	4	3
	II	x	x	x	x
	III	2	0	2	2
	IV	2	2	2	1

Tabelle 1: Für jeden Quadranten aller OPTs die Anzahl an Probanden, die die Schraubenposition (1-4) angaben, die auch im DVT bestimmt wurde. x = Position konnte im DVT nicht bestimmt werden. Fortsetzung nächste Seite.

	Quadrant	DVT	Kieferorthopäden	Chirurgen	Studenten
7.OPT	I	1	0	1	1
	II	4	2	1	0
	III	2	4	3	5
	IV	2	0	1	1
8. OPT	I	3	3	4	5
	II	2	4	2	5
	III	2	2	1	3
	IV	2	1	1	0
9. OPT	I	2	0	1	1
	II	2	0	0	0
	III	2	2	2	5
	IV	3	1	2	4
			Summe der Übereinstimmungen		
			102	107	108

Tabelle 1: (Fortsetzung)

	Kieferorthopäden	Chirurgen	Studenten
Kieferorthopäden		0,78	0,73
Chirurgen			0,95
Studenten			

Tabelle 2: Ergebnisse des t-Tests mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % zur Beurteilung der statistischen Signifikanz zwischen den Gruppen bei der Beurteilung der Schraubenposition im Vergleich zum Wert des DVTs.

		K/C	C/S	K/S			K/C	C/S	K/S
1. OPT	I	0,12	0,21	1,00	6. OPT	I	0,04	0,71	0,18
	II	0,54	0,12	0,13		II	0,48	0,66	0,91
	III	0,68	0,10	0,30		III	0,82	0,82	1,00
	IV	0,28	0,76	0,23		IV	0,49	0,85	0,34
2. OPT	I	0,63	0,45	0,75	7. OPT	I	0,93	0,65	0,68
	II	0,75	0,56	0,31		II	0,53	0,38	0,57
	III	0,18	0,50	0,48		III	0,03	0,83	0,03
	IV	0,51	0,89	0,74		IV	0,26	0,38	0,75
3. OPT	I	0,11	0,00	0,14	8. OPT	I	0,74	0,44	0,26
	II	0,91	0,55	0,46		II	0,45	0,56	0,69
	III	0,11	0,30	0,70		III	0,78	0,24	0,33
	IV	0,52	0,67	0,96		IV	0,64	0,14	0,38
4. OPT	I	0,09	0,04	0,81	9. OPT	I	0,40	0,40	0,90
	II	0,01	0,02	0,84		II	0,08	0,12	0,96
	III	0,10	0,05	0,35		III	0,54	0,68	0,36
	IV	0,07	0,10	0,77		IV	0,87	0,59	0,41
5. OPT	I	0,03	0,14	0,47					
	II	0,53	0,25	0,47					
	III	0,11	0,66	0,05					
	IV	0,13	0,39	0,02					

Tabelle 3: T-Test mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % zur Beurteilung der statistischen Signifikanz zwischen den Probanden der drei verschiedenen Gruppen bei der Beurteilung der Distanz zum Sinus maxillaris bzw. Nervus alveolaris inferior. Signifikante Unterschiede sind farbig unterlegt. Test auf statistische Signifikanz bei K/C = Kieferorthopäden gegenüber Chirurgen, C/S = Chirurgen gegenüber Studenten und K/S = Kieferorthopäden gegenüber Studenten.



1. OPT	I	0,19	4. OPT	I	0,04	7. OPT	I	0,57
	II	0,050		II	0,39		II	0,26
	III	0,01		III	0,59		III	0,04
	IV	0,00		IV	0,09		IV	0,00
2. OPT	I	0,97	5. OPT	I	0,69	8. OPT	I	0,01
	II	0,26		II	0,11		II	0,24
	III	0,24		III	0,24		III	0,00
	IV	0,94		IV	0,09		IV	0,62
3. OPT	I	0,21	6. OPT	I	0,00	9. OPT	I	0,70
	II	0,00		II	0,40		II	0,02
	III	0,19		III	0,16		III	0,62
	IV	0,93		IV	0,19		IV	0,76

Tabelle 4: T-Test mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % zur Überprüfung signifikanter Unterschiede zwischen den Beurteilungen der Probanden und der Experimentatorin zur Frage nach der Distanz zum Sinus maxillaris bzw. Nervus alveolaris inferior. Signifikante Unterschiede sind farbig unterlegt.

		Differenz Prob./Exp.	Differenz Prob./DVT	Differenz Exp./DVT
1. OPT	I	0,00	0,26	0,26
	II	0,59	0,31	-0,28
	III	1,47	1,46	-0,01
	IV	1,76	x	x
2. OPT	I	0,00	1,26	1,26
	II	0,59	0,99	0,40
	III	0,00	0,42	0,42
	IV	-0,59	1,69	2,28
3. OPT	I	-0,29	2,07	2,36
	II	-2,94	-2,54	0,41
	III	0,88	2,23	1,35
	IV	-0,29	2,04	2,34

Tabelle 5: Vergleich der Differenzen in der Beurteilung der Distanz zum Sinus maxillaris bzw. Nervus alveolaris inferior von Probandengruppe (Prob.), Experimentatorin (Exp.) und DVT. Zur Bildung der Differenz diente der Medianwert der Probandengruppe sowie der Experimentatorin. Ergebnisse des t-Tests im unteren Teil der Tabelle dargestellt. Fortsetzung nächste Seite.

		Differenz Prob./Exp.	Differenz Prob./DVT	Differenz Exp./DVT
4. OPT	I	0,59	0,35	-0,24
	II	0,88	0,43	-0,45
	III	-0,59	-0,30	0,29
	IV	-0,59	-0,59	-0,01
5. OPT	I	-0,59	-0,83	-0,24
	II	-0,59	-0,35	0,24
	III	0,00	0,71	0,71
	IV	0,29	0,12	-0,17
6. OPT	I	-2,35	-0,96	1,39
	II	-0,59	-0,84	-0,25
	III	1,76	-0,03	-1,79
	IV	0,00	0,44	0,44
7. OPT	I	0,00	-0,16	-0,16
	II	0,00	-0,44	-0,44
	III	1,76	2,08	0,32
	IV	1,18	2,51	1,33
8. OPT	I	0,88	0,85	-0,04
	II	0,29	0,67	0,38
	III	-2,94	-0,65	2,29
	IV	0,59	-0,35	-0,94
9. OPT	I	0,00	0,63	0,63
	II	-1,18	-0,88	0,29
	III	-0,29	0,26	0,55
	IV	0,59	1,66	1,08
		t-test für verbundene Stichproben ergab:		
		Prob./Exp.	Prob./DVT	Exp./DVT
		nicht signifikant	signifikant	signifikant

Tabelle 5: (Fortsetzung)

## 8 Literaturverzeichnis

Ammar HH, Ngan P, Crout RJ, Mucino VH, Mukdadi OM. Three-dimensional modeling and finite element analysis in treatment planning for orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011; 139: e59-e71

Böhm B, Fuhrmann R. Klinischer Einsatz und histologische Bewertung der FAMI-Schraube als kortikaler Anker - eine Pilotstudie. *J Orofac Orthop* 2006; 67: 175-185

Branemark P, Hansson B, Adell R, Breine U, Lindström J, Hallen O, Öhmann A. Osseointegrated implants in the treatment of edentulous jaw. *Scand J Plast Reconst Surg* 1977; 11

Chen Y, Kyung HM, Zhao WT, Yu WJ. Critical factors for the success of orthodontic mini-implants: A systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009; 135: 284-291

Costa A, Pasta G, Bergamaschi G. Intraoral hard and soft tissue depths for temporary anchorage devices. *Semin Orthod* 2005; 11: 10-15

Costa A, Raffaini M, Melson B. Miniscrews as orthodontic anchorage: a preliminary report. *Int J Adult Orthod Orthognath Surg* 1998; 13: 201-209

Creekmore TD, Eklund MK. The possibility of skeletal anchorage. *J Clin Orthod* 1983; 17: 266-269

Deguchi T, Nasu M, Murakami K, Yabuuchi T, Kamioka H, Takano-Yamamoto T. Quantitative evaluation of cortical bone thickness with computed tomographic scanning for orthodontic implants. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006; 129: 721.e7-721.e12

DENTAURUM GmbH & Co. KG. Produktkatalog Nr.17, Ausgabe 2010/2011

European Commission. European guidelines on radiation protection in dental radiology, N° 136, 2004

Fayed MMS, Pazera P, Katsaros C. Optimal sites for orthodontic mini-implant placement assessed by cone beam computed tomography. *Angle Orthod* 2010; 80: 939-951

Flechter RH, Flechter SW, Wagner EH. *Klinische Epidemiologie*. Wiesbaden: Ullstein Medical Verlagsgesellschaft, 1999

Freisfeld M, Drescher D, Schellmann B, Schüller H. Der Oberkiefer-Sechsjahrmolar und seine Beziehung zur Kieferhöhle. Eine Vergleichsstudie zwischen Panoramaschichtaufnahme und Computertomogramm. *J Orofac Orthop* 1993; 54: 179-186

Freisfeld M, Drescher D, Kobe D, Schüller H. Vergleichende Beurteilung des Platzangebots für die Unterkiefer-Weisheitszähne. Orthopantomogramm versus Computertomogramm. *J Orofac Orthop* 1998; 59: 17-28

Fritz U, Diedrich P, Ehmer A. Implantatgestützte orthodontische Verankerung. *Zahnärztliche Mitteilungen* 2003; 22: 46-53

Gainforth BL, Higley LB. A study of orthodontic anchorage possibilities in basal bone. *Am J Orthod Oral Surg* 1945; 31: 406-417

Gómez Román G., Lukas D, Beniashvili R, Schulte W, 2003: Regionenabhängige Vergrößerungsfaktoren von Panoramaschichtaufnahme in Abhängigkeit von der Patientenpositionierung und ihre Bedeutung für die Implantologie. Teil 1: Orthograde Patientenpositionierung. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:21-opus-6810> (Zugriffsdatum: 02.05.2011)

Harrell WE. 3D diagnosis and treatment planning in orthodontics. *Semin Orthod* 2009; 15: 35-41

Hu K-S, Kang M-K, Kim T-W, Kim K-H, Kim H-J. Relationships between dental roots and surrounding tissues for orthodontic miniscrew installation. *Angle Orthod* 2009; 79: 37-45

Huang L-H, Shotwell JL, Wang H-L. Dental implants for orthodontic anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005; 127: 713-722

Ishii T, Nojima K, Nishii Y, Takaki T, Yamaguchi H. Evaluation of the implantation position of mini-screws for orthodontic treatment in the maxillary molar area by a micro CT. *Bull Tokyo Dent Coll* 2004; 45: 165-172

Kanomi R. Mini-implant for orthodontic anchorage. *J Clin Orthod* 1997; 31:763-767

Kim S-H, Kang S-M, Choi Y-S, Kook Y-A, Chung K-R, Huang JC. Cone-beam computed tomography evaluation of mini-implants after placement: Is root proximity a major risk factor for failure? *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010; 138: 264-276

Kuroda S, Yamada K, Deguchi T, Hashimoto T, Kyung HM, Takano-Yamamoto T. Root proximity is a major factor for screw failure in orthodontic anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007; 131: 68-73

Lee K-J, Joo E, Kim K-D, Lee J-S, Park Y-C, Yu H-S. Computed tomographic analysis of tooth-bearing alveolar bone for orthodontic miniscrew placement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009; 135: 486-494

Liou EJ, Pai BC, Lin JC. Do miniscrews remain stationary under orthodontic forces? *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004; 126: 42-47

Lim JE, Lim WH, Chun YS. Quantitative evaluation of cortical bone thickness and root proximity at maxillary interradicular sites for orthodontic mini-implant placement. *Clin Anat* 2008; 21: 486-491

Liu H, Lv T, Wang N, Zhao F, Wang K, Liu D. Drift characteristics of miniscrews and molars for anchorage under orthodontic force: 3-dimensional computed tomography registration evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011; 139: e83-e89

Ludwig B, Glasl B, Lietz T, Lisson JA, 2008: Grundlagen der Verankerung, Auswahl der Schrauben. <http://www.zwp-online.info/de/fachgebiete/kieferorthopaedie/miniimplantate/13332> (Zugriffsdatum: 08.04.2011)

Ludwig B, Glasl B, Lietz T, Kopp S. Röntgenologische Lagekontrolle bei der skelettalen Verankerung: Vorstellung einer Positionierungshilfe. *J Orofac Orthop* 2008; 69: 59-65

Ludwig B, Lietz T. Einleitung. In: Ludwig B, Hrsg. *Mini-Implantate in der Kieferorthopädie*. Berlin: Quintessenz Verlag, 2007: 1

Martinelli FL, Luiz RR, Faria M, Nojima LI. Anatomic variability in alveolar sites for skeletal anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010; 138: 252.e1-252.e9

Miyawaki S, Koyama I, Inoue M, Mishima K, Sugahara T, Takano-Yamamoto T. Factors associated with the stability of titanium screws placed in the posterior region for orthodontic anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003; 124: 373-378

Motoyoshi M, Yoshida T, Ono A, Shimizu N. Effect of cortical bone thickness and implant placement torque on stability of orthodontic mini-implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2007; 22: 779-784

Ono A, Motoyoshi M, Shimizu N. Cortical bone thickness in the buccal posterior region for orthodontic mini-implants. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2008; 37: 334-340

Park HS. The skeletal cortical anchorage using titanium miniscrew implants. *Kor J Orthod*. 1999; 29: 699-706

Park S, Bae M, Kyung M, Sung H. Micro-implant anchorage for treatment of skeletal Class I bialveolar protrusion. *J Clin Orthod*. 2001; 35: 417-422

Poggio PM, Incorvati C, Velo S, Carano A. "Safe zones": a guide for miniscrew positioning in the maxillary and mandibular arch. *Angle Orthod* 2006; 76: 191-197

Reddy MS, Mayfield-Donahoo T, Vanderven FJJ, Jeffcoat MK. A comparison of the diagnostic advantages of panoramic radiography and computed tomography scanning for placement of root form dental implants. *Clin Oral Impl Res* 1994; 5: 229-238

Roberts WE, Smith RK, Zilbermann Y, Mozsary PG, Smith RS. Osseous adaption to continuous loading of rigid endosseous implants. *Am J Orthod* 1984; 86: 95-111

Rother UJ. *Moderne bildgebende Diagnostik in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde: Grundlagen-Strahlenschutz-Befunde*. München: Elsevier GmbH, 2006

Rücker M, Spitzer WJ. Zahnärztliche Radiologie. In: Schwenzer N, Ehrenfeld M, Hrsg. *Chirurgische Grundlagen*. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag KG, 2008: 70-113

Scherer P, Neugebauer J, Ritter L, Mischowski R, Scheer M, Zöller JE. Indikationen für die 3-dimensionale Bildgebung in der Zahnheilkunde. *ZWR - Das deutsche Zahnärzteblatt*. 2007; 116: 219-230

Schnelle C. Vergleich der Strahlenexposition bei der Digitalen-Volumen-Tomographie, der Panoramaschichtaufnahme und der Computertomographie. *Med. Dissertation*. Heinrich Heine Universität Düsseldorf, 2001

Schnelle MA, Beck FM, Jaynes RM, Huja SS. A radiographic evaluation of the availability of bone for placement of miniscrews. *Angle Orthod* 2004; 74: 832-837

Wawrzinek C, Sommer T, Fischer-Brandies H. Mikrotraumen in kortikalem Knochen nach tiefer Insertion orthodontischer Mikroschrauben. *J Orofac Orthop* 2008; 69: 121-134

Wehrbein H, Glatzmaier J, Mundwiler U, Diedrich P. Das Orthosystem – ein neues Implantatssystem zur orthodontischen Verankerung am Gaumen. *J Orofac Orthop* 1996; 57: 142-153

## 9 Danksagung

Zunächst möchte ich mich ganz herzlich bei Herrn Professor Dr. rer. nat. Dipl.-Phys. Christoph Bourauel bedanken, der mich bei der Anfertigung dieser Dissertation zu jeder Zeit ausgezeichnet betreute und zugleich motivierte. Auch seine Mitarbeiter waren mir jederzeit eine sehr freundliche und hilfreiche Unterstützung. Dr. rer. nat. Dipl.-Math. Ludger Keilig betreute mich unermüdlich in allen Fragen der Statistik sowie bei Anwendungen am Computer. Bei Frau Dr. rer. nat. Dipl.-Ing. Susanne Reimann möchte ich mich bedanken für die ständige Hilfsbereitschaft bei der Auswertung der digitalen Volumetomogramme sowie bei der Suche nach Probanden. Herrn Dr. Baxmann möchte ich danken für die Überlassung des Themas sowie für die Organisation der Studie und die Hilfe bei der Anfertigung der Röntgenbilder. Professor Koebke und das Institut für Anatomie der Universität Köln ermöglichten mir die Arbeit durch die Bereitstellung der humanen mazerierten Schädel. Weiterhin danke ich herzlich Frau Dr. Saffar, die mich bei der Anfertigung der Röntgenaufnahmen an der Universität Köln unterstützte. Den Probanden gilt mein Dank für das Ausfüllen der Bewertungsbögen.

Mein größter Dank gilt meinen Eltern, Reinhild Behr-Bennemann und Hanno Bennemann, ohne deren Unterstützung und Motivation diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre. Ganz besonders bedanken möchte ich mich auch bei meiner Schwester, Karla Bennemann, die mir jederzeit liebevoll zur Seite stand und mich genauso motivierte. Bei meinem Freund, Sven Wenzel, möchte ich mich ebenfalls ganz besonders bedanken, dass er mich mit unendlicher Geduld in jeder Phase dieser Arbeit unterstützte.