

**Aus der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische  
Gesichtschirurgie der Universität Würzburg**

Direktor: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. A. C. Kübler

---

**3D-Rekonstruktionen aus DVT-Daten**

-

**Eine retrospektive Analyse zur Evaluation  
der Verlagerungsmaße von Dysgnathiepatienten**

Inaugural - Dissertation  
zur Erlangung der Doktorwürde der  
Medizinischen Fakultät  
der  
Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von  
**Benjamin Widmaier**  
aus Würzburg

Würzburg, August 2010

**Referent:** Prof. Dr. med. Dr. med. dent. A. C. Kübler  
**Koreferentin:** Prof. Dr. med. dent. A. Stellzig-Eisenhauer  
**Dekan:** Prof. Dr. med. M. Frosch

**Tag der mündlichen Prüfung: 17.01.2011**

**Der Promovend ist Zahnarzt**

<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1. Geschichte der bildgebenden Verfahren	1
1.2. Digitale Volumentomographie	2
1.3. Kephaldmetrie	5
1.4. Dysgnathien	8
1.4.1. Ätiologie der Dysgnathien	8
1.4.2. Einteilung nach Angle	9
1.4.3. Behandlungsablauf und Therapie	11
1.4.3.1. Allgemeines zum Behandlungsablauf	11
1.4.3.2. Diagnostik	12
1.4.3.3. Operationsplanung	13
1.4.3.4. OP-Techniken	14
<b>2. Fragestellung</b>	<b>15</b>
2.1. Grundsätzliche Überlegung zur Anfertigung dieser Studie	15
2.2. Prüfung der Methode	15
2.3. Auswertung des Patientenkollektivs	15
<b>3. Patienten und Methoden</b>	<b>16</b>
3.1. Studiendesign	16
3.2. Methoden	16
3.2.1. Herstellung der DVT-Daten	16
3.2.2. Erstellung der 3D-Rekonstruktion mit Maxilim®	17
3.2.3. Erstellung und Auswertung der 3D-Analyse	23
3.2.4. Erstellung und Auswertung der Modell-OP-Analyse	30
3.3. Statistische Auswertung	32
<b>4. Ergebnisse</b>	<b>34</b>
4.1. Sicherstellung der Methode	34
4.2. Vertikale Messung und Auswertung im Oberkiefer	36

4.2.1. Frontale Impaktion	36
4.2.2. Impaktion auf der rechten Oberkieferseite	37
4.2.3. Impaktion auf der linken Oberkieferseite	39
4.2.4. Auswertung der Impaktion im Oberkiefer	40
4.3. Sagittale und horizontale Messung	42
4.3.1. Auswertung der Ergebnisse im Oberkiefer	42
4.3.1.1. Horizontale Verlagerung im Oberkiefer	42
4.3.1.2. Sagittale Translation der rechten Oberkieferseite	44
4.3.1.3. Sagittale Translation der linken Oberkieferseite	45
4.3.1.4. Zusammenfassung der Ergebnisse im Oberkiefer	46
4.3.2. Auswertung der Ergebnisse im Unterkiefer	48
4.3.2.1. Horizontale Verlagerung im Unterkiefer	48
4.3.2.2. Sagittale Translation der rechten Unterkieferseite	49
4.3.2.3. Sagittale Translation der linken Unterkieferseite	50
4.3.2.4. Zusammenfassung der Ergebnisse im Unterkiefer	52
4.4. Zusammenfassung aller Ergebnisse	53
<b>5. Diskussion</b>	<b>55</b>
5.1. Patientengut	55
5.2. Methodik	57
5.3. Ergebnisse	59
<b>6. Zusammenfassung</b>	<b>63</b>
<b>7. Literaturverzeichnis</b>	<b>65</b>
<b>8. Anhang</b>	<b>76</b>
<b>9. Danksagung</b>	
<b>10. Lebenslauf</b>	

## 1. Einleitung

### 1.1. Geschichte der bildgebenden Verfahren

Die Entdeckung der Röntgenstrahlen durch *Wilhelm Conrad Röntgen* im Jahre 1895 in Würzburg war die Geburtsstunde der bildgebenden Verfahren in der Medizin, wie man sie heute kennt und zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken einsetzt. Diese Strahlen, die er X-Strahlen nannte, hatten Eigenschaften, die damals völlig unbekannt waren [63].

Ihre größte Bedeutung für die Medizin ist jedoch die Möglichkeit, das Knochengerüst des Menschen mit Hilfe eines Leuchtschirms zu visualisieren, weshalb die ersten Anwendungen in der Zahnheilkunde noch im gleichen Jahr versucht wurden [53]. Der nächste große Schritt in der Entwicklung der zahnärztlichen Röntgendiagnostik war die Möglichkeit Panoramaschichtaufnahmen herstellen zu können, die erst 1961 ihren endgültigen Durchbruch feiern konnten [11].

Als Meilenstein in der bildgebenden Diagnostik ist die Entwicklung des Computertomographen zu nennen, mit dem eine dreidimensionale Betrachtungsweise möglich wurde. Dafür erhielten 1979 *Allan M. Cormack* und *Godfrey Hounsfield* den Nobelpreis für Physiologie oder Medizin. Als Weiterentwicklung der konventionellen analogen Röntgenbilder kann die Digitalisierung der Bilder angesehen werden, die mit einer verminderten Strahlenexposition für den Patienten verbunden ist [34]. Eine neue Entwicklung und ein zurzeit modernes Verfahren ist die digitale Volumentomographie (DVT) oder auch Cone-beam computed tomography (CB-CT) genannt, welche *M. Mozzo* und *C. Procacci* 1998 vorstellten [49]. Da es sich hier um ein neues Röntgenverfahren handelt, müssen Anwendungsbereiche und Indikation noch von den Fachrichtungen vorgegeben werden, auch wenn sich schon erste Anwendungsmöglichkeiten deutlich heraus kristallisieren [32]. Das Einsatzgebiet in der prä- und postoperativen Diagnostik reicht heute bereits von der Implantatinsertation bis hin zu komplexen Operationen im Mund-, Kiefer-, Gesichtsbereich [45, 59, 87].

## 1.2. Digitale Volumentomographie

Die digitale Volumentomographie (DVT) ist eine neue Technik zur Erzeugung von Mehrschichtaufnahmen. Damit ergänzt sie die Computertomographie (CT) und die Magnetresonanztomographie (MRT), die bislang etablierten Tomographieverfahren zur Erzeugung von Schnittbildern, welche nahezu überlagerungsfrei anatomische Strukturen wiedergeben können [55, 56]. In Abbildung 1 ist ein DVT Gerät der Firma Sirona® (Sirona, Bensheim, Germany) abgebildet.



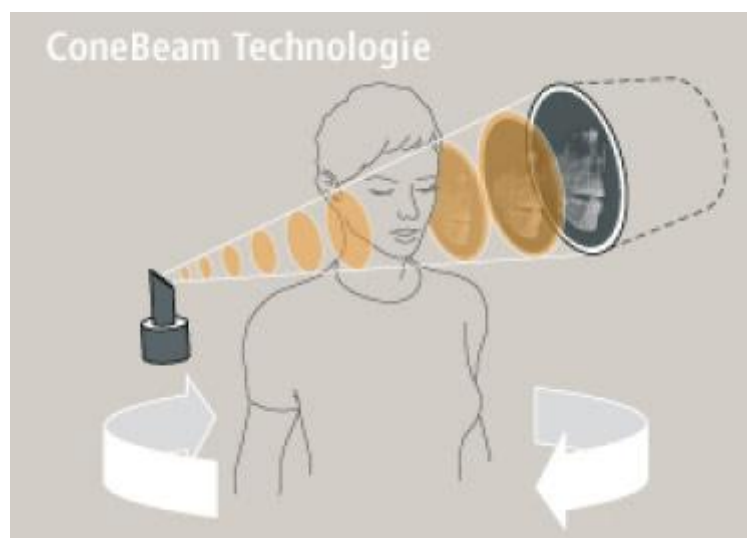
**Abbildung 1:** DVT Galileos®, mit dem die DVT-Daten erstellt wurden

Diese Tomographieverfahren werden in der radiologischen Diagnostik verwendet um beispielsweise Frakturen, benigne und maligne Tumoren sowie entzündliche Prozesse zu diagnostizieren [33, 53, 64].

CT und DVT sind vom Grundprinzip ähnlich; das bedeutet, dass bei beiden Techniken mittels Röntgenstrahlen die Bilder erzeugt werden, die anschließend rechnergestützt mit Hilfe der Radontransformation bzw. Modifikationen davon zu einzelnen Schnittbildern oder zu 3D-Rekonstruktionen herangezogen

werden können. Der Hauptunterschied zwischen diesen beiden Verfahren liegt darin, dass nicht wie bei konventionellen CT-Verfahren ein scheibenförmiger sondern ein kegelförmiger Röntgenstrahl (Cone-beam) zum Einsatz kommt. Deshalb ist bei der DVT ein einmaliger Umlauf der Strahlenquelle ähnlich der Herstellung von Orthopantomogrammen, um den Patienten ausreichend, um ein dreidimensionales Volumen zu detektieren. Bei den derzeit auf dem Markt erhältlichen Geräten wird die Röntgenstrahlung nach demselben Prinzip erzeugt, allerdings bestehen Unterschiede bezüglich der Bildaufnahme sowie deren Verarbeitung. Jedoch konnten sowohl die im Einsatz befindlichen Charged-coupled-device-Sensoren (CCD), als auch die amorphous silicon flat panel detectors (FPD) in Studien ihre Genauigkeit unter Beweis stellen [60].

Die digital gespeicherten DVT-Daten können genau wie die konventionellen CT-Daten mittels des gängigen DICOM-Formates (Digital Imaging and Communications in Medicine) transferiert werden, so dass sie anderen Mediziner\*innen zugänglich sind oder in andere Programme überführt werden können. Anhand der Abbildung 2 kann die schematische Funktionsweise der DVT erkannt werden.



**Abbildung 2:** Schematische Darstellung der Funktionsweise eines DVT-Gerätes [31]

Je nach Gerät können Bilder aus bis zu 360 unterschiedlichen Positionen für die Rekonstruktion dienen. Die Größe des erzeugten Bildes ist von den Gerätemerkmalen abhängig. Das verwendete Gerät Galileos® von Sirona® (Sirona, Bensheim, Germany) bietet ein Volumen von 15x15x15cm<sup>3</sup> an. Es gibt auch Geräte, wie z.B. der Kavo 3D eXam® der Firma Kavo® (Kavo Dental GmbH, Biberach/ Riß) bei denen die Volumengröße variabel ist. Hier können beispielsweise Einzelzahnaufnahmen, wie sie für die konservierende Zahnheilkunde standardmäßig benötigt werden, angefertigt werden. Entsprechend den Herstellerangaben soll die Strahlenbelastung bei dem verwendeten Gerät Galileos® (Sirona, Bensheim, Germany) zwischen 29µSv und 68µSv liegen. Wissenschaftliche Studien geben die Strahlenbelastungen bei CB-CT-Scans mit ähnlichen Werten an, jedoch scheint es große Unterschiede zwischen den einzelnen Geräten zu geben [42, 43, 72, 82], allerdings liegen die Belastungen deutlich unter denen der konventionellen CT aber über denen der OPG [49, 80]. Die unterschiedlichen Belastungen sind in Tabelle 1 zusammen gefasst:

OPG (Orthopantomographie)	0,006 - 0,65 mSv [67]
DVT(DigitaleVolumenTomographie)	0,09 - 4,2 mSv [67]
CT (Computertomographie)	6 – 23 mSv [67]

**Tabelle 1:** Strahlendosen der Röntgenverfahren

Das aktuelle Einsatzgebiet der DVT-Scans ist in einer Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde veröffentlicht, in der klar zum Ausdruck gebracht wird, dass die DVT zu den etablierten radiologischen Verfahren in der Medizin gezählt werden muss.

Daraus resultieren Anwendungsbereiche in Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie sowie der Zahnmedizin [32].

Im Vordergrund steht hierbei insbesondere die chirurgische Zahnheilkunde mit einem besonderen Augenmerk auf der Implantologie, da die Auflösung genau wie bei der Computertomographie eine gute Detailschärfe für die Befundung



knöcherner Strukturen bietet [89].

### 1.3. Kephalometrie

Die klassische Kephalometrie ist heute ein wichtiger Bestandteil in der kieferorthopädischen Therapie und wird dort zu diagnostischen Zwecken eingesetzt.

Hierfür wird standardmäßig eine weitere Röntgentechnik, das sogenannte Fernröntgenseitenbild (FRS) verwendet, das 1931 durch *Broadbent* und *Hofrath* in das kieferorthopädische Therapiekonzept eingebunden worden ist [70].

Man kann dieses Bild allerdings auch aus den Rohdaten der digitalen Volumentomographie erzeugen und somit diese Bilder für die Kephalometrie verwenden [78, 79, 80].

Ein Vergleich der erzeugten Bilder aus den dreidimensionalen Daten zeigt keinen signifikanten Unterschied gegenüber dem konventionell aufgenommenen FRS [84]. Allerdings konnten *Vlijmen et al. (2009)* eine verbesserte Reproduzierbarkeit bei der Auswertung von Kephalogrammen auf Grundlage von DVT-Daten feststellen [84]. *Hartmann (2010)* unterstreicht diese Aussage und stellte einen zusätzlichen Informationsgewinn anhand der 3D-Analyse bei der Therapie von Patienten mit fazialen Asymmetrien fest. Trotzdem liegt derzeit keine ausreichende Evidenz für einen erhöhten Nutzen vor, weshalb die Indikationsstellung in der Kieferorthopädie besonders streng zu stellen ist, da Kinder und Jugendliche besonders empfindlich gegenüber ionisierenden Strahlen sind [32].

Allerdings kann man mittels der 3D-Daten nicht nur die konventionellen kephalometrischen Maße in der Sagittalen und Vertikalen erheben, sondern kann Messungen an den Schädelrekonstruktionen durchführen und zusätzliche Informationen in der Horizontalen erhalten [78, 79, 80, 88]. Es können hierfür sowohl die Daten von Schädel-CT, als auch von Cone-beam-CT (CB-CT) herangezogen werden.

Genau wie bei der klassischen Kephalometrie werden auch bei der 3D-

Kephalometrie Punkte gesetzt, aus denen sich Strecken und Winkel ergeben. Das Auffinden dieser Punkte ist abhängig von der Qualität des Bildes, sowie der Erfahrung des Behandlers [29].

Die Auswertung der kephalometrischen Werte anhand eines FRS ist eine etablierte Methode, um dentoalveoläre, dentofaziale und kraniofaziale Anomalien zu diagnostizieren und zu kategorisieren [29].

Für diese Auswertung stehen viele Analysemethoden zur Verfügung, wobei sich die Standardanalyse aus Werten verschiedener Autoren (*Steiner, Hasund, Jarabak, Rickets und Schwarz*) zusammensetzt [13, 52, 53, 70].

Im Gegensatz dazu gibt es in der 3D-Kephalometrie keine Standardanalysen oder Auswertungsmethoden, wobei *Swennen et al. (2006)* eine gute Basis dafür geschaffen haben [79].

Ein Vorteil der 3D-Kephalometrie besteht darin, dass auch Messungen in der Horizontalebene durchgeführt werden können. Für die Analyse von 3D-Rekonstruktionen dienen Referenzpunkte der konventionellen Kephalometrie als Orientierung, allerdings sind in deren Definition keine Angaben über deren Lage in der Horizontalen festgehalten.

Die Genauigkeit und Zuverlässigkeit bei kephalometrischen Messungen anhand von 3D-Rekonstruktionen aus DVT-Daten ist mehrfach beschrieben worden [5, 6, 23, 84], auch wenn sich die 3D-Rekonstruktionen aus DVT-Scans nicht immer vergrößerungsfrei erstellen lassen und somit auch bei dieser Röntgentechnik die Schwierigkeiten mit den Projektionsfehlern nicht beseitigt sind [40].

Die Programme, mit denen die 3D-Kephalometrie durchgeführt werden kann, sind in Einzelfällen so entwickelt, dass mit ihnen ganze Operationsplanungen der orthognathen Chirurgie durchgeführt werden können [78, 88]. Programme, mit denen solch eine Planung durchgeführt werden kann, sind Maxilim® (Medicim®, Mechelen, Belgium) oder Amira® (Visage Imaging GmbH, Berlin, Germany).

Die 3D-Kephalometrie befasst sich nicht nur mit der Kategorisierung und Planung von skelettalen Verlagerungen, sondern auch mit der Vermessung der bedeckenden Weichteile. Die Weichteilbeurteilung anhand von 3D-

Rekonstruktionen aus DVT-Daten ist im Vergleich zur Bewertung der Weichteile mittels FRS benachteiligt [80]. Allerdings ermöglichen die DVT-Daten eine bessere Bewertung als dies mit CT-Daten möglich ist, obwohl deren Weichteilkontrast besser ist [80]. *Swennen und Schutyser (2006)* sehen den Grund dafür in der naturgetreueren Ausformung der Gesichtsteile, die sich aus der aufrechten Position des Patienten bei der Anfertigung der DVT-Scans ergeben.

Für die 3D-Kephalometrie der Weichteile werden Aufnahmeverfahren wie beispielweise der Gscan (IVB GmbH und Fraunhofer Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik, Jena) oder der FaceScan3D (3D-Shape GmbH, Erlangen) verwendet, die nach dem Prinzip der Streifenprojektion arbeiten. Alternativ dazu gibt es Laser-Messsysteme als Aufnahmeverfahren. Geräte die nach diesem Prinzip arbeiten sind der Head and Face 3D Color Scanner, Modell 3030 (Cyberware, Inc., Kalifornien) und der Minolta Vivid 900 (Konica Minolta Holdings, Inc., Tokio).

Eine Verknüpfung der 3D-Kephalometrie in Bezug auf das Hart- und Weichgewebe ist das gewünschte Ziel. Dies würde dazu führen, dass die äußerlichen Veränderungen, die beispielsweise eine Umstellungsosteotomie mit sich bringt, berechenbar würden.

Allerdings gibt es bezüglich der Vorhersagbarkeit der Weichgewebsveränderungen bei Dysgnathieoperationen unterschiedliche Meinungen. *Keßler et al. (2000)* vertreten die gleiche Meinung wie *Hohlberg et al. (2005)* und geben an, eine Prognose für die Weichgewebsveränderung treffen zu können, wohingegen *Querenshy et al. (2008)* eine Vorhersagbarkeit bezüglich der ästhetischen Veränderung derzeit ablehnen. Ohne Berücksichtigung dieser Meinung ist die klinische Anwendung insofern fraglich, da die Aufbereitung der Daten für einen Fall in der Literatur zwischen 30 und 50 Minuten angegeben werden kann [26,88]. Weitere Untersuchungen müssen deshalb abgewartet werden.

## **1.4. Dysgnathien**

Dysgnathien stellen entwicklungsbedingte Störungen dar, die in den Bereich der dentofazialen Anomalien fallen. Hierbei handelt es sich um Fehlentwicklungen, die die Zahnentwicklung und die sich daraus ergebende Okklusion sowie die Beziehung der skelettalen Basen der Kiefer und der Schädelbasis umfassen. Nach *Hotz* setzen sich Dysgnathien aus angeborenen, vererbten und erworbenen Anomalien zusammen. Eine genaue Zuordnung ist sehr schwierig, da meist Mischformen vorliegen [30].

Bei diesen Anomalien handelt es sich um dentale Fehlstellungen (Kippungen, Rotationen, Verlagerungen, Falschstand im Ganzen) einzelner Zähne oder ganzer Zahngruppen sowie alveoläre Fehlstellungen (Fehlposition des pars alveolaris mandibulae/maxilla) bei korrekt eingebauten Kieferbasen oder um skelettale Fehlstellungen (mandibuläre Prognathie, Retrognathie, Mikro- und Makrognathie).

Den Großteil dieser Anomalien kann klassischer Weise der Kieferorthopäde therapieren. Bei komplizierten oder ausgeprägten Formen kann der Mund-Kiefer-Gesichtschirurg nach Abschluss des skelettalen Wachstums hinzugezogen werden. Deshalb bezeichnet man diese Behandlung auch als interdisziplinäre Therapie, da konservatives mit chirurgischem Vorgehen kombiniert wird [20, 27, 60, 68].

### **1.4.1. Ätiologie der Dysgnathien**

Die Entwicklung, insbesondere die Entwicklung des Gesichtsschädels, ist ein komplizierter Prozess, der von vielen Faktoren und insbesondere deren Abstimmung aufeinander abhängig ist. Der erste ossifizierende und kalzifizierende Knochen des menschlichen Körpers ist die Maxilla [3]. Die Verknöcherung des menschlichen Schädels beginnt Ende der 6. [4, 47] oder Anfang der 7. Woche [41, 75]. Alle bekannten Ossifikationszentren befinden sich im Ausbreitungsbereich des zu diesem Zeitpunkt schon bestehenden

Nervus Trigemini [37]. Ferner werden die Kondylen und die Schädelbasis als für die Schädelentwicklung bedeutsame "Entwicklungszentren" bezeichnet, die hormonell stimuliert zur Vergrößerung von Skeletteilen beitragen. Im Gegensatz hierzu steht die Theorie der funktionellen Matrix, die dem Weichgewebe eine große Rolle für das Wachstum zuteilt [48]. Insgesamt sind die Schädelentwicklung bzw. die darauf einflussnehmenden Faktoren nicht bis ins letzte Detail geklärt. Störungen in diesem komplexen Entwicklungsprozess können zur Ausbildung von Dysgnathien führen. Dabei differenziert man syndromale von nicht-syndromalen Entwicklungs- bzw. Wachstumsstörungen [10, 20, 27, 70].

Bei der Entstehung unterscheidet man:

- genetisch bedingte Dysgnathien
- funktionell bedingte Dysgnathien
- traumatisch verursachte Dysgnathien

#### **1.4.2. Einteilung nach Angle**

Die standardmäßig benutzte Klassifizierung zur Einteilung bzw. zur Beschreibung von skelettalen Klassen geht auf ein Werk zurück, das 1899 von *Angle* veröffentlicht worden ist.

##### **Neutralbiss**

Angle Klasse I:

Regel- oder Normalgebiss mit idealer Okklusion, bei der der Unterkiefer gegenüber dem Oberkiefer normal (orthognath) positioniert ist.

##### **Distalbiss**

Angle Klasse II/1:

Okklusionsanomalie, bei der der Unterkiefer gegenüber dem Oberkiefer weiter zurückliegt als normal. Ursache für die Positionsabweichung ist ein zu weit

zurückstehender Unterkiefer (mandibuläre Retrognathie) bzw. ein zu weit vorstehender Oberkiefer (maxilläre Prognathie).

Der Distalbiss mit zurückliegendem Unterkiefer ist die am häufigsten vorkommende Kieferfehlstellung und ist sehr oft kombiniert mit einem tiefen Biss.

### **Deckbiss**

Angle Klasse II/2:

Okklusionsanomalie auf erblicher Grundlage, bei der der Unterkiefer gegenüber dem Oberkiefer weiter zurückliegt als normal. Ursache für die Positionsabweichung ist ein zu weit zurückstehender Unterkiefer (mandibuläre Retrognathie) bzw. ein zu weit vorstehender Oberkiefer (maxilläre Prognathie).

Besonderes Merkmal sind die steilstehenden (invertierten) oberen Frontzähne, die die unteren Frontzähne in der Schlussbissstellung (Okklusion) überdecken. Der Deckbiss tritt besonders oft in Kombination mit einem tiefen Biss auf.

### **Mesialbiss**

Angle Klasse III:

Okklusionsanomalie, bei der der Unterkiefer gegenüber dem Oberkiefer weiter ventral liegt als normal.

Ursache für die Positionsabweichung ist ein zu weit vorstehender Unterkiefer (mandibuläre Prognathie) bzw. ein zu weit zurückstehender Oberkiefer (maxilläre Retrognathie).

Diese Klassifizierung lässt aber erst durch die Rekonstruktionstechnik nach *Grünberg* auf die Bisslage und somit auf die skelettale Beziehung zwischen OK und UK schließen [70]. Durch Rückrechnung ausgehend von der Okklusion (Bissstellung) erhält man die tatsächliche Stellung des Oberkiefers zum Unterkiefer (Bisslage). Daraus ergibt sich eine Einteilung der Dysgnathien in drei Klassen.

- Skelettale Klasse I  
Korrekte Lage des Oberkiefers zum Unterkiefer in der sagittalen

- Skelettale Klasse II  
Unterkiefer steht zum Oberkiefer zu weit distal
- Skelettale Klasse III  
Unterkiefer steht zum Oberkiefer zu weit mesial

Desweiteren kann unterschieden werden, ob Anomalien bilateral (symmetrisch) oder unilateral (asymmetrisch) vorkommen.

Hinzu kommen syndromale Erkrankungen mit komplexen Befunden, die nicht nur das dentofaziale sondern darüber hinaus auch das kraniofaziale Knochengerüst betreffen [20, 24, 51, 52, 70].

### **1.4.3. Behandlungsablauf und Therapie**

#### **1.4.3.1. Allgemeines zum Behandlungsablauf**

Prinzipiell werden ausgeprägte Kieferfehlagen von Kieferorthopäden und Kieferchirurgen nach Abschluss des Wachstums interdisziplinär behandelt. Aufgabe des Kieferorthopäden ist es, bestehende Zahnfehlstellungen zu beheben und die Zähne so in den Ober- und Unterkieferzahnbogen einzuordnen, dass nach einer operativen Kieferverlagerung eine regelrechte Beziehung der Zähne zueinander vorliegt.

Der Behandlungsablauf kann in drei Abschnitte eingeteilt werden:

- die kieferorthopädische Vorbehandlung
- die operative Kieferverlagerung
- die kieferorthopädische Nachbehandlung

Der erste Behandlungsteil erstreckt sich meist über einen Zeitraum von ein bis drei Jahren, die zweite Phase mit der Operation und Nachbehandlung dauert 6–10 Wochen, der letzte Abschnitt erstreckt sich meist über 6–12 Monate.

Die Planung einer Therapie ergibt sich nach Auswertung der erhobenen Befunde und Daten, welche sich klinisch, radiologisch und mittels der

Modellanalyse ergaben. Sofern sich daraus eine Indikation für einen operativen Eingriff am Knochen (Umstellungsosteotomie) ergibt, ist eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von Mund-Kiefer-Gesichtschirurgen und Kieferorthopäden erforderlich, um den Behandlungsumfang und Behandlungszeitpunkt der Therapie festzulegen. Dabei ist die Motivation des Patienten besonders wichtig, da es sich um eine lange und belastende Therapie handelt, die auch Risiken birgt, die vom Patienten akzeptiert werden müssen. Ist die Entscheidung zu dieser Therapie gefallen, schließt sich unmittelbar vor der Operation noch die eigentliche Operationsplanung an. Bestandteil dieser Operationsplanung ist auch eine Operationssimulation, bei der eine Modell-Operation durchgeführt wird. Die registrierten und gelenkbezüglich einartikulierten Situationsmodelle, die sich auf entsprechend markierten Sockeln befinden, werden in die therapeutisch gewünschte Position zueinander gebracht. Dabei werden die Verlagerungsmaße festgelegt; gleichzeitig werden dabei die zur Operation erforderlichen intraoperativen Splints angefertigt. Diese Modell-Operationen können laut *Fuhrmann et al. (1996)* allerdings auch an individuell produzierten 3D-Schädelmodellen auf der Basis von CT- oder DVT-Daten hergestellt und umgesetzt werden. Die vollständige Operationsplanung einschließlich der Erstellung von Operationssplinten kann laut *Swennen et al. (2009)* mittels entsprechender Software anhand von 3D-Rekonstruktionen aus DVT-Daten durchgeführt werden [19, 27, 60, 66, 68].

#### **1.4.3.2. Diagnostik**

In der Regel werden vom behandelnden Kieferorthopäden Modelle von Ober- und Unterkiefer erstellt. Hinzu kommt die Auswertung des Fernröntgenseitenbildes, das die Analyse der Kieferfehlage ermöglicht. Im Rahmen von Dysgnathien, bei denen es zu Umstellungsosteotomien kommt, werden je nach Lokalisation der Umstellung, standardmäßig Orthopantomogramme (OPG), Nasennebenhöhlen- (NNH) sowie Clementschitschaufnahmen angefertigt. In Ausnahmefällen ist eine erweiterte Diagnostik notwendig. Hierzu gehört vor



allem die Computertomographie, mit deren Hilfe eine dreidimensionale Darstellung möglich ist, bei der feinste Details wiedergegeben werden können.

#### **1.4.3.3. Operationsplanung**

In der Regel erfolgt die Operationsplanung anhand der aktuellen Auswertung des Fernröntgenseitenbildes sowie der Modellanalyse. Zusammen mit der Analyse der Gesichtswichteile wird festgelegt, welcher Kiefer in welche Richtung verlagert werden soll.

Die genaue Abstimmung der Verzahnung wird mit Hilfe einer Modelloperation in einem Artikulator durchgeführt. Dabei werden registrierte und gelenkbezüglich einartikulierte Situationsmodelle, die sich auf entsprechend markierten Sockeln befinden, in die therapeutisch gewünschte Position zueinander gebracht.

Anschließend können ein oder mehrere Kunststoffschlüssel, sogenannte Splints, im zahntechnischen Labor erstellt werden, die während der Operation die Beziehung von Ober- zu Unterkiefer sichern. Der Ziel-Splint wird häufig noch in der postoperativen Phase getragen. Die Herstellung des für die Operation benötigten Splints ist laut *Swennen et al. (2009)* mit entsprechender Software mittels 3D-Rekonstruktionen aus DVT-Daten möglich.

Bei ausgeprägten Fehllagen kann die Operationsplanung an 3D-Rekonstruktionen durchgeführt werden. *Fuhrmann et al. (1996)* verwendet diese digitalen Schädelrekonstruktionen, um die Patienten 3D-kephalometrisch zu vermessen und um individuelle lebensgroße Schädelmodelle herzustellen, an denen die Modelloperation simuliert werden kann.

*Kessler et al. (2000)* beschreiben eine aufwendige Operationsplanung für komplexe Dysgnathien, bei denen aus 3D-CT-Daten und einer dreidimensionalen Laserabtastung der Gesichtswichteile eine computergestützte Simulation der Verlagerung und der sich daraus ergebenden Veränderungen der Gesichtswichteile möglich ist. *Zachow (2004)* greift die computergestützte 3D-Osteotomieplanung auf und zeigt Möglichkeiten, die Vorhersagbarkeit der Weichgewebsveränderungen zu verbessern.

In Deutschland gibt es einen Sonderforschungsbereich 414 (rechner- und sensorgestützte Chirurgie), der im Raum Heidelberg und Karlsruhe in Zusammenarbeit mit Informatikern (*Wörn u.a.*), Medizinerinnen (*Mühling, Haßfeld u.a.*) und Elektrotechnikern (*Kiencke u.a.*) alle Arbeitsschritte von der Diagnostik über die Planung und Simulation bis hin zur navigierten und robotergestützten Therapie erarbeitet [88].

Eine Weiterentwicklung der bestehenden Möglichkeiten der Operationsplanung wäre die Festlegung der Position sowie die Anpassung der Osteosynthesematerialien.

#### **1.4.3.4. OP-Techniken**

Das operative Vorgehen bei Dysgnathiepatienten wird bestimmt von der Verlagerungsstrecke und von der angestrebten Langzeitstabilität der Okklusionsverhältnisse. Dabei wird versucht, die Ästhetik positiv zu verbessern. Die Eingriffe können sowohl am Unterkiefer als auch am Oberkiefer durchgeführt werden. Darüber hinaus kann die Umstellungsgosteotomie auch bimaxillär erfolgen.

Als standardmäßige Technik wird im Oberkiefer die Le Fort-I-Osteotomie angewendet, die von *Wassmund* und *Axhausen* eingeführt und von *Obwegeser* und *Bell* weiterentwickelt worden ist. Ebenso als Standardverfahren sei die operative Gaumennahterweiterung erwähnt.

Die Unterkieferumstellung kann ebenso wie die Le Fort-I-Osteotomie als Standardverfahren verstanden werden. Hierbei wird der Unterkiefer unter größter Berücksichtigung des N. alveolaris inferior sagittal gespalten. Diese Operationstechnik wurde von *Obwegeser* entwickelt und findet heute überwiegend in der modifizierten Form nach *Dal Pont* Anwendung. Für die bimaxilläre Umstellungsgosteotomie wird in Würzburg die von *Reuther et al.* (2003) entwickelte 4-Splint-Technik mit Kondylenpositionierung angewandt [20, 27, 60, 61, 66, 68].

## **2. Fragestellung**

### **2.1. Grundsätzliche Überlegung zur Anfertigung dieser Studie**

Ziel dieser Arbeit war es zu prüfen, ob mittels einer radiologischen 3D-kephalometrischen Messung aus DVT-Daten eine ausreichende Genauigkeit erzielt werden kann, um die präoperativ festgelegten Verlagerungsmaße zu ermitteln. Als zweiter Punkt wurde anhand klinischer Fälle die Umsetzung der präoperativ festgelegten Maße evaluiert.

Um die Strecken, die bei der Modell-OP vermessen werden mit Strecken aus den DVT-Scans vergleichen zu können, mussten korrespondierende Strecken durch Punkte definiert werden, welche sich bei der Operation um den jeweiligen Betrag ändern.

### **2.2. Prüfung der Methode**

- Feststellung der Genauigkeit bei der Messung der 3D-Rekonstruktion aus DVT-Daten
- Feststellung der Genauigkeit bei der Modell-OP Messung
- Feststellung der Genauigkeit beim Vergleich der Messungen

### **2.3. Auswertung des Patientenkollektivs**

- Evaluation der präoperativ festgelegten Verlagerungsmaße mit den radiologisch kephalometrisch ermittelten Strecken

### **3. Patienten und Methoden**

#### **3.1. Studiendesign**

Ziel dieser klinischen retrospektiven Studie ist es, anhand von DVT-Daten präoperativ geplante Verlagerungsmaße von Dysgnathiepatienten zu evaluieren. Hierfür wurden DVT-Bilder von Patienten nachuntersucht, bei denen im Zeitraum von 2007-2009 in der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie der Universität Würzburg eine Dysgnathieoperation durchgeführt worden ist. Die Anzahl der nachuntersuchten Patienten lag bei 35, wobei die Verteilung hinsichtlich des Geschlechtes 27 (weiblich) zu 8 (männlich) beträgt. Der älteste Patient war 36 Jahre und der jüngste 17 Jahre alt. Es wurden sowohl uni- (8 x UK; 6 x OK) als auch bimaxilläre (21) Umstellungsosteotomien vermessen. Für die Auswahl waren jedoch weder das Alter, das Geschlecht noch die Ausprägung der Dysgnathie ein Kriterium. Für diese Untersuchung wurden sowohl präoperative als auch postoperative DVT-Bilder ausgewertet. Diese wurden mit den Modellen der Modell- und Planungs-OP verglichen.

#### **3.2. Methoden**

##### **3.2.1. Herstellung der DVT-Daten**

Die zur Auswertung erforderlichen Daten wurden mit einem Volumentomographen, dem Galileos Comfort® (Sirona, Bensheim, Germany), erstellt. Das Aufnahmavolumen betrug 15cm x 15 cm x 15cm, wobei der Patient Dosen zwischen 29 $\mu$ Sv und 68 $\mu$ Sv ausgesetzt war. Die Aufnahmedauer betrug 14 Sekunden, obwohl die Belichtungszeit nur zwischen 2 und 6 Sekunden lag. Die Auflösung lag zwischen 150 $\mu$ m und 300 $\mu$ m. (Quelle: Sirona, Bensheim, Germany)

Die Bilder wurden im Sitzen oder im Stehen angefertigt, die Patienten wurden mit Hilfe der angebrachten Fixierungseinrichtung positioniert. Die Bilder wurden im Rahmen der präoperativen Diagnostik und anschließend zur postoperativen Kontrolle gefertigt, weshalb man auf weitere prä- und postoperative

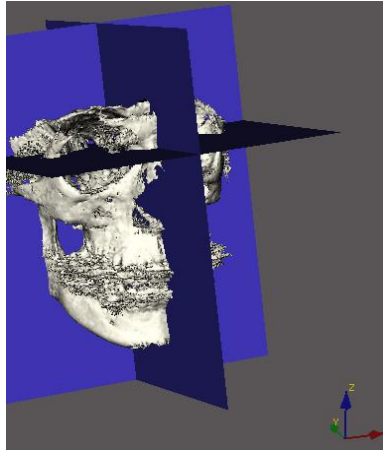
Röntgenaufnahmen verzichten konnte.

### **3.2.2. Erstellung der 3D-Rekonstruktion mit Maxilim®**

Die gewonnenen Daten wurden im DICOM-Format gespeichert. In diesem Format wurden sie aus dem Programm Sidexis neXt Generation® (Version 2.3), welches die Standard-Anwendungssoftware für die DVT-Reihe Galileos® von Sirona® (Sirona, Bensheim, Germany) ist, exportiert. Sie mussten exportiert werden, da die benötigten Messungen nicht mit Hilfe dieses Programmes gemacht werden konnten. Die Messungen wurden mit dem Programm Maxilim® (Version 2.2.2.1) des International Cone Beam Institute (Medicim®, Mechelen, Belgium) durchgeführt. Mit diesem Programm können aus den DICOM-Daten 3D-Rekonstruktionen erstellt und ausführliche kephalometrische Analysen durchgeführt werden. Dabei können die Punkte sowohl auf der Rekonstruktion selbst, als auch auf errechneten kephalometrischen Bildern (lateral und frontal) und auf den einzelnen Schnittbildern gesetzt werden. Damit die prä- und postoperativen Schädel im dreidimensionalen Raum gleich ausgerichtet sind, wurden sie anhand von 3 Werten, die sich jeweils um weniger als 0,1mm voneinander unterschieden, kalibriert. Diese Ausrichtung wurde mittels der eigens erstellten Kalibrierungsanalyse quantifiziert. Dafür wurden die Punkte Nasion und Sella benötigt.

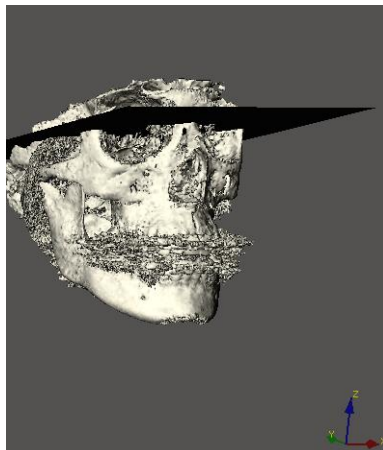
- N (Nasion)
- S (Sella)

Als Referenzebenen wurden die Horizontal-, die Vertikal- und die Medianebene verwendet, die in Abbildung 3 dargestellt sind.



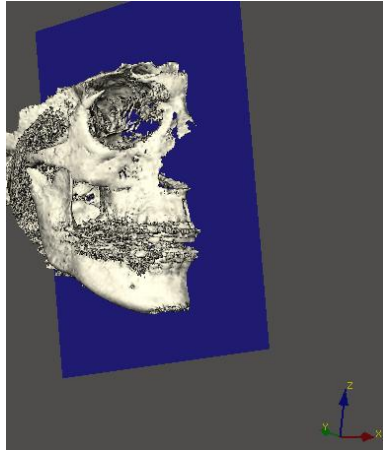
**Abbildung 3:** Darstellung der 3 Bezugsebenen anhand der knöchernen Rekonstruktion

- HorizontalPlane (in Abbildung 4 dargestellt)  
= Die Horizontale (x) 3D kephalometrische Referenzebene, die automatisch kreiert wird, verläuft 6 Grad unter der vorderen Schädelbasis (S-N), geht durch Sella und entlang der horizontalen Verbindung der natürlichen Kopfposition.



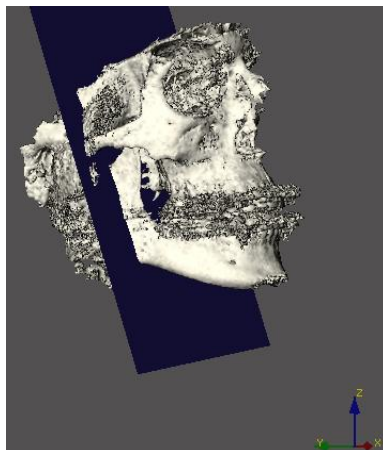
**Abbildung 4:** Darstellung der Horizontalebene anhand der knöchernen Rekonstruktion

- MedianPlane (in Abbildung 5 dargestellt)  
= Die mediane (z) 3D kephalometrische Referenzebene geht durch die Punkte Sella und Nasion und steht senkrecht zur Horizontalebene



**Abbildung 5:** Darstellung de Medianebene anhand der knöchernen Rekonstruktion

- VerticalPlane (in Abbildung 6 dargestellt)  
= Die vertikale (y) 3D kephalometrische Referenzebene geht durch Sella und steht senkrecht zu der Horizontal- sowie Medianebene.



**Abbildung 6:** Darstellung der Vertikalebene anhand der knöchernen Rekonstruktion

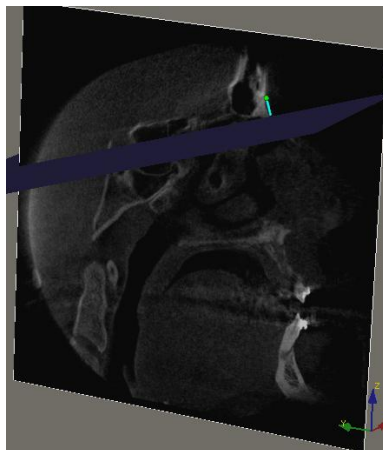
Aus den Punkten und den Bezugsebenen ergaben sich folgende Messungen:

- Abstand S zu N (in Abbildung 7 dargestellt)  
Definition: Strecke zwischen den Punkten S und N



**Abbildung 7:** Darstellung der Strecke S zu N auf einem sagittalen Schnittbild

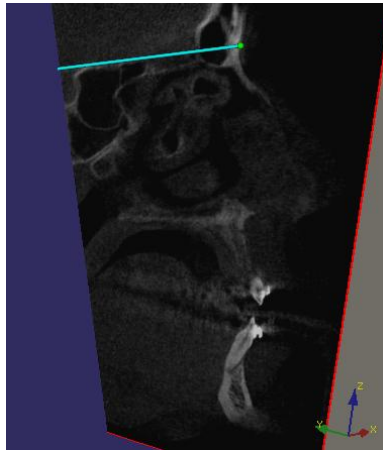
- Abstand Nasion zur HorizontalPlane (in Abbildung 8 dargestellt)  
Definition: Strecke zwischen dem Punkt N und der Horizontalebene



**Abbildung 8:** Darstellung der Strecke zwischen N und der Horizontalebene auf einem sagittalen Schnittbild



- Abstand Nasion zu VerticalPlane (in Abbildung 9 dargestellt)  
Definition: Strecke zwischen N und der Vertikalebene



**Abbildung 9:** Darstellung der Strecke zwischen N und der Vertikalebene auf einem sagittalen Schnittbild

Die vor und nach der Operation gewonnenen Daten ergaben dann nach der Kalibrierung Ergebnisse, wie sie beispielhaft anhand der Abbildungen 10 und 11 zu erkennen sind und sich hier nur in einem Wert um 0,1mm unterscheiden.

Kalibrierungsanalyse

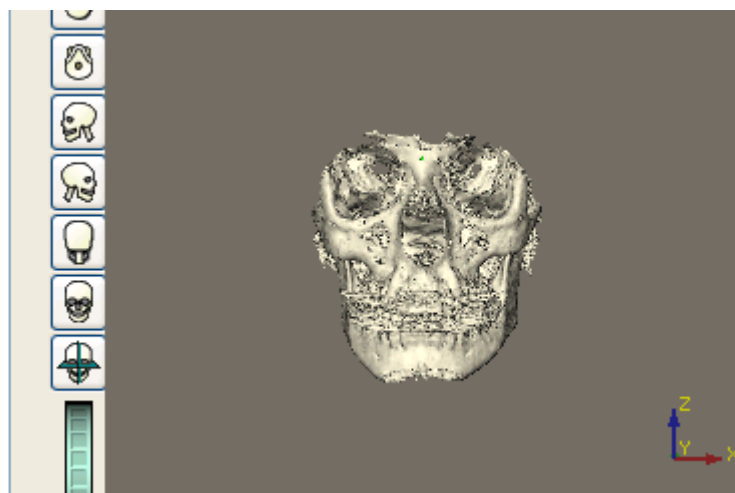
Linear Measurement Analysis

Distance between landmarks

	Abstand S zu N	69.0 mm
--	----------------	---------

Distance to plane

	Abstand Nasion zu Horizontal plane	7.2 mm
	Abstand Nasion zu Vertical plane	68.7 mm




**Abbildung 10:** Kalibrierungsanalyse präoperativ; links Auswertung, rechts knöcherner Rekonstruktion


## Kalibrierungsanalyse


### Linear Measurement Analysis

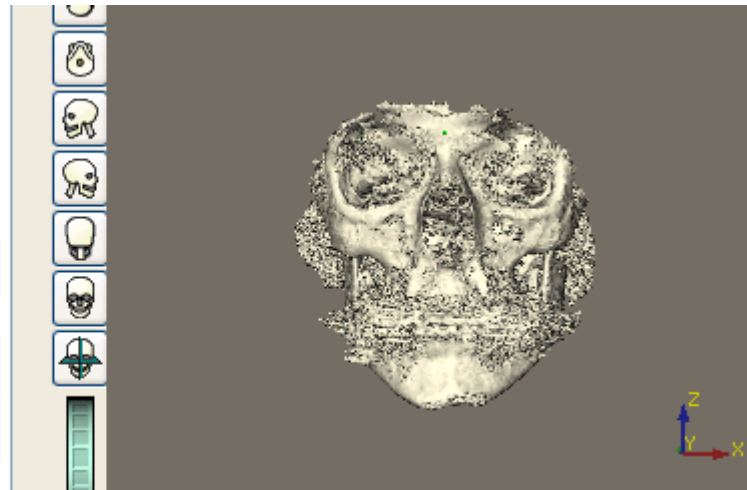
#### Distance between landmarks

	Abstand S zu N	69.0 mm
---	----------------	---------

#### Distance to plane

	Abstand Nasion zu Horizontal plane	7.2 mm
---	------------------------------------	--------

	Abstand Nasion zu Vertical plane	68.6 mm
---	----------------------------------	---------



**Abbildung 11:** Kalibrierungsanalyse postoperativ; links Auswertung, rechts knöchernerne Rekonstruktion

### 3.2.3. Erstellung und Auswertung der 3D-Analyse

Die Analyse erfasst anhand von gesetzten Punkten Strecken zu Bezugsebenen oder Fixpunkten. Die Ebenen und Bezugspunkte sind durch anatomische Strukturen definiert, die bei Umstellungsosteotomien nicht verändert werden. Deshalb verändern sich nur die Punkte, welche auf den Kiefern und Kieferabschnitten definiert wurden. Aus den vor und nach der Operation angefertigten Röntgenbilder ergeben sich Differenzen, die dem geplanten Verlagerungsmaß, welches präoperativ mittels einer Modell-OP festgelegt worden ist, entsprechen sollen. Die Punkte wurden dabei so gesetzt, dass die sich ergebenden Strecken dem Verlauf der Messung an den Modellen der Modell-OP entsprechen.

Folgende Punkte wurden für die Analyse benötigt:

- N (Nasion)
- S (Sella)
- Approximalkontakt OK 1er
- Approximalkontakt UK 1er
- A-Punkt
- distal des letzten Zahnes 3X
- distal des letzten Zahnes 4X
- Größte Zirkumferenz letzter OK-Zahn links
- Größte Zirkumferenz letzter OK-Zahn rechts

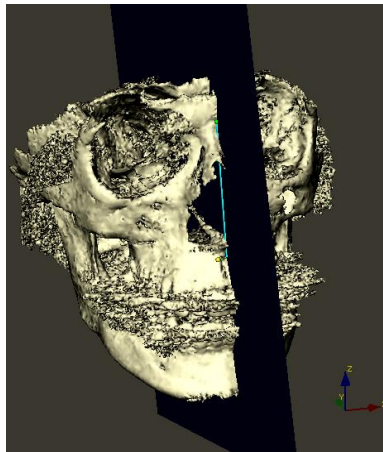
Folgende Bezugsebenen wurden verwendet:

- HorizontalPlane
- MedianPlane
- VerticalPlane

Aus den Punkten und Bezugsebenen ergaben sich folgende Strecken:

- OK-Impaktion frontal (in Abbildung 12 dargestellt)

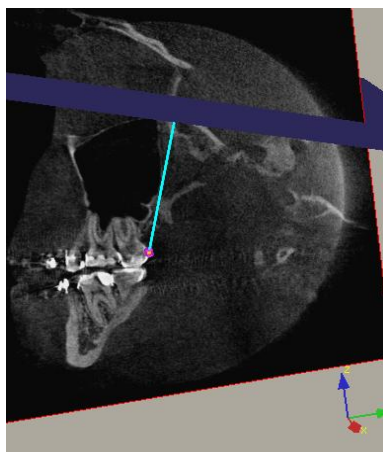
Definition: Die Strecke zwischen dem A-Punkt und N nach Projektion auf die Medianebene



**Abbildung 12:** Darstellung der Oberkieferimpaktion frontal anhand der knöchernen Rekonstruktion

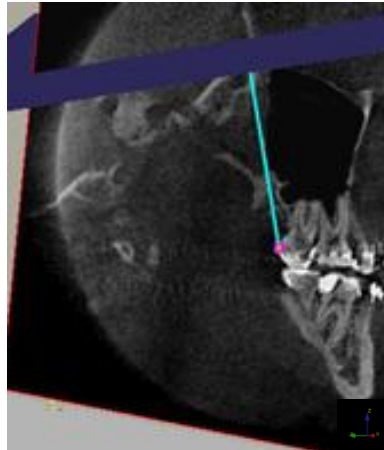
- OK-Impaktion links hinten (in Abbildung 13 dargestellt)

Definition: Die Strecke zwischen dem Punkt „Größte Zirkumferenz letzter OK-Zahn links“ und der Horizontalebene



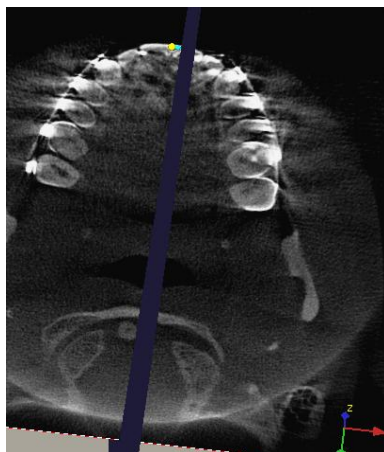
**Abbildung 13:** Darstellung der Oberkieferimpaktion links auf dem sagittalen Schnittbild

- OK-Impaktion rechts hinten (in Abbildung 14 dargestellt)  
Definition: Die Strecke zwischen dem Punkt „Größte Zirkumferenz letzter OK-Zahn rechts“ und der Horizontalebene



**Abbildung 14:** Darstellung der Oberkieferimpaktion rechts auf dem sagittalen Schnittbild

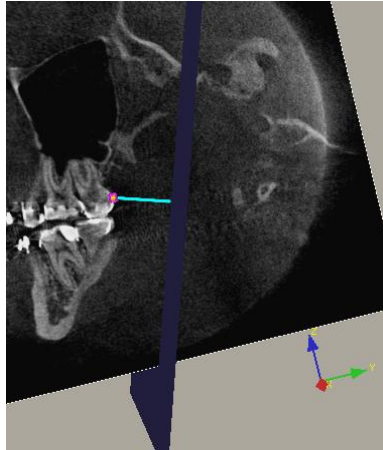
- Abstand OK-Mitte zu MedianPlane (in Abbildung 15 dargestellt)  
Definition: Die Strecke vom Punkt „Approximalkontakt OK 1er“ zur Medianebene



**Abbildung 15:** Darstellung der OK-Mitte im Bezug zur Medianebene auf dem axialen Schnittbild

- Abstand zwischen der größten Zirkumferenz des letzten OK-Zahns links und der VerticalPlane (in Abbildung 16 dargestellt)

Definition: Die Strecke zwischen dem Punkt "Größte Zirkumferenz letzter OK-Zahn links" und der Vertikalebene



**Abbildung 16:** Darstellung der Strecke zwischen "Größte Zirkumferenz letzter OK-Zahn links" und der Vertikalebene auf dem sagittalen Schnittbild

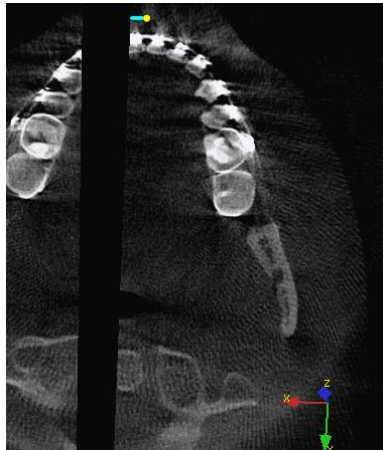
- Abstand zwischen der größten Zirkumferenz des letzten OK-Zahns rechts und der VerticalPlane (in Abbildung 17 dargestellt)

Definition: Die Strecke zwischen dem Punkt „Größte Zirkumferenz letzter OK-Zahn rechts“ und der Vertikalebene



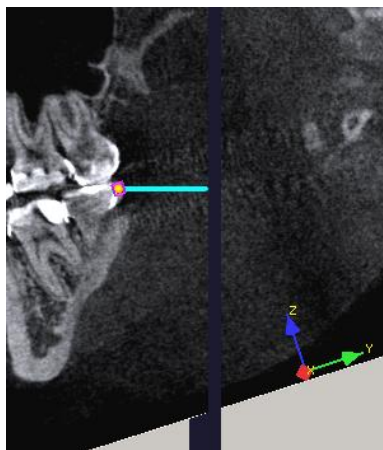
**Abbildung 17:** Darstellung der Strecke zwischen "Größte Zirkumferenz letzter OK-Zahn rechts" und der Vertikalebene auf dem sagittalen Schnittbild

- Abstand UK-Mitte zu MedianPlane (in Abbildung 18 dargestellt)  
Definition: Die Strecke zwischen dem Punkt „Approximalkontakt UK 1er“ und der Medianebene



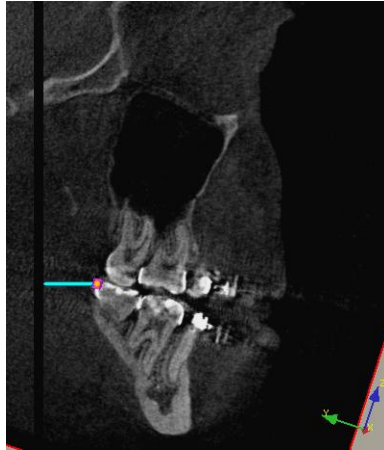
**Abbildung 18:** Darstellung der UK-Mitte im Bezug zur Medianebene auf dem axialen Schnittbild

- Modell\_OP links (in Abbildung 19 dargestellt)  
Definition: Die Strecke zwischen dem Punkt „distal des letzten Zahnes 3X“ und der Vertikalebene



**Abbildung 19:** Darstellung der Strecke zwischen dem Punkt "distal des letzten Zahnes 3X" und der Vertikalebene auf dem sagittalen Schnittbild

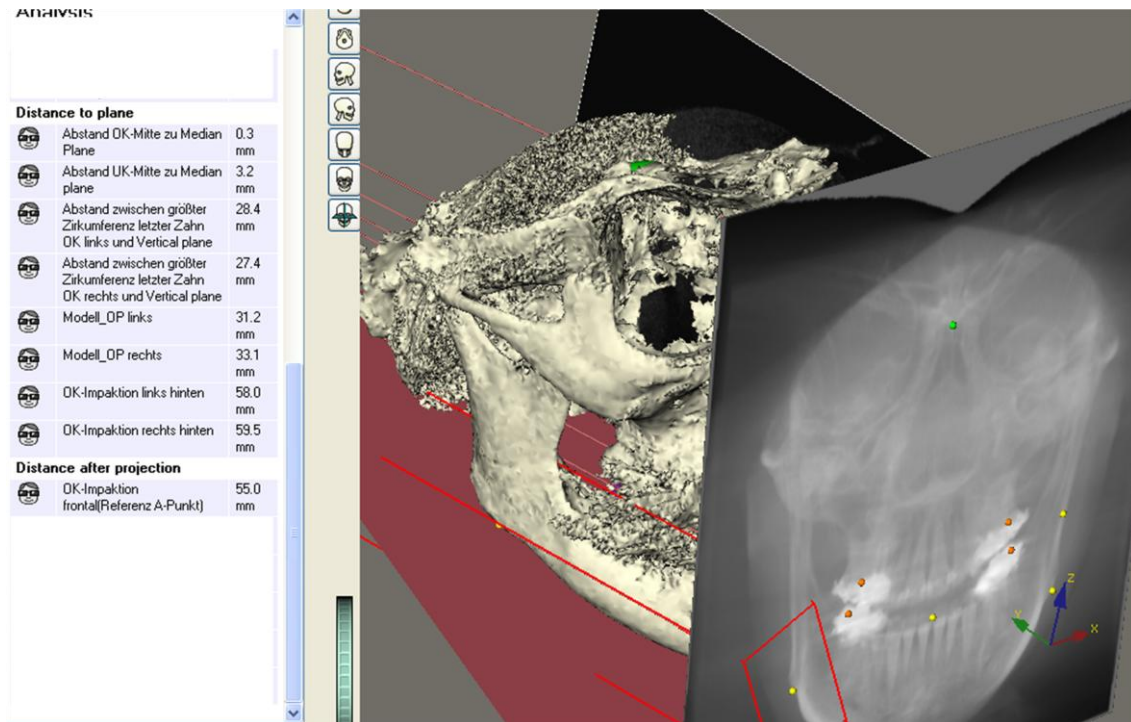
- Modell\_OP rechts (in Abbildung 20 dargestellt)  
Definition: Die Strecke zwischen dem Punkt „distal des letzten Zahnes 4X“ und der Vertikalebene



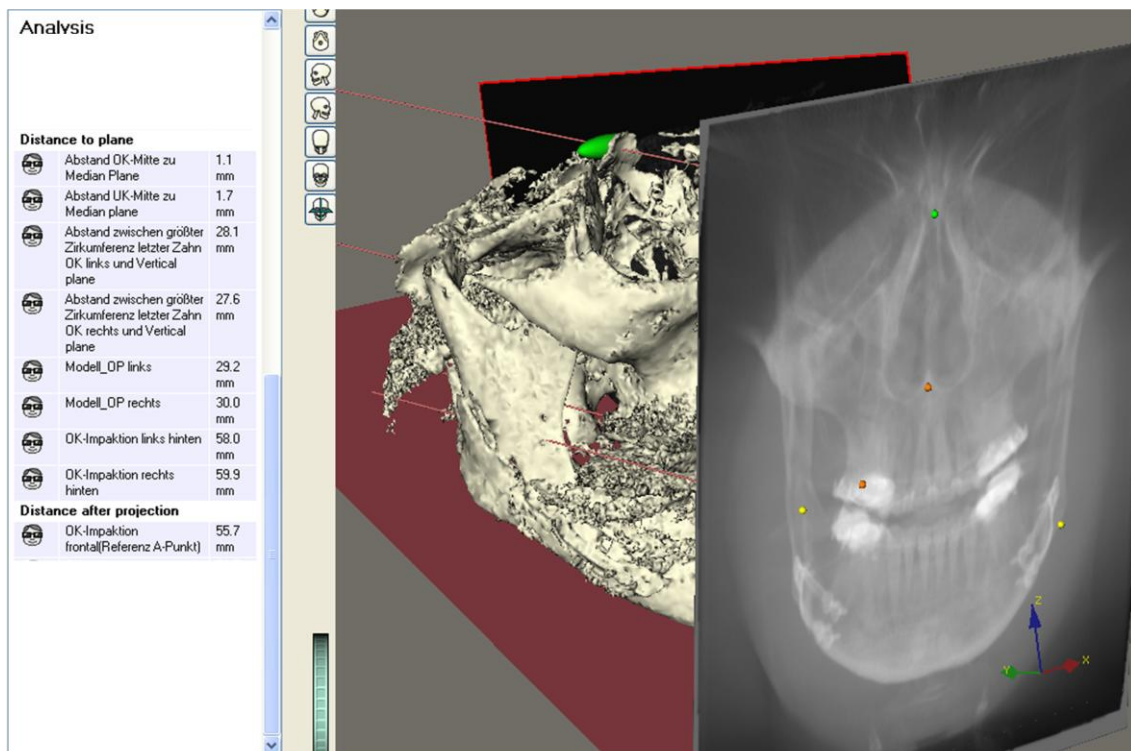
**Abbildung 20:** Darstellung der Streck zwischen dem Punkt "distal des letzten Zahnes 4X" und der Vertikalebene

Mittels dieser Strecken konnten die Impaktion im Oberkiefer im Bereich der mittleren Schneidezähne sowie rechts und links auf Höhe des 6-Jahr-Molaren ermittelt werden. Desweiteren konnte so die horizontale und die sagittale Verschiebung ermittelt werden; die sagittale Verschiebung betreffend differenziert man zwischen rechts und links. Im Unterkiefer ergaben sich Verschiebungen in anterior-posteriorer Richtung für die rechte und linke Seite sowie einen horizontale Versatz. Aus den prä- und postoperativen Bildern konnten differente Werte für gleiche Strecken ermittelt werden. Die so nachgewiesene Differenz stellt das radiologisch kephalometrisch gemessene Verlagerungsmaß dar. Diese Differenz ergibt sich, wenn man die Strecken der präoperativen Analyse (Abbildung 21) von denen der postoperativen Analyse (Abbildung 22) subtrahiert und daraus den Betrag bildet.





**Abbildung 21:** Gesamtanalyse einer präoperativen Rekonstruktion; links die Werte, rechts ein frontales Kephalogramm und der rekonstruierte 3D-Schädel im Vordergrund



**Abbildung 22:** Gesamtanalyse einer postoperativen 3D-Rekonstruktion; links die Werte, rechts ein frontales Kephalogramm und der rekonstruierte 3D-Schädel im Vordergrund

### 3.2.4. Erstellung und Auswertung der Modell-OP-Analyse

Als Referenz für das radiologisch kephalometrisch ermittelte Maß dient das vor der Operation festgelegte Maß der Planungs-OP. Dieses wird vom Operateur anhand der Modelloperation bestimmt. Für diese werden Situationsmodelle auf einem standardisierten Sockel (Höhe 10mm) aufgebracht (siehe Abbildung 23) und gelenkbezüglich in einen halbindividuellen Artikulator einartikuliert (siehe Abbildung 24).



**Abbildung 23:** Unterkiefer auf Standardsockel



**Abbildung 24:** Einartikulierte Modelle

Der Sockel und die Modelle werden im Front- und im Seitenzahnbereich mit Kerben versehen (siehe Abbildung 25). Anschließend werden die Modelle von den Sockeln gelöst und in die gewünschte Beziehung zueinander gebracht und verschlüsselt. Verschiebungen in der Sagittalen und Horizontalen ergeben sich aus den Diskrepanzen zwischen den Kerben auf dem Modell und denen des Sockels (siehe Abbildung 26). Die Verlagerungen in der Vertikalen ergeben sich aus einer Reduktion des Standardsockels (siehe Abbildung 27).

Auf diesen Modellen wird dann der Splint hergestellt (siehe Abbildung 28), der während der Operation dazu dient, die gewünschte Position der Kiefer zueinander vom Modell auf den Patienten zu übertragen. Für die sagittale Verlagerung im Ober- und Unterkiefer wurden die Strecken zwischen den

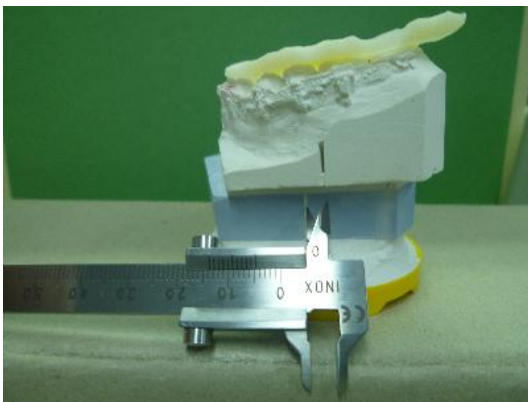
Markierungen gemessen, welche im Bereich zwischen dem zweiten Prämolaren und dem ersten Molaren angebracht wurden. Das Ausmaß der horizontalen Verlagerung ergab sich aus den Diskrepanzen der Markierungen im Frontbereich. Für die vertikale Verlagerung wurden die Standardsocket im Bereich der mittleren Schneidezähne und im Bereich der 6-Jahr-Molaren gemessen. Diese Messungen wurden mit einer Schieblehre (Muenchner Modell) der Firma Dentaureum® (Dentaureum GmbH & Co. KG) durchgeführt.



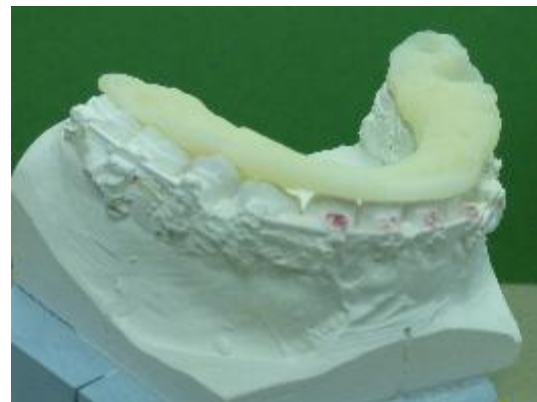
**Abbildung 25:** Modell mit gekerbtem Sockel



**Abbildung 27:** Messung in der Vertikalen



**Abbildung 26:** Messung in der Sagittalen



**Abbildung 28:** Modell mit hergestelltem Splint

### 3.3. Statistische Auswertung

Die überwiegend deskriptive Auswertung befasst sich mit der Messgenauigkeit, die maßgeblich für die Aussagekraft der ermittelten Werte ist. Deshalb wurden sowohl die Bestimmung der Referenzmaße anhand der Modelle, als auch die kephalometrische Analyse der DVT-Bilder auf Ihre Genauigkeit hin geprüft. Die Messgenauigkeit ist umso höher, je geringer die Standardabweichung und das Konfidenzintervall sind. Ferner sollten die Minima (kleinster gemessener Wert) und Maxima (größter gemessener Wert) nicht weit auseinander liegen. Für die Aussage dieser Studie wird anhand der kumulativen Verteilung die Übereinstimmung der Maße verglichen.

Dafür wurde ein Konfidenzintervall bestimmt, in dem mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% von einer Messungenauigkeit ausgegangen werden muss, und somit nicht als Diskrepanz der Maße gewertet wird. Dieses Konfidenzintervall ist  $1,96 \times \sigma$ . Die Standardabweichung ( $\sigma$ ), die hier zugrunde gelegt wird, ergab sich aus dem Vergleich der Maße anhand eines zufällig ausgewählten Patienten, der 60-mal durchgemessen wurde. Das bedeutet, es wurde der Mittelwert für die Abweichungen zwischen DVT-Daten und Modell-Operation ermittelt und die Standardabweichung, die sich hieraus ergab als Messfehler bestimmt. Die Anzahl von 60 ergab sich, weil in einer parallel zu dieser Studie laufenden Arbeit, die Auswertung zwischen unterschiedlichen Untersuchern ausgewertet wurde. Jeder Behandler musste die Auswertung 30-mal durchführen, da mathematisch eine Stückzahl größer gleich 30 nötig ist um Normalverteilung voraussetzen zu können [21].

Da es 2 Behandler waren, ergab sich für diese Arbeit eine Messungsanzahl von 60, weshalb auch hier die Normalverteilung vorausgesetzt werden kann.

Die Daten wurden unter Verwendung von Excel® der Firma Microsoft® (Microsoft Deutschland GmbH) und dem Statistikprogramm Statistica® (Version 9.0) der Firma StatSoft® (StatSoft, Europe, GmbH) erstellt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Methodik eine ausreichend genaue Messung zulässt. Dafür wurden Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima (kleinster gemessener Wert) und Maxima (größter gemessener Wert) sowie die Konfidenzintervalle auf

einem Niveau von 95% bestimmt, wobei die Standardabweichung die wichtigste Größe ist. Das Konfidenzintervall bestimmt die Grenze, die für die Übereinstimmung der Messungen relevant ist. Es wurden Differenzwerte bei 35 Patienten aus den ermittelten DVT-Daten und den Daten der Modell-Operation gebildet. Die kumulative Verteilung dieser ermittelten Differenzwerte dient zur statistischen Auswertung der Studie.

Zur graphischen Darstellung der Verteilung der gewonnenen statistischen Daten wurden Kastengrafiken, sogenannte Boxplots, verwendet. Ein Boxplot besteht immer aus einem Rechteck (genannt Box) und zwei Linien, die dieses Rechteck verlängern. Diese Linien werden als „Whisker“ bezeichnet und werden durch einen Strich abgeschlossen.

Die Box entspricht dem Bereich, in dem die mittleren 50% der Daten liegen. Sie wird also durch das obere und das untere Quartil begrenzt und die Länge der Box entspricht dem Interquartilsabstand (IQR). Dieser ist ein Maß der Streuung der Daten, welches durch die Differenz des oberen und unteren Quartils bestimmt wird. Desweiteren wird der Median als durchgehender Strich in der Box eingezeichnet. Dieser Strich teilt das gesamte Diagramm in zwei Hälften, in denen jeweils 50% der Daten liegen. Durch seine Lage innerhalb der Box bekommt man also einen Eindruck von der Symmetrie, der den Daten zugrunde liegenden Verteilung, vermittelt.

Durch die Whisker werden die außerhalb der Box liegenden Werte dargestellt. Im Gegensatz zur Definition der Box ist die genaue Definition der Whisker nicht einheitlich. In der hier verwendeten Darstellung erfolgt die Berechnung des unteren Whisker als 2,5%-Quantil und die Berechnung des oberen als 97,5%-Quantil. Innerhalb der Whiskergrenzen liegen somit 95% aller beobachteten Werte. Werte außerhalb des Whiskers werden als Ausreißer bezeichnet.

## 4. Ergebnisse

### 4.1. Sicherstellung der Methode

Zur Sicherstellung der Messgenauigkeit der beiden Messverfahren wurde je ein Bild bzw. eine Modell-OP 60 mal vermessen. Bei der Auswertung des DVT ergeben sich Standardabweichungen von 0,13mm bis 0,67mm. Der Mittelwert der Standardabweichung liegt hier bei 0,41mm. Daraus ergibt sich eine geringe Abweichung der einzelnen Strecken. Wobei die Abweichung zwischen den einzelnen Strecken geringfügig unterschiedliche Ungenauigkeiten aufweisen.

Der Raum, in dem sich 95% der gemessenen Werte befinden, umfasst Bereiche von 0,07mm bis 0,35mm. Diese Zahlen sind der Tabelle 2 zu entnehmen. Die Abkürzungen in den Tabellen 3, 4 und 5 sind im Anhang einzeln erklärt und stehen prinzipiell für:

„Kiefer\_evtl.Verlagerungsrichtung\_Seite\_welcheMessung“.

**Descriptive Statistics: Auswertung DVT**

	N	Mean	Confidence -95,000%	Confidence - 95,000%	Minimum	Maximum	Std.Dev.
UK_r DVT	60	25,09	24,99	25,19	24,40	25,80	0,38
UK_L DVT	60	26,00	25,87	26,14	25,00	27,70	0,52
UK_m DVT	60	3,80	3,75	3,85	3,30	4,10	0,20
OK_I_A DVT	60	67,47	67,29	67,64	66,20	68,90	0,67
OK_I_r DVT	60	54,40	54,31	54,49	53,60	55,10	0,35
OK_I_L DVT	60	54,27	54,16	54,38	53,50	55,30	0,43
OK_m DVT	60	0,17	0,13	0,20	0,00	0,60	0,13
OK_T_r DVT	60	25,33	25,21	25,44	24,70	26,70	0,43
OK_T_L DVT	60	24,17	24,08	24,26	23,60	25,00	0,34

**Tabelle 2:** Darstellung der Mittelwerte, des niedrigsten und höchsten gemessenen Wertes, der Standardabweichung, sowie das Intervall in dem 95% der gemessenen Werte liegen; Die Abkürzungen sind im Anhang erläutert

Bei der Auswertung der Modell-OP ergeben sich Standardabweichungen von 0,18mm bis 0,43mm. Im Mittel liegt die Standardabweichung bei 0,21mm. Der Raum, in dem sich 95% der gemessenen Werte befinden, umfasst Bereiche von 0,09mm bis 0,22mm. Diese Zahlen sind der Tabelle 3 zu entnehmen.

**Descriptive Statistics: Modell-OP**

	N	Mean	Confidence-95,000%	Confidence-95,000%	Minimum	Maximum	Std.Dev.
<b>UK_r Modell</b>	60	8,23	8,18	8,28	7,90	8,60	0,18
<b>UK_L Modell</b>	60	3,14	3,07	3,21	2,70	3,70	0,27
<b>UK_m Modell</b>	60	4,59	4,52	4,65	4,20	5,00	0,26
<b>OK_I_1 Modell</b>	60	0,00			0,00	0,00	0,00
<b>OK_I_r MObell</b>	60	2,16	2,07	2,24	1,60	2,90	0,32
<b>OK_I_L Modell</b>	60	3,72	3,61	3,83	2,70	5,00	0,43
<b>OK_m Modell</b>	60	0,00			0,00	0,00	0,00
<b>OK_T_r Modell</b>	60	4,31	4,26	4,35	4,00	4,60	0,18
<b>OK_T_L Modell</b>	60	3,41	3,35	3,47	3,00	3,80	0,22

**Tabelle 3:** Darstellung der Mittelwerte, des niedrigsten und höchsten gemessenen Wertes, der Standardabweichung, sowie das Intervall in dem 95% der gemessenen Werte liegen. Die zwei Zeilen mit den Werten 0 sind hier nicht messbar; Die Abkürzungen sind im Anhang erläutert

Daraus ergibt sich eine genaue Messung der einzelnen Strecken.

Auch hier bestehen zwischen den einzelnen Strecken (Abstand der Kerben auf den Sockeln) kleine Unterschiede, desweiteren ist die Messungsgenauigkeit kleiner, als bei der Ermittlung der DVT-Strecken.

Zur Bestimmung des Konfidenzintervalls wurde 60-mal die Differenz zwischen den DVT-Aufnahmen vor und nach der Operation ermittelt und mit den gemessenen Werten der Modell-Operation verglichen.

Die Standardabweichung liegt hier im Mittel bei 0,49mm. Das Konfidenzintervall auf dem Niveau von 95% ist 1,96-mal die Standardabweichung, woraus sich ein Wert von 0,97mm ergibt. Das bedeutet, dass mit 95%iger Wahrscheinlichkeit

eine Abweichung der Werte um den vorigen Betrag nicht als Abweichung sondern als Messungenauigkeit angesehen werden muss. Die Werte für die Ermittlung dieses Intervalls sind der Tabelle 4 zu entnehmen.

	N	Mean	Std.Dev.
UK_r_diff_g	60	4,17	0,67
UK_l_diff_g	60	0,64	0,29
UK_m_diff_g	60	3,75	0,29
OK_I_F_diff_g	60	2,24	0,76
OK_I_r_diff_g	60	1,72	0,52
OK_I_l_diff_g	60	0,90	0,51
OK_m_diff_g	60	1,04	0,38
OK_T_r_diff_g	60	1,61	0,52
OK_T_l_diff_g	60	2,11	0,43

**Tabelle 4:** Darstellung der Mittelwerte, der Standardabweichung, Die Abkürzungen sind im Anhang erläutert

## 4.2. Vertikale Messung und Auswertung im Oberkiefer

Bei der vertikalen Messung im Oberkiefer wurden drei Werte untersucht. Die Impaktion frontal im Bereich der mittleren Inzisiven, sowie die Impaktion rechts und links auf Höhe des letzten Molaren.

### 4.2.1. Frontale Impaktion

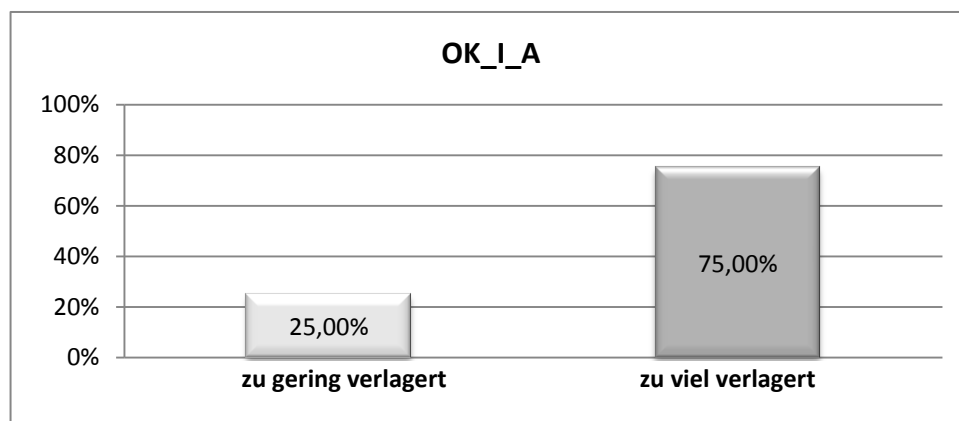
Bei der Impaktion frontal liegen 65,71% der Ergebnisse innerhalb des Toleranzbereiches. 88,57% der Ergebnisse zeigen eine Abweichung von 2mm und weniger auf. Die verbleibenden 11,43% weisen Diskrepanzen  $\geq 2$ mm auf, wobei die größte Abweichung kleiner als 3,5mm ist. Die Zahlen sind der Tabelle 5 zu entnehmen.



Intervall	Count	Cumulative - Count	% of all - Cases	Cumulative % - of All
<x<=0,00	2	2	5,71	5,71
0,00<x<=0,50	13	15	37,14	42,85
0,50<x<=1,00	8	23	22,85	65,71
1,00<x<=1,50	4	27	11,42	77,14
1,50<x<=2,00	4	31	11,42	88,57
2,00<x<=2,50	0	31	0,00	88,57
2,50<x<=3,00	3	34	8,57	97,14
3,00<x<=350	1	35	2,85	100,00
Missing		35	0,00	100,00

**Tabelle 5:** Intervalle, in denen sich Diskrepanzen (Angaben in mm) befinden und summiert die Einzelprozente der Treffer für die frontale Impaktion im OK

Bei den Diskrepanzen der frontalen Impaktion des Oberkiefers, die mehr als 1mm aufweisen, ist festzuhalten, dass in 25,00% der Fälle die gemessenen Verlagerungen kleiner und in 75,00% der Fälle größer als das geplante OP-Maß sind. Diese Zahlen sind in Diagramm 1 veranschaulicht.



**Diagramm 1:** Prozentangaben der Diskrepanzrichtung

#### 4.2.2. Impaktion auf der rechten Oberkieferseite

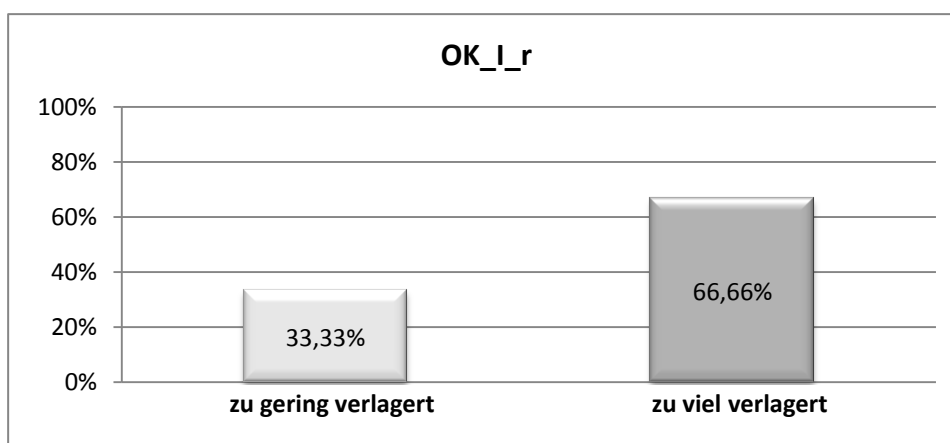
Bei der Impaktion auf der rechten Seite befinden sich 51,42% innerhalb des Toleranzbereiches und 85,71% weisen eine Abweichung von 2mm und weniger

auf. Daraus ergibt sich, dass bei 14,29% der Messungen Diskrepanzen von mehr als 2mm und weniger als 3mm feststellbar sind. Die Zahlen sind der nachfolgenden Tabelle 6 zu entnehmen.

Intervall	Count	Cumulative - Count	% of all - Cases	Cumulative % - of All
$<x \leq 0,00$	2	2	5,71	5,71
$0,00 < x \leq 0,50$	11	13	31,42	37,14
$0,50 < x \leq 1,00$	5	18	14,28	51,42
$1,00 < x \leq 1,50$	7	25	20,00	71,42
$1,50 < x \leq 2,00$	5	30	14,28	85,71
$2,00 < x \leq 2,50$	2	32	5,71	91,42
$2,50 < x \leq 3,00$	3	35	8,57	100,00
Missing	0	35	0,00	100,00

**Tabelle 6:** Intervalle, in denen sich Diskrepanzen (Angaben in mm) befinden und summiert die Einzelprozente der Treffer für die Impaktion auf der rechten Seite im OK

Bei den Diskrepanzen der Impaktion auf der rechten Oberkieferseite, die mehr als 1mm aufweisen, ist festzuhalten, dass in 33,33% der Fälle die gemessenen Verlagerungen kleiner und in 66,66% der Fälle größer als das geplante OP-Maß sind. Diese Zahlen entstammen dem Diagramm 2.



**Diagramm 2:** Prozentangaben der Diskrepanzrichtung

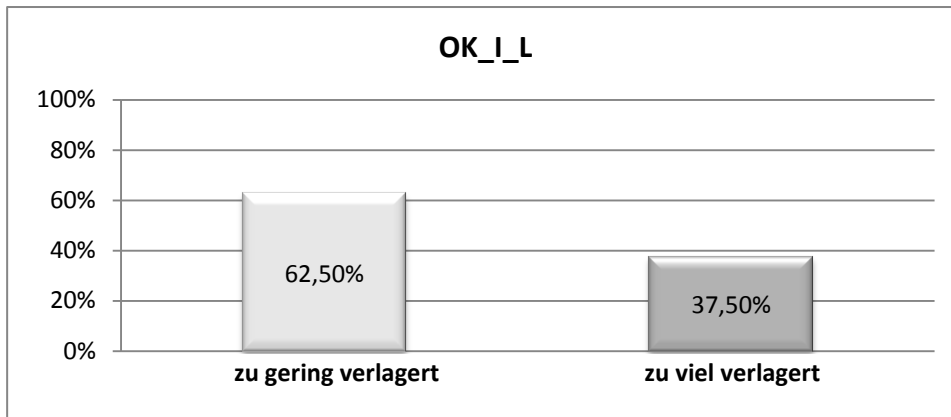
### 4.2.3. Impaktion auf der linken Oberkieferseite

Die Impaktion auf der linken Seite vereinigt 54,28% der Messungen innerhalb des Toleranzbereiches. In 85,71% der Messungen wurde eine Diskrepanz von 2mm und weniger festgestellt. Abschließend sind die 14,29% der Ergebnisse zu nennen, bei denen eine Abweichung von mehr als 2mm festzustellen ist, wobei hier die größten Abweichungen mit weniger als 3,5mm angegeben werden können. Diese Zahlen sind der Tabelle 7 zu entnehmen.

Intervall	Count	Cumulative - Count	% of all - Cases	Cumulative % - of All
<x<=0,00	1	1	2,85	2,85
0,00<x<=0,50	6	7	17,14	20,00
0,50<x<=1,00	12	19	34,28	54,28
1,00<x<=1,50	5	24	14,28	68,57
1,50<x<=2,00	6	30	17,14	85,71
2,00<x<=2,50	3	33	8,57	94,28
2,50<x<=3,00	1	34	2,85	97,14
3,00<x<=3,50	1	35	2,85	100,00
Missing	0	35	0,00	100,00

**Tabelle 7:** Intervalle, in denen sich Diskrepanzen (Angaben in mm) befinden und summiert die Einzelprozent der Treffer der Impaktion auf der linken Seite im OK

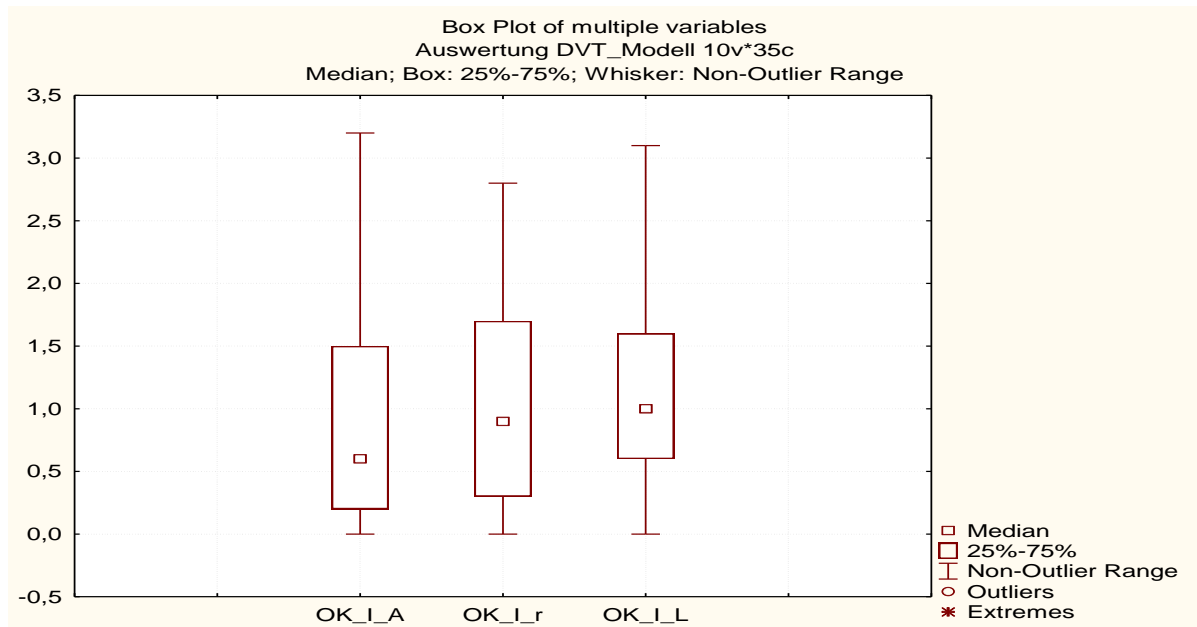
Bei den Diskrepanzen der Impaktion auf der linken Oberkieferseite, die mehr als 1mm aufweisen, ist festzuhalten, dass in 62,50% der Fälle die gemessenen Verlagerungen kleiner und in 37,50% der Fälle größer als das geplante OP-Maß sind. Diese Zahlen sind dem Diagramm 3 zu entnehmen.



**Diagramm 3:** Prozentangaben der Diskrepanzrichtung

#### 4.2.4. Auswertung der Impaktion im Oberkiefer

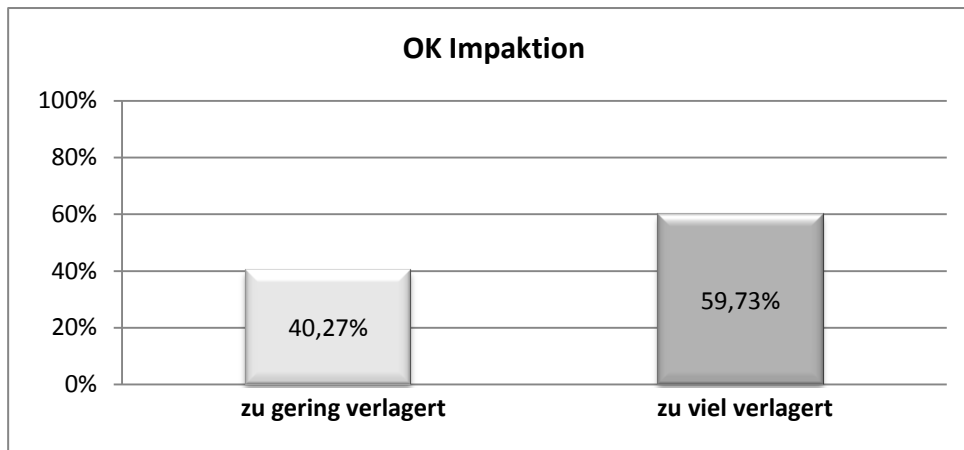
Die Ergebnisse aus den Punkten 4.2.1. - 4.2.3. sind in Diagramm 4 noch einmal graphisch dargestellt. Hierbei erkennt man, dass die Mediane bei den Messungen auf der linken und der rechten Seite ca. bei 1 liegen, wohingegen sie im Frontbereich leicht über 0,5 liegen. Darüber hinaus lässt sich bei allen Messungen feststellen, dass mehr als 50% der Werte weniger als 2mm Diskrepanz aufweisen. Desweiteren sieht man, dass die Streuung bei der Impaktion auf der linken Seite am geringsten ist. Bei den Messungen auf der rechten und linken Seite ist die Streuung im Gegensatz zu den Ergebnissen im Frontbereich, relativ symmetrisch um den Median.



**Diagramm 4:** Graphische Darstellung der Ergebnisse der Oberkieferimpaktion; die Abkürzungen sind im Anhang erläutert

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bei allen drei Messreihen in der Vertikalen im Oberkiefer bei ca. 50% der Messung kein Unterschied feststellbar ist bzw. dieser innerhalb des Toleranzbereichs liegt. Desweiteren kann festgehalten werden, dass bei den drei Messung in ca. 10% der Fälle Unterschiede von mehr als 2mm auftreten und die größte Abweichung unter 3,5mm liegt.

Bei den Diskrepanzen der Oberkieferimpaktion, die mehr als 1mm aufweisen, ist festzuhalten, dass in 40,27% der Fälle die gemessenen Verlagerungen kleiner und in 59,73% der Fälle größer als das geplante OP-Maß sind. Diese Zahlen sind in Diagramm 5 dargestellt.



**Diagramm 5:** Prozentangaben der Diskrepanzrichtung

### 4.3. Sagittale und horizontale Messungen

Die Messungen in der sagittalen und horizontalen Ebene wurden sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer ermittelt und werden hier getrennt voneinander betrachtet.

#### 4.3.1. Auswertung der Ergebnisse im Oberkiefer

Im Oberkiefer wurde eine Messung in der horizontalen und zwei in der sagittalen Ebene durchgeführt.

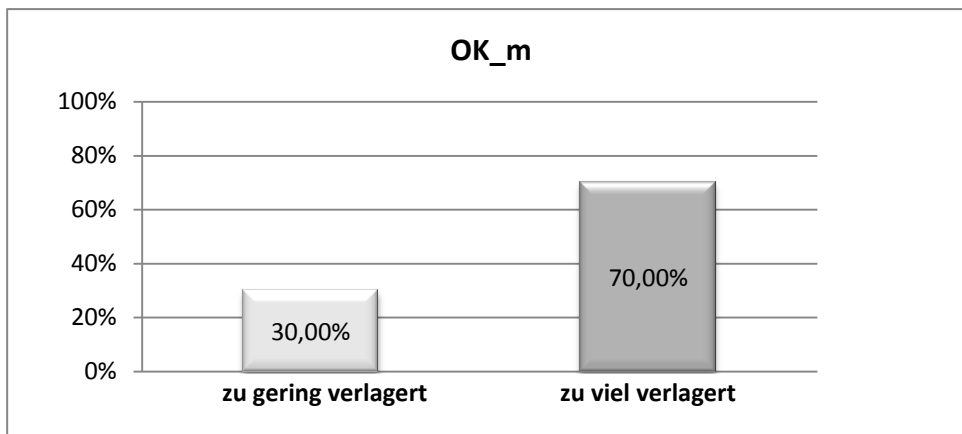
##### 4.3.1.1. Horizontale Verlagerung im Oberkiefer

In der Horizontalen liegen 71,42% innerhalb des Toleranzbereichs. Insgesamt konnte bei 94,28% der Ergebnisse keine Abweichungen von mehr als 2mm festgestellt werden. Lediglich bei 5,72% sind Differenzen von mehr als 2mm nachweisbar. Das Abweichungsmaximum liegt unter 3,5mm. Diese Werte sind der nachfolgenden Tabelle 8 entnommen

Intervall	Count	Cumulative - Count	% of all - Cases	Cumulative % - of All
$<x \leq 0,00$	2	2	5,71	5,71
$0,00 < x \leq 0,50$	13	15	37,14	42,85
$0,50 < x \leq 1,00$	10	25	28,57	71,42
$1,00 < x \leq 1,50$	5	30	14,28	85,71
$1,50 < x \leq 2,00$	3	33	8,57	94,28
$2,00 < x \leq 2,50$	1	34	2,85	97,14
$2,50 < x \leq 3,00$	0	34	0,00	97,14
$3,00 < x \leq 3,50$	1	35	2,85	100,00
Missing	0	35	0,00	100,00

**Tabelle 8:** Intervalle, in denen sich Diskrepanzen (Angaben in mm) befinden und summiert die Einzelprozente der Treffer für die horizontale Verlagerung im OK

Bei den Diskrepanzen der horizontalen Verlagerung des Oberkiefers, die mehr als 1mm aufweisen, ist festzuhalten, dass in 30,00% der Fälle die gemessenen Verlagerungen kleiner und in 70% der Fälle größer als das geplante OP-Maß sind. Diese Zahlen sind im Diagramm 6 veranschaulicht.



**Diagramm 6:** Prozentangaben der Diskrepanzrichtung

#### 4.3.1.2. Sagittale Translation der rechten Oberkieferseite

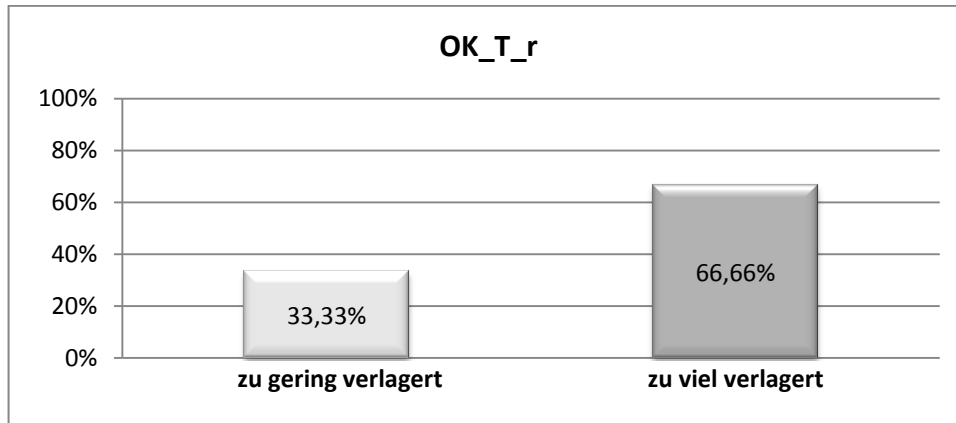
Die Ergebnisse der sagittalen Translation, der rechten Oberkieferseite ergeben 51,42%, welche dem Toleranzbereich zugeordnet werden können. 82,85% weisen Unstimmigkeiten von weniger als 2mm auf. Abschließend sind die 17,15% zu erwähnen, bei denen Unterschiede von mehr als 2mm nachgewiesen werden können. Die höchsten Abweichungen bei dieser Messung liegen unter 5mm. Die eben genannten Zahlen sind der Tabelle 9 zu entnehmen.

Intervall	Count	Cumulative - Count	% of all - Cases	Cumulative % - of All
<x<=0,00	2	2	5,71	5,71
0,00<x<=1,00	16	18	45,71	51,42
1,00<x<=2,00	11	29	31,42	82,85
2,00<x<=3,00	3	32	8,57	91,42
3,00<x<=4,00	2	34	5,71	97,14
4,00<x<=5,00	1	35	2,85	100,00
Missing	0	35	0,00	100,00

**Tabelle 9:** Intervalle, in denen sich Diskrepanzen (Angaben in mm) befinden und summiert die Einzelprozente der Treffer für die sagittale Translation der rechten Oberkieferseite

Bei den Diskrepanzen der sagittalen Verlagerung der rechten Oberkieferseite, die mehr als 1mm aufweisen, ist festzuhalten, dass in 33,33% der Fälle die gemessenen Verlagerungen kleiner und in 66,66% der Fälle größer als das geplante OP-Maß sind. Diese Zahlen sind in Diagramm 7 veranschaulicht.





**Diagramm 7:** Prozentangaben der Diskrepanzrichtung

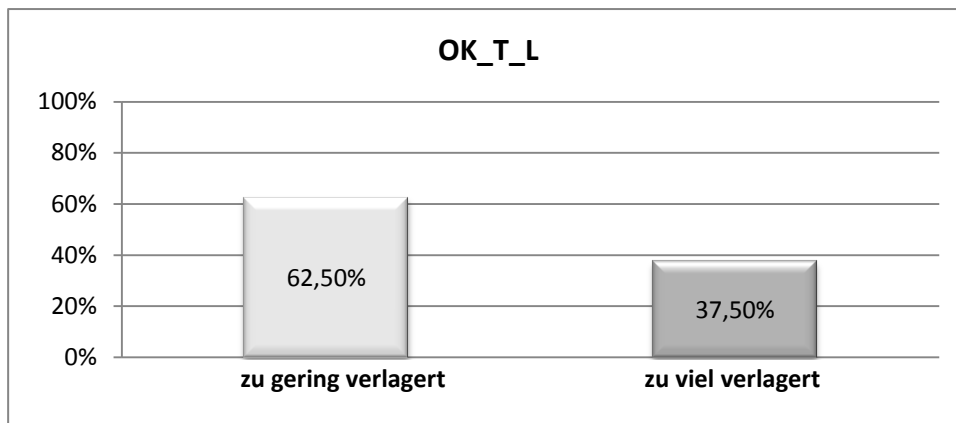
#### 4.3.1.3. Sagittale Translation der linken Oberkieferseite

Auf der linken Seite liegen, genau wie auf der rechten Seite, 51,42% der Messungen unter 1mm. Eine Diskrepanz von weniger als 2mm wurde bei 77,14% der Ergebnisse festgestellt. Eine Abweichung von mehr als 2mm konnte bei 22,86% der Resultate ermittelt werden, wobei hier Abweichungen von 5mm nicht überschritten werden. Diese Werte sind in Tabelle 10 dargestellt.

Intervall	Count	Cumulative – Count	% of all – Cases	Cumulative % - of All
<x<=0,00	1	1	2,85	2,85
0,00<x<=1,00	17	18	48,57	51,42
1,00<x<=2,00	9	27	25,71	77,14
2,00<x<=3,00	6	33	17,14	94,28
3,00<x<=4,00	1	34	2,85	97,14
4,00<x<=5,00	1	35	2,85	100,00
Missing	0	35	0,00	100,00

**Tabelle 10:** Intervalle, in denen sich Diskrepanzen (Angaben in mm) befinden und summiert die Einzelprozent der Treffer für die sagittale Translation der linken Oberkieferseite

Bei den Diskrepanzen der sagittalen Verlagerung der linken Oberkieferseite, die mehr als 1mm aufweisen, ist festzuhalten, dass in 62,50% der Fälle die gemessenen Verlagerungen kleiner und in 37,50% der Fälle größer als das geplante OP-Maß sind. Diese Zahlen sind dem Diagramm 8 zu entnehmen.

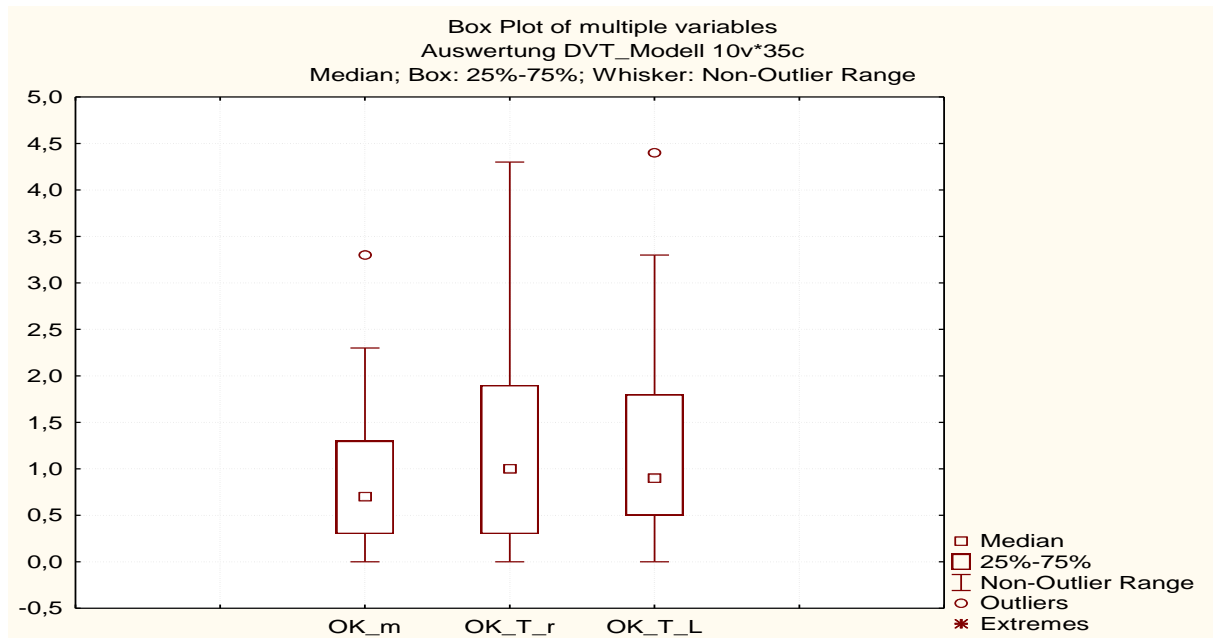


**Diagramm 8:** Prozentangaben der Diskrepanzrichtung

#### 4.3.1.4. Zusammenfassung der Ergebnisse im Oberkiefer

Im Oberkiefer wurde eine Messung in der horizontalen und zwei in der sagittalen Ebene durchgeführt.

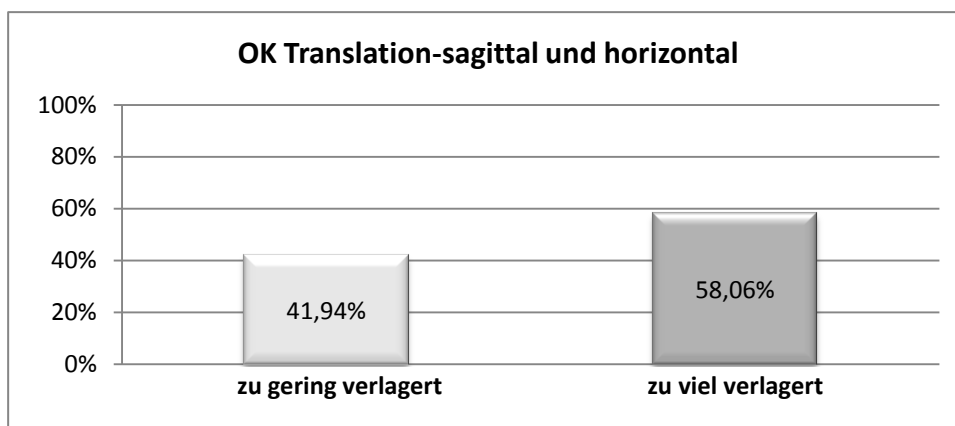
Anhand des folgenden Box Plots in Diagramm 9 sind die Ergebnisse der Punkte 4.3.1.1. - 4.3.1.3. visualisiert. Die Mediane liegen mittig zwischen den Quartilen und befinden sich bei der horizontalen Messung unterhalb der 1, wobei die beiden sagittalen Werte den Median bei der 1 aufzeigen. Desweiteren ist zu erkennen, dass jeweils mehr als 50% der Ergebnisse geringere Diskrepanzen als 2mm zeigen. Bei der horizontalen Messung ist der geringere Interquartilsbereich erkennbar sowie Ausreißer (je einer) bei der horizontalen und bei der linken sagittalen Messreihe.



**Diagramm 9:** Graphische Darstellung der horizontalen und sagittalen Translation im Oberkiefer; die Abkürzungen sind im Anhang erläutert

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die sagittalen Messwerte in etwa gleiche Abweichungen aufzeigen und die horizontalen Messwerte geringere Unterschiede erkennen lassen.

Bei den Diskrepanzen der horizontalen und sagittalen Verlagerungen im Oberkiefer, die mehr als 1mm aufweisen, ist festzuhalten, dass in 41,94% der Fälle die gemessenen Verlagerungen kleiner und in 58,06% der Fälle größer als das geplante OP-Maß sind. Diese Zahlen sind in Diagramm 10 dargestellt.



**Diagramm 10:** Prozentangaben der Diskrepanzrichtung

### 4.3.2. Auswertung der Ergebnisse im Unterkiefer

Im Unterkiefer wurden wie im Oberkiefer jeweils zwei sagittale und eine horizontale Messreihe durchgeführt.

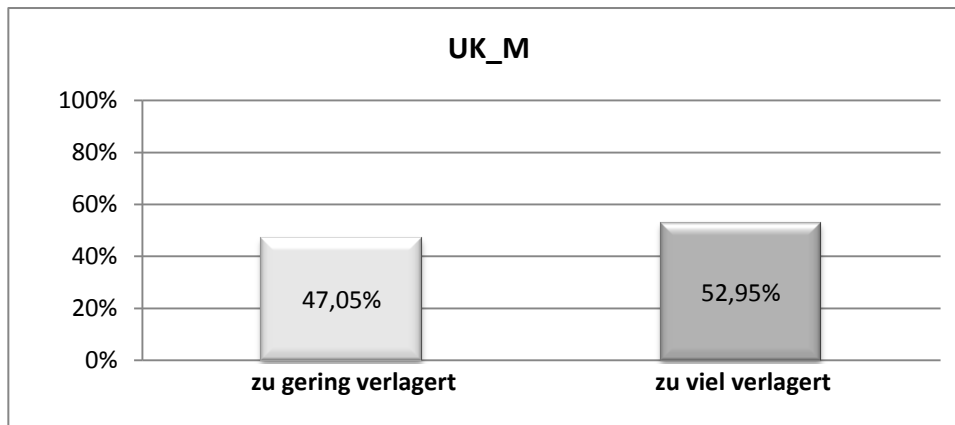
#### 4.3.2.1. Horizontale Verlagerung im Unterkiefer

Die horizontale Messung ergibt bei 54,28% Unterschiede von weniger als 1mm. Abweichungen von weniger als 2mm konnten bei 91,42% festgestellt werden. 8,58% weisen größere Diskrepanzen auf, wobei eine Diskrepanz von 4mm nicht messbar ist. Diese Zahlen sind der Tabelle 11 entnommen.

Intervall	Count	Cumulative - Count	% of all - Cases	Cumulative % - of All
$x \leq 0,00$	1	1	2,85	2,85
$0,00 < x \leq 0,50$	10	11	28,57	31,42
$0,50 < x \leq 1,00$	8	19	22,85	54,28
$1,00 < x \leq 1,50$	8	27	22,85	77,14
$1,50 < x \leq 2,00$	5	32	14,28	91,42
$2,00 < x \leq 2,50$	1	33	2,85	94,28
$2,50 < x \leq 3,00$	1	34	2,85	97,14
$3,00 < x \leq 3,50$	0	34	0,00	97,14
$3,50 < x \leq 4,00$	1	35	2,85	100,00
Missing	0	35	0,00	100,00

**Tabelle 11:** Intervalle, in denen sich Diskrepanzen (Angaben in mm) befinden und summiert die Einzelprozent der Treffer für die horizontale Verlagerung im Unterkiefer

Bei den Diskrepanzen der Verlagerungen des Unterkiefers in der Horizontalen, die mehr als 1mm aufweisen, ist festzuhalten, dass in 47,05% der Fälle die gemessenen Verlagerungen kleiner und in 52,95% der Fälle größer als das geplante OP-Maß sind. Diese Zahlen sind dem Diagramm 11 zu entnehmen



**Diagramm 11:** Prozentangaben der Diskrepanzrichtung

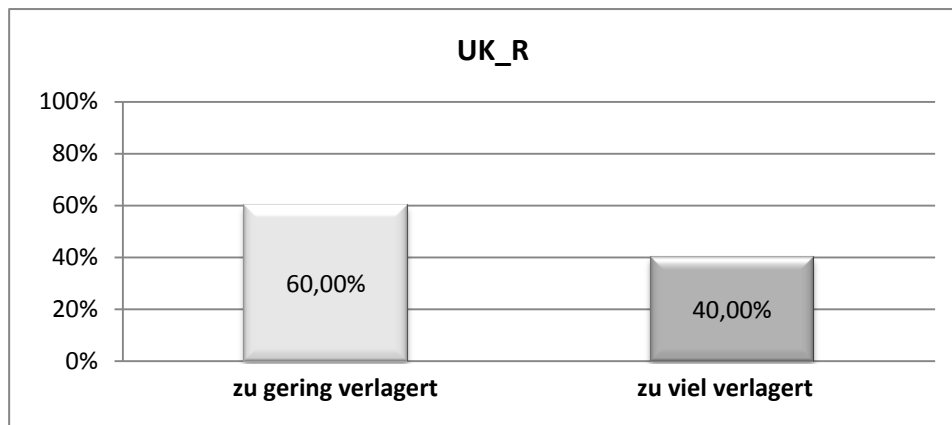
#### 4.3.2.2. Sagittale Translation der rechten Unterkieferseite

Die Translation auf der rechten Seite liegt in 45,71% der Fälle im Bereich der Messungengenauigkeit. In 57,14% der Fälle konnte eine Abweichung von weniger als 2mm ermittelt werden. Darüber hinaus wurde bei 42,86% der Ergebnisse eine größere Differenz registriert. Die größten Abweichungen liegen unter 8mm. Diese Zahlen sind der Tabelle 12 zu entnehmen.

Intervall	Count	Cumulative - Count	% of all - Cases	Cumulative % - of All
<x<=0,00	0	0	0,00	0,00
0,00<x<=1,00	16	16	45,71	45,71
1,00<x<=2,00	4	20	11,42	57,14
2,00<x<=3,00	6	26	17,14	74,28
3,00<x<=4,00	4	30	11,42	85,71
4,00<x<=5,00	3	33	8,57	94,28
5,00<x<=6,00	0	33	0,00	94,28
6,00<x<=7,00	1	34	2,85	97,14
7,00<x<=8,00	1	35	2,85	100,00
Missing	0	35	0,00	100,00

**Tabelle 12:** Intervalle, in denen sich Diskrepanzen (Angaben in mm) befinden und summiert die Einzelprozent der Treffer für die sagittale Verlagerung auf der rechten Seite im Unterkiefer

Bei den Diskrepanzen der Verlagerungen der rechten Unterkieferseite in der Sagittalen, die mehr als 1mm aufweisen, ist festzuhalten, dass in 60,00% der Fälle die gemessenen Verlagerungen kleiner und in 40,00% größer als das geplante OP-Maß sind. Diese Zahlen sind dem Diagramm 12 zu entnehmen.



**Diagramm 12:** Prozentangaben der Diskrepanzrichtung

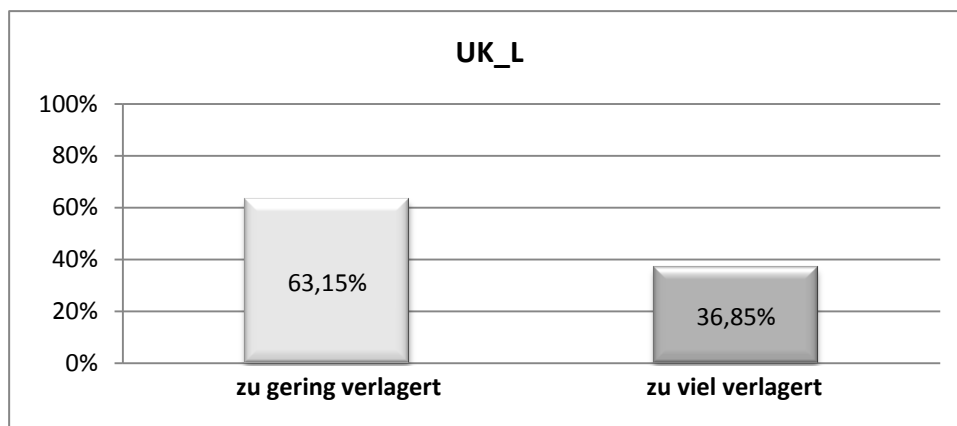
#### 4.3.2.3. Sagittale Translation der linken Unterkieferseite

Die sagittale Verlagerung auf der linken Seite ergibt eine Rate von 42,85%, die im Bereich des ermittelten Messfehlers liegt. Eine Abweichung von 2mm und weniger konnte bei 54,28% registriert werden. Daraus ergibt sich, dass bei 45,72% eine größere Diskrepanz detektiert wurde, wobei auch hier maximale Diskrepanzen von 8mm nicht ermittelt werden konnten. Diese Werte sind der nachfolgenden Tabelle 13 zu entnehmen.

Intervall	Count	Cumulative - Count	% of all - Cases	Cumulative % - of All
<x<=0,00	1	1	2,85	2,85
0,00<x<=1,00	14	15	40,00	42,85
1,00<x<=2,00	4	19	11,42	54,28
2,00<x<=3,00	6	25	17,14	71,42
3,00<x<=4,00	4	29	11,42	82,85
4,00<x<=5,00	3	32	8,57	91,42
5,00<x<=6,00	1	33	2,85	94,28
6,00<x<=7,00	1	34	2,85	97,14
7,00<x<=8,00	1	35	2,85	100,00
Missing	0	35	0,00	100,00

**Tabelle 13:** Intervalle, in denen sich Diskrepanzen (Angaben in mm) befinden und summiert die Einzelprozente der Treffer für die sagittale Verlagerung auf der linken Seite im Unterkiefer

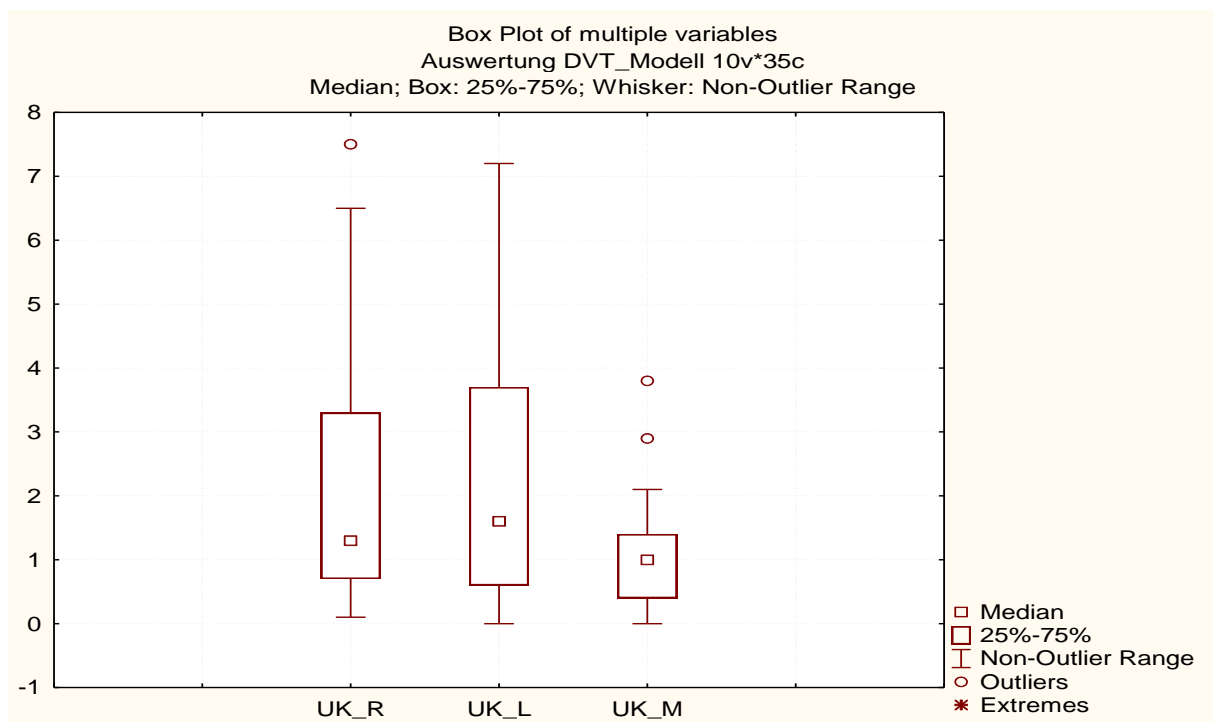
Bei den Diskrepanzen der Verlagerungen der linken Unterkieferseite in der Sagittalen, die mehr als 1mm aufweisen, ist festzuhalten, dass in 63,15% der Fälle die gemessenen Verlagerungen kleiner und in 36,85% der Fälle größer als das geplante OP-Maß sind. Diese Zahlen sind dem Diagramm 13 zu entnehmen.



**Diagramm 13:** Prozentangaben der Diskrepanzrichtung

#### 4.3.2.4. Zusammenfassung der Ergebnisse im Unterkiefer

Graphisch kann man die Diskrepanzen, die in den Punkten 4.3.2.1. - 4.3.2.3. festgehalten wurden, anhand des nachstehenden Box-Plots in Diagramm 14 erkennen. Der Median der horizontalen Ergebnisse liegt nahezu in der Mitte und bei dem Wert 1, wohingegen die Diskrepanzen in der sagittalen Richtung eher im unteren Drittel der Boxen zu finden sind. Die Mediane in der sagittalen Ebene sind oberhalb des Wertes 1 zu finden. Darüber hinaus sind die Interquartilbereiche der Messungen in der Sagittalen größer als bei der Horizontalen. Ausreißer wurden sowohl in der horizontalen (2) als auch bei der sagittalen (1) rechten Verlagerung festgestellt.



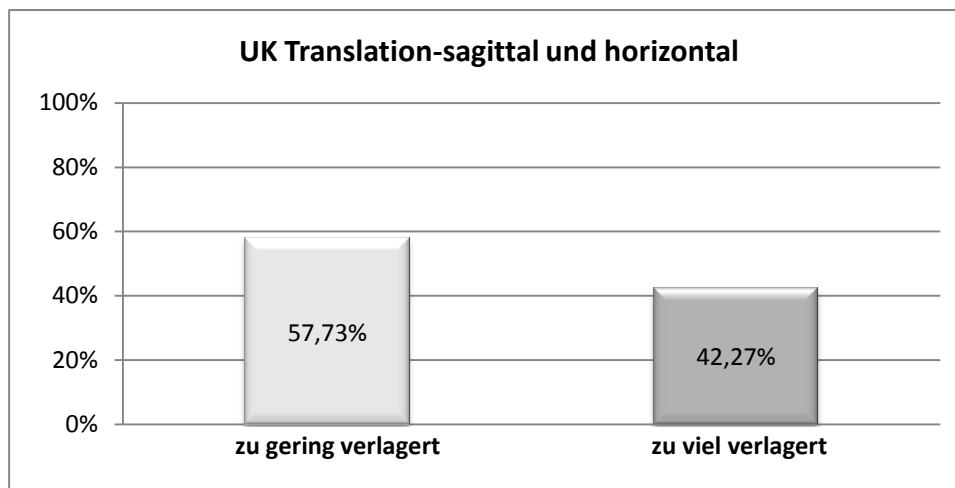
**Diagramm 14:** Graphische Darstellung der horizontalen und sagittalen Translation im Unterkiefer; die Abkürzungen sind im Anhang kurz erläutert

Zusammenfassend kann man für den Unterkiefer sagen, dass weniger als 50% der Ergebnisse für die sagittale Verlagerung im Toleranzbereich liegen und auch nur ca. 55% eine Diskrepanz von weniger als 2mm aufweisen, wohingegen die Werte in der Horizontalen deutlich höher liegen. Desweiteren



sind die Whiskers bei den sagittalen Maßen im Unterkiefer größer als bei den anderen Werten.

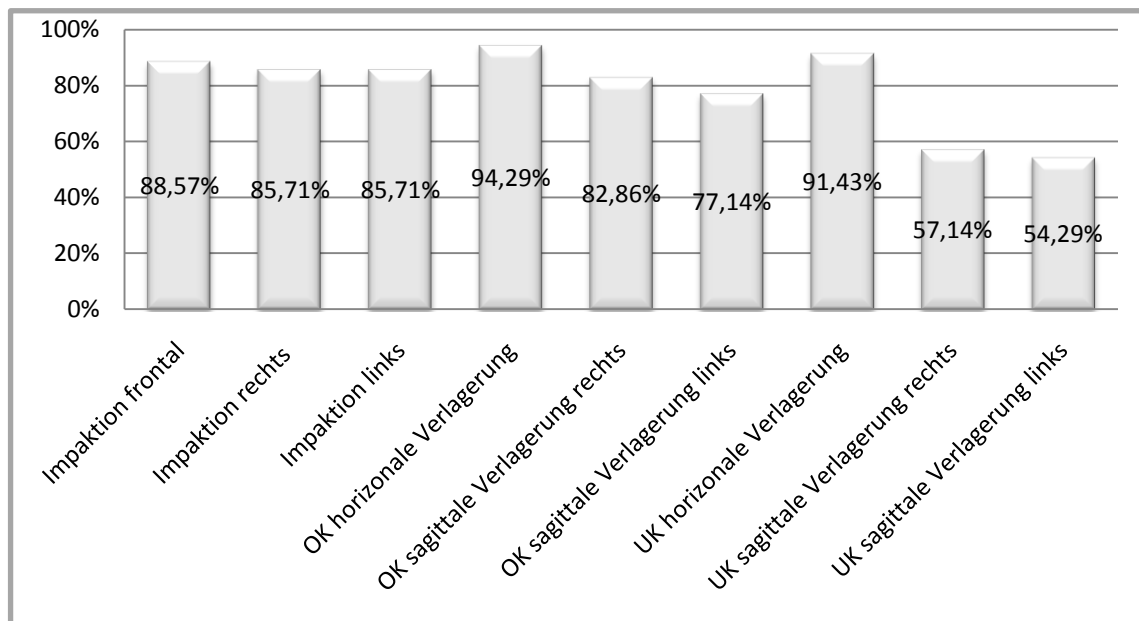
Bei den Diskrepanzen der Verlagerungen des Unterkiefers, die mehr als 1mm aufweisen, ist festzuhalten, dass in 57,73% der Fälle die gemessenen Verlagerungen kleiner und in 42,27% der Fälle größer als das geplante OP-Maß sind. Diese Zahlen sind dem nachfolgenden Diagramm 15 zu entnehmen.



**Diagramm 15:** Prozentangaben der Diskrepanzrichtung

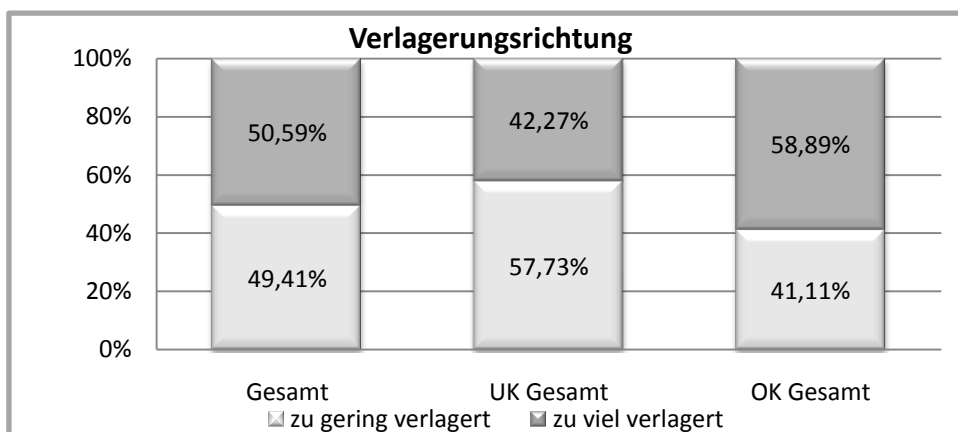
#### 4.4. Zusammenfassung aller Ergebnisse

Anhand dieser Nachuntersuchung kann gezeigt werden, dass die Ergebnisse bei 7 der 9 untersuchten Parameter in 77%-95% der Fälle keine Diskrepanzen aufweisen, die größer als 2mm sind. Daraus ergibt sich, dass der Großteil der präoperativ festgelegten Werte keine großen Unterschiede zu den Maßen aufweist, die die Nachuntersuchung der 3D-Rekonstruktionen aus DVT-Daten ergaben. Die einzigen Parameter, die deutliche Abweichungen zeigen, sind die Werte, die bei der Verlagerung des Unterkiefers in der Sagittalen gemacht werden. Hierbei kommt es nämlich in etwa 40% der Fälle zu Differenzen zwischen den prä- und den postoperativen Verlagerungsmaßen, welche deutlich größer als 2mm sind. Zusammenfassend sind die eben genannten Ergebnisse noch einmal in dem Diagramm 16 graphisch dargestellt.



**Diagramm 16:** Prozentangaben der einzelnen Parameter, die Diskrepanzen von 2mm und weniger aufweisen

In Bezug auf die Verlagerungsrichtung kann lediglich eine Tendenz ausgemacht werden. Das bedeutet, dass bei den festgestellten Diskrepanzen im Unterkiefer das Verlagerungsmaß tendenziell häufiger unterschritten als überschritten wird. Im Oberkiefer ist die Tendenz eher umgekehrt. Insgesamt sind die Diskrepanzen in beide Richtungen etwa gleich groß. Diese Tendenz ist in Diagramm 17 noch einmal graphisch dargestellt.



**Diagramm 17:** Prozentangaben für die Verlagerungsrichtung

## 5. Diskussion

Das Ziel bei der Behandlung von Dysgnathiepatienten ist es, die ideale Kaufunktion wieder herzustellen und die Ästhetik zu verbessern. Insbesondere der Prävention von Spätfolgen durch Störungen des stomatognathen Systems kommt große Bedeutung zu. Als besonders anfällig für Störungen in diesem empfindlichen Gleichgewicht gilt das Kiefergelenk. Durch eine optimale Ausrichtung der Kiefer zueinander soll die Funktionalität verbessert werden, um ein stabiles und gesundes System zu erhalten. Die Ästhetik wird im Rahmen einer derartigen Operation verbessert, was für die Patienten sehr wichtig ist, da dies häufig einer der Gründe ist, der zur Entscheidung führt, sich solch einer Therapie zu unterziehen. Die optimale Ausrichtung der Kiefer zueinander wird präoperativ durch den Operateur mittels einer Operation an Kiefermodellen des Patienten ermittelt. Heutzutage ist dies auch schon mittels digitalisierter 3D-Modelle aus CT- oder DVT-Daten möglich. Im Fokus der Forschung steht die Operationsplanung von Dysgnathiepatienten und die Auswirkungen der Verlagerungen auf das stomatognathe System sowie die Weichgewebsveränderungen, die daraus resultieren. Deshalb sollte anhand dieser Studie die klinische Umsetzung dieser präoperativen Planung evaluiert werden. Diese Evaluation der präoperativ festgelegten Verlagerungsmaße wurde mittels 3D-Rekonstruktionen aus DVT-Daten ermittelt. DVT-Bilder kommen seit Anfang des Jahrtausends in immer mehr Bereichen der dentalen bzw. kranialen Bildgebung zum Einsatz, da sie sich durch hohe Genauigkeit und geringe Strahlenbelastung auszeichnen [5, 6, 14, 17, 32, 44, 76, 78].

### 5.1. Patientengut

In dieser Studie wurden die 3D-Rekonstruktionen aus Daten von 35 Dysgnathiepatienten nachuntersucht, eine vergleichbare Anzahl wie bei *David (2004)*, der sich mit der skelettalen Stabilität nach Umstellungsosteotomien befasste. Die nachuntersuchten Patienten wurden in einem Zeitraum von 2007

---

bis 2009 in der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie der Universität Würzburg operiert. Die Patientenauswahl ergab sich daraus, dass von den hier untersuchten Patienten prä- und postoperative DVT-Bilder erstellt worden waren, ansonsten wäre das Kollektiv deutlich größer ausgefallen. Das Durchschnittsalter lag bei 27,6 Jahren wobei der jüngste Patient 17 Jahre und der älteste 36 Jahre alt war. Ein vergleichbares Durchschnittsalter geben *Fischer-Brandies et al. (1987)* und auch *Nesplak (2001)* an. Dies entspricht auch den Forderungen von *Reuther (2000)*, der den optimalen Operationszeitpunkt nach Abschluss des skelettalen Wachstums sieht, und der damit die gleiche Ansicht wie *Schwenzer und Ehrenfeld (1990)* vertritt. Das Verhältnis des Patientenkollektivs lag bei 27 (weiblich) zu 8 (männlich) und wurde somit deutlich von Frauen dominiert. Diese Dominanz wird sehr häufig in der Literatur angegeben, und deckt sich mit den Angaben von *Göz et al. (1982)* sowie *Michel (1990)* oder *Proffit et al. (1990)*. Die Begründung dafür, dass überwiegend weibliche Patienten sich solch einer aufwendigen Therapie unterziehen, ist wohl die Ästhetik. Laut *Göz et al. (1982)* scheint die Ästhetik eine entscheidende Rolle zu spielen, wenn es darum geht, sich für solch eine OP zu entscheiden. Unterstrichen wird diese Aussage durch ähnliche Ergebnisse wie beispielsweise von *Fabinger et al. (1997)*, bei dem etwa die Hälfte der Patientinnen die Ästhetik als Hauptgrund für den Therapieentscheid angeben. Das Patientengut wies Heterogenität sowohl in der Ausgangssituation als auch bei den Therapiemaßnahmen auf, was sich prinzipiell ungünstig auf die Aussagekraft der Ergebnisse auswirkt. Operiert wurden, ähnlich wie bei *Steinhäuser (2005)*, Klasse I - (18%), Klasse II - (28%) und Klasse III – Fälle (54%), wobei genau wie bei *David (2004)* als Therapiemaßnahmen sowohl uni- als auch bimaxilläre Umstellungen zur Anwendung kamen. Im Gegensatz dazu wurden bei *Nesplak (2001)* nur Patienten, die einer Unterkieferverlagerung unterzogen worden waren, nachuntersucht. Allerdings hätte eine Aufteilung in Gruppen zu kleine Patientenzahlen je Gruppe geliefert, so dass diese nicht statistisch auswertbar gewesen wären. Die Verteilung hierbei lag mit 60% auf der Seite der bimaxillären Umstellungsosteotomie. In 40% der Fälle wurde eine Umstellung in

nur einem Kiefer vorgenommen, wobei dabei 23% auf den Unterkiefer und 17% auf den Oberkiefer entfielen.

## 5.2. Methodik

Die Auswertung der Verlagerungsmaße anhand prä- und postoperativer DVT-Bilder gestaltete sich in der Durchführung als schwierig, da nicht bei allen Patienten routinemäßig DVTs erstellt wurden und sich dies letztlich als Kriterium für die Patientenselektion ergab. Zudem wurden die präoperativen Bilder nicht alle im gleichen Zeitraum vor dem Operationstermin erstellt, was für solch eine Untersuchung natürlich wünschenswert gewesen wäre. Ein Problem hierbei ist die kieferorthopädische Dekompensation der skelettalen Anomalie, welche nach *Steinhäuser und Janson (1988)* routinemäßig präoperativ Anwendung findet, da einige Punkte auf Zahnstrukturen für die Messung herangezogen wurden und es somit denkbar ist, dass sich die Zähne vom Tag der Erstellung des DVTs bis zum eigentlichen Operationstermin noch in ihrer Stellung geändert haben können. Darüber hinaus geben *Freisfeld (1973)* als auch *Broadway et al. (1962)* an, grundsätzlich relativ große Abweichungen bei der Verwendung von dentalen Bezugspunkten zu erhalten, wobei man dem entgegengesetzen kann, dass bei der hier verwendeten Analyse die gesetzten dentalen Punkte mittels einzelner Schnittbilder überprüft werden konnten. Das Gleiche gilt für die postoperativen Bilder, die nicht zu einem bestimmten Tag postoperativ gemacht wurden, sondern innerhalb eines Intervalls von ca. 1 Jahr angefertigt wurden. Dies ist insofern problematisch, da in der Literatur postoperative Veränderungen beschrieben werden. Diese skelettale Veränderung ist entweder in der Operationsrichtung oder in der Gegenrichtung feststellbar. Diesem Phänomen werden verschiedene Ursachen zugeschrieben. *Van Sickels et al. (1986)* geben als einen Grund dafür die Ausprägung des Verlagerungsmaßes an, was von *Will und West (1989)* bestätigt wird. Eine andere Ursache geben *Silvestri et al. (1994)* sowie *Proffit et al. (1996)* an, die sowohl die Weichgewebszüge als auch den Periostzug in der Verantwortung sehen. *Dimitroulis (1998)* gibt ein

mögliches Restwachstum als ursächlich für diese postoperativen Veränderungen an. Die Analyse mit der die angefertigten 3D-Rekonstruktionen ausgewertet wurden, ist mit dem Programm Maxilim® (Medicim®, Mechelen, Belgium) erstellt worden, welches speziell für solche Anwendungen konzipiert worden ist. Allerdings konnten hier nur wenige standardmäßig in der Kephalemtrie eingesetzten Punkte verwendet werden, da vergleichbare Strecken zur Modell-OP kreiert werden mussten. Die ausgewählten Punkte entsprechen weitestgehend den Anforderungen, die *Segner und Hasund (1998)* fordern. Sie sind von unterschiedlichen Behandlern auffindbar, weisen geringe Fehler bei der Reproduzierbarkeit auf, sind nicht konstruiert und sind für die kephalometrische Aussage, die getroffen werden soll, geeignet. Problematisch hierbei ist auf jeden Fall, dass zwei Schädel exakt identisch ausgerichtet werden müssen. Obwohl hierfür ein vom Programm vorgegebenes Kalibrierungssystem verwendet worden ist und diese Ausrichtung anschließend mittels einer Analyse quantifiziert werden konnte, sind trotzdem kleine Abweichungen vorhanden. Deren Auswirkungen auf die Ergebnisse sind als gering einzustufen, aber nicht exakt bestimmbar. Als weiteres Problem ist die Tatsache anzusehen, dass Strecken, die sich anhand der Modell-Operation messen lassen, mittels der 3D-Rekonstruktionen nicht exakt bestimmbar sind. Die Ermittlung der Verlagerungsmaße, ausgehend von den ermittelten Werten einer Modell-Operation, die insofern als Referenzwert diene, kann als etablierte Methode angesehen werden. Dies ergibt sich aus dem Umstand, dass die Modellanalyse ein etabliertes Verfahren in der kieferorthopädischen Diagnostik ist und aus der Tatsache, dass *Siebert (2002)* ebenfalls die Vermessung von Modellen als Referenz nutzte. Die Messung der Strecken in der Sagittalen und Vertikalen ist aufgrund der exakten Markierungen auf den Modellen im Vergleich zu der Messung der Impaktion, insbesondere im Bereich des 6-J-Molaren einfacher durchführbar.

### 5.3. Ergebnisse

Die statistische Auswertung der erhobenen Daten zur Evaluation der präoperativ festgelegten Verlagerungsmaße ergab, dass die kephalometrische Auswertung von 3D-Rekonstruktionen aus DVT-Daten eine gute Genauigkeit aufweist, wenn es um die Reproduzierbarkeit der Strecken geht, die sich aus den gesetzten Punkten und den erstellten Bezugsebenen ergaben. *Trypkova et al. (1997)* sieht in einer Metaanalyse zur Reproduzierbarkeit von kephalometrischen Referenzpunkten eine Abweichung von 0,56cm als akzeptabel an, wohingegen hier lediglich eine mittlere Standardabweichung von 0,41mm vorliegt. Vergleichbare Abweichungen bei Streckenmessungen an DVT-Bildern, auch wenn sie nicht kephalometrisch durchgeführt wurden, gibt *Goch (2005)* bei der Vermessung von Parodontaldefekten an. Kleinere Abweichungen von ca. 0,2mm bei der Auswertung von DVTs sind von *Kruse (2008)* bei der Vermessung von periimplantären Knochendefekten beschrieben. Desweiteren erkennt man anhand der Standardabweichungen, dass die Impaktion im Oberkieferfrontbereich die Reproduzierbarkeit betreffend die höchsten Abweichungen aufweist. Dies lässt sich durch den in einer Konkavität lokalisierten A-Punkte erklären, da laut *Haynes und Chau (1993)* Punkte auf konvexen als auch auf konkaven Flächen mit größeren Abweichungen behaftet sind als andere. Die Messgenauigkeit bei der Vermessung der Modell-OP weist mit einer mittleren Standardabweichung von 0,21mm deutlich geringere Abweichung auf als bei der Messung der Strecken im DVT. Geringfügig kleinere Abweichungen von 0,11mm beschreibt *Mischke (2000)* in einer Arbeit, welche die konventionelle Modellanalyse mit der digitalen-Modellanalyse vergleicht. Die Bestimmung dieser Parameter wurde benötigt, um die Konfidenzintervalle für den gesamten Messfehler zu bestimmen. Die präoperativ festgelegten Maße werden in den OP-Berichten in 0,5mm Schritten angegeben, weshalb diese Abweichung in der Messung klinisch ohne Bedeutung bleibt. Genau wie bei der Bestimmung der Strecken in der DVT-Analyse gibt es hier leichte Unterschiede zwischen den Strecken. Anhand der Standardabweichungen lässt sich klar zeigen, dass die Impaktion im Bereich der 6-Jahr-Molaren die Messung mit der

---

größten Ungenauigkeit ist. Dies erklärt sich durch die sehr schwer darstellbaren Referenzpunkte. Die anschließend im Ergebnissteil angeführte Berechnung zur Bestimmung des Konfidenzintervalls auf dem Niveau von 95%, in dem von Messfehlern ausgegangen werden muss, wurde durchgeführt um die Bewertung der Verlagerungsmaße, die sich im Millimeter-Bereich bewegen, nicht durch die Messung zu verfälschen, und damit die gemessenen Diskrepanzen nicht überbewertet werden. In allen Messungen, außer der Verlagerung in der sagittalen Ebene im Unterkiefer, befanden sich mehr als 50% der Ergebnisse innerhalb dieses Konfidenzintervalls und können somit als übereinstimmend interpretiert werden. Desweiteren kann in allen, außer den eben genannten Fällen, eine Diskrepanz von mehr als 2mm, bei weniger als 25% der Ergebnisse, festgestellt werden. Dies ist klinisch als vollkommen akzeptabel zu interpretieren, nachdem Siebert (2002) festgestellt hat, dass bei der klinischen Anwendung von Navigationssystemen Genauigkeitsbereiche von 1,04mm - 1,16mm bei Dysgnathieoperationen erreicht werden können. Die restlichen 25% weisen Abweichung auf, die größer sind als 2mm. Dies ist höchstwahrscheinlich auf eine klinische Diskrepanz zurückzuführen, da bei den untersuchten Patienten sehr häufig postoperativ funktionelle Nachbehandlungen durchgeführt werden müssen, um die Okklusionsverhältnisse zu optimieren und um das erreichte operative Ergebnis zu stabilisieren. Desweiteren könnten die Diskrepanzen auf die postoperativen Veränderung zurückgeführt werden, die in der Literatur von David (2004), Proffit et al. (1996) und Kierl et al. (1990) beschrieben sind, da die postoperativ gefertigten DVT-Aufnahmen nicht unmittelbar nach dem operativen Eingriff sondern innerhalb eines Jahres nach dem operativen Eingriff angefertigt und ausgewertet worden sind. Dies könnte mittels einer Studie theoretisch überprüft werden, allerdings besteht nicht bei allen Patienten eine Indikation für die Erstellung eines DVTs. Die Werte für die Unterkiefer Translation in sagittaler Richtung müssen hier noch einmal gesondert erwähnt werden, da sich diese beiden Ergebnisse deutlich von den anderen unterscheiden. Die Anzahl der Ergebnisse, die als übereinstimmend interpretiert werden können, liegt lediglich zwischen 42% und 45%. Desweiteren liegen zwischen 54% und 57% der



---

Ergebnisse in einem Bereich von 2mm Abweichung und weniger. Daraus folgt, dass bei mehr als 40% der untersuchten Patienten Diskrepanzen in der sagittalen Ebene feststellbar waren, die das erwartete und als normal zu bezeichnende klinische Maß überstiegen haben. Ein Erklärungsversuch hierfür könnte sein, dass die in der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie der Universität Würzburg verwendeten monokortikalen Platten nicht in der Lage sind, die operativ eingestellte Distanz in der Sagittalen aufrecht zu erhalten. Diese Hypothese wird durch *Fujioka et al. (2000)* und *Schuon (2004)* unterstützt. *Fujioka et al. (2000)* stellten bessere mechanische Eigenschaften bei bikortikalen Platten fest. Darüber hinaus sieht *Schuon (2004)* einen klaren Vorteil bei der Anwendung von rigiden bikortikalen Platten, sofern hohe mechanische Belastungen zu erwarten sind oder eine exakte Repositionierung der Frakturspalten nicht möglich ist.

Inwiefern sich die ermittelten Diskrepanzen bei den Patienten klinisch auswirken oder von diesen als störend empfunden werden kann nicht ausgemacht werden, da weder eine klinische Nachuntersuchung noch ein adäquater Fragebogen ausgewertet worden ist, um dies festzustellen.

Es wäre eine interessante Weiterführung dieser Arbeit, die klinische Relevanz dieser nachgewiesenen Diskrepanzen zu untersuchen. In dieser Nachuntersuchung lassen sich keine Anhaltspunkte dafür finden, dass die Größe der Abweichungen davon abhängig ist, ob eine monognathe Umstellung im Unterkiefer oder eine bimaxilläre Umstellungsosteotomie vorgenommen wurde. Dies lässt sich daran erkennen, dass bei den 17 Patienten, bei denen Diskrepanzen von mehr als 2mm im Unterkiefer festgestellt wurden, bei 8 eine alleinige Unterkieferumstellung vorgenommen wurde und bei 9 eine bimaxilläre Umstellungsosteotomie erfolgte. Die auffälligen Ergebnisse bei der sagittalen Verschiebung des Unterkiefers im Gegensatz zu allen anderen Verlagerungen überraschen insofern nicht wirklich, da die Problematik bei Unterkieferoperationen bekannt ist. Insbesondere die operationsbedingte Verlagerung des proximalen Segmentes sowie die Verlagerungen der Kiefergelenke sind in der Literatur häufig diskutierte Probleme. Die Daten dieser Untersuchung unterstreichen die Schwierigkeit der Verlagerung des

Unterkiefers und zeigen, dass die präoperativ geplanten Ergebnisse häufig nicht mit denen übereinstimmen, die bei der Nachuntersuchung festgestellt werden konnten. Vergleichende Angaben in der Literatur sind kaum vorhanden. *Proffit et al. (1996)* sowie *Kierl et al. (1990)* treffen Aussagen zu diesem Thema und unterstreichen letztlich die hier getroffene Aussage, dass bei Unterkieferumstellungen deutliche Unterschiede zwischen den geplanten und den erzielten Ergebnissen bestehen. *Proffit et al. (1996)* sowie *Kierl et al. (1990)* geben jeweils Diskrepanzen von 4mm und mehr an, was sich mit den hier beschriebenen Ergebnissen deckt.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen allerdings ganz klar, dass es mit Hilfe von prä- und postoperativen DVT-Aufnahmen möglich ist, das geplante Operationsmaß mit dem Operationsergebnis zu vergleichen. Somit kann bei einer Umstellungsosteotomie beim Auftreten von postoperativen Komplikationen ein Fehler festgestellt oder ausgeschlossen werden. Dies ist insbesondere bei bimaxillären Umstellungen von Interesse, da bei Komplikationen nicht klar ist ob und wenn ja welcher Kiefer nicht adäquat umgestellt worden ist. Mit Hilfe der digitalen Volumentomographie kann dies nun eruiert werden, allerdings nicht ohne zusätzliche Software und nicht ohne Zeitaufwand, da die komplette Analyse eines Patienten mit etwa 1 Stunde angegeben werden kann.

## 6. Zusammenfassung

In der vorliegenden retrospektiven Studie wurde untersucht, ob die präoperativ festgelegten Verlagerungsmaße mittels 3D-Rekonstruktionen aus DVT-Daten ermittelbar sind. Anschließend wurde anhand eines Patientenkollektivs die Umsetzung der Verlagerungsmaße evaluiert.

Zur Auswertung wurden standardisierte Modelle und DVT-Scans von 35 Patienten herangezogen.

Die Modelle sowie die DVT-Daten wurden im Zeitraum von November 2007 bis September 2009 erstellt. Alle Patienten wurden in der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie der Universität Würzburg aufgrund einer Dysgnathie behandelt. Für die Auswahl der Patienten spielte weder das Alter, das Geschlecht noch der Schweregrad der Dysgnathie eine Rolle. Die Auswertung erfolgte postoperativ durch zwei unabhängige Prüfer, wobei die Patienten zufällig verteilt wurden.

Bevor die Umsetzung der Verlagerungsmaße evaluiert wurde, sind die Methodik und die Genauigkeit der Messungen überprüft worden.

Die Vermessung der Modelle wurde manuell durchgeführt. Die Analyse der DVT-Daten erfolgte mit einer 3D-Software.

Die Ergebnisse der Methodik sind statistisch deskriptiv ausgewertet und interpretiert worden. Für die Evaluation wurde eine kumulative Verteilung erstellt und bewertet.

In dieser Studie konnte gezeigt werden, dass man anhand von prä- und postoperativ erstellten DVT-Daten die bei der präoperativen Modell-OP festgelegten Verlagerungsmaße mit den postoperativ erzeugten 3D-Rekonstruktionen vergleichend messen kann. Allerdings ist bei Diskrepanzen der Werte von weniger als 0,97mm von Messungenauigkeiten auszugehen.

Desweiteren kann anhand dieser Nachuntersuchung festgehalten werden, dass die Ergebnisse bei 7 der 9 Parameter in 77%-95% der Fälle keine

Diskrepanzen aufweisen, die über dem klinisch geforderten Maß liegen. Die einzigen Parameter, die aufgrund der Datenlage eine andere Interpretation nach sich ziehen, sind die Angaben, die hinsichtlich der sagittalen Verlagerung im Unterkiefer gemacht werden. Hierbei kommt es in etwa 40% der Fälle zu Differenzen zwischen den prä- und postoperativen Verlagerungsmaßen, die deutlich größer als 2mm sind. Dabei kann in ca. 60% der Fälle eine zu kleine und in ca. 40% eine zu große Verlagerung festgestellt werden. Eine Aussage über die Feststellung hinaus, dass diese Differenzen bestehen, ist mittels dieser Studie nicht zulässig. Dies liegt zum einen an dem kleinen Patientenkollektiv, das zusätzlich in sich inhomogen war und bei dem unterschiedliche Operationsverfahren zum Einsatz kamen. Die Gründe für diese Unterschiede bzw. deren klinische Relevanz sollte das Ziel einer künftigen Arbeit sein. Allerdings kann durch diese Arbeit gezeigt werden, dass die digitale Volumentomographie dazu verwendet werden kann, bei Dysgnathiepatienten das Operationsziel zu überprüfen und bei Komplikationen zu eruieren, ob der Fehler auf die skelettale Verlagerung zurückzuführen ist oder ob eine andere Ursache ausgemacht werden muss.

---

## 7. Literaturverzeichnis

1. **Angle EH**  
Classification of malocclusion.  
Dent Cosmos. 1899;41:248-64,350-7
2. **Arai Y, Honda K, Kazuo I, Shinoda K**  
Practical model "3DX" of limited cone-beam X-ray CT for dental use.  
International Congress Series 2001;1230:713–718
3. **Broadway ES, Healy MJ, Poyton HG**  
The accuracy of tracings from cephalometric lateral skull radiographs.  
Dent Prakt. 1966;12:422-460
4. **Carlson BM**  
Patten`s Foundation of Embryology.  
THM Edition 1984
5. **Cevidanesh LHS, Baily LJ, Tucker SF, Styner MA, Mol A, Philips CL**  
Superimposition of 3D cone-beam CT models of orthognathic surgery patients.  
Dentomaxillofac Radiol. 2005;34(6):369-75
6. **Cevidanesh LHS, Baily LJ, Tucker SF, Styner MA, Mol A, Philips CL**  
Three-dimensional cone-beam computed tomography for assessment of mandibular changes after orthognathic surgery.  
Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2007;131(1):44-50
7. **Cohnen M, Kemper J, Möbes O, Mödder U, Pawelzik J**  
Die Strahlenbelastung in der zahnmedizinischen Radiologie.  
Euro Radiol. 2002;12(3):634-7
8. **David I**  
Die skelettale Stabilität nach Le Fort I-Osteotomie und der sagittalen Unterkieferspaltung.  
Dissertation: Westfälische Wilhelms-Universität Münster 2004

- 
- 9. De Vos W, Casselman J, Swennen G**  
Cone-beam computerized tomography (CBCT) imaging of the oral and maxillofacial region: A systematic review of the literature.  
Int J Oral Maxillofac Surg. 2009;38:609–625
  - 10. Diedrich P**  
Kieferorthopädie II. Therapie.  
PdZ 11/II. Urban & Fischer, 2000
  - 11. Dimitroulis G**  
A simple classification of orthognatic surgery complications.  
Int J Adult Orthodon Orthognath Surg. 1998;13(1):79-87
  - 12. Dobrowsky KJ**  
Orthopantography in daily pratice.  
Quintessenz Int. 2.H. 1971;10(2):61-5
  - 13. Downs WB**  
Analysis of the Dentofacial Profile.  
Angle Orthod. 1956;26:191-212
  - 14. Fabinger A, Otten JE, Kuri S**  
Persönlichkeit und profilverändernde Operationen: Positive und negative Merkmale.  
Mund-Kiefer-GesichtsChir. 1997;1(1):90-93
  - 15. Fischer-Brandies E, Dielert E, Fischer-Brandies H**  
Progenieoperation Ergebnisse einer Nachuntersuchung.  
Dtsch Z Mund-Kiefer-GesichtsChir. 1987;11:123-130
  - 16. Freisfeld M**  
Fehlerquellen an Einzeichnungsserien kephalometrischer Bezugspunkte.  
Fortschr Kieferorthop. 1973;34:296-306
  - 17. Fuhrmann R, Feifel H, Schnappauf A, Diedrich P**  
Integration von dreidimensionaler Kephalmetrie und 3D-Schädelmodellen bei der kombinierten orthodontisch/chirurgischen Behandlungsplanung.  
J Orofac Orthop. 1996;57(1):32-45

- 
- 18. Fujioka M, Fujii T, Hirano A**  
Comparative Study of mandibular stability after sagittal split osteotomies bicortical versus monocortical osteosynthesis.  
Cleft Palate Craniofac J. 2000;37(6):551-5
  - 19. Gattinger B, Obwegeser J**  
Chirurgische Kieferorthopädie und kraniofaziale Fehlbildungen.  
Hrsg. in Schwenzler und Ehrenfeld, Spezielle Chirurgie,  
3.Aufl., Thieme Verlag 2000
  - 20. Genschel U, Becker C**  
Schließende Statistik-Grundlegende Methoden.  
Springer Verlag 2005
  - 21. Goch I**  
Vergleich metrischer Genauigkeit von Computertomographie, digitaler Volumentomographie und Orthopantomographie in der modernen Implantologie.  
Dissertation: Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf 2005
  - 22. Göz G, Joos U, Schilli W**  
Die Patientenmotivation bei kieferorthopädischen Operationen.  
Dtsch Z Mund-Kiefer-GesichtsChir. 1982;6:137–142
  - 23. Hartmann S**  
Vergleichende Analysen zwischen dreidimensionaler und konventioneller Kephalemetrie bei Dysgnathiepatienten - Digitale Volumentomographie versus laterales Fernröntgenseitenbild.  
Dissertation: Julius-Maximilians-Universität Würzburg 2010 (vorgelegt)
  - 24. Harzer W**  
Lehrbuch der Kieferorthopädie.  
Carl Hanser Verlag 1999
  - 25. Haynes S, Chau MNY**  
Inter-and intra-observer identification of landmarks used in the Delaire-Analysis.  
Eur J Orthod. 1993;15:79-84

- 
- 26. Holberg C, Schwenzer K, Rudzki-Janson I**  
Three-dimensional soft tissue prediction using finite elements.  
J Orofac Orthop. 2005;66(2):110-21
- 27. Horch HH**  
Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie II.  
3.Aufl., Urban und Fischer 1998
- 28. Honda K, Larnheim T, Jahannessen S, Arai Y, Shinoda K, Westesson PL**  
Ortho cubic super-high resolution computed tomography: a new radiographic technique with application to the temporomandibular joint.  
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2001;91(2):239-43
- 29. Housten WJB, Maher RE, Mcelroy D, Sherriff M**  
Sources of error in measurements from cephalometric radiographs.  
Eur J Orthod. 1986;8(3):149-151
- 30. Hotz R**  
Orthodontie in der täglichen Praxis.  
3. Aufl., Medizinischer Verlag Hans Huber 1961
- 31. [http://www.sirona.de/ecomaXL/get\\_blob.php?name=pi\\_galileos\\_cobnbeam\\_174\\_02.jpg](http://www.sirona.de/ecomaXL/get_blob.php?name=pi_galileos_cobnbeam_174_02.jpg)**
- 32. <http://www.uni-duesseldorf.de/AWMF/II/083-005.htm>**
- 33. [http://www.zm-online.de/m5a.htm?/zm/6\\_06/pages2/zmed1.htm](http://www.zm-online.de/m5a.htm?/zm/6_06/pages2/zmed1.htm)**
- 34. Jäger L, Kummermehr J, Reiser M, Spitzer W,**  
Bildgebende Verfahren.  
Hrsg. in Schwenzer und Ehrenfeld, Allgemeine Chirurgie,  
3.Aufl., Thieme Verlag 2000
- 35. Keßler P, Wiltfang J, Teschner M, Girod B, Neukam FW**  
Computergraphische Simulationsmöglichkeiten in der orthopädischen Chirurgie.  
Mund-Kiefer-GesichtsChir. 2000;4(6):373-376



- 
- 36. Kierl MJ, Nanda RS, Currier GF**  
A 3-year evaluation of skeletal stability of mandibular advancement with rigid fixation.  
J Oral Maxillofac Surg. 1990;48:587-592
- 37. Kjaer I**  
Correlated appearance of ossification and nerve tissue in human fetal jaws.  
J Craniofac Genet Dev Biol. 1990;10(3):329-36
- 38. Klingenberg M**  
Die Abbildungsqualität des digitalen Volumentomographen 3DX im Vergleich zum konventionellen Panoramaschichtgerät.  
Dissertation: Freie Universität Berlin 2008
- 39. Kruse BA**  
Digitale Volumentomographie in der Diagnostik von periimplantären Knochendefekten.  
Dissertation: Philipps-Universität Marburg 2008
- 40. Lascala CA, Panella J, Marques MM**  
Analysis of the accuracy of linear measurements obtained by cone beam computed tomography (CBCT-NewTom).  
Dentomaxillofac Radiol. 2004;33(5): 291-4
- 41. Lange S**  
Beitrag zur pränatalen Morphogenese der Maxilla des Menschen – Computergestützte 3D-Rekonstruktion und morphometrische Untersuchungen anhand von Schnittserien menschlicher Embryonen und Feten von 12 – 76 mm.  
Dissertation: Freie Universität Berlin 1999
- 42. Loubele M, Bogaerts R, Van Dijck E, Pauwels R, Vanheusden S, Suetens P, Marchal G, Sanderink G, Jacobs R**  
Comparison between effective radiation dose of CBCT and MSCT scanners for dentomaxillofacial applications.  
Eur J Radiol. 2009;71(3):461-8

- 
- 43. Ludlow JB, Ivanovic M**  
Comparative dosimetry of dental CBCT devices and 64-slice CT for oral and maxillofacial radiology.  
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2008;106:106-114
- 44. Michel C**  
Zur Problematik der Gelenkposition in der orthopädischen Chirurgie des Kiefer-Gesichtsschädels.  
Habilitationsschrift: Julius-Maximilians-Universität Würzburg 1990
- 45. Miracle AC, Murkherji SK**  
Conebeam CT of the Hand and Neck, Part 2: Clinical Applications.  
Am J Neuroradiol. 2009;30(7):1285-92
- 46. Mischke KL**  
Präzision der computergestützten zweidimensionalen kieferorthopädischen Modellanalyse im Vergleich zur konventionellen Methode.  
Dissertation: Westfälische Wilhelms-Universität Münster 2000
- 47. Moore WJ, Lavelle CLB**  
Growth of the Facial Skeleton in the Hominoidea.  
Academic Press, London 1974
- 48. Moss ML**  
The functional matrices in facial growth.  
Am J Orthodont. 1969;55(6):566-577
- 49. Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Tinazzi Martini P, Bergamo Andreis IA**  
A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results.  
Eur Radiol. 1998;8(9):1558-1564
- 50. Nesplak E**  
Umstellungsosteotomien des Unterkiefers.  
Dissertation: Julius-Maximilians-Universität Würzburg 2001
- 51. Nieke K**  
Einführung in die Kieferorthopädie.  
2. Aufl., Urban und Fischer 2001

- 
- 52. Nötzel F, Schultz C, Hartung M**  
Fernröntgenseitenanalyse-Analyse.  
Deutscher Zahnärzte Verlag, Köln 2007
- 53. Pasler FA**  
Zahnärztliche Radiologie.  
4.Aufl., Thieme Verlag 2003
- 54. Pasler FA, Vissser H**  
Zahnmedizinische Radiologie. Bildgebende Verfahren.  
(Band 5, Farbatlant der Zahnmedizin)  
2.Aufl., Thieme Verlag 2000
- 55. Papadopoulos MA, Jannowitz C, Boettcher P, Henke J, Stolla R, Zeilhofer HF**  
Three-dimensional fetal cephalometry: an evaluation of reliability of cephalometric measurements based on three-dimensional CT reconstructions and dry skulls of sheep fetuses.  
J Craniomaxillofac Surg. 2005;33(4):229-37
- 56. Pommert A**  
Simulationsstudien zur Untersuchung der Bildqualität für die 3D-Visualisierung tomografischer Volumendaten.  
Dissertation: Universität Hamburg 2004
- 57. Proffit WR, Turvey TA, Phillips C**  
Orthognathic surgery: a hierarchy of stability.  
Int J Adult Orthodon Orthognath Surg. 1996;11(3):191-204
- 58. Proffit WR, Phillips C, Dann C**  
Who seeks surgical orthodontic treatment.  
Int J Adult Orthod Orthognath Surg. 1990;5(3):153-60
- 59. Quereshy FA, Savell TA, Palomo JA**  
Applications of Cone Beam Computed Tomography in the Practice of Oral and Maxillofacial Surgery.  
J Oral Maxillofac Surg. 2008;66(4):791-6

- 
- 60. Reuther J**  
Orthognathe Chirurgie: Skelettverlagernde Operationen.  
Mund-Kiefer-GesichtsChir. 2000;4(1):237-248
- 61. Reuther J, Bill J, Würzler K, Reinhart E, Böhm H, Eulert S**  
Die bimaxilläre Osteotomie mit und ohne Kondylenpositionierung-eine  
Langzeitstudie 1981–2002.  
Mund-Kiefer-GesichtsChir. 2003;7(6):345-350
- 62. Russel JL, Davidson MJC, Daly BD, Corrigan AM**  
Computed tomography in the diagnosis of maxillofacial trauma.  
British J Oral Maxillofac Surg. 1990;28(5):281-291
- 63. Röntgen WC**  
Über eine neue Art von Strahlen. Vorläufige Mitteilung.  
Sitzungsbericht der Würzburger Physik.-Medic.-Gesellschaft 1895
- 64. Rother UW**  
Moderne bildgebende Diagnostik in der Zahn-, Mund- und  
Kieferheilkunde.  
2.Aufl., Urban und Fischer 2006
- 65. Rottke D, Fleiner J, Schulze D**  
Indikation und Grenzen der dentalen digitalen Volumentomographie.  
Wissen Kompakt Band 3, Heft 2 2009
- 66. Schwenzen N, Ehrenfeld M**  
Chirurgische Kieferorthopädie.  
Hrsg. in Schwenzen und Grimm, Spezielle Chirurgie,  
Thieme Verlag 1990
- 67. Schnelle C**  
Vergleich der Strahlenexposition bei der Digitalen-Volumen-  
Tomographie, der Panoramaschichtaufnahme und der  
Computertomographie.  
Dissertation: Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf 2001
- 68. Schmelzeisen H**  
Einführung in die Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie.  
1.Aufl., Urban und Fischer, 2002

- 
- 69. Schmuth GP, Freisfeld M, Köster O, Schüller H**  
The application of computerized tomography (CT) in cases of impacted maxillary canines.  
Eur J Orthod. 1992;14(4):296-301
- 70. Schopf P**  
Curriculum Kieferorthopädie.  
3.Aufl., Quintessenz 2000
- 71. Schuon RA**  
Vergleich der biomechanischen Stabilität verschiedener Osteosynthesesysteme am Unterkiefer – eine experimentelle und finite Elemente gestützte Analyse.  
Dissertation: Westfälische Wilhelms–Universität Münster 2004
- 72. Segner H, Asbjorn H**  
Individualisierte Kephalemetrie.  
4.Aufl., Segner D 2003
- 73. Siebert D**  
Ein Meßsystem zur präoperativen Planung und intraoperativen Kontrolle von Dysgnathieoperationen.  
Dissertation: Freie Universität Berlin 2002
- 74. Silvestri A, Cascone P, Natali G, Iaquaniello M**  
Long-term control of skeletal structures in class II dentoskeletal deformities after surgical-orthodontic therapy.  
Am J Orthod Dentofac Orthop. 1994;105(4):375-82
- 75. Sperber GH**  
Embryologie des Kopfes.  
Quintessenz, 1989
- 76. Steinhäuser EW, Janson I**  
Kieferorthopädische Chirurgie. Band I.  
Quintessenz, 1988
- 77. Steinhäuser S**  
Indikation zur Kinnplastik nach Autorotation des Unterkiefers.  
Dissertation: Julius-Maximilians-Universität Würzburg 2005

- 
- 78. Swennen GR, Mollmanns W, Schutyser F**  
Three-dimensional treatment planning of orthognathic surgery in the era of virtual imaging.  
J Oral Maxillofac Surg. 2009;67:2080-92
- 79. Swennen GR, Schutyser F, Hausamen JE**  
Three dimensional cephalometry. A color atlas and manual.  
Springer Verlag 2006
- 80. Swennen GR, Schutyser F**  
Three-dimensional cephalometry: Spiral multi-slice vs cone beam computed tomography.  
Am J Orthod Dentofac Orthop. 2006;130(3):410-6
- 81. Trypkova B, Major P, Prasad N, Nebbe P**  
Cephalometric landmark identification and reproducibility: A meta analysis.  
Am J Orthod Dentofac Orthop. 1997;112(2):165-70
- 82. Valentin J**  
The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.  
Publication 103. Ann ICRP 2007;37:1-332
- 83. Van Sickels JE, Larsen AJ, Thrash WJ**  
Relapse after rigid fixation of mandibular advancement.  
J Oral Maxillofac Surg. 1986;44(9):703-707
- 84. Van Vlijmen OJ, Berge SJ, Swennen GR, Bronkhorst EM, Katsaros C, Kuijpers-Jagtman AM**  
Comparison of Cephalometric Radiographs Obtained From Cone-Beam Computed Tomography Scans and Conventional Radiographs.  
J Oral Maxillofac Surg. 2009;67(1):92-7
- 85. Wessling A**  
Subjektive Bewertung einer kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Kombinationstherapie.  
Dissertation: Westfälische Wilhelms-Universität Münster 2004

**86. Will LA, West RA**

Factors influencing the stability of the sagittal split osteotomy for mandibular advancement.

J Oral Maxillofac Surg. 1989;47:813-818

**87. Wörtche R, Hassfeld S, Lux CJ, Müssig E, Hensley FW, Krempien R, Hofele C**

Clinical application of cone beam digital volume tomography in children with cleft lip and palate.

Dentomaxillofac Radiol. 2006;35(2):88-94

**88. Zachow S**

Computergestützt 3D Osteotomieplanung in der Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie unter Berücksichtigung der Weichgewebe.

Dissertation: Technische Universität Berlin 2004

**89. Ziegler CM, Wörtch R, Brief J, Hassfeld S**

Clinical indications for digital volume tomography in oral and maxillofacial surgery.

Dentomaxillofac Radiol. 2002;31(2):126-130

---

## 8. Anhang

### Abkürzungen:

- UK\_r DVT:  
Sagittale Translation im Unterkiefer rechts aus den DVT-Daten
  - UK\_L DVT:  
Sagittale Translation im Unterkiefer links aus den DVT-Daten
  - UK\_m DVT:  
Horizontale Translation im Unterkiefer aus den DVT-Daten
  - OK\_I\_A DVT:  
Vertikale Translation im Oberkiefer frontal aus den DVT-Daten
  - OK\_I\_r DVT:  
Vertikale Translation im Oberkiefer rechts aus den DVT-Daten
  - OK\_I\_L DVT:  
Vertikale Translation im Oberkiefer links aus den DVT-Daten
  - OK\_m DVT:  
Horizontale Translation im Oberkiefer aus den DVT-Daten
  - OK\_T\_r DVT:  
Sagittale Translation im Oberkiefer rechts aus den DVT-Daten
  - OK\_T\_L DVT:  
Sagittale Translation im Oberkiefer links aus den DVT-Daten
- 

- UK\_r Modell:  
Sagittale Translation im Unterkiefer rechts aus der Modell-OP
- UK\_L Modell:  
Sagittale Translation im Unterkiefer links aus der Modell-OP
- UK\_m Modell:  
Horizontale Translation im Unterkiefer aus der Modell-OP
- OK\_I\_1 Modell:  
Vertikale Translation im Oberkiefer frontal aus der Modell-OP



- 
- OK\_I\_r Modell:  
Vertikale Translation im Oberkiefer rechts aus der Modell-OP
  - OK\_I\_L Modell:  
Vertikale Translation im Oberkiefer links aus der Modell-OP
  - OK\_m Modell:  
Horizontale Translation im Oberkiefer aus der Modell-OP
  - OK\_T\_r Modell:  
Sagittale Translation im Oberkiefer rechts aus der Modell-OP
  - OK\_T\_L Modell:  
Sagittale Translation im Oberkiefer links aus der Modell-OP
- 
- UK\_r\_diff\_g:  
Vergleich der Werte aus der Modell-OP-Messung mit denen der radiologisch kephalometrischen Messung für die sagittale Translation auf der rechten Unterkieferseite
  - UK\_I\_diff\_g:  
Vergleich der Werte aus der Modell-OP-Messung mit denen der radiologisch kephalometrischen Messung für die sagittale Translation auf der linken Unterkieferseite
  - UK\_m\_diff\_g:  
Vergleich der Werte aus der Modell-OP-Messung mit denen der radiologisch kephalometrischen Messung für die horizontale Translation im Unterkiefer
  - OK\_I\_F\_diff\_g:  
Vergleich der Werte aus der Modell-OP-Messung mit denen der radiologisch kephalometrischen Messung für die vertikale Translation im Oberkieferfrontbereich
  - OK\_I\_r\_diff\_g:  
Vergleich der Werte aus der Modell-OP-Messung mit denen der radiologisch kephalometrischen Messung für die vertikale Translation auf der rechten Seite des Oberkiefers

- 
- OK\_I\_I\_diff\_g:  
Vergleich der Werte aus der Modell-OP-Messung mit denen der radiologisch kephalometrischen Messung für die vertikale Translation auf der linken Seite des Oberkiefers
  - OK\_m\_diff\_g:  
Vergleich der Werte aus der Modell-OP-Messung mit denen der radiologisch kephalometrischen Messung für die horizontale Translation im Oberkiefer
  - OK\_T\_r\_diff\_g:  
Vergleich der Werte aus der Modell-OP-Messung mit denen der radiologisch kephalometrischen Messung für die sagittale Translation auf der rechten Seite des Oberkiefers
  - OK\_T\_I\_diff\_g:  
Vergleich der Werte aus der Modell-OP-Messung mit denen der radiologisch kephalometrischen Messung für die sagittale Translation auf der linken Seite des Oberkiefers
- 
- OK\_I\_A:  
Vergleich der Werte aus der Modell-OP-Messung mit denen der radiologisch kephalometrischen Messung für die Impaktion im frontalen Bereich des Oberkiefers
  - OK\_I\_L:  
Vergleich der Werte aus der Modell-OP-Messung mit denen der radiologisch kephalometrischen Messung für die Impaktion der linken Oberkieferseite
  - OK\_I\_r:  
Vergleich der Werte aus der Modell-OP-Messung mit denen der radiologisch kephalometrischen Messung für die Impaktion der rechten Oberkieferseite
-

- 
- OK\_m:  
Vergleich der Werte aus der Modell-OP-Messung mit denen der radiologisch kephalometrischen Messung für die horizontale Translation im Oberkiefer
  - OK\_T\_r:  
Vergleich der Werte aus der Modell-OP-Messung mit denen der radiologisch kephalometrischen Messung für die sagittale Translation auf der rechten Oberkieferseite
  - OK\_T\_L:  
Vergleich der Werte aus der Modell-OP-Messung mit denen der radiologisch kephalometrischen Messung für die sagittale Translation auf der linken Oberkieferseite
- 
- UK\_L:  
Vergleich der Werte aus der Modell-OP-Messung mit denen der radiologisch kephalometrischen Messung für die sagittale Translation auf der linken Unterkieferseite
  - UK\_R:  
Vergleich der Werte aus der Modell-OP-Messung mit denen der radiologisch kephalometrischen Messung für die sagittale Translation auf der rechten Unterkieferseite
  - UK\_M:  
Vergleich der Werte aus der Modell-OP-Messung mit denen der radiologisch kephalometrischen Messung für die horizontale Translation im Unterkiefer

## 9. Danksagung

Prof. Dr. Dr. A. C. Kübler danke ich für die Möglichkeit der Durchführung der Dissertation und der Bereitstellung aller Materialien und Geräte sowie der Überlassung dieses Thema.

Desweiteren möchte ich mich bei meinem Betreuer OA Dr. Dr. M. Kochel, der mich und meinen Doktorbruder während der letzten 2 Jahre sehr gut betreut und unterstützt hat, recht herzlich bedanken.

Für die Unterstützung und die Zusammenarbeit möchte ich mich auch bei Prof. Dr. A. Stellzig-Eisenhauer bedanken.

Ein weiterer Dank geht an OA Dr. P. Meyer-Marcotty und Dr. J. Kochel, die bei Fragen mit Rat und Tat zur Seite standen.

Desweiteren möchte ich der Röntgenabteilung der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie der Universität Würzburg für die Erstellung der DVT-Daten danken.

Darüber hinaus danke ich der Statistischen Beratung der Universität Würzburg für den Beistand bei statistischen Problemen.

Ein Dankeschön ist auch an Dr. Klaus Widmaier sowie Martina Busch gerichtet, die sich die Mühe machten und meine Arbeit Korrektur gelesen haben.

Ein ganz besonderer Dank gebührt meinem „Doktorbruder“ „SteveMcSteve“ S. Hartmann mit dem ich bei der Erstellung sowie Auswertung der Daten viel Zeit verbracht

