Universität Ulm

Aus der Klinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie

des Bundeswehrkrankenhauses Ulm

Ärztlicher Direktor: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. A. Schramm

Unterkieferrekonstruktionen mit patientenspezifischen computerassistiert geplant und gefertigten Titanrekonstruktionsplatten unter gleichzeitiger Anwendung von Operationsschablonen

Eine kontrollierte klinische Studie zur Untersuchung der Rekonstruktionsgenauigkeit

Dissertation zur Erlangung des

Doktorgrades der Zahnmedizin

der Medizinischen Fakultät der Universität Ulm

vorgelegt von

Dr. Frank Mascha

geboren in Wertingen

2016

Amtierender Dekan:	Prof. Dr. rer. nat. Thomas Wirth
1. Berichterstatter:	Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Alexander Schramm
2. Berichterstatter:	Prof. Dr. med. Thomas Hoffmann
Tag der Promotion:	27. April 2017

Publikationen

Teile dieser Dissertation wurden bereits in folgendem Zeitschriftenartikel veröffentlicht:

- ***Accuracy of mandibular reconstruction with CAD/CAM fabricated patient specific reconstruction-plates in combination with CAD/CAM drill guides***
  F. Mascha, S. Pietzka, A. Schramm, K. Lorenz, F. Wilde, Military Hosp. Ulm, K. Winter, TRM-Leipzig, C. Cornelius, LMU Munich (D)
  CARS 2015 - Computer Assisted Radiology and Surgery Proceedings of the 29th International Congress and Exhibition Barcelona, Spain, June 24–27, 2015. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, 10: 1-312 (2015) (DOI: 10.1007/s11548-015-1213-2) – with permission of Springer;

Teile dieser Dissertation wurden bereits auf nationalen und internationalen wissenschaftlichen Kongressen präsentiert:

- ***Genauigkeitsuntersuchung von patientenspezifischen CAD/CAM Unterkieferrekonstruktionsplatten in der klinischen Anwendung***
  Dr. Frank Mascha, Dr. Sebastian Pietzka, Dr. Karsten Winter, Dr. Florian Probst, Dr. Dr. Henning Hanken, Prof. Dr. Dr. Carl-Peter Cornelius, Prof. Dr. Dr. Max Heiland, Prof. Dr. Dr. Alexander Schramm, Dr. Dr. Frank Wilde
  65. Kongress der DGMKG 10. - 13. Juni 2015 in Stuttgart

- ***Methoden zur alloplastischen Unterkieferrekonstruktion – Vergleich der Rekonstruktionsgenauigkeit unter spezieller Berücksichtigung von Plattenpositionierungshilfen***
  Frank Mascha, Katharina Kletsch, Karsten Winter, Alexander Schramm, Frank Wilde
  66. Kongress der DGMKG 01. - 04. Juni 2016 in Hamburg

- ***Reconstruction Accuracy of four different Methods for Mandibular Reconstructions***
  Frank Mascha, Alexander Schramm, Sebastian Pietzka, Karsten Winter, Frank Wilde
  23rd Congress of the European Association for Cranio Maxillo-Facial Surgery, 13-16 September, 2016 in London, UK

Meinen lieben Eltern

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis I

1. **Einleitung** 1

1.1. Rekonstruktionsmöglichkeiten nach Unterkieferteilresektion 1

1.2. Operationstechniken zur Unterkieferrekonstruktion 4

1.2.1. Standardmethode 4

1.2.2. Probleme und Limitationen der Standardmethode 7

1.2.3. PSMP-Methode 9

1.3. Fragestellung der Arbeit 18

2. **Material und Methoden** 19

2.1. Einschlusskriterien der Studie 19

2.2. Tabellarische Datenübersicht der Patientenfälle 21

2.3. Erfassung des Defektausmaßes 23

2.4. Methode zur Genauigkeitsbestimmung von Unterkieferrekonstruktionen 24

2.5. Berechnung der Rekonstruktionsgenauigkeit 33

2.6. Ursachenanalyse der Rekonstruktionsfehler 38

2.7. Statistische Auswertung 40

3. **Ergebnisse** 41

3.1. Fallzahlen und Fallverteilungen 41

3.2. Analyse des Patientengutes hinsichtlich Strukturgleichheit 43

3.2.1. Alters- und Geschlechtsverteilung 43

3.2.2. Krankheitsspektrum 43

3.2.3. Analyse des Resektionsausmaßes 44

3.3. Quantität und Qualität der erhobenen Messdaten 45

3.4. Tabellarische Übersicht der gemessenen Daten 47

3.5. Vergleich der jeweiligen Untersuchungsgruppen 49

3.5.1. Vergleich der PSMP-Methode mit der Standardmethode 50

3.5.2. Vergleich der rein alloplastischen Rekonstruktionsfälle 56

3.6. Ursachenanalyse für Rekonstruktionsungenauigkeiten 62

3.6.1. Rekonstruktionsfehler in Abhängigkeit des Resektionsausmaßes 62

3.6.2. Rekonstruktionsfehler in Abhängigkeit der Rekonstruktionsart innerhalb der PSMP-Gruppe 66

3.6.3. Rekonstruktionsgenauigkeit und Schablonenpositionierung 72

3.7. Ergebniszusammenfassung 75

4. **Diskussion** 77

4.1. Vergleichbarkeit der Fallgruppen 77

4.2. Messmethode und Aussagekraft zur Rekonstruktionsgenauigkeit 80

4.3. Fehleranalyse der angewandten Messmethode 81
4.4. Interpretation der erhobenen Messwerte 85
4.5. Vergleich der Standardmethode und der PSMP-Methode 87
4.6. Möglichen Ursachen für Rekonstruktionsungenauigkeiten der PSMP-Methode 91
4.6.1. Rekonstruktionsfehler in Abhängigkeit des Resektionsausmaßes 93
4.6.2. Rekonstruktionsfehler in Abhängigkeit von der primären Rekonstruktionsmethode 94
4.6.3. Rekonstruktionsfehler und Schablonenpositionierung 95
4.7. Ergebnisanalyse im wissenschaftlichen Kontext 97
4.8. Schlussfolgerung 104
5. **Zusammenfassung 106**
6. **Literaturverzeichnis 108**
Danksagung 114
Lebenslauf 115

Abkürzungsverzeichnis

3D	dreidimensional
A	medialster Punkt des Processus condylaris mandibulae
Abs.	Absolutwert
Allopl.	rein alloplastische Rekonstruktionsgruppe
AM	Angulus mandibulae
AMB	Ameloblastom
AZ-CA	Adenoid-zystisches Karzinom
B	lateralster Punkt des Processus condylaris mandibulae
BRONJ	Bisphosphonat Related Osteonecrosis of the Jaw
C	tiefster Punkt der Incisura mandibulae
CAD/CAM	computer aided design / computer aided manufacturing
CI	Crista iliaca Transplantat
CM	Corpus mandibulae
CMF	Cranio-Maxillo-Facial
CT	Computertomogramm
D	Lingula mandibulae
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
E	Spitze des Processus coronoideus
F	kaudalster Punkt des Angulus mandibulae
Fib.	Fibulatransplantat
IQA	Interquartilsabstand
m	männlich
mm	Millimeter
MM	Synthes MatrixMANDIBLE Plating System
MV	mikrovaskuläre Rekonstruktionsgruppe
n	Anzahl (der Messwerte)
OM	Osteomyelitis
ORN	Osteoradionekrose
PACS	Picture Archiving and Communication System

PE-CA	Plattenepithelkarzinom
PET	Positronen-Emissions-Tomographie
post-OP	postoperativ
prä-OP	präoperativ
prim.	primär
PSMP	Patienten-Spezifische Mandibula-Platte
RM	Ramus mandibulae
S	Symphyse
Sca.	Scapulatransplantat
SD	Standardabweichung
sek.	sekundär
ST	Standardmethode
STL	Surface Tessellation Language
UL	Synthes Compact 2.4 UniLOCK System
VSP	Virtual Surgical Planning (virtuelle Operationsplanung)
w	weiblich

1. Einleitung

1.1. Rekonstruktionsmöglichkeiten nach Unterkieferteilresektion

Die Mandibula stellt in Kombination mit den Zähnen des Unterkiefers den beweglichen Part des Kausystems dar. Daneben spielt der Knochen zusammen mit den Weichteilen des Mund- und Halsbereiches eine zentrale Rolle beim Schlucken und Sprechen. Als knöcherner Anteil des unteren Gesichtsdrittels stabilisiert die Mandibula die Mundboden-, Zungen- und Halsmuskulatur und hält somit die Atemwege im Pharynx offen. In dieser Funktion verleiht sie in ihrer unterschiedlichen Ausprägung dem Gesicht sein individuelles Erscheinungsbild und tritt dazu bei der Geschlechterzuordnung als sekundäres Merkmal in Erscheinung [3, 17, 22, 47]. Fehlbildungen der Mandibula durch über- oder unterproportionales Wachstum führen häufig zu funktionellen Einschränkungen oder Schmerzen. Als Beispiel sei hier der dysgnathe Formenkreis mit Malokklusion und Kiefergelenksbeschwerden im Sinne einer craniomandibulären Dysfunktion oder die Kiefergelenksarthrose genannt. Therapeutisch werden hier in diesen ausgeprägten Fällen Umstellungsosteotomien der Mandibula zur Verbesserung der Kaufunktion und der Gelenkposition durchgeführt. Außerdem werden Abweichung des Knochens in Form und Größe von der ästhetischen Norm weitestgehend als störend und unattraktiv empfunden und sind somit ebenfalls Ursache für plastische Eingriffe in diesem Bereich. Hieraus wird ersichtlich, dass die Mandibula als zentraler und formgebender Anteil mit den angrenzenden Weichteilstrukturen eine sowohl funktionell als auch ästhetisch hochkomplexe anatomische Region hinsichtlich chirurgischer Eingriffe darstellt.

Der partielle oder gar vollständige Verlust des Unterkiefers, sei es durch Krankheit oder Trauma, stellt somit eine schwerwiegende Beeinträchtigung des Patienten hinsichtlich Lebensführung und Lebensqualität dar. Hierbei kommt es zu Einschränkungen der Nahrungsaufnahme, des Sprechens oder der Atmung. Neben diesen somatischen Folgen müssen, insbesondere bei ausgedehnten, entstellenden Weichgewebsverlusten, psychosoziale Aspekte berücksichtigt werden [48, 49]. Die operative Rekonstruktion des Unterkiefers stellt deshalb eine

besondere Herausforderung für den Chirurgen dar, da an das Ergebnis nicht nur hohe funktionelle, sondern auch ästhetische Ansprüche gestellt werden.

Ursachen für eine teilweise oder komplette Resektion der Mandibula reichen hier von malignen Erkrankungen über Osteoradionekrosen, Osteomyelitiden bis zu Chemonekrosen des Unterkiefers durch osteoklasten-hemmende Medikamente wie z.B. Bisphosphonate. Am häufigsten führen maligne Neoplasien der Mundhöhle zur Unterkieferteilresektion. Dabei handelt es sich in über 80% der Fälle um Plattenepithelkarzinome, neben denen nur zu einem geringen Prozentsatz auch Karzinome der Speicheldrüsen vorkommen können. Andere Ursachen, wie schwere Unfälle oder Schussverletzungen im Gesichtsbereich kommen in Deutschland seltener vor, spielen aber in anderen Ländern oder aber im militärisch-sanitätsdienstlichem Bereich nach wie vor eine bedeutende Rolle [53, 55, 57].

Die Hauptziele der Rekonstruktion liegen zunächst in der Überbrückung des Defektes und der Wiederherstellung der Knochenkontinuität, um die physiologischen Funktionen des Kiefers zu erhalten [47, 54]. Wichtige Voraussetzungen zur Aufrechterhaltung bzw. langfristigen Wiederherstellung der Kaufunktion sind die exakte dreidimensionale Zuordnung von Ober- und Unterkiefer zueinander bei gleichzeitig korrekter Positionierung der Gelenkköpfe in den Gelenkgruben. Hierbei muss auch die Möglichkeit der späteren Implantataufnahme zur dentalen Rehabilitation nach einer primären oder sekundären knöchernen Rekonstruktion des Unterkiefers bereits im Vorfeld in Betracht gezogen werden [2, 33, 62]. Die exakte Repositionierung der Kondylen in den Fossae glenoidales ist entscheidend, da anderenfalls die Gefahr der Entwicklung von Malokklusion, mastikatorischer Fehlfunktion und chronischen Kiefergelenksbeschwerden besteht. Dies wurde in Studien zur Positionierung der Kondylen bei kieferorthopädischen Operationen am Unterkiefer nachgewiesen [31, 32, 41, 43, 72]. Ein ansprechendes ästhetisches Ergebnis kann nur erzielt werden, wenn die Rekonstruktion möglichst exakt die Form des Unterkiefers mit seinen angrenzenden Weichteilen im präoperativen Zustand wiedergibt [30].

Um dies zu erreichen, werden zwei Methoden zur Rekonstruktion von Unterkieferkontinuitätsdefekten regelhaft angewandt:

1. Alleinige primäre alloplastische Unterkieferrekonstruktion unter Verwendung von Unterkieferrekonstruktionsplatten und anschließend sekundärer knöcherner Rekonstruktion der Defektzone [24, 65].
2. Primäre knöcherne Unterkieferrekonstruktion nach Resektion in Kombination mit Rekonstruktionsplatten oder Miniplatten [64].

Die autologe knöcherne Rekonstruktion kann hierbei mittels freiem Knochentransplantat, beispielsweise aus der Crista iliaca des Beckens, oder mittels mikrovaskulär-anastomosierten Transplantaten, beispielsweise als Fibula-, Scapula- oder gefäßgestieltem Beckenkammtransplantat, erfolgen. Die ursprünglich verwendeten freien Knochentransplantate wurden in den letzten Jahren aufgrund der Limitationen durch ausschließliche Diffusionsernährung von den vaskulären Knochentransplantaten zunehmend verdrängt [25, 38], haben aber gerade bei kleineren Unterkieferdefekten und als präprothetische Kieferkammaugmentation nach wie vor ihren festen klinischen Stellenwert. Letztlich besteht auch die Möglichkeit, bei deutlich reduzierter Lebenserwartung oder aufgrund von schwerwiegenden Grunderkrankungen, die einen ausgedehnten oder weiteren operativen Eingriff verbieten, gänzlich auf eine knöcherne Rekonstruktion zu verzichten [15].

Bei der Verwendung von Rekonstruktionsplatten ist der Einsatz von winkelstabilen Rekonstruktionsplattensystemen aus Titan internationaler Standard. Schmoker hat die klinischen Ansprüche an diese Platten bereits 1983 beschrieben [51]. Mit der Adaptation an die Unterkieferkontur sollten die Rekonstruktionsplatten unter funktioneller Belastung eine ausreichende Stabilität aufweisen, um die verbliebenen Unterkieferstümpfe in ihrer ursprünglich anatomisch korrekten Position zu halten. Zudem sollte die Möglichkeit gegeben sein, mittels an die Platte fixierter Knochentransplantate eine zweizeitige dentale Rehabilitation zu gewährleisten. Die derzeit auf dem Markt befindlichen winkelstabilen Osteosyntheseplattensysteme verschiedener Hersteller erfüllen alle diese Kriterien und sind in verschiedenen Größen und Materialstärken erhältlich. Diese mitunter schon anatomisch präformierten Titanplatten werden nach einem etablierten Standardverfahren intraoperativ angepasst und fixiert. Die Operationsmethode ist in diversen Publikationen und Lehrbüchern bereits ausführlich dokumentiert worden und soll hier der Vollständigkeit halber, und um die in der Diskussion

herausgearbeiteten Unterschiede der jeweiligen Rekonstruktionstechnik besser einordnen zu können, kurz dargestellt werden [29] [45] [25].

1.2. Operationstechniken zur Unterkieferrekonstruktion

Die Unterkieferteilresektion wird meist über einen Hautschnitt am Hals von extraoral durchgeführt. Resektionen von enoral sind in selteneren Fällen ebenfalls möglich. Häufig werden die Zugänge bei Tumoroperationen miteinander kombiniert. Nach der Darstellung des Unterkiefers in einem für die Resektion und Rekonstruktion ausreichendem Maße von kaudal, erfolgt das Anpassen der Osteosyntheseplatte. Diese muss den zu resezierenden Defekt überbrücken und sollte mit jeweils mindestens zwei, besser drei bis vier Osteosyntheseschrauben je verbliebenem Kieferstumpf am Restknochen des Unterkiefers proximal und distal fixiert werden. Die Schraubenlöcher sollten einen Mindestabstand von fünf Millimetern zum Resektionsrand wahren und bikortikal gebohrt werden. Die Platte sollte am kaudalen Unterkieferrand zu liegen kommen und die Kontur des Unterkiefers nicht deutlich verstärken. Die Kinnprominenz kann durch einen supramentalen Plattenverlauf umgangen werden, auf die Austrittspunkte der Nervi mentales muss hierbei geachtet werden.

Die unterschiedlichen Rekonstruktionsmethoden unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Anpassung, vor allem aber auch hinsichtlich ihrer Anbringung der Osteosyntheseplatte an den Unterkiefer.

1.2.1. Standardmethode

Bei der Standardmethode wird eine konfektionierte Osteosyntheseplatte an die Kontur des Unterkiefers nach den oben genannten Kriterien angepasst und zunächst vor der Unterkieferteilresektion an den Unterkiefer angeschraubt (Abbildung 1, links). Dies stellt eine Repositionierung der Platte am kontinuitätsunterbrochenen Unterkiefer nach der Resektion sicher. Die Osteosyntheseplatte kann bei der Standardmethode entweder direkt intraoperativ angepasst werden oder aber an einem 3D Modell des Unterkiefers bereits präoperativ vorgebogen werden. Die Standardmethode mit intraoperativem

Konfektionieren der Osteosyntheseplatte stellt die ursprüngliche und etwas zeitintensivere Variante dar. In Zeiten von flächenhafter Verfügbarkeit von 3D-Druckern und Stereolithographieverfahren wir diese Methode zunehmend durch das präoperative Konfektionieren der Osteosyntheseplatte an Kunststoffmodellen des Patientenkiefers verdrängt. Gleich bleibt hierbei allerdings die Tatsache, dass bei beiden Varianten der Standardmethode vor der Resektion ein Anbringen der Platte an den Unterkiefer erforderlich ist um eine exakte Positionierung zu gewährleisten.

Standardmethode mit intraoperativem Konfektionieren der Osteosyntheseplatte

Die Prozedur des intraoperativen Konfektionierens der Platte erfordert einige Erfahrung und einen gewissen Zeitaufwand (20-45 Minuten) während der Patient bereits in Narkose liegt. Die Titanplatte sollte hierbei nicht zu oft an ein und derselben Stelle gebogen werden, um Materialermüdungen mit der Folge einer postoperativen Plattenfraktur unter Kaubelastung vorzubeugen [35]. Außerdem sollten die Schraubenlöcher, die zur Aufnahme von sog. „Locking-Schrauben“ ein Innengewinde besitzen, mit temporären Schraubenköpfen bestückt werden um hier einer Materialverwindung der Löcher beim Biegen vorzubeugen. Idealerweise kommt die Platte schließlich spannungsfrei auf dem noch intakten Unterkiefer zu liegen [24, 65]. Danach muss die Platte mit Klemmen proximal und distal der geplanten Resektionsstelle und mit Schrauben im Bereich der Resektionsstelle temporär an der Mandibula fixiert werden, um bereits die Bohrlöcher für das spätere Fixieren der Platte an der gewünschten Position anbringen zu können. Danach wird die Platte entfernt und die eigentliche Unterkieferteilresektion kann nun, wenn die Position der verbleibenden Kieferstümpfe zueinander in der Form der Osteosyntheseplatte verschlüsselt ist, durchgeführt werden. Im Anschluss daran kann die Titanplatte an den bereits vorhandenen Bohrlöchern mit bikortikalen Schrauben fixiert werden (Abbildung 1, rechts). Ziel dieses Vorgehens ist die exakte Repositionierung der verbliebenen Unterkiefersegmente zueinander, um eine anatomisch korrekte Kondylenposition und eine regelrechte Okklusion nach der Operation sicherzustellen.

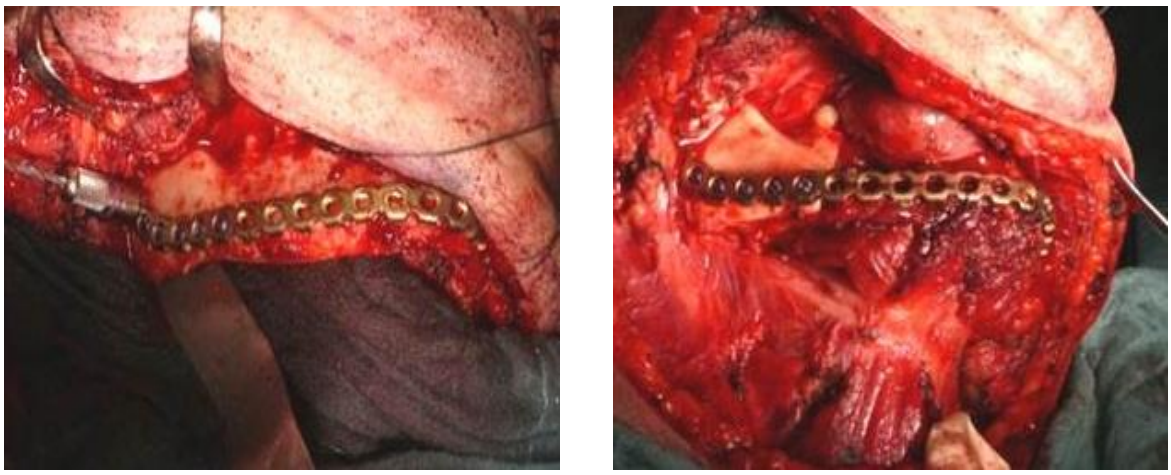


Abbildung 1: Darstellung der wesentlichen Arbeitsschritte einer Unterkieferteilresektion nach der Standardmethode mit intraoperativem Konfektionieren der Osteosyntheseplatte. Im linken Bild ist Osteosyntheseplatte am noch intakten Unterkiefer bereits mit Schrauben fixiert um eine anatomisch korrekte postoperative Stellung der Kondylen mit regelrechten Okklusionsverhältnissen zu erzielen. Im rechten Bild wird die nach der Resektion über die angelegten Bohrlöcher eingebrachte Rekonstruktionsplatte nach durchgeführter Unterkieferteilresektion dargestellt. (Patientenfall am Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2011).

Standardmethode mit präoperatives Konfektionieren der Osteosyntheseplatte

Um die Standardmethode zu optimieren und den intraoperativen Zeitbedarf für das Anpassen der Osteosyntheseplatte zu reduzieren wurde in den letzten Jahren damit begonnen, bereits präoperativ an individuell hergestellten Unterkiefermodellen des Patienten die Rekonstruktionsplatte zu konfektionieren. Die 3D-Modelle können relativ schnell und zwischenzeitlich verhältnismäßig kostengünstig aus dem erstellten CT-Datensatz des Patienten mittels 3D-Druckern oder im sog. Stereolithographieverfahren hergestellt werden. Als klarer Vorteil ist hier die Zeitersparnis während der Operation zu nennen, gerade wenn weitere Arbeitsschritte, wie zum Beispiel das Bestimmen der Bohrlochpositionen und der Schraubenlängen ebenfalls präoperativ durchgeführt werden. Dazu ist die Methode für den Durchführenden komfortabel und das exakte Anbiegen der Platte wird erleichtert, indem der blanke Unterkieferknochen separiert von Weichteilen als Modell vorliegt.

Eine klinische Studie, welche dasselbe Studiendesign zur Genauigkeitsbestimmung wie die hier vorliegende Arbeit verwendete, konnte zeigen, dass hinsichtlich der Genauigkeit des Rekonstruktionsergebnisses kein signifikanter Unterschied im Vergleich zur Standardmethode ohne präoperatives

Konfektionieren der Platte besteht und diese Variation der Standardmethode eine ausreichende Genauigkeit im klinische Alltag aufweist [71].

In der hier vorliegenden Arbeit wurden lediglich Fälle eingeschlossen, die nach der ursprünglichen Standardmethode mit intraoperativem Konfektionieren der Osteosyntheseplatte rekonstruiert wurden. Das nach dieser Methode operierte Patientenkollektiv wird im Folgenden mit Standardmethode-Gruppe bezeichnet. Der Ausschluss von Fällen, die mit präoperativ konfektionieren Osteosyntheseplatten operiert wurden erfolgte, da diese Methode vor allem international noch nicht in allen Kliniken den gängigen Standard darstellt und hier eine möglichst homogene und vergleichbare Kontrollgruppe definiert werden sollte.

1.2.2. Probleme und Limitationen der Standardmethode

Die Standardmethode mit intraoperativem aber auch präoperativem konfektionieren der Rekonstruktionsplatte zeigt immer dann Schwächen hinsichtlich der Rekonstruktionsgenauigkeit, wenn ein Anbringen der Osteosyntheseplatte wie in Abbildung 1 gezeigt intraoperativ vor Unterkieferteilresektion nicht mehr möglich ist. Dies ist immer dann der Fall, wenn die Kontur des Unterkiefers beispielsweise durch einen destruierenden Tumor zerstört oder deformiert ist (Abbildung 3) [22, 66]. Ist ein orales Plattenepithelkarzinom des Alveolarkammes bereits in den Knochen infiltriert oder liegt ein raumfordernder Prozess des Knochens selbst vor, so ist eine en bloc Resektion des Unterkiefer ohne eine vorherige Plattenfixation indiziert. Auch bei destruierendem Wachstum oder traumatischem Knochenverlust wie beispielsweise nach einer Schussverletzung, ist das beschriebene Standardvorgehen nicht mehr möglich. Hier kann die Platte nur noch nach der vermuteten Form gebogen und nach der Unterkieferteilresektion angepasst und fixiert werden. Hierbei wird das Rekonstruktionsergebnis zunehmen ungenauer [5, 34, 60]. Okklusionsstörungen und Fehlstellungen der Kondylen sind zwangsläufig die Folge [66].

Die in der Literatur hierfür beschriebenen Behelfsmöglichkeit reichen von Ramusfixationsplatten über temporäre Kirschnerdrähte bis hin zum Anbringen eines Fixateur externe. Diese Methoden stellen allesamt aufwändige Verfahren

dar, bei denen die Stellung der Kieferstümpfe zueinander verschlüsselt wird. Nach Unterkieferteilresektion kann dann die eigentliche Osteosyntheseplatte unter Verwendung der Positionierungshilfe angebogen und fixiert werden [19].

Ein weiteres Problem der Standardmethode zeigt sich bei ausgedehnten primären mikrovaskulär-knöchernen Rekonstruktionen des Unterkiefers mit Fibula- oder Scapulatransplantaten. Während sich nicht-vaskularisierter Knochen, der in der Regel aus dem Beckenkamm entnommen wird, relativ einfach an die nach oben beschriebener Methode gebogene Platte anpassen lässt, ist dies bei Verwendung von mikrovaskulären Transplantaten nicht möglich. Die am häufigsten zur mikrovaskulären Unterkieferrekonstruktion verwendete Fibula mit oder ohne Haut- und Muskelanteil kann nicht nach Belieben der natürlichen bogenförmigen Kontur des Unterkiefers angepasst werden. Vielmehr muss sich der Operateur hier zur Formgebung des rekonstruierten Unterkiefers auf wenige und inkomplette Keilresektionen beschränken, um die Blutversorgung des eigentlich gerade verlaufenden Knochentransplantates nicht zu gefährden. Die Rekonstruktionsplatte sollte dann dieser Form folgen. Hierbei ist es kaum möglich, die präoperative Stellung der aufsteigenden Unterkieferäste zueinander zu reproduzieren. Wenn auch die postoperative Okklusion bei derart ausgedehnten Defekten aufgrund häufig nicht mehr vorhandener Restbezahnung eine untergeordnete Rolle spielt, so bleibt die korrekte Kondylenposition als auch die Lage des transplantierten Knochens im Hinblick auf eine langfristige dentale Rehabilitation mit Implantaten durchaus relevant.

Folgende Probleme sind bei der Unterkieferrekonstruktion nach der Standardmethode also festzuhalten:

1. hoher intraoperativer Zeitaufwand zur Anpassung der Rekonstruktionsplatte
2. erhöhtes Risikos für eine postoperative Ermüdungsfraktur aufgrund Materialschwächung beim intraoperativen Biegevorgang
3. reduzierte Rekonstruktionsgenauigkeit bei ausgeprägten und destruierenden Unterkieferdefekten
4. reduzierte Rekonstruktionsgenauigkeit bei ausgedehnten primär knöchernen mikrovaskulären Rekonstruktionen

1.2.3. PSMP-Methode

Eine Weiterentwicklung im Bereich der Unterkieferrekonstruktion stellte die Einführung von patientenspezifischen Implantaten dar, die im CAD/CAM-Verfahren (computer aided design / computer aided manufacturing) gefertigt werden. Hierbei entfällt das manuelle Biegen der Osteosyntheseplatte und das Werkstück kann individuell und passgenau nach den klinischen Ansprüchen und Wünschen des Chirurgen zunächst am Computer geplant und anschließend maschinell gefertigt werden. Diese Methode, die nicht nur für die Rekonstruktion von Unterkieferdefekten geeignet ist, hält derzeit breiten Einzug in das Fachgebiet der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie und wird ständig weiterentwickelt. Die Anwendung dieser neuen Techniken wird in der internationalen Literatur unter dem Schlagwort „Virtual Surgical Planning (VSP) - virtuelle Operationsplanung“ zusammengefasst und ist Gegenstand vieler aktueller Studien [8-10, 14, 21, 23, 28]. Von der Anwendung dieser Methode zur Herstellung von Rekonstruktionsplatten verspricht man sich eine höhere Passgenauigkeit als auch eine größere Langzeitstabilität mit weniger Plattenfrakturen. Die Herstellungsmethoden reichen hierbei von konventionellen Fertigungstechniken (Fräsen, Drehen oder Zerspannen von Titanrohlingen) über generative Fertigungsverfahren mit Lasermelting und Lasersintering des Werkstückes. Im Bereich der primären mikrovaskulären Rekonstruktion können die Platten nach Planung auf Basis der CT-Daten individuell an den Unterkiefer des Patienten und an die gewünschte Transplantatform angepasst werden.

Aber auch hier besteht die Schwierigkeit, die virtuelle Planung der Plattenposition auf den Restunterkieferstümpfen in die Realität des Operationssitus zu übertragen. Um dies mit einer hohen Präzision zu bewerkstelligen, wurde hierzu ein Übertragungsschlüsselverfahren entwickelt, welches zum einen die geplanten Resektionsgrenzen definiert und zum anderen die exakte Plattenposition durch Vorgabe der Bohrlöcher definiert. Bei der Anwendung dieser Methode zur mikrovaskulär-knöchernen Unterkieferrekonstruktion können ebenfalls mittels CAD/CAM-Technik hergestellte Schablonen bereits bei der Entnahme und Formgebung des knöchernen Transplantates angewandt werden. Somit ist es nach dieser Methode möglich, die gesamte Operationsplanung im Vorfeld virtuell durchzuführen und die geplante Situation mit Operationsschablonen in den

Operationssitus zu übertragen. Die Einführung der hierfür angefertigten, individualisierten Rekonstruktionsplatten war ein entscheidender Schritt, da sie für ein exaktes Rekonstruktionsergebnis von erheblicher Bedeutung sind [12].

Mehrere Firmen, die auf Herstellung von Osteosyntheseplatten spezialisiert sind, bieten daher bereits sowohl die Planung als auch Herstellung dieser individuellen Platten in Kombination mit Operationsschablonen an. Im folgenden Kapitel soll das in dieser Arbeit untersuchte Verfahren, wie es von der Firma DePuySynthes® (Zuchwil, Schweiz) seit Anfang des Jahres 2013 angeboten wird, genauer beschrieben werden.

Synthes Trumatch® CMF Unterkieferrekonstruktionssystem

Hierbei handelt es sich genaugenommen um eine Kombination zweier Produkte aus dem Portfolio der Firma DePuySynthes® (Zuchwil, Schweiz): „Trumatch® CMF Solutions – Patient Specific Plates for Mandible“ und „Trumatch® CMF Solutions – ProPlan CMF Mandible Reconstruction“. Die Verwendung dieser Produkte zur Unterkieferrekonstruktion unter Einhaltung des im Folgenden beschriebenen Arbeitsganges wird in dieser Arbeit als PSMP-Methode bezeichnet. Die Abkürzung PSMP steht hierbei für Patienten-Spezifische Mandibula-Platte. Wenngleich diese Methode in der Literatur bereits ausführlich beschrieben ist, soll sie hier zum besseren Verständnis nochmals in ihren Grundzügen dargestellt werden [59, 64, 69].

Bei den patientenspezifischen Rekonstruktionsplatten handelt es sich um mittels CAD/CAM-Verfahren hergestellte, aus einem vorgebogenen Titanblock gefräste Rekonstruktionsplatten, die in einer Materialstärke von 2,0 und 2,5 Millimeter angeboten werden und eine Standardplattenhöhe von 8,0 Millimetern aufweisen. Die Form und Ausdehnung dieser Platte ist individuell nach den Vorstellungen des Operateurs und den Ansprüchen der geplanten Unterkieferrekonstruktion gestaltbar. Die Anzahl und Position der Schraubenlöcher sowie deren Angulation zur Platte ist zwischen 0° und 15° individuell an die jeweiligen anatomischen Bedürfnisse anpassbar. Hierbei kann auch der Schraubenlochabstand im Vergleich zu einer Standardplatten im System „MatrixMANDIBLE Recon“ von DePuySynthes® von 8,0 Millimetern bis auf 5,5 Millimetern bei dem „Trumatch®

CMF Solutions“ System verkleinert werden. Die jeweils benötigte Schraubenlänge für eine bikortikale Verankerung der Platte wird ebenfalls direkt während der Planung mitbestimmt und steht dem Operateur zur Verfügung.

Um die präformierte individualisierte Platte intraoperativ an der richtigen Position einzubringen und die virtuelle Planung exakt in den Operationssitus zu übertragen, wird das „ProPlan CMF Mandible Reconstruction System“ verwendet. Hierbei werden mittels CAD/CAM-Verfahren aus lasergesintertem biokompatiblen Polyamid sogenannte „Surgical-Guides“ - also Operationsschablonen oder Übertragungsschlüssel - hergestellt. Mit deren Hilfe kann sowohl die intraoperative Resektion schablonengestützt durchgeführt, als auch über Definition der Bohrlöcherposition die Rekonstruktionsplatte später exakt positioniert werden (Abbildung 2). Außerdem kann dieses System mit zusätzlich gefertigten Operationsschablonen auf das Entnehmen, Formen und Einbringen von mikrovaskulären Knochentransplantaten aus Fibula, Scapula und Beckenkamm erweitert werden (sog. „Graft Harvest-Guides“) [69].

Diese Methode wird in der weiteren Arbeit als PSMP-Methode bezeichnet und mit PSMP abgekürzt. Das nach dieser Methode operierte Patientenkollektiv wird mit PSMP-Gruppe bezeichnet. Diese Methode soll hinsichtlich ihrer Rekonstruktionsgenauigkeit untersucht werden.

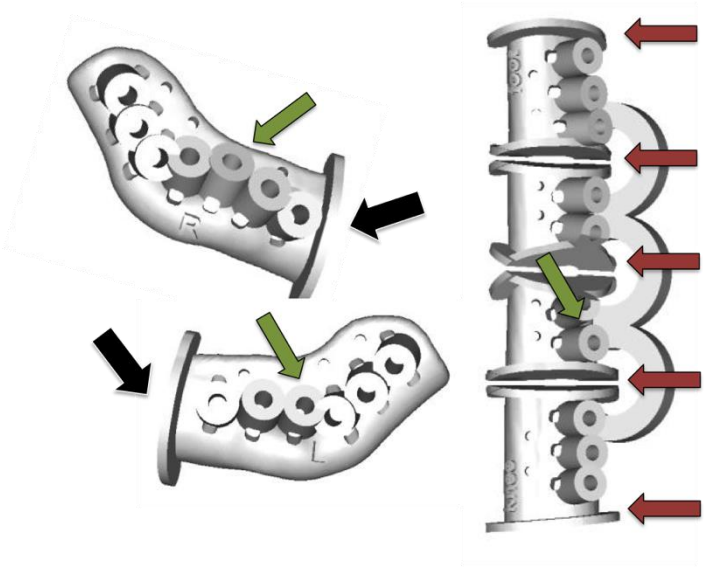


Abbildung 2: Operationsschablonen (Patientenfall am Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2014) zur Festlegung der Resektionsgrenzen und der exakten Positionierung der Rekonstruktionsplatte. Die im CAD/CAM-Verfahren hergestellten Schablonen aus lasergesintertem biokompatiblen Polyamid passen sich der Oberfläche des Knochens exakt an. Die im linken Bild zu sehenden „Cutting- and Drilling-Guides“ sind Schablonen für die Osteotomielinien am Unterkiefer (mit schwarzen Pfeilen gekennzeichnet) und für das Bohren der Schraubenlöcher zur Fixierung der Platte am Kiefer (mit grünen Pfeilen markiert). Analog werden die im rechten Bild dargestellten „Graft-Harvest-Guides“ angewandt, welche ebenfalls die Resektions- bzw. Keilosteotomielinien am Knochentransplantat definieren (mit roten Pfeilen gekennzeichnet). Auch hier sind bereits Vorgaben für die Bohrlöcher (grüne Pfeile) zur korrekten Positionierung und Fixierung des Knochentransplantates an der Platte gegeben. (Patientenfall am Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2014).

Arbeitsschritte zur Unterkieferrekonstruktion nach der PSMP-Methode

Zunächst erfolgt die virtuelle Planung der Operation nach CT-Datenübertragung im Rahmen einer Internet-Online-Planungskonferenz („web-meeting“) mit einem Ingenieur der Firma Materialise® (Leuven, Belgien). Hierbei werden vom Chirurgen in einem ersten Schritt die Resektionsgrenzen am Unterkiefer festgelegt, welche vom Ingenieur in der Software ProPlan CMF online umgesetzt werden. In einem nächsten Schritt wird die gewünschte Ausdehnung der individuellen Rekonstruktionsplatte als auch die gewünschte Plattenstärke, Anzahl, Position und Angulation der Schraubenlöcher durch den Chirurgen geplant (Abbildung 4, Bild 1 und 2). Ist eine primäre mikrovaskuläre Rekonstruktion vorgesehen, so kann ein zusätzlicher CT-Datensatz der gewählten Transplantat-Entnahmeregion (Scapula, Fibula, Beckenkann) durchgeführt und übertragen werden. Ist das Ausmaß der Resektion bekannt, so kann der zu transplantierende Knochen in seiner benötigten Größe und späteren Form

ebenfalls virtuell gestaltet werden. Das spätere Plattendesign richtet sich somit bereits nach der Formgebung des Knochentransplantates.

Basierend auf dieser Planung wird durch einen Ingenieur der Firma DePuySynthes® die patientenspezifische Rekonstruktionsplatte virtuell entworfen und im Anschluss, nach Freigabe des graphischen Planungsmodells durch den Chirurgen, aus einem U-förmigen Titanrohling gefräst.

Nach Abschluss der definitiven Plattengestaltung werden erneut durch einen Ingenieur der Firma Materialise® (Belgien) die erwähnten „Surgical-Guides“ mittels CAD/CAM-Verfahren gestaltet und gefertigt. Im Falle einer knöchernen Rekonstruktion müssen diese auch für das Knochentransplantat entsprechend hergestellt werden [69].

Die Platte als auch die „Surgical-Guides“ werden dann an den Operateur zusammen mit den Planungsdetails versandt.

Das operative Vorgehen unterscheidet sich von der Standardmethode insofern, dass nach extraoraler Darstellung der Mandibula direkt die Unterkieferteilresektion mit Hilfe der kombinierten „Cutting- and Drill-Guides“ durchgeführt werden kann. Hierbei werden die Kunststoffschablonen mit Fixierungsschrauben an einer exakt durch die anatomische Struktur des Unterkiefers definierten Position mit temporär inserierten Hilfsschrauben befestigt. Dann kann die Unterkieferteilresektion analog den Vorgaben der Cutting-Guides erfolgen. In den Schablonen sind gleichzeitig Zylinder für das Einführen der normierten Bohrhülsen des DePuySynthes Matrix Mandible Recon Systems integriert. Über diese werden im selben Arbeitsschritt die Löcher für die später einzubringende Osteosyntheseplatte in entsprechendem Durchmesser gebohrt. Über diese Bohrlöcher ist bereits jetzt die Position der Platte analog der virtuellen Planung definiert, ohne dass diese angepasst oder im Vorfeld eingebracht werden muss (Abbildung 4, Bild 3).

Im Anschluss an die Resektion wird die patientenspezifische Platte mit den im Protokoll bestimmten Schrauben in einem einzigen Arbeitsschritt bikortikal an die verbliebenen Unterkieferstümpfe angeschraubt. Die rein alloplastische Unterkieferrekonstruktion ist damit bereits abgeschlossen (Abbildung 4, Bild 4 und Bild 5).

Im Falle einer primären knöchernen Rekonstruktion wird in der Regel durch ein zweites OP-Team simultan zur Unterkieferteilresektion der zu entnehmende Knochen präpariert, und nach Darstellung der versorgenden Gefäße und Einbringen der „Graft-Harvest-Guides“ die Osteotomie zur Entnahme des Transplantates durchgeführt. Zur Formgestaltung sind hier ebenfalls Osteotomieschablonen eingearbeitet, über welche die inkompletten Keilosteotomien durchgeführt werden können. Auch in die Osteotomieschablonen sind Zylinder zum Vorbohren der Löcher analog der virtuellen Planung integriert um die Fixierung des Transplantates an der Rekonstruktionslatte entsprechend der Planung umzusetzen (Abbildung 5, Bild 3 und 4). Hierdurch kann letztlich noch vor Absetzten des Gefäßstieles das Knochentransplantat in seiner endgültigen Form bereits an die Osteosyntheseplatte fixiert werden (Abbildung 5, Bild 6). Der Verbund aus Knochentransplantat und Platte kann anschließend passgenau an die verbliebenen Unterkieferstümpfe über die bereits vorgebohrten Löcher mit entsprechend definierten Schraubenlängen sicher fixiert werden. Nach Anastomosennaht des Gefäßstieles und Einnaht des Gewebetransplantates ist, abgesehen vom Wundverschluss, die Unterkieferrekonstruktion praktisch abgeschlossen.

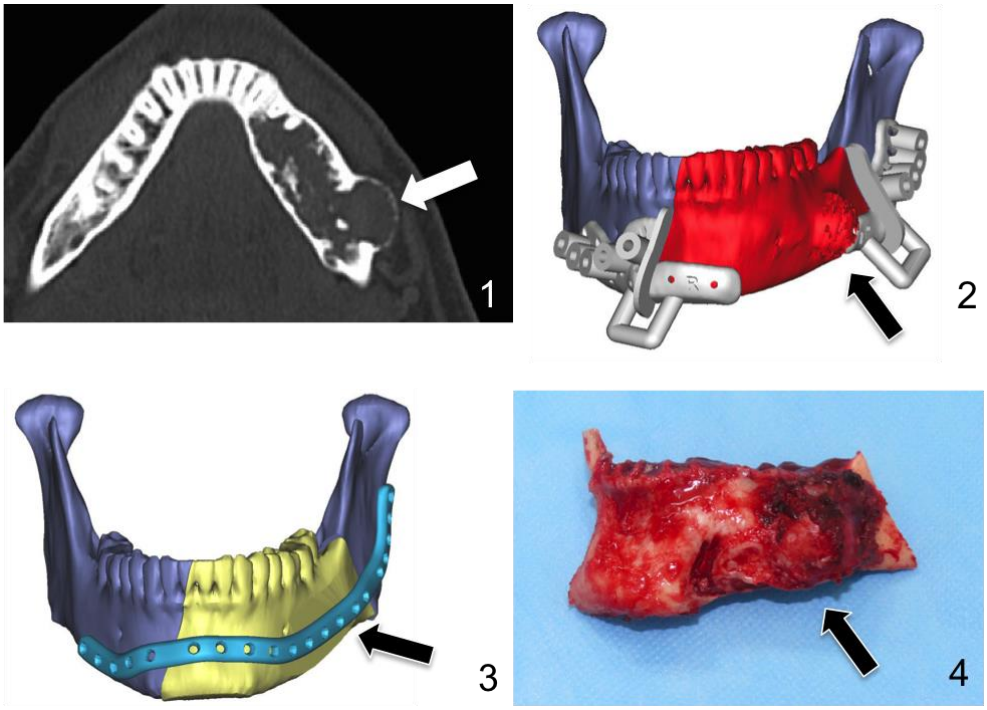


Abbildung 3: Unterkieferrekonstruktion bei formverändernden pathologischen Prozessen der Mandibula, hier am Beispiel eines Ameloblastoms (Patientenfall am Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2013). Der hier gezeigte Fall macht deutlich, dass ein intraoperatives Anbiegen nach der Standardmethode nicht mehr möglich ist. Der Pfeil deutet auf den nach vestibulär die Außenkortikalis der Mandibula auftreibenden Prozess hin. Bild 1 zeigt hierbei den präoperativen CT-Befund des Unterkiefers im Axialschnitt. Bild 2 zeigt die Ausgangsplanung mit bereits angebrachten Resektionsschablonen. Hier ist in der 3D-Rekonstruktion deutlich der Knochentumor zu erkennen. In Bild 3 wurde dieser virtuell abgetragen, um die Platte an die verbleibenden Unterkieferstrukturen harmonisch anpassen zu können. Bild 4 zeigt das endgültig resezierte Knochenpräparat, welches in Form und Größe exakt dem virtuell geplanten Fall entspricht.

Abdruck der Abbildung 3 – Bild 2 mit freundlicher Genehmigung des Springer Verlages aus: Mascha, F., Pietzka, S., Schramm, A. et al. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, 10: 1-312 (2015) (DOI: 10.1007/s11548-015-1213-2);
Figure altered minimally; With permission of Springer;

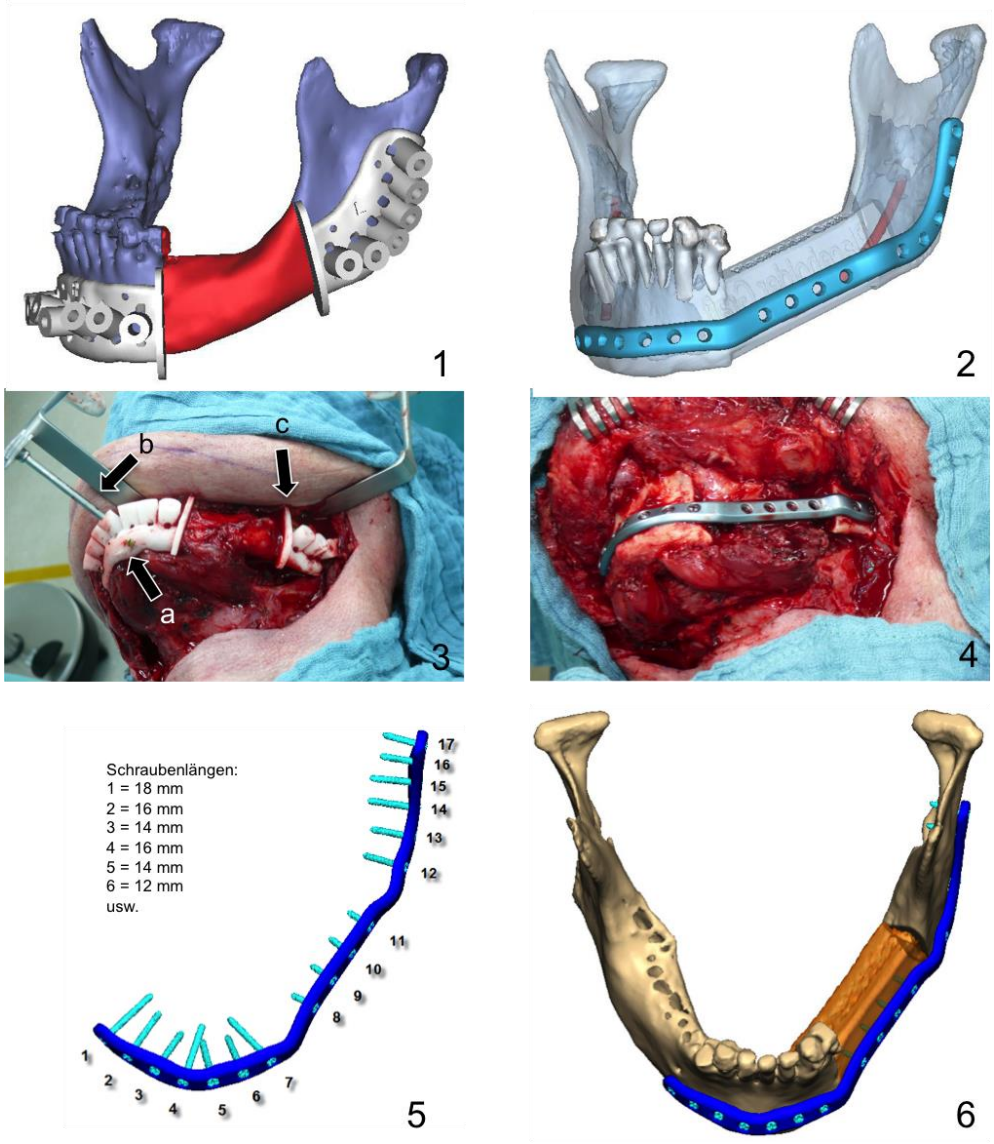


Abbildung 4: Unterkieferrekonstruktion nach der PSMP-Methode. PSMP steht hierbei für die Rekonstruktion mit der **P**atienten-**S**pezifischen-**M**andibula-**P**latte. Bild 1 und 2 zeigen die durch den Chirurgen in einer ersten Planung festgelegte Plattenausdehnung nach Bestimmung des Resektionsausmaßes. Hier wird bereits eine mögliche knöcherne Rekonstruktion beispielsweise mit einem freien Beckenkammtransplantat mit berücksichtigt. Die Platte erhält hierbei Schraubenlöcher zur Fixierung des Transplantates, außerdem wird sie im Resektionsbereich etwas nach medial versetzt, um den Knochen für eine spätere Implantataufnahme anatomisch korrekt zu positionieren. Bild 1 zeigt das finale Design der Cutting- and Drilling-Guides. Bild 3 und 4 zeigen dann die tatsächliche Rekonstruktionsplatte und die Schablonen am intraoperativen Situs. Zunächst werden dann wie in Bild 3 dargestellt die Operationsschablonen in der korrekten Position mit Behelfsschrauben (Pfeil a) fixiert. Dann werden bereits die Bohrlöcher für die spätere Plattenfixierung über die Bohrschablone angelegt (Pfeil b). Nun erfolgt die Unterkieferteilresektion entlang der Vorgaben der Schablone (Pfeil c). Abschließend wird die Platte wie in Bild 4 gezeigt angeschraubt. Dazu gibt ein Protokoll wie in Bild 5 gezeigt die entsprechenden Schraubenlängen vor. Bild 6 gibt einen virtuellen Ausblick, wie die Situation nach sekundärer freier knöcherner Rekonstruktion zur weiteren Implantatversorgung aussehen könnte. (Patientenfall am Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2014).

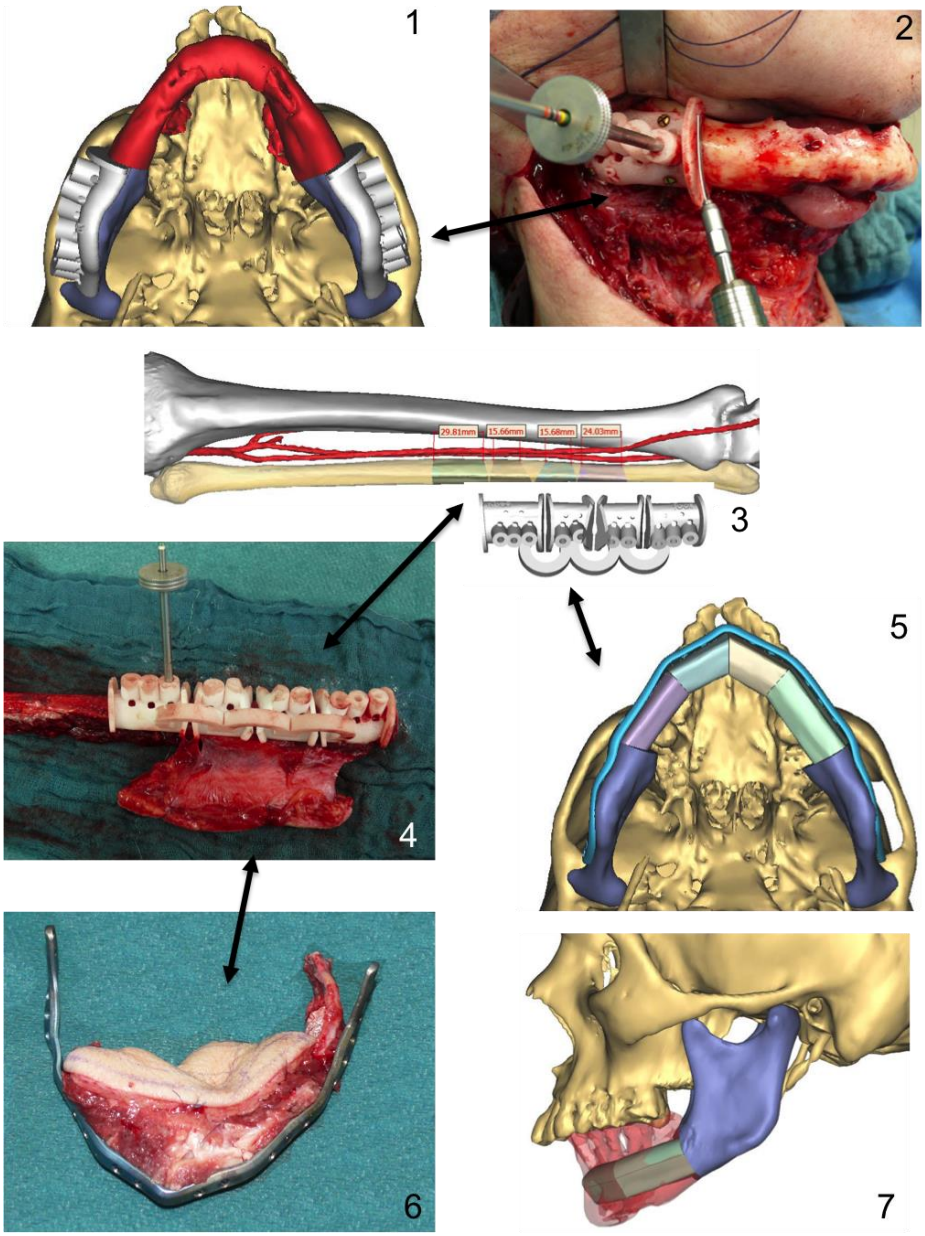


Abbildung 5: PSMP-Methode zur Unterkieferrekonstruktion mit Fibulatransplantat. PSMP steht hierbei für die Rekonstruktion mit der **P**atienten-**S**pezifischen-**M**andibula-**P**latte. Bild 1 zeigt die Ausgangsplanung mit Markierung des zu resezierenden Unterkieferanteils (rot) und den entsprechenden „Surgical-Guides“. Bild 2 zeigt bereits den intraoperativen Situs mit eingebrachter Operationsschablone, angelegter oszillierender Säge sowie in die Zylinder eingesteckte Bohrhülse. Bild 3 zeigt die Planung der Fibulasegmente aus denen dann wie in Bild 5 gezeigt die Neomandibula entstehen soll. Hierzu wird nach abgeschlossener Planung ebenfalls ein „Graf-Harvest-Guide“ entworfen. Bild 4 zeigt das tatsächlich entnommene Fibulatransplantat mit aufgebrachter Schablone und Bohrhülse. Hier können bereits die Bohrlöcher für die spätere Fixierung an der Rekonstruktionsplatte eingebracht werden. Bild 6 zeigt dann das vollständig an der Osteosyntheseplatte fixiert Transplantat. Dies kann nun passgenau über die vorgebohrten Löcher an den verbliebenen Unterkieferstümpfen fixiert werden. Bild 7 gibt durch Überlagerung der prä- und postoperativen Planung einen Eindruck, wie gezielt das Transplantat an die anatomischen Vorgaben in Hinblick auf eine spätere dentale Rehabilitation eingepasst werden kann. (Patientenfall am Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2014).

Abdruck der Abbildung 5 mit freundlicher Genehmigung des Springer Verlages aus: Wilde, F., Hanken, H., Probst, F. et al. Int J CARS (2015) 10: 2035. (DOI:10.1007/s11548-015-1193-2);
Figure altered minimally; With permission of Springer;

1.3. Fragestellung der Arbeit

Ziel dieser Studie war es, die Exaktheit der Unterkieferrekonstruktion mit patientenspezifischen Mandibulaplatten (PSMP) zu untersuchen und mit der Standardmethode als Kontrollgruppe zu vergleichen. Zusätzlich sollten Ursachen für mögliche postoperative Rekonstruktionsungenauigkeiten analysiert werden.

Hierzu wurden Patienten mit rein alloplastischer Unterkieferrekonstruktion und Patienten mit primär mikrovaskulär-knöcherner Unterkieferrekonstruktion mit der Fragestellung untersucht:

1. *Ist die Rekonstruktion des Unterkiefers mit der PSMP-Methode genauer als mit der Standardmethode?*

In einem weiteren Schritt wurden nur die rein alloplastischen Rekonstruktionen in beiden Gruppen miteinander verglichen, um den Unterschied dieser beiden Methoden isoliert herauszuarbeiten. Hier sollte die Frage geklärt werden:

2. *Ist die rein alloplastische Rekonstruktion des Unterkiefers mit der PSMP-Methode genauer als mit der Standardmethode?*

Nach Bestimmung der Rekonstruktionsgenauigkeit sollten mögliche Gründe für etwaig auftretende Rekonstruktionsfehler anhand der Datenlage analysiert werden. Hierzu sollten konkret folgende Fragen geklärt werden:

3. *Hat das Ausmaß der Unterkieferteilresektion sowohl bei der Standardmethode als auch bei der PSMP-Methode einen Einfluss auf das Rekonstruktionsergebnis?*
4. *Ist die Rekonstruktionsgenauigkeit der PSMP-Methode abhängig davon, ob eine rein alloplastische oder eine primär mikrovaskulär-knöcherne Rekonstruktion durchgeführt wurde?*
5. *Beeinflusst die anatomische Position der Operationsschablonen die Rekonstruktionsgenauigkeit?*

2. Material und Methoden

Die Studie wurde von der Ethikkommission der Universität Ulm genehmigt (64/10 - UBB/se) und befolgt die Deklaration von Helsinki. Die Patienten der PSMP-Gruppe willigten bereits nach ausführlicher Aufklärung im Vorfeld der Operation schriftlich zur Teilnahme an der Studie ein. Die Standardmethode wurde hier ausschließlich retrospektiv untersucht.

2.1. Einschlusskriterien der Studie

In die Studie wurden alle Patienten eingeschlossen, die im Zeitraum von März 2004 bis Januar 2015 am Bundeswehrkrankenhaus Ulm eine Unterkieferrekonstruktion erhielten. Hierbei wurden sowohl rein alloplastische Rekonstruktionen als auch primär knöcherne Rekonstruktion eingeschlossen. Im Falle der knöchernen Rekonstruktion wurden sowohl freie als auch mikrovaskuläre Transplantate einbezogen. Die Fälle mussten entweder der Standardmethode mit intraoperativem Konfektionieren der Platte entsprechend operiert, oder nach der neuen zu untersuchenden PSMP-Methode rekonstruiert worden sein. Berücksichtigt wurden auch Fälle, bei denen es sich um eine sekundäre Rekonstruktion bei einem bereits voroperierten Unterkiefer handelte.

Sämtliche Erkrankungen, welche zur Indikationsstellung einer kontinuitätsunterbrechenden Unterkieferteilresektion bzw. Unterkiefer-rekonstruktion nach Teilresektion führten, wurden eingeschlossen. Die Operationen wurden von insgesamt vier erfahrenen Fachärzten für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie durchgeführt, die Zuteilung der Patienten war aufgrund des retrospektiven Studiencharakters ungleichmäßig.

Auswahl der CT-Datensätze

Einschlusskriterium war das Vorhandensein von mindestens einem prä- und einem postoperativen CT-Datensatz der gesamten Mandibula mit einer Mindestschichtstärke von 3mm. Als präoperativer Datensatz wurde in der Standardmethode-Gruppe stets das CT verwendet, welches den aktuellen Zustand vor der Unterkieferteilresektion am genauesten wiedergab. In der PSMP-

Gruppe wurde das präoperative CT verwendet, welches die Grundlage für die virtuelle Operationsplanung war. Dies galt ebenso für die sekundär rekonstruierten Fälle. In der Regel war dies das native Ausgangs-CT vor der ersten Unterkieferteilresektion, da hier die anatomisch korrekte Position der Rami mandibulae und der Kondylen wiedergegeben wurde. Als postoperativer Datensatz wurde immer das erste postoperative CT nach der Unterkieferteilresektion verwendet insofern dies den o.g. Kriterien entsprach.

Zur Auswertung musste mindestens ein korrespondierendes Streckenpaar wie in Kapitel 2.4 beschrieben entsprechend den vorgegebenen anatomischen Landmarken eindeutig zu vermessen sein.

Die CT-Aufnahmen, welche nach dem Jahr 2007 erstellt wurden, wurden entweder mit einem „Siemens Somatom Definition“ 64-Zeiler Dual Source CT (natives CT) oder mit einem „Siemens Biograph mCT“ 128 Zeiler PET-CT durchgeführt. Die Aufnahmen vor 2007 wurden mit einem „Siemens Somatom 4 Plus“ 40-Zeiler angefertigt, welcher ebenfalls Schichtdicken von 1 Millimeter abbilden konnte. Das letztgenannte Gerät kam folglich nur in der ST-Gruppe zum Einsatz.

Verwendete Plattensysteme

In der Standardmethode-Gruppe wurden von den insgesamt 24 Fällen 15 Fälle mit dem Osteosynthesesystem „Synthes Compact 2.4 UniLOCK (2,4mm)“ rekonstruiert, weitere 9 Fälle wurden mit dem Osteosynthesesystem „Synthes CMF MatrixMANDIBLE Plating (2,5mm)“ versorgt. In der PSMP-Gruppe wurden alle 18 Fälle ausschließlich mit dem „DePuySynthes Trumatch® CMF Patient Specific Plates for Mandible (2,5mm)“ Osteosynthesesystem versorgt. Eine weitere Unterscheidung bei der Auswertung getrennt nach Plattensystemen innerhalb der Standardmethode-Gruppe fand nicht statt, da dies nicht Fragestellung der vorliegenden Arbeit war und zudem bereits in einer anderen Arbeit zu diesem Thema in vitro untersucht, und für die Rekonstruktionsgenauigkeit als nicht relevant beschrieben wurde [40].

2.2. Tabellarische Datenübersicht der Patientenfälle

Die Daten wurden hinsichtlich Geschlecht, Alter bei Operation, verwendeter Plattentyp, Krankheitsbild welches zur Unterkieferteilresektion führte, Defektausdehnung, Rekonstruktionsmethode, Rekonstruktionsart, prä- und postoperative CT-Schichtstärke tabellarisch aufgeführt und mit der im Folgenden Kapitel beschriebenen Vermessungsmethode analysiert und statistisch ausgewertet. Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über die für die Auswertung zur Verfügung stehenden Daten.

Tabelle 1 : Übersicht der erhobenen Daten zu jedem der insgesamt 42 Patientenfälle. (Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2004 – 2015).

Fall: Fallnummer; **Sex:** Geschlecht: w = weiblich, m = männlich; **Gruppe:** Einteilung nach Rekonstruktionsmethode: ST = Standardmethode, PSMP = PSMP-Methode (**P**atienten-**S**pezifische-**M**andibula-**P**latte); **Plattentyp:** MM: Synthes CMF MatrixMANDIBLE Plating (2,5mm), UL = Synthes Compact 2.4 UniLOCK (2,4mm), PSMP = DePuySynthes Trumatch® CMF (2,5mm); **Erkrankung:** Ursache für die Unterkieferteilresektion: PE-CA = Plattenepithelkarzinom, AZ-CA = Adenoid-Zystisches Karzinom, BRONJ = bisphosphonat-assoziierte Osteonekrose des Kiefers, AMB = Ameloblastom, ORN = Osteoradionekrose, OM = Osteomyelitis; **Defekt:** Defektausdehnung mit S = Symphysendefekt, CM = Corpus mandibulae, AM = Angulus madibulae, RM = Ramus mandibulae; **Methode:** Rekonstruktionsart mit Allopl. = rein alloplastische Rekonstruktion, CI = mikrovaskuläre Crista iliaca, freie-CI = freie Crista iliaca, Fib = Fibulatransplantat, Sca = Scapulatransplantat, (Sek.) = sekundärer Rekonstruktionsfall; **CT:** Bildschichtstärke für die prä- und postoperativen Bilddatensätze in Millimetern;

Fall	Sex	Alter	Gruppe	Plattentyp	Erkrankung	Defekt	Methode	CT
1	m	49	ST	UL	PE-CA	CM-AM-RM	Allopl.	1mm / 2mm
2	w	60	ST	UL	PE-CA	CM-S-S-CM	Fib.	3mm / 3mm
3	m	65	ST	UL	PE-CA	CM-AM	Allopl.	3mm / 3mm
4	w	76	ST	UL	AZ-CA	AM-CM	Allopl.	3mm / 3mm
5	m	59	ST	UL	PE-CA	CM-AM-RM	Allopl.	3mm / 3mm
6	w	71	ST	UL	PE-CA	CM-AM-RM	freies-CI	3mm / 3mm
7	m	58	ST	UL	PE-CA	CM-S-CM	Fib	3mm / 1,25mm
8	m	71	ST	UL	PE-CA	CM-S-S	Allopl.	1mm / 1,25mm
9	m	51	ST	UL	PE-CA	AM-CM	Allopl.	3mm / 0,75mm

Fortsetzung auf der Folgeseite

Fortsetzung der Tabelle 1

Fall	Sex	Alter	Gruppe	Plattentyp	Erkrankung	Defekt	Methode	CT
10	m	47	ST	UL	AZ-CA	CM-S	Allopl.	3mm / 1mm
11	w	29	ST	UL	OM	CM-AM-RM	Allopl.	1mm / 1mm
12	m	51	ST	UL	AZ-CA	S-S-CM	Allopl.	1,25mm / 2mm
13	m	44	ST	UL	ORN	RM-AM-CM	Allopl.	1mm / 3mm
14	w	53	ST	UL	BRONJ	S-CM-AM-RM	Allopl.	1mm / 2mm
15	m	65	ST	UL	ORN	CM-AM	Allopl.	2mm / 3mm
16	w	80	ST	UL	PE-CA	CM-AM	Allopl.	3mm / 2mm
17	w	60	ST	MM	PE-CA	CM-S-S	Allopl.	2mm / 1mm
18	w	55	ST	MM	PE-CA	CM-S-S-CM	Allopl.	3mm / 2mm
19	m	69	ST	MM	PE-CA	RM-AM-CM	Allopl.	3mm / 1,25mm
20	w	78	ST	MM	BRONJ	AM-CM	Allopl.	1mm / 1mm
21	w	75	ST	MM	PE-CA	AM-CM	Allopl.	2mm / 3mm
22	m	59	ST	MM	PE-CA	RM-AM-CM	Allopl.	1mm / 2mm
23	w	75	ST	MM	PE-CA	RM-AM	Allopl.	1mm / 2mm
24	m	54	ST	MM	PE-CA	S-CM	Allopl.	2mm / 3mm
25	m	67	PSMP	PSMP	PE-CA	CM-S	freie-CI (Sek.)	1mm / 1mm
26	m	67	PSMP	PSMP	PE-CA	CM-AM-RM	Allopl.	1mm / 2mm
27	m	79	PSMP	PSMP	ORN	AM-CM-S	Allopl.	1mm / 1mm
28	w	94	PSMP	PSMP	PE-CA	CM	Allopl.	1mm / 1mm
29	m	55	PSMP	PSMP	ORN	AM-CM	Allopl.	1mm / 2mm
30	m	57	PSMP	PSMP	PE-CA	RM-AM-CM	Fib.	2mm / 2mm
31	m	70	PSMP	PSMP	PE-CA	RM-AM-CM	Fib.	2mm / 2mm

Fortsetzung auf der Folgeseite

Fortsetzung der Tabelle 1

Fall	Sex	Alter	Gruppe	Plattentyp	Erkrankung	Defekt	Methode	CT
32	m	53	PSMP	PSMP	ORN	CM	Allopl.	1mm / 2mm
33	m	38	PSMP	PSMP	AMB	S-S-CM	freie-CI	2mm / 1mm
34	w	65	PSMP	PSMP	PE-CA	RM-AM-CM-S	Fib.	1mm / 1mm
35	m	50	PSMP	PSMP	ORN	CM-S-S-CM	Fib.	1,5mm / 1mm
36	m	75	PSMP	PSMP	PE-CA	S-S	CI	1mm / 2mm
37	m	73	PSMP	PSMP	PE-CA	CM	Allopl.	1mm / 2mm
38	m	58	PSMP	PSMP	ORN	RM-AM-CM-S	Fib. (Sek.)	1,5mm / 1mm
39	w	66	PSMP	PSMP	PE-CA	CM-S-S-CM	Sca. (Sek.)	1mm / 2mm
40	m	61	PSMP	PSMP	PE-CA	CM-S-S	Fib.	1mm / 1mm
41	m	56	PSMP	PSMP	ORN	RM-AM-CM	Allopl.	1mm / 2mm
42	w	77	PSMP	PSMP	PE-CA	CM-S	Allopl.	1mm / 2mm

2.3. Erfassung des Defektausmaßes

Zur quantitativen Bestimmung des Ausmaßes der Unterkieferteilresektion wurde der Unterkiefer entsprechend den üblichen anatomischen Regionen in vier zur Medianen symmetrische Abschnitte eingeteilt: Ramus mandibulae (RM), Angulus mandibulae (AM), Corpus mandibulae (CM), Symphysenbereich (S). Die Abschnitte konnten sowohl einzeln als auch in Kombination zusammenhängend auf einer oder beiden Seiten des Unterkiefers reseziert werden. Die angegebene Formel beschreibt den Defekt analog zur Ansicht des Unterkiefers im Panoramaröntgenbild von anatomisch rechts nach links. Eine Unterkieferresektion vom rechten Kieferwinkel bis zur Regio 32 würde dieser Nomenklatur zufolge dann mit AM-CM-S-S bezeichnet werden. Gezählt werden hierbei also 4 Resektionssegmente für diesen Fall.

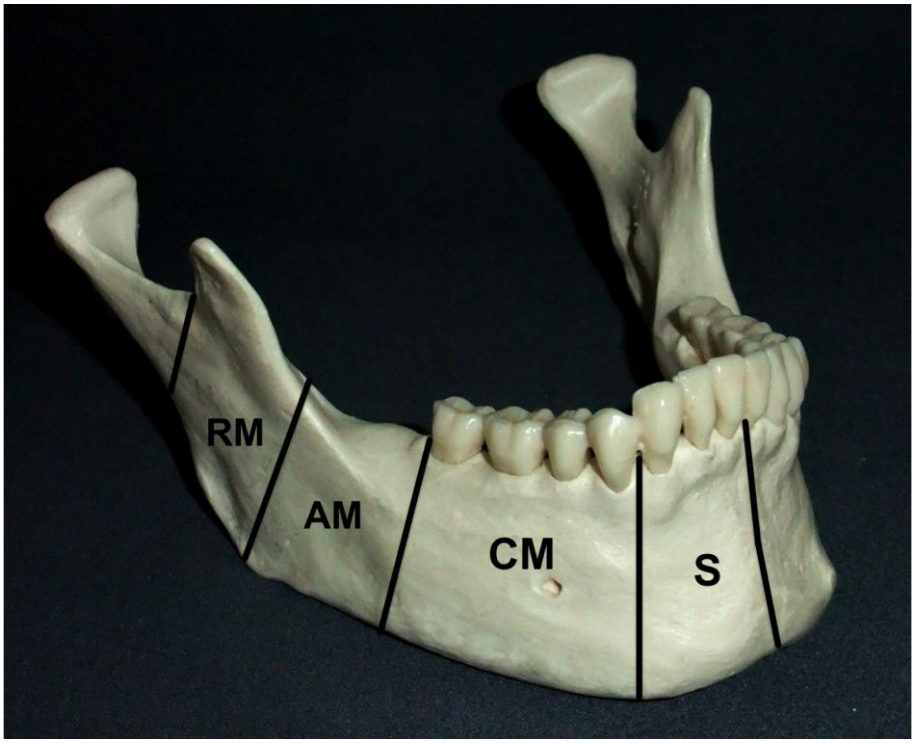


Abbildung 6: Unterkiefermodell mit Markierung der einzelnen anatomischen Abschnitte, die im Rahmen einer Unterkieferteilresektion einzeln oder in Kombination reseziert werden können. S = Symphyse, CM = Corpus mandibulae, AM = Angulus mandibulae, RM = Ramus mandibulae;

2.4. Methode zur Genauigkeitsbestimmung von Unterkieferrekonstruktionen

Die angewandte Methode zur Genauigkeitsbestimmung ist in klinischen Studien durch die Arbeitsgruppe Wilde et al. Bereits mehrfach beschrieben worden [68, 71].

Festlegung der Messpunkte und Messstrecken

Zunächst wurden sechs im CT gut und eindeutig auffindbare anatomische Landmarken, welche als Referenzpunkte für die Vermessung dienen sollten, definiert. Die Punkte wurden allesamt im Bereich des Kieferwinkels und des aufsteigenden Unterkieferastes gewählt, da hier in den meisten Fällen der Mandibulaknochen auch nach der Unterkieferteilresektion als gelenktragender Anteil erhalten blieb. Punkt A wurde als in der Horizontal- und Koronarebene medialster Punkt des Caput mandibulae definiert, Punkt B als lateralster Punkt am

Caput mandibulae in diesen Ebenen. Punkt C wurde als kaudalster Punkt der Incisura mandibulae definiert. Punkt D wurde als Spitze der Lingula mandibulae definiert, Punkt E als die Spitze des Processus coronoideus. Punkt F wurde – ähnlich dem Gonionpunkt in der Kephalometrie - als kaudalster und lateralster Punkt des Kieferwinkels definiert. Beim Vergeben der anatomischen Landmarken wurden die Großbuchstaben A bis F für die rechte Seite und der Großbuchstaben A' bis F' für die linke Seite gewählt.

Die Distanzen zwischen den Landmarken des linken und rechten Unterkiefers A-A', B-B', C-C', D-D', E-E' und F-F' wurden den Messpunkten entsprechend als Distanz A bis F definiert.

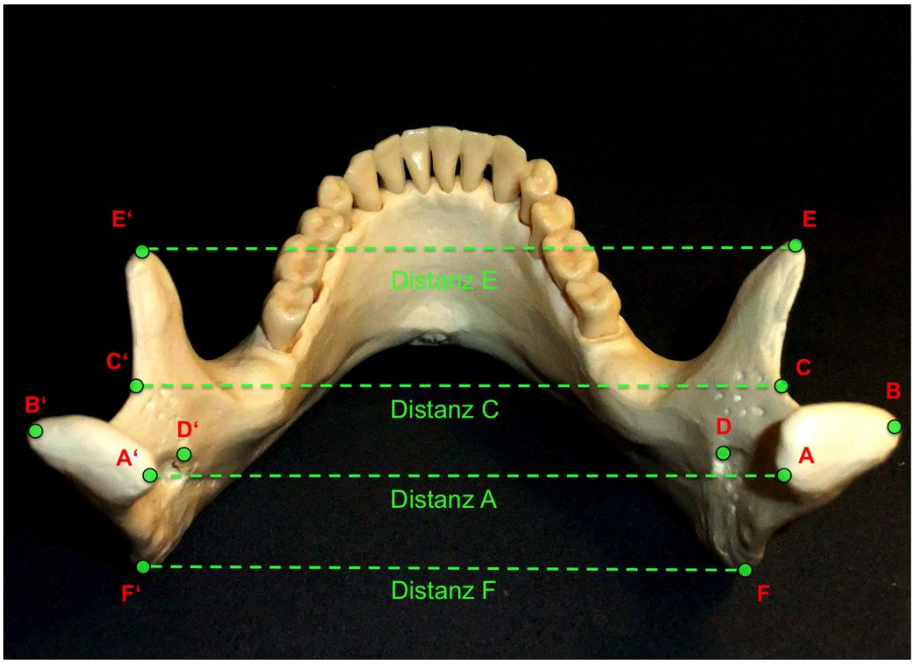


Abbildung 7: Zur Vermessung der Rekonstruktionsgenauigkeit wurden sechs im CT eindeutig erkennbare knöcherne Landmarken der Mandibula definiert. Die rechte Seite wurde hierbei mit Großbuchstaben A bis F, die linke Seite wurde analog mit A' bis F' bezeichnet. Punkt A bzw. A' kennzeichnet den medialsten Punkt des Processus condylaris mandibulae, der Punkt B bzw. B' den lateralsten Punkt des Processus condylaris mandibulae, der Punkt C bzw. C' den tiefsten Punkt der Incisura mandibulae, der Punkt D bzw. D' die Spitze der Lingula mandibulae, der Punkt E bzw. E' die Spitze des Processus coronoideus und der Punkt F bzw. F' den kaudalsten Punkt des Angulus mandibulae. Die gemessenen Distanzen definieren sich über den Abstand der korrespondierenden Punkte in Millimeter. Es gilt: A-A' = Distanz A, B-B' = Distanz B, C-C' = Distanz C, D-D' = Distanz D, E-E' = Distanz E, F-F' = Distanz F; Exemplarisch sind hier die Distanzen A, C, E und F dargestellt.

Vermessung mit iPlan® CMF – Software

Die Vermessung der unter beschriebenen Distanzen erfolgte unter Verwendung des Programmes iPlan® CMF 3.0 (Brainlab, Feldkirchen, Deutschland). Das Programm wurde als Planungssoftware für intraoperative Navigation im Bereich der Mund-, Kiefer und Gesichtschirurgie entwickelt [50] und bietet viele für diesen Zweck geeignete Werkzeuge wie zum Beispiel Autosegmentierung von anatomischen Strukturen, Setzen von Referenzpunkten, Fusionierung mehrerer Bilddatensätze, dreidimensionale Datenrekonstruktion und letztlich auch die Streckenvermessung in mehreren Bildebenen. Die Vermessung der CT-Bilddaten wurde an einem hierfür zugelassenen Röntgenbetrachtungsbildschirm von jeweils der selben Person unter immer gleichen Bedingungen durchgeführt (Barco MDCC-2121, Auflösung: 1600x1200).

Zunächst wurden die axialen Datensätze der prä- und postoperativen Computertomogramme in Knochenfensterdarstellung über eine PACS-Schnittstelle eingelesen und in das softwarespezifische XBrain-Format umgewandelt. Das Programm ermöglicht es, aus dem axialen Datensatz sowohl koronare als auch sagittale Rekonstruktionen zu errechnen und ein dreidimensionales, im Raum frei drehbares Modell des Schädels darzustellen.

Ausrichtung der Datensätze zu den Raumebenen

Zunächst mussten die CT-Datensätze exakt nach einheitlich definierten Vorgaben im Raum innerhalb der Koronar-, Horizontal- und Median-Sagittal-Ebene ausgerichtet werden. Dies ist von Bedeutung, da insgesamt vier Messpunkte in Ihrer Definition die Zusätze „medialster“ (A), „lateralster“ (B) und „kaudalster“ (C und F) tragen. Dies ist nur sinnvoll und möglich, wenn die Lage des Schädels im Raum nach klaren Vorgaben einheitlich definiert ist.

Zunächst erfolgte über die Option „View and Adjustment“ eine Ausrichtung des präoperativen Datensatzes an diesen drei Ebenen. Hierzu zeigt das Programm das CT in den drei genannten Ebenen gleichzeitig in jeweils einem gesonderten Betrachtungsfenster an (multiplanare Ansicht). Zur Ausrichtung kann mit der Option „Align“ der Datensatz im Raum frei bewegt und rotiert werden. Nun erfolgt die Ausrichtung des Datensatzes so, dass in der Horizontalebene die Linie für die

Mediansagittalebene die Spina nasalis anterior und posterior schneidet und zentral durch die Spitze des Dens axis verläuft. In der Koronalebene wird der Datensatz so rotiert, dass die Linie für die Horizontalebene auf beiden Seiten den cranialsten Punkt des knöchernen Porus acusticus externus tangiert. Abschließend wird in der Sagittalebene der Schädel nach der sog. „Frankfurter Horizontalebene“ ausgerichtet. Dazu verläuft die Linie für die Horizontalebene durch die Oberränder des Porus acusticus externus und die tiefsten Punkte der Infraorbitalränder. Nach Ausrichtung des Schädels wurde diese nochmals in allen drei Ebenen kontrolliert, und anschließend gesperrt und damit fixiert. Abbildung 8 zeigt beispielhaft die Ausrichtung eines Schädel-CT an den drei Raumebenen.

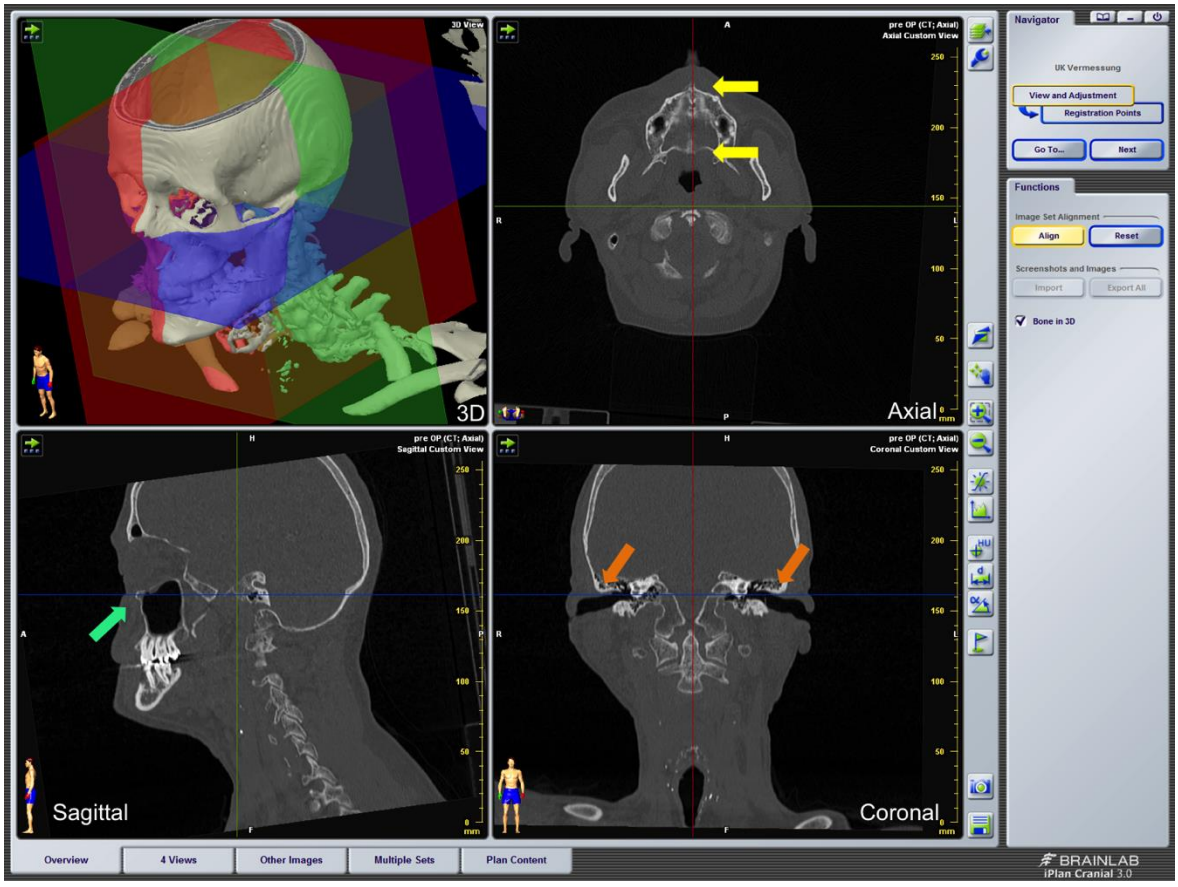


Abbildung 8: Ausrichtung des Schädel-CT in den drei Raumebenen. Links oben im Bild sind die Ebenen in der 3D-Rekonstruktion des Schädels farblich eingezeichnet. Hierbei zeigt Rot die Sagittalebene, Blau die Horizontalebene und Grün die Koronalebene an. Im Bild rechts oben (Horizontalebene) verläuft die rote Linie (Sagittalebene) durch die Spina nasalis anterior und posterior (gelber Pfeil). Im Bild rechts unten (Koronalebene) verläuft die blaue Linie (Horizontaleben) durch den höchsten Punkt des knöchernen Porus acusticus externus (oranger Pfeil). Im Bild links unten (Sagittalebene) verläuft die blaue Linie (Horizontaleben) durch die Frankfurter Horizontalebene welche sich durch den höchsten Punkt des Porus acusticus externus (orangener Pfeil) und den tiefsten Punkt der knöchernen Orbita (grüner Pfeil) definiert. (Patientenfall am Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2014).

Fusionierung der prä- und postoperativen Datensätze

iPlan® CMF 3.0 bietet außerdem die Möglichkeit Datensätze simultan in unterschiedlicher Farbmarkierung darzustellen und diese auch zu fusionieren. Das bedeutet, dass anatomisch exakt gleiche Strukturen erkannt und nur noch als ein Bild sichtbar werden. Abweichungen zwischen den Datensätzen werden hier dann durch farbliche Unterschiede visualisiert. Dies wurde regelhaft durch die Option „Image Fusion“ angewandt, damit beim Vergleich der beiden CT-Bilder (prä- und postoperativ) dieselbe Orientierung in allen drei Raumebenen sichergestellt wurde. Als anatomische Referenzpunkte wird von der Software bei der automatischen Fusion in der Regel die Schädelbasis erkannt. Auch bei der manuellen Nachkorrektur wurde auf diese unveränderbaren Strukturen zurückgegriffen. Der Unterkiefer an sich ist eine im Raum und im Verhältnis zur Schädelbasis beweglicher Knochen, der je nach Ausmaß der Mundöffnung zum Zeitpunkt der Bildgebung unterschiedliche Positionen einnehmen kann. Dies führt unvermeidlich zu kleineren Abweichungen bei der Fusion der Datensätze in diesem Bereich, da eine einheitliche Stellung der Mandibula bei den jeweiligen CT-Aufnahmen nicht gegeben war. Dies muss bei der Auswertung und Interpretation der Bilder bedacht werden. Für die mitabgebildete bewegliche Halswirbelsäule trifft dies in gleicher Weise zu. Abbildung 9 veranschaulich diesen Zusammenhang beispielhaft. Nach Abschluss der Bildfusionierung sind beide Datensätze miteinander Verknüpft und in Ihrem Verhältnis zueinander definiert. Die vorgenommene Ausrichtung an den Raumebenen am präoperativen Datensatz ist hiermit für den postoperativen Datensatz übernommen. Die zu vermessenden Punkte werden demnach immer in einheitlich ausgerichteten Datensätzen bestimmt. Die Distanzen zwischen ihnen sind hierdurch beim prä- und postoperativen Datensatz vergleichbar, auch wenn die Punkte A, B, C und F nur einen relativen Ort in der Abhängigkeit von der Lage des Unterkiefers im Raum darstellen.

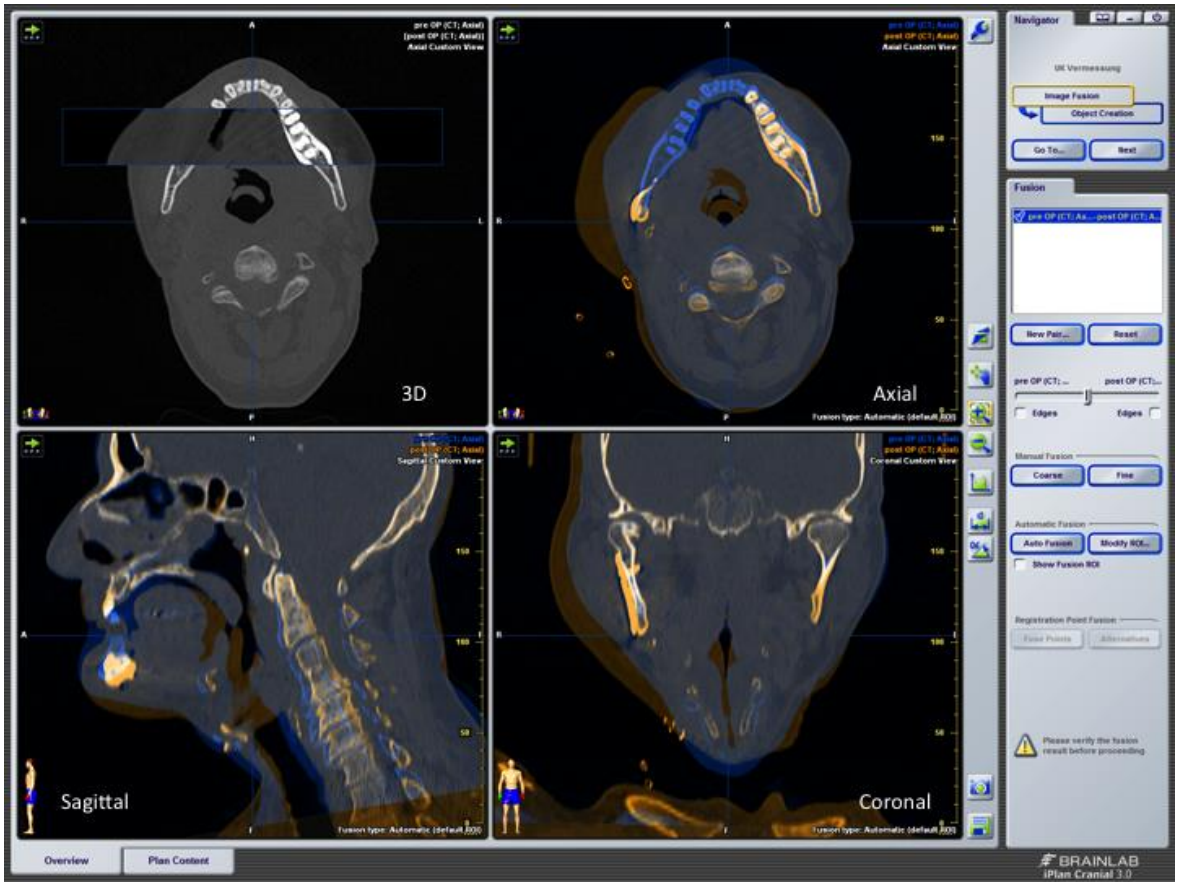


Abbildung 9: „Image Fusion“ im Programm iPlan® CMF. Dargestellt wird eine Bildschirmmomentaufnahme die eine Fusion von einem prä- und postoperativen Datensatz eines Schädel-CT in allen drei Ebenen zeigt (oben Horizontalebene, unten rechts Koronalebene, unten links Sagittalebene). Die weiß abgebildeten Knochenstrukturen sind die bei der Fusion exakt übereinander projizierten Regionen. Der präoperative Datensatz ist blau gekennzeichnet, der postoperative orange. Folglich sind die blau oder orange markierten Regionen unterschiedlich in ihrer räumlichen Lagebeziehung. Bei der Interpretation muss berücksichtigt werden, dass die Mandibula auch ohne Rekonstruktionsfehler in Anhängigkeit von der Mundöffnung zum Zeitpunkt der Bildgebung unterschiedliche Lagen in Bezug zur Schädelbasis einnehmen kann. (Patientenfall am Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2014).

Festlegung der Messpunkte

Über das Setzten von sog. „Labelpoints“ (Markierungspunkte) wurden nun die Messpunkte nach der beschriebenen Definition im CT festgelegt. Dabei handelt es sich um farblich unterschiedlich markierte Punkte, die in allen drei Bildebenen gleichzeitig angezeigt werden, unabhängig davon in welcher Ebene der Punkt gesetzt wurde. Scrollt man durch den Datensatz und gelangt in die Nähe eines solchen Labelpoints, erscheint dieser als Punkt. Befindet man sich schließlich genau in der Schnittebene, in der der Labelpoint gesetzt wurde, so erscheint er als Fadenkreuz. Diese Punkte wurden nach der vorgegebenen Definition sowohl am präoperativen CT als auch am postoperativen CT festgelegt. Die Punkte wurden

zur besseren Unterscheidung mit A bis F bzw. A’ bis F’ und in unterschiedlichen Farben gekennzeichnet. Beim Festlegen des jeweiligen Punktes wurde im Programmpunkt „Overview“ die Bildeinstellung so vorgenommen, dass jede Raumebene als auch die 3D-Rekonstruktion gleichzeitig zu sehen war. Das Bild wurde soweit vergrößert, dass der zu vergebene Messpunkt alleinig und zentral im entsprechenden Fenster lag. Zur besseren Orientierung wurde gerade im Hinblick auf Punkt A und B die Axialebene gewählt und zur Bestimmung des medialsten (A) und lateralsten (B) Punktes die Linie der Sagittalebene als Referenzlinie genutzt. Die Punkte D und E wurden ebenfalls in der Axialebene jeweils exakt auf die Knochenspitze in dem Schnittbild, welches die jeweilige Struktur noch zuletzt beinhaltete, festgelegt. Der Punkt C wurde auch in der Axialebene festgelegt und in der Sagittalebene als auch in der 3D-Rekonstruktion als wirklich tiefster Punkt der Incisura mandibulae verifiziert. Der Punkt C im postoperativen Bild stellt hierbei einen Sonderfall dar. Da definitionsgemäß Punkt C der tiefste Punkt der Incisura mandibulae ist, setzt dies eigentlich voraus, dass die gesamte Incisura hierfür zur Beurteilung vorliegen muss. Da häufig der Processus coronoideus mitreseziert wurde und somit auch Teile der Incisura mandibulae fehlten, war dies nicht immer gegeben. Um dennoch einen Messpunkt definieren zu können wurde der im präoperativen CT angelegte Referenzpunkt $C_{präOP}$ auf das postoperative CT projiziert. Lag dieser in der Frontalebene nur eine CT-Schichtdicke dorsal des knöchernen Resektionsrandes der Incisura mandibulae, wurde der tiefste Punkt C_{postOP} als reseziert definiert und die Messung wurde hier nicht durchgeführt. Abschließend wurde der Punkt F in der Frontalebene als tiefster Punkt im Bereich des Kieferwinkels festgelegt. Auch hier erfolgte eine Verifizierung mit Hilfe der 3D-Rekonstruktion. Abbildung 10 zeigt exemplarisch die Vergabe der Punkte A bis F im tatsächlichen CT-Bild als Bildschirmmomentaufnahme.

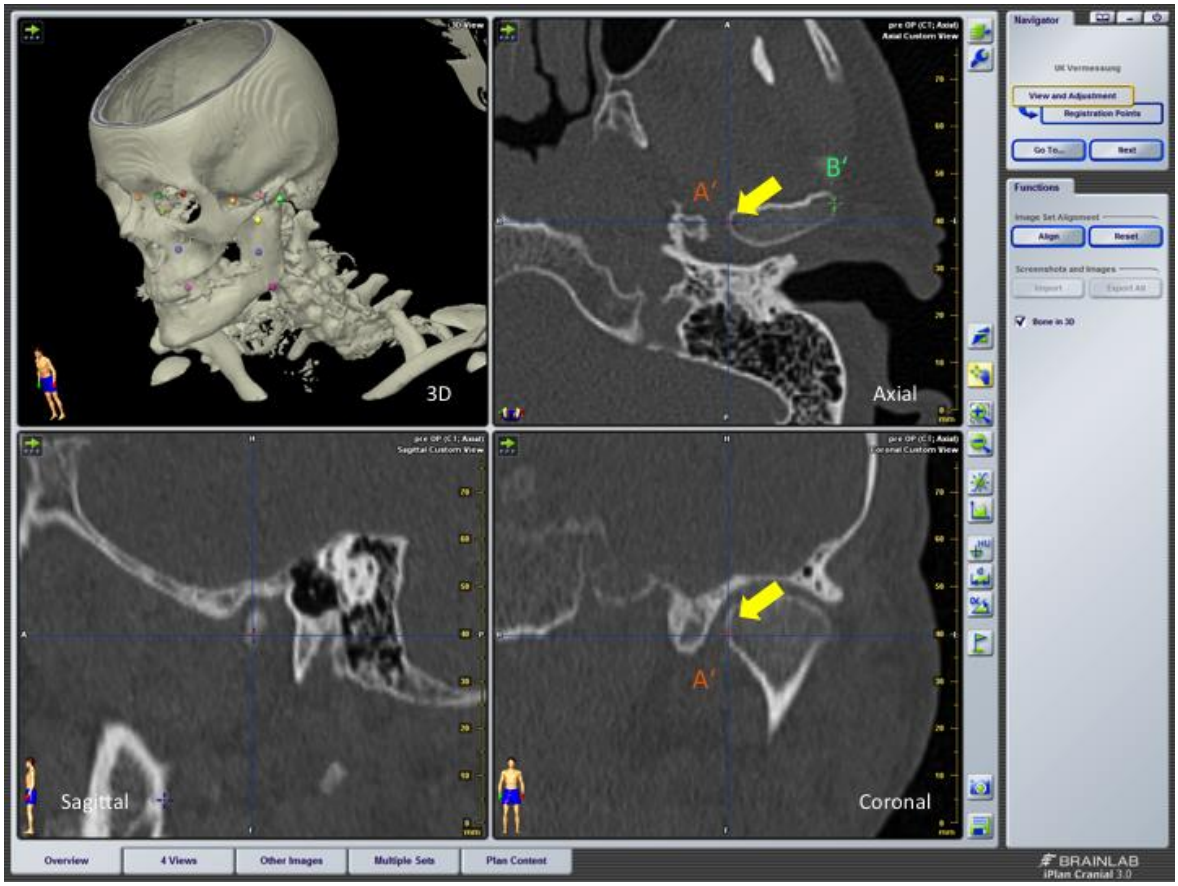


Abbildung 10: Festlegung der jeweiligen Messpunkte A bis F. Es handelt sich hier exemplarisch um die anatomisch linke Seite des Unterkiefers. Gezeigt wird das Caput mandibulae mit den bereits festgelegten Messpunkten A' und B'. Abgebildet werden hierbei immer alle drei CT-Schichtebenen um die Punkte exakt und reproduzierbar zu vergeben. Punkt A' liegt hierbei direkt im Schnittpunkt der drei Ebenen (gelber Pfeil). Somit kann kontrolliert werden ob der Definition folgend auch tatsächlich der medialste Punkt am Gelenkkopf ausgewählt wurde. (Patientenfall am Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2014).

Vermessung der Distanzen zwischen den Messpunkten

Um schließlich die Distanzen zwischen den einzelnen Messpunkten in den prä- und postoperativen Bildern zu bestimmen wurde mittels der Messfunktion im Programm der Abstand in Millimetern bestimmt. Hierzu wurde mit einem virtuellen Fadenkreuz manuell mittels PC-Maus der entsprechende Referenzpunkt ausgewählt, an dem die Messung beginnen soll. Anschließend wurde der Endpunkt bestimmt. Das Programm errechnet automatisch die Distanz zwischen den Punkten. Bei der Vermessung wurde stets die Bildschicht aufgesucht, in der der „Labelpoint" als Fadenkreuz gesetzt wurde (also die Schicht, in der der Punkt auch gesetzt wurde). Dies birgt den Vorteil, dass die tatsächliche knöcherne Struktur nicht durch einen Farbpunkt zentral überdeckt ist. Ein großer Vorteil bei der Verwendung von iPlan® CMF ist die Tatsache, dass bei der Messung

zwischen Anfangs- und Endpunkt die jeweilige CT-Schicht verändert werden kann. Die Messung kann außerdem auch zwischen zwei Punkten stattfinden, die in unterschiedlichen Betrachtungsebenen liegen. Die Distanzen A, B, C, D und E wurden auf diese Weise allesamt in der Horizontalebene vermessen. Die Distanz F wurde dagegen in der Frontalebenenansicht vermessen. Wurden Messpunkte bei der Unterkieferteilresektion reseziert, wurde die Messung nicht vorgenommen.

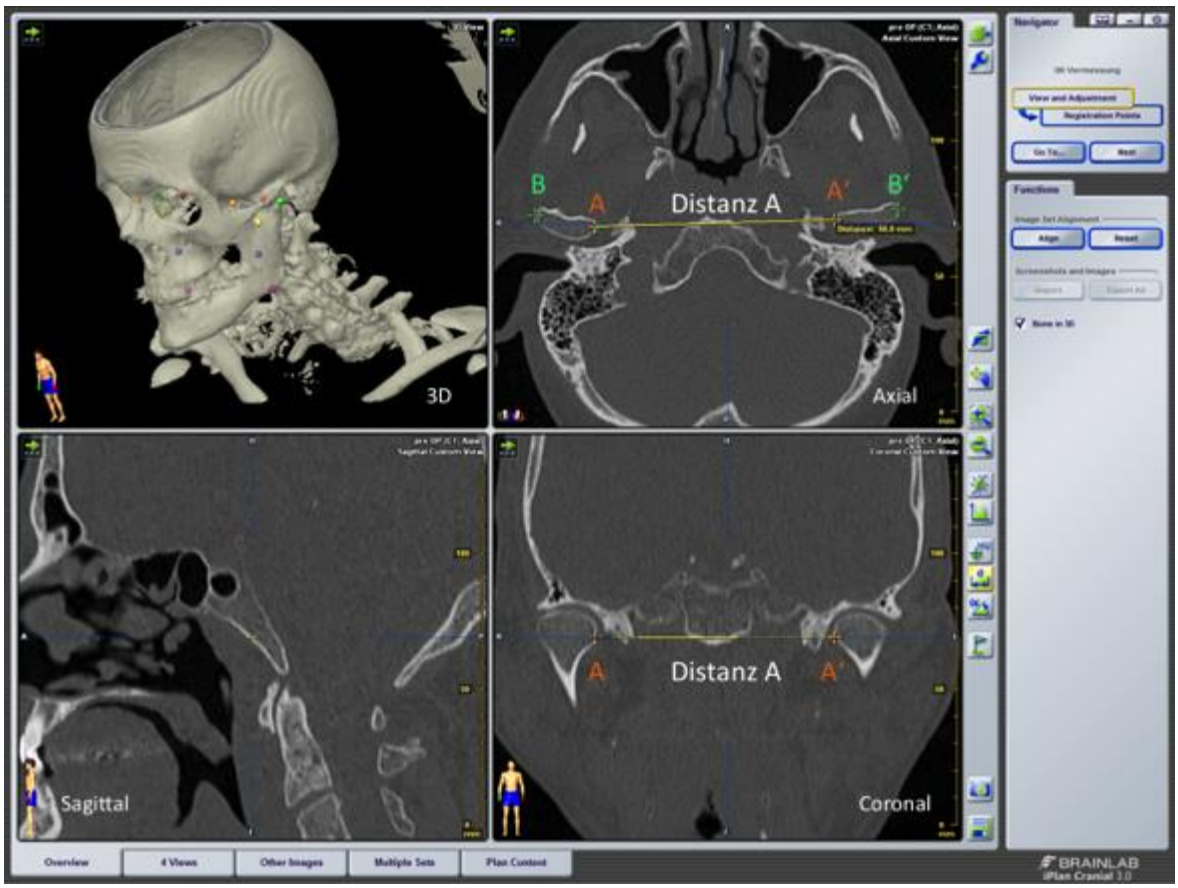


Abbildung 11: Vermessung der Distanzen A bis F zwischen den einzelnen Referenzpunkten. Bildschirmmomentaufnahme bei der Vermessung der Distanz A. Die vorher festgelegten Punkte A und A' wurden in der Horizontalebene so aufgesucht, dass sie nur als Fadenkreuz markiert erscheinen. Die Distanzmessung wurde zwischen den Punkten durch manuelles Anklicken der knöchernen Struktur auf der linken und rechten Seite durchgeführt. Die Strecke kann direkt in Millimetern abgelesen werden. (Patientenfall am Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2014).

2.5. Berechnung der Rekonstruktionsgenauigkeit

Die Vermessung der einzelnen Distanzen wurde für alle Untersuchungsfälle nach der beschriebenen Methode durchgeführt. Da in jeder Messung die einzelnen Referenzpunkte manuell (mittels PC-Maus und Fadenkreuz) und nur mit visueller Kontrolle an einem Bildschirm mit begrenzter Bildauflösung und begrenzter Vergrößerung angeklickt wurden, ergeben sich zwangsläufig bei wiederholter Messung unterschiedliche Werte für jede Einzelmessung. Um diesen zufälligen Messfehler bei der manuellen Bestimmung der einzelnen Punkte möglichst gering zu halten, wurde jede Distanzmessung jeweils dreimal durchgeführt und aus diesen drei Werten der Mittelwert gebildet. Daraus resultierten für jeden Fall sechs Distanzwerte aus dem präoperativen CT (Distanz $_{präOP}$) und je nach Resektionsausmaß bis zu sechs Distanzwerte aus dem postoperativen CT (Distanz $_{postOP}$). Aus den korrespondierenden Distanzpaaren wurde abschließend die Differenz (Distanzdifferenz) gebildet. Dies wurde für jede bestimmbare Distanz je Patientenfall durchgeführt. Die Fälle wurden dann je nach durchgeführter Operationsmethode den benannten Fallgruppen Standardmethode und PSMP-Methode zugeordnet.

Die Messwerte wurden einmal mit Vorzeichen (Vorzeichenwert / ± Wert) und einmal ohne Berücksichtigung des Vorzeichens (Absolutwert = Betrag des Vorzeichenwertes / + Wert) notiert.

Hierbei gilt:

$$\textbf{Absolutwert X} = \left| \textbf{Distanz X}_{\textbf{postOP}} - \textbf{Distanz X}_{\textbf{präOP}} \right|$$

$$\textbf{Vorzeichenwert X} = \textbf{Distanz X}_{\textbf{postOP}} - \textbf{Distanz X}_{\textbf{präOP}}$$

Der Vorzeichenwert kann somit je nach Formveränderung des postoperativen Unterkiefers positive als auch negative Werte annehmen. Der Absolutwert ist hierbei der Betrag des Vorzeichenwertes und trägt kein Vorzeichen. Letztlich konnte je Einzelfall ein Mittelwert aus den Distanzdifferenzen A bis F für den Absolut- und den Vorzeichenwert gebildet werden. Innerhalb einer Fallgruppe wurde außerdem für jede Distanzdifferenz A bis F ein Median des Absolut- und Vorzeichenwertes für die Fallgruppe errechnet. Für die gesamte Fallgruppe konnte

abschließend der Median des Absolut- und Vorzeichenwertes aus allen gemessenen Distanzdifferenzen einer Gruppe gebildet werden. Der letztgenannte Absolutwert der gesamten Fallgruppe wurde dann als Maß für die Rekonstruktionsgenauigkeit gewertet. Je größer dieser Wert, desto ungenauer die Rekonstruktion im Vergleich zur präoperativen Ausgangslage. Die Messwerte wurden in Excel-Tabellen verwaltet und berechnet. Die weitere statistische Auswertung erfolgte unter Verwendung von SPSS für Windows. Abbildung 12 gibt einen schematischen Überblick über die Berechnung der verwendeten Werte.

Interpretation der Absolutwerte

Der Absolutwert ohne Vorzeichen steht hierbei für die absolute Rekonstruktionsgenauigkeit, da hierbei postuliert wird, dass jede Abweichung von „Null“ als Rekonstruktionsungenauigkeit zu werten ist. Je größer der Absolutwert desto ungenauer die Rekonstruktion. Welches Vorzeichen der Wert trägt, also ob es postoperativ zu einer Verbreiterung oder Verschmälerung des Unterkiefers gekommen ist, wird hierbei nicht berücksichtigt und ist bei der Fragestellung nach der Genauigkeit auch irrelevant. Der Mittelwert aus allen sechs Distanzen eines Falles zeigt hierbei ein Maß für die Rekonstruktionsgenauigkeit des einzelnen Falles an. Der Medianwert der einzelnen Distanzen A bis F oder der Medianwert aus allen Distanzmessungen der jeweiligen Untersuchungsgruppe (z.B. Standardmethode oder PSMP-Methode) geben das Maß der Rekonstruktionsgenauigkeit für diese Gruppe an.

Interpretation der Vorzeichenwerte

Die Betrachtung der Vorzeichenwerte lässt eine Aussage treffen, ob sich die gemessene Distanz zwischen den Landmarken postoperativ vergrößert oder verkleinert und ob sich, nach der Betrachtung aller Distanzen, der gesamte Unterkiefer nach der Rekonstruktion eher verbreitert oder verschmälert. Die resultierende Zahl für den Vorzeichenwert konnte somit „Null“, größer oder kleiner „Null“ sein. Die Zahl „Null“ sagt hierbei aus, dass es im Vergleich postoperativ zu präoperativ zu keiner Veränderung der anatomischen Referenzpunkte in ihrem Verhältnis zueinander gekommen ist. Dies entspricht einer absolut exakten

Rekonstruktion des Unterkiefers insofern dies für alle sechs Referenzpunkte zutrifft. Eine Abweichung von „Null“ in den negativen Bereich lässt hingegen auf eine Verschmälerung des Unterkiefers im Bereich des Ramus mandibulae schließen. Ein positiver Wert zeigt dementsprechend eine Verbreiterung in diesem Bereich an.

Analyse des Rekonstruktionsfehlers

Bei der Betrachtung der Vorzeichenwerte ist außerdem zu berücksichtigen, dass der Mittelwert aus den maximal 6 Distanzen eines jeden Falles ein mit Vorzeichen versehener Durchschnittswert ist, der sich sowohl aus positiven und negativen Einzelmesswerten der Distanzen A bis F ergeben kann. Sind diese Einzelmessungen in ihrem Vorzeichen bei nur einer Distanz verschieden, dann weicht die Zahl des Vorzeichenwertes (also dessen Betrag) vom Absolutwert ab. Hier haben sich manche Distanzen innerhalb des Unterkiefers nach Rekonstruktion vergrößert, manche verkleinert. Es hat also eine gegensätzliche Bewegung stattgefunden oder anders gesprochen eine Rotation der Unterkiefersegmente zueinander stattgefunden. Ist hingegen die Zahl des Vorzeichenwertes (also dessen Betrag) identisch mit der des Absolutwertes, hat je nach Vorzeichen eine gleichsinnige Versetzung des gesamten Unterkieferastes nach medial (negativer Vorzeichenwert) oder laterale (positiver Vorzeichenwert) stattgefunden. Von welchem Segment dies dann ausgeht, lässt sich allerdings in keinem der Fälle hiermit beantworten. Abbildung 13 veranschaulicht nochmals anhand von zwei Beispielen die Analyse des Rekonstruktionsfehlers und gibt tabellarisch eine Übersicht über die möglichen Kombinationen der Werte und zeigt wie sie zu interpretieren sind.

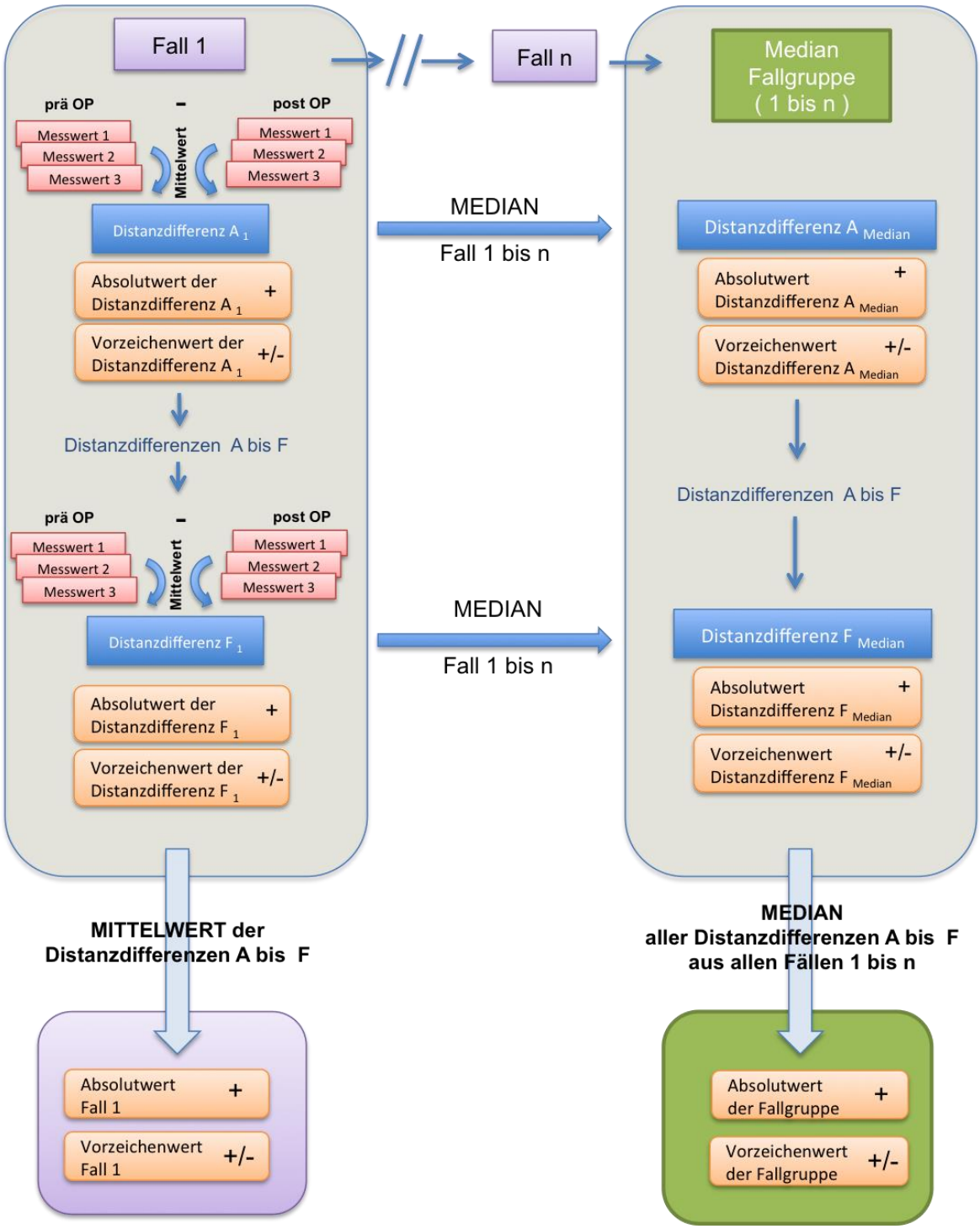
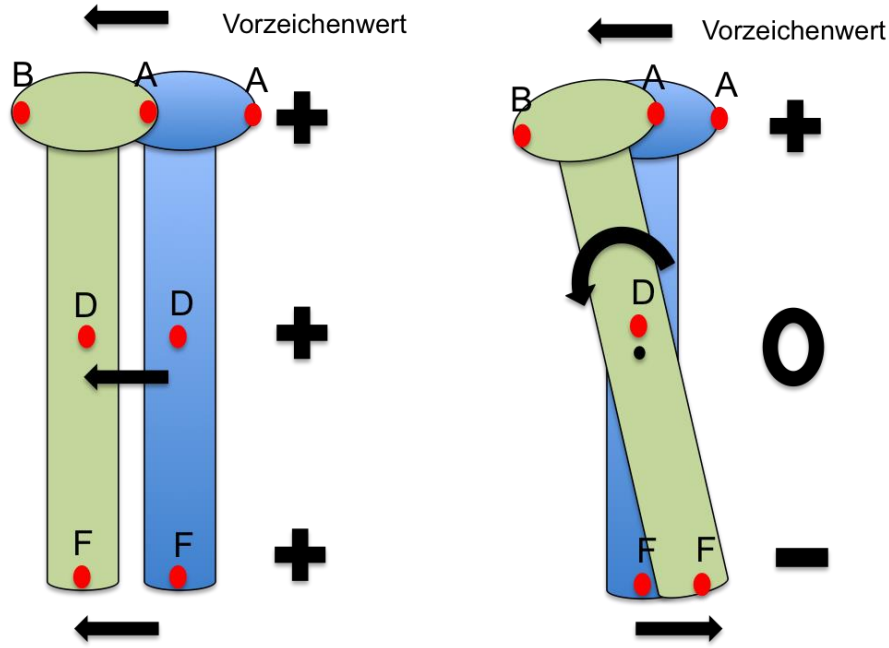


Abbildung 12: Schematische Darstellung der in Kapitel 2.5 beschriebenen „Berechnung der Rekonstruktionsgenauigkeit“. Bei der Datenanalyse konnte ein Absolut- und Vorzeichenwert für jeden Einzelfall berechnet werden. Dieser zeigt den Fehler bei der Rekonstruktion dieses speziellen Falles an. Für die Gesamtheit aller Fälle innerhalb einer Gruppe konnte ebenfalls ein Absolut- und Vorzeichenwert bestimmt werden. Dieser zeigt, je nach Definition der Gruppe die Genauigkeit der Rekonstruktionsmethode an.



Unterkieferverbreiterung nach Rekonstruktion

Unterkieferrotation nach Rekonstruktion

Rekonstruktionsfehler	Absolutwert	Vorzeichenwert	Korrelation der Beträge
Verbreiterung ←→	+	+	**Absolutwert = Vorzeichenwert**
Verbreiterung mit Rotationskomponente ←o→	+	+	**Absolutwert ≠ Vorzeichenwert**
Verschmälerung mit Rotationskomponente →o←	+	-	**Absolutwert ≠ Vorzeichenwert**
Verschmälerung →←	+	-	**Absolutwert = Vorzeichenwert**

Abbildung 13: Analyse des Rekonstruktionsfehlers. Beim Vergleich der Absolut- und Vorzeichenwerte sind vier Konstellationen möglich. Sind die Zahlen für den Absolutwert und für den Vorzeichenwert identisch, handelt es sich um eine reine Verbreiterung des gesamten Unterkiefers. Sind die Zahlen in ihrem Betrag gleich und unterscheiden sich aber durch das Vorzeichen, hat eine Verschmälerung stattgefunden. Bei gleichem Vorzeichen und unterschiedlichen Zahlenwerten hat eine Rotation stattgefunden. Rotationszentrum ist dann in der Nähe des Messpunktes zu suchen, welcher die geringste Veränderung nach der Rekonstruktion aufweist (kleinste Distanzmessung). Die Abbildung zeigt schematisch den rechten aufsteigenden Unterkieferast in der Koronalebene vor (blau) und nach der Unterkieferrekonstruktion (grün). Die Messpunkte im CT sind hier rot markiert (exemplarisch A, B, D und F). Die Pfeile zeigen die Bewegung des rekonstruierten Unterkiefers an (linkes Bild gleichsinniger Versatz aller Werte nach lateral, rechtes Bild Rotation um das Zentrum D mit gegensinnigem Versatz der Messpunkte). Die angegebenen Vorzeichen zeigen die Veränderungen des Vorzeichenwerts an. Anhand der vier Kombinationsmöglichkeiten in der Spalte „Korrelation der Beträge“ ist eine einfache Einteilung des Rekonstruktionsfehlers je Einzelfall möglich. Die Pfeilsymbole in der Spalte „Rekonstruktionsfehler“ zeigen symbolisch die Art des Fehlers an und werden im Folgenden in graphischen und tabellarischen Darstellungen als Abkürzung verwendet.

2.6. Ursachenanalyse der Rekonstruktionsfehler

Zur Beantwortung der Frage ob das Ausmaß der Unterkieferteilresektion einen Einfluss auf das Rekonstruktionsergebnis hat (3. Fragestellung) oder ob das Ausmaß der Rekonstruktionsgenauigkeit mit der Positionierung der Cutting- und Drilling-Guides zusammenhängt (5. Fragestellung), wurden die Fälle nach den entsprechenden Gesichtspunkten unterteilt und hierfür die jeweilige Rekonstruktionsgenauigkeit in Abhängigkeit des zu untersuchenden Merkmales untersucht. Hierbei sollte auch untersucht werden, ob die Art der Unterkieferrekonstruktion (alloplastisch oder mikrovaskulär) innerhalb der PSMP-Gruppe einen Einfluss auf die Rekonstruktionsgenauigkeit hat (4. Fragestellung).

Analyse des Rekonstruktionsfehlers in Abhängigkeit des Defektausmaßes

Um einen Zusammenhang zwischen Umfang der Unterkieferresektion und Rekonstruktionsfehler zu erkennen, wurden die für den Einzelfall errechneten Rekonstruktionsfehler ins Verhältnis zur Anzahl der Resektionssegmente gesetzt. So sollte erkannt werden, ob ein genereller Unterschied bei der Rekonstruktionsgenauigkeit auch durch die Größe der Unterkieferteilresektion zu erklären ist. Hierfür wurden neue Gruppen nach den genannten Gesichtspunkten zusammengestellt und diese nach der beschriebenen Methode ausgewertet.

Analyse des Rekonstruktionsfehlers in Abhängigkeit der primären Rekonstruktionsart mit der PSMP-Methode

Um innerhalb der PSMP-Gruppe einen Zusammenhang zwischen dem Rekonstruktionsfehler und der Art der primären Rekonstruktion zu erkennen, wurden die Fälle nochmals nach dem Merkmal „rein alloplastische Rekonstruktionen“ und „mikrovaskuläre Rekonstruktionen“ getrennt. Hierfür wurden ebenfalls neue Gruppen nach den genannten Gesichtspunkten zusammengestellt und diese nach der beschriebenen Methode ausgewertet.

Rekonstruktionsfehlers in Abhängigkeit der Guide-Positionierung

In seinem klinischen Erfahrungsbericht zur PSMP-Methode beschriebt Wilde et al. 2015, dass gerade bei Resektionen im hohen Kondylenbereich die Positionierung der Cutting- und Drilling-Guides sowohl aufgrund der geringen Anlagefläche des Restknochens für den Guide als auch aufgrund der anatomischen Gegebenheiten mit schlechten Übersichts- und geringen Platzverhältnissen, die PSMP-Methode in ihrer klinischen Umsetzung Probleme zeigt [70]. Somit stellte sich die Frage nach einem Zusammenhang zwischen Rekonstruktionsgenauigkeit und Guide-Positionierung im hohen Kondylenbereich.

Um dies anhand der hier gewonnenen Messergebnisse weiter zu untersuchen, wurden die PSMP-Methode Fälle nach ihrem Rekonstruktionsfehler anhand der Absolutwerte in aufsteigender Reihenfolge tabellarisch sortiert. Anschließend wurden drei Fehlerbereiche definiert (Rekonstruktionsfehler kleiner 1 Millimeter, zwischen 1 und 2 Millimetern, größer als 2 Millimeter) und versucht, einen Zusammenhang zwischen dem Fehlerausmaß und der Anzahl der Fälle mit dieser beschriebenen schwierigen Guide-Positionierung zu finden. Definiert wurde dieses Merkmal anhand der hier erhobenen Daten als Resektion mit den Segmenten Ramus mandibulae und Angulus mandibulae („RM-AM“ für die rechte Kieferseite bzw. „AM-RM“ für die linke Kieferseite - Abbildung 6). Ein weiteres gefordertes Merkmal war das Anbringen der Osteosyntheseplatte im hohen Bereich des Processus condylaris mit nur drei Osteosyntheseschrauben. Die Daten wurden rein deskriptiv in tabellarischer Form erfasst ohne sie weiter statistisch zu untersuchen.

2.7. Statistische Auswertung

Die ermittelten Werte wurden mit Microsoft Excel:Mac 2011 (Microsoft Corporation, Redmond, USA) und SPSS Statistics for Windows (International Business Machines Corporation, Armonk, USA) statistisch ausgewertet.

In der tabellarischen Darstellung der Daten wurden die Fallzahl, die Anzahl der Messwerte, der Median, der Maximal- und Minimalwert, die Spannweite zwischen den beiden Extremwerten und der Interquartilsabstand angegeben.

Zur graphischen Darstellung wurde der Box-Whisker-Plot verwendet. Hierbei zeigt definitionsgemäß der horizontale Balken den gegen Ausreißer stabilen Median an, die Box den Interquartilsabstand (IQA) innerhalb dessen sich 50% der Messwerte (zwischen dem oberen und unteren Quartil) befinden an. Die herausragenden „Antennen“ (Whisker) zeigen die Grenzbereiche der Messwerte, allerdings nur bis maximal zum 1,5-fachen Interquartilsabstand an. Die Werte die außerhalb liegen sind als Ausreißer zu bewerten. Ein Kreissymbol zeigt einen milden Außerreißer zwischen dem 1,5-fachen und 3-fachen Interquartilsabstand an. Ein Stern zeigt einen extremen Ausreißer der ober- oder unterhalb des 3-fachen IQA liegt an. Die Zahlen, die bei der im Ergebnisteil dargestellten Box-Whisker-Plots bei den jeweiligen Symbol für die Ausreißerwerte stehen, geben nicht den Messwert, sondern eine vom Statistikprogramm verwendete Nummerierung der erhobenen Messwerte an, die einheitlich bei allen Untersuchungen geführt wird. Zu beachten ist außerdem, dass der Medianwert nicht zwangsläufig in der Mitte der Box liegen muss. Ist dies der Fall, deutet dies auf eine asymmetrische Datenverteilung und ggf. auf eine fehlende Normalverteilung hin. Das Auftreten von verhältnismäßig vielen Ausreißern ist ebenfalls ein Hinweis auf eine fehlende Normalverteilung.

Die Prüfung auf Normalverteilung erfolgte mittels des Shapiro-Wilk Tests.

Neben der deskriptiven Statistik wurde zum Methodenvergleich der Mann-Whitney-U-Test durchgeführt. Dieser Test ist ein parameterfreier statistischer Test und vergleicht zwei unabhängige, nicht normalverteilte Stichproben. Er dient somit zur Signifikanzüberprüfung der Übereinstimmung zweier Verteilungen. Die Nullhypothese, wird als bestätigt angenommen, wenn hierbei $p>0,05$. Das Signifikanzniveau wurde bei $p \leq 0,05$ als „signifikant“ (*) und bei $p \leq 0,005$ als hochsignifikant (**) definiert.

3. Ergebnisse

3.1. Fallzahlen und Fallverteilungen

Zur Beantwortung der in der Einleitung formulierten ersten, zweiten und vierten Fragestellungen der Arbeit wurden entsprechende Gruppen aus dem Patientenkollektiv gebildet und miteinander verglichen:

1. Fragestellung: *Ist die Unterkieferrekonstruktion mit patientenspezifischen Mandibulaplatten (PSMP-Methode) genauer als die Unterkieferrekonstruktion nach der Standardmethode?*

Hierzu wurden die Patientenfälle zunächst in zwei Gruppen unterteilt und hinsichtlich ihrer Absolut- und Vorzeichenwerte miteinander verglichen. Die Gesamtheit der Standardmethode-Gruppe beinhaltete hierbei alle Fälle, die nach der Standardmethode zur Unterkieferrekonstruktion mit intraoperativem Konfektionieren der Titanplatten operiert wurden. Hierbei wurden sowohl alloplastische als auch primär knöcherne Rekonstruktionen mit eingeschlossen. Diese spezielle Gruppe wird im weiteren Verlauf der Arbeit mit ST (Ges.) abgekürzt werden. Die Gesamtheit der PSMP-Gruppe beinhaltet alle Fälle, ebenfalls mit und ohne primäre knöcherne Rekonstruktion, die mittels der im CAD/CAM-Verfahren hergestellten Rekonstruktionsplatte und unter Zuhilfenahme der beschriebenen Operationsschablonen rekonstruiert wurden. Diese spezielle Gruppe wird im weiteren Verlauf der Arbeit mit PSMP (Ges.) abgekürzt werden. In dieser Gruppe waren drei Patienten (Nr. 25, 38 und 39 aus Tabelle 1 und Tabelle 4) sekundäre Rekonstruktionsfälle, die bereits zuvor eine Operation am Unterkiefer von extraoral erhalten hatten.

2. Fragestellung: *Ist die rein alloplastische Rekonstruktion des Unterkiefers nach der PSMP-Methode genauer als nach der Standardmethode?*

und

4. Fragestellung: *Ist die Rekonstruktionsgenauigkeit der PSMP-Methode abhängig davon, ob eine rein alloplastische oder eine primär mikrovaskulär-knöcherne Rekonstruktion durchgeführt wurde?*

Hierzu erfolgte eine weitere Unterteilung je Gruppe nach rein alloplastischen (Allopl.) und mikrovaskulär-knöchernen Rekonstruktionen (MV). In die letztere Gruppe wurden alle Fälle einer mikrovaskulären Rekonstruktion mit eingeschlossen. Dies war in der Mehrzahl der Fälle die Fibulatransplantation (Fib.). In der PSMP-Gruppe wurde aber auch eine Scapulatransplantation (Sca.) als auch eine mikrovaskuläre Beckenkammtransplantation (CI) eingeschlossen. Im Falle von primären Rekonstruktionen mittels freiem Beckenkammtransplantat (freies-CI) erfolgte die Zuteilung in die rein alloplastische Rekonstruktionsgruppe, da die Operationsmethode dieser Fälle derer der rein alloplastischen Rekonstruktion zu 100% entspricht und der entstandene Unterkieferdefekt nach Fixierung der Osteosyntheseplatte lediglich mit Knochen aufgefüllt wird. Dies hat zu diesem Zeitpunkt keinen Einfluss mehr auf das Rekonstruktionsergebnis. Sekundäre Rekonstruktionen lagen nur in der PSMP-Gruppe mit drei Fällen vor. Hiervon waren zwei Fälle mit mikrovaskulärem Transplantat versorgt worden, ein Fall mit freiem Beckenkammtransplantat. Diese Fälle wurden bei der Vermessung wie primäre Rekonstruktionen gewertet. Eine Übersicht der Fallzahlen sortiert nach Untersuchungsgruppe und Rekonstruktionsart findet sich in Tabelle 2.

Tabelle 2: Übersicht der Fallzahlen je Untersuchungsgruppe und sortiert nach Rekonstruktionsart. PSMP steht hierbei für die Rekonstruktionsfälle mit der **P**atienten-**S**pezifischen-**M**andibula-**P**latte. (Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2004 - 2015).

	Standardmethode	**PSMP-Methode**
Gesamtfallzahl	**24**	**18**
rein alloplastische Rekonstruktionen	**22**	**10**
mikrovaskuläre Rekonstruktionen	**2**	**8**
Fibulatransplantat	*2*	*6*
Scapulatransplantat	*0*	*1*
Beckenkammtransplantat	*0*	*1*
davon sekundäre Rekonstruktionen	**0**	**3**

3.2. Analyse des Patientengutes hinsichtlich Strukturgleichheit

Um eine Vergleichbarkeit der jeweiligen Gruppen sicherzustellen, wurde das Patientengut hinsichtlich Alter, Geschlecht, Krankheitsbild und Resektionsausmaß miteinander verglichen.

3.2.1. Alters- und Geschlechtsverteilung

Das Patientengut wurde nach Durchschnittsalter zum Operationszeitpunkt und Geschlechterverteilung untersucht. Hierbei lag das mittlere Lebensalter zum Zeitpunkt der Unterkieferrekonstruktion in der Standardmethode-Gruppe bei 60,6 Jahren und bei der PSMP-Gruppe mit 64,5 Jahren etwas höher. In der Standardmethode-Gruppe war das Verhältnis Männer zu Frauen nahezu ausgeglichen, in der PSMP-Gruppe lag der Frauenanteil lediglich bei einem Viertel aller Fälle.

3.2.2. Krankheitsspektrum

Die einzelnen Fälle wurden nach Krankheitsbildern, die zur Indikation der Unterkieferteilresektion mit anschließender Rekonstruktion führten untersucht. Bei Vorliegen von mehreren möglichen Krankheitsbildern wurde die Erkrankung gewählt, die zuletzt für die Unterkieferresektion ursächlich war. So ist die Osteoradionekrose (ORN) Folge einer stattgehabten Bestrahlungstherapie aufgrund einer malignen Grunderkrankung. In diesem Fällen wurde der Patient lediglich in die Gruppe ORN eingeteilt. Mehrfachnennungen kamen somit nicht vor. Die Gruppe der malignen Grunderkrankungen und hier im Speziellen dem oralen Plattenepithelkarzinom (PE-CA) und dem Adenoidzystischen-Karzinom (AZ-CA) stellte in beiden Fallgruppen die häufigste Indikation zur Unterkieferresektion dar (Abbildung 14).

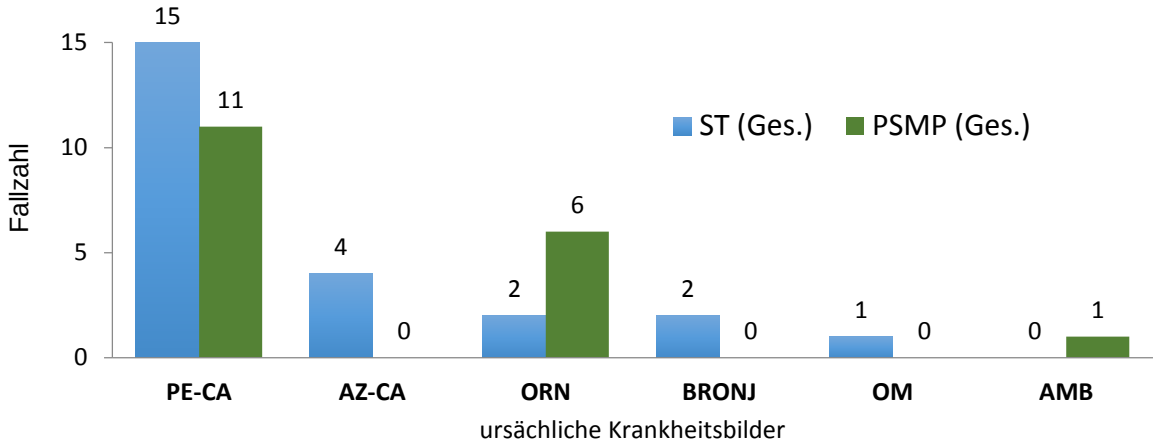


Abbildung 14: Verteilung der für die Unterkieferresektion ursächlichen Krankheitsbilder in den beiden Fallgruppen. Die Balken geben mit den darüberstehenden Zahlen die Fallzahlen je Krankheitsbild und Gruppe an. ST (Ges.) in blau steht hier für die Gesamtheit aller Fälle, die nach der Standardmethode operiert wurden. PSMP (Ges.) in grün ist die Gesamtheit aller Fälle, die mit den computerbasiert hergestellten Rekonstruktionsplatten (**P**atienten-**S**pezifische-**M**andibula-**P**latte) operiert wurden. Hierbei bezeichnet PE-CA das orale Plattenepithelkarzinom, AZ-CA das Adenoid-zystische Karzinom, ORN die Osteoradionekrose, BRONJ die bisphosphonat assoziierten Unterkieferosteonekrosen (engl. **B**isphosphonat-**R**elated **O**steo**N**ecrosis of the **J**aw), OM die Osteomyelitis und AMB das Ameloblastom. (Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2004 - 2015).

3.2.3. Analyse des Resektionsausmaßes

Entsprechend der anatomischen Einteilung des Unterkiefers aus Kapitel 2.3 erfolgte die Auswertung des Resektionsausmaßes getrennt nach Gruppen. Hierbei wurden die Fallgruppen wie in Kapitel 3.1 beschrieben weiter in rein alloplastische Rekonstruktionsfälle (Allopl.) und mikrovaskuläre Rekonstruktionsfälle (MV) unterteilt. Die Gruppe, die nach der Standardmethode primär mikrovaskulär rekonstruiert wurde, wurde der Vollständigkeit halber mit aufgeführt, aufgrund der zu geringen Fallzahl (n=2) aber im Folgenden nicht weiter untersucht. Eine Übersicht über das durchschnittliche Resektionsausmaß je Fall gibt Abbildung 15 wieder.

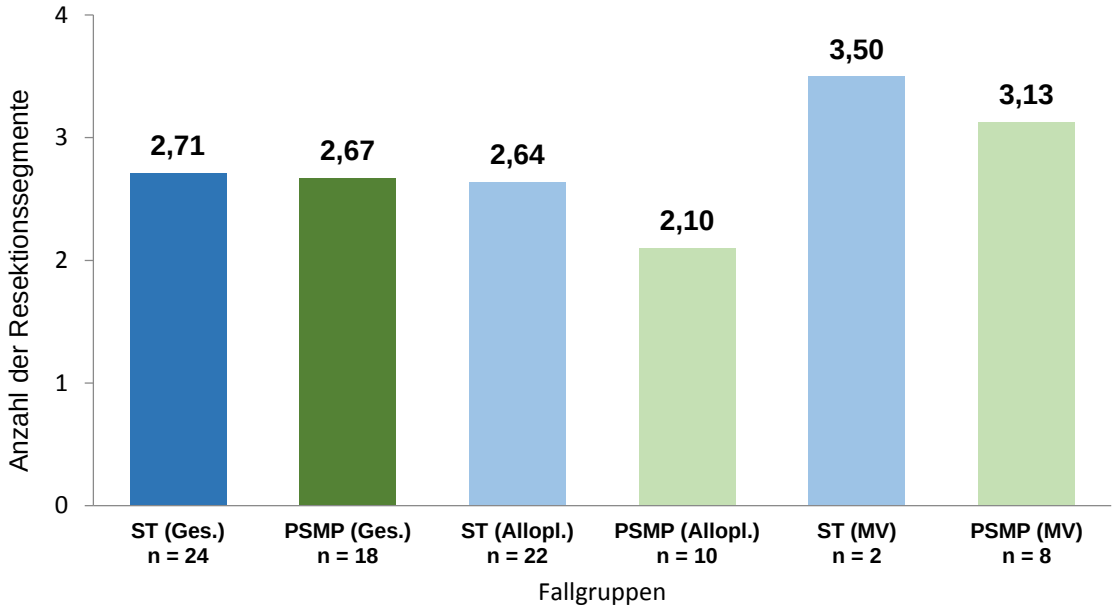


Abbildung 15: Durchschnittliche Anzahl der Resektionssegmente je Fallgruppe. ST steht hier für die Standardgruppe (blau). PSMP ist die Fallgruppe mit den im computerbasiert hergestellten Rekonstruktionsplatten (**P**atienten-**S**pezifische-**M**andibula-**P**latte) (grün). (Ges.) bezeichnet die Gesamtheit aller Fälle aus einer Rekonstruktionsgruppe; Diese setzt sich zusammen aus den rein alloplastische Rekonstruktionsfälle (Allopl.) und den mikrovaskulär-knöcherne Rekonstruktionsfällen (MV); Unter den jeweiligen Gruppen bezeichnet „n“ die untersuchte Fallzahl. (Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2004 - 2015).

3.3. Quantität und Qualität der erhobenen Messdaten

Im Idealfall konnten je Patientenfall insgesamt 6 Distanzen A, B, C, D, E und F sowohl prä- als auch postoperativ bestimmt werden. Hieraus wurden wiederum sechs Differenzen der jeweiligen Distanzen (postOP – präOP) errechnet. Die Daten gingen dann sowohl nach ihrem Absolutwert als auch mit ihrem Vorzeichenwert in die Gesamtanalyse der Gruppe ein. Da im Falle der Unterkieferteilresektion bis in den Bereich des Ramus mandibulae und des Angulus mandibulae jedoch postoperativ die Punkte C, D, E und F nicht zwangsläufig erhalten werden konnten, entfielen diese Messpunkte postoperativ. In der Mehrzahl der Fälle konnten in beiden Gruppen alle sechs Distanzen A bis F bestimmt werden. Nur in der Standardmethode-Gruppe fand sich ein Patientenfall, bei dem lediglich eine Distanz postoperativ bestimmt werden konnte. In Tabelle 3 wird gezeigt, welcher Distanzbereich in welcher Gruppe prozentual und absolut gesehen wie oft bestimmt werden konnte. Diese Analyse fand Eingang bei der statistischen Bewertung der Vergleichsgruppen. Die Distanz B konnte in der

PSMP-Gruppe nur 17 mal von theoretisch 18 möglichen Messungen bestimmt werden, obwohl das Caput mandibulae nie reseziert wurde. Hierbei handelt es sich um einen Fehler bei der CT-Aufnahme, bei welcher der Punkt B versehentlich ausgeblendet wurde und somit nicht vermessen werden konnte.

Tabelle 3: Anzahl und prozentualer Anteil der vermessenen Distanzdifferenzen A bis F unterteilt nach Fallgruppen. Im Falle einer vollständigen Vermessung aller Strecken je Patientenfall sind sechs Distanzen zu vermessen. Die maximal mögliche Gesamtzahl der einzelnen Distanzen errechnet sich somit aus n x 6 (= 100%). „n“ gibt hierbei die Anzahl der Patientenfälle je Gruppe an. Aufgrund von Resektionen der definierten Landmarken konnten nicht immer 100% erfüllt werden. ST (Ges.) steht hier für die Gesamtheit aller Fälle, die nach der Standard-Methode operiert wurden. PSMP (Ges.) ist die Gesamtheit aller Fälle, die mit den computerunterstützt hergestellten Rekonstruktionsplatten (**P**atienten-**S**pezifische-**M**andibula-**P**latte) operiert wurden. (Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2004 - 2015).

Distanzdifferenz	ST (Ges.) (n=24)	Anteil der max. möglichen Messwerte	PSMP (Ges.) (n = 18)	Anteil der max. möglichen Messwerte
A	23	95,8%	18	100%
B	23	95,8%	17	94,4%
C	19	79,2%	17	94,4%
D	15	62,5%	12	66,7%
E	13	54,2%	10	55,6%
F	9	37,5%	11	61,1%
Summe aller Messstrecken	**102**	**70,8%**	**85**	**78,7%**

3.4. Tabellarische Übersicht der gemessenen Daten

Tabelle 4 gibt zunächst eine Übersicht über die erhobenen und berechneten Messwerte. Die statistische Auswertung und Beschreibung der hier dargestellten Daten folgt in den weiteren Kapiteln.

Tabelle 4: Übersicht der erhobenen und berechneten Daten zu jedem der insgesamt 42 Patientenfälle. (Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2004 - 2015).

Fall: Fallnummer (analog zu Tabelle 1); **Gruppe:** Einteilung nach Rekonstruktionsmethode: ST = Standardmethode, PSMP = **P**atienten-**S**pezifische-**M**andibula-**P**latte-Methode; **Messstrecken:** A = Distanz A; B = Distanz B; C = Distanz C; D = Distanz D; E = Distanz E; F = Distanz F (nach Abbildung 7); **Fehler:** Art des Rekonstruktionsfehlers mit ←→= Verbreiterung der Unterkieferspange, →←= Verschmälerung der Unterkieferspange, ←O→= Verbreiterung mit Rotationskomponente im Ramusbereich, →O←= Verschmälerung mit Rotationskomponente im Ramusbereich.

Fall	Gruppe	Distanzen (n)	Messstrecken	Absolutwert (mm)	Vorzeichenwert (mm)	Fehler
1	ST	3	ABC	0,56	0,13	←O→
2	ST	6	ABCDEF	3,53	3,24	←O→
3	ST	5	ABCDE	1,53	-1,26	→O←
4	ST	4	ABCE	2,73	-2,73	→←
5	ST	2	AB	1,5	1,5	←→
6	ST	3	ABC	2,54	2,54	←→
7	ST	6	ABCDEF	4,28	2,29	←O→
8	ST	6	ABCDEF	1,33	-0,1	→O←
9	ST	4	ABCD	0,76	-0,76	→←
10	ST	6	ABCDEF	2,82	-2,82	→←
11	ST	2	AB	1,43	1,43	←→
12	ST	6	ABCDEF	6,18	-6,18	→←
13	ST	3	ABC	1,42	-1,42	→←
14	ST	2	AB	3,75	-3,75	→←

Fortsetzung auf der Folgeseite

Fortsetzung der Tabelle 4

Fall	Gruppe	Distanzen (n)	Messstrecken	Absolutwert (mm)	Vorzeichenwert (mm)	Fehler
15	ST	6	ABCDEF	2,29	-1,15	→O←
16	ST	5	ABCDE	2,83	-2,22	→O←
17	ST	5	ABCDE	0,71	-0,71	→←
18	ST	6	ABCDEF	3,02	1,94	←O→
19	ST	1	C	1,63	-1,63	→←
20	ST	6	ABCDEF	2,3	-1,87	→O←
21	ST	4	ABCD	0,7	0,7	←→
22	ST	3	ABD	0,67	0,67	←→
23	ST	2	AB	1,6	1,6	←→
24	ST	6	ABCDEF	2,79	-2,79	→←
25	PSMP	6	ABCDEF	0,91	0,78	←O→
26	PSMP	3	ABC	1,54	-1,54	→←
27	PSMP	6	ABCDEF	0,73	0,73	←→
28	PSMP	6	ABCDEF	0,57	0,23	←O→
29	PSMP	3	ABC	0,74	0,19	←O→
30	PSMP	3	ABF	1,31	0,8	←O→
31	PSMP	3	ABC	3,36	-3,36	→←
32	PSMP	5	ABCEF	0,67	0,37	←O→
33	PSMP	6	ABCDEF	2,73	-2,72	→←
34	PSMP	3	ABC	2,04	-1,27	→O←
35	PSMP	6	ABCDEF	2,93	2,93	←→
36	PSMP	6	ABCDEF	1,26	-0,34	→O←

Fortsetzung auf der Folgeseite

Fortsetzung der Tabelle 4

Fall	Gruppe	Distanzen (n)	Messstrecken	Absolutwert (mm)	Vorzeichenwert (mm)	Fehler
37	PSMP	6	ABCDEF	0,99	0,76	←○→
38	PSMP	3	ABC	4,01	4,01	←→
39	PSMP	4	ABCD	1,5	0,87	←○→
40	PSMP	6	ABCDEF	2,82	-2,82	→←
41	PSMP	4	ABCD	1,14	-1,14	→←
42	PSMP	6	ABCDEF	1,37	-1,24	→○←

3.5. Vergleich der jeweiligen Untersuchungsgruppen

Zunächst wurden die PSMP-Methode und die Standardmethode in der Gesamtheit aller Fälle miteinander verglichen. Hierbei wurden alle Patientenfälle einer Rekonstruktionsmethode in die Analyse mit einbezogen (Ges.).

Dann erfolgte die Analyse der Daten unter ausschließlicher Berücksichtigung der rein alloplastischen Rekonstruktionsfälle (Allopl.).

Die Daten wurden getrennt nach Absolutwerten, als Maß für die Rekonstruktionsgenauigkeit und nach Vorzeichenwerten, als Maß für die tatsächliche Abweichung des Unterkiefers nach Rekonstruktion analysiert und dargestellt. Bei der Analyse der Daten wurden zunächst immer der Medianwert aus allen Distanzdifferenzen A bis F je Fallgruppe analysiert und dann eine weitere Unterteilung der Daten in die jeweiligen sechs Einzeldistanzdifferenzen A bis F vorgenommen. Für den Vergleich der Absolutwerte und den Vorzeichenwerte wurde eine statistische Analyse durchgeführt. Abschließend wurde die qualitative Veränderung nach Unterkieferrekonstruktion in jeder Gruppe ausgewertet und graphisch dargestellt.

3.5.1. Vergleich der PSMP-Methode mit der Standardmethode

Die folgende Auswertung bezieht sich auf die Gesamtheit aller Fälle je Untersuchungsgruppe (Ges.).

Datenanalyse der Absolutwerte

Im Vergleich der Absolutwerte als direktes Maß für die Rekonstruktionsgenauigkeit zwischen der Standardmethode und der PSMP-Methode lag der Median aus allen Distanzdifferenzmessungen (A bis F) bei der Standardmethode-Gruppe bei 1,90 Millimetern. Der Median der PSMP-Gruppe lag hier bei 1,13 Millimetern. Der Unterschied war im Mann-Whitney-U-Test als signifikant zu bewerten (Tabelle 6). Somit kann nach der hier verwendeten Definition der PSMP-Methode eine höhere Rekonstruktionsgenauigkeit als der Standardmethode zugesprochen werden. Innerhalb der Standardmethode-Gruppe lag der maximale Fehler bei 13,77 Millimetern, innerhalb der PSMP-Gruppe lediglich bei 4,57 Millimetern. Der minimale Fehler lag in beiden Gruppen bei 0,03 Millimetern. Außerdem war neben der deutlich geringeren Streuung der Werte innerhalb der PSMP-Gruppe auch das Fehlen von Ausreißerwerten auffallend (Abbildung 16).

Im Vergleich der jeweiligen Einzeldistanzdifferenzmessungen zeigte sich bei der PSMP-Methode für die Distanzen F ein kleinerer Absolutwert als bei der Standardmethode, dieser war hochsignifikant (p=0,005) unterschiedlich. Die übrigen Werte für die Distanzdifferenzen (A,B,C,D,E) waren nicht signifikant unterschiedlich (Tabelle 5).

Bei Betrachtung der einzelnen Distanzdifferenzen A bis F fiel dazu auf, dass hier kein eindeutiger Trend bezüglich einer geringeren Streuung zugunsten einer Untersuchungsgruppe ausgemacht werden konnte. Datenausreißer waren die Ausnahme und traten in der Standardmethode-Gruppe häufiger auf.

Eine Auflistung der errechneten Signifikanzen nach dem Mann-Whitney-U-Test sowohl für die Gesamtheit aller Distanzdifferenzmessungen als auch für die einzelnen Distanzdifferenzmessungen A bis F findet sich in Tabelle 6.

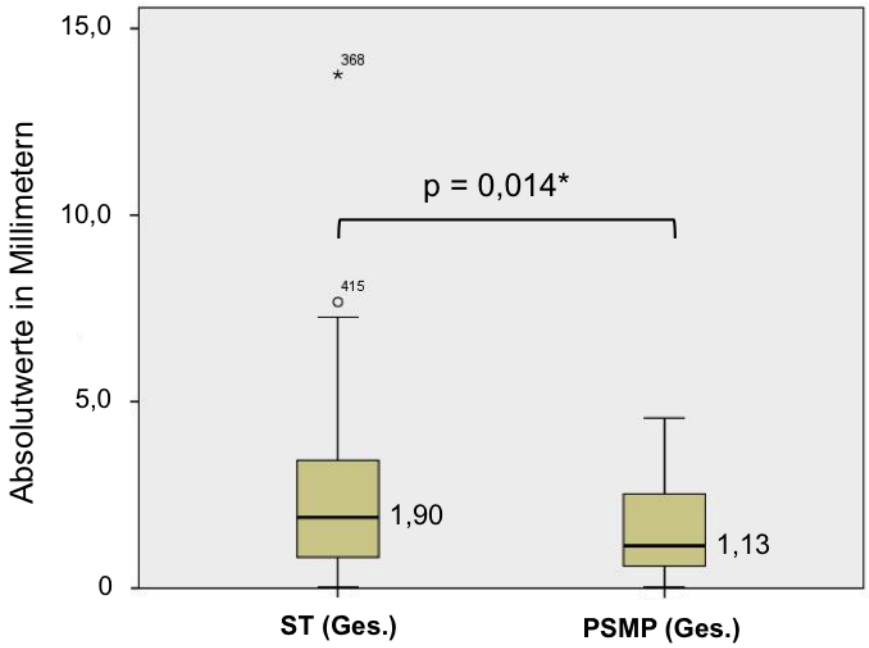


Abbildung 16: Box-Whisker-Plot der **Absolutwerte** zum Vergleich der Gesamtfallzahl der **P**atienten-**S**pezifische-**M**andibula-**P**latte-Methode [PSMP (Ges.)] und der Standardmethode [ST (Ges.)]. Die y-Achse zeigt hierbei die Absolutwerte (in mm) an. Die genannten Zahlen neben den Box-Plots beziehen sich auf den Medianwert der Gruppe. Den Signifikanzwert des Medianwertunterschiedes gibt die Zahl nach „p" an. Der Stern bedeutet, dass definitionsgemäß ein signifikanter Unterschied zu Gunsten der PSMP-Methode vorliegt. In der Standardmethode-Gruppe lagen zwei Ausreißerwerte vor. Die Messwerte der PSMP-Methode schienen einer geringeren Streuung zu unterliegen. (Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2004 - 2015).

Tabelle 5: Deskriptive Statistik der **Absolutwerte** der einzelnen Distanzdifferenzen A bis F im Median nach Untersuchungsgruppen unterschieden. ST (Ges.) steht hier für alle Fälle in der Standardmethode-Gruppe. PSMP (Ges.) ist die Gesamtheit der Gruppe der **P**atienten-**S**pezifische-**M**andibula-**P**latte-Methode. Aufgelistet ist die Fallzahl (n) als die Anzahl der eingeflossenen Messwerte sowie die Extremwerte (Min = Minimalwert; Max = Maximalwert), die Spannweite als auch der Interquartilsabstand in Millimetern. (Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2004 - 2015).

	Distanz	n	Median	Max.	Min.	Spannweite	Interquartils-abstand
PSMP (Ges.)	A	18	1,27	4,57	0,40	4,17	2,79
ST (Ges.)	A	23	2,03	6,40	0,30	6,10	2,73
PSMP (Ges.)	B	17	1,03	4,10	0,50	3,60	2,60
ST (Ges.)	B	23	2,13	5,60	0,30	5,30	3,07
PSMP (Ges.)	C	17	2,13	4,40	0,27	4,13	2,60
ST (Ges.)	C	19	1,53	6,97	0,03	6,93	1,63
PSMP (Ges.)	D	12	1,38	3,60	0,20	3,40	1,77
ST (Ges.)	D	15	1,10	7,27	0,07	7,20	2,50
PSMP (Ges.)	E	10	1,03	3,97	0,07	3,90	2,68
ST (Ges.)	E	13	2,03	13,77	0,40	13,37	4,05
PSMP (Ges.)	F	11	0,67	2,60	0,03	2,57	0,60
ST (Ges.)	F	9	3,43	7,67	0,03	7,63	2,72

Tabelle 6: Signifikanz nach dem Mann-Whitney-U-Test der **Absolutwerte** der Distanzdifferenzmessung im Vergleich der PSMP-Methode mit der Standardmethode. „Total“ beschreibt hierbei den Signifikanzwert im Falle der medianen Datenzusammenfassung aller sechs Distanzen der jeweiligen Gruppe. ST (Ges.) steht hier für die Gesamtheit der Gruppe mit der Standardmethode. PSMP (Ges.) ist die Gesamtheit der Fallgruppe mit den computerassistiert hergestellten Rekonstruktionsplatten **(P**atienten-**S**pezifische-**M**andibula-**P**latte). Bei der Festlegung des Signifikanzniveaus gilt: p ≤ 0,005 = hochsignifikant, p ≤ 0,05 = signifikant und p > 0,05 = nicht signifikant; (Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2004 - 2015).

	p-Werte im Mann-Whitney-U-Test der Absolutwerte im Vergleich PSMP (Ges.) versus ST (Ges.)	**Signifikanzniveau**
Total	0,014	signifikant zu Gunsten PSMP
Distanz A	0,723	nicht signifikant
Distanz B	0,116	nicht signifikant
Distanz C	0,824	nicht signifikant
Distanz D	0,826	nicht signifikant
Distanz E	0,251	nicht signifikant
Distanz F	0,005	hochsignifikant zu Gunsten PSMP

Datenanalyse der Vorzeichenwerte

Bei der Berechnung der Vorzeichenwerte aus den Distanzdifferenzmessungen ergab sich bei der Betrachtung der Gesamtheit aller Fälle bei der Standardmethode-Gruppe im Median ein negativer Wert (-0,60 Millimeter), bei der PSMP-Gruppe ein positiver Wert (0,10 Millimeter). Die Standardmethode führte somit eher zu einer Verschmälerung, die PSMP-Methode zu einer geringfügigen Verbreiterung der Mandibula. Die Einzelfallwerte hierzu unterlagen allerdings einer zum Teil erheblichen Schwankung. Diese war innerhalb der PSMP-Gruppe jedoch weniger stark ausgeprägt. Tabelle 7 zeigt die erhobenen Messwerte für die Zusammenfassung aller Distanzdifferenzmessungen A bis F.

Bei der Betrachtung der Einzeldistanzdifferenzen fiel auf, dass in der Standardmethode-Gruppe der Median des Vorzeichenwertes für alle Distanzen A bis F jeweils im negativen Bereich lag. Innerhalb der PSMP-Gruppe lagen jedoch lediglich die Distanzdifferenzen A und B im negativen, die Werte für die Distanzdifferenzen C, D, E und F im positiven Bereich. Es fanden sich in beiden Gruppen Streuungen der Werte sowohl in den positiven als auch negativen Bereich. Tendenziell konnte auch hier eine geringere Streuung in der PSMP-Gruppe verzeichnet werden. Die Unterschiede zwischen den Gruppen waren

allerdings für keine Distanzdifferenz signifikant. Einen Datenüberblick hierzu gibt die Tabelle 8.

Da der Mann-Whitney-U-Test die Signifikanz der Übereinstimmung zweier Verteilungen berechnet, ist ein direkter Vergleich hinsichtlich der Veränderung der Mandibula nach Unterkieferrekonstruktion auch hier möglich. Ein signifikanter Unterschied der Vorzeichenwerte konnte weder unter Zusammenfassung aller Distanzdifferenzmessungen noch unter Betrachtung der jeweiligen Einzelwerte festgestellt werden (Tabelle 9).

Tabelle 7: Deskriptive Statistik der **Vorzeichenwerte** aller gemessenen Distanzdifferenzen nach Untersuchungsgruppen sortiert. ST (Ges.) steht hier für alle Fälle in der Standardmethode-Gruppe. PSMP (Ges.) ist die Gesamtheit Gruppe nach der **P**atienten-**S**pezifische-**M**andibula-**P**latte-Methode. Aufgelistet ist die Fallzahl (n) als die Anzahl der eingeflossenen Messwerte sowie die Extremwerte (Min = Minimalwert; Max = Maximalwert), die Spannweite als auch der Interquartilsabstand in Millimetern. (Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2004 - 2015).

	n	Anzahl der Messwerte	Median	Max.	Min.	Spannweite	Interquartils-abstand
ST (Ges.)	24	102	-0,60	7,67	-13,77	21,43	3,84
PSMP (Ges.)	18	85	0,10	4,33	-4,57	8,90	2,55

Tabelle 8: Deskriptive Statistik der **Vorzeichenwerte** aus den einzelnen Distanzdifferenzen A bis F nach Untersuchungsgruppen sortiert. ST (Ges.) steht hier für alle Fälle in der Standardmethode-Gruppe. PSMP (Ges.) ist die Gesamtheit der Gruppe nach der **P**atienten-**S**pezifische-**M**andibula-**P**latte-Methode. Aufgelistet ist die Fallzahl (n) als die Anzahl der eingeflossenen Messwerte sowie die Extremwerte (Min = Minimalwert; Max = Maximalwert), die Spannweite als auch der Interquartilsabstand in Millimetern. (Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2004 - 2015).

	Distanz	n	Median	Max.	Min.	Spannweite	Interquartils-abstand
PSMP (Ges.)	A	18	-0,72	3,90	-4,57	8,47	2,97
ST (Ges.)	A	23	-0,47	6,40	-4,23	10,63	3,96
PSMP (Ges.)	B	17	-0,57	3,80	-4,10	7,90	2,38
ST (Ges.)	B	23	-0,33	5,60	-4,33	9,93	4,77
PSMP (Ges.)	C	17	0,27	4,33	-4,40	8,73	3,57
ST (Ges.)	C	19	-0,73	3,67	-6,97	10,63	3,33
PSMP (Ges.)	D	12	0,40	3,60	-2,70	6,30	2,83
ST (Ges.)	D	15	-0,37	3,40	-7,27	10,67	2,20
PSMP (Ges.)	E	10	0,35	3,97	-3,70	7,67	2,76
ST (Ges.)	E	13	-1,03	2,83	-13,77	16,60	5,45
PSMP (Ges.)	F	11	0,20	1,13	-2,60	3,73	1,63
ST (Ges.)	F	9	-2,43	7,67	-5,27	12,93	6,87

Tabelle 9: Signifikanz nach dem Mann-Whitney-U-Test der **Vorzeichenwerten** im Vergleich der **P**atienten-**S**pezifische-**M**andibula-**P**latte-Methode mit der Standardmethode. „Total“ beschreibt hierbei den Signifikanzwert im Falle der Datenzusammenfassung aller sechs Distanzen. ST (Ges.) steht hier für die Gesamtheit der Gruppe mit der Standardmethode. PSMP (Ges.) ist die Gesamtheit der Fallgruppe mit den computerassistiert hergestellten Rekonstruktionsplatten. Bei der Festlegung des Signifikanzniveaus gilt: p ≤ 0,005 = hochsignifikant, p ≤ 0,05 = signifikant und p > 0,05 = nicht signifikant; (Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2004 - 2015).

	p-Werte im Mann-Whitney-U-Test der Vorzeichen-werte im Vergleich PSMP (Ges.) versus ST (Ges.)	**Signifikanzniveau**
Total	0,157	nicht signifikant
Distanz A	0,937	nicht signifikant
Distanz B	0,891	nicht signifikant
Distanz C	0,862	nicht signifikant
Distanz D	0,124	nicht signifikant
Distanz E	0,088	nicht signifikant
Distanz F	0,382	nicht signifikant

Analyse der Rekonstruktionsfehlerart bezogen auf den Einzelfall

Da durch die Betrachtung der Medianwerte als Durchschnittswert aller Messungen nur bedingt ein Eindruck entsteht, wie das Rekonstruktionsergebnis im Einzelfall ausfiel, wurde zur besseren Veranschaulichung ein Balkendiagramm wie in Abbildung 17 dargestellt eingeführt. Damit konnte das Ausmaß und die Art des Rekonstruktionsfehlers in einer Graphik für jeden Einzelfall zum Ausdruck gebracht werden. Hier wurde grundsätzlich zwischen Verschmälerung und Verbreiterung im postoperativen Rekonstruktionsergebnis unterschieden. In der Bewertung wurden außerdem die Fälle mit Rotationskomponente mitbetrachtet. Die graphische Darstellung ist rein deskriptiv und kann statistisch nicht weiter ausgewertet werden. Der Ausschlag der Balken auf der x-Achse zeigt den jeweiligen Vorzeichenwert des Rekonstruktionsfehlers der jeweiligen Fälle an. Die Einzelfälle sind von oben nach unten auf der y-Achse vom kleinsten bis zum größten Vorzeichenwert geordnet (Abbildung 17).

Hierbei zeigte sich für die Standardmethode-Gruppe, dass insgesamt 14 der 24 Fälle eine Verschmälerung der Mandibula nach Rekonstruktion erfahren haben. Von diesen 14 Fällen hatten insgesamt 5 zusätzlich eine Rotationskomponente. Bei den restlichen Fällen handelte es sich um einen reinen Versatz des aufsteigenden Unterkieferastes nach medial, die Unterkieferspange wurde somit lediglich schmäler. Die anderen 10 Fälle erfuhren eine Verbreiterung wobei hier 4

Fälle eine Rotationskomponente aufzeigten. Innerhalb der PSMP-Gruppe fand sich bei 8 von 18 Fällen eine Verschmälerung des Unterkiefers, davon waren 3 Fälle mit Rotationskomponente. Von den restlichen 10 Fällen, die eine Verbreiterung der Mandibula zeigten, waren 7 Fälle mit Rotationskomponente vertreten. Es zeigte sich also, dass die Richtung der Unterkieferveränderung nach Rekonstruktion in beiden Gruppen nahezu ausgeglichen verteilt war. Lediglich Tendenzen hin zu einer Richtung innerhalb der Gruppen gingen bereits aus der Analyse der Medianwerte aus allen Vorzeichenwerten hervor.

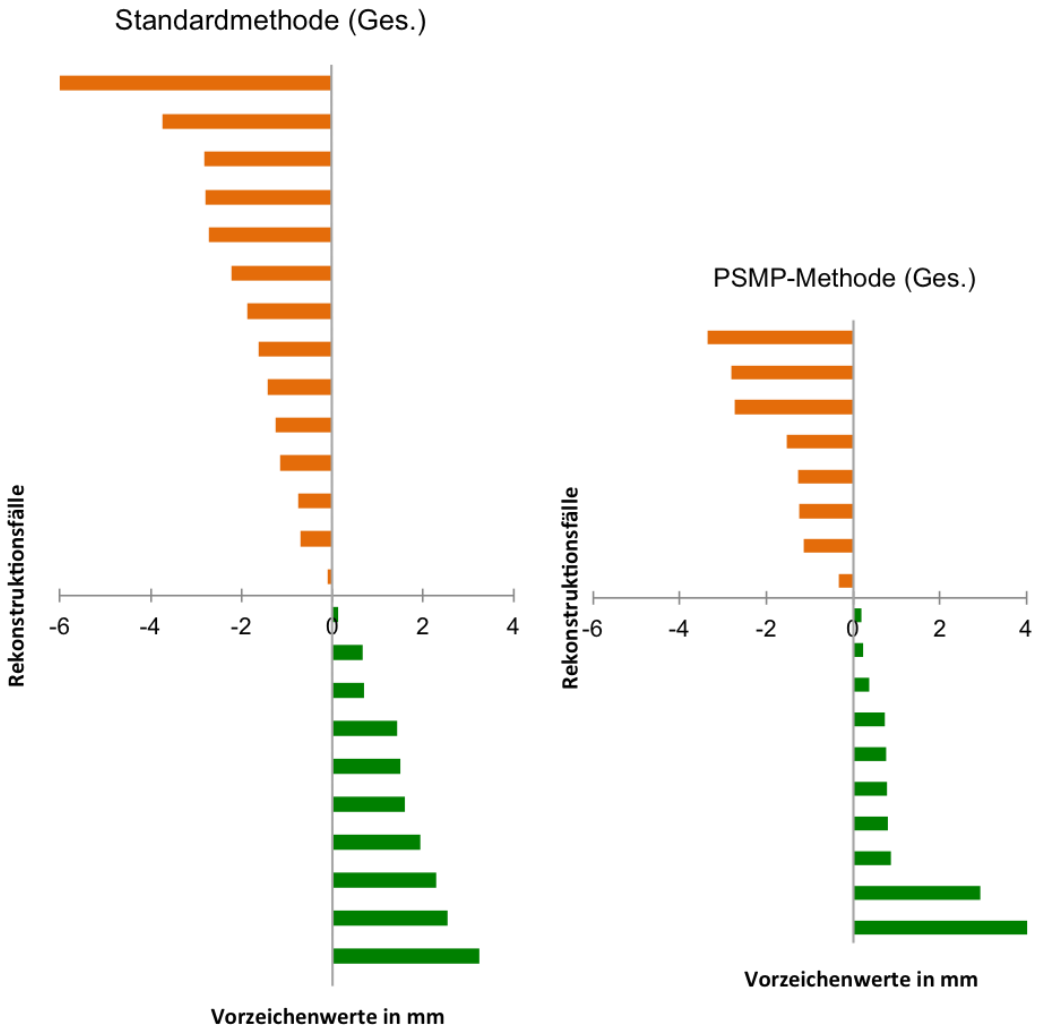


Abbildung 17: Graphische Darstellung der einzelnen Rekonstruktionsfehler je Einzelfall beider Gesamtgruppen (Ges.). PSMP steht hierbei für **P**atienten-**S**pezifische-**M**andibula-**P**latte. Die Balkendiagramme zeigen die Vorzeichenwerte eines jeden Rekonstruktionsfalles an. Die Werte wurden von oben nach unten in aufsteigender Reihenfolge nach Fehlerausmaß sortiert. Hierbei ist zu unterscheiden, ob bei dem jeweiligen Fall eine Verschmälerung (orange) oder eine Verbreiterung (grün) stattgefunden hat. Die x-Achse zeigt hier die Werte für die Vorzeichenwerte an und schneidet die y-Achse dort wo sich die Werte vom negativen in den positiven Bereich umkehren. (Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2004 - 2015).

3.5.2. Vergleich der rein alloplastischen Rekonstruktionsfälle

Die Analyse der Vorzeichenwerte bei der Auswertung aller Fälle zeigte, dass sich die Extremwerte der Rekonstruktionsfehler häufiger bei den mikrovaskulären Rekonstruktionen fanden. Dies führte zu der Überlegung, zunächst nur die alloplastischen Rekonstruktionen einer jeden Fallgruppe zu untersuchen.

Datenanalyse der Absolutwerte

Unter ausschließlicher Berücksichtigung der rein alloplastisch (Allopl.) rekonstruierten Unterkiefer lag der Median für den Absolutwert aus allen Distanzdifferenzmessungen (A bis F) bei der Standardmethode bei 1,75 Millimetern. Der Medianwert der PSMP-Methode lag hier bei 0,80 Millimetern. Der Unterschied wurde im Mann-Whitney-U-Test mit p=0,001 als hochsignifikant zu Gunsten der PSMP-Gruppe bewertet (Tabelle 11). Somit konnte auch hier der PSMP-Methode eine größere Rekonstruktionsgenauigkeit zugesprochen werden. Innerhalb der Standardmethode-Gruppe lag der maximale Fehler bei 13,77 Millimetern, innerhalb der PSMP-Gruppe lediglich bei 4,57 Millimetern. Der minimale Fehler lag in beiden Gruppen bei 0,03 Millimetern. Hier war wieder eine geringere Streuung der einzelnen Werte innerhalb der PSMP-Gruppe im Vergleich zur Standardgruppe zu erkennen. Beide Gruppen wiesen hierbei nur vier Ausreißerwerte auf.

Im Vergleich der jeweiligen Einzeldistanzdifferenzmessungen zeigte sich in der PSMP-Gruppe für die Distanzen A, B, C, E und F ein kleinerer Absolutwert als bei der Standardmethode-Gruppe (Tabelle 10). Dieser war allerdings nur für die Distanz F signifikant (p=0,021) unterschiedlich. Die Werte für die Distanzen D lagen hingegen bei der Standardmethode niedriger als bei der PSMP-Methode wobei auch hier der Unterschied nicht signifikant war (Tabelle 11). Datenausreißer waren die Ausnahme und traten in beiden Untersuchungsgruppen auf.

Eine Auflistung der errechneten Signifikanzwerte nach dem Mann-Whitney-U-Test sowohl für die Gesamtheit aller Distanzdifferenzmessungen als auch für die einzelnen Distanzdifferenzmessungen A bis F findet sich in Tabelle 11.

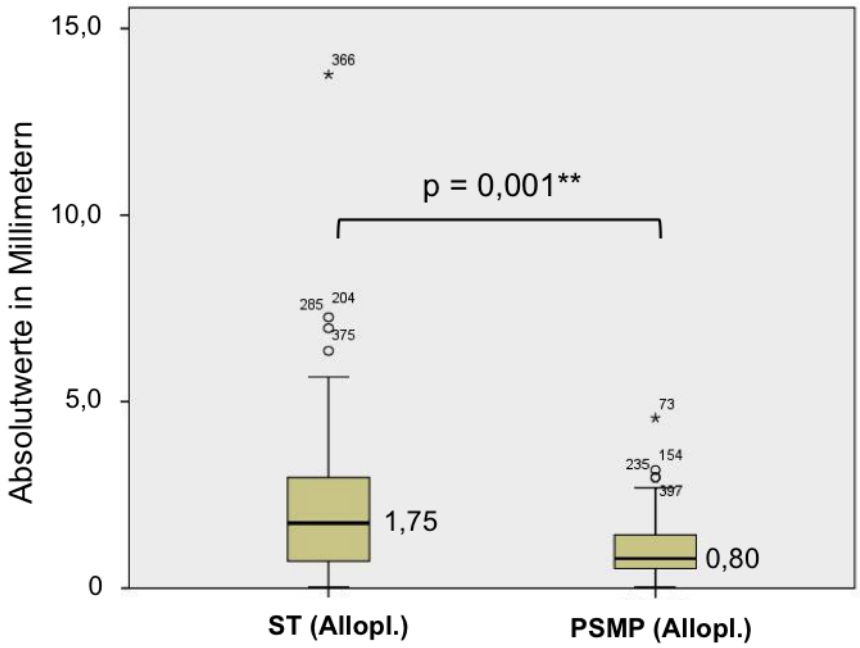


Abbildung 18: Box-Whisker-Plot der **Absolutwerte** zum Vergleich der rein alloplastischen Rekonstruktionen zwischen der **P**atienten-**S**pezifische-**M**andibula-**P**latte-Methode [PSMP (Allopl.)] und der Standardmethode [ST (Allopl.)]. Die y-Achse zeigt hierbei die Absolutwerte (in mm) als Median aus allen Distanzdifferenzen A bis F an. Die genannten Zahlen neben den Box-Plots beziehen sich auf den Medianwert der Gruppe. Den Signifikanzwert des Medianwertunterschiedes gibt die Zahl nach „p“ an. Die beiden Sterne bedeuten, dass definitionsgemäß ein hochsignifikanter Unterschied vorliegt. In beiden Gruppen liegen jeweils vier Ausreißerwerte vor. Die Messwerte der PSMP-Methode erscheinen einer deutlich geringeren Streuung zu unterliegen. (Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2004 - 2015).

Tabelle 10: Deskriptive Statistik der **Absolutwerte** der einzelnen Distanzdifferenzen A bis F im Median nach Untersuchungsgruppen unterschieden. ST(Allopl.) steht hier für alle Fälle in der Gruppe mit rein alloplastischer Rekonstruktionsmethode nach der Standardmethode. PSMP (Allopl.) ist die Fallgruppe mit rein alloplastischen Rekonstruktionen nach der **P**atienten-**S**pezifische-**M**andibula-**P**latte-Methode. Aufgelistet ist ebenfalls die Fallzahl sowie die Extremwerte der Vermessung (Min = Minimalwert; Max = Maximalwert), die Spannweite als auch der Interquartilsabstand in Millimetern. (Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2004 - 2015).

	Distanz	n	Median	Max.	Min.	Spannweite	Interquartils-abstand
PSMP (Allopl.)	A	10	1,05	4,57	0,40	4,17	0,97
ST (Allopl.)	A	21	1,67	5,67	0,30	5,37	2,35
PSMP (Allopl.)	B	9	0,93	3,17	0,50	2,67	0,77
ST (Allopl.)	B	21	1,93	5,60	0,30	5,30	2,60
PSMP (Allopl.)	C	10	1,33	2,97	0,27	2,70	1,75
ST (Allopl.)	C	17	1,53	6,97	0,03	6,93	1,55
PSMP (Allopl.)	D	8	1,02	2,70	0,30	2,40	1,31
ST (Allopl.)	D	13	0,67	7,27	0,07	7,20	1,98
PSMP (Allopl.)	E	7	0,63	2,97	0,07	2,90	1,27
ST (Allopl.)	E	11	2,03	13,77	0,40	13,37	3,00
PSMP (Allopl.)	F	7	0,57	1,13	0,03	1,10	0,60
ST (Allopl.)	F	7	3,43	5,27	0,03	5,23	2,17

Tabelle 11: Signifikanz nach dem Mann-Whitney-U-Test der **Absolutwerte** im Vergleich der PSMP-Methode mit der Standardmethode. „Total“ beschreibt hierbei den Signifikanzwert im Falle der Datenzusammenfassung aller sechs Distanzen. ST (Allopl.) steht hier für alle Fälle in der Gruppe mit rein alloplastischer Rekonstruktionsmethode nach der Standardmethode. PSMP (Allopl.) ist die Fallgruppe mit primären alloplastischen Rekonstruktionen nach der **P**atienten-**S**pezifische-**M**andibula-**P**latte-Methode. Bei der Festlegung des Signifikanzniveaus gilt: $p \leq 0{,}005$ = hochsignifikant, $p \leq 0{,}05$ = signifikant und $p > 0{,}05$ = nicht signifikant; (Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2004 - 2015).

	p-Werte im Mann-Whitney-U-Test der Absolutwerte im Vergleich PSM (Allopl.) versus ST (Allopl.)	**Signifikanzniveau**
Total	0,001	hochsignifikant zu Gunsten PSMP
Distanz A	0,472	nicht signifikant
Distanz B	0,081	nicht signifikant
Distanz C	0,340	nicht signifikant
Distanz D	0,744	nicht signifikant
Distanz E	0,070	nicht signifikant
Distanz F	0,021	signifikant zu Gunsten PSMP

Datenanalyse der Vorzeichenwerte

Bei der Betrachtung der Vorzeichenwerte aus den beiden Untersuchungsgruppen mit rein alloplastischer Rekonstruktion ergab sich für die Gesamtheit der Distanzdifferenzen bei der Standardmethode ein Median für den Vorzeichenwert von -0,83 Millimetern. In der Gesamtheit kam es also auch hier unter den rein alloplastischen Rekonstruktionen zu einer Verschmälerung der Unterkieferspange. In der PSMP-Gruppe belief sich der Vorzeichenwert auf 0,10 Millimeter und blieb damit im Vergleich zur Gruppe mit allen Rekonstruktionsfällen gleich. Der Unterschied war in diesem Vergleich mit p=0,041 signifikant. Die Streuung nahm in beiden Gruppen mit rein alloplastischer Rekonstruktion im Vergleich zur Gesamtgruppe ab und lag bei der PSMP-Methode niedriger als bei der Standardmethode. Die einzelnen Werte können aus Tabelle 12 abgelesen werden.

Bei der Betrachtung der Einzeldistanzdifferenzen zeigte sich auch hier, dass in der Standardmethode-Gruppe der Median für den Vorzeichenwert für alle Distanzen A bis F jeweils im negativen Bereich lag. Innerhalb der PSMP-Gruppe lagen lediglich die Distanzdifferenzen A und C im negativen Bereich, die Werte für die Distanzdifferenzen B, D, E und F lagen im positiven Bereich. Es fanden sich wieder in beiden Gruppen Streuungen der Werte sowohl in den positiven als auch negativen Bereich. Auch hier konnte eine geringere Streuung in der PSMP-

Gruppe verzeichnet werden. Die Unterschiede waren für die Distanzdifferenz F mit p=0,047 signifikant. Einen Datenüberblick gibt Tabelle 13.

Im Mann-Whitney-U-Test zur Bestimmung des Signifikanzwertes beim Vergleich der Vorzeichenwerte zwischen den Gruppen konnte bei der Betrachtung aller Distanzdifferenzmessungen ein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Bei der Betrachtung der Einzeldistanzdifferenzen konnte nur für die Distanz F ein signifikanter Unterschied zugunsten der PSMP-Methode, wie in Tabelle 14 zu sehen, errechnet werden.

Tabelle 12: Deskriptive Statistik der **Vorzeichenwerte** aller gemessenen Distanzdifferenzen im Median nach Untersuchungsgruppen sortiert. ST (Allopl.) steht hier für alle Fälle mit rein alloplastischer Rekonstruktion nach der Standardmethode. PSMP (Allopl.) sind alle Fälle mit rein alloplastischen Rekonstruktion nach der **P**atienten-**S**pezifische-**M**andibula-**P**latte-Methode. Aufgelistet ist ebenfalls die Fallzahl sowie die Extremwerte der Vermessung (Min. = Minimalwert; Max. = Maximalwert), die Spannweite als auch der Interquartilsabstand in Millimetern. (Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2004 - 2015).

	n	Anzahl der Messwerte	Median	Max.	Min.	Spannweite	Interquartils-abstand
ST (Allopl.)	22	90	-0,83	5,67	-13,77	19,43	3,58
PSMP (Allopl.)	10	51	0,10	2,13	-4,57	6,70	1,87

Tabelle 13: Deskriptive Statistik der **Vorzeichenwerte** aus den einzelnen Distanzdifferenzen A bis F nach Untersuchungsgruppen sortiert. ST(Allopl.) steht hier für alle Fälle in der Gruppe mit rein alloplastischer Rekonstruktionsmethode nach der Standardmethode. PSMP (Allopl.) ist die Fallgruppe mit rein alloplastischen Rekonstruktionen nach der **P**atienten-**S**pezifische-**M**andibula-**P**latte-Methode. Aufgelistet ist ebenfalls die Fallzahl sowie die Extremwerte der Vermessung (Min = Minimalwert; Max = Maximalwert), die Spannweite als auch der Interquartilsabstand in Millimetern. (Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2004 - 2015).

	Distanz	n	Median	Max.	Min.	Spannweite	Interquartils-abstand
PSMP (Allopl.)	A	10	-0,73	1,27	-4,57	5,83	2,59
ST (Allopl.)	A	21	-0,60	5,67	-4,23	9,90	3,89
PSMP (Allopl.)	B	9	0,50	1,03	-3,17	4,20	2,25
ST (Allopl.)	B	21	-0,83	5,60	-4,33	9,93	4,17
PSMP (Allopl.)	C	10	-0,07	2,13	-2,97	5,10	2,84
ST (Allopl.)	C	17	-0,83	2,23	-6,97	9,20	3,18
PSMP (Allopl.)	D	8	0,40	1,50	-2,70	4,20	2,73
ST (Allopl.)	D	13	-0,67	0,50	-7,27	7,77	2,45
PSMP (Allopl.)	E	7	0,10	1,37	-2,97	4,33	1,33
ST (Allopl.)	E	11	-1,03	2,83	-13,77	16,60	5,33
PSMP (Allopl.)	F	7	0,37	1,13	-0,70	1,83	1,53
ST (Allopl.)	F	7	-3,23	3,43	-5,27	8,70	4,57

Tabelle 14: Test auf Signifikanz der Unterschiede bei den **Vorzeichenwerten** nach dem Mann-Whitney-U-Test im Vergleich der PSMP-Methode (Allopl.) mit der Standardmethode (Allopl.). „Total“ beschreibt hierbei das Signifikanzniveau im Falle der Datenzusammenfassung aller sechs Distanzdifferenzen. ST (Allopl.) steht hier für alle Fälle in der Gruppe mit rein alloplastischer Rekonstruktionsmethode. PSMP-Methode (Allopl.) sind alle Fälle mit alloplastischer Rekonstruktion nach der **P**atienten-**S**pezifische-**M**andibula-**P**latte-Methode. Bei der Festlegung des Signifikanzniveaus gilt: $p \leq 0{,}005$ = hochsignifikant, $p \leq 0{,}05$ = signifikant und $p > 0{,}05$ = nicht signifikant; (Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2004 - 2015).

	p-Werte im Mann-Whitney-U-Test der Vorzeichenwerte im Vergleich PSMP (Allopl.) versus ST (Allopl.)	**Signifikanzniveau**
Total	0,041	signifikant zu Gunsten PSMP
Distanz A	1,000	nicht signifikant
Distanz B	0,700	nicht signifikant
Distanz C	0,616	nicht signifikant
Distanz D	0,089	nicht signifikant
Distanz E	0,277	nicht signifikant
Distanz F	0,047	signifikant zu Gunsten PSMP

Analyse der Rekonstruktionsfehlerart bezogen auf den Einzelfall

Bei der Betrachtung des Balkendiagramm (Abbildung 19) zur Veranschaulichung des Ausmaßes und der Art des Rekonstruktionsfehlers zeigte sich in der Standardmethode-Gruppe eine Tendenz zur Verschmälerung der Unterkieferspange mit 14 von 22 Fällen. Darunter enthielten 5 Fälle einen Rotationsfehler. In der PSMP-Gruppe war das Verhältnis mit 4 zu 6 Fällen zugunsten einer Verbreiterung der Mandibula verschoben. Ein Großteil der Fälle (5 von 6) enthielt hier einen Rotationsfehler.

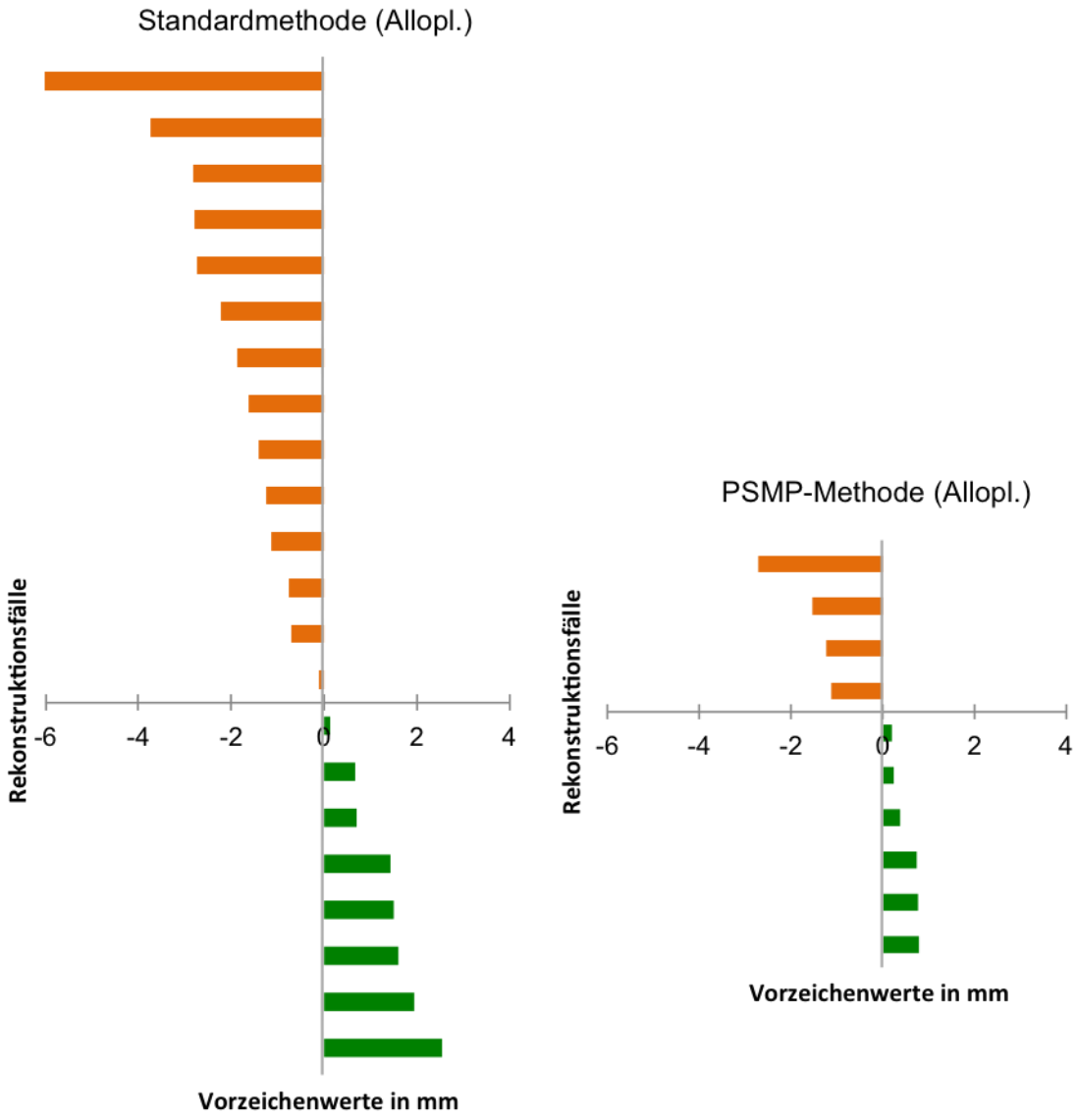


Abbildung 19: Graphische Darstellung des Rekonstruktionsfehlers je Einzelfall im Vergleich der rein alloplastischen Rekonstruktion (Allopl.) innerhalb der Standardmethode-Gruppe und der Gruppe der **P**atienten-**S**pezifische-**M**andibula-**P**latte-Methode (PSMP). Die Balkendiagramme zeigen die einzelnen Vorzeichenwerte eines jeden Rekonstruktionsfalles. Die Werte wurden von oben nach unten in aufsteigender Reihenfolge nach Fehlerausmaß sortiert. Hierbei ist zu unterscheiden, ob bei dem jeweiligen Fall eine Verschmälerung (orange) oder eine Verbreiterung (grün) stattgefunden hat. Die x-Achse zeigt hier die Werte für die Vorzeichenwerte an und schneidet die y-Achse dort wo sich die Werte vom negativen in den positiven Bereich umkehren. (Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2004 - 2015).

3.6. Ursachenanalyse für Rekonstruktionsungenauigkeiten

Um mögliche Gründe für ein ungenaues Rekonstruktionsergebnis zu benennen, wurde die Rekonstruktionsgenauigkeit in Abhängigkeit von Faktoren wie dem Ausmaß der Unterkieferresektion (Fragestellung 3), der Art der primären Rekonstruktion (Fragestellung 5) und der anatomische Positionierung der Operationsschablonen gebracht. Diese Analyse war für die Standardmethode natürlich nur für die Fragestellung 3 möglich.

3.6.1. Rekonstruktionsfehler in Abhängigkeit des Resektionsausmaßes

Nach Berechnung und Vergleich des Rekonstruktionsfehlers zwischen den jeweiligen Fallgruppen wurden innerhalb der Gruppen die Rekonstruktionsfehler anhand ihrer durchschnittlichen Absolutwerte getrennt nach Anzahl der resezierten Unterkiefersegmente analysiert. In jeder Gruppe gab es dabei Fälle mit zwei bis vier Resektionssegmenten wie in Kapitel 2.3 definiert. In der PSMP-Gruppe waren drei Fälle mit nur einem Resektionssegment vorhanden. Abbildung 20 zeigt den Median der erhobenen Absolutwerte in Millimetern für die jeweilige Segmentanzahl.

Für die PSMP-Methode zeigte sich unter Betrachtung aller Fälle ein zunehmend ungenaues Rekonstruktionsergebnis bei Zunahme der Segmentanzahl. Für die Standardmethode konnte diese Tendenz nicht festgestellt werden.

Auffallend war, dass bei vergleichbaren Fallzahlen in der Gruppe mit drei und vier Resektionssegmenten für beide Rekonstruktionsmethoden ein nahezu identisches Rekonstruktionsergebnis vorlag. In der Gruppe mit einem oder zwei Resektionssegmenten waren die Rekonstruktionsergebnisse der PSMP-Methode hingegen tendenziell besser als die Rekonstruktionen mit zwei Resektionssegmenten der Standardmethode. Eine statistische Analyse hat hierbei aufgrund zu geringer Fallzahlen nicht stattgefunden, so dass hier nur von einer Tendenz gesprochen werden darf.

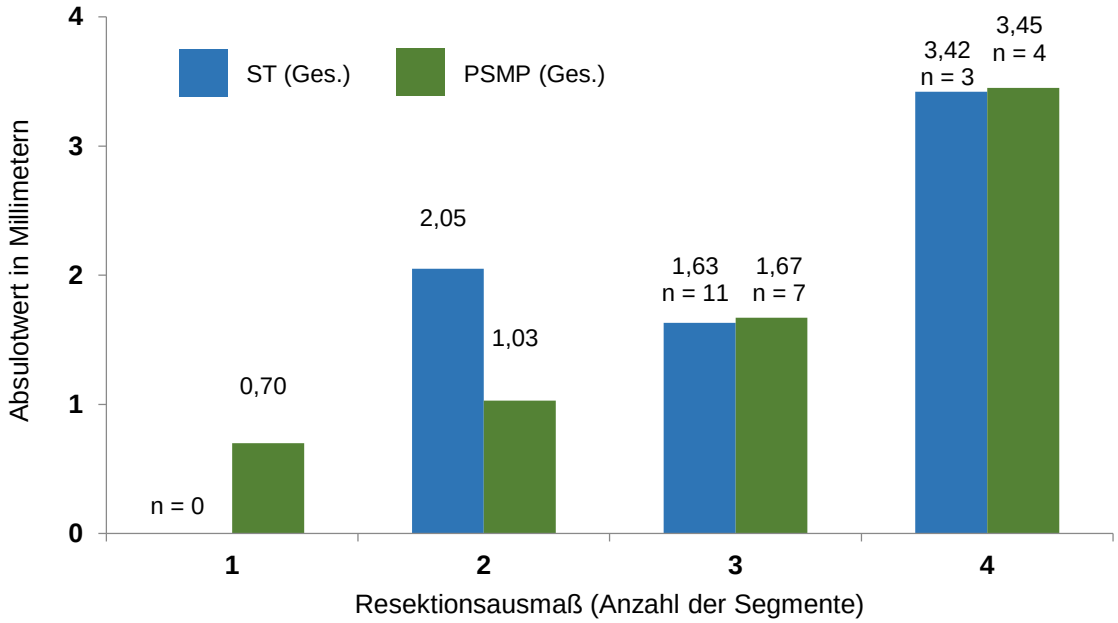


Abbildung 20: Rekonstruktionsfehler in Abhängigkeit des Resektionsausmaßes innerhalb der Standardmethode-Gruppe [ST(Ges.)] in blau und der Gruppe der **P**atienten-**S**pezifische-**M**andibula-**P**latte-Methode [PSMP(Ges.)] in grün. Hierbei wurde immer die Gesamtheit einer jeden Rekonstruktionsgruppe untersucht (Ges.) und somit nicht zwischen alloplastischer und mikrovaskulärer Rekonstruktionsmethode unterschieden. Die x-Achse zeigt die jeweilige Anzahl der Resektionssegmente. Die y-Achse gibt hierbei den Rekonstruktionsfehler in Form des medianen Absolutwertes je Segmentgruppe in Millimetern an. Angegeben mit „n“ sind die jeweiligen erfassten Fallzahlen je Gruppe. Bei „n=0“ lagen keine Fälle innerhalb der jeweiligen Gruppe vor. (Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2004 - 2015).

Bei der oben gezeigten Analyse muss berücksichtigt werden, dass hier sowohl alloplastische als auch mikrovaskuläre Rekonstruktionsfälle in die Daten mit einfließen. Da wie bereits beschrieben innerhalb der Standardmethode-Gruppe überwiegend Fälle mit alloplastischen Rekonstruktionen vorlagen, wurde auch hier nochmals das Ausmaß des Rekonstruktionsfehlers in Abhängigkeit der Anzahl an Resektionssegmenten nur für die alloplastischen Fälle jeder Methode untersucht (Abbildung 21). Dabei fand sich für alle Segmentbereiche innerhalb der PSMP-Methode ein nahezu gleiches Rekonstruktionsergebnis mit nur einer geringen Tendenz zur Verschlechterung der Rekonstruktionsgenauigkeit bei Zunahme der Segmentanzahl. Die Fallzahlen waren hierbei zwischen den einzelnen Segmentbereichen zwar ausgeglichen aber sehr gering, so dass eine statistische Analyse hier nicht stattfand. Für die Standardmethode wurden in jedem Segmentbereich unterschiedliche Rekonstruktionsgenauigkeiten erzielt ohne dass hier ein Zusammenhang oder eine Tendenz ausgemacht werden konnte.

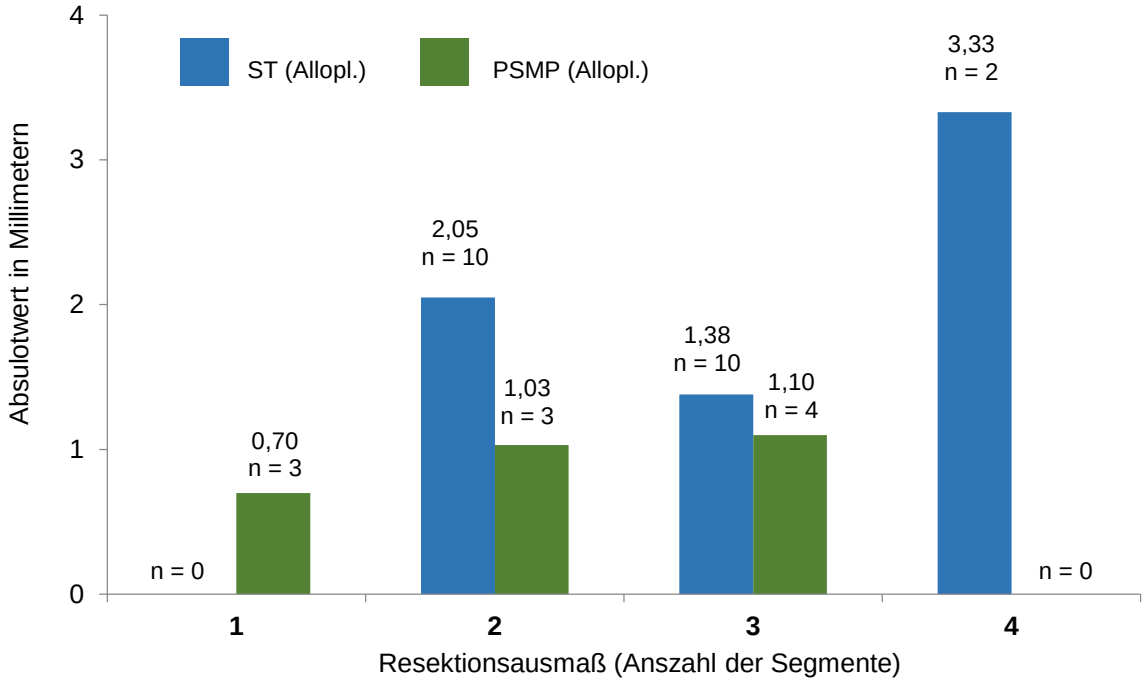


Abbildung 21: Rekonstruktionsfehler in Abhängigkeit des Resektionsausmaßes innerhalb der Standardmethode-Gruppe [ST(Allopl.)] in blau und der Gruppe der **P**atienten-**S**pezifische-**M**andibula-**P**latte-Methode [PSMP(Allopl.)] in grün unter alleiniger Einbeziehung der rein alloplastischen Rekonstruktionsfälle (Allopl.). Die y-Achse gibt hierbei den Rekonstruktionsfehler in Form des medianen Absolutwertes je Segmentgruppe in Millimetern an. Angegeben mit „n“ sind die jeweiligen erfassten Fallzahlen je Gruppe. Bei „n=0“ lagen keine Fälle innerhalb der jeweiligen Gruppe vor. (Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2004 - 2015).

Abschließend wurden anhand dieser Darstellungsweise die alloplastischen Fälle mit den mikrovaskulären Rekonstruktionen nur aus der PSMP-Gruppe verglichen (Abbildung 22).

Die Ergebnisse für die rein alloplastischen Rekonstruktionsfälle wurden bereits beschrieben. Im Vergleich mit den mikrovaskulären Rekonstruktionsfällen zeigte sich nun im Falle von zwei Resektionssegmenten zwischen den Untersuchungsgruppen ein nahezu identisches Rekonstruktionsergebnis wenngleich hier in der mikrovaskulären Gruppe nur ein Fall vorlag und deshalb keine verallgemeinernde Aussage getroffen werden kann. In der Gruppe mit drei Resektionssegmenten hingegen fand sich bei einer ausgeglichen Fallzahl ein deutlicher Unterschied im Rekonstruktionsergebnis mit einer klaren Tendenz zur Verschlechterung innerhalb der mikrovaskulär rekonstruierten Fallgruppe. In der Gruppe mit vier Resektionssegmenten zeigte sich bei diesen Fällen nochmals eine Tendenz zur weiteren Verschlechterung des Rekonstruktionsergebnisses. Da hier

aber keine alloplastischen Rekonstruktionsfälle mehr vorlagen, entsprach dies dem Ergebnis aus Abbildung 20. Eine statistische Analyse erübrigte sich hier ebenfalls.

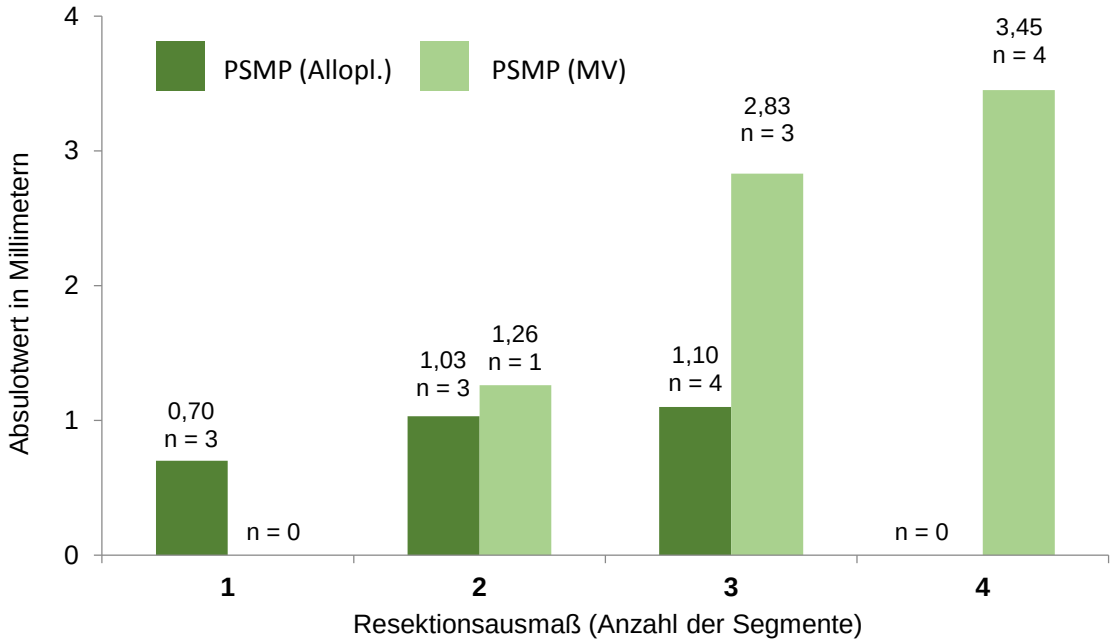


Abbildung 22: Rekonstruktionsfehler in Abhängigkeit des Resektionsausmaßes innerhalb der Gruppe der **P**atienten-**S**pezifische-**M**andibula-**P**latte-Methode getrennt nach rein alloplastischen Rekonstruktionsfällen in grün [PSMP (Allopl.)] und mikrovaskulär-knöchernen Rekonstruktionen in hellgrün [PSMP (MV)]. Die x-Achse zeigt die jeweilige Anzahl der Resektionssegmente. Die y-Achse gibt hierbei den Rekonstruktionsfehler in Form des medianen Absolutwertes je Segmentgruppe in Millimetern an. Angegeben mit „n“ sind die jeweiligen erfassten Fallzahlen je Gruppe. Bei „n=0“ lagen keine Fälle innerhalb der jeweiligen Gruppe vor. (Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2013 - 2015).

3.6.2. Rekonstruktionsfehler in Abhängigkeit der Rekonstruktionsart innerhalb der PSMP-Gruppe

Die gefundenen Ergebnisse aus Abbildung 22 ließen annehmen, dass unabhängig von der Anzahl der resezierten Segmente, ein Unterschied im Rekonstruktionsergebnis zwischen alloplastischen und mikrovaskulären Rekonstruktionen mit der PSMP-Methode vorliegt. Gerade bei der Gruppe mit drei Resektionssegmenten wurde dies deutlich.

Um diesen Unterschied innerhalb der PSMP-Gruppe zwischen rein alloplastischer Rekonstruktionsmethode (Allopl.) und mikrovaskulärer Rekonstruktionsmethode (MV) herauszuarbeiten, wurde die PSMP-Gruppe nach diesen Vorgaben getrennt und nochmals statistisch ausgewertet. Die Gruppe der rein alloplastischen Rekonstruktionsfälle nach der PSMP-Methode wurde im vorangehenden Kapitel bereits beschrieben, so dass nun nur noch die Gruppe der mikrovaskulären Rekonstruktionsfälle der PSMP-Methode [PSMP(MV)] und deren Unterscheidung zur alloplastischen Fallgruppe dargestellt wird.

Datenanalyse der Absolutwerte

Bei der Betrachtung der Absolutwerte zeigte sich ein deutlicher Unterschied im Median des Absolutwertes aus den Distanzdifferenzmessungen. Der Unterschied war mit 0,80 Millimetern für die alloplastischen Rekonstruktionsfälle nach der PSMP-Methode und mit 2,47 Millimetern für die mikrovaskulär-knöchernen Rekonstruktionsfälle deutlich zu Gunsten der rein alloplastischen Rekonstruktion verschoben. Dieser konnte als hochsignifikant berechnet werden. Hierbei war auch die Streuung der Messwerte in der alloplastischen Rekonstruktionsgruppe deutlich geringer. Der maximale Rekonstruktionsfehler betrug in der rein alloplastischen Rekonstruktionsgruppe 4,57 Millimeter, in der mikrovaskulären Rekonstruktionsgruppe 4,40 Millimetern und war somit annähern identisch. Innerhalb der mikrovaskulären Rekonstruktionsgruppe betrug der Interquartilsabstand jedoch 2,91 Millimeter wohingegen in der rein alloplastischen Rekonstruktionsgruppe lediglich ein Interquartilsabstand von 1,00 Millimetern zu finden war. Die erhobenen Messwerte sind in Abbildung 23 graphisch dargestellt.

Bei der Betrachtung die Absolutwerte der Einzeldistanzdifferenzen ergaben sich für alle Distanzen A bis F immer kleinere Werte bei der rein alloplastischen Rekonstruktion. Ein signifikanter Unterschied lag jedoch nur bei der Distanzdifferenz E mit p=0,030 vor. Die Streuung der Messwerte erschien ebenfalls in dieser Gruppe deutlich geringer ausgeprägt zu sein. Tabelle 15 zeigt tabellarisch die erhobenen Messwerte. In Tabelle 16 wird der errechnete Signifikanzwert für den Distanzdifferenzunterschied sowohl für Gesamtheit aller Messungen als auch für jede Einzeldistanzdifferenz tabellarisch dargestellt.

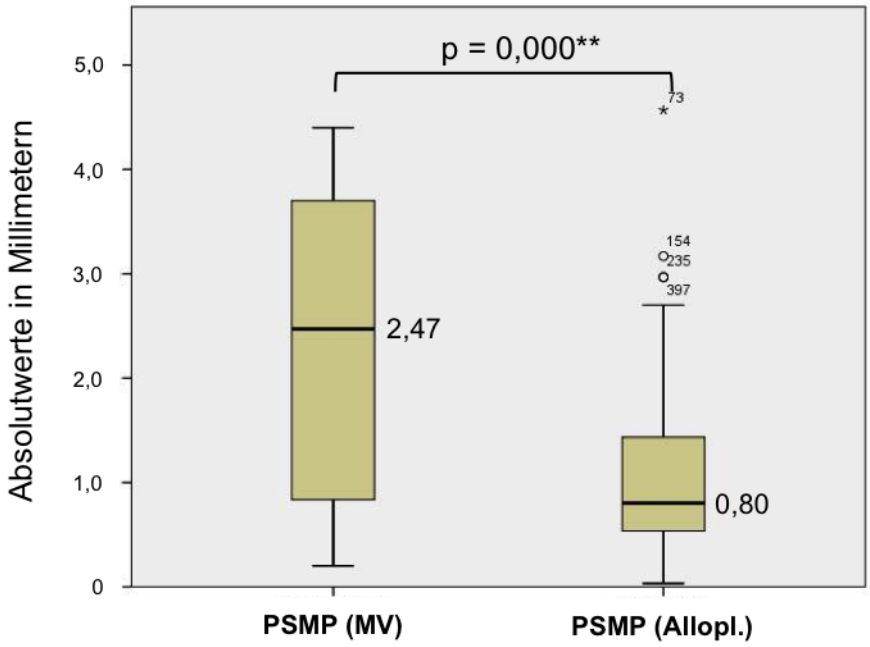


Abbildung 23: Box-Whisker-Plot der Absolutwerte zum Vergleich der rein alloplastischen Rekonstruktionen nach der **P**atienten-**S**pezifische-**M**andibula-**P**latte-Methode [PSMP (Allopl.)] und der mikrovaskulär-knöchernen Rekonstruktionen [PSMP (MV)] nach der PSMP-Methode. Die y-Achse zeigt hierbei die Absolutwerte (in mm) aus den gesamten Distanzdifferenzen (A bis F) an. Die genannten Zahlen neben den Box-Plots beziehen sich auf den Medianwert der Gruppe. Den Signifikanzwert des Medianwertunterschiedes gibt die Zahl nach „p“ an. Die beiden Sterne bedeuten, dass definitionsgemäß ein hochsignifikanter Unterschied vorliegt. In der alloplastisch rekonstruierten Gruppe liegen drei Ausreißerwerte vor. Die Messwerte dieser Gruppe erscheinen aber einer geringeren Streuung zu unterliegen. (Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2013 - 2015).

Tabelle 15: Deskriptive Statistik der Absolutwerte der einzelnen Distanzdifferenzen A bis F im Median nach Untersuchungsgruppen unterschieden. PSMP (Allopl.) steht hier für die gesamte Gruppe mit rein alloplastischer Rekonstruktion nach der **P**atienten-**S**pezifische-**M**andibula-**P**latte-Methode. PSMP (MV) ist die gesamte Fallgruppe mit den mikrovaskulär-knöchernen Rekonstruktionen nach der PSMP-Methode. Aufgelistet ist die „Fallzahl" als die Anzahl der eingeflossenen Messwerte sowie die Extremwerte (Min. = Minimalwert; Max. = Maximalwert), die Spannweite als auch der Interquartilsabstand in Millimetern. (Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2013 - 2015).

	Distanz	n	Median	Max.	Min.	Spannweite	Interquartils-abstand
PSMP (Allopl.)	A	10	1,05	4,57	0,40	4,17	0,97
PSMP (MV.)	A	8	2,87	3,90	0,70	3,20	2,71
PSMP (Allopl.)	B	9	0,93	3,17	0,50	2,67	0,77
PSMP (MV.)	B	8	2,37	4,10	0,57	3,53	3,28
PSMP (Allopl.)	C	10	1,33	2,97	0,27	2,70	1,75
PSMP (MV.)	C	7	3,13	4,40	0,37	4,03	3,20
PSMP (Allopl.)	D	8	1,02	2,70	0,30	2,40	1,31
PSMP (MV.)	D	4	2,03	3,60	0,20	3,40	2,73
PSMP (Allopl.)	E	7	0,63	2,97	0,07	2,90	1,27
PSMP (MV.)	E	3	3,70	3,97	2,17	1,80	-
PSMP (Allopl.)	F	7	0,57	1,13	0,03	1,10	0,60
PSMP (MV.)	F	4	0,82	2,60	0,20	2,40	1,88

Tabelle 16: Signifikanz nach dem Mann-Whitney-U-Test der Absolutwerte im Vergleich der rein alloplastischen [PSMP (Allopl.)] mit den mikrovaskulär–knöchernen [PSMP (MV)] Rekonstruktionsfällen nach der **P**atienten-**S**pezifische-**M**andibula-**P**latte-Methode. „Total" beschreibt hierbei den Signifikanzwert im Falle der Datenzusammenfassung aller sechs Distanzdifferenzen. Bei der Festlegung des Signifikanzniveaus gilt: $p \leq 0{,}005$ = hochsignifikant, $p \leq 0{,}05$ = signifikant und $p > 0{,}05$ = nicht signifikant; (Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2013 - 2015).

	p-Werte im Mann-Whitney-U-Test der Absolutwerte im Vergleich PSMP (Allopl.) versus PSMP (MV)	**Signifikanzniveau**
Total	0,000	hochsignifikant zu Gunsten PSMP (Allopl.)
Distanz A	0,168	nicht signifikant
Distanz B	0,247	nicht signifikant
Distanz C	0,057	nicht signifikant
Distanz D	0,396	nicht signifikant
Distanz E	0,030	hochsignifikant zu Gunsten PSMP (Allopl.)
Distanz F	0,506	nicht signifikant

Datenanalyse der Vorzeichenwerte

Bei der Analyse der Vorzeichenwerte ergab sich für den Median der Vorzeichenwerte in der mikrovaskulären Rekonstruktionsgruppe ein Wert von -0,18 Millimeter. Dies deutet tendenziell auf eine Verschmälerung der Unterkieferspange hin. Der Wert für die rein alloplastische Rekonstruktionsgruppe wurde bereits mit 0,10 Millimeter beschrieben. Ein signifikanter Unterschied ergab sich nicht. Die Streuung der Messwerte war in der alloplastischen Rekonstruktionsgruppe deutlich geringer ausgeprägt. Einen Überblick über die erhobenen Messwerte gibt Tabelle 17.

Bei der Betrachtung der Einzeldistanzdifferenzen und deren Vorzeichenwerten variierten die beiden Gruppen innerhalb jeder Distanz A bis F zwischen positiven und negativen Werten. Ein klarer Trend innerhalb einer Fallgruppe ist nicht zu erkennen. Die Werte der rein alloplastischen Rekonstruktionsgruppe schienen einer geringeren Streuung der Messwerte zu unterliegen. Die einzelnen Messwerte zeigt Tabelle 18. Ein signifikanter Unterschied konnte weder in der Gesamtheit noch bei der Betrachtung der einzelnen Distanzdifferenzunterschiede errechnet werden (Tabelle 19).

Tabelle 17: Deskriptive Statistik der Vorzeichenwerte aller gemessenen Distanzdifferenzen im Median nach Untersuchungsgruppen sortiert. PSMP (Allopl.) steht hier für die Untergruppe mit rein alloplastischen Rekonstruktion nach der **P**atienten-**S**pezifische-**M**andibula-**P**latte-Methode. PSMP (MV) ist die gesamte Fallgruppe mit den mikrovaskulär-knöchernen Rekonstruktionen nach der PSMP-Methode. Aufgelistet ist die Fallzahl sowie die Extremwerte (Min. = Minimalwert; Max. = Maximalwert), die Spannweite als auch der Interquartilsabstand in Millimetern. (Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2013 - 2015).

	n	Anzahl der Messwerte	Median	Max.	Min.	Spannweite	Interquartils-abstand
PSMP (Allopl.)	10	51	0,10	2,13	-4,57	6,70	1,87
PSMP (MV)	8	34	-0,18	4,33	-2,60	8,73	5,19

Tabelle 18: Deskriptive Statistik der Vorzeichenwerte der einzelnen Distanzdifferenzen A bis F im Median nach Untersuchungsgruppen unterschieden. PSMP (Allopl.) steht hier für die gesamte Gruppe mit der rein alloplastischen Rekonstruktion nach der **P**atienten-**S**pezifische-**M**andibula-**P**latte-Methode. PSMP (MV) ist die gesamte Fallgruppe mit den mikrovaskulär-knöchernen Rekonstruktionen nach der PSMP-Methode. Aufgelistet ist die Fallzahl „n“ als die Anzahl der eingeflossenen Messwerte sowie die Extremwerte (Min. = Minimalwert; Max. = Maximalwert), die Spannweite als auch der Interquartilsabstand in Millimetern. (Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2013 - 2015).

	Distanz	n	Median	Max.	Min.	Spannweite	Interquartils-abstand
PSMP (Allopl.)	A	10	-0,73	1,27	-4,57	5,83	2,59
PSMP (MV.)	A	8	0,23	3,90	-3,63	7,53	6,11
PSMP (Allopl.)	B	9	0,50	1,03	-3,17	4,20	2,25
PSMP (MV.)	B	8	-0,67	3,80	-4,10	7,90	5,68
PSMP (Allopl.)	C	10	-0,07	2,13	-2,97	5,10	2,84
PSMP (MV.)	C	7	0,37	4,33	-4,40	8,73	7,27
PSMP (Allopl.)	D	8	0,40	1,50	-2,70	4,20	2,73
PSMP (MV.)	D	4	1,30	3,60	-1,67	5,27	4,50
PSMP (Allopl.)	E	7	0,10	1,37	-2,97	4,33	1,33
PSMP (MV.)	E	3	2,17	3,97	-3,70	7,67	-
PSMP (Allopl.)	F	7	0,37	1,13	-4,57	1,83	1,53
PSMP (MV.)	F	4	-0,23	0,97	-2,60	3,57	2,89

Tabelle 19: Signifikanz nach dem Mann-Whitney-U-Test der Vorzeichenwerte im Vergleich der rein alloplastischen [PSMP (Allopl.)] mit den mikrovaskulär–knöchernen [PSMP (MV)] Rekonstruktionsfällen nach der **P**atienten-**S**pezifische-**M**andibula-**P**latte-Methode. „Total“ beschreibt hierbei den Signifikanzwert im Falle der Datenzusammenfassung aller sechs Distanzdifferenzen. Bei der Festlegung des Signifikanzniveaus gilt: $p \leq 0{,}005$ = hochsignifikant, $p \leq 0{,}05$ = signifikant und $p > 0{,}05$ = nicht signifikant; (Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2013 - 2015).

	p-Werte im Mann-Whitney-U-Test der Vorzeichenwerte im Vergleich PSMP (Allopl.) versus PSMP (MV)	**Signifikanzniveau**
Total	0,660	nicht signifikant
Distanz A	0,398	nicht signifikant
Distanz B	0,700	nicht signifikant
Distanz C	0,961	nicht signifikant
Distanz D	0,396	nicht signifikant
Distanz E	0,425	nicht signifikant
Distanz F	0,393	nicht signifikant

Analyse der Rekonstruktionsfehlerart bezogen auf den Einzelfall

Bei der Analyse der Rekonstruktionsfehler unter Betrachtung der Vorzeichenwerte für jeden Einzelfall einer Rekonstruktionsgruppe zeigt sich in diesem Vergleich der Gruppen ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Verschmälerung und Verbreiterung der Mandibula (Abbildung 24). In der Gruppe der alloplastischen Rekonstruktionsfälle nach der PSMP-Methode fanden sich 6 Fälle mit

postoperativer Verbreiterung und 4 Fälle mit postoperativer Verschmälerung der Mandibula. Innerhalb der Gruppe der mikrovaskulären Rekonstruktionsfälle nach der PSMP-Methode lag das Verhältnis von postoperativer Verbreiterung zu Verschmälerung bei 1:1. Dabei waren sowohl im Falle einer postoperativen Verbreiterung als auch einer Verschmälerung je 2 Fälle mit Rotationsfehler vertreten. Hierbei war der tatsächliche Rekonstruktionsfehler im Einzelfall innerhalb der mikrovaskulären Rekonstruktionsgruppe stärker ausgeprägt als in der rein alloplastischen Rekonstruktionsgruppe. Im Falle einer Verbreiterung der alloplastischen Rekonstruktionsgruppe fand sich in 5 von 6 Fällen auch ein Rotationsfehler. In der alloplastischen Rekonstruktionsgruppe mit den postoperativen Verschmälerungen war nur 1 von 4 Fällen mit einem Rotationsfahler versehen.

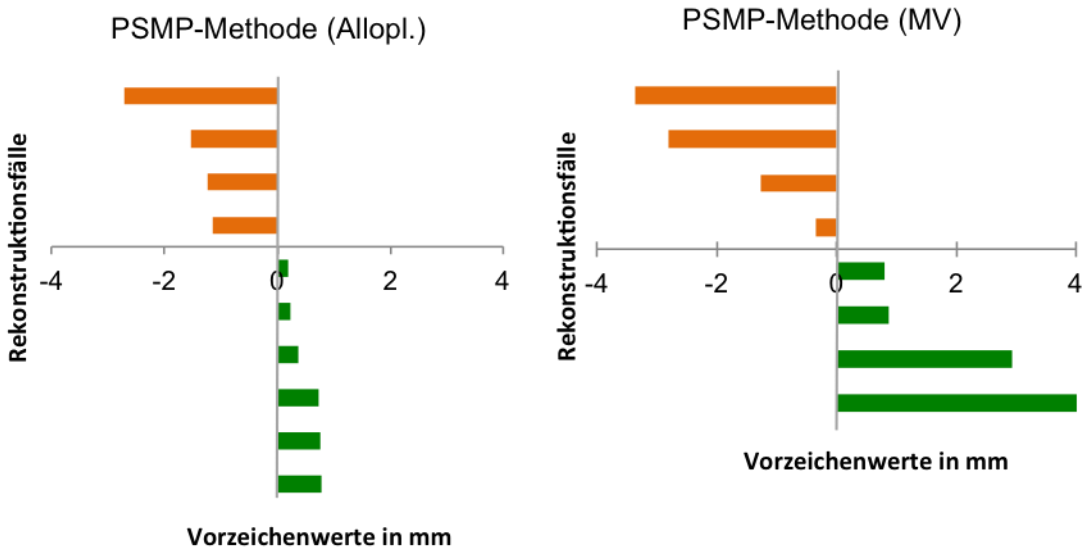


Abbildung 24: Graphische Darstellung des Rekonstruktionsfehlers je Einzelfall im Vergleich der rein alloplastischen Rekonstruktion (Allopl.) und der mikrovaskulär-knöcherneren Rekonstruktion (MV) der Gruppe der **P**atienten-**S**pezifische-**M**andibula-**P**latte-Methode. Die Balkendiagramme zeigen die einzelnen Vorzeichenwerte eines jeden Rekonstruktionsfalles an. Die Werte wurden von oben nach unten in aufsteigender Reihenfolge sortiert. Hierbei ist zu unterscheiden, ob bei dem jeweiligen Fall eine Verschmälerung (orange) oder eine Verbreiterung (grün) stattgefunden hat. Die x-Achse zeigt hier die Werte für die Vorzeichenwerte an und schneidet die y-Achse dort wo sich die Werte vom negativen in den positiven Bereich umkehren. (Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2013 - 2015).

3.6.3. Rekonstruktionsgenauigkeit und Schablonenpositionierung

Um diesen Zusammenhang zu untersuchen, wurden die Fälle der PSMP-Methode nach ihrem Rekonstruktionsfehler anhand der Absolutwerte in aufsteigender Reihenfolge tabellarisch sortiert (Tabelle 21) und in drei Fehlerbereiche wie in Kapitel 2.6 beschrieben (Rekonstruktionsfehler kleiner 1 Millimeter, zwischen 1 und 2 Millimetern, größer als 2 Millimeter) eingeteilt. Anschließend wurde ausgewertet, in wie vielen Fällen hier je Gruppe das Merkmal einer Resektion im Bereich des Processus condylaris mit gleichzeitigem Fixieren der Platte mit lediglich drei Osteosyntheseschrauben vorlag. Das zu untersuchende Merkmal „Resektion vom Ramus mandibulae (RM)“ kam in den entsprechenden Fällen jeweils nur einseitig vor. Das Merkmal der Fixierung mit nur drei Osteosyntheseschrauben lag bis auf den Fall 41 bei allen Fällen mit einer Resektion des Ramus mandibulae vor (Fall 26, 30, 31, 34, 38).

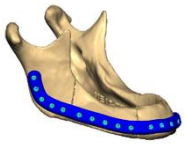
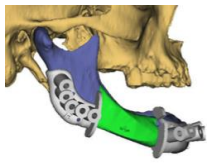
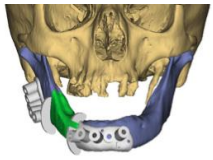
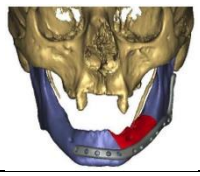
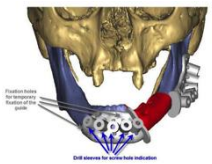
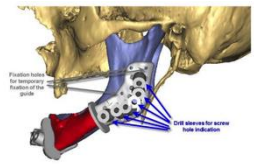
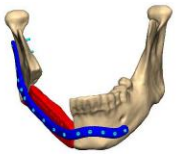
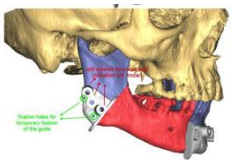
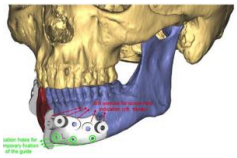
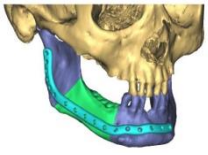
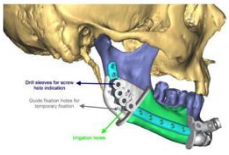
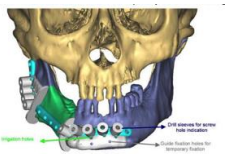
Anhand dieser Einteilung konnten - zufällig drei gleich große - Untergruppen generiert werden. Hierbei zeigte sich, dass in der Gruppe mit Rekonstruktionsfehlern unter einem Millimeter kein Fall das Merkmal der Resektion des Ramus mandibulae aufwies. In der Gruppe mit Rekonstruktionsfehlern von mehr als zwei Millimetern fanden sich zwei Fälle mit diesem Merkmal. In der Gruppe mit einem Rekonstruktionsfehler über zwei Millimetern waren drei Fälle mit einer Resektion des Ramus mandibulae vertreten.

Diese Analyse lässt also vermuten, dass ein Zusammenhang zwischen der anatomischen Schablonenpositionierung und dem Rekonstruktionsfehler besteht. Eine statistische Berechnung konnte aufgrund der geringen Fallzahlen nicht durchgeführt werden. Es muss bei der Interpretation der Daten allerdings auch berücksichtigt werden, dass eine Korrelation mit dem Resektionsausmaß und der Anzahl der mikrovaskulären Rekonstruktionsfälle besteht (Tabelle 20). Für diese wurde eine geringere Rekonstruktionsgenauigkeit bereits im vorangehenden Kapitel beschrieben.

Tabelle 20: Zusammenfassung der erhobenen Daten zur Rekonstruktionsgenauigkeit unter Berücksichtigung der Schablonenpositionierung. Mit zunehmendem Rekonstruktionsfehler nimmt nach dieser Einteilung auch die Anzahl der Fälle mit Schablonen- und Platten-Positionierung im Bereich des Processus condylaris mit gleichzeitiger Plattenfixierung mit nur noch drei Osteosyntheseschrauben in diesem Bereich zu. Gleichzeitig nimmt parallel dazu die Anzahl der Resektionssegmente ebenfalls zu. (Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2013 - 2015).

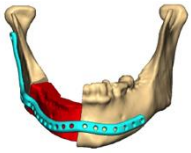
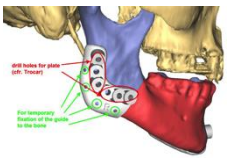
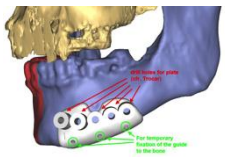
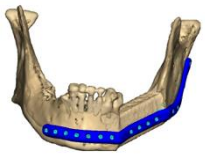
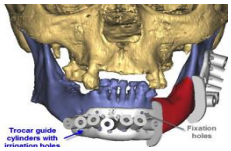
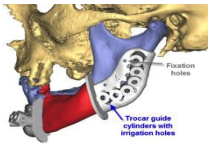
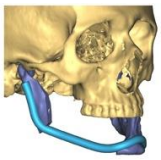
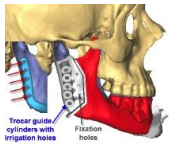
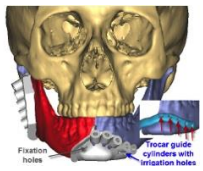
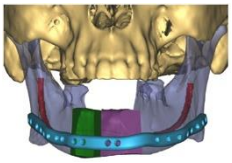
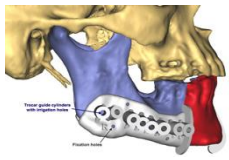
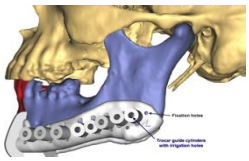
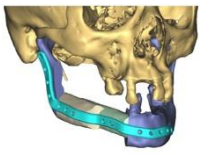
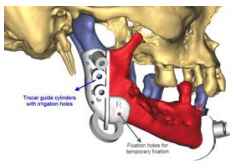
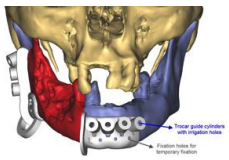
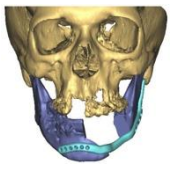
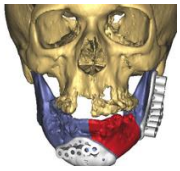
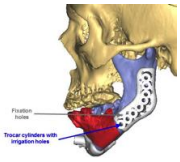
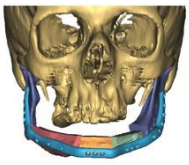
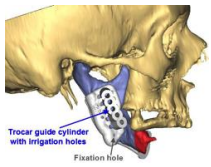
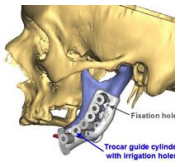
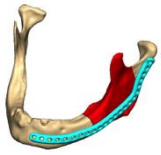
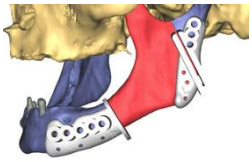
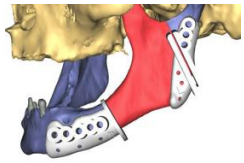
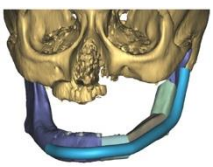
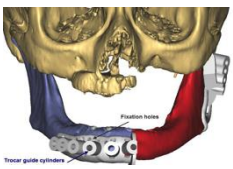
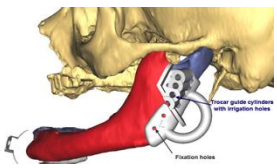
Rekonstruktionsfehler	**< 1 Millimeter**	**1 – 2 Millimeter**	**> 2 Millimeter**
Resektionen im Processus condylaris mit 3 Osteosyntheseschrauben	**0**	**2**	**3**
Fallzahlen	6	6	6
davon rein alloplastische Rekonstruktionen	6	3	1
davon mikrovaskuläre Rekonstruktionen	0	3	5
Resektionssegmente im Gruppendurchschnitt	1,67	2,83	3,50

Tabelle 21: Graphische Darstellung der einzelnen Rekonstruktionsfälle der PSMP-Methode sortiert nach Absolutwert des Rekonstruktionsfehlers in aufsteigender Reihenfolge. PSMP steht hierbei für die Rekonstruktion mit der **P**atienten-**S**pezifischen-**M**andibula-**P**latte. Zur weiteren Analyse wurden die Fälle in drei Gruppen eingeteilt: Rekonstruktionsfehler kleiner 1 Millimeter (grün), zwischen 1 und 2 Millimetern (gelb) und größer 2 Millimeter (rot). **Fall** = Fallnummer (analog zu Tabelle 1 und Tabelle 4); **Plattenausdehnung** zeigt eine Übersicht der Plattenausdehnung, **Rechte Schablone** und **Linke Schablone** zeigt die Positionierung der jeweiligen Osteotomie und Bohrschablone am Unterkiefer. **Absolutwert** gibt den errechneten absoluten Fehler in Millimetern an. Die Fälle 26, 30, 31, 34 und 38 weisen das Merkmal einer Resektion des Ramus mandibuluae und Fixierung des Guides mit nur noch 3 Osteosyntheseschrauben im Processus condylaris auf und sind blau hervorgehoben. (Bundeswehrkrankenhaus Ulm, 2013 - 2015).

Fall	**Absolutwert (mm)**	**Plattenausdehnung**	**Rechte Schablone**	**Linke Schablone**
28	**0,57**			
32	**0,67**			
27	**0,73**			
29	**0,74**			

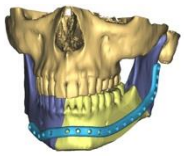
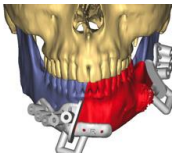
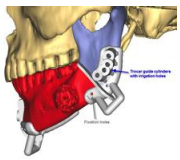
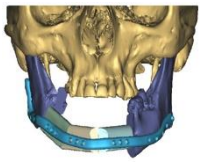
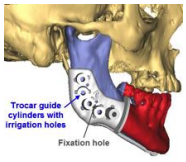
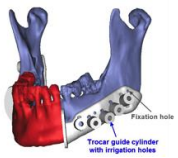
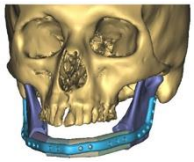
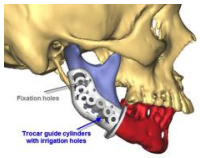
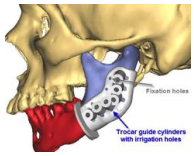
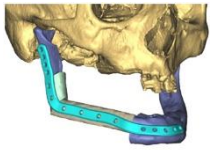
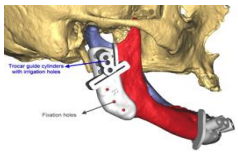
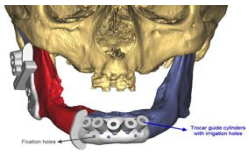
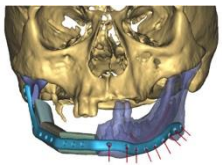
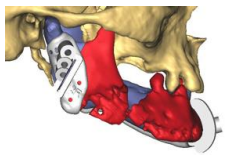
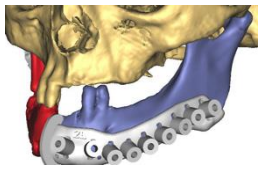
Fortsetzung auf der Folgeseite

Fortsetzung Tabelle 21

25	**0,91**			
37	**0,99**			
41	**1,14**			
36	**1,26**			
30	**1,31**			
42	**1,37**			
39	**1,5**			
26	**1,54**			
34	**2,04**			

Fortsetzung auf der Folgeseite

Fortsetzung Tabelle 21

33	**2,73**			
40	**2,82**			
35	**2,93**			
31	**3,36**			
38	**4,01**			

3.7. Ergebniszusammenfassung

Abschließend sollen die in der Einleitung genannten **Fragestellungen der Arbeit** (Kapitel 1.3) kurz und zusammenfassend beantwortet werden:

1. ***Ist die Rekonstruktion des Unterkiefers mit der PSMP-Methode genauer als mit der Standardmethode?***

Die PSMP-Methode stellte nach der Definition dieser klinischen Studie eine signifikant genauere Methode zur Rekonstruktion des Unterkiefers dar als die Standardmethode. Beim Vergleich eines nahezu identischen Patientenklientels und annähernd gleichen Resektionsausmaßen zeigte die PSMP-Methode unter Betrachtung aller untersuchten Rekonstruktionsfälle geringere Ungenauigkeiten.

2. ***Ist die rein alloplastische Rekonstruktion des Unterkiefers mit der PSMP-Methode genauer als mit der Standardmethode?***

Auch bei der alleinigen Betrachtung von rein alloplastischen Rekonstruktionsfällen fand sich ein signifikant genaueres Rekonstruktionsergebnis mit der PSMP-Methode als mit der Standardmethode.

3. ***Hat das Ausmaß der Unterkieferteilresektion sowohl bei der Standardmethode als auch bei der PSMP-Methode einen Einfluss auf das Rekonstruktionsergebnis?***

Bei der PSMP-Methode fand sich tendenziell eine direkte Korrelation zwischen dem Ausmaß der Unterkieferresektion und dem Rekonstruktionsfehler, wenngleich diese aufgrund zu geringer Fallzahlen nicht statistisch weiter untersucht werden konnte. Bei der Standardmethode konnte dieser Zusammenhang nicht festgestellt werden. Hier erschien der Rekonstruktionsfehler weitestgehend unabhängig vom Ausmaß der Resektion, wobei auch hier aufgrund zu geringer Fallzahlen keine statistische Auswertung stattfand.

4. ***Ist die Rekonstruktionsgenauigkeit der PSMP-Methode abhängig davon, ob eine rein alloplastische oder eine primär mikrovaskulär-knöcherne Rekonstruktion durchgeführt wurde?***

Unterteil man die PSMP-Gruppe nochmals in diese beiden Untergruppen, so zeigte sich ein hochsignifikant besseres Rekonstruktionsergebnis in der rein alloplastischen Rekonstruktionsgruppe. Die größten Fehler innerhalb der PSMP-Gruppe lagen im Bereich der mikrovaskulären Rekonstruktion.

5. ***Beeinflusst die anatomische Position der Operationsschablonen die Rekonstruktionsgenauigkeit?***

Bei der Analyse des Zusammenhanges zwischen Positionierung der Operationsschablonen und dem Ausmaß der Rekonstruktionsungenauigkeit zeigte sich, dass das Ausmaß des Rekonstruktionsfehlers tendenziell mit dem Merkmal einer Resektion und Schablonenpositionierung im Bereich des Ramus mandibulae korrelierte. Statistisch konnte dieser mögliche Zusammenhang aufgrund zu geringer Fallzahlen nicht belegt werden.

4. Diskussion

4.1. Vergleichbarkeit der Fallgruppen

Die erhobenen Daten wurden anhand der zu untersuchenden Fragestellung nach Art der Rekonstruktionsmethode in verschiedene Gruppen unterteilt. Zunächst wurden die Gruppen hinsichtlich Patientenklientel, Krankheitsspektrum, Resektionsausmaß und Quantität der erhobenen Messwerte auf Strukturgleichheit überprüft.

Auswahl der Fallgruppen

Nach Auswahl aller in Frage kommenden Patientenfälle erfolgte die Aufteilung in zwei Gruppen. Die eine, die nach der Standardmethode (ST) operiert wurde und in eine weitere, die mit patientenspezifischen Platten unter Anwendung von Übertragungsschlüsseln rekonstruiert wurde (PSMP). In beiden Gruppen konnten hinreichend große Fallzahlen (ST mit n = 24 und PSMP mit n = 18) generiert werden um einen statistischen Vergleich anzustellen. Eine weitere Unterteilung innerhalb einer Gruppe in alloplastische und mikrovaskuläre Rekonstruktionsfälle erschien nur innerhalb der PSMP-Gruppe sinnvoll, da hier ebenfalls ein nahezu ausgeglichenes Verhältnis mit statistisch noch verwertbaren Fallzahlen vorlag. Innerhalb der Standardmethode-Gruppe waren nur zwei mikrovaskuläre Rekonstruktionsfälle vertreten, welche daher nicht als eigene Gruppe untersucht wurden. Innerhalb der Gruppe der mikrovaskulären Rekonstruktionen wurde nicht weiter nach Spenderregion des Transplantates unterschieden, da die Entnahmestelle des Knochentransplantates aus Sicht des Autors keinen Unterschied hinsichtlich der Rekonstruktionsgenauigkeit darstellt. Die Rekonstruktionsmethode am Unterkiefer ändert sich hierbei nicht, da ausschließlich die Rekonstruktionsplatte für die Genauigkeit verantwortlich ist und bei allen verwendeten Transplantaten die Übertragung der geplanten Plattenposition in den Operationssitus mittels Übertragungsschablonen davon unberührt bleibt.

Vergleichbarkeit von primären und sekundären Rekonstruktionen

In der Gruppe der Standardmethode wurden ausschließlich primäre Unterkieferrekonstruktionen berücksichtigt. Sekundäre Rekonstruktionen wurden ausgeschlossen, da hier bereits eine Unterkieferteilresektion stattfand und die Operationstechnik in wesentlichen Punkten von der einer primären Rekonstruktion abweicht. Häufig handelt es sich hierbei um Plattenwechsel nach Plattenfrakturen oder sekundäre mikrovaskuläre Rekonstruktionen, bei denen die Osteosyntheseplatte nach der Standardmethode ohnehin frei Hand an die mutmaßlich anatomisch korrekte Position angebracht wurde. Die korrekte Reposition der verbleibenden Kieferknochen ist somit dem Gefühl des Chirurgen überlassen und unterscheidet sich maßgeblich von der Technik der Plattenkonfektionierung per Hand bei der Standardmethode.

Für die PSMP-Methode kann dieser kategorische Ausschluss von sekundären Rekonstruktionen nicht übernommen werden. Auch in Fällen von Zweitoperationen wurde als Ausgangssituation, auf dessen Grundlage die Planung erfolgte, das präoperative-CT verwendet, bei dem noch keine Unterkieferresektion durchgeführt worden war. Somit hat diese Methode, unabhängig von den bereits stattgefundenen Rekonstruktionsmaßnahmen den Anspruch, die ursprüngliche Stellung der aufsteigenden Unterkieferäste und deren Kondylenposition wiederherzustellen. In die Studie wurden insgesamt drei Sekundärrekonstruktionen in die PSMP-Gruppe eingeschlossen, von denen zwei Rekonstruktionsergebnisse im Durchschnitt der jeweiligen Gruppe lagen. Ein Fall von einer sekundären Fibularekonstruktion lieferte allerdings das schlechteste Rekonstruktionsergebnis innerhalb der gesamten PSMP-Gruppe und muss wahrscheinlich als Ausreißer gewertet werden. Hier muss angemerkt werden, dass theoretisch die Umsetzung der Rekonstruktionsplanung sowohl bei primären als auch sekundären Rekonstruktionen nach der PSMP-Methode die selbe ist. Dennoch zeigt die klinische Erfahrung, dass sekundäre Rekonstruktionsfälle aufgrund von Vernarbungen im Gewebe mit erhöhter Weichteilspannung und eingeschränkten Platzverhältnissen im Operationssitus deutlich anspruchsvoller zu operieren sind.

Alters- und Geschlechterverteilung sowie Krankheitsspektrum

Das Durchschnittsalter zum Zeitpunkt der Operation entsprach in allen Gruppen dem in der Literatur genannten Durchschnittsalter von 55 bis 65 Lebensjahren bei Männern und 50 bis 75 Lebensjahren bei Frauen für die Erstmanifestation eines oralen Plattenepithelkarzinoms [27]. Auch wenn das untersuchte Patientenklientel nicht ausschließlich aufgrund eines Plattenepithelkarzinoms eine Unterkieferteilresektion erhielt, ist dieser Vergleich aus Sicht des Autors zulässig, da der überwiegende Anteil der Patienten in beiden Gruppen aufgrund dieser Diagnose therapiert wurde. Die Osteoradionekrose als zweithäufigste Ursache in beiden Untersuchungsgruppen stellt dazu eine langfristige Komplikation der Therapie dieses Krankheitsbildes dar. Diese war in der PSMP-Gruppe häufiger vertreten, was das um 4,5 Jahre höhere Durchschnittsalter in dieser Patientengruppe erklären könnte. Zwischen Erstdiagnose eines Mundhöhlenkarzinoms und Unterkieferteilresektion aufgrund einer Osteoradionekrose vergeht naturgemäß eine Zeitspanne in dieser Größenordnung. Auch das Geschlechterverhältnis spiegelt die Angaben in der Literatur für das orale Plattenepithelkarzinom wider, nach der die Erkrankung zum überwiegenden Teil Männer betrifft. Andere aktuelle Studien zu diesem Thema kommen hier zu einem jüngeren Durchschnittsalter der Patienten, wobei hier entweder eine Patientenminderheit oder gar kein Patient an einem oralen Plattenepithelkarzinom erkrankt war [18, 39, 42, 58].

Die einzelnen Untersuchungsgruppen scheinen somit einen allgemeinen Bevölkerungsdurchschnitt zu vertreten und miteinander vergleichbar zu sein.

Analyse des Resektionsausmaßes

Um die Vergleichbarkeit der einzelnen Untersuchungsgruppen weiter zu bewerten, wurde das durchschnittliche Resektionsausmaß je Gruppe bestimmt. Hier erfolgte eine in dieser Studie eingeführte Unterteilung in vier Segmente je Unterkieferseite, die einzeln oder in Kombination reseziert werden konnten. Diese Einteilung folgte weniger anatomischen Gebietszuordnungen als den praktischen Erfahrungen bei der Durchführung einer Unterkieferkontinuitätsresektion. Die Einteilung wurde dazu so gewählt, dass die Segmente bezogen auf die Resektionsstrecke des

Unterkiefers je Segment in etwa gleich groß waren. So wurde es ermöglicht, einen Durchschnittswert je Fallgruppe zu erhalten, anhand dessen die Gruppen nach Umfang der Resektion bemessen werden konnten. Es muss kritisch angemerkt werden, dass hierbei natürlich jedes Segment als gleich relevant für die Schwierigkeit der Rekonstruktion und den Einfluss auf den Rekonstruktionsfehler gewertet wurde. Die operative Erfahrung als auch die Resultate der hier vorliegenden Arbeit zeigten allerdings, dass dies nicht uneingeschränkt bezogen auf den Schwierigkeitsgrad und die Genauigkeit der Rekonstruktion so der Fall ist.

Betrachtet man die einzelnen Untersuchungsgruppen hinsichtlich des Resektionsausmaßes, findet man im Vergleich der Standardmethode-Gruppe mit der PSMP-Gruppe sowohl in der Gesamtheit als auch unter ausschließlicher Betrachtung der rein alloplastischen Rekonstruktionsfälle ein nahezu identisches durchschnittliches Resektionsausmaß je Fall.

In der Fallgruppe der mikrovaskulären Rekonstruktionen mittels PSMP-Methode als auch in der Standardmethode-Gruppe lag das durchschnittliche Resektionsausmaß um je ein Segment höher, was sich dadurch erklären lässt, dass die Indikation zur mikrovaskulären Rekonstruktion in der Regel bei entsprechend größeren Defekten gestellt wird.

4.2. Messmethode und Aussagekraft zur Rekonstruktionsgenauigkeit

Insgesamt wurden prä- und postoperativ acht Distanzen vermessen und daraus die Differenz als Indikator für die Rekonstruktionsgenauigkeit bestimmt. Auch wenn für die statistische Analyse stets der Median aus allen Distanzen errechnet wurde, ist es aus Sicht des Autors wichtig, die Verteilung der Messwerte A bis F innerhalb der Fallgruppen zu analysieren. Während die Distanzen A und B in nahezu allen Fällen bestimmt werden konnten, da die Landmarken auf dem in dieser Studie nicht mitresezierten Kondylus lagen, sind die Distanzen D, E und F nur in der Hälfte bis zu zwei Dritteln der Fälle bestimmbar gewesen. Hierzu ist anzumerken, dass sich ein Rekonstruktionsfehler, entstanden durch eine Innen- oder Außenrotation im Kiefergelenk als Rotationszentrum, in den Distanzen A und

B weniger gravierend darstellt als beispielsweise im Bereich des Processus coronoideus (Distanz E), der weiter entfernt vom Rotationszentrum liegt. Da bei ausgeprägten Resektionen bzw. Resektionen im Bereich des Kieferwinkels und des aufsteigenden Unterkieferastes viele der Messpunkte wegfielen und häufig nur die Punkte A, B und C übrigblieben, könnte ein möglicherweise größerer Rekonstruktionsfehler bedingt durch das Ausmaß der Resektion hier nicht mehr im vollen Umfang erfasst werden. Es könnte dadurch sogar ein besseres Rekonstruktionsergebnis vorgetäuscht werden als tatsächlich erzielt wurde. Dass bei den Rekonstruktionen – gerade innerhalb der PSMP-Gruppe – häufig auch Rotationsfehler auftraten, konnte diese Arbeit deutlich hervorheben. Hier liegen die Schwächen und gleichzeitig die Grenzen dieser Methode zur absoluten Genauigkeitsbestimmung. Die Vergleichsbewertung (Standard vs. PSMP) bleibt davon nach Ansicht des Autors jedoch unbenommen, da auch in der Standardmethode-Gruppe Rotationsfehler vertreten waren.

Vergleicht man die Standardmethode mit der PSMP-Methode nach der Anzahl der vermessenen Distanzen je Fall, dann stellt sich ein ausgeglichenes Verhältnis ein und der Autor stellt fest, dass auch unter diesen Gesichtspunkten ein Vergleich der Gruppen zulässig und realistisch erscheint. Nicht erkannte oder als zu gering eingeschätzte Rekonstruktionsfehler durch zu wenig erhobene Distanzmessungen eines Falles gleichen sich hierbei zwischen den Gruppen wieder aus. In beiden Gruppen wurden aber in der Mehrheit der untersuchten Fälle sechs Distanzen bestimmt. In der PSMP-Gruppe wurden nie weniger als drei Distanzen vermessen, so dass abschließend geschlussfolgert wird, dass mit der hier verwendeten Analyse-Methode eine konkrete und realistische Aussage über die Rekonstruktionsgenauigkeit getroffen werden konnte.

4.3. Fehleranalyse der angewandten Messmethode

Systematischer Fehler bei der Vermessung von CT-Datensätzen

Die in dieser Studie vorliegenden Daten wurden mittels Distanzmessungen an CT-Datensätzen generiert. Bei der Interpretation dieser Werte muss berücksichtigt werden, dass ein CT-Bild nicht die exakte anatomische Wirklichkeit wiedergibt.

Dennoch konnten bereits in den 80er Jahren Studien hierzu zeigen, dass bei Vermessungen innerhalb eines CT-Datensatzes die Abweichungen von der Realität im Durchschnitt zwischen 0,28% [36] und etwa 0,9% [7] lagen. Dies entspräche bei Interkondylarabständen von etwa 100 Millimetern dementsprechend einem Fehler von 0,28 bis 0,9 Millimetern. Somit wird diese Methode der kephalometrischen Analyse bereits 1992 durch Witzman et al. als verlässlich und genau beschrieben [67]. Dies korreliert auch mit den Angaben über das tatsächliche räumliche Auflösungsvermögen von medizinischen Computertomographen von etwa 0,6 Millimetern [1]. Hierzu muss noch erwähnt werden, dass der wahre und anatomisch korrekte Messwert im Grunde bei einer Differenzmessung zwischen post- und präoperativen CT-Daten nur eine untergeordnete Rolle spielt. Der systematische Messfehler aufgrund von Bilddatenungenauigkeit hingegen kann sich bei diesen Vergleichen jedoch entweder gegenseitig aufheben oder aber auch summieren, ohne dass dies zu erkennen wäre. Die CT-Datensätze eines jeden Patientenfalles wurden in dieser Studie in relativ geringen zeitlichen Abständen zwischen prä- und postoperativer Bildgebung und immer an jeweils denselben CT-Geräten erstellt. Allerdings wurden in der Standardmethode-Gruppe Fälle mit eingeschlossen, die bis ins Jahr 2004 zurückreichten und somit an einem CT-Gerät der älteren Generation untersucht worden waren. Hier weisen 12 Fälle Rekonstruktionsschichten mit drei Millimetern auf. Hier ist deshalb mit einem stärkeren Partialvolumeneffekt zu rechnen als bei Schichtdicken von einem Millimeter. Da bei dieser Messmethode stets anatomische Landmarken an Knochengrenzflächen und Knochenspitzen definiert wurden, ist dieser Effekt möglicherweise in dieser Gruppe von Bedeutung. Innerhalb der PSMP-Gruppe wurden dagegen alle Fälle in kurzen zeitlichen Abständen zwischen prä- und postoperativer Bildgebung an einem aktuellen Computertomographen untersucht, bei dem die Rekonstruktionen nie oberhalb einer Schichtstärke von zwei Millimetern lagen. Zwei Drittel der verwendeten Datensätze der PSMP-Gruppe hatten sogar Schichtstärken von einem Millimeter. Der Partialvolumeneffekt erscheint dem Autor hier eher vernachlässigbar. Es muss also prinzipiell davon ausgegangen werden, dass bei den Fällen der PSMP-Gruppe aufgrund eines als geringer anzunehmenden systematischen Messfehlers im Durchschnitt exaktere und reproduzierbarere Messergebnisse erzielt werden konnten als bei der Standardmethode-Gruppe.

Diesen Einfluss jedoch noch genauer zu bestimmen oder gar auszublenden erscheint dem Autor in diesem Studiendesign aber nicht weiter möglich und in seinem absoluten Ausmaß auf den Vergleich der Gruppen über einen Medianwert jedoch auch nicht entscheidend. Die breitere Streuung der Messwerte innerhalb der Standardmethode-Gruppe könnte diese Tatsache allerdings durchaus miterklären.

Auch wenn wie bereits erwähnt die tatsächlichen anatomischen Distanzen eine untergeordnete Rolle spielen, müssen die hier angegebenen Daten zur Genauigkeit von CT-Datensätzen bei der Vermessung von anatomischen Landmarken ins Verhältnis mit den minimalen und maximalen Rekonstruktionsfehlern gesetzt werden. So wird in beiden Fallgruppen ein minimaler Fehler von 0,03 Millimetern (Absolutwert) bestimmt. Dieser Wert kann unter Berücksichtigung der hier angenommenen Ungenauigkeiten der CT-Datensätze sicher nur als eine sehr genaue Rekonstruktion ohne nennenswerte bzw. klinisch erkennbare Abweichung interpretiert werden.

Systematischer Fehler bei der Herstellung patientenspezifischer Implantate

Bei der Bewertung der Rekonstruktionsgenauigkeit innerhalb der PSMP-Methode unter Analyse des Fehlers aus den erhobenen CT-Datensätzen muss weiterhin bedacht werden, dass diese Datensätze nicht nur zur Vermessung der Distanzen dienen und hier mögliche Fehler in der Methode an sich zu suchen sind, sondern dass auf diesen Datensätzen auch die gesamte virtuelle Rekonstruktionsplanung basiert. Hier sind wesentliche Zwischenschritte wie Segmentierung des Unterkiefers zum Generieren von STL-Daten zur dreidimensionalen Darstellung nötig, welche ebenfalls fehlerbehaftet sein können. Exakte Genauigkeitsangaben hierzu sind rar und nur schwer zu bestimmen [13].

Weiterhin ist von einem systematischen Fehler im mechanischen Herstellungsprozess der patientenspezifischen Rekonstruktionsplatten auszugehen. Auch wenn diese Verfahren strengen Qualitätskontrollen unterliegen, ist hier von einer minimalen Abweichung der tatsächlichen Osteosyntheseplatte von der eigentlichen, virtuell-geplanten Osteosyntheseplatte auszugehen [4, 52, 63].

Zu den hier verwendeten patientenspezifischen Implantaten liegen konkrete Daten der Firma DePuy Synthes vor, die mit Hilfe von standardisierten Messverfahren (ZEISS CMM / Blue Light Imaging) zur Genauigkeitsbestimmung vor Auslieferung gewonnen wurden. Die Analyse erfolgt über die Vermessung von definierten Punkten auf der Plattenoberfläche in einem x/y/z-Koordinatensystem. Die Daten wurden dann mit den Werten des geplanten virtuellen Modells verglichen. Dabei wurden die durchschnittlichen Abweichungen von Schraubenlochpositionen als auch Abweichungen auf der Implantatoberfläche vermessen. Diese Werte wurden dann jeweils in Millimetern bestimmt und als Mittelwert für die Genauigkeit der jeweiligen Osteosyntheseplatte ausgegeben. Dabei zeigten sich Abweichungen des Zentrums der Lochposition von durchschnittlich 0,121 Millimetern (n=9, SD=0,054mm) und Abweichungen der Implantatoberfläche von im Mittel 0,234 Millimetern (n=13, SD=0,191mm). Betrachtet man hierbei lediglich die dem Knochen anliegende Implantatfläche, so findet sich noch eine mittlerer Abweichung von 0,096 Millimetern (n=13, SD=0,093). Da hier allerdings nur die absolute Abweichung im Mittelwert je Platte bestimmt wurde, und diese sich nicht in ein räumliches Koordinatensystem einordnen lässt, können hierbei nur schwer Rückschlüsse auf den Einfluss dieses Fehlers auf die hier vermessenen postoperativen transversalen Distanzabweichungen im Unterkiefer gezogen werden. Allerdings muss zur Kenntnis genommen werden, dass also schon alleine im Herstellungsprozess ein minimaler Fehler Auftritt, der zur Ungenauigkeit im Rekonstruktionsergebnis führen muss, und welcher für die hier vorliegende Studie nicht weiter präzisiert werden kann [52].

Zufälliger Fehler

Die Abweichung der gemessenen Einzelwerte vom wahren Wert, also beispielsweise dem tatsächlichen Abstand zwischen zwei definierten anatomischen Landmarken setzt sich nicht nur aus dem systematischen Fehler, sondern auch aus einer zufälligen Komponente zusammen. Diese hängt im Wesentlichen vom Untersucher ab und dessen Unvermögen, den vorher definierten Messpunkt auch tatsächlich manuell im Schnittbild des jeweiligen CTs per Mausklick zu treffen. Um diesen zufälligen Fehler weitestgehend zu minimieren, wurde jede einzelne Messung zwischen den im CT vordefinierten

Punkten durch den Untersucher jeweils dreimal durchgeführt und anschließend das arithmetische Mittel gebildet.

4.4. Interpretation der erhobenen Messwerte

Bedeutung des Absolutwertes als Maß für die Rekonstruktionsgenauigkeit

Für die Bestimmung der Rekonstruktionsgenauigkeit einer Methode wurde der Median aus den Absolutwerten einer jeden Gruppe bestimmt. Hierbei wird sowohl ein positiver als auch ein negativer Messwert für den Rekonstruktionsfehler gleichwertig berücksichtigt. Der Median wurde deshalb bestimmt, weil die erhobenen Daten nicht einer Normalverteilung entsprachen. Ausreißerwerte verfälschen damit nicht das Gesamtergebnis. Der Wert kann damit als die zu erwartende allgemeine Ungenauigkeit einer jeweiligen Methode aufgefasst werden. Er stellt damit eine Zahl dar, welche die Gruppen in ihrer Gesamtheit miteinander vergleichbar machen. Der ebenfalls bestimmte Interquartilsabstand, dessen Breite von der Streuung der Einzelwerte abhängt, dient hierbei im Vergleich der Gruppen somit als Indikator für die Reproduzierbarkeit einer Rekonstruktionsmethode. Ist die Breite hier sehr groß, variieren die einzelnen Rekonstruktionen einer Gruppe stark in ihrer Genauigkeit. Ist die Breite eher gering, kann davon ausgegangen werden, dass die Rekonstruktionsmethode verlässlich ein Ergebnis mit einem Rekonstruktionsfehler in der Größenordnung des medianen Absolutwertes der Gesamtgruppe liefert.

Es wurden weiterhin die Mediane der Einzeldistanzmessungen A bis F für Absolutwerte mitbestimmt. Hiermit konnte gezeigt werden in welcher anatomischen Region die größte Abweichung hinsichtlich der Rekonstruktionsgenauigkeit zwischen den Gruppen besteht. Im Vergleich der jeweiligen Gruppen anhand des Gesamtabsolutwertes lag in dieser Studie stets ein statistisch signifikantes bis hochsignifikantes Ergebnis vor. Bei der Betrachtung der Einzeldistanzmessungen A bis F war dies in jedem Gruppenvergleich jeweils nur bei einer Distanz der Fall. Die anderen Werte zeigten hierbei lediglich eine Tendenz zu dem Ergebnis des Gesamtabsolutwertes. Es kam aber auch vor, dass einzelne Distanzmessungen konträr zur Aussage des Gesamtabsolutwertes

standen. Der Autor führt dies auf die erhebliche Streuung der einzelnen Messwerte zurück und ist der Ansicht, dass bei dieser Art der Unterkiefervermessung und auch in Anbetracht der geringen Fallzahlen der rein statistische Aspekt dieser Auswertung nicht interpretiert werden darf. Erst in Zusammenschau der bestimmten Absolut- und Vorzeichenwerte, deren Interquartilsabständen und auch der deskriptiven Fehlerdarstellung der Einzelfälle kann die jeweilige Rekonstruktionsart auch im Hinblick auf das klinische Ergebnis ausreichend genau bewertet werden.

Bedeutung des Vorzeichenwertes für die Analyse der Rekonstruktionsgenauigkeit

Bei der Bewertung der Aussagekraft der Vorzeichenwerte muss bedacht werden, dass diese den Median aus sowohl positiven als auch negativen Zahlen darstellen und somit nicht für die Bestimmung der Rekonstruktionsgenauigkeit herangezogen werden können. Der Rekonstruktionsfehler kann in unterschiedlichem Ausmaß sowohl ins positive als auch negative Abweichen. Der Median gibt dies nur begrenzt oder unter Umständen gar nicht wieder. Auch die aus dem Vorzeichenwert abgeleitete Aussage über eine Verbreiterung oder Verschmälerung der rekonstruierten Unterkiefer ist differenziert zu betrachten. Zwar ist die Aussage, ob es sich um eine Verbreiterung oder Verschmälerung handelt, prinzipiell für die Mehrheit der Fälle in der Gruppe richtig, doch gilt dies beispielsweise auch für eine Fallverteilung bei der nur ein Fall mehr in die jeweilige Richtung überwiegt. In einem solchen Beispiel wäre sogar der Vorzeichenwert nahe bei „Null“ zu suchen und könnte fälschlicherweise ein exaktes Rekonstruktionsergebnis suggerieren. Da in vorangegangenen Arbeiten innerhalb der Arbeitsgruppe mit derselben Methode andere Arten der Unterkieferrekonstruktion verglichen und mittels Vorzeichenwert beschrieben wurden [68, 71], wurde dieser Messwert für Vergleichszwecke auch in dieser Arbeit beibehalten und ausgewertet. Einen Vorteil bei der Analyse des Vorzeichenwertes sieht der Autor bei der Betrachtung der Einzeldistanzmessungen A bis F. Hieraus kann bei Betrachtung des Box-Whisker-Plots eine Tendenz für die tatsächliche postoperative Ungenauigkeit abgeleitet werden. Große Interquartilsabstände sprechen für eine große Varianz in der

postoperativen Position der jeweiligen Landmarken. Distanzen, welche einen sehr geringen Interquartilsabstand aufweisen sprechen bei der Fehleranalyse für einen Rotationspunkt nahe der entsprechenden Landmarken. Ein Vergleich der Interquartilsabstände lässt eine Aussage über die Reproduzierbarkeit bzw. Zuverlässigkeit der jeweiligen Rekonstruktionsmethode zu.

4.5.Vergleich der Standardmethode und der PSMP-Methode

Diskussion der statistischen Auswertung

Vergleicht man die Gesamtheit der Fälle der beiden Gruppen miteinander, so zeigt sich gemäß der vorgegebenen Definition, dass mit der PSMP-Methode ein signifikant genaueres Rekonstruktionsergebnis als mit der Standardmethode erzielt wird. Diese Aussage bezieht sich auf den Medianwert aller errechneten Absolutwerte je Fallgruppe. Auch wenn der Unterschied signifikant ist, müssen hier die Dimensionen dieses Rekonstruktionsfehlers durchaus relativ gesehen und diskutiert werden. In der Standardmethode-Gruppe wird im Durchschnitt eine Ungenauigkeit von 1,90 Millimetern verzeichnet. Dies muss prinzipiell bereits als gutes Rekonstruktionsergebnis gewertet und diese Art der Unterkieferrekonstruktion als durchaus klinisch ausreichend suffizient bezeichnet werden. Die PSMP-Methode zeigt hier mit 1,13 Millimetern Abweichung signifikant bessere Ergebnisse, so dass der Autor hier besonders hervorheben will, dass diese noch neue und sehr computertechnik- und planungsintensive Methode, die aus vielen einzelnen Arbeitsschritten besteht, nicht nur als gleichwertig, sondern nach dieser Methode bewertet auch als eine genauere Art der Unterkieferrekonstruktion beschrieben werden kann. Die genaue Betrachtung der statistischen Analyse zeigt dazu eine geringere Streuung der Absolutwerte und damit nach Ansicht des Autors eine höher Reproduzierbarkeit einer exakten Rekonstruktion mit der PSMP-Methode.

Dennoch muss festgehalten werde, dass unter Betrachtung der Einzeldistanzen deutlich hervortritt, dass die PSMP-Methode durchaus mit Rekonstruktionsfehlern behaftet ist, die bezogen auf diese einzelnen Messpunkte mit den Fehlern der Standardmethode vergleichbar waren. Beim Vergleich der jeweiligen

Einzeldistanzen A bis F waren die Rekonstruktionsfehler bei den Distanzmessungen C und D der Standardmethode geringer als bei der PSMP-Methode. Der Unterschied war hierbei allerdings nie signifikant. Jedoch muss auch hier erwähnt werden, dass unter dieser Betrachtung die geringere Streuung der Werte und das Fehlen von Ausreißerwerten die PSMP-Methode als zuverlässiger hinsichtlich der Reproduzierbarkeit von genauen Rekonstruktionsergebnissen erscheinen lässt. Warum gerade die Distanzen C und D bei der Standardmethode genauer abschnitten erscheint dem Autor nicht erklärbar und eher zufällig und für die Interpretation des Fehlers deshalb irrelevant.

Beim Vergleich der Distanz F wurde ein hochsignifikanter Unterschied zu Gunsten der PSMP-Methode festgestellt. Der Autor muss an dieser Stelle hervorheben, dass gerade die Distanz F mit ihren definierten Messpunkten am Kieferwinkel methodenbedingt am schwierigsten eindeutig zu bestimmen war, und diese Distanz aufgrund von Resektionen des Kieferwinkels am wenigsten oft bestimmt werden konnte. In der Standardmethode-Gruppe war dieser Messpunkt F im Falle einer drei Millimeter Schichtstärke im CT sicherlich am ungenauesten zu definieren. Der Vergleich dieser Einzeldistanz F erscheint somit am wenigsten zuverlässig hinsichtlich eines Genauigkeitsvergleiches zwischen den Gruppen.

Ein in der Tendenz besseres Ergebnis mit der PSMP-Methode in den Messpunkten A und B, die in den aller meisten Fällen bestimmt werden konnten, und deren Festlegung relativ einfach und zuverlässig gelingt, hält der Autor hingegen hinsichtlich der Rekonstruktionsgenauigkeit für die postoperativ korrekte Stellung der Kondylen für aussagekräftiger.

Diskussion der Fehlerart in beiden Gruppen

Im Allgemeinen fand sich bei der Standardmethode tendenziell eine Verschmälerung der Unterkieferspange, die sich vermutlich durch ein intraoperatives Überbiegen und anschließendes Aufdrücken der Platte unter Ausnutzung deren Materialelastizität auf den noch nicht resezierten Unterkiefer erklären lässt. Dies suggeriert dem Chirurgen zunächst eine bessere Passung als bei einer Unterkonturierung der Platte, bei der ein gewisses Spiel beim Auflegen

auf den Unterkiefer offensichtlich ist. Nach Kontinuitätsresektion wird dann der verbleibende Unterkieferknochen an die sozusagen zurückgestellte Platte angeschraubt, was dann zu einer Verschmälerung der Unterkieferspange führt. Dieses Phänomen beschreibt bereits Wilde et al. 2015 bei der Untersuchung von Genauigkeiten bei der Analyse von präoperativ am patientenspezifischen 3D-Modell vorgebogenen Osteosyntheseplatten [71]. Bei der Betrachtung des Rekonstruktionsfehlers der Standardmethode je Einzelfall muss erwähnt werden, dass es durchaus auch zu Verbreiterungen des Unterkiefers kommt, auch wenn diese deutlich seltener sind. In diesen Fällen muss von einer Unterkonturierung der Platte mit Spiel auf der Mandibula noch vor der Unterkieferteilresektion ausgegangen werden.

Bei der Fehlerartanalyse der PSMP-Methode zeigte sich, dass das Verhältnis von postoperativer Verschmälerung zu postoperativer Verbreiterung der Unterkieferspange innerhalb der PSMP-Methode durchaus ausgeglichen war. Hierbei war auch das Ausmaß des Rekonstruktionsfehlers ins Positive und Negative nahezu ausgeglichen. Der Autor schlussfolgert hieraus, dass der PSMP-Methode keine Tendenz hinsichtlich einer Verbreiterung oder Verschmälerung im postoperativen Ergebnis zugesprochen werden kann. Der vorhandene Fehler scheint hier mehr oder weniger bei jedem Einzelfall in etwa gleichem Ausmaß und in beide Richtungen variabel vorzuliegen. Ausreißerwerte, welche hier vor allem bei den Fällen mit mikrovaskulären Rekonstruktionen vorlagen, sind davon ausgenommen.

Die hier erhobenen Daten zur genauen Fehleranalyse deuten bei der PSMP-Gruppe darauf hin, dass eine gewisse Rotation innerhalb der verbliebenen Unterkiefersegmente zueinander nach der Rekonstruktion vorzuliegen scheint. Bei einer reinen Verschmälerung oder Verbreiterung müssten die Abweichungen in allen gemessenen Distanzen gleichsinnig verteilt sein. Dies ist aber innerhalb der PSMP-Gruppe in der Mehrzahl nicht der Fall. Da bei der PSMP-Methode die transversale Dimension der Rekonstruktionsplatte bereits präoperativ durch den Ausgangsbilddatensatz vorgegeben ist, ist eine Verschmälerung oder Verbreiterung des Unterkiefers im Grunde damit nicht mehr so ausgeprägt möglich. Die gefertigte Platte ist nur wenig elastisch und in ihrer Passung nach der Fertigung - wie bereits im Kapitel zur Fehleranalyse der Messmethode

beschrieben - im Grunde mit dem Planungsmodell identisch. Der eigentliche Rekonstruktionsfehler der PSMP-Methode ist somit ein anderer und muss sich daher anders erklären als bei der Standardmethode. Hier ist anzunehmen, dass die in der Mehrzahl der Fälle beobachteten Rotationen der verbliebenen Kieferstümpfe am ehesten auf eine Fehlpositionierung der Platte und auf Fehler bei der Schraubeninsertion in den Unterkiefer zurückzuführen sind. Werden die Schrauben nicht exakt senkrecht zur Plattenoberfläche und damit zur Knochenoberfläche eingedreht, so kann sich das Knochenfragment beim Fixieren an der Platte verwinden. So entstehen möglicherweise die beschrieben Rotationsfehler. Dass eine solche „schiefe“ Insertion tatsächlich möglich ist, wurde von Wilde et al. 2015 bereits beschrieben [70]. Eine Quantifizierung oder Visualisierung dieses Sachverhaltes wurde bisher nicht erbracht.

Auch eine reine Fehlpositionierung der Rekonstruktionsplatte auf den Kieferstümpfen nach der PSMP-Methode aufgrund falscher Positionierung der Übertragungsschablonen beim primären Vorbohren der Osteosyntheseschrauben ist als Fehlerursache äußerst wahrscheinlich. Auch hier liegen bisher keine wissenschaftlichen Arbeiten vor, die dieses Detail der Fehleranalyse tatsächlich quantitativ untersuchten.

Vergleich der rein alloplastischen Rekonstruktionsfälle beider Gruppen

Da sich bei der Analyse der Fehlerart bereits abzeichnete, dass die Fälle der PSMP-Gruppe, welche mit einem primären mikrovaskulären Transplantat rekonstruiert wurden, ungenauer als die rein alloplastischen Rekonstruktionsfälle zu sein schienen, wurde ein weiterer Vergleich zwischen den Untergruppen (rein alloplastisch, mikrovaskulär) angestellt. Das besagte Ergebnis wurde nämlich so nicht erwartet und erschien zunächst unlogisch, da sich die Arbeitsschritte einer alloplastischen und mikrovaskulären Rekonstruktion nach der PSMP-Methode hinsichtlich der Unterkieferteilresektion und dem Anbringen der Osteosyntheseplatte mittels Operationsschablonen nicht voneinander unterscheiden. Deshalb wurde auch initial keine Unterscheidung zwischen alloplastischen und mikrovaskulären Rekonstruktionen bei der PSMP-Gruppe vorgenommen. Dennoch war der Unterschied offensichtlich und konnte mit dieser Arbeit auch als hochsignifikant bestimmt werden. Die Untersuchung der rein

alloplastischen Rekonstruktionsfälle beider Gruppen im Vergleich erschien aus den genannten Gründen daher notwendig und sinnvoll.

Die rein alloplastischen Rekonstruktionen mit der PSMP-Methode zeigten im Vergleich zur Standardmethode hochsignifikant genauere Rekonstruktionen. Während sich die Ergebnisse innerhalb der Standardmethode-Gruppe bei Ausschluss der beiden Fälle mit mikrovaskulärer Rekonstruktion in nachvollziehbarer Weise kaum veränderten, zeigte die PSMP-Methode hier nicht nur hochsignifikant genauere, sondern gemessen an der Streuung der Messwerte, auch reproduzierbarere Rekonstruktionsergebnisse.

Das bei der Diskussion der Gesamtfallgruppen über die Einzeldistanzmessungen Gesagte gilt aus Sicht des Autors auch für die rein alloplastischen Fallgruppen. Auch hier ist eine Distanzmessung (Distanz D) der PSMP-Methode mit einer größeren Ungenauigkeit bewertet, die Distanz F ist dazu wieder signifikant unterschiedlich. Aufgrund der auch hier vorliegenden geringeren Streuung wird die PSMP-Methode als zuverlässiger bzw. reproduzierbarer angesehen, eine Interpretation hinsichtlich der Fehleranalyse sollte den Einzeldistanzmessungen jedoch nicht zukommen.

Bei der Analyse der Fehlerart zeigte sich für die PSMP-Gruppe erneut keine klare Tendenz hinsichtlich einer Verschmälerung oder Verbreiterung. Vielmehr traten auch hier wieder in einer Mehrzahl der Fälle Rotationsfehler auf. Da die beschrieben Fehlerquellen hinsichtlich einer Rotation in den Kieferstümpfen unabhängig vom Einbringen und der Positionierung des mikrovaskulären Transplantates sind, erscheint diese Beobachtung logisch und durch die selben Fehlerursachen wie bei der Betrachtung der Gesamtgruppe der PSMP-Methode zu erklären.

4.6. Möglichen Ursachen für Rekonstruktionsungenauigkeiten der PSMP-Methode

Fehler in der Rekonstruktion nach der PSMP-Methode sind zum einen in einem schlechten oder fehlerhaften Bilddatensatz, einer inkorrekten Planung bzw. Interpretation der Bilddatensätze oder in einem fehlerhaften Umsetzen der

Planung in den Operationssitus zu suchen. Die beiden erstgenannten Punkte erscheinen jedoch aus Sicht des Autors vernachlässigbar, da die verwendeten Bilddatensätze dieser Arbeit in nahezu zwei Dritteln der Fälle aus CT-Rekonstruktionen mit Schichtdicken zwischen einem und zwei Millimetern bestanden, welche ein Wiedergeben der anatomischen Situation mit hoher Genauigkeit annehmen lassen [22, 44]. Die produzierte Platte kann nach Herstellerangaben ebenfalls als eine nahezu 1:1 Umsetzung der Planung angenommen werden [4, 63].

Für die möglichen Ursachen einer fehlerhaften Rekonstruktion nach der PSMP-Methode wurden insgesamt drei Thesen aufgestellt und hierfür dann weitere Untersuchungen durchgeführt.

Zum einen wurde ein Zusammenhang zwischen Resektionsausmaß und Rekonstruktionsgenauigkeit analysiert. Die Überlegung hierbei war, dass eine ausgedehntere Resektion mit einer größeren Rekonstruktionsplatte einhergeht. Dazu steht bei großen Resektionen weniger Restknochen des Kiefers zum Anlagern der Platte und Fixierung mit Osteosyntheseschrauben zur Verfügung.

Als eine weitere Fehlerquelle wurde das zusätzliche Einbringen eines mikrovaskulären Transplantates ebenfalls unter Anwendung von Osteotomie- und Bohrschablonen an der Entnahmeregion angenommen. Deshalb wurde die Rekonstruktionsgenauigkeit in Abhängigkeit von der Art der primären Rekonstruktion (alloplastisch oder mikrovaskulär) untersucht. Untersucht wurde hierbei, ob die Anwendung von Übertragungsschlüsseln am Transplantat und das primäre Anbringen an die Rekonstruktionsplatte, noch bevor diese an den Unterkiefer fixiert wird, eine zusätzliche Fehlerquelle darstellt.

Es gilt anzumerken, dass diese beiden erstgenannten Punkte jedoch nicht ausschließlich getrennt voneinander zu untersuchen sind, da alloplastische Rekonstruktionen meist weniger Resektionssegmente aufweisen als mikrovaskuläre Rekonstruktionen und hier zwangsläufig immer eine Korrelation besteht, die bei der Analyse nicht ausgeblendet bzw. nicht unabhängig voneinander untersucht werden kann.

Als dritte mögliche Fehlerquelle wurde abschließend noch die Abhängigkeit der anatomischen Schablonen-Positionierung vom Rekonstruktionsergebnis

untersucht, da bereits Wilde et al. 2015 vermuteten, dass hier die wesentliche Ursache für ein ungenaues Rekonstruktionsergebnis liegt [70]. Dies scheint als Erklärungsmodell für ungenaue Rekonstruktionen bei großen Unterkieferteilresektionen und bei mikrovaskulären Rekonstruktionen in gleichem Maße gelten zu können.

4.6.1. Rekonstruktionsfehler in Abhängigkeit des Resektionsausmaßes

In dieser Studie konnte gezeigt werden, dass das Rekonstruktionsergebnis mit der Anzahl der Resektionssegmente korreliert. So ist das Rekonstruktionsergebnis innerhalb der PSMP-Methode bei kleinen Defekten stets genauer als bei größeren. Dies trifft auf die Standardmethode so nicht zu. Eine statistische Untersuchung wurde hier aufgrund von zu geringen Fallzahlen nicht durchgeführt, eine Tendenz diesbezüglich war jedoch erkennbar.

Betrachtet man die Rekonstruktionsergebnisse abhängig von der Art der primären Rekonstruktion (mikrovaskulär oder alloplastisch) und nach Anzahl der Resektionssegmente, dann findet sich für die Resektion von einem bis drei Segmenten ein nahezu identisches Rekonstruktionsergebnis, welches in allen drei Gruppen dem durchschnittlichen Rekonstruktionsergebnis der PSMP-Methode mit alloplastischer Rekonstruktion entspricht. In der Gruppe mit vier Segmenten lagen ausschließlich Fälle mit mikrovaskulärer Rekonstruktion vor, so dass hier wie bereits erwähnt letztlich nicht eruiert werden kann, ob die größere Rekonstruktionsungenauigkeit an der Anwendung eines mikrovaskulären Transplantates mit zusätzlicher Anwendung von Operationsschablonen liegt, oder der Tatsache geschuldet ist, dass aufgrund der größeren Resektionsstrecke eine Positionierung der Bohrschablonen zur Anbringung der PSMP-Platte schwieriger war. Auffallend war jedoch hierzu das Ergebnis aus der Fallgruppe mit drei Resektionssegmenten. Hier war ein deutlicher Unterschied zwischen den Gruppen mit alloplastischer und mikrovaskulärer Rekonstruktion nach der PSMP-Methode zu erkennen, obwohl hier das Ausmaß der Unterkieferresektion in etwa gleich groß war. Die Fallzahl war hier allerdings sehr gering, so dass eine statistische Untersuchung nicht sinnvoll erschien. Diese Erkenntnis hatte aber schließlich

einen detaillierten Vergleich zwischen den alloplastischen und den mikrovaskulären Rekonstruktionsfällen innerhalb der PSMP-Gruppe zur Folge.

4.6.2. Rekonstruktionsfehler in Abhängigkeit von der primären Rekonstruktionsmethode

Der beschriebene Unterschied innerhalb der PSMP-Gruppe zwischen rein alloplastischen und mikrovaskulären Rekonstruktionen stellte sich nach statistischer Auswertung als hochsignifikant dar. Auch wenn es sich hierbei um eine nur geringe Fallzahl auf beiden Seiten handelte, war der Unterschied verglichen mit den Ergebnissen der anderen Gruppenvergleiche am deutlichsten. Dies traf auch bei der Betrachtung der Einzeldistanzwerte A bis F zu, wenngleich nur ein Distanzwert (Distanz E) einen signifikanten Unterschied zeigen konnte. Gerade im Kondylenbereich waren die Ergebnisse der mikrovaskulären Rekonstruktionen wesentlich ungenauer und wiesen eine größere Messwertstreuung auf.

Dieses Ergebnis erscheint zunächst verwunderlich, da die Planung und die Herstellung der Schablonen und der PSMP-Platte prinzipiell unabhängig davon ist, ob es sich um eine alloplastische oder mikrovaskuläre Rekonstruktion handelt. Selbst die operative Umsetzung ist hier prinzipiell nicht unterschiedlich, nur dass im Falle der mikrovaskulären Rekonstruktion bereits ein Transplantat an der Osteosyntheseplatte angeschraubt ist. Da aber die Positionierung der Platte bereits im Vorfeld durch das Bohren der Schraubenlöcher mit den Cutting- und Drilling-Guides erfolgt und dies wiederum, unabhängig von einer mikrovaskulären oder alloplastischen Rekonstruktion, immer gleich erfolgt, kann das gefundene Resultat hinsichtlich einer unterschiedlichen Rekonstruktionsgenauigkeit nicht eindeutig auf die Anwendung eines mikrovaskulären Transplantates zurückgeführt werden. Eine theoretische Fehlerquelle könnte hierbei lediglich in der fehlerhaften Gewinnung und Einpassung der Fibula gesucht werden. Hierbei müsste aber durch ein nicht exakt passendes Knochentransplantat die Osteosyntheseplatte beim Einbringen der Fibula verbogen werde. Dies erscheint jedoch nur eher theoretisch denkbar und gibt nicht die operativen Erfahrungen mit dem System wieder, zumal auch bei der Transplantatfixierung winkelstabile

Osteosyntheseschrauben („Locking-Schrauben“) verwendet wurden, die ein Andrücken bzw. Anbiegen des Knochens an die Titanplatte verhindern sollen. Eine quantitative Auswertung dieser Annahme konnte diese Arbeit mit der verwendeten Methode allerdings hierzu nicht liefern. Allerdings deuten andere aktuelle wissenschaftliche Arbeiten derzeit stark darauf hin, dass die hier erwähnte Fehlerquelle einen eher geringen Einfluss haben dürften. So untersuchten Ciocca et al., Zhang et al. und Roser et al. die durchschnittliche Abweichung der einzelnen Fibulasegmente bei Unterkieferrekonstruktionen, die ebenfalls mit den in dieser Arbeit untersuchten Osteotomieschablonen gewonnen und fixiert wurden. Hierbei kam es in allen drei Arbeiten zu Positionierungsabweichung von präoperativer virtueller Planung zu postoperativem CT-Ergebnis von im Durchschnitt 1,33 Millimetern (1,30mm bis 1,36mm) [11, 42, 73]. Diese Ergebnisse sprechen aus Sicht des Autors also eher gegen eine gröbere Passungenauigkeit, die durch Spannungen im vorfixierten Transplantat ein Verbiegen der Osteosyntheseplatte möglich erscheinen ließen.

4.6.3. Rekonstruktionsfehler und Schablonenpositionierung

Aus Sicht des Autors liegt die Erklärung dieses Phänomens darin, dass bei der Anwendung der Übertragungsschlüssel ein Unterschied besteht, in welcher anatomischen Region diese angewandt werden. Wilde et al. [70] vermuteten dies bereits und postulierten, dass die Anwendung im Kondylenbereich subjektiv wesentlich schwieriger ist und der Guide hier wesentlich schwieriger an der gewünschten Stelle sicher zu platzieren ist als beispielsweise im Kinnbereich mit seinen prominenten knöchernen Strukturen. Im Kondylenbereich ist die geringere Auflagefläche mit einem Fehlen von markanten Knochenstrukturen sowie der Druck der abzuhaltenden Weichteile aufgrund des operativen submandibulären Zugangsweges als möglich Ursache für eine Fehlpositionierung des Guides bereits beschrieben worden [70]. Um diesem bekannten Phänomen zu begegnen, erlaubt das PSMP-System die Osteosyntheseschrauben in einem Winkel bis zu 15 Grad nach kaudal anguliert vorzubohren und einzubringen.

Um diesen Sachverhalt anhand der bereits erhobenen Daten zu verifizieren, wurden in einer letzten Analyse alle Rekonstruktionsfälle der PSMP-Gruppe je

nach Ausmaß des Rekonstruktionsfehlers in drei Untergruppen unterteilt: genaue Rekonstruktion, geringer Rekonstruktionsfehler und ungenaue Rekonstruktion. Hier zeigte sich, dass mit Zunahme des Rekonstruktionsfehlers auch die Fallzahlen zunehmen, bei denen eine Resektion im Bereich des Processus condylaris stattfand. Der Autor sieht darin deshalb eine Bestätigung der erwähnten durch die Autorenklinik bereits publizierten Annahme [70]. Eine statistische Auswertung erfolgte aufgrund zu geringer Fallzahlen nicht.

Es fanden sich außerdem bei den insgesamt fünf Fällen, auf welche die Definition einer Resektion im Bereich des Processus condylaris zutraf, vier Fälle mit primär mikrovaskulärer Rekonstruktion. Dies entspricht der Hälfte aller primären mikrovaskulären Rekonstruktionen aus der PSMP-Gruppe und könnte deshalb, zumindest in Teilen, den statistisch signifikanten Unterschied hinsichtlich Rekonstruktionsgenauigkeit zwischen dieser und der Gruppe mit den rein alloplastischen Rekonstruktionen nach der PSMP-Methode erklären.

Zudem wurden bei diesen besagten fünf Fällen ausschließlich Resektionen mit mindestens drei bis vier Segmenten durchgeführt. Dies sind ebenfalls deutliche Hinweise darauf, dass auch bei der bereits beschriebenen Korrelation zwischen Resektionsausmaß und Rekonstruktionsungenauigkeit die Lokalisation der Osteotomie am Unterkiefer Einfluss nehmen kann.

Ein untersuchtes Phänomen kann diese Theorie zur Ursache von Rekonstruktionsungenauigkeiten allerdings nicht hinreichend erklären. In der Fallgruppe der PSMP-Methode mit nur geringen Rekonstruktionsfehlern fand sich eine ausgeglichene Anzahl an alloplastischen und mikrovaskulären Rekonstruktionen. Hier wurden im Durchschnitt jeweils 3 Segmente des Unterkiefers reseziert. Innerhalb dieser Gruppe war aber nur eine geringe Anzahl an Resektionen im Bereich des Processus condylaris vertreten. Auch wenn es sich hier aufgrund von nur geringen Fallzahlen ohne statistische Signifikanz nur um eine Beobachtung handelt, muss dennoch angenommen werden, dass es über das Erklärungsmodell der Resektion im Bereich des hohen Processus condylaris hinaus noch weitere Ursachen für die Unterschiede hinsichtlich Rekonstruktionsgenauigkeit zwischen alloplastischen und mikrovaskulären Rekonstruktionen nach der PSMP-Methode geben muss.

Der Autor vermutet deshalb außerdem, dass das Einbringen einer Rekonstruktionsplatte an der bereits ein mikrovaskuläres Transplantat fixiert ist manuell anspruchsvoller ist als das Inserieren einer alleinigen Rekonstruktionsplatte. Durch das vorhandene Transplantat könnte aufgrund von mangelnden Platzverhältnissen im Operationssitus das spannungsfreie Anbringen und Anschrauben der Platte an die verbliebenen Knochensegmente erschwert werden. Dazu schränkt das Transplantat möglicherweise die Übersicht und das freie Positionieren der Platte im Operationssitus ein. Auch wenn die bereits erwähnte Falschpositionierung des Transplantates mit resultierender Spannungsverformungen der Osteosynthesplatte nach der aktuellen Literaturlage als nicht wahrscheinlich gilt, kann die vorliegende Arbeit hierzu keine Daten liefern, so dass auch diese potentielle Fehlerquelle in diesem Zusammenhang weiterhin diskutiert werden muss.

4.7. Ergebnisanalyse im wissenschaftlichen Kontext

Bisher existieren in der aktuellen Literatur keine Studien, welche die Genauigkeit der Unterkieferrekonstruktion nach der PSMP-Methode mit und ohne primärem mikrovaskulären Transplantat vergleichend mit der herkömmlichen Standardmethode untersucht haben.

Zur Genauigkeitsuntersuchung von Unterkieferrekonstruktionen mit mikrovaskulären Transplantaten nach der hier untersuchten PSMP-Methode existieren drei Untersuchungen der Autoren Schepers et al. [46] , Ciocca et al. [11] und Mazzoni et al. [37]. In diesen Arbeiten wurden ausschließlich Unterkieferrekonstruktionen mit Fibulatransplantaten vor allem hinsichtlich der Rekonstruktionsgenauigkeit der einzelnen Fibulasegmente untersucht. Aber auch hier wurden die transversalen Abweichungen im Bereich des Processus condylaris nach Unterkieferrekonstruktion vermessen. In den drei Studien wurden sowohl für die Transplantatentnahme als auch für die Unterkieferteilresektion die auch hier angewandten Operationsschablonen benutzt. Außerdem kamen die im CAD/CAM Verfahren hergestellten patientenspezifischen Rekonstruktionsplatten zum Einsatz. In der Arbeit von Ciocca et al. und Mazzoni et al. wurden diese durch ein Lasersinteringverfahren hergestellt. Ob dieses Verfahren im Vergleich zu einer

gefrästen Titanplatte hinsichtlich Genauigkeit und Stabilität Vor- oder Nachteile in sich birgt ist zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieser Arbeit unbekannt. Für beide Verfahren werden vom Hersteller eine nahezu 100-prozentige Fertigungsgenauigkeit mit sehr engen Fehlertoleranzen angegeben. Die Arbeitsgruppe von Schepers et al. brachte analog zu dieser Arbeit die CAD/CAM-gefrästen Titanplatten der Firma DePuy Synthes zum Einsatz. Deshalb erscheint diese Arbeit besonders relevant. Abschließend sollen die Arbeiten von Metzler et al. [39] und Zhang et al. [73] diskutiert werden, da diese ebenfalls Unterkieferrekonstruktionen unter Anwendung von Osteotomieschablonen hinsichtlich der transversalen Abweichung des Processus condylaris untersuchten, ohne jedoch im CAD/CAM-Verfahren hergestellte Rekonstruktionsplatten zu verwenden. Die Ergebnisse sind mit denen der vorliegenden Arbeit deshalb nur sehr eingeschränkt vergleichbar, unterstreichen aber den Einfluss der Übertragungsschlüssel auf das Gesamtrekonstruktionsergebnis.

In der Studie von Schepers et al. [46] wurden insgesamt sieben mittels Fibulatransplantat rekonstruierte Unterkiefer nach der PSMP-Methode mit CAD/CAM-gefrästen Osteosyntheseplatten vermessen. Das hier gewählte Messverfahren legte zwar den Schwerpunkt auf die postoperative Lage der einzelnen Fibulasegmente hinsichtlich ihrer Genauigkeit im Vergleich zur präoperativen Planung, allerdings wurde auch mit einer Messung die postoperative Abweichung der verbliebenen Mandibula im Vergleich zum präoperativen Ausgangsbefund bestimmt. Hierbei wurde mittels Software die Abweichung der Mittelpunkte der Resektionsflächen prä- und postoperativ bestimmt. Dabei ist wichtig zu erwähnen, dass zur Referenzierung der prä- und postoperativen Datensätze computergestützt berechnet das bestmögliche maximale Überlagerungsvolumen der Mandibula bestimmt wurde. Schließlich errechnet sich hier eine Abweichung von 2 Millimetern mit einer Standardabweichung von 1,3 Millimetern. Auch wenn diese Werte in der Größenordnung durchaus mit denen der hier vorliegenden Arbeit korrelieren (medianer Absolutwert der PSMP-Methode Gruppe mit mikrovaskulärem Transplantat von 2,47 Millimetern), muss kritisch angemerkt werden, dass bei dieser Art der Vermessung eine absolute Distanz unabhängig von der Orientierung im Raum gemessen wurde. In der hier vorliegenden Arbeit wurden

ausschließlich transversale Diskrepanzen bestimmt, Abweichungen in andere Raumebenen konnten mit dieser Methode nicht erfasst werden. Die Angabe in welchen Raumebenen die Abweichungen in der Arbeit von Schepers et al. liegen, bleibt die Arbeit schuldig, da dies hier auch nicht Hauptaugenmerk der Untersuchung war. Als wesentlicher Kritikpunkt dieser Arbeit muss aber noch die Art der Referenzierung diskutiert werden. Um die Genauigkeit der transplantierten Fibulasegmente zu bestimmen, wurden die verbliebenen Mandibulastümpfe mittels Software in bestmögliche prä- und postoperative Übereinstimmung gebracht. In Kenntnis der Daten der vorliegenden Arbeit muss davon ausgegangen werden, dass dadurch ein nicht unerheblicher Rekonstruktionsfehler in der Transversalen von im Median 2,47 Millimetern bei dieser Art der Rekonstruktion ausgemittelt wurde. Es wurde nämlich vom Idealfall ausgegangen, dass die Relation der Kondylen des Unterkiefers zueinander konstant bleibt. Auf Basis dieser Referenzierung wurde dann die postoperative Ungenauigkeit der Fibulasegmente bestimmt. Diese Ungenauigkeit ist allerdings von der räumlichen Lageänderung der beiden Kondylen zueinander abhängig. Dass es hier zu nicht unerheblichen postoperativen Abweichungen kommt, konnte die hier vorliegende Arbeit eindeutig zeigen. Des weiteren geht der Autor davon aus, dass der Rekonstruktionsfehler in der Transversalen höchst wahrscheinlich durch eine ungenaue Plattenpositionierung auf dem verbliebenen Processus condylaris zustande kommt, wie die Ergebnisse aus 3.6.3 annehmen lassen. Eine Referenzierung, die nun versucht durch Überlagerung der prä- und postoperativen Mandibulasegmente diese Abweichung möglichst auszumitteln um die Fehlpositionierung der Fibulasegmente zu bestimmen, verkennt den eigentlich Fehler der Rekonstruktion und kann die Fragestellung nach der Exaktheit der Fibulatransplantation nur unzureichend beantworten. Aus Sicht des Autors wäre deshalb für diese Fragestellung eine Referenzierung über die eingebrachte Titanplatte besser geeignet gewesen, da diese eine Fehlpositionierung der verbliebenen Unterkieferanteile an der Osteosyntheseplatte außer acht lässt.

Als weitere wesentliche Arbeit hierzu soll die Studie aus dem Jahr 2015 von Ciocca et al. zu diesem Thema analysiert werden [11]. Dieser untersuchte fünf Patientenfälle mit mikrovaskulärer Fibularekonstruktion des Unterkiefers welche ebenfalls nach der PSMP-Methode operiert wurden. Hierbei wurden

Operationsschablonen verwendet, die Rekonstruktionsplatten wurden im Unterschied zu der hier vorliegenden Studie mittels Lasersintering hergestellt. In dem Studienansatz wurden ebenfalls prä- und postoperative CT-Daten hinsichtlich der Rekonstruktionsgenauigkeit verglichen. Wie in der Arbeit von Schepers et al. [46], wurden ausschließlich die Fibulasegmente, jedoch eindeutig definiert nach ihrer transversalen und vertikalen Abweichung, untersucht. Es zeigte sich postoperativ an zwei vordefinierten Punkten eine transversale Abweichung vom Planungsergebnis um durchschnittlich 1.36 Millimetern bzw. 2,22 Millimetern. Es muss auch hier kritisch angemerkt werden, dass bei dieser Vermessung zur Referenzierung der prä- und postoperativen Bilddatensätze mittels eines Computeralgorithmuses eine automatische Übereinanderlagerung der verbliebenen Unterkiefersegmente durchgeführt wurde. Die Kritik an der Arbeit von Schepers et al. hinsichtlich dieser Referenzierung muss also auch für die Arbeit von Ciocca et al. gelten. Hinsichtlich der gefunden Abweichung von bis zu 2,22 Millimetern bestehen plausible Analogien zu den hier vorgelegten Daten. Ciocca et al. sieht eine Ursache für den gefunden Rekonstruktionsfehler in einer Ungenauigkeit bei der Anwendung der Übertragungsschlüssel, welche beim Anpassen und Vorbohren der Fibulasegmente auftritt. Auch hier wurden Osteotomie- und Bohrschablonen (Graft-Harvest-Guides) verwendet, deren Passungenauigkeiten auf dem Fibulaknochen von Ciocca et al. als Hauptursache für den Fehler angegeben werden. Dies deckt sich mit den Erkenntnissen unserer Arbeit, nämlich dass der Rekonstruktionsfehler nach der PSMP-Methode im Wesentlichen durch eine Fehlpositionierung der Operationsschablonen zu Stande kommt. Die hier vorliegende Arbeit konnte dies für die postoperative Lageveränderung der verbliebenen Mandibulastümpfe zeigen: Rekonstruktionen, bei denen diese Schablonen schwieriger zu positionieren waren, waren auch ungenauer. Ciocca et al. und Schepers et al. konnten diesen Fehler in etwa derselben Größenordnung für die transplantierten Fibulasegmente nachweisen und sehen hierfür dieselbe methodische Ursache.

Mazzoni et al. [37] legte bereits 2013 eine kontrollierte Studie mit insgesamt sieben Fällen mittels PSMP-Methode durchgeführten Fibularekonstruktion des Unterkiefers vor. Auch hier wurden Osteotomie- und Bohrschablonen angewandt, in denen die Schraubenlochpositionen für die Aufnahme der Rekonstruktionsplatte

verschlüsselt waren. Die Osteosyntheseplatten wurden lasergesintert gefertigt. Einer der Messparameter zur Rekonstruktionsgenauigkeit war hier die Veränderung der Kondylenposition nach lateral oder medial in der Frontalebene. Die Werte wurden als Absolutwerte, allerdings seitlich getrennt, bestimmt. Dies macht einen direkten Vergleich mit den hier vorliegenden Daten einerseits schwierig, da in der vorliegenden Arbeit die Distanzdifferenzen zwischen den anatomischen Landmarken vermessen wurden. Rechnet man den gefundenen Fehler je Seite zusammen, um einen vergleichbare Zahl mit den hier vorliegenden Daten zu erhalten, findet sich im Mittelwert ein Rekonstruktionsfehler von 2,10 Millimetern. In der hier vorliegenden Arbeit wurden für die korrespondierende Landmarke (Distanz B) Rekonstruktionsungenauigkeiten für mikrovaskuläre Rekonstruktionen von 2,37 Millimetern gefunden. Aufgrund der unterschiedlichen Methode sind diese Werte wie bereits erwähnt nur in Annäherung miteinander zu vergleichen, deuten aber darauf hin, dass Abweichungen im Kondylenbereich wohl in dieser Größenordnung nach Rekonstruktion mit der PSMP-Methode liegen dürften. Interessant hierbei ist, dass der Rekonstruktionsfehler auf der Seite, auf der der Großteil der Mandibula reseziert wurde stets größer war als auf der nicht resezierten Seite. Dies unterstützt die bereits diskutierte Annahme des Autors, dass aufgrund von nur noch geringen Anlagerungsflächen für die Guides im Bereich des Processus condylaris ein größerer Rekonstruktionsfehler resultiert.

Zhang et al. legte im Jahr 2016 eine kontrollierte Studie vor, bei der die Rekonstruktionsgenauigkeit von acht Fällen einer computerassistierten Unterkieferrekonstruktion mit Fibulatransplantat untersucht wurde [73]. Die Methode weicht insofern von der hier untersuchten PSMP-Methode ab, als dass hier zwar Osteotomieschablonen zur Transplantatentnahme und zur Unterkieferresektion verwendet wurden, das Transplantat aber letztlich mit am Stereolithographiemodell vorgebogenen Miniosteosyntheseplatten fixiert wurde. Die Übertragung der Osteosyntheseplatten erfolgte hier nicht durch vorgegebene Bohrlöcher, so dass die Studie streng betrachtet lediglich die Exaktheit der Osteotomielinien mittels Schablonenverfahren messen kann, insbesondere da Miniplatten sich flexibel in der Einbringung und in Funktion gestalten. Neben der hauptsächlichen Vermessung der Fibulasegmente wurde aber auch hier als ein weiterer Parameter der Interkondylarabstand bestimmt. Hier wurde ein Mittelwert

von 1,59 Millimetern ermittelt. Auch Metzler et al. untersuchte bereits im Jahr 2014 die Differenzen der Interkondylarabstände bei zehn Fällen einer Unterkieferrekonstruktion mit Fibulatransplantaten, welche mit einem CAD/CAM-Übertragungsschlüsselverfahren operiert wurden [39]. Auch hier wurde eine Standardosteosyntheseplatte manuell an einem virtuell designten 3D-Modell des Unterkiefers vorgebogen. Die tatsächlichen Werte zeigen hier beim Interkondylarabstand eine durchschnittlich Differenz von 1,7 Millimetern aber auch eine Rotation in den aufsteigenden Unterkieferästen im Sinne einer Veränderung des Interkondylarwinkels von durchschnittlich 4,6 Grad.

Beide Arbeiten müssen tatsächlich auch ohne die Verwendung von CAD/CAM-Osteosyntheseplatten als gutes Rekonstruktionsergebnis gewertet werden und unterstreichen aus Sicht des Autors den Stellenwert der Osteotomieschablonen für die präzise Unterkieferrekonstruktion. Die Autorenklinik konnte im Jahr 2012 und 2015 in zwei Arbeiten hierzu bereits zeigen, dass auch manuell am 3D-Modell vorgebogene Platten eine hervorragende intraoperative Passung aufweisen [68, 71]. Dies ist jedoch nur dann der Fall, wenn gleichzeitig ein Übertragungsschlüsselverfahren zur Anwendung kommt. Wie die Rekonstruktionsplatte im Fall der Studie von Zhang et al. und Metzler et al. in den Operationssitus übertragen wurden, geht aus den Arbeit nicht hervor, so dass eine weiterführende Bewertung dieser Ergebnis hier nicht sinnvoll erscheint.

Die klinische Anwendbarkeit sowie die postoperativen Langzeitergebnisse der beschriebenen PSMP-Methode sind derzeit ebenfalls Inhalt vieler wissenschaftlicher Untersuchungen [6, 26, 61, 70, 73]. Diese Arbeiten kommen allesamt weitestgehend einheitlich zu denselben Ergebnissen hinsichtlich der klinischen Bewertung der Methode. Exemplarisch soll hier kurz auf die klinische Multicenterstudie der eigenen Forschungsgruppe um Wilde et al. eingegangen werden.

Diese haben neben der Erstbeschreibung der in dieser Studie eingesetzten PSMP-Methode im Jahr 2014 [69] in einer Folgestudie im Jahr 2015 ausführlich über die klinischen Erfahrungen bei der Anwendung der Methode berichtet [70]. Hier wurde die Passung der PSMP-Platte auf den Unterkiefer überwiegend als sehr gut beschrieben, die Passung der Cutting- und Drilling-Guides überwiegend als gut. Die Beurteilung der prä- und postoperativen Okklusion hat sich hier als

nicht sehr hilfreich für die Bewertung der Rekonstruktionsgenauigkeit erwiesen. Die postoperative Position der Kiefergelenke wurde durch den Behandler subjektiv in den meisten Fällen als regelrecht beschrieben. Eine quantitative Bestimmung der postoperativen Rekonstruktionsgenauigkeit konnte nun diese hier vorliegende Studie nachweisen. Die bei Wilde et al. diskutierten Fehlerquellen erscheinen auch in Kenntnis des tatsächlich gemessenen Rekonstruktionsfehlers plausibel. Eine gute Passung der Osteosyntheseplatten mit der PSMP-Methode konnte vor allem bei kleineren Rekonstruktionsdefekten nachgewiesen werden. Eine zunehmende Rekonstruktionsungenauigkeit, die sich bei größeren Defekten ergibt scheint ihre Ursache tatsächlich in der erschwerten und damit unpräziseren Anwendung der Übertragungsschlüssel zu haben.

Die Anwendung der PSMP-Methode ist je nach Planungsaufwand mit erhöhten Materialkosten von 1500€ bis 5000€ als auch mit einem präoperativen zeitlichen Mehraufwand für die Vorbereitung der Operation verbunden [37, 61, 70]. Dieser zusätzliche Zeit- und Kostenaufwand wird durch die intraoperative Zeitersparnis durch den Wegfall des Plattenbiegens und deutlich erleichtertes Osteotomieren und Einpassung der Knochentransplantate jedoch teilweise bis vollständig ausgeglichen. Toto et al. konnte dies zumindest für die im nordamerikanischen Gesundheitssystem geltenden Kosten nachweisen [61]. Außerdem konnten durch die verkürzte OP-Zeiten auch die Ischämiezeiten des Transplantates reduziert werden [56].

Ein weiterer Vorteil der PSMP-Methode liegt nach Ansicht des Autors in dem Herstellungsverfahren der Osteosyntheseplatten. Da bei der PSMP-Methode diese aus einem vorgefertigten Titanblock gefräst werden, müssen sie im Rahmen der Fertigung zu keinem Zeitpunkt einem Biegestress ausgesetzt werden. Außerdem sind keine vorgegebenen Biegestellen, wie man sie bei Standard-Rekonstruktionsplatten zwischen den Schraubenlöchern regelhaft findet, notwendig. Dadurch liegt die Vermutung nahe, dass die patientenspezifischen Osteosyntheseplatten unter Kaubelastung eine höhere Bruchfestigkeit aufweisen sollten, als konventionell von Hand gebogene Platten. Biomechanische Untersuchungen zur Untermauerung dieser Hypothese stehen derzeit jedoch nicht zur Verfügung und sind daher Gegenstand weiterer Untersuchungen der Forschungsgruppe.

4.8. Schlussfolgerung

Die Unterkieferrekonstruktion nach der PSMP-Methode ergibt bei rein alloplastischen Rekonstruktionen ist signifikant präziser als die Standardmethode. Im Vergleich der alloplastischen mit den mikrovaskulären Rekonstruktionen innerhalb der PSMP-Gruppe zeigte sich ein deutlich schlechteres Rekonstruktionsergebnis bei Anwendung eines mikrovaskulären Transplantates, was unter anderem darauf zurückgeführt werden konnte, dass die Genauigkeit der PSMP-Methode mit steigender Anzahl an Resektionssegmenten abnimmt und die Positionierung der Rekonstruktionsplatte im Bereich des Processus condylaris ungenauer zu sein scheint als an anderen Unterkieferregionen. Diese Ergebnisse erscheinen plausibel, da die rein alloplastische Rekonstruktion in der Regel nur dann zur Anwendung kommt, wenn es sich um kleinere Substanzdefekte des Unterkiefers handelt. Das hier mit der PSMP-Methode erzielte genauere Rekonstruktionsergebnis ist klinisch von großer Relevanz, weil bei kleinen Unterkieferdefekten häufig noch eine ausreichende Restbezahnung vorhanden ist, deren Okklusion postoperativ für den Patienten bei der Bewertung des Rekonstruktionsergebnis von Bedeutung ist. Hier ist eine möglichst exakte Rekonstruktion oberstes Rekonstruktionsziel es belegt den Vorteil der PSMP-Methode gegenüber der Standardmethode bei den Unterkieferteilresektionen mit kleineren Defekten im restbezahnten Kiefer.

Bei der Anwendung der PSMP-Methode für die primär mikrovaskulären Rekonstruktionen ergaben sich hingegen erhöhte Ungenauigkeiten. Diese korrelierten mit der Tatsache, dass hier regelhaft große Unterkieferdefekte ersetzt werden mussten. Dass der Rekonstruktionsfehler hier vor allem in der Anwendung von Übertragungsschlüsseln zu suchen ist, deren Handhabung bei ausgedehnten Resektionen operationstechnisch schwieriger ist, konnte dargelegt werden. Es soll abschließend erwähnt werden, dass in diesen Fällen ein derart genaues Rekonstruktionsergebnis auch nicht unbedingt notwendig ist, da der Patient in diesen Fällen bereits geringe oder keine Restbezahnung mehr aufweist (Wilde et al. [70]). Die Vorteile der PSMP-Methode sind dann nicht in der Rekonstruktionsgenauigkeit, sondern in den anderen Möglichkeiten, die dieses Verfahren zusätzlich aufweist, zu suchen. Hier bietet die PSMP-Methode durch die Kombination von patientenspezifischer CAD/CAM-Rekonstruktionsplatte und

CAD/CAM-Operationsschablonen die Option, die Unterkieferrekonstruktion den Bedürfnissen des Patienten jeweils individuell anzupassen. Hierbei kann auf Kosten einer längeren präoperativen Planungsphase die tatsächliche Operationszeit als auch die Ischämiezeit bei mikrovaskulären Transplantaten verkürzt werden. Dazu besteht die Möglichkeit exakte Unterkieferrekonstruktionen durchzuführen, auch wenn aufgrund fortgeschrittener Tumorprogression oder Destruktionen die ursprüngliche Kontur der Mandibula bereits verloren gegangen ist. Hierbei können die Osteosyntheseplatten individuell an die klinischen Erfordernisse angepasst werden um eine spätere dentale Rehabilitation zu erleichtern. Das Plattendesign kann hier beispielsweise so geplant werden, dass das Knochentransplantat in Relation zum Oberkiefer so zu liegen kommt, dass später eingebrachte Zahnimplantate später auch sinnvoll prothetisch versorgt werden können [16, 20]. Bei nachgewiesener hoher Präzision und Passgenauigkeit dieser Platten verspricht man sich außerdem durch den Wegfall von Biegestress am Material eine erhöhte Stabilität als auch Lebensdauer der Osteosyntheseplatten.

5. Zusammenfassung

Die Standardmethode zur Unterkieferrekonstruktion weist hinsichtlich Genauigkeit, Stabilität und Formgebung der Mandibula in vielen Fällen deutliche Schwächen auf. Deshalb wurde ein Verfahren entwickelt, welches mittels vollständig computerbasierter virtueller Operationsplanung auf Grundlage von radiologischen Bilddaten eine Unterkieferrekonstruktion möglich macht, welche von den Problemen der Standardmethode weitestgehend befreit zu sein scheint (PSMP – Methode für „*Patienten-Spezifische-Mandibula-Platte*“). Die Übertragung der virtuellen Planung in den Operationssitus erfolgt hierbei durch maschinell gefertigte und damit bereits abschließend vorgeformte Osteosyntheseplatten in Kombination mit ebenfalls maschinell gefertigten Operationsschablonen. Durch diese Schablonen werden die Informationen wie Resektionsgrenzen und Bohrlochpositionen in den Operationssitus übertragen. Die Formgebung der Platte ist hierbei frei wählbar um diese an die späteren prothetischen Bedürfnissen anzupassen und um eine knöcherne Rekonstruktion bereits vorab einzuplanen. Durch die präoperative Planungsarbeit wird die eigentliche Operationszeit verkürzt und der Herstellungsprozess vermeidet Materialschwächungen des Werkstoffes, wie sie durch Biegestress bei der Standardmethode entstehen können. Die Genauigkeit dieser vielversprechenden Rekonstruktionsmethode sollte in der vorliegenden Arbeit quantifiziert und mit der Standardmethode verglichen werden. Dieser Vergleich ist bei der Gesamtbewertung der PSMP-Methode von Bedeutung, da diese bei allen genannten Vorteilen auch mit einem sehr hohen Planungs- und Kostenaufwand verbunden ist.

Hierzu wurden 42 Patientenfälle mit Unterkieferteilresektion über einen Zeitraum von elf Jahren untersucht. Die Gruppen wurden in Standardmethode als Kontrollgruppe (n = 24) und PSMP-Methode (n = 18) unterteilt. Anhand von prä- und postoperativen Computertomogrammen wurden die Distanzen zwischen sechs korrespondierenden anatomischen Landmarken im Bereich des linken und rechten aufsteigenden Unterkieferastes vermessen. Durch die Bestimmung der prä- und postoperativen Differenz dieser Strecken konnte ein Maß für die Rekonstruktionsgenauigkeit der jeweiligen Operationsmethode berechnet und ein statistischer Vergleich gezogen werden.

Die PSMP-Methode stellte dabei im Vergleich zur Standardmethode eine signifikant genauere Methode zur Rekonstruktion des Unterkiefers dar. Beim Vergleich eines nahezu identischen Patientenklientels mit annähernd gleichem Resektionsausmaß lag der mediane Rekonstruktionsfehler aller Fälle einer Gruppe bei der PSMP-Methode bei 1,13 mm, bei der Standardmethode bei 1,90 mm. Auch bei der alleinigen Betrachtung der rein alloplastischen Rekonstruktionsfälle konnte die PSMP-Methode mit einem medianen Fehler von 0,80 mm ein signifikant genaueres Ergebnis aufweisen als die Standardmethode mit 1,75 mm. Hierbei war festzustellen, dass sich bei der PSMP-Methode nur eine minimale Tendenz zur Verbreiterung des rekonstruierten Unterkiefers erkennen ließ. Bei der Standardmethode zeichnete sich hingegen eine deutlichere Tendenz zur Verschmälerung der Unterkieferspange ab. Im Rahmen der Ursachenanalyse für Fehler bei der Rekonstruktion nach der PSMP-Methode fand ein Vergleich zwischen rein alloplastischen (n = 10) und mikrovaskulären Rekonstruktionsfällen (n = 8) innerhalb PSMP-Gruppe statt. Bei dieser Analyse ergab sich bei gleichem Resektionsausmaß ein hochsignifikanter Unterschied zwischen den alloplastischen (2,47 mm) und den mikrovaskulären Rekonstruktionsfällen (0,80 mm). Hierbei zeigte sich eine Korrelation zwischen Resektionsausmaß und Rekonstruktionsfehler. Dabei schien vor allem die Positionierung der Operationsschablonen für die Rekonstruktionsungenauigkeit von Bedeutung zu sein. Bei ausgedehnten Resektionen bis in den Bereich des Ramus mandibulae mit erschwerter Positionierung der Übertragungsschlüssel fanden sich die größten Rekonstruktionsfehler.

Die PSMP-Methode stellt somit ein genaues Verfahren dar, welches sowohl bei der alloplastischen als auch der mikrovaskulär-knöchernen Unterkieferrekonstruktion eine Vielzahl an präoperativen Planungsmöglichkeiten bietet und ein hohes Maß an Flexibilität und Patientenindividualität zulässt. Gerade in Situationen, bei denen die Standardmethode an ihre Grenzen stößt, kann die PSMP-Methode ein verbessertes Rekonstruktionsergebnis ermöglichen. Demnach erscheint diese der Standardmethode zur Unterkieferrekonstruktion überlegen und sollte in Fällen von ausgedehnten Resektionen sowie bei primären mikrovaskulären Rekonstruktionen im Sinne einer optimierten Patienten-versorgung breite klinische Anwendung finden.

6. Literaturverzeichnis

1. **Aschenbrenner N**: *Computertomographie jetzt auch für Elektronik*. (2003)
2. **Bak M, Jacobson AS, Buchbinder D, Urken ML**: *Contemporary reconstruction of the mandible.* Oral Oncol, 46: 71-76 (2010)
3. **Baker A, McMahon J, Parmar S**: *Immediate reconstruction of continuity defects of the mandible after tumor surgery.* J Oral Maxillofac Surg, 59: 1333-1339 (2001)
4. **Bilz M, Uhlmann E**: *Generative Manufacturing Methods: Selective Laser Melting.* http://www.ipk.fraunhofer.de/fileadmin/user_upload/IPK_FHG/publikationen/themenblaetter/ps_ft_selective_laser_melting_en.pdf. (22.12.2014)
5. **Buchbinder D, Urken ML, Vickery C, Weinberg H, Biller HF**: *Bone contouring and fixation in functional, primary microvascular mandibular reconstruction.* Head Neck, 13: 191-199 (1991)
6. **Chang EI, Jenkins MP, Patel SA, Topham NS**: *Long-Term Operative Outcomes of Preoperative Computed Tomography-Guided Virtual Surgical Planning for Osteocutaneous Free Flap Mandible Reconstruction.* Plast Reconstr Surg, 137: 619-623 (2016)
7. **Christiansen EL, Thompson JR, Kopp S**: *Intra- and inter-observer variability and accuracy in the determination of linear and angular measurements in computed tomography. An in vitro and in situ study of human mandibles.* Acta Odontol Scand, 44: 221-229 (1986)
8. **Ciocca L, Mazzoni S, Fantini M, Persiani F, Marchetti C, Scotti R**: *CAD/CAM guided secondary mandibular reconstruction of a discontinuity defect after ablative cancer surgery.* J Craniomaxillofac Surg, 40: e511-515 (2012)
9. **Ciocca L, Mazzoni S, Fantini M, Marchetti C, Scotti R**: *The design and rapid prototyping of surgical guides and bone plates to support iliac free flaps for mandible reconstruction.* Plast Reconstr Surg, 129: 859e-861e (2012)
10. **Ciocca L, Donati D, Fantini M, Landi E, Piattelli A, Iezzi G, Tampieri A, Spadari A, Romagnoli N, Scotti R**: *CAD-CAM-generated hydroxyapatite scaffold to replace the mandibular condyle in sheep: preliminary results.* J Biomater Appl, 28: 207-218 (2013)
11. **Ciocca L, Marchetti C, Mazzoni S, Baldissara P, Gatto MR, Cipriani R, Scotti R, Tarsitano A**: *Accuracy of fibular sectioning and insertion into a rapid-prototyped bone plate, for mandibular reconstruction using CAD-CAM technology.* J Craniomaxillofac Surg, 43: 28-33 (2015)

12. **Cornelius CP, Smolka W, Giessler GA, Wilde F, Probst FA**: *Patient-specific reconstruction plates are the missing link in computer-assisted mandibular reconstruction: A showcase for technical description.* J Craniomaxillofac Surg, 43: 624-629 (2015)

13. **Dauber S, Welzel T, Krempien R, Worn H**: *[Processing medical image data for head surgery].* Biomed Tech (Berl), 47 Suppl 1 Pt 2: 936-938 (2002)

14. **Derand P, Hirsch JM**: *Virtual bending of mandibular reconstruction plates using a computer-aided design.* J Oral Maxillofac Surg, 67: 1640-1643 (2009)

15. **Doty JM, Pienkowski D, Goltz M, Haug RH, Valentino J, Arosarena OA**: *Biomechanical evaluation of fixation techniques for bridging segmental mandibular defects.* Arch Otolaryngol Head Neck Surg, 130: 1388-1392 (2004)

16. **Essig H, Rana M, Kokemueller H, von See C, Ruecker M, Tavassol F, Gellrich NC**: *Pre-operative planning for mandibular reconstruction - a full digital planning workflow resulting in a patient specific reconstruction.* Head Neck Oncol, 3: 45 (2011)

17. **Farwell DG, Futran ND**: *Oromandibular reconstruction.* Facial Plast Surg, 16: 115-126 (2000)

18. **Foley BD, Thayer WP, Honeybrook A, McKenna S, Press S**: *Mandibular reconstruction using computer-aided design and computer-aided manufacturing: an analysis of surgical results.* J Oral Maxillofac Surg, 71: e111-119 (2013)

19. **Frerich B, Gerlach KL, Pape HD**: *Tumoroperationen der unteren Mundhöhlenetage*. In: Hausamen, J-E, Machtens E, Reuther J, Eufinger H, Kübler A, and Schliephake H (Hrsg) *Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie - Operationslehre und -atlas*, 4. Aufl, Springer Berlin Heidelberg, S. 496 - 500 (2012)

20. **Freudlsperger C, Bodem JP, Engel E, Hoffmann J**: *Mandibular reconstruction with a prefabricated free vascularized fibula and implant-supported prosthesis based on fully three-dimensional virtual planning.* J Craniofac Surg, 25: 980-982 (2014)

21. **Gateno J, Teichgraeber JF, Aguilar E**: *Computer planning for distraction osteogenesis.* Plast Reconstr Surg, 105: 873-882 (2000)

22. **Hallermann W, Olsen S, Bardyn T, Taghizadeh F, Banic A, Iizuka T**: *A new method for computer-aided operation planning for extensive mandibular reconstruction.* Plast Reconstr Surg, 117: 2431-2437 (2006)

23. **Hassfeld S, Muhling J**: *Computer assisted oral and maxillofacial surgery--a review and an assessment of technology.* Int J Oral Maxillofac Surg, 30: 2-13 (2001)

24. **Hellem S, Olofsson J**: *Titanium-coated hollow screw and reconstruction plate system (THORP) in mandibular reconstruction.* J Craniomaxillofac Surg, 16: 173-183 (1988)

25. **Hidalgo DA**: *Fibula free flap: a new method of mandible reconstruction.* Plast Reconstr Surg, 84: 71-79 (1989)

26. **Hidalgo DA**: *Discussion: Long-Term Operative Outcomes of Preoperative Computed Tomography-Guided Virtual Surgical Planning for Osteocutaneous Free Flap Mandible Reconstruction.* Plast Reconstr Surg, 137: 624-628 (2016)

27. **Howaldt HP, Vorast H, Blecher JC, Reicherts M, Kainz M**: *[Results of the DOSAK tumor register].* Mund Kiefer Gesichtschir, 4 Suppl 1: S216-225 (2000)

28. **Juergens P, Krol Z, Zeilhofer HF, Beinemann J, Schicho K, Ewers R, Klug C**: *Computer simulation and rapid prototyping for the reconstruction of the mandible.* J Oral Maxillofac Surg, 67: 2167-2170 (2009)

29. **Kellman RM, Gullane PJ**: *Use of the AO mandibular reconstruction plate for bridging of mandibular defects.* Otolaryngol Clin North Am, 20: 519-533 (1987)

30. **Kroll SS, Reece GP**: *Aesthetically successful mandibular reconstruction with a single reconstruction plate.* Clin Plast Surg, 28: 273-282 (2001)

31. **Kundert M, Hadjianghelou O**: *Condylar displacement after sagittal splitting of the mandibular rami. A short-term radiographic study.* J Maxillofac Surg, 8: 278-287 (1980)

32. **Leonard MS**: *Maintenance of condylar position after sagittal split osteotomy of the mandible.* J Oral Maxillofac Surg, 43: 391-392 (1985)

33. **Li KK, Cheney ML, Teknos TN**: *The importance of mandibular position in microvascular mandibular reconstruction.* Laryngoscope, 106: 903-907 (1996)

34. **Marchetti C, Bianchi A, Mazzoni S, Cipriani R, Campobassi A**: *Oromandibular reconstruction using a fibula osteocutaneous free flap: four different "preplating" techniques.* Plast Reconstr Surg, 118: 643-651 (2006)

35. **Martola M, Lindqvist C, Hanninen H, Al-Sukhun J**: *Fracture of titanium plates used for mandibular reconstruction following ablative tumor surgery.* J Biomed Mater Res B Appl Biomater, 80: 345-352 (2007)

36. **Matteson SR, Bechtold W, Phillips C, Staab EV**: *A method for three-dimensional image reformation for quantitative cephalometric analysis.* J Oral Maxillofac Surg, 47: 1053-1061 (1989)

37. **Mazzoni S, Marchetti C, Sgarzani R, Cipriani R, Scotti R, Ciocca L**: *Prosthetically guided maxillofacial surgery: evaluation of the accuracy of a surgical guide and custom-made bone plate in oncology patients after mandibular reconstruction.* Plast Reconstr Surg, 131: 1376-1385 (2013)

38. **Mehta RP, Deschler DG**: *Mandibular reconstruction in 2004: an analysis of different techniques.* Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg, 12: 288-293 (2004)

39. **Metzler P, Geiger EJ, Alcon A, Ma X, Steinbacher DM**: *Three-dimensional virtual surgery accuracy for free fibula mandibular reconstruction: planned versus actual results.* J Oral Maxillofac Surg, 72: 2601-2612 (2014)

40. **Navarro-Alarcon M, Ruiz-Ojeda FJ, Blanca-Herrera RM, MM AS, Acuna-Castroviejo D, Fernandez-Vazquez G, Agil A**: *Melatonin and metabolic regulation: a review.* Food Funct, 5: 2806-2832 (2014)

41. **O'Ryan F, Epker BN**: *Surgical orthodontics and the temporomandibular joint. I. Superior repositioning of the maxilla.* Am J Orthod, 83: 408-417 (1983)

42. **Roser SM, Ramachandra S, Blair H, Grist W, Carlson GW, Christensen AM, Weimer KA, Steed MB**: *The accuracy of virtual surgical planning in free fibula mandibular reconstruction: comparison of planned and final results.* J Oral Maxillofac Surg, 68: 2824-2832 (2010)

43. **Rotskoff KS, Herbosa EG, Villa P**: *Maintenance of condyle-proximal segment position in orthognathic surgery.* J Oral Maxillofac Surg, 49: 2-7; discussion 7-8 (1991)

44. **Salgueiro MI, Stevens MR**: *Experience with the use of prebent plates for the reconstruction of mandibular defects.* Craniomaxillofac Trauma Reconstr, 3: 201-208 (2010)

45. **Saunders JR, Jr., Hirata RM, Jaques DA**: *Definitive mandibular replacement using reconstruction plates.* Am J Surg, 160: 387-389 (1990)

46. **Schepers RH, Raghoebar GM, Vissink A, Stenekes MW, Kraeima J, Roodenburg JL, Reintsema H, Witjes MJ**: *Accuracy of fibula reconstruction using patient-specific CAD/CAM reconstruction plates and dental implants: A new modality for functional reconstruction of mandibular defects.* J Craniomaxillofac Surg, 43: 649-657 (2015)

47. **Schimmele SR**: *Delayed reconstruction of continuity defects of the mandible after tumor surgery.* J Oral Maxillofac Surg, 59: 1340-1344 (2001)

48. **Schliephake H, Jamil MU**: *Prospective evaluation of quality of life after oncologic surgery for oral cancer.* Int J Oral Maxillofac Surg, 31: 427-433 (2002)

49. **Schliephake H, Jamil MU**: *Impact of intraoral soft-tissue reconstruction on the development of quality of life after ablative surgery in patients with oral cancer.* Plast Reconstr Surg, 109: 421-430; discussion 431-422 (2002)

50. **Schmelzeisen R, Schramm A**: *Computer-assisted reconstruction of the facial skeleton.* Arch Facial Plast Surg, 5: 437 (2003)

51. **Schmoker RR**: *Mandibular reconstruction using a special plate. Animal experiments and clinical application.* J Maxillofac Surg, 11: 99-106 (1983)

52. **Schoutens R**: *(Email und persönliche Mitteilungen - 2016)*

53. **Schrag C, Chang YM, Tsai CY, Wei FC**: *Complete rehabilitation of the mandible following segmental resection.* J Surg Oncol, 94: 538-545 (2006)

54. **Schuller-Gotzburg P, Pleschberger M, Rammerstorfer FG, Krenkel C**: *3D-FEM and histomorphology of mandibular reconstruction with the titanium functionally dynamic bridging plate.* Int J Oral Maxillofac Surg, 38: 1298-1305 (2009)

55. **Schusterman MA, Harris SW, Raymond AK, Goepfert H**: *Immediate free flap mandibular reconstruction: significance of adequate surgical margins.* Head Neck, 15: 204-207 (1993)

56. **Seruya M, Fisher M, Rodriguez ED**: *Computer-assisted versus conventional free fibula flap technique for craniofacial reconstruction: an outcomes comparison.* Plast Reconstr Surg, 132: 1219-1228 (2013)

57. **Seth R, Waters HH, Knott PD**: *Vascularized bone graft reconstruction of the temporomandibular joint using the tunneled, anchored suture technique.* Laryngoscope, 120 Suppl 4: S236 (2010)

58. **Shu DL, Liu XZ, Guo B, Ran W, Liao X, Zhang YY**: *Accuracy of using computer-aided rapid prototyping templates for mandible reconstruction with an iliac crest graft.* World J Surg Oncol, 12: 190 (2014)

59. **Specht A, Gordon IJ, Groves RH, Lambers H, Phinn SR**: *Catalysing transdisciplinary synthesis in ecosystem science and management.* Sci Total Environ, 534: 1-3 (2015)

60. **Steinberg MJ, Collins SL**: *A simple fixation device to preserve anatomic position during reconstruction of mandibular defects.* Laryngoscope, 108: 448-451 (1998)

61. **Toto JM, Chang EI, Agag R, Devarajan K, Patel SA, Topham NS**: *Improved operative efficiency of free fibula flap mandible reconstruction with patient-specific, computer-guided preoperative planning.* Head Neck, 37: 1660-1664 (2015)

62. **Urken ML, Buchbinder D, Weinberg H, Vickery C, Sheiner A, Parker R, Schaefer J, Som P, Shapiro A, Lawson W, et al.**: *Functional evaluation following microvascular oromandibular reconstruction of the oral cancer patient: a comparative study of reconstructed and nonreconstructed patients.* Laryngoscope, 101: 935-950 (1991)

63. **Vandenbrouke B, J-P. K**: *Selective laser melting of biocompatible metals for rapid manufacturing of medical parts.* http://utwired.engr.utexas.edu/lff/symposium/proceedingsarchive/pubs/manuscripts/2006/2006-15-vanderbroucke.pdf. (22.12.2014)

64. **Vj R, A SA, Mufeed A, Vadivazhagan, Issac JK**: *Characterization of cervicofacial lymphnodes - a clinical and ultrasonographic study.* J Clin Diagn Res, 8: ZC25-28 (2014)

65. **Vuillemin T, Raveh J, Sutter F**: *Mandibular reconstruction with the titanium hollow screw reconstruction plate (THORP) system: evaluation of 62 cases.* Plast Reconstr Surg, 82: 804-814 (1988)

66. **Vural E, Yuen JC**: *Combining use of resin models with external fixation in mandibular reconstruction.* Arch Otolaryngol Head Neck Surg, 133: 603-607 (2007)

67. **Waitzman AA, Posnick JC, Armstrong DC, Pron GE**: *Craniofacial skeletal measurements based on computed tomography: Part II. Normal values and growth trends.* Cleft Palate Craniofac J, 29: 118-128 (1992)

68. **Wilde F, Plail M, Riese C, Schramm A, Winter K**: *Mandible reconstruction with patient-specific pre-bent reconstruction plates: comparison of a transfer key method to the standard method--results of an in vitro study.* Int J Comput Assist Radiol Surg, 7: 57-63 (2012)

69. **Wilde F, Cornelius CP, Schramm A**: *Computer-Assisted Mandibular Reconstruction using a Patient-Specific Reconstruction Plate Fabricated with Computer-Aided Design and Manufacturing Techniques.* Craniomaxillofac Trauma Reconstr, 7: 158-166 (2014)

70. **Wilde F, Hanken H, Probst F, Schramm A, Heiland M, Cornelius CP**: *Multicenter study on the use of patient-specific CAD/CAM reconstruction plates for mandibular reconstruction.* Int J Comput Assist Radiol Surg, 10: 2035-2051 (2015)

71. **Wilde F, Winter K, Kletsch K, Lorenz K, Schramm A**: *Mandible reconstruction using patient-specific pre-bent reconstruction plates: comparison of standard and transfer key methods.* Int J Comput Assist Radiol Surg, 10: 129-140 (2015)

72. **Will LA, Joondeph DR, Hohl TH, West RA**: *Condylar position following mandibular advancement: its relationship to relapse.* J Oral Maxillofac Surg, 42: 578-588 (1984)

73. **Zhang L, Liu Z, Li B, Yu H, Shen SG, Wang X**: *Evaluation of computer-assisted mandibular reconstruction with vascularized fibular flap compared to conventional surgery.* Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol, 121: 139-148 (2016)

Danksagung

Die Danksagung wurde aus Gründen des Datenschutzes entfernt.

Lebenslauf

Der Lebenslauf wurde aus Gründen des Datenschutzes entfernt.