

Diplomarbeit

WIE VORHERSEHBAR IST EINE ORTHOGNATHE PLANUNG?

– Präoperative Planung im Vergleich mit dem postoperativen Ergebnis

eingereicht von

Tatjana Marie-Lena Kuse-Isingschulte

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor(in) der gesamten Heilkunde

(Dr. ⁱⁿ med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

Universitätsklinik für Zahnmedizin und Mundgesundheit

Klinische Abteilung für Mund-Kiefer- und Gesichtschirurgie

unter der Anleitung von

Univ.-Prof. Priv.-Doz. Dr.med.univ. Dr.med.dent. Wolfgang Zemann

Dr. med. univ. Dr. med. dent. Michael Schwaiger

Graz, 10.01.2021

Eidesstattliche Erklärung

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

Graz, am 10.01.2021

Tatjana Marie-Lena Kuse-Isingschulte eh.

Vorwort

Die orthognathe Therapie setzt sich aus verschiedenen Teilbereichen zusammen. Das Erreichen eines optimalen anatomischen und funktionellen Ergebnisses ist demnach nur mittels interdisziplinärer Zusammenarbeit möglich. Durch die Optimierung der präoperativen Behandlung, der chirurgischen Methode und des postoperativen Managements, sowie der Nachbehandlung sind die Langzeitresultate als gut zu bewerten.

Ziel dieser Studie ist zu prüfen, wie aussagekräftig die Vorhersehbarkeit eines postoperativen Ergebnisses mittels manuell durchgeführter Planung in 2D ist. Es soll festgestellt werden, ob die Durchzeichnung von Fernröntgenseitenbildern mit anschließender manuell durchgeführter Planung dafür ausreichend ist. Dies soll anhand verschiedener Parameter, welche miteinander verglichen werden, geprüft werden.

Hierfür wurden entsprechende Auswertungsmethoden entwickelt, mit deren Hilfe die relevanten Daten ermittelt werden konnten. Eingeschlossen wurden alle volljährigen PatientInnen, welche zu dem Zeitpunkt der Datenerhebung von 01.01.2016-23.12.2018 an der Klinischen Abteilung für Mund-Kiefer- und Gesichtschirurgie mit einer bignathen Umstellungsosteotomie behandelt wurden. Daraus ergab sich ein PatientInnenkollektiv von insgesamt 29 Personen, die die geforderten Einschlusskriterien erfüllten.

Zur Mitarbeit an der Durchführung dieser Studie im Rahmen meiner Diplomarbeit entschloss ich mich, da die Dysgnathiechirurgie als solche mein Interesse wecken konnte, sowie die Komplexität der interdisziplinären Zusammenarbeit. Des Weiteren empfinde ich das Sammeln von Erfahrung in der Planung, Durchführung und Ausarbeitung klinischer Studien und ihrer Ergebnisse als äußerst wichtig. Dies gilt vor allem dafür um für meine spätere Tätigkeit als Ärztin, in der Lage sein zu können, wissenschaftliche Arbeiten richtig zu interpretieren und daraus adäquate Schlüsse für mein ärztliches Handeln ziehen zu können.

Für die gesamte statistische Auswertung gilt ein Signifikanzniveau von $p < 0,05$.

Danksagungen

An dieser Stelle möchte ich mich vor allem bei meinen Diplomarbeitsbetreuern Herrn PD Dr. Dr. W. Zemann und Herrn Dr. Dr. M. Schwaiger für ihre freundliche Bereitstellung, sowie Möglichkeit der Bearbeitung dieser Fragestellung, ihre allzeit hilfsbereite Betreuung und Geduld bedanken. Weiterhin gilt mein Dank Frau I. Mischak für Ihre Zeit und beratenden Beistand in statistischen Belangen. Ebenso ein großer Dank an meine Schwestern, Mascha und Lilli, die mich immer aufs Neue motiviert und aufgerichtet haben, und mir jeder Zeit mit Rat und Tat zur Seite gestanden haben. Zuletzt möchte ich besonders meinen Eltern danken, für Ihre bedingungslose Unterstützung in allen Belangen während meines Studiums, ihr seelischer, moralischer und beratender Beistand zu jeder Tages- und Nachtzeit, sowie die durch ein strapaziertes Nervenkostüm hervorgerufenen Launen, mit stoischer Gelassenheit zu ertragen.

1 Inhaltverzeichnis

Vorwort	II
Danksagungen	III
1 Inhaltverzeichnis	IV
Glossar und Abkürzungen	VI
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	X
Zusammenfassung	XI
Abstract	XIII
2 Einleitung	1
2.1 <i>Grundkenntnisse zu Euginathie und Dysgnathie</i>	1
2.1.1 Definition Euginathie	1
2.1.2 Definition Dysgnathie	1
2.1.3 Dysgnathieformen	2
2.1.4 Ursachen der Dysgnathie.....	2
2.1.5 Klassifikation nach Angle	3
2.2 <i>Kieferorthopädische Vorbehandlung</i>	5
2.2.1 Therapieplanung	5
2.2.2 Grundlagen der Kephalemtrischen Analyse	7
2.3 <i>Entwicklung der Orthognathen Chirurgie</i>	12
2.4 <i>Operationsmethoden</i>	14
2.4.1 Chirurgisches Prozedere	14
2.4.2 Nachsorge	20
2.5 <i>Entwicklung der Operationsplanung</i>	21
2.5.1 Planung in 2D	21
2.5.2 Planung in 3D	22
2.5.3 Weichteilanalyse.....	23
2.6 <i>Fragestellung und Zielsetzung</i>	24
3 Material und Methoden	26
3.1 <i>Datenerhebung</i>	26
3.2 <i>Chirurgisch-orthodontische Behandlungsplanung</i>	26

3.3	<i>Bimaxilläre Umstellungsosteotomie</i>	27
3.4	<i>Fernröntgenseitenbild- Analyse</i>	27
3.5	<i>Studienparameter</i>	30
3.5.1	Primäre Studienparameter	30
3.5.2	Sekundäre Studienparameter	30
3.6	<i>Literaturrecherche</i>	30
3.7	<i>Verwendete EDV-Programme</i>	30
3.8	<i>Statistische Analyse</i>	31
4	Ergebnisse – Resultate	31
4.1	<i>PatientInnenkollektiv</i>	31
4.2	<i>Statistische Auswertung</i>	32
4.2.1	Weichteilveränderung in Relation zum Ausgangsprofil	32
4.2.2	Prä- und postoperativen Weichteilveränderung im Vergleich	33
4.2.3	Postoperative Weichteilveränderung in Relation zum Ausgangsprofil.....	34
4.2.4	Differenzverteilung in Abhängigkeit des Geschlechts	34
4.2.5	Zusätzliche Erkenntnisse	35
4.2.6	Darstellung der einzelnen Referenzpunkte im Vergleich.....	36
4.3	<i>Zusammenfassung der Ergebnisse</i>	40
5	Diskussion	41
6	Zusammenfassung	52
7	Literaturverzeichnis	53

Glossar und Abkürzungen

Bimax	Bimaxillär beide Kiefer betreffend
Bignath	Ober- und Unterkiefer betreffend
Monognath	einen Kiefer betreffend
FRS	Fernröntgenseitenbild
Se	Sella
N	Nasion
N-Se- Linie	Nasion-Sella -Linie
Ls	Oberlippenpunkt
OL	Oberlippe
Li	Unterslippenpunkt
UL	Unterslippe
Gn'	Hautgnathion
SD	Standardabweichung
2D	zweidimensional
3D	dreidimensional
CT	Computertomographie
MRT	Magnetresonanztomographie

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Verzahnung der Seitenzähne in sagittaler Richtung Angle Klasse I – Neutralokklusion (8).....	4
Abbildung 2 Verzahnung der Seitenzähne in sagittaler Richtung Angle Klasse II – Distalbiss (8).....	4
Abbildung 3 Verzahnung der Seitenzähne in sagittaler Richtung Angle Klasse III – Mesialbiss (8)	5
Abbildung 4 Schematische Darstellung der Skelettale Bezugspunkte der Fernröntgenseitenanalyse (12).....	8
Abbildung 5 Schematische Darstellung der dentalen Bezugspunkte der Fernröntgenseitenanalyse (12).....	10
Abbildung 6 Schematische Darstellung der Weichteilpunkte der Fernröntgenseitanalyse (12)	10
Abbildung 7 Schematische Darstellung der Kephalometrie nach A.M. Schwarz: Kraniometrie (12)	12
Abbildung 8 LeFort I Osteotomie Ebene mit einer mindest Höhe des Eckzahnapex, zum Schutz der Zahnwurzeln a) sagittale Ansicht b) frontale Ansicht (3)	15
Abbildung 9 Darstellung des knöchernen Oberkiefers, nach Abpräparation der Gingiva und Durchführung einer Le-Fort-I Osteotomie; gestrichelte Linie markiert die Osteotomie oberhalb der Zahnwurzeln; 1) Zahntragender Anteil der Maxilla 2) cranialer Anteil der Maxilla 3) Oberlippe 4) Unterlippe 5) linker Nasenschlauch 6) Spina nasalis anterior.....	15
Abbildung 10 Darstellung einer monognathe Umstellungsosteotomie der Maxilla, nach Oberkiefermobilisation entsprechend einer „Downfracture“ des Zahntragenden Anteils; 1) Oberlippe 2) Unterlippe 3) Zahntragender Anteil der Maxilla 4) cranialer Anteil der Maxilla 5) linker Nasenschlauch 6) Spina nasalis anterior	16

Abbildung 11 Darstellung des knöchernen Oberkiefers nach Neupositionierung des zahntragenden Anteils, die Refixation erfolgt mittels Plattenosteosynthese (4 L-Platten, je zwei auf einer Seite), in mandibulomaxillärer Fixation mit Zwischensplint; 1) Oberlippe 2) Unterlippe 3) Zahntragender Anteil der Maxilla 4) cranialer Anteil der Maxilla 5) linker Nasenschlauch 6) Spina nasalis anterior	16
Abbildung 12 Sagittale Osteotomie nach Obwegeser. Verlauf der Osteotomie bis an den Hinterrand des aufsteigende Unterkieferastes (3)	17
Abbildung 13 Darstellung der Umstellungsosteotomie der Mandibula, nach Spaltung der aufsteigenden Unterkieferastes; gestrichelte Linie stellt die Osteotomielinie dar 1) Maxilla 2) linke Wange 3) zahntragender Anteil der Mandibula 4) gelenktragender Anteil der Mandibula 5) Zungenspatel	18
Abbildung 14 Kinnplastik a) Korrektur einer Retrogenie durch sagittale Vorverlagerung des kinntragenden Unterkiefersegments b) Korrektur einer Progenie durch sagittale Rückverlagerung des Segments c) Korrektur eines verlängerten Untergesichts (7)	19
Abbildung 15 Klassifikation der Mittelgesichtsfrakturen nach LeFort aus verschiedenen Blickrichtungen. 1: Le-Fort-I-Fraktur, 2: Le-Fort-II-Fraktur, 3: Le-Fort-III-Fraktur (7) ...	20
Abbildung 16 Präoperatives Fernröntgenseitenbild eines 29 Jahre alten Patienten, zu sehen ist die N-Se-Strecke (gestrichelte Linie) mit der darauf abgebildeten Senkrechten im N'-Punkt. Die weiteren eingezeichneten Punkte entsprechen den verwendeten Messpunkten (Ls, Li, Gn')	28
Abbildung 17 Vergleich der präoperativen Durchzeichnung (blau) mit der Planung (grün)	29
Abbildung 18 Vergleich der postoperativen Durchzeichnung (rot) mit der Planung (grün)	29
Abbildung 19 Altersverteilung des untersuchten PatientInnenkollektivs	31
Abbildung 20 Differenzabweichungen in Abhängigkeit des Geschlechts	34
Abbildung 21 Darstellung der Differenz zwischen geplantem und postoperativem Ergebnis in Millimeter	37

Abbildung 22 Differenzverteilung zwischen präoperativer Planung und postoperativem Ergebnis des Oberlippen Punktes (Ls-Punkt).....	37
Abbildung 23 Differenzverteilung zwischen präoperativer Planung und postoperativem Ergebnis des Unterlippen Punktes (Li-Punkt).....	38
Abbildung 24 Differenzverteilung zwischen präoperativer Planung und postoperativem Ergebnis des Kinn Punktes (Gn`-Punkt)	39
Abbildung 25 Verteilungsgrafik der Prozentuelle Anteile der im Toleranzbereich liegenden Differenzwerte	40

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Skelettale Bezugspunkte der Fernröntgenseitenanalyse (12) (s. Abbildung 4).....	9
Tabelle 2 Dentale Bezugspunkte der Fernröntgenseitenanalyse (12) (s. Abbildung 5).....	10
Tabelle 3 Weichteilbezugspunkte der Fernröntgenseitenanalyse (12) (s. Abbildung 6).....	11
Tabelle 4 Kranimetrie nach A.M. Schwarz (12)	12
Tabelle 5 Veränderung der Weichteile nach Umstellungsosteotomie (36).....	24
Tabelle 6 Veränderung des Weichgewebes prä- und postoperativ in Vergleich, Angabe des prozentuellen Anteils der PatientInnen bei welchen eine Veränderung der Gesichtprofils zu erkennen war.....	33
Tabelle 7 Differenz der prä- und postoperativen Ergebnisse im Vergleich	34
Tabelle 8 Differenzabweichungen der einzelnen Referenzpunkte, bezogen auf das männliche Geschlecht.....	35
Tabelle 9 Differenzabweichungen der einzelnen Referenzpunkte, bezogen auf das weibliche Geschlecht.....	35
Tabelle 10 Prozentueller Anteil der PatientInnen mit geplante Weichteilveränderung nach ventral verglichen mit dem postoperativen Anteil	36
Tabelle 11 Vergleich der Differenzen innerhalb der einzelnen Messpunkte zwischen den Zeitpunkten Planung und postoperativem Ergebnis	40
Tabelle 12 Vergleich der Differenzabweichungen der einzelnen Messpunkten untereinander	41

Zusammenfassung

Wie vorhersehbar ist eine orthognathe Planung?

– Präoperative Planung im Vergleich mit dem postoperativem Ergebnis

Fragestellung: Das Gebiet der orthognathen Chirurgie wurde über das letzte Jahrhundert gefördert und unterzog sich vielen Optimierungen. Sie setzt sich aus verschiedenen Faktoren zusammen, sodass ein interdisziplinärer Behandlungsplan unumgänglich ist, um ein optimales anatomisches und funktionelles Ergebnis des Kauapparates zu erlangen. Ein orthognather chirurgischer Eingriff setzt sich häufig aus der bilateralen sagittalen Spaltungsosteotomie des Unterkiefers und der Le-Fort-I Osteotomie des Oberkiefers zusammen. Um diese Intervention durchzuführen ist präoperativ nicht nur eine kieferorthopädische Vorbehandlung notwendig, sondern auch eine sorgfältige chirurgische Planung. Über die Jahre wurden Erkenntnisse dazugewonnen und durch die Weiterentwicklung bildgebender Verfahren können nach wie vor zunehmend Optimierungen im Bereich der Planung vorgenommen werden. Dementsprechend gibt es bereits verschiedene Studien, die sich speziell mit der operativen Planung in 3D beschäftigen und Vergleiche zur 2D-Planung ziehen. Diese Studie beschäftigt sich mit der traditionellen, manuell durchgeführten Planung mittels Durchzeichnung von Fernröntgenseitenbildern und inwiefern es möglich ist damit ein ausreichend genaues postoperatives Ergebnis vorhersagen zu können.

Methoden: Aus einer Gruppe von insgesamt 189 bimaxillär operierten PatientInnen, wurden nach Überprüfung von vorhandenen Untersuchungsunterlagen, 29 Personen herausgefiltert. Von diesen sind 12 Männer und 17 Frauen mit einem Durchschnittsalter 32,2 Jahre \pm 8,2 Jahren. Es wurden 14 Personen aufgrund einer Klasse II Dysgnathie und 15 Personen aufgrund einer Klasse III Dysgnathie chirurgisch behandelt. Bei 45% der ProbandInnen wurde die Operation mit einer Genioplastik erweitert.

Es wurden prä- und postoperativen Fernröntgenseitenbilder, sowie die zugehörige Planung gegenübergestellt und miteinander verglichen. Dafür wurden Durchzeichnungen angefertigt und anschließend die benötigten Werte, anhand von festgelegten Parametern, herausgearbeitet. Die Auswertung von Planung und postoperativem Ergebnis wurde zuerst allgemein betrachtet. Es folgte eine genaue Beurteilung der einzelnen Referenzpunkte, mit

einem Vergleich der Werte innerhalb der zwei Messzeitpunkte. Anschließend wurden die Referenzpunkte untereinander auf ihre Genauigkeit überprüft. Weitere Daten wie Alter und Geschlecht wurden den PatientInnenakten entnommen.

Resultate: Die postoperativen Ergebnisse im Vergleich mit der präoperativ angefertigten Planung zeigen einen statistisch signifikanten Unterschied ($p < 0,001$), für die Werte innerhalb der zwei Messpunkte, für alle untersuchten Referenzpunkte. Während der Vergleich zwischen den Messpunkten einen signifikanten Unterschied für die Punkte Unterlippe (Li-Punkt) zu Kinn (Gn'-Punkt) ($p < 0,004$) und Oberlippe (Ls-Punkt) zu Kinn (Gn'-Punkt) ($p < 0,006$) ergeben, zeigt der Vergleich Unterlippe (Li-Punkt) zu Oberlippe (Ls-Punkt) keinerlei signifikante Unterschiede ($p < 0,875$). Bei einem Toleranzbereich von 0-1,5mm Abweichung ergibt sich für den Oberlippenpunkt eine Übereinstimmung von 38%, für den Unterlippenpunkt von 59% und für das Kinngnathion von 35%. Die genaueste Übereinstimmung bei 0mm ergab sich für die Oberlippe, die höchste für die Unterlippen. Dahingegen zeigten sich die höchsten Abweichungen für das Kinn, sodass sich für diesen Bereich die am schwierigsten vorhersehbare Weichteilveränderung, für die hier angewandten 2D Planung ergibt.

Zusammenfassung: Diese Studie zeigt trotz einiger Limitationen, dass die 2D Planung für einen Standardeingriff eine schnelle einfach anzuwendende Methode darstellt. Für diese Arbeit gilt eine maximal tolerable Diskrepanz von bis zu 1,5mm, bei welcher sich eine Übereinstimmung von 35-59% ergibt. Folgt man nun einigen weiteren Studien, die eine Zufriedenheit der PatientInnen mit einer Abweichung von bis zu 2mm ergaben, zeigt sich bei dieser Studie ein anderes Bild. Bei einer Angleichung des Toleranzbereiches ergibt sich hier ein zufriedenstellendes Ergebnis, mit einer Genauigkeit von 41-69%.

Schlüsselwörter: orthognathe Chirurgie, Vorhersehbarkeit, präoperative Planung, postoperatives Ergebnis, Kephalemetrie

Abstract

How predictable is orthognathic planning?

Preoperative planning in comparison with the postoperative outcome.

Introduction: The field of orthognathic surgery has been around for the last century and has undergone many optimizations. You have to put together different options, adapt to an interdisciplinary treatment plan in order to achieve an optimal anatomical and functional result of the chewing apparatus. An orthognathic surgical procedure will surely consist of the bilateral sagittal split osteotomy of the mandible and the Le-Fort-I osteotomy of the maxilla. For this intervention, not only an orthodontic pretreatment is treated preoperatively, but also a central surgical planning. Over the years, in which it comes, and through the further development of the educational process, optimizations in the area of planning continue to be made. There are already own studies that deal with operational planning in 3D execution and defection in 2D planning.

Aim: This study deals with traditional, manually carried out planning by means of tracing of cephalometric images and to what extent it is possible to predict a sufficiently accurate postoperative result.

Material and Methods: From a group of 189 bimaxillary operated patients, 29 people were filtered out after reviewing existing examination documents. Of these, 12 are men and 17 are women with a mean age of 32.2 years \pm 8.2 years. 14 people were treated surgically for class II dysgnathia and 15 people for class III dysgnathia. In 45% of the subjects, the operation was expanded to include genioplasty.

Pre- and postoperative cephalometric radiographs and the associated planning were compared and compared. For this purpose, drawings were made and the values worked out with the help of specified parameters. The evaluation of planning and postoperative result was first considered in general. This was followed by a precise assessment of the individual reference points, with a comparison of the values within the two measurement times. The reference points were then checked for their accuracy against each other. Further data such as age and gender were taken from the patient files.

Results: The postoperative results in comparison with the preoperatively prepared planning show a statistically significant difference ($p < 0.001$) for the values within the two measuring points for all examined reference points. While the comparison between the measuring points shows a significant difference for the points of the lower lip (Li-point) to the chin (Gn'-point) ($p < 0.004$) and the upper lip (Ls-point) to the chin (Gn'-point) ($p < 0.006$), the comparison between the lower lip (Li-point) to the upper lip (Ls-point) shows no significant differences ($p < 0.875$). With a tolerance range of 0-1.5mm, there is a correspondence of 38% for the upper lip point, 59% for the lower lip point and 35% for the chin gnathion. The closest match at 0mm was found for the upper lip and the highest for the lower lip. However, the highest deviations were found for the chin, this shows that the predictability for soft tissue changes in this area where found to be the most difficult, using the 2D planning method.

Conclusion: Despite some limitations, this study shows that 2D planning is a fast, easy-to-use method for a standard procedure. A maximum tolerable discrepancy of up to 1.5mm applies to this work, which results in an agreement of 35-59%. If one now follows some further studies that showed that the patients were satisfied with a deviation of up to 2mm, this study shows a different picture. If the tolerance range is adjusted, the result is satisfactory, with an accuracy of 41-69%.

Keywords: orthognathic surgery, predictability, cephalometry, preoperative planning, postoperative outcome

2 Einleitung

Voraussetzung für eine umfassende regelrechte Funktion des Kauapparates ist eine anatomisch und funktional abgestimmte Okklusion. Weiterhin bestimmt der ästhetische Zustand ein zufriedenstellendes Selbstbild des Patienten. Die Behandlung mittels chirurgischer Intervention ist unter bestimmten Bedingungen und Voraussetzungen möglich. Bei der Analyse einer Behandlungsbedürftigkeit erfolgt immer eine konservative orthodontische beziehungsweise kieferorthopädische Vorbehandlung, sofern diese therapeutischen Mittel nicht ausreichen, erfolgt als nächster Schritt die Indikation einer mund-kiefer-gesichtschirurgischen Intervention. Diese Arbeit beschäftigt sich mit jenen Parametern die zur Stellung der Indikation herangezogen werden. Dabei soll der Fokus insbesondere darauf liegen, ob die Verwendung der gegebenen Parameter geeignet ist, das postoperative Ergebnis adäquat vorherzusehen.

2.1 Grundkenntnisse zu Eugnathie und Dysgnathie

2.1.1 Definition Eugnathie

Der Begriff Eugnathie kommt aus dem griechischen, „Eu = gut; gnathos = Kiefer“. Es beschreibt die regelrechte Ausbildung und damit die regelrechte Funktion der Maxilla zur Mandibula bzw. der Zähne im Schlussbiss. Es handelt sich um eine fehlerfreie Kiefer-Gebiss-Form und Funktion. (1)

2.1.2 Definition Dysgnathie

Der Begriff Dysgnathie kommt ebenfalls aus dem griechischen, „dys = miss / fehl; gnathos = Kiefer“. Während mit Eugnathie die morphologisch und funktionell harmonische Beziehung der Kiefer zueinander, sowie die physiologische Okklusion beschrieben wird, umschreibt Dysgnathie alle Abweichungen, von dieser regelrechten Form und Funktion des orofacialen Systems. (2) Man unterscheidet hier in dentoalveoläre und skelettale Formen. Die dentoalveoläre Dysgnathien umfassen Fehlstellungen im Zahnhalteapparat. Mit skelettalen Dysgnathien hingegen sind Anomalien der Lage und Größe von Ober- und Unterkiefer zueinander bzw. zur Schädelbasis gemeint. Häufig liegen jedoch Mischformen vor. (3)

2.1.3 Dysgnathieformen

Dysgnathie beschreibt viele verschiedene Varianten von Fehlbildungen bzw. -stellungen des Gesichtsschädel in Form und Funktion, diesen können morphologisch und ätiologisch unterschiedliche Krankheitsbilder zugrunde liegen. Diese Vielzahl entsteht durch Größendiskrepanz, sowie Lageanomalien und Asymmetrie in den drei Raumebenen und zusätzlich dentoalveoläre Abweichungen. (4)

Man unterscheidet grundsätzlich innerhalb der symmetrischen Dysgnathien in Hypo- und Hyperplasien des Ober- bzw. Unterkiefers.

Zu den mandibulären Hyperplasien zählt die Progenie, welche durch das Vorstehen des Kinns und der Unterkieferzähne mit gleichzeitiger Verlängerung des Kieferkörpers gekennzeichnet ist. Desweiteren eine Makromandibulie, ein abnorm großer Unterkiefer, z.B. bei Akromegalie. (1) Retrogenie definiert sich durch ein fliehendes Kinn infolge einer Distalverlagerung des Unterkiefers bei gleichzeitig normal positioniertem Oberkiefer in Bezug zur Schädelbasis und eine Mikromandibulie (abnorm kleiner Unterkiefer), gehören zu den mandibulären Hypoplasien. (4)

Zu den maxillären Hypoplasien zählen die Retromaxillie, eine Oberkieferrücklage zu normal positioniertem Unterkiefer, die Mikromaxillie (abnorm kleiner Oberkiefer) und die transversale Oberkieferhypoplasie. Die Oberkiefervorlagerung – maxilläre Prognathie, sowie die vertikale Oberkieferhyperplasie mit verlängertem mittleren Gesichtsdrittel gehören zu den maxillären Hyperplasien. (4)

Eine Seitwärtslagerung des Ober- bzw. Unterkiefers infolge einer Über- bzw. Unterentwicklung einer Kieferhälfte wird als Laterogenie bzw. unilaterale Hypo- oder Hyperplasie, bezeichnet und gehört somit zu den asymmetrischen Dysgnathien. (1)

2.1.4 Ursachen der Dysgnathie

Dysgnathien können verschiedene Ursachen zu Grunde liegen, sie können sowohl genetisch bedingt, als auch erworben sein.

2.1.4.1 Angeborene Variante

Die Zahn- und Kieferbreite sind auf unterschiedlichen Genen angelegt, wodurch eine Inkongruenz entstehen kann. Man unterscheidet hier in generalisierte Anomalien, welche häufig bei verschiedenen Dysmorphiesyndromen auftreten und Anomalien als Begleitsymptom bzw. als Folge einer übergeordneten Störung. Zu den Dysmorphiesyndromen, den Fehlbildungen des Kopfes, zählen das Franceschetti-Syndrom

(Dysostosis mandibulofacialis), das Apert-Syndrom (Akrozephalosyndaktylie) und das Dysostosis craniofacialis bzw. nasomaxillaris Syndrom. Im Falle der Lippen-Kiefer-Gaumen Spalte kann sich in weiterer Folge eine Dysgnathie entwickeln, wobei dies meist durch die postoperative Narbenbildung bedingt ist. (1)

2.1.4.2 Erworbene Form

Die erworbenen Dysgnathien sind durch funktionelle Störungen bedingt. Meist liegen hier verminderte Wachstumsimpulse auf Ober- und Unterkiefer zugrunde. Diese Reizübertragung kann durch sogenannte Habits gehemmt werden. Zu diesen zählen beispielsweise Kaufaulheit oder Trägheit während des Saugens. Dadurch kann es zu einer Rücklagerung des Unterkiefers, einer Mikrognathie kommen. Das Daumenlutschen kann sich in zwei Varianten auswirken, einerseits die Rücklagerung des Unterkiefers, andererseits die Entstehung eines offenen Bisses, durch vertikal bzw. horizontal eingeführten Daumen. Unter anderem kann eine Verlegung der Atemwege dazu führen, dass sich durch die notwendige Mundatmung, ein Spitzgaumen bildet. Ebenso können verschiedene Traumata, speziell im Bereich des Kiefergelenks, eine Fehlbildung bzw. -stellung verursachen. (1)

2.1.5 Klassifikation nach Angle

Die häufig verwendeten Begriffe wie Prognathie, Pseudoprognathie oder Prognathie sind ungenau in ihrer Beschreibung des eigentlichen Krankheitsbildes. Demnach wurde Vorsilben wie Pro-, Retro-, Mikro-, oder Makro- eingeführt, welche in Kombination mit mandibulär und maxillär eine genauere Lagebeschreibung geben. (5) Diese Begriffe beziehen sich jedoch nur auf die Sagittale, während es häufig kombinierte Lageanomalien in vertikaler und transversaler Ebene gibt.

Erstmalig wurden Ende des 19. Jahrhunderts Regeln eingeführt, welche eine Normokklusion definieren, diese wurde anhand der sagittalen Position der Eckzähne und der 6-Jahr-Molaren festgelegt. (6)

Man unterscheidet 3 Klassen:

Angle Klasse I – Normalokklusion

Dies beschreibt die Normalokklusion in sagittaler Ebene. (s. Abbildung 1) Der mesiobukkale Höcker des oberen ersten Molaren ist in der Furche zwischen mesio- und mediobukkalen Höcker des unteren ersten Molaren positioniert. Die Position des oberen Eckzahnes ist um

eine halbe Prämolarenbreite distal des mandibulären Eckzahns definiert. Es kann sich hier jedoch eine geringe Falschrichtung zeigen. (6; 7; 5)

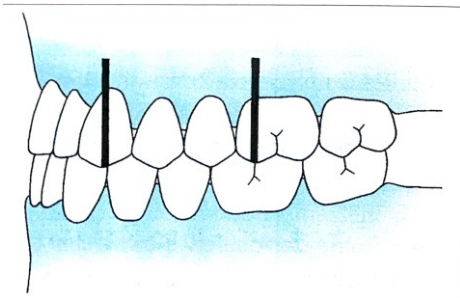


Abbildung 1 Verzahnung der Seitenzähne in sagittaler Richtung Angle Klasse I – Neutralokklusion (8)

Angle Klasse II – Distalbiss

Es handelt sich beim Distalbiss in der Regel um eine mandibuläre Retrognathie, dabei ist der mesiobukkale Höcker des oberen ersten Molaren mesial der Furche zwischen mesio- und mediobukkalen Höcker des unteren 6-Jahr-Molaren positioniert (s. Abbildung 2). Des Weiteren wird das Ausmaß der Verlagerung, die Prämolarenbreite in $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$ oder $\frac{3}{4}$ angegeben. (7; 5) Dementsprechend befindet sich der obere Eckzahn um weniger als $\frac{1}{2}$ Prämolarenbreite mesial zum mandibulären Eckzahn. Zusätzlich unterscheidet man anhand der Inklination der Oberkieferfront in zwei weitere Formen:

Angle Klasse II/1: Anteinklination bzw. Protrusion der Oberkieferfront

Angle Klasse II/2: Retroinklination bzw. Steilstand der Oberkieferfront

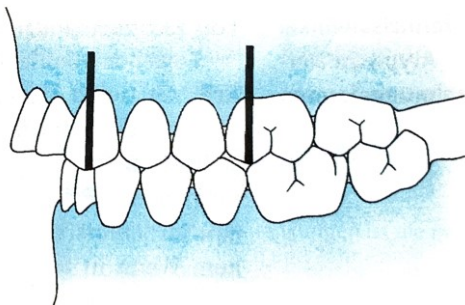


Abbildung 2 Verzahnung der Seitenzähne in sagittaler Richtung Angle Klasse II – Distalbiss (8)

Angle Klasse III - Mesialbiss

Im Gegensatz zur Klasse II Dysgnathie befindet sich hier der mesiobukkale Höcker des oberen 6-Jahr-Molaren weiter distal der Furche zwischen mesio- und mediobukkalen Höcker des unteren ersten Molaren, sodass es im Profil zu einem vorstehenden Kinn mit positiver Lippentreppe kommt. Der maxilläre Eckzahn ist entsprechend um $\frac{1}{2}$ Prämolarenbreite distal des unteren Eckzahn positioniert. (5; 7) (s. Abbildung 3)

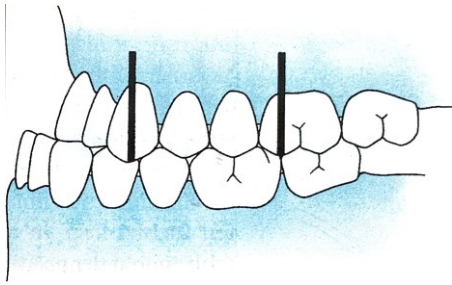


Abbildung 3 Verzahnung der Seitenzähne in sagittaler Richtung Angle Klasse III – Mesialbiss (8)

2.2 Kieferorthopädische Vorbehandlung

Eine kombinierte kieferorthopädisch-chirurgische Therapie ist dann angezeigt, wenn skelettale und dentoalveolare Deformationen so schwerwiegend sind, dass die kieferorthopädischen Behandlungsmittel und -methode nicht ausreichend sind, um eine regelrechte anatomische und funktionale Okklusion zu erreichen. (9) Dies kann einerseits durch die Schwere der Fehlstellung bzw. -bildung bedingt sein, andererseits durch einen zu späten Behandlungsbeginn nach Wachstumsabschluss. Zusätzlich müssen Dysfunktionen, Ästhetik aber auch mögliche psychosoziale Beeinträchtigung als wichtige Randbedingungen in die Indikationsstellung mit einbezogen werden.

2.2.1 Therapieplanung

Die Therapieplanung ist in mehrere Phasen aufgeteilt. Um ein optimales Ergebnis zu erzielen werden verschiedene Komponenten einbezogen, dazu gehören die kieferorthopädische Vorbehandlung, eine umfassende klinische Untersuchung, sowie kephalometrische Analysen. (10)

Dysgnathien kommen meist in Kombination vor. Bei einer skelettale Fehlbisslage versucht der Organismus durch eine dentoalveoläre Anpassung, entsprechend einer Fehlstellung, eine Okklusion zu ermöglichen, dies wird als Kompensation bezeichnet. Zu Beginn der Behandlung muss demnach eine Dekompensation vorgenommen werden. Die kieferorthopädische Vorbehandlung sieht vor, dass nach erfolgter Umstellungsoperation eine optimale Okklusion möglich ist. Es beinhaltet die Harmonisierung der Zahnbögen, Korrektur von Einzelfehlstellungen, Behebung transversaler Engstellen und gegebenenfalls Zahnextraktionen. In jedem Einzelfall muss individuell und interdisziplinär entschieden werden, welche Maßnahmen präoperativ sinnvoll sind und welche postoperativ erfolgen sollten. Zeitlich sollte dies zwischen dem 15.-17. Lebensjahr erfolgen. (3) Die zweite Phase beinhaltet den operativen Eingriff, die Umstellungsosteotomie. In weiterer Folge soll in der kieferorthopädischen Nachbehandlung die Feineinstellung der Zähne erfolgen. In der letzten

Phase, der Retentionsphase wird, um einen Therapieerfolg zu sichern, ein Retainer eingesetzt, der die Okklusion dauerhaft in Position halten soll. (3)

2.2.1.1 Fernröntgenseitenbild

Die Analyse des Fernröntgenseitenbildes (FRS) kann, zusätzlich zur klinischen Untersuchung des ästhetischen und okklusalen Befundes, wichtige Hinweise für die weitere Planung liefern. Während des Wachstums kann das FRS Prognosen über die skelettale Entwicklung des Gesichtsschädels geben. Hier werden verschiedene Referenzpunkte, -linien und -winkel verwendet, welche später genauer betrachtet werden.

Entscheidend für die Therapieplanung ist, dass die FRS-Analyse Rückschlüsse auf die skelettale Ursache der Anomalie gibt, zusätzlich muss die Analyse des Weichteilgewebes mit einbezogen werden. Hier sollte jedoch darauf geachtet werden, dass eine Normalisierung aller Werte nicht das Ziel der Therapie ist. Gewünscht ist, dass, unter Berücksichtigung aller gegebenen Werte, mit minimaler Moribidität, das bestmögliche ästhetische und okklusale Ergebnis erzielt wird. (7)

2.2.1.2 Modellanalyse

Die Modellanalyse ist Teil des präoperativen Behandlungsplans. Während die FRS-Analyse und die klinische Untersuchung Aufschluss in zwei Dimensionen geben, bietet die Modellanalyse die Möglichkeit, am Modell die Planung und Umsetzung dreidimensional zu überprüfen. Es werden Abdrücke der Zähne angefertigt, die mit Gips ausgegossen werden, um sie anschließend in einen Artikulator einzuspannen. Die Relation von Okklusionsebene zu Schädelbasisebene kann hier wiedergegeben werden, sodass die vertikale Bewegungsrichtung mittels des Artikulators geprüft werden kann. (3; 5)

Zusätzlich wird in diesem Schritt der Modelloperationsplanung ein bzw. zwei Splinte angefertigt, abhängig davon ob eine mono- bzw. bignathe Operation durchgeführt wird. Diese Splinte sollen die korrekte skelettale Lage von Ober- zu Unterkiefer simulieren und werden intraoperativ zur Kiefereinstellung verwendet. Demnach stellt die Splinterstellung die eigentliche Operationsplanung dar. Bei einer monognathen Umstellungsosteotomie wird nur ein Splint, der Okklusionssplint benötigt. Ein zusätzlicher Zwischensplint wird bei einer bignathen Operation benötigt, der die Neuposition des osteotomierten zum nicht-osteotomierten Kiefer definiert. Dadurch können Abweichungen von der festgelegten Modellplanung verhindert werden. (5)

2.2.1.3 Profilplanung

Hier ist die klinische Untersuchung entscheidend, mit besonderer Beachtung der Lachlinie, als Bezugsmerkmal. Anhand dieser kann die sagittale und vertikale Position der Oberkieferfront bestimmt werden, welche somit die Ausgangsparameter zur Profilplanung darstellen. Ausgehend davon wird entschieden ob bei vertikal zu langer Oberkieferfront mit gummy smile, eine Verlagerung nach kranial vorgenommen werden muss, oder eine vertikale Verlagerung, bei sagittal flachem Lippenprofil. Zusätzlich wird die Kinnprominenz hinzugezogen um durch Ante- bzw. Retroinklination eine dorsal bzw. ventral Rotation herbeizuführen. (5)

Weitere Beurteilungen des Profils können beispielsweise durch die Analyse des Lippenprofils getroffen werden. Die sogenannte Ästhetiklinie nach Ricketts ist eine Verbindungslinie zwischen Nasenspitze (Ns) und Kinn (Pog'). Beim Erwachsenen sollen die Lippen hinter dieser Tangente liegen. In einem Neutralprofil ist der Abstand zur Ästhetiklinie bei der Oberlippe mit 1-4mm definiert. Die Unterlippe liegt etwas distaler der Oberlippe und kann die Tangente berühren bzw. 2mm entfernt von dieser liegen. (11) Nach Korkhaus entspricht eine leicht negative Lippentreppe einem Normalbefund. Eine stark negative Lippentreppe hingegen entspricht einer Klasse II Dysgnathie, eine positive Lippentreppe demnach einer Klasse III Dysgnathie. (12)

2.2.2 Grundlagen der Kephalometrischen Analyse

Die Röntgenologische Kephalometrie wurde im Jahr 1934 eingeführt. Sie dient einerseits der Forschung und stellt andererseits ein klinisches Werkzeug dar, um Malokklusionen und deren skelettalen Disproportionen analysieren zu können. (12) Die kephalometrische Analyse ist demnach Teil der Routine innerhalb der Therapieplanung. Jahrelang wurde sie manuell durchgeführt, heute verwendet man mehr und mehr Computerassistierte Analysesysteme. Die Kephalometrie ermöglicht Rückschlüsse auf die Ursache einer skelettalen Anomalie und kann weiterhin Hinweise auf ein mögliches postoperatives Outcome liefern. (9)

Die Analyse selbst wird nicht direkt auf einem Röntgenbild durchgeführt, die benötigten Referenzpunkte und -linien werden auf einem Durchzeichenpapier markiert, sodass man die Informationen auf ein überschaubares Maß reduzieren kann. Diese Punkte stellen genau definierte Koordinaten dar. An der Universität Illinois/USA wurde in den 1950er eine Studie, mit einer Gruppe ausgewählter unbehandelter weißer Erwachsener durchgeführt. (12; 13) Anhand dieser Probandengruppe, welche alle idealen Okklusionsverhältnissen

aufwiesen, wurde versucht, diese Punkte zu entwickeln. Ausgehend davon versuchte man neutrale Werte zu bestimmen und festzulegen. Entscheidend bei einer solchen Analyse ist, dass die fünf Hauptkomponenten, Schädel und Schädelbasis, skelettale Maxilla und Mandibula, sowie die maxillären und mandibulären Dentitionen mit Alveolarfortsatz, sowohl die horizontalen als auch die vertikalen Relationen bewerten. (12)

2.2.2.1 Bezugspunkte, Linien und Winkel

Mittels einer transparenten Folie kann mit der Durchzeichnung des FRS-Bildes begonnen werden. Um genauere Aussagen treffen zu können, muss das FRS-Bild immer nach der gleichen Horizontalen ausgerichtet werden. Hierzu dienen beispielsweise die N-Se-Linie nach A.M. Schwarz, die Frankfurter Horizontale oder die Burstone Gesichtshorizontale. Anhand dieser festgelegten Ausrichtung können Vergleiche zwischen verschiedenen Röntgenaufnahmen bzw. Durchzeichnungen eines/einer PatientIn, gezogen werden. (12) Um diese Vermessungen durchführen zu können sind definierte Bezugspunkte notwendig. Diese werden unterteilt in skelettale, dentale, dentoalveoläre und Weichteilpunkte. Zusätzlich unterscheidet man in anatomische, röntgenologische und konstruierte Messpunkte. Folgend werden eine Auswahl der gebräuchlichen Referenzpunkten, Linien und Winkel, sowie deren Bedeutung, weiter erläutert.

2.2.2.1.1 Skelettale Bezugspunkte

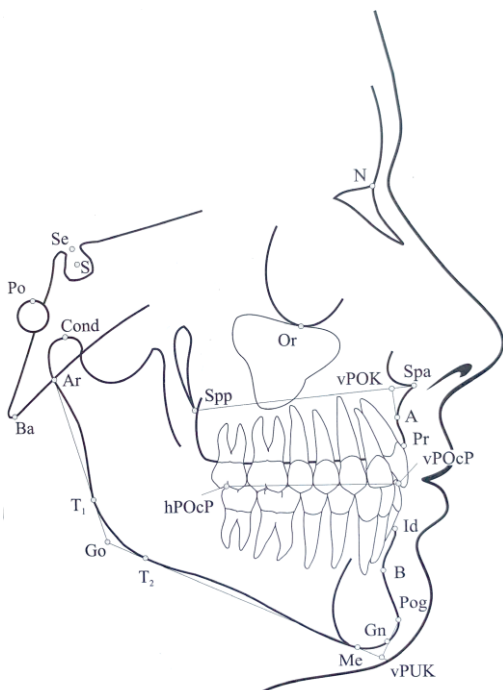


Abbildung 4 Schematische Darstellung der Skelettale Bezugspunkte der Fernröntgenseitenanalyse (12)

Tabelle 1 Skelettale Bezugspunkte der Fernröntgenseitenanalyse (12) (s. Abbildung 4)

Punkt	Definiton
S	Sella: Mitte der Fossa hypophysialis
Se	Sella-Punkt nach A.M. Schwarz: Mitte des Sella Eingangs
N	Nasion: anteriorster Punkt der Sutura nasofrontalis in der Mediansagittalebene, bei offener V-Form der Suture anteriorster Punkt
Or	Orbitale: kaudalster Punkt der röntgenologischen Orbita
Spa (Sp, Acanthion)	Spina nasalis anterior: anteriorster Punkt der knöchernen Spina nasalis in der Mediansagittalebene, anteriore Begrenzung der Maxilla
A (SS)	A-Punkt, Subspinale: tiefster Punkt der anterioren Kontur des Oberkieferalveolarfortsatzes in der Mediansagittalebene
Pr	Prosthion: inferiorster und anteriorster Punkt Alveolarfortstzpunkt zwischen den mittleren oberen Incisivi in der Mediansagittalebene
Spp	Spina nasalis posterior: konstruierter röntgenologischer Punkt am Schnittpunkt der anterioren Wand der Fossa pterygopalatina mit dem Nasenboden, posteriore Begrenzung der Maxilla
Id	Infradentale: superiorste und anteriorster Alveolarfortsatzpunkt zwischen den mittleren unteren Incisive in der Mediansagittalebene
B (SM)	B-Punkt, Supramentale: tiefster Punkt der anterioren Kontur des Unterkieferalveolarfortsatzes in der Mediansagittalebene
Pog	Pogonion: anteriorster Punkt des knöchernen Kinns in der Mediansagittalebene
Gn	Gnathion: anteriorster und inferiorster Punkt des knöchernen Kinns in der Mediansagittalebene (nach A.M. Schwarz unterster Kinnpunkt)
Me	Menton: kaudalster Konturpunkt der Symphyse
Ar	Articulare: konstruierter Schnittpunkt des Unterrandes der Schädelbasis mit der dorsalen Kontur des Collum mandibulae
Ba	Basion: posteriorster und kaudalster Punkt des Clivus in der Mediansagittalebene
Po	Porion: röntgenologische superiorster Punkt des knöchernen Gehörganges
Cond	Condylion: superiorster Punkt des Condylus mandibulae

2.2.2.1.2 Dentale Bezugspunkte

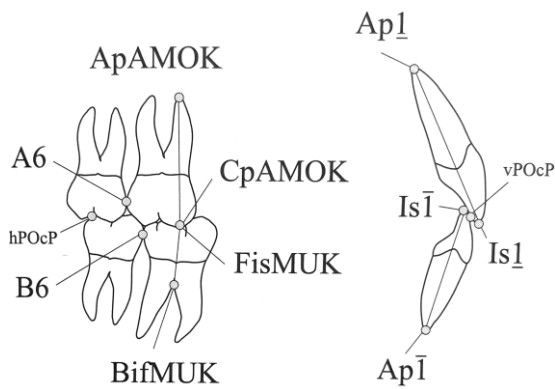


Abbildung 5 Schematische Darstellung der dentalen Bezugspunkte der Fernröntgenseitenanalyse (12)

Tabelle 2 Dentale Bezugspunkte der Fernröntgenseitenanalyse (12) (s. Abbildung 5)

Punkt	Definition
Is 1	Inzision superior: inzisalster Punkt des anteriorsten oberen Incisivus
Ap 1	Apicale superior: apikalster Punkt der Wurzel des anteriorsten oberen Incisivus
Is 1	Inzision inferior: inzisalster Punkt des anteriorsten unteren Incisivus
Ap 1	Apicale inferior: apikalster Punkt der Wurzel des anteriorsten unteren Incisivus

2.2.2.1.3 Weichteilpunkte

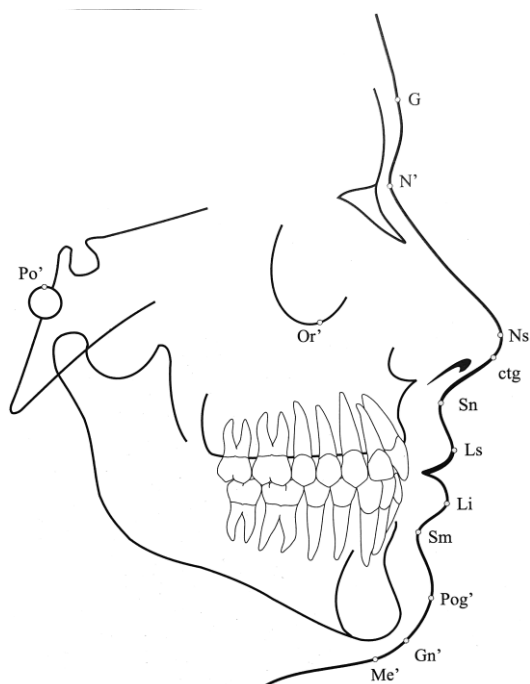


Abbildung 6 Schematische Darstellung der Weichteilpunkte der Fernröntgenseitenanalyse (12)

Tabelle 3 Weichteilbezugspunkte der Fernröntgenseitenanalyse (12) (s. Abbildung 6)

Punkt	Definition
G	Glabella-Punkt: anteriorster Stirnpunkt
N [‘]	Hautnasion: tiefster Punkt am Übergang von der Stirn zur Nase
Ns (Pn)	Nasenspitze, Pronasale: anteriorster Nasenpunkt
Ctg	Columella-Tangenten-Punkt: Punkt am Übergang des geraden Teils der Columella in die Konvexität der Nasenspitze
Sn	Subnasale: Übergangspunkt vom Nasensteg in die Oberlippe
Ls (OL)	Oberlippenpunkt: anteriorster Oberlippenpunkt in der Mediansagittalebene
Ls (UL)	Unterlippenpunkt: anteriorster Unterlippenpunkt in der Mediansagittalebene
Sm	Supramentale: tiefste Einziehung der Kinnfalte
Pog [‘] (P, Pg, POG)	Hautpogonion: anteriorster Punkt des Weichteilkinns in der Mediansagittalebene
Gn[‘]	Hautgnathion: anteriorster und inferiorster Punkt des Weichteilkinns (nach A.M. Schwarz unterster Kinnpunkt)
Me [‘]	Hautmenton: kaudalster Konturpunkt des Weichteilkinns
Po [‘]	Hautporion: oberster Punkt des Einganges zum äußeren Gehörgang
Or [‘]	Hautorbitale: konstruierter Punkt, der sich eine Lidspaltbreite unterhalb der Pupille des geöffneten Auges befindet

2.2.2.2 Analyse nach A.M. Schwarz

Mit dieser Analyse soll eine Aussage über das Sollprofil geliefert werden. A.M. Schwarz teilt seine Analyse in zwei Teile, die Kranio-metrie und in die Gnathometrie, das bedeutet, dass die Dentition vom Schädel getrennt betrachtet werden soll. Mit dieser Teilung soll hervorgehoben werden, inwiefern sich physiologische bzw. morphologische Besonderheiten des Gesichtsschädels darstellen lassen und welche Effekte aus einer Malokklusion entstehen. Des Weiteren müssen spezielle Normen individuell für jeden Einzelfall angepasst werden. (12)

Es wird besonders auf die Verbindungslinie zwischen Sella und Nasion (N-Se-Linie) Wert gelegt. In einem Normprofil verläuft diese parallel zur Frankfurter Horizontalen. A.M. Schwarz beschreibt mit dieser Röntgendiagnostik typische Merkmale eines Vor- bzw. Rückgesichts und des Biometgesichts welches dem Mittelwert-Durchschnittsgesicht entspricht. (12)

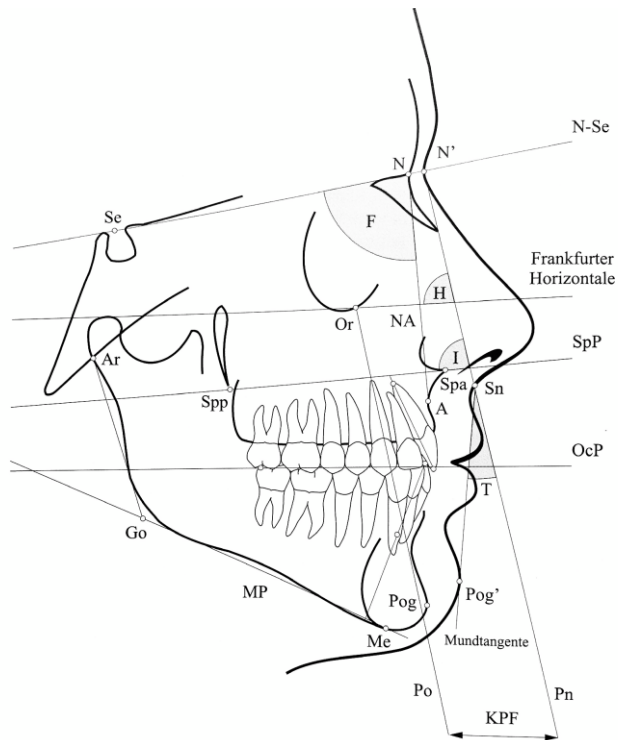


Abbildung 7 Schematische Darstellung der Kephalmetrie nach A.M. Schwarz: *Kraniometrie (12)*

Tabelle 4 *Kraniometrie nach A.M. Schwarz (12)*

Kraniometrie

„Klinische Norm“

N- Se - Strecke Sella-Eingang und Nasion

Mm

F-Winkel zwischen Se-N-A (Fazialwinkel)

85°

H-Winkel zwischen H-Linie und Pn

90°

I-Winkel zwischen SpP und Pn (Inklinationswinkel)

Norminklination =85°

Anteinklination >85°

Retroinklination <85°

T-Winkel zwischen Linie SN-Pog und Pn (Profilwinkel)

10°

2.3 Entwicklung der Orthognathen Chirurgie

Nach der ersten theoretischen Ausführung, soll bevor in das chirurgische Prozedere eingestiegen wird, ein kurzer historischer Rückblick, zum besseren Verständnis erfolgen.

Mitte des 19. Jahrhunderts begann die Entwicklung von Umstellungsosteotomien. Diese wurden angewandt, um sichtbare Fehlstellungen bzw. -bildungen mit nur einer Operation zu beheben, welche beispielsweise durch Frakturen oder Verbrennung entstanden waren. Erst Mitte des 20. Jahrhunderts wurde die Bedeutung der perioperativen Therapie, zur Behebung von Okklusionsstörungen, deutlich. (14)

Im Jahr 1897 wurde die erste Prognathie Operation vorgenommen, allerdings ohne Rücksichtnahme auf den Mandibularkanal und den darin verlaufenden Nerv. Die Fixation erfolgte mittels Drahtosteosynthese. Aufgrund folgender Wundheilungsstörung, durch zu lockeres perioperatives fixieren der Knochenanteile, konnte die permanente knöcherne Fixation nur durch das Anlegen eines äußeren Gipsverbandes erreicht werden. Zeitgleich wurde in Frankreich mittels beidseitiger Kondylektomie eine Unterkiefernückverlagerung erreicht. Diese Methode konnte sich jedoch aufgrund zu hoher Rezidivraten nicht durchsetzen. Verschiedene Chirurgen versuchten bestehende Methoden zu optimieren. Jedoch waren die meisten Umstellungsosteotomien im horizontalen Unterkiefer, aufgrund der kleinen Knochenanlagerungsflächen und ungenauer Positionierung, mit Nachteilen behaftet. Zusätzlich kamen eine erhöhte Infektionsgefahr durch erhöhte knöcherne Mobilität, bei mangelnder Fixation, hinzu. Anfang des 20. Jahrhunderts verlegte man die Position der Osteotomie in den aufsteigenden Unterkieferast. Es wurde ein extraoraler Zugang gewählt, der vom aufsteigenden Unterkieferast bis hin zum Kieferwinkel reichte. Bei dieser Methode musste der M. masseter abpräpariert werden, damit der R. ascendens horizontal osteotomiert werden konnte. (14) Bruhn/Lindemann und später Kosticka führten schließlich, unter Anwendung unterschiedlicher Methoden, eine Unterkieferdurchtrennung zwischen der Incisura semilunaris und der Lingula mandibulae durch. (14)

Zur Vergrößerung der Knochenanlagerungsfläche wurde die Schnittführung modifiziert. Der Zugang erfolgte weiterhin extraoral, konnte jedoch nach Entwicklung geeigneter Instrumente und durch die Entdeckung des Antibiotikums nach enoral verlegt werden.

1955 wurde die heutige Standardmethode nach Trauner und Obwegeser entwickelt. Eine sagittale Spaltung der Mandibula von enoral, welche erstmalig im Jahr 1953 in Graz durchgeführt wurde. Weitere Modifikationen wurden von Dal Pont (1959), Hunsuck (1968) und Epker (1977) vorgenommen. (15; 16; 17; 18; 19)

Die Umstellungsosteotomie des Oberkiefers, auch LeFort I Osteotomie genannt wurde 1859 erstmalig von Langenbeck zur Entfernung nasopharyngealer Polypen durchgeführt. (15; 20)

Im Jahr 1927 wurde die erste inkomplette Mobilisation und 1934 schließlich die komplette Mobilisation des Oberkiefers vorgenommen. Dennoch wurden bis in die 60-er Jahre hauptsächlich Unterkieferosteotomien vorgenommen, da die Verletzungsgefahr der A.maxillaris mit folgender Nekrose des Oberkiefers zu groß war. Erst mit der Zeit wurde deutlich, dass die Gefäßversorgung des Oberkiefers nicht allein durch die A. maxillaris erfolgte, sodass diese Operationsmethode vermehrt durchgeführt wurde. (3)

Die erste bimaxilläre Osteotomie wurde 1970 von Obwegeser durchgeführt. Die Angleichung von Ober- und Unterkiefer konnte während einer Operation vorgenommen werden. Zusätzlich konnte ein besseres funktionelles, sowie günstigeres ästhetisches Ergebnis erreicht werden. (20) Mit der Entwicklung der Plattenosteosynthese für den Gesichtsschädel, sowie der LeFort III Osteotomie wurde ein Meilenstein in der orthognathen Chirurgie erreicht. Hinzu kamen die Erkenntnisse, welche Vorteile eine interdisziplinäre Zusammenarbeit mit der Kieferorthopädie, für eine optimale Okklusion und ein gesichertes Langzeitergebnis, brachte. Bei bestimmten komplexen kraniofaziale Fehlbildungen, wird zusätzlich auf die Zusammenarbeit mit Neurochirurgen gesetzt. (3)

2.4 Operationsmethoden

2.4.1 Chirurgisches Prozedere

Eine mund-kiefer-gesichtschirurgische Intervention wird erst dann in Betracht gezogen, falls die kieferorthopädischen Mittel nicht ausreichend sind, um eine anatomisch und funktional abgestimmte Okklusion zu ermöglichen. Das Operationsoutcome der skeletalen Korrektur ist stark abhängig von der kieferorthopädischen Vorbehandlung, sowie einer umfangreichen präoperativen Planung. Abhängig von der Fehlstellung und vom Ausmaß gibt es verschiedene operative Möglichkeiten chirurgisch zu behandeln.

2.4.1.1 Monognathe Umstellungsosteotomie der Maxilla

Umgangssprachlich auch LeFort I Osteotomie genannt, bezeichnet nach Rene LeFort, der dieses Frakturmodell erstmalig 1901 beschrieb. (21) Diese Operation wird zur Korrektur umfangreicher dentofazialer Deformationen angewendet. Ziel ist, das zahntragende Fragment des Oberkiefers loszulösen, damit dieser frei mobilisiert und in allen drei Ebenen neu positioniert werden kann. (s. Abbildung 8) Oft wird eine kombinierte Operation mit Unterkieferosteotomie vorgenommen, bei Klasse II bzw. Klasse III Malokklusion. Des Weiteren kommt sie bei Gesichtsasymmetrien, obstruktiver Schlafapnoe und Oberkiefer Atrophie zum Einsatz. (21)

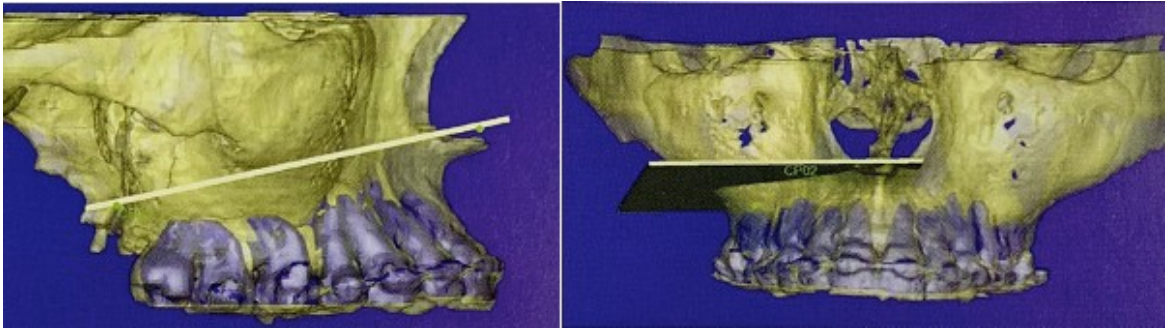


Abbildung 8 LeFort I Osteotomie Ebene mit einer mindest Höhe des Eckzahn apex, zum Schutz der Zahnwurzeln a) sagittale Ansicht b) frontale Ansicht (3)

Es wird eine Inzision paramarginal zwischen den Zähnen 17 bis 27 gezogen. Nach Abpräparation der Gingiva und des Nasenschlauches subperiostal, wird mittels einer oszillierenden Säge, unter Schonung der Zahnwurzeln, mit der Osteotomie begonnen. (s. Abbildung 9) In Kombination mit verschiedenen Meißeln wird die Maxilla abgetrennt. Unter vorsichtigem Zug der Repositionshaken wird eine Downfracture verursacht, sodass der losgelöste Oberkiefer nur über Weichteilgewebe mit der Schädelbasis verbunden ist. (s. Abbildung 10)

Mit Hilfe eines präoperativ angefertigten Splints wird der Oberkiefer neu positioniert und über eine mandibulo-maxilläre Fixation an den Unterkiefer fixiert. Anschließend wird die Maxilla in neuer Position mit Osteosyntheseplatten an den Gesichtsschädel refixiert und die Okklusion überprüft. (3) (s. Abbildung 11)

Zusätzlich kann bei Bedarf eine mediane Teilung, eine sogenannte Gaumennahterweiterung, vorgenommen werden. Dadurch können okklusale Inkongruenzen durch transversale Diskrepanzen ausgeglichen werden. (7)

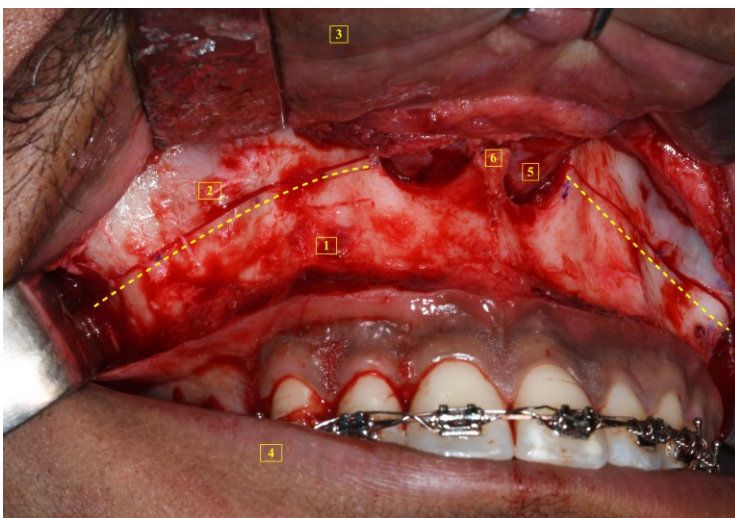


Abbildung 9 Darstellung des knöchernen Oberkiefers, nach Abpräparation der Gingiva und Durchführung einer Le-Fort-I Osteotomie; gestrichelte Linie markiert die Osteotomie oberhalb der Zahnwurzeln; 1) Zahntragender Anteil der Maxilla 2) cranialer Anteil der Maxilla 3) Oberlippe 4) Unterlippe 5) linker Nasenschlauch 6) Spina nasalis anterior

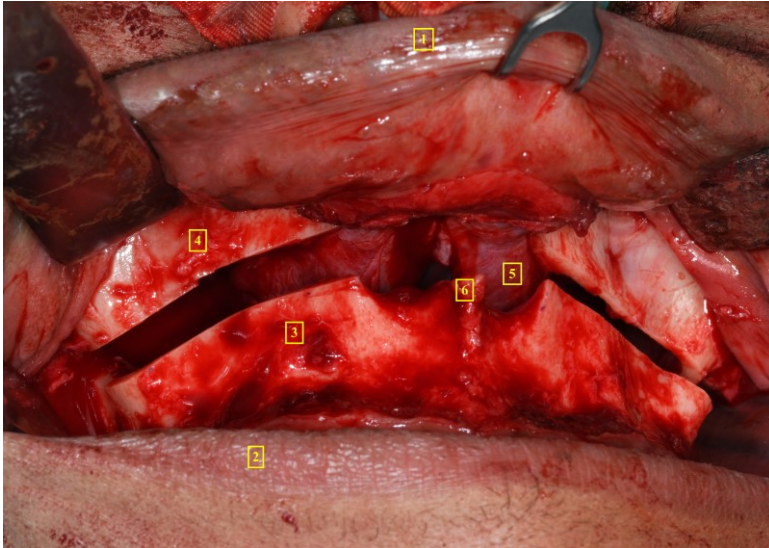


Abbildung 10 Darstellung einer monognathe Umstellungsosteotomie der Maxilla, nach Oberkiefermobilisation entsprechend einer „Downfracture“ des Zahntragenden Anteils; 1) Oberlippe 2) Unterlippe 3) Zahntragender Anteil der Maxilla 4) cranialer Anteil der Maxilla 5) linker Nasenschlauch 6) Spina nasalis anterior

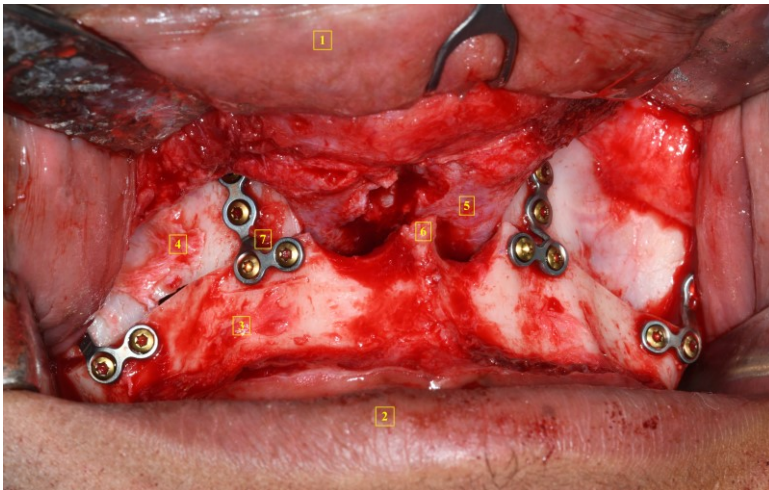


Abbildung 11 Darstellung des knöchernen Oberkiefers nach Neupositionierung des zahntragenden Anteils, die Refixation erfolgt mittels Plattenosteosynthese (4 L-Platten, je zwei auf einer Seite), in mandibulomaxillärer Fixation mit Zwischensplint; 1) Oberlippe 2) Unterlippe 3) Zahntragender Anteil der Maxilla 4) cranialer Anteil der Maxilla 5) linker Nasenschlauch 6) Spina nasalis anterior

Eine Studie von Dowling et al. hat ergeben, dass Rückfälle bei LeFort I Operationen größtenteils innerhalb der ersten 6 Monate postoperativ auftreten, wobei sich einer der größten Risikofaktoren auf die Distanz der Oberkieferverschiebung bezieht. (22) Bei genauer Durchführung der Operation und Verlagerungstrecken unter 5mm, ist jedoch eine gute Stabilität und geringe Komplikationsrate gegeben (7), sodass die monognathe Umstellungsosteotomie der Maxilla, eine sichere und berechenbare Operation, mit einem zuverlässigen Langzeitergebnis darstellt. (21)

2.4.1.2 Monognathe Umstellungsosteotomie der Mandibula

Diese Osteotomie, mittels enoral sagittaler Spaltung, wird zur Vor- bzw. Rückverlagerung des Unterkiefers angewendet. Hier wird die Methode nach Obwegeser/Dal Pont beschrieben. (s. Abbildung 12)

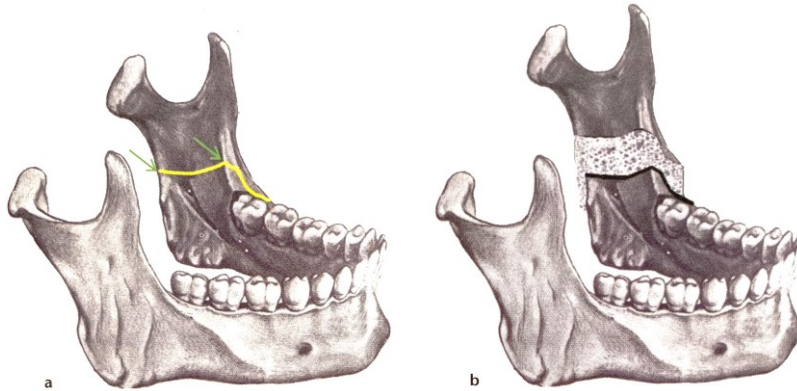


Abbildung 12 Sagittale Osteotomie nach Obwegeser. Verlauf der Osteotomie bis an den Hinterrand des aufsteigende Unterkieferastes (3)

Die Inzision erfolgt am äußeren Rand des aufsteigenden Unterkieferastes paramarginal bis zu den Prämolaren. Nach subperiostaler Abpräparation der Gingiva, erfolgt die Längsspaltung der Mandibula. Diese wird lingual in Okklusionsebene oberhalb des Foramen mandibulae im aufsteigenden Ast des Unterkiefers und vestibulär senkrecht zur Okklusionsebene im Kortikalisbereich des zweiten Molaren durchgeführt. (s. Abbildung 13) Hier ist besonders auf den N. alveolaris inferior zu achten, welcher im Canalis mandibulae von medial nach lateral zieht und auf Höhe der Prämolaren austritt. Der Nerv soll lingual im zahntragenden Fragment verbleiben. Unter Zuhilfenahme eines Splints wird das bewegliche zahntragende Unterkieferfragment entsprechend positioniert und mittels einer mandibulo-maxillären Drahtfixation (MMF), an den Oberkiefer fixiert. (3) Anschließend erfolgt die Refixation mittels Plattenosteosynthese oder Schrauben. Nach Prüfung einer problemlosen Okklusion, werden Elastische Gummiringe zur Unterstützung eingehängt.

Eine Verlagerung des Unterkiefers ist nun möglich, jedoch ist bei einer Distanz von mehr als 6mm eine kombinierte Operation zu empfehlen, da durch einen erhöhten Muskeltonus, das Rezidivrisiko steigt. (7)

Eine dauerhafte Schädigung dieses Nervs könnte verschiedene sensible Ausfälle im Bereich der Unterlippe, des Kinns und der Zähne zur Folge haben.

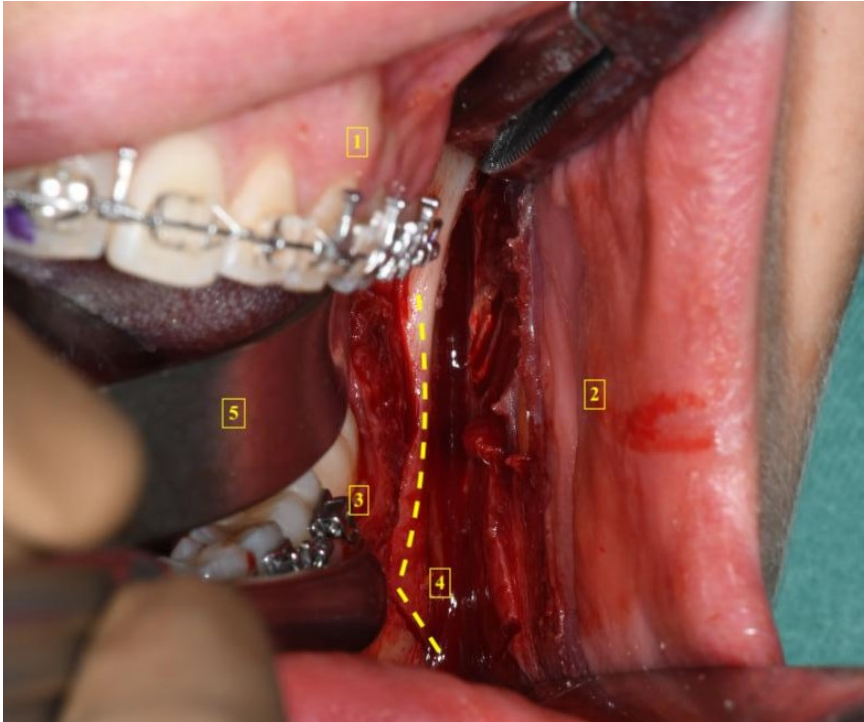


Abbildung 13 Darstellung der Umstellungsosteotomie der Mandibula, nach Spaltung der aufsteigenden Unterkieferastes; gestrichelte Linie stellt die Osteotomielinie dar 1) Maxilla 2) linke Wange 3) zahntragender Anteil der Mandibula 4) gelenktragender Anteil der Mandibula 5) Zungenspatel

2.4.1.3 Bignathe Korrekturosteotomie

Die Bignathe Korrekturosteotomie ist eine Kombination aus LeFort I Osteotomie und Unterkieferosteotomie. Zunächst wird der Oberkiefer mobilisiert und mittels eines Zwischensplints an den Unterkiefer fixiert und in seiner neuen Position eingestellt. Nach Refixation des Oberkiefers an den Gesichtsschädel, wird die Okklusion geprüft. Anschließend wird der Unterkiefer mobilisiert und eine erneute mandibulo-maxilläre Fixation mit dem definitiven Splint vorgenommen. Nach Positionierung des Unterkiefers wird dieser nun ebenfalls mit Osteosyntheseplatten oder Schrauben fixiert, sodass eine erneute Kontrolle der Okklusion durchgeführt werden kann. (7)

2.4.1.4 Kinnosteotomie

Genioplastiken haben meist eine rein ästhetische Bedeutung. Im Rahmen einer Klasse II bzw. Klasse III Dysgnathie, kann zusätzlich eine Kinnplastik vorgenommen werden, um das Erscheinungsbild zu verbessern. Dies kann während der Umstellungsosteotomie durchgeführt werden oder im Rahmen der Metallentfernung sechs Monate später. Über einen enoralen Zugang wird unterhalb der Zahnwurzeln der Unterkieferfront eine Osteotomie vorgenommen, sodass das knöcherne Segment lingual über Muskulatur verbunden ist. Je nach Erfordernis kann nach vertikaler Reduktion, die Kinnscheibe Vor- bzw. Rückverlagert

werden. Zum Ausgleich von Asymmetrien ist eine transversale Verschiebung ebenso möglich. (s. Abbildung 14) Fixiert wird das Kinnsegment anschließend mit Miniosteosyntheseplatten oder Zugschrauben. (7; 5)

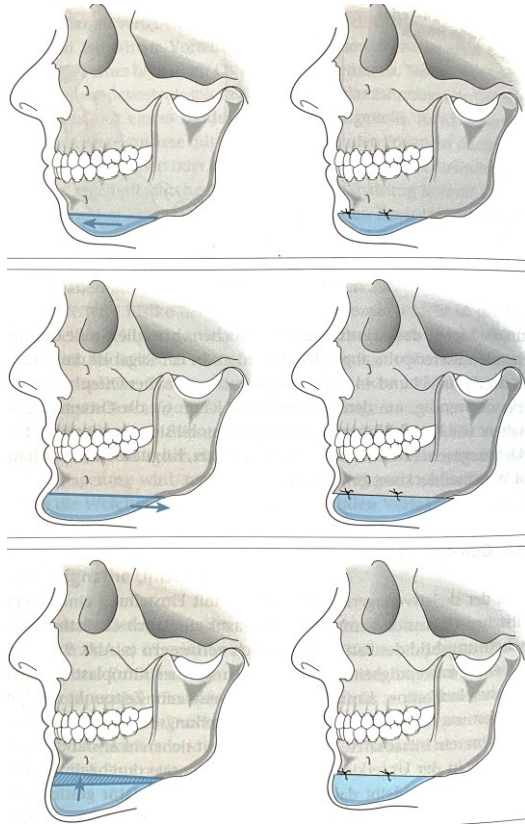


Abbildung 14 Kinnplastik a) Korrektur einer Retrogenie durch sagittale Vorverlagerung des kinntragenden Unterkiefersegments b) Korrektur einer Progenie durch sagittale Rückverlagerung des Segments c) Korrektur eines verlängerten Untergesichts (7)

2.4.1.5 Hohe Osteotomie (Le Fort II / III)

In seltenen Fällen, bei komplexen kraniofazialen Fehlbildung, bei welchen eine LeFort I Osteotomie nicht ausreichend ist, werden Mittelgesichtsosteomien vorgenommen. Diese werden in höheren Etagen auf LeFort II bzw. LeFort III Ebene durchgeführt. Diese Ebenen sind vergleichbar mit der Einteilung der Mittelgesichtsfrakturen (s. Abbildung 15)

Eine LeFort II Osteotomie ist beispielsweise dann indiziert, wenn zusätzlich zu einer Oberkieferverlagerung eine hypoplastische Nase ausgeglichen werden soll. (7) Aufgrund der operationstechnisch höchst anspruchsvollen Mobilisation auf LeFort III Ebene, wird eine Osteotomie auf dieser Höhe selten vorgenommen. In der Regel wird eine LeFort III Osteotomie nur bei stark ausgeprägten Mittelgesichtsrücklagerungen im Rahmen syndromaler Erkrankungen, wie beispielsweise Morbus Crouzon oder das Apert-Syndrom, durchgeführt. Die Osteotomielinie folgt hier weitgehend der LeFort III Frakturlinie. (s.

Abbildung 15) Verlagerungen, welche eine Distanz über 10mm überschreiten sind jedoch kaum möglich. Aufgrund der Osteotomie durch die Orbitae kann die Position nur in sagittaler Ebene verändert werden, vertikale bzw. transversale Korrekturen sind nur bei zeitgleicher LeFort I Osteotomie möglich. (5)

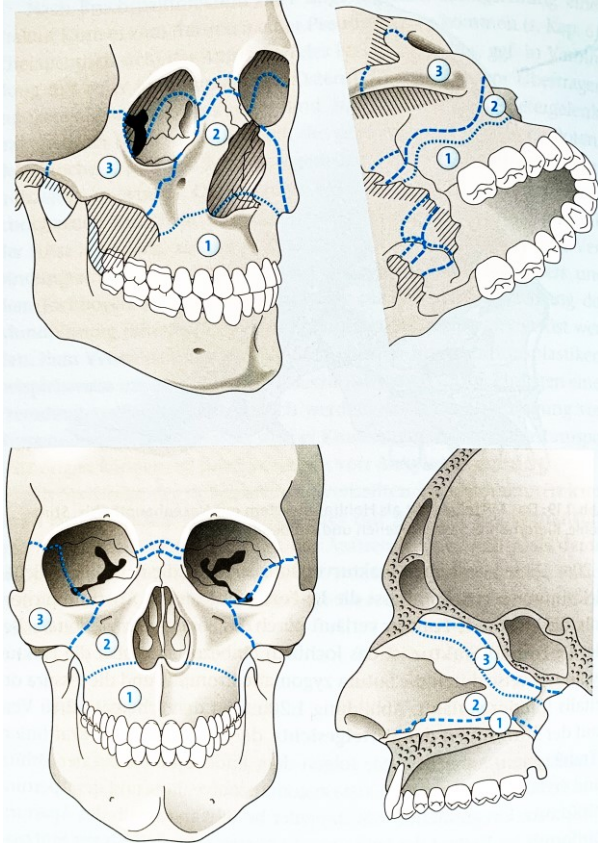


Abbildung 15 Klassifikation der Mittelgesichtsfrakturen nach LeFort aus verschiedenen Blickrichtungen. 1: Le-Fort-I-Fraktur, 2: Le-Fort-II-Fraktur, 3: Le-Fort-III-Fraktur (7)

2.4.2 Nachsorge

Jeder chirurgische Eingriff birgt das Risiko verschiedener Komplikationen. Häufig kann es intraoperativ zu Blutungen, irregulären Frakturen und Nervenläsionen kommen. Durch regelmäßige postoperative Kontrollen können mögliche Komplikationen frühzeitig erkannt, beziehungsweise bereits entstandene weiterverfolgt werden. So geben ca. 40-70% der Patienten und Patientinnen an, unter einer Gefühlsstörung im Bereich der Unterlippe und der bukkalen Gingiva zu leiden. Eine Persistenz dieser Beschwerden zeigt sich jedoch nur bei ca. 1-10% nach dem ersten postoperativen Jahr. (4; 23) Ebenso ist zur frühzeitigen Erkennung von Früh- bzw. Spätrezidiven eine regelmäßige postoperative Kontrolle unerlässlich. Es werden postoperative Röntgenverlaufskontrollen vereinbart, ebenso wie standardisierte Fotodokumentationen angefertigt. Im Rahmen dieser Kontrollbesuche kann eine Planung der Metallentfernung erfolgen. Ebenso kann ein erneuter chirurgischer Eingriff

geplant werden, sollte das ästhetische Erscheinungsbild nicht zufriedenstellend sein, welches beispielsweise durch eine Genioplastik verbessert werden kann. (7) Grundsätzlich muss nach dem chirurgischen Eingriff weiterhin eine kieferorthopädische Nachbehandlung erfolgen, um eine optimale dentale Okklusion zu erreichen. Hier kann eine erneute Operation nötig werden, falls es, trotz orthodontischer Nachbehandlung zu schlecht bzw. nicht ausgleichbaren Malokklusionen oder Fehlstellungen der Kiefergelenke kommt. (4)

2.5 Entwicklung der Operationsplanung

2.5.1 Planung in 2D

Die Verwendung der Kephalometrie mithilfe von Röntgenbildern begann im Jahr 1934. Primär wurde sie zu Forschungszwecken von Studien bezüglich Malokklusionen und Skelettaler Fehlbildungen eingesetzt. Bald darauf konnte sie zur Beurteilung dentofazialer und anatomischer Verhältnisse einer Malokklusion verwendet werden. Hierfür wurden verschiedene skelettale, dentale und Weichteil Bezugspunkte, -linien, -winkeln und -ebenen innerhalb mehrerer Studien ermittelt und über die Jahre weiterentwickelt. (13)

Neben dem Röntgenbild, präoperative Fotografien und Gesichtsvermessungen, sind für die Planung in 2D die Modelanalyse in einem Artikulator entscheidend. Damit wird es möglich die aus Gips gefertigten Modelle von Ober- und Unterkiefer in ihrer Soll-Position einzuartikulieren und die intraoperativ notwendigen Splinte zu erstellen. (10; 4)

Über viele Jahre wurde die Kephalometrische Analyse manuell, mit Hilfe eines Durchzeichenpapier durchgeführt. Hierfür gibt es drei Varianten: zum einen kann die Analyse manuell mit Hilfe eines Lineals und Winkelmesser erfolgen, oder direkt bzw. indirekt Computer assistiert. (9)

Für die Vorhersage bezüglich der Veränderung des Weichteilgewebes wurden verschiedene Methoden entwickelt. Eine manuell durchgeführte Methode, welche befriedigende Ergebnisse liefern kann wurde beispielsweise von Cohen beschrieben. (24) Zuerst wird eine Durchzeichnung des originalen Röntgenbildes, angefertigt. Mithilfe eines Zirkels wird die Rückverlagerung des Unterkiefers durchgeführt. Anschließend wird die untere Gesichtshälfte ausgeschnitten und entsprechend der mandibulären Rückverlagerung positioniert. Folgend kann diese farblich gekennzeichnete Weichteilkontur beurteilt werden. Eine weitere Methode wurde von Hohl et al. entwickelt. (25) Hierfür sind frontale und seitliche Gesichtsröntgen (FRS) und Fotografien nötig. Es werden vergrößerte, transparente Abzüge der negativen Fotografien angefertigt, sodass diese superponiert werden können.

Anschließend werden verschiedene Messungen in der Vertikalen und Horizontalen vorgenommen, anhand dieser können detaillierte Weichteilanalysen vorgenommen werden. Die systematischsten Methoden wurden von Wolford et al und Proffit entwickelt, zum einen die Vorlagenmethode, bei welcher Schablonen bewegt werden, bzw. die „Overlay“-Methode zum anderen, hier wird das Kephalogram mit Markierungen superponiert und neupositioniert wird. (26; 27)

Für die direkte Computer assistierte Analyse werden die Bezugspunkte vom Untersucher eingezeichnet, für die indirekte Variante wird ein Scanner oder eine Videokamera verwendet. Hierfür wird ein Bild des Röntgenbildes im Computer gespeichert, welcher anschließend mit einer ausgewählten Software beginnt dieses zu vermessen. Dem Untersucher ist es damit möglich, schnell verschiedene Analysen durchzuführen. (9)

Diese zweidimensionalen Planungsmethoden, manuell bzw. Computer assistiert haben ihre Limitationen. Zum einen ist die manuelle Variante sehr zeitaufwendig und zum anderen ist eine Analyse nur in zwei Ebenen möglich, sodass das Gesamtbild in 3D nicht wiedergegeben wird. Für PatientInnen, welche frontal eine deutliche Asymmetrie aufweisen ist die 2D Planung nicht geeignet, da sie keine genaue Voraussage in der Transversalebene ermöglicht. (9; 28)

2.5.2 Planung in 3D

Die Anwendung der dreidimensionalen Planung entstand anschließend aus der Weiterentwicklung der Computer assistierten Methoden. Für die radiologische Aufzeichnung der Daten kann sowohl das CT, als auch das MRT verwendet werden. (28)

Für die verschiedenen Gewebearten, Knochen, Zähne und Weichteilgewebe die untersucht werden müssen, werden unterschiedliche Aufnahmetechniken angewandt, um das jeweils beste Bild zu erhalten. Jedoch kann sich hier ein Problem bezüglich der Computer Programme ergeben. Swennen et al. beschreibt, dass ein Kegelstrahl CT Scan der gesamten Anatomie ausreichend ist, damit eine gezielte präoperative Planung, ohne Gipsmodelle, vorgenommen werden kann. (29)

Durch die Möglichkeit der Planung in 3D, welche recht exakte Ergebnisse liefert, wird diese immer populärer. Die präoperative Planung zielt darauf ab, eine möglichst optimale Kaufunktion und ästhetisches Erscheinungsbild zu erhalten. Daher ist es unabdingbar, dass mittels der präoperativen Planung eine möglichst genaue Vorhersage bezüglich des postoperativen Outcomes getroffen werden kann. (28) Griffiths et al. beschreibt, dass bei PatientInnen für die eine virtuelle chirurgische Simulationsplanung vorgenommen wurde,

postoperativ eine deutlich verbesserte Mittellinie, Symmetrie und Okklussionskorrektur zeigten, verglichen mit den konventionellen Methoden. (30) Die verbesserten Ergebnisse in Fällen von Mittellinien- und Kinnabweichungen, okklusaler Verkantung und asymmetrischer Ramusneigung, kommen dadurch zustande, dass die median-sagittalen Markierungen mehr der skelettalen Mittellinie entsprechen, die bilaterale Ramusneigung weniger variiert und die okklusale und orbitale Ebene zueinander besser parallel liegen. (31) Ebenso wird von Wu et al. beschrieben, dass sich ein deutlicher Unterschied in der Planung mit 2D oder 3D bei der frontalen Gesichtssymmetrie zeigt, im Gegensatz dazu liefert 2D und 3D in Bezug auf das Weichteilprofil gleich gute und korrekte Ergebnisse. (31) Dennoch sollte beachtet werden, wie Stokbro et al. 2016 in seiner Studie schildert, dass es bisher zwar mehrere Publikationen bezüglich virtueller chirurgischer Planung gibt, die Zahl der Probanden noch immer zu gering ist, um ein signifikantes Ergebnis erhalten zu können. (32) Zusätzlich gilt für die Planung in 3D, dass diese kostenintensiv ist und mit einer hohen Strahlenbelastung einhergeht, weshalb diese nur in individuell ausgewählten Fällen Anwendung finden sollte, beispielsweise bei komplexen asymmetrischen Fehlstellung bzw. Fehlbildungen. (28)

2.5.3 Weichteilanalyse

Die orthognathe Chirurgie hat nicht nur eine Verbesserung einer anatomisch und funktionell abgestimmten Okklusion zum Ziel, darüber hinaus zeigt ein erfolgreiches Ergebnis auch deutliche Einflüsse auf die psychische Wahrnehmung der PatientInnen, sowie einer postoperativ gesteigerten Lebensqualität. (33) Neben der verbesserten Kaufunktion, spielt vor allem die Ästhetik für die PatientInnen eine wichtige Rolle. In verschiedenen Untersuchungen wurden Aussagen dazu getroffen, welche Proportionen ein normales, schönes Gesicht definieren sollen, wobei diese je nach Herkunft und ethnischem Hintergrund variieren. (13) Das äußere Erscheinungsbild hat einen entsprechend großen Einfluss auf die Selbstwahrnehmung und damit auf die Lebensqualität. (34) Beachtet man diese Aspekte: eine verbesserte okklusale Situation, harmonische Gesichtszüge und gesteigertes Selbstbewusstsein, die damit verbundenen sozialen und psychischen Einflüsse, wird ersichtlich, dass die Ästhetik eine entscheidende Rolle spielt. Dementsprechend hat die Nachfrage bezüglich ansprechender Gesichtsästhetik zugenommen und stellt eine Herausforderung dar, weshalb die präoperativen Vorhersagen bezüglich des postoperativen Outcomes nicht unterschätzt werden sollten. (35)

Dadurch wird deutlich, wie wichtig die Weichteilanalyse in der orthognathen Chirurgie ist, da diese es ermöglicht, den PatientInnen das postoperative Ergebnis darzustellen, und somit die Behandlung greifbarer zu machen. (9)

Knöcherne Umstellungen haben häufig eine Veränderung des Weichgewebes zur Folge. Mithilfe der Weichteilanalyse können Rückschlüsse über das Weichteilprofil gezogen werden. Abhängig davon wie umfangreich die Kieferumstellung ist, zeigen sich hier Unterschiede bezüglich des Ausmaßes der Weichteilveränderungen. Es gibt verschiedene Richtwerte anhand derer sich das zu erwartende Ergebnis abschätzen lässt (Tabelle 5). Ausnahmen bilden hier gering ausgeprägte Dygnathien, wie z.B. ein skelettal offener Biss, die geringe Weichteilveränderungen erwarten lassen. (3)

Tabelle 5 Veränderung der Weichteile nach Umstellungsosteotomie (36)

Umstellungsosteotomie	Veränderung des Weichteilprofils
Oberkiefer	
Vorverlagerung:	Oberlippe 80% Nasenspitze 35%
Kranialisierung:	Oberlippe 30% Nasenspitze 20%
Unterkiefer	
Vorverlagerung:	Unterlippe 85% Weichteilpogonion 100% Weichteilmenton 100%
Rückverlagerung:	Unterlippe 90% Weichteilpogonion 90% Weichteilmenton 90% Oberlippe 20%

2.6 Fragestellung und Zielsetzung

Die orthognathe Chirurgie ist bereits sehr weit fortgeschritten und unterlief über die Jahre mehreren Optimierungen. Entscheidend ist eine interdisziplinäre Zusammenarbeit, von Zahnärzten, Kieferorthopäden und Mund- Kiefer- und Gesichtschirurgen, damit sowohl ein anatomisch und funktionell optimales Ergebnis erzielt werden kann, als auch ein ästhetisch harmonisches Erscheinungsbild. Durch die Weiterentwicklung der verschiedenen

bildgebenden Verfahren, konnten Erkenntnisse dazugewonnen werden und weiterhin Optimierungen in der präoperativen Planung entwickelt werden.

Es gibt bereits verschiedene Studien und Daten zu Vermessungstechniken im Bereich der orthognathen Chirurgie. So beschrieben bereits Kolokitha und Chatzitavrou 2012 in ihrer Studie, welche Faktoren die Genauigkeit von kephalometrischen Vorhersagen beeinflussen, bezüglich der Weichteilprofiländerungen nach erfolgter orthognather Operation. (36) Rustemeyer und Martin beschäftigten sich in ihrer Studie damit, inwiefern sich chirurgische Interventionen von Hartgewebe auf das umgebende Weichgewebe auswirken können. Hierfür verwendeten sie die Methoden der Kephalmetrie und Fotogrammetrie. (37). Von Kolokitha und Topouzelis wurden in einer Studie von 2011, die Unterschiede bezüglich manueller und Computer assistierter 2D- beziehungsweise 3D Analyse beschrieben. (9)

Ziel der vorliegenden Arbeit ist, die Genauigkeit einer manuell durchgezeichneten Planung zu überprüfen, in Bezug auf die postoperativ tatsächlich erreichten Veränderungen. Dies soll mithilfe von präoperativen Röntgenbildern und deren vorliegenden Planungen, sowie postoperativen Röntgenbildern erfolgen. Entscheidend sind die Weichteilkonturen des Gesichtsprofils, welche von den Röntgenbildern durchgezeichnet wurden mit anschließendem Vergleich mehrerer festgelegter Referenzpunkte. Hierbei ist von besonderem Interesse festzustellen, in welchen Bereichen dieser Referenzpunkte die geringsten und in welchen die höchsten Abweichungen zu finden sind. Es soll festgestellt werden, inwiefern die präoperative Planung und das postoperative Outcome in Bezug auf die Weichteile im seitlichen Gesichtsprofil, mit einer maximal festgelegten Abweichung bis 1,5mm, übereinstimmen, bzw. inwiefern die Abweichungen mit mehr als 1,5mm nicht übereinstimmen. Zusätzlich können die einzelnen Referenzpunkte miteinander verglichen werden, inwiefern es hier genauere Übereinstimmungen gibt. Dabei soll geprüft werden, ob die Oberlippe verglichen mit Unterlippe und Kinn eine höhere Übereinstimmung von Planung zu postoperativem Ergebnis hat, bzw. ob dies eher für Unterlippe bezogen auf Oberlippe und Kinn zutrifft.

3 Material und Methoden

3.1 Datenerhebung

In dieser Studie wurden alle volljährigen und mündigen Patientinnen und Patienten eingeschlossen, die sich einer orthognathen Operation am Landesklinikum Graz unterzogen hatten. Der Zeitrahmen bezieht sich auf die Jahre zwischen 2016-2018. Insgesamt wurden 189 PatientInnen, im Alter von 20-57 Jahren, davon sind 74 Männer und 115 Frauen, gescreent.

Um die in Frage kommenden PatientInnen herauszufiltern, wurden zunächst die OP-Bücher gesichtet. Inkludiert wurden jene Patientinnen und Patienten, bei welchen eine bimaxillären Umstellungsosteotomie vorgenommen worden war. Anschließend sind die Akten auf Vollständigkeit und Vorhandensein eines prä- und eines postoperativen Fernröntgenseitenbildes (FRS), sowie die zugehörige Planung, geprüft worden.

Das postoperative followup, FRS-Röntgen musste hier mindestens sechs Monate nach erfolgter Operation angefertigt worden sein, um sicher gehen zu können, dass eine komplette Abschwellung der Weichteile gegeben ist, sodass es nicht zu einer Verfälschung der Daten kommt. Alter und Geschlecht, der ProbandInnen, sowie Art der Fehlstellung wurden ebenso vermerkt, wie die Durchführung einer Kinnosteotomie.

3.2 Chirurgisch-orthodontische Behandlungsplanung

Die Durchzeichnung eines FRS-Bildes, zur Profilplanung in der orthognathen Chirurgie, ist vereinfacht und bildet lediglich die Lage der Kiefer zum Weichteilprofil ab. Auf kephalometrische Bezugspunkte, -linien und -winkel wird verzichtet. Es wird eine zweite Durchzeichnung angefertigt und Ober- und Unterkiefer einzeln ausgeschnitten. Diese Ausschnitte werden zueinander in gewünschter Neutralokklusion positioniert und festgeklebt. Mithilfe dieser vorgegebenen okklusalen Einstellung, kann die knöcherne Umstellung zweidimensional simuliert werden. Mit einem Lineal lässt sich die Skelettverlagerung in der vertikalen und sagittalen Ebene ablesen, beispielsweise 5mm nach ventral und 3mm nach kranial, sodass daraus Schlüsse auf das Weichteilprofil gezogen werden können.

Mit dieser vereinfachten Methode lassen sich nicht nur bignathe sondern auch monognathe Operationen abschätzen und man erhält Rückschlüsse bezüglich der Durchführbarkeit und des Ausmaßes der Profilveränderung. (5)

3.3 Bimaxilläre Umstellungsosteotomie

Innerhalb der Therapieplanung wird, abhängig vom der Schweregrad der Fehlstellung festgelegt, welche Operation indiziert ist. Man entscheidet, ob eine monognathe Korrekturosteotomie des Ober- bzw. Unterkiefer ausreichend ist, oder ob eine bignathe Umstellungsosteotomie notwendig ist. (10) Der kombinierte Eingriff im Ober- und Unterkiefer kommt bei besonders schweren Dysgnathieformen zum Tragen. Wird innerhalb der Therapieplanung festgestellt, dass eine Verlagerung des Unterkiefers von mehr als 6mm erforderlich ist, so ist eine bignathe Operation zu bevorzugen. Begründung hierfür ist, dass durch die weite Verlagerungsstrecke, der Tonus der ansetzenden Muskulatur stark erhöht wird, wodurch das Rezidivrisiko einer skelettalen Verlagerung zurück in die Ausgangsposition steigt. Bei größeren Verlagerungen in der sagittalen Ebene sollte diese Strecke demnach auf zwei Kiefer verteilt werden, um ein Rezidivgeschehen zu vermeiden. Außerdem ergeben sich weitere Vorteile, funktionell und ästhetisch, da durch eine bignathe Operation eine Variierbarkeit in mehreren Ebenen möglich wird. (7)

Üblicherweise beginnt man bei einer bignathen Operation damit, den Oberkiefer, entsprechend der LeFort I Operation, in seiner neuen Position, unter Zuhilfenahme eines Zwischensplints, einzustellen. Anschließend wird der Oberkiefer mittels Synthesplatten stabilisiert, sodass nun der der Unterkiefer mobilisiert werden kann. Ein weiterer Splint wird verwendet, um die definitive Position des Unterkiefers zum Oberkiefer einzustellen, und daraufhin ebenfalls fixiert. (7)

3.4 Fernröntgenseitenbild- Analyse

Für die Analyse der Fernröntgenseitenbilder wurden sowohl prä- als auch postoperativ angefertigte Röntgenbilder einer Patientin/ eines Patienten verwendet. Nachdem am Landeskrankenhaus Graz die FRS-Analyse nach A.M. Schwarz angewendet wird, stützt sich diese Studie auf von ihm entwickelte Bezugspunkte und -ebenen. Mit Hilfe eines Durchzeichnenspapiers werden die Weichteilkonturen, entsprechend dem Profil vom Röntgenbild übertragen. Anschließend werden die knöchernen Strukturen durchgezeichnet: die Sella, das Nasenbein, die Mandibula und die Orbita. Als dentale Anhaltspunkte dienen die 1er und 6er in Ober- und Unterkiefer, auf ihnen wird die Okklusionsebene konstruiert. Alle diese Bezugspunkte dienen dazu, die jeweiligen prä- und postoperativen Röntgenbilder miteinander ins Verhältnis zu setzen, um damit die Planung zu überprüfen.

Als Referenzpunkte wurden der Sella-Punkt nach A.M. Schwarz (Se-Punkt), das Nasion (N-Punkt) und Hautnasion (N'-Punkt), Ober- und Unterlippenpunkt (Ls-Punkt / Li-Punkt) und das Hautgnathion (Gn'-Punkt) festgelegt. Um die Durchzeichnungen vergleichbar zu machen wurde die N-Se-Strecke verwendet, welche als Basis dient. Auf dieser wurde im N'-Punkt im rechten Winkel eine Senkrechte gezogen (s. Abbildung 16). Die sagittalen und vertikalen Bewegungen dieser drei Referenzpunkte, Ls, Li und Gn', dienen dazu die anteroposterioren Veränderungen des Gesichtsprofils zu analysieren.

Da die Durchzeichnungen von UntersucherIn zu UntersucherIn unterschiedlich durchgeführt werden, wurde für diese Studie alle Abzüge von einer Person angefertigt. Von jedem FRS-Röntgenbild wurde eine Zeichnung gemacht und diese anschließend einmalig vermessen. Alle diese Vermessungen wurden manuell durchgeführt, ohne Zuhilfenahme eines Computerprogrammes. Die gemessenen Abstände in Millimeter sind ohne Kommastellen angegeben.

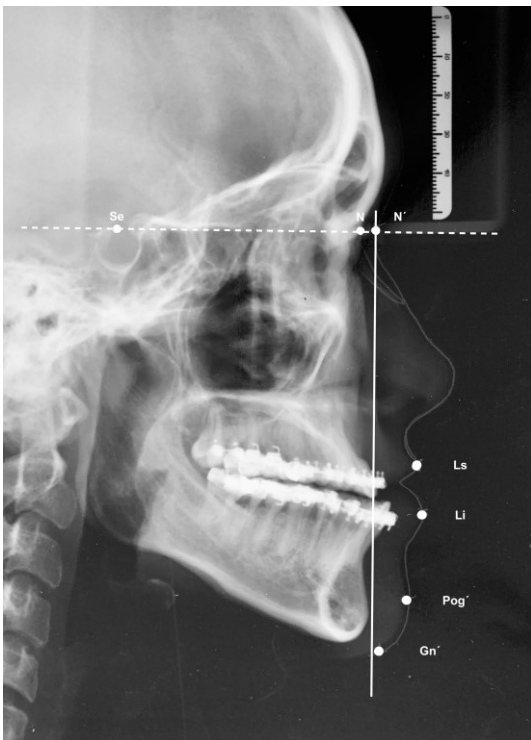


Abbildung 16 Präoperatives Fernröntgenseitenbild eines 29 Jahre alten Patienten, zu sehen ist die N-Se-Strecke (gestrichelte Linie) mit der darauf abgebildeten Senkrechten im N'-Punkt. Die weiteren eingezeichneten Punkte entsprechen den verwendeten Messpunkten (Ls, Li, Gn')

Ausgehend von dieser Senkrechten wurden die Abstände zu den Punkten Li, Ls und Gn', sowohl bei den prä- als auch postoperativen Röntgenbildern und Planungen abgemessen (s. Abbildung 17Abbildung 18). Dabei wurden die Werte welche links, also hinter der Senkrechten liegen als negativ verzeichnet und jene die rechts, also vor der Senkrechten liegen als positiv gewertet. Diese in Millimeter angegebenen Messungen wurden

anschließend zur Auswertung in eine Excel Tabelle übertragen. Die Darstellung als Tabelle ermöglicht einen besseren Überblick über die Planungen im Vergleich zum postoperativen Ergebnis. Die daraus erhaltenen Differenzen zwischen Planung und postoperativem Ergebnis wurde mittels t-Test für verbundene Stichproben auf ihre Signifikanz geprüft.

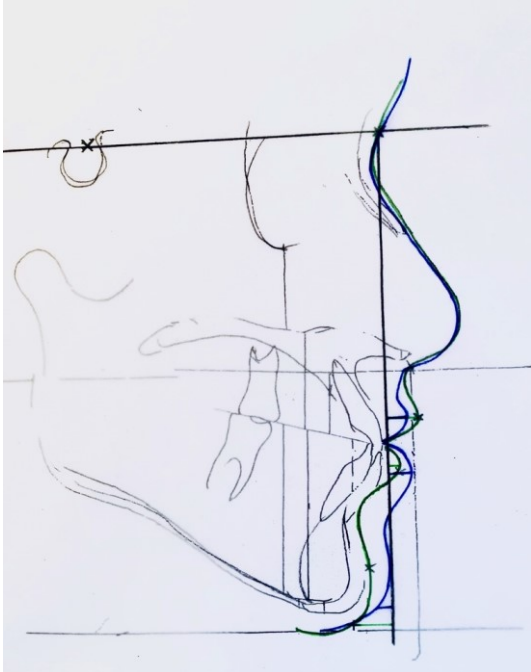


Abbildung 17 Vergleich der präoperativen Durchzeichnung (blau) mit der Planung (grün)

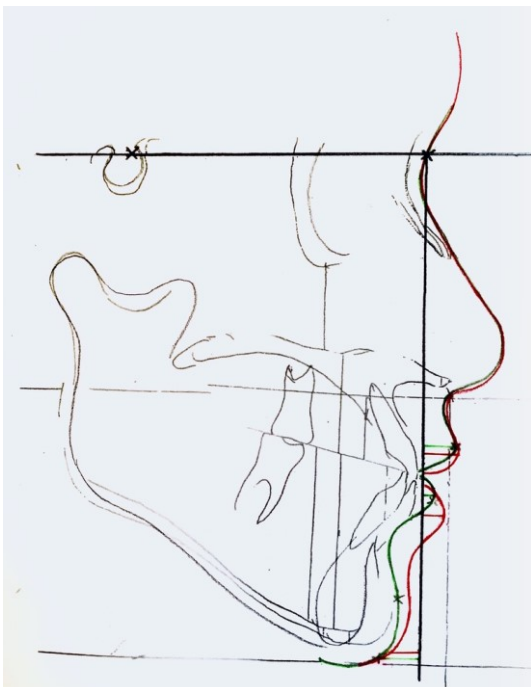


Abbildung 18 Vergleich der postoperativen Durchzeichnung (rot) mit der Planung (grün)

3.5 Studienparameter

Es wurden insgesamt 3 Studienparameter für diese Auswertung festgelegt, welche in mm angegeben werden. Als präoperatives Behandlungsziel werden Differenzabweichungen zwischen Planung und postoperativen Ergebnis (der Weichteilkonturen des Profils) in einem Bereich von 0-1,5mm, als tolerabel festgelegt. Zusätzlich wird beurteilt, wie sich im Gesamten das Weichteilgewebe bezogen auf die knöcherne Verlagerung verhält. Dabei wird ein Toleranzbereich von 0-1mm bestimmt, welcher als nicht relevante Veränderung gewertet wird.

3.5.1 Primäre Studienparameter

Zu den primären Studienparameter zählen das Oberlippenprofil Ls-Punkte und das Unterlippenprofil, der Li-Punkt.

3.5.2 Sekundäre Studienparameter

Zu den sekundären Studienparameter zählt das Kinn mit dem Hautgnathion als Referenzpunkt.

3.6 Literaturrecherche

Für die Literaturrecherche wurde die medizinische Datenbank PubMed verwendet. Um die Datenlage bezüglich der Vorhersehbarkeit von orthognather Planung und postoperativem Outcome zu ermitteln, wurde die Mesh- Suchfunktion unter Eingabe folgender Begrifflichkeiten angewandt: „Orthognathic Surgery“ beziehungsweise „Bimaxillary osteotomy“, „2DPlanning“, „3D Planning“ und „Cephalometric Methods“. Damit konnte das Suchergebnis auf eine überschaubare Anzahl relevanter Artikel eingegrenzt werden.

Zur Recherche von Hintergrundinformationen wurden in der Mesh-Suchfunktion desweiteren Begrifflichkeiten wie „Treatment outcome“ beziehungsweise „Postoperative outcome“, „two-dimensional planning“, „maxillofacial deformities“ und „Profile Changes“ verwendet.

3.7 Verwendete EDV-Programme

Zur Erstellung dieser Diplomarbeit wurden die Programme Microsoft Word und Excel 2020 Version 16.40, sowie IBM SPSS Statistics Version 26 verwendet.

3.8 Statistische Analyse

Es wurde eine deskriptive Statistik durchgeführt, mit einer Auswertung der Alters- und Geschlechtsverteilung. Die statistische Analyse zum Vergleich innerhalb der einzelnen Referenzwerte wurde mithilfe eines t-Tests für verbundene Stichproben durchgeführt. Der gleiche Analysetest wurde verwendet, um die Referenzpunkte miteinander zu vergleichen.

4 Ergebnisse – Resultate

4.1 PatientInnenkollektiv

Nach Beachtung aller Kriterien und Ausschluss bei unzureichenden PatientInnenunterlagen ergab sich ein Kollektiv von insgesamt 29 Personen (aus 189 in diesem Zeitraum am Klinikum Graz registrierten PatientInnen). Davon werden 12 Männer (41%) und 17 Frauen (59%) im Alter zwischen 20-49 Jahren in die Studie inkludiert. Zur Veranschaulichung ist in Abbildung 11 die Altersverteilung dargestellt, das Durchschnittsalter entspricht $32,2 \pm 8,2$ Jahre (s. Abbildung 19).

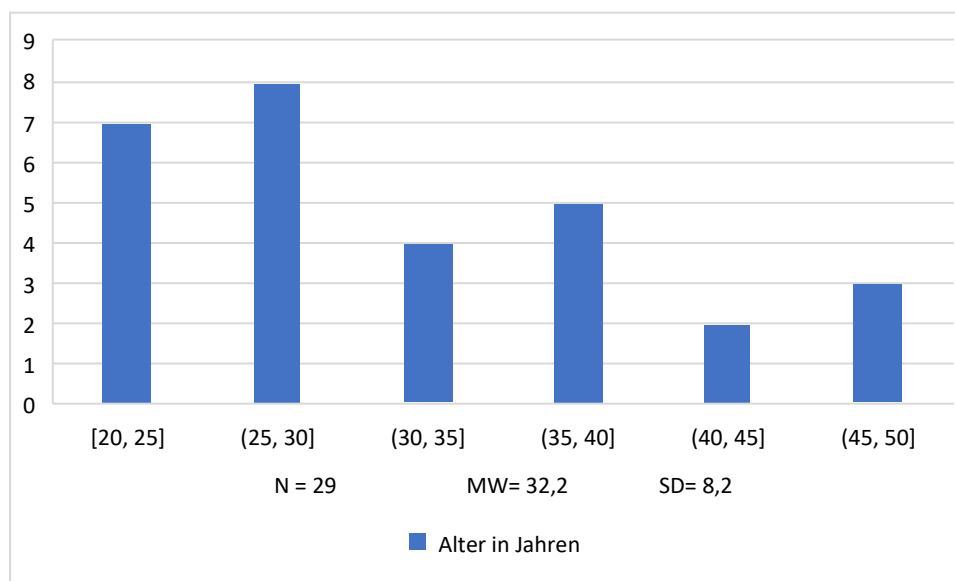


Abbildung 19 Altersverteilung des untersuchten PatientInnenkollektivs

Alle PatientInnen befanden sich zum Zeitpunkt des Eingriffs in einer kieferorthopädischen Vorbehandlung. Es wurden 14 Personen aufgrund einer Klasse II Dysgnathie und 15 aufgrund einer Klasse III Dysgnathie behandelt. Zusätzlich wurde bei 13 (45%) der PatientInnen eine Kinnosteotomie durchgeführt.

4.2 Statistische Auswertung

4.2.1 Weichteilveränderung in Relation zum Ausgangsprofil

Eine skelettale Umstellung hat meistens eine Veränderung der Weichteile zur Folge. Je nachdem welche Operation vorgenommen wird, ob monognath oder bignath bzw. eine Vor- oder Rückverlagerung des Kiefers und abhängig von dem Ausmaß der knöchernen Verlagerung zeigt sich eine unterschiedlich starke Ausprägung in der Veränderung des Weichteilprofils. Gelegentlich kann es vorkommen, dass trotz knöcherner Verlagerung das Gesichtsprofil unverändert bleibt. Alle ProbandInnen dieser Studie erhielten eine bignathe Operation, d.h., dass sowohl Ober- als auch Unterkiefer osteotomiert und verlagert wurden. Anhand der Referenzpunkte konnte nicht nur die Genauigkeit der Vorhersage von Planung und postoperativem Outcome geprüft werden. Außerdem ließ sich feststellen, inwiefern sich das Weichteilprofil von prä- zu postoperativ verändert hat. Es wurde präoperativ ein Bereich von 0-1mm festgelegt, bei welchem die geplanten Veränderungen des Weichteilprofils als nicht relevant gewertet werden. Demnach gelten Weichteilbewegung von bis zu 1mm als keine Veränderung des Gesichtsprofils, jene über 1mm werden als Profilveränderung gewertet.

4.2.1.1 Präoperativ angenommene Weichteilveränderung der Oberlippe (Ls-Punkt)

Es wurde festgestellt, dass sich das Oberlippenprofil bei den ProbandInnen unterschiedlich stark verändert, sodass sich ein Bewegungsausmaß von 0-9mm für das Weichteilprofil in diesem Bereich ergibt. Demnach bleibt bei einigen der PatientInnen das Oberlippenprofil unverändert (14%), bei anderen hingegen zeigt sich eine Veränderung von bis zu 9mm. In der Planung wurde angenommen, dass es zu einer Veränderung des Oberlippenprofils bei 86% der PatientInnen kommt mit einer Veränderung der Weichgewebe von mehr als 1mm (Tab. 5).

4.2.1.2 Präoperativ angenommene Weichteilveränderungen der Unterlippe (Li-Punkt)

Für das Profil der Unterlippe zeigten sich ähnliche Erkenntnisse, sodass sich hier ein Bewegungsausmaß von 0-8mm für Weichteilveränderungen diesem Bereich ergaben. Demnach kommt es bei einigen der PatientInnen zu keinerlei Veränderung des Unterlippenprofils (20%) bei 0-1mm Bewegung, wohingegen sich bei anderen eine

Profilveränderung von bis zu 8mm zeigte. Für die Planung wurde angenommen, dass es zu einer Veränderung des Weichteilprofils bei 80% der PatientInnen kommt, mit einer Veränderung der Weichgewebe von mehr als 1mm (Tab.5).

4.2.1.3 Präoperativ angenommene Weichteilveränderungen des Kinns (Gn‘-Punkt)

Für das Kinn wurde das größte Ausmaß der Weichteilbewegung festgestellt mit Veränderung der Weichteilkontur von 0,5-21mm. Wobei hier zu beachten ist, dass dieser Bewegungsradius zusätzlich durch die vorgenommenen Kinnosteotomien beeinflusst wird. Präoperativ wird angenommen, dass es bei 97% der PatientInnen zu einer Veränderung des Gesichtsprofils kommt, mit einer Bewegung des Weichgewebes von mehr als 1mm (Tab. 5).

4.2.2 Prä- und postoperativen Weichteilveränderung im Vergleich

Postoperativ zeigt sich, dass die Weichteilbewegung deutlich geringer ausfällt, als präoperativ angenommen. Der Vergleich zwischen dem prä- und postoperativem Gesichtsprofil zeigt, dass es im Bereich der Oberlippe bei nur 80% der PatientInnen zu einer Weichteilveränderung gekommen ist, anstelle der, in der Planung angenommenen 86%. Im Bereich der Unterlippe waren es 4% weniger als angenommen, sodass sich bei nur 76% der PatientInnen eine Veränderung des Unterlippenprofils zeigte. Bei der Kinnpartie waren es nur 86% der PatientInnen bei welchen sich das Gesichtsprofil in diesem Bereich veränderte, verglichen mit den zuvor angenommenen 97%. (Tabelle 6)

Tabelle 6 Veränderung des Weichgewebes prä- und postoperativ in Vergleich, Angabe des prozentuellen Anteils der PatientInnen bei welchen eine Veränderung der Gesichtprofils zu erkennen war

Veränderung des Gesichtsprofils entsprechend der Weichteilbewegung				
	Präoperativ		postoperativ	
	Veränderung von >1mm	Keine Veränderung <1mm	Veränderung von >1mm	Keine Veränderung <1mm
Oberlippe	86%	14%	80%	20%
Unterlippe	80%	20%	76%	24%
Kinn	97%	3%	86%	14%

4.2.3 Postoperative Weichteilveränderung in Relation zum Ausgangsprofil

Tabelle 7 Differenz der prä- und postoperativen Ergebnisse im Vergleich

Differenz prä- und postoperativer Ergebnisse	Mittelwert	SD	p-Wert
Oberlippe (Ls-Punkt)	3,88	±2,71	< 0,001
Unterlippe (Li-Punkt)	3,28	±2,42	< 0,001
Kinn (Gn'-Punkt)	7,34	±6,04	< 0,001

Die postoperativen Ergebnisse der Weichteilveränderungen in Relation zum Ausgangsprofil ergaben innerhalb der Messzeitpunkte für alle Referenzpunkte einen signifikanten Unterschied ($p < ,001$). Dies sagt aus, dass in allen Fällen eine Veränderung der Weichteilkonturen im Gesichtsprofil vorliegt (Tabelle 7).

4.2.4 Differenzverteilung in Abhängigkeit des Geschlechts

Eine weitere Betrachtung, die vorgenommen wurde, war die Abweichung der Differenzen in Abhängigkeit des Geschlechts. Es zeigt sich, wie in Abbildung 20 ersichtlich, dass für die Männer eine exaktere Genauigkeit bezüglich der Vorhersage getroffen werden kann, verglichen mit den Frauen, wobei hier der prozentuelle Gesamtwert der jeweiligen Referenzpunkte im tolerablen Bereich von 0-1,5mm angegeben ist. Sowohl bei den Männern, als auch bei den Frauen ergibt sich im Bereich des Unterlippenmesspunktes die höchste Übereinstimmung mit 66,7% bei den Männern und 52,9% bei den Frauen.

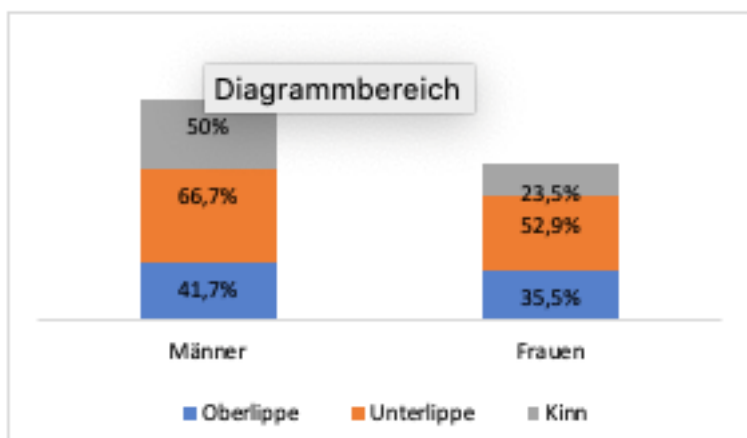


Abbildung 20 Differenzabweichungen in Abhängigkeit des Geschlechts

Während sich bei den Männern für die Oberlippe bei 0mm, die genaueste Übereinstimmung ergibt (33,3%), zeigt sich diese für Unterlippe und Kinn bei 1mm Abweichung, mit je 33,3% (s. Tabelle 8).

Tabelle 8 Differenzabweichungen der einzelnen Referenzpunkte, bezogen auf das männliche Geschlecht

	0mm	0,5mm	1mm	1,5mm
Oberlippe (Ls)	33,3%	8,3%	0%	0%
Unterlippe (Li)	16,7%	8,3%	33,3%	8,3%
Kinn (Gn')	0%	8,3%	33,3%	8,3%

Bei den Frauen verhält es sich ähnlich, die genaueste Übereinstimmung des Ls-Punktes ist ebenso bei 0mm zu finden mit 17,6%, wohingegen die Punkte Li und Gn' diese bei 1mm Abweichung aufweisen mit 35,3% für die Unterlippe und 11,8% für das Kinn.

Tabelle 9 Differenzabweichungen der einzelnen Referenzpunkte, bezogen auf das weibliche Geschlecht

	0mm	0,5mm	1mm	1,5mm
Oberlippe (Ls)	17,6%	5,9%	11,8%	0%
Unterlippe (Li)	11,8%	5,9%	35,3%	0%
Kinn (Gn')	0%	5,9%	11,8%	5,9%

Es ist jedoch zu beachten, dass eine exakte Aussage bezüglich der Vorhersagegenauigkeit abhängig des Geschlechts für dieser Studie erschwert ist, da es ein Ungleichgewicht bezüglich der Geschlechterverteilung, mit 12 Männern und 17 Frauen, gibt. Durch die geringe ProbandInnenanzahl, sowie dem bestehenden ungleichen Verhältnis können demnach nur unzureichende Angaben gemacht werden.

4.2.5 Zusätzliche Erkenntnisse

Die Messungen ergeben bei allen Referenzpunkten der präoperativen Planungen eine höhere Tendenz der Weichteilbewegung nach ventral, als nach dorsal. Bei den folgenden Angaben wird von einer Gesamtzahl von 29 PatientInnen (100%) ausgegangen.

Beim Oberlippenpunkt (Ls) wird diese Weichteilveränderung für 25 von 29 PatientInnen (86%) nach ventral, für die restlichen vier (14%) nach dorsal vorhergesagt. Für den Unterlippenpunkt (Li) wurde diese ventrale Verlagerung für 16 von 29 PatientInnen (55%) bestimmt, nach dorsal für 13. Beim Kinn (Gn') für 17 (57%) nach ventral bzw. für 12 der 29 PatientInnen (43%) nach dorsal.

Die Bewegung der Weichteilkontur nach ventral wurde postoperativ hingegen deutlich sichtbarer. (Tabelle 10) Für die Oberlippe ergibt sich ein übereinstimmendes Ergebnis und entspricht der Vorhersage von den geplanten 25 der 29 PatientInnen, mit einem postoperativen Anteil von 86%. Sowohl für den Unterlippenmesspunkt, als auch den

Referenzpunkt des Kinns ergaben sich 76% einer Weichteilverlagerung nach ventral und damit jeweils um ca. 20% höher als präoperativ erwartet.

Diese Erkenntnis ist insofern interessant, als dass sich diese Veränderung des Weichteilprofils nach ventral, unabhängig von der bestehenden Fehlstellung einer Klasse II bzw. Klasse III Dysgnathie und der durchgeführten Operation, hervorhebt.

Tabelle 10 Prozentueller Anteil der PatientInnen mit geplante Weichteilveränderung nach ventral verglichen mit dem postoperativen Anteil

Weichteilbewegung	präoperativ		postoperativ	
	Ventral	Dorsal	Ventral	Dorsal
<i>Oberlippe</i>	86%	14%	86%	14%
<i>Unterlippe</i>	55%	45%	76%	24%
<i>Kinn</i>	57%	43%	76%	24%

4.2.6 Darstellung der einzelnen Referenzpunkte im Vergleich

Für einen besseren Überblick wurden die vorher erwähnten negativ und positiv Messungen, abhängig der Lage zur Senkrechten auf der N-Se-Strecke, für diese Grafiken der Differenz Darstellung vernachlässigt.

Während die postoperativen Ergebnisse für die Bezugspunkte der Oberlippe (Ls) und Unterlippe (Li) verhältnismäßig geringe Abweichungen zur Planung aufweisen, gab es beim Kinn (Gn'-Punkt) weit gefächerte Varianzen (s. Abbildung 21). Vereinzelt Ausreißer konnten bei allen Messpunkten festgestellt werden. Die zu vergleichenden Differenzen von Planung und postoperativen Ergebnis wurden bei einem Signifikanzniveau von $p < 0,05$ festgelegt.

4.2.6.1 Differenzabweichungen zwischen geplanter und postoperativer

Weichteilbewegung

Das untenstehende Boxplot Diagramm zeigt anschaulich die Varianz der einzelnen Messungen. (s. Abbildung 21) Der Median (dicke schwarze Linie) liegt bei der Oberlippe (Ls-Punkt) bei 2mm, bei der Unterlippe (Li-Punkt) bei 1mm und beim Kinn (Gn'-Punkt) bei 3mm. Das bedeutet, dass die Hälfte aller Abweichungen jeweils unter dem genannten Wert liegt. Für den Ls-Punkt heißt das, dass bei einem festgelegten Grenzwert von 1,5mm ein Großteil der Abweichungen im Toleranzbereich liegen. Bei dem Li-Punkt zeigt sich, dass

über die Hälfte der Differenzmessungen im tolerablen Bereich liegen. Dieses Ergebnis lässt für die Unterlippe eine gute Vorhersagbarkeit prognostizieren. Wohingegen sich für den Gn'-Punkt die größte Abweichung ergibt, da der Median von 3mm doppelt so hoch ist wie der angegebene Grenzwert von 1,5mm. Daraus lässt sich schließen, dass es schwierig ist eine genaue Vorhersage für das Kinn zu treffen

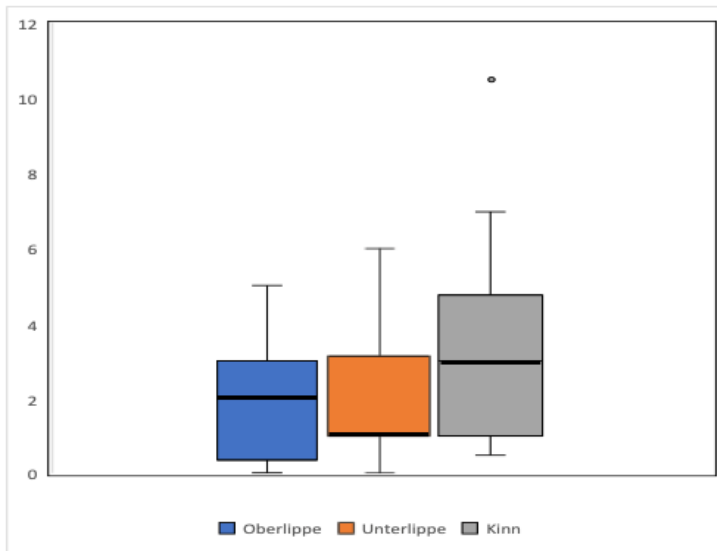


Abbildung 21 Darstellung der Differenz zwischen geplantem und postoperativem Ergebnis in Millimeter

4.2.6.1.1 Oberlippenprofil Ls-Punkt

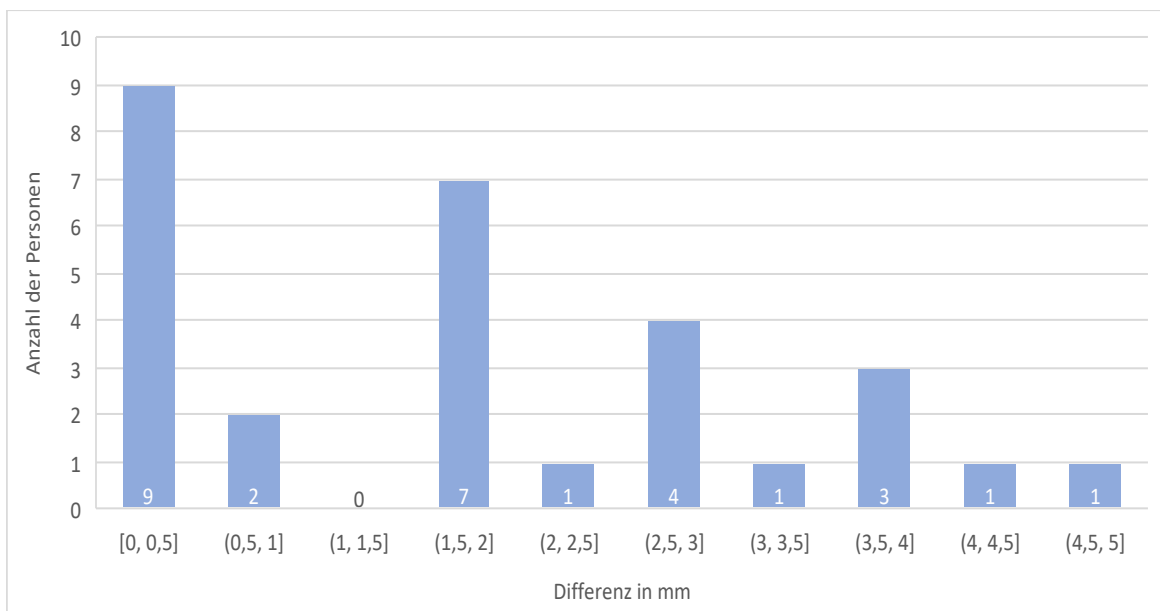


Abbildung 22 Differenzverteilung zwischen präoperativer Planung und postoperativem Ergebnis des Oberlippen Punktes (Ls-Punkt)

Abbildung 22 zeigt die Differenz, zwischen den geplanten und den postoperativen Werten des Oberlippen Messpunktes Ls. Zu sehen ist, dass die Abweichung zwischen Planung und postoperativem Resultat zum Großteil zwischen 0 -1,5mm liegt (in 37.9%). Danach folgt

eine Differenzabweichung von 2mm mit 24,1%, als nächst höchster Abweichungswert. Messwerte mit einer Differenz von >2mm lassen sich nur vereinzelt finden.

Zur Ermittlung der Genauigkeit der Planung für das postoperative Ergebnis wurden die berechneten Differenzabweichungen mit einem t-Test für verbundene Stichproben überprüft. Es zeigte sich innerhalb der Messzeitpunkte ein signifikanter Unterschied ($p < ,001$) mit einem einer Standardabweichung von $\pm 1,56\text{mm}$. Die vereinzelt Ausschläge nach oben, haben einen relativ hohen Mittelwert von 1,95mm zur Folge.

Weiterhin wurde überprüft, wie sich die ermittelten Werte von Oberlippe, Unterlippe und Kinn zueinander verhalten. Diese Werte wurden ebenfalls mittels t-Test für verbundene Stichproben überprüft, wobei sich Oberlippe zu Unterlippe nicht signifikant voneinander unterscheiden ($p = ,875$). Daraus kann man ableiten, dass Ober- und Unterlippe sich gleichmäßig zueinander verlagern. Hingegen zeigt sich für die Wertung von Oberlippe zu Kinn ein signifikanter Unterschied ($p = ,006$), woraus sich schließen lässt, dass das Kinn verglichen mit der Oberlippe eine höhere Beweglichkeit und damit eine größere Abweichung aufweist.

4.2.6.1.2 Unterlippenprofil Li-Punkt

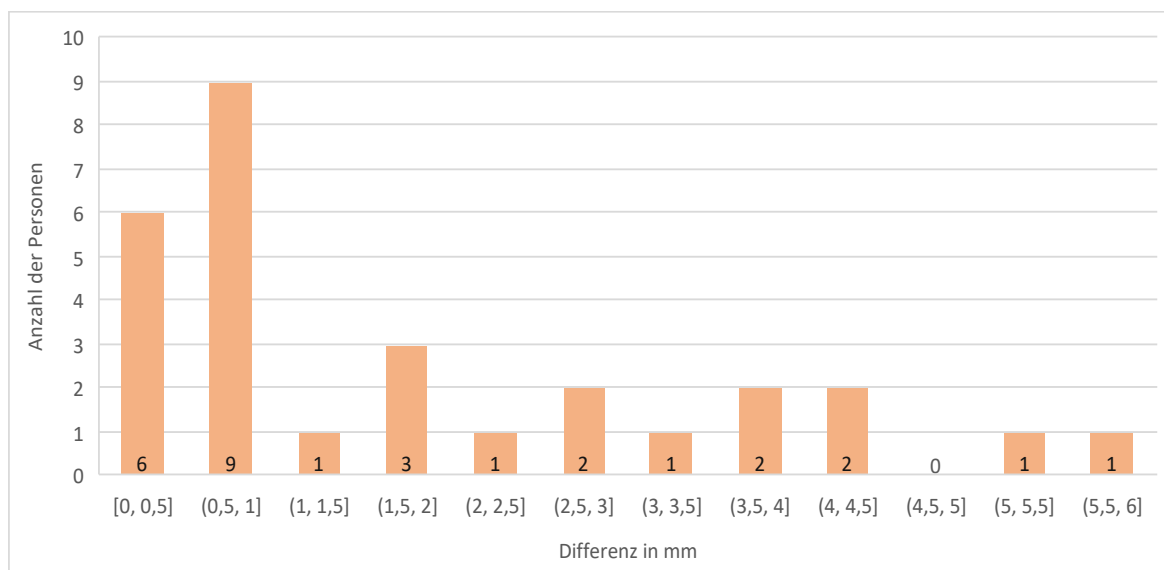


Abbildung 23 Differenzverteilung zwischen präoperativer Planung und postoperativem Ergebnis des Unterlippen Punktes (Li-Punkt)

In Abbildung 23 ist ähnlich ersichtlich, dass die Abweichungen zwischen Planung und postoperativen Ergebnis bei über der Hälfte (58,6%) der untersuchten PatientInnen im festgelegten Toleranzbereich liegen. Für diesen Messpunkt (Li-Punkt) ergibt sich somit die prozentual höchste Übereinstimmung zwischen 0-1,5mm. Auch hier finden sich vereinzelt Ausreißer mit >5mm Varianz. Unter Verwendung des t-Test für verbundene Stichproben

ergibt sich ein signifikanter Unterschied ($p < ,001$) beim Vergleich der zwei Messzeitpunkte mit einer Standardabweichung von $\pm 1,72\text{mm}$. Der Mittelwert von $2,0\text{mm}$, ist ähnlich wie beim Oberlippenpunkt durch vereinzelt hohen Ausreißer erklärbar. Wie oben bereits erwähnt, zeigten sich zwischen den Differenzabweichungen von Ober- zu Unterlippe keinerlei Signifikanzen. Der Vergleich der Abweichungen zwischen den Messpunkten Unterlippe und Kinn zeigte hingegen einen signifikanten Unterschied ($p = ,004$). Woraus sich schließen lässt, dass der Referenzwert des Kinns, ebenso wie beim Oberlippenpunkt, eine größere Beweglichkeit verglichen mit dem Li-Punkt aufweist.

4.2.6.1.3 Kinn - Hautgnathion

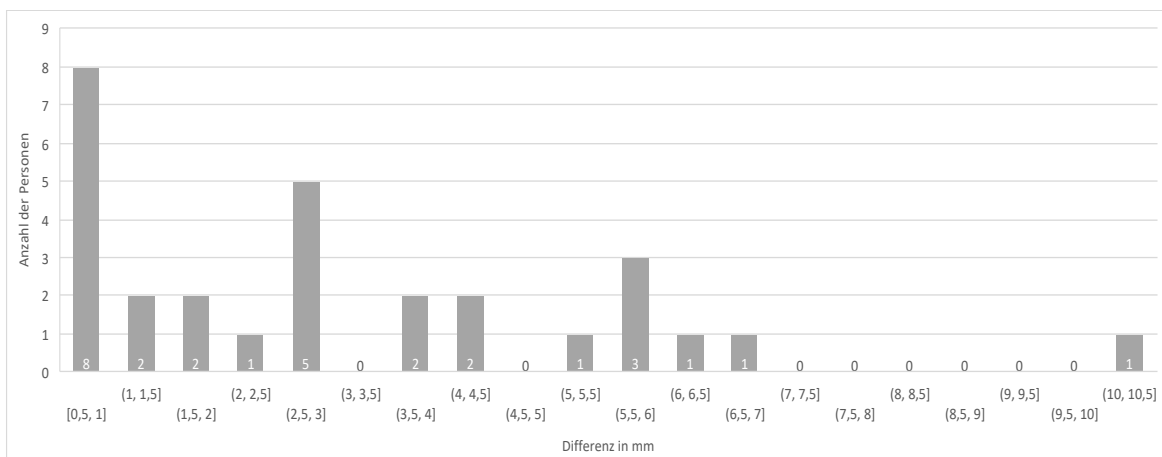


Abbildung 24 Differenzverteilung zwischen präoperativer Planung und postoperativem Ergebnis des Kinn Punktes (Gn'-Punkt)

Das Kinn, mit dem Hautgnathion als Messpunkt, zeigt wie in Abbildung 24 ersichtlich die höchste Varianz, mit einem deutlichen Ausreißer von $10,5\text{mm}$ ($N=1$). Der Anteil der im tolerablen Bereich liegenden Werte bezieht sich auf 10 Personen, wobei eine Differenz von 0mm nicht erreicht wurde. Das bedeutet, dass es immer einen Unterschied zwischen Planung und postoperativem Ergebnis für den Gn'-Punkt gibt. Der verwendete t-Test für verbundene Stichproben zum Vergleich der zwei Zeitpunkte innerhalb des Gn'-Punktes, ergibt einen signifikanten Unterschied mit $p < ,001$, mit einer Standardabweichung von $\pm 2,43\text{mm}$. Der Mittelwert liegt bei $3,31\text{mm}$ und ist ebenso durch die stark variierende Verteilung der Abweichungen zu erklären (s. Abbildung 24).

4.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

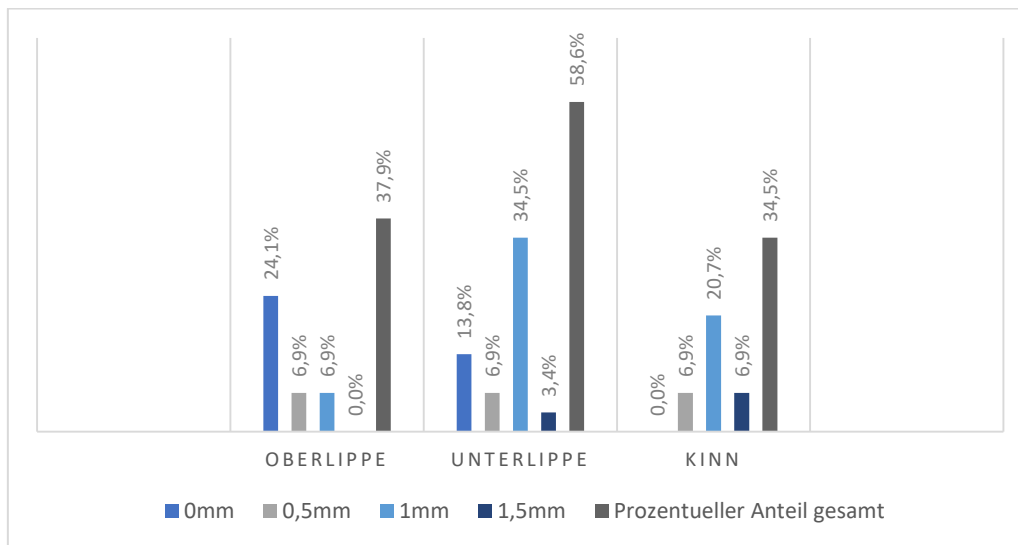


Abbildung 25 Verteilungsgrafik der Prozentuelle Anteile der im Toleranzbereich liegenden Differenzwerte

Es zeigen sich variable Übereinstimmung der Werte für die jeweiligen Differenzen. In dieser Grafik ist aufgezeigt, wie hoch der prozentuale Anteil der Einzelwerte und deren Summe liegt. Einzel betrachtet weist die Oberlippe die höchste Deckungsgleichheit mit 24,1% bei einer 0mm Differenz auf, die Unterlippe hingegen bei 1mm (34,5%), ebenso wie das Kinn (20,7%). Im Gesamten liegen die tolerierbaren Abweichungen für alle Messpunkte relativ hoch. Für die Oberlippe ergibt sich eine Übereinstimmung von 37,9%, für das Kinn 34,5%. Die Unterlippe erreicht mit 58,6% über der Hälfte der Gesamtwerte und damit die höchste Deckungsgleichheit. (s. Abbildung 25)

Insgesamt betrachtet ergibt sich für alle Messpunkte ein signifikanter Unterschied für die Differenzabweichungen zwischen den zwei Zeitpunkten der Planung und des postoperativen Ergebnisses, für alle Referenzpunkte gilt $p < ,001$ (Tabelle 11). Bezieht man sich zusätzlich auf die prozentualen Ergebnisse der Übereinstimmung, Oberlippe 37,9%, Unterlippe 58,6% und Kinn 34,5%, so zeigt sich, dass der Hauptteil der Differenzabweichungen über einem Wert von 1,5mm liegt. Unter Beachtung des Toleranzbereichs von 0-1,5mm Abweichung zwischen Planung und postoperatives Ergebnis gibt es hier demnach nur eine geringfügige Übereinstimmung.

Tabelle 11 Vergleich der Differenzen innerhalb der einzelnen Messpunkte zwischen den Zeitpunkten Planung und postoperativem Ergebnis

Differenz Planung – postoperatives Ergebnis	Mittelwert	SD	p-Wert
Oberlippe (Ls-Punkt)	1,95	1,56	< 0,001
Unterlippe (Li-Punkt)	2,00	1,72	< 0,001
Kinn (Gn'-Punkt)	3,31	2,43	< 0,001

Vergleicht man die Ergebnisse der Messpunkte untereinander, zeigt sich, dass zwischen den Messungen von Oberlippe zu Kinn und Unterlippe zu Kinn ein signifikanter Unterschied bei einem Signifikanzniveau von $p = 0,05$ (Tabelle 12) besteht. Der Vergleich von Oberlippe zu Unterlippe ergab, dass es hier keinerlei signifikante Unterschiede gibt, sodass die Oberlippe nur im Vergleich zum Kinn deutlich höhere Übereinstimmungen hat, ebenso wie die Unterlippe. Daraus ergibt sich, dass das Kinn insgesamt die höchsten Abweichungen verglichen mit den anderen Messpunkten aufweist und damit die Vorhersehbarkeit des postoperativen Ergebnisses an diesem Weichteilpunkt am schwierigsten zu bestimmen ist.

Tabelle 12 Vergleich der Differenzabweichungen der einzelnen Messpunkten untereinander

Differenz Planung – postoperatives Ergebnis	p-Wert
Oberlippe zu Unterlippe	0,875
Oberlippe zu Kinn	0,006
Unterlippe zu Kinn	0,004

5 Diskussion

Während des Gesichtsschädelwachstum können Lage- und Formanomalien des Kiefers und Zahnfehlstellungen durch genetisch oder externe Einflüsse entstehen. Diese werden als Dysgnathien bezeichnet. Eine Behandlung erfolgt tendenziell jedoch in jenen Fällen mit funktionellen Problemen bzw. aufgrund ästhetischer Beeinträchtigung. Häufig sind diese Fehlstellungen erfolgreich mit einer konservativen, d.h. kieferorthopädischen Behandlung zu korrigieren. Durch gezielt eingesetzte Krafteinwirkung, können dentoalveoläre Anomalien aufgehoben und in einem gewissen Rahmen das knöcherne Wachstum ebenso beeinflusst werden. Im Falle einer komplexeren skelettalen Formabweichung, sollte eine kombinierte kieferorthopädisch-kieferchirurgische Behandlung in Betracht gezogen werden.

(7)

Viele Faktoren spielen in diesen Behandlungsplan mit ein. Neben den funktionellen Aspekten, der Normalisierung der Kaufunktion und damit die Gewährleistung einer physiologischen Nahrungsaufnahme, sowie einer normalen Artikulation und Sprachbildung, stellt eine Verbesserung des ästhetischen Erscheinungsbildes für viele PatientInnen einen zusätzlichen motivierenden Faktor dar. (7) Da knöcherne Umstellungskorrekturen häufig zu Weichteilveränderungen führen, stellt die Kephalemtrie und die Analyse des Weichteilprofils einen entscheidenden Faktor für den Therapieplan dar. Es wurden verschiedene Richtwerte ermittelt, anhand derer die Ästhetik prä- und postoperativ beurteilt werden kann. Dadurch wird es möglich, eine Vorhersage bezüglich des postoperativen

Outcomes abzuschätzen. Bei der Therapieplanung sollte dementsprechend berücksichtigt werden, dass jene operative Therapieform eingesetzt wird, welche neben dem korrekten okklusalen Ergebnis auch die gewünschte Ästhetik ermöglicht. Die Entscheidung in welcher Relation der Gesamtkomplex, also der zu bewegende Ober- und Unterkiefer, zur Schädelbasisebene positioniert und fixiert wird, ist abhängig von der Einschätzung des ästhetischen Erscheinungsbildes. (3) Es sollte daher, dass individuell erreichbare Behandlungsziel im Vordergrund stehen, da das eugnathe Gebiss in diesem Fall eher pragmatisch zu werten ist. Die Weichteilplanung stellt demnach einen entscheidenden Faktor für das operative Vorgehen dar, da durch diese die Gestaltung eines ästhetischen, harmonischen Gesichtsprofils ermittelt wird. (3; 7)

Entsprechend wurden über das letzte Jahrhundert verschiedene Methoden zur Analyse des Weichgewebes entwickelt. Die konventionelle und am meisten angewandte Methode ist die Planung in 2D. Erst innerhalb der letzten zwei Jahrzehnte, hat sich mit der Computertomographie und Magnetresonanztomographie und entsprechend weiterentwickelten Softwareprogrammen die Möglichkeit der dreidimensionalen Planung ergeben.

Die Planung der orthognathen Chirurgie in 2D wird bereits seit vielen Jahrzehnten, manuell vorgenommen. Es werden drei Methoden unterschieden, zum einen die rein manuell durchgeführte Planung und zum anderen die Computerassistierte Variante, welche sich in eine direkte und indirekte Planungsart unterteilen lässt. (9)

Für alle Methoden der zweidimensionalen Planung wird ein seitliches Schädelröntgen angefertigt. Zusätzlich wird neben der klinischen Untersuchung ein Zahnabdruck der PatientInnen genommen. Das daraus angefertigte Gipsmodell wird in einen Artikulator entsprechend der Anatomie der PatientInnen eingespannt, um anschließend die einzelnen Operationsschritte zu simulieren. Es werden innerhalb dieser Simulation okklusale Splints angefertigt, welche intraoperativ Anwendung finden, um die Kiefer in ihrer neuen Stellung zu positionieren und anschließend zu fixieren. (7; 31)

Die Handhabung dieser Planungsmethode ist leicht, die Anfertigung der Röntgenbilder geht mit einer geringen Strahlendosis einher und ist mit einem geringen finanziellen Aufwand für die PatientInnen verbunden. Zusätzlich ist die Datenaufbewahrung und -vervielfältigung einfach, gut zu transportieren. Die Simulation der Operation am Modell ist anschaulich und macht die einzelnen Schritte nachvollziehbar, ist jedoch in seinem Ablauf und der manuellen Anfertigung der Splinte zeitaufwendig (31)

Probleme ergeben sich hier vor allem durch die Aufnahmetechnik der 2D Röntgenbilder, eine Vergrößerung ist oftmals schwer durchzuführen. Es kann zu Verzerrungen kommen, die beispielsweise durch falsche Positionierung des Kopfes entstehen und die Anatomie nicht realgetreu wiedergeben. Folglich kann sich das Eintragen der Markierungen als schwierig erweisen und somit eine fehlerhafte Auswertung nach sich ziehen. (9; 31)

Limitationen werden vor allem bei umfassenderen Fällen offenkundig, die einer multidisziplinären Behandlung bedürfen, beispielsweise eine Lippen-Kiefer-Gaumenspalte, Kraniofaziale Anomalien oder komplexere Asymmetrien. Die Aufnahmetechnik in 2D, kann in diesen Fällen die entscheidenden dreidimensionalen Strukturen nicht richtig wiedergeben, da sie flach projiziert werden, sodass es zu Verzerrungen kommt. (9) Daraus folgend können Probleme bei der Eintragung von notwendigen Parametern entstehen und Vermessungen bezüglich der postoperativen Vorhersagen nicht korrekt durchgeführt werden. Generell sind hier nur Vermessung in der anteroposterioren und vertikalen Dimension möglich, nicht jedoch in der transversalen Ebene. Eine rein seitliche Gesichtsprofilanalyse ohne Rückschlüsse auf die frontale bzw. submento-vertikale Ansicht. (9) Demnach zeigen sich hier Diskrepanzen bezüglich der Mittellinie des Gesichts oder bei Vorliegen unterschiedlich langer Unterkieferäste mit asymmetrischen Kinnabweichung. (31)

In diesen speziellen Fällen hat sich die Planung in 3D als erfolgreicher erwiesen. Zu Beginn der Entwicklung der dreidimensionalen Operationsplanung, ergab sich die Schwierigkeit eine passende Aufnahmetechnik zu finden. Man musste eine Möglichkeit finden, mit einem einzigen Datensatz alle drei Gewebsstrukturen, Knochen, Weichgewebe und Zähne so zu kombinieren, dass diese in bestmöglicher Qualität zeigt. (38) Es wurde verschiedene Kombinationen von Bildfusionen geprüft, letztendlich erwies sich das Kegelstrahl CT am geeignetsten, da es die Daten für das Hartgewebe vom Tomogramm verwendet und mit jenen des Weichgewebes vom Oberflächenscan kombiniert. (9)

Die Weiterentwicklung zur Virtuellen chirurgischen Planung verwendet eine Kombination aus Fächer- und Kegelstrahl Computertomographie mit einer Software, die die dreidimensionale Planung ermöglicht. Für den/die OperateurIn ergibt sich damit die Möglichkeit in 3D die Osteotomie, die Weichteilbewegung, und Splinterstellung virtuell zu simulieren und zu planen. Außerdem ist es möglich das günstigste chirurgische Ergebnis mit dem vorhersehbaren Outcome zu berechnen und zu interferieren. (31; 39)

Die Bildaufnahmen in 3D enthalten entsprechend genaue Informationen bezüglich der Anatomie und ermöglicht eine präzise quantitative Vermessung. Dies ist besonders bei

PatientInnen mit Asymmetrien von Bedeutung. Das 3D Modell demonstriert anschaulich das Ausmaß der Kieferrotation von Ober- und Unterkiefer, die Verkantung auf okklusaler Ebene sowie die Längenunterschiede des Unterkieferkörper bzw. -äste. (31) Diese Planungsmethode macht eine exakte Positionierung der maxillären und mandibulären Segmente möglich, wodurch sich eine signifikante Verbesserung des postoperativen Outcomes verzeichnen lässt. (40; 41) Wu et al. beschreibt, dass die Planungsmethode in 3D einige Mängel der zweidimensionalen Planung, bezüglich der Veränderungen der dentalen Mittellinie, Unterkieferastneigung, Kieferrotation und Achsendrehung aufzeigt. Ähnliche Erkenntnis wird von Griffiths et al. beschrieben, der eine deutlich verbesserte Mittellinie, Symmetrie und Korrektur der Okklusion nach erfolgter chirurgischer Simulationsplanung vermerkt. (30)

Aufgrund dessen, dass die dreidimensionale Planung die Möglichkeit gibt, Veränderungen der Strukturen in der Transversalebene zu bestimmen. Diese Methode eignet sich dementsprechend bei PatientInnen mit frontaler Asymmetrie, kraniofazialen Anomalien, sowie Syndromen und komplexen Lippe-Kiefer-Gaumenspalten, da hier die Planungsgenauigkeit und postoperative Outcome deutlich verbessert ist. (31; 42)

In mehreren Studien wird bereits dieser Vorzug der 3D Planung beschrieben. Bengtsson et al. weist darauf hin, dass die Genauigkeit der zweidimensionalen Planung jener in 3D nicht unterlegen ist, solange keine offensichtliche Korrektur in der Transversalebene vorgenommen werden muss. (28) Entsprechend ist Bengtsson et al. der Meinung, dass die dreidimensionale Planung nur für individuelle Fälle ausgewählt werden sollte, da sie mit erheblichen Kosten verbunden ist und der/die PatientIn einer hohen Strahlenbelastung ausgesetzt wird. (28; 43)

Die Genauigkeit der Behandlung ist vor allem von drei Faktoren abhängig, die präoperative Planung, die Übertragbarkeit der Planung auf den Eingriff und die Präzision innerhalb der Operation, sowie ein mögliches Rezidiv. (43)

Die Genauigkeit der Vorhersagbarkeit des postoperativen Outcomes des Weichgewebes ist ebenfalls von verschiedenen Faktoren abhängig. Einige davon sind gut zu ermitteln, während andere schwierig zu kontrollieren und vorherzusagen sind. Je nachdem welche Operation durchgeführt wird, eine monognathe bzw. bignathe Osteotomie, zeigen sich hier bereits Variationen bezüglich der Vorhersagbarkeit. Weitere einflussnehmende Faktoren sind, das Rotationszentrum des Unterkiefers und eine mögliche Rezidivierung. Entscheidend ist ebenso, dass sich die Reaktion auf die Behandlung individuell unterschiedlich verhält. Neben diesen Aspekten zählen zusätzlich das Geschlecht, die ethnische Herkunft, sowie die

präoperative Gewebsdicke und das Verhalten von Weichgewebe zu Hartgewebe zu jenen Größen, die auf die Genauigkeit der Vorhersage einwirken. Mobarak et al. stellte in seiner Studie über mandibulären Prognathismus nach Revisionsoperation fest, dass das Weichgewebe nach Neupositionierung der knöchernen Segmente bei Frauen signifikant stärker reagiert als bei Männern, um 20% im Oberlippenbereich und 14% im Bereich des Kinns. (44) Demnach spielt das Geschlecht eine Rolle für die Vorhersage des Weichgewebes. Ausgehend der ethnischen Herkunft gibt es auch hier deutliche Unterschiede. Es wurden mehrere Studien mit PatientInnen hispanischer und chinesischer Herkunft durchgeführt, bei welchen die Vorhersagbarkeit mit Algorithmen von Softwareprogramme analysierten wurden, die primär auf eine Europäisch-Amerikanische Abstammung ausgelegt sind. Dabei wurde festgestellt, dass diese in ihrer Exaktheit häufig fehlerhaft waren. (45; 46) Koh und Chew stellte in ihrer Studie von 2004 ebenso fest, dass sich die Dicke, die Tonizität, die Haltung und der Umfang des umgebenden Weichgewebes negativ auf die Genauigkeit der Vorhersage auswirken kann. (46) Die angewandte Planungsmethode beeinflusst das Geschehen, z.B. durch die Reproduzierbarkeit beim Identifizieren der Orientierungspunkte. Die Dichte und Schärfe eines Röntgenbildes, die anatomische Komplexität, sowie die Überlagerungen von Hart- und Weichgewebe, beeinflussen die Identifikation dieser Orientierungspunkte, sodass dies als die eigentliche Fehlerquelle des Gesamtvorganges zu bewerten ist. (36) Die wohl wichtigsten biologischen Faktoren, welche Auswirkungen auf die Prognose der postoperativen Profiländerungen haben, sind das Rezidivgeschehen und Rotationszentrum des Unterkiefers. (47) Abhängig davon welche Operation vorgenommen wird, eine monognathe oder eine bignathe Umstellungsosteotomie, zeigen sich deutliche Unterschiede für die Vorhersagbarkeit. Es wurde festgestellt, dass bei bimaxillären Operationen häufiger Mängel zu finden, bezüglich der Zuverlässigkeit der Vorhersage, verglichen mit monognathen Osteotomien. Obwohl das Rezidivgeschehen bei bimaxillären Operationsverfahren deutlich geringer gehalten werden kann, durch eine verbesserte Verteilung der Kaukräfte, sowie Vermeidung einer zu extremen Veränderung des Muskeltonus, zeigen sich die Prognoseprogramme hier eine geringere Vorhersagbarkeit. (48) Kolokitha et al beschreibt die Unterteilung der Prognosemöglichkeiten in 4 Kategorien, welche jeweils Unterschiede in ihrer Verlässlichkeit und Vorhersagbarkeit aufweisen. Am stabilsten wird die Reposition der Maxilla nach superior beschrieben, dicht gefolgt von der Vorverlagerung des Unterkiefers. Am problematischsten, mit der geringsten Vorhersagbarkeit und Stabilität, zeigt sich die Rückverlagerung des Unterkiefers, die Verlagerung der Maxilla nach kaudal, sowie die

Oberkiefererweiterung mittels Gaumennahtsprengung. (36) Das Ausmaß der knöchernen Bewegung zeigt entsprechende deutliche Auswirkungen auf die Exaktheit der Vorhersage. Weitere Faktoren die Einfluss nehmen können, sind die Anzahl der OperateurInnen, deren operative Vorgehensweise und chirurgische Präzision, ebenso wie die kieferorthopädische Vorbehandlung. (36) Es gibt verschiedene Studien, die sich mit dem Rotationszentrums des Unterkiefers beschäftigen. Wobei es schwierig ist, dieses zu definieren, es wurde festgelegt, dass der Punkt Kondylion als kephalometrische Markierung für die Autorotation der Mandibula dienen soll. (49) Jedoch zeigen sich starke Diskrepanzen zwischen dem Kondylenzentrum und dem berechneten Zentrum der mandibulären Autorotation., welche erhebliche Fehler bei der Positionierung der Maxilla nach sich ziehen kann. Es finden sich diesbezüglich in der Literatur mehrere Kontroversen, wobei deutlich wird, dass die genaue Darstellung des Rotationszentrums wichtig für die Prognose des orthognathen Ergebnisses ist. (50)

Die Vorhersagen werden zum Teil von Softwareprogrammen erstellt, welche anhand der Verhältnisse von Hart- zu Weichgewebe programmiert sind. Hier sollte jedoch beachtet werden, dass das Weichgewebe unterschiedlich auf die Behandlung reagiert und individuell variieren, wodurch eine Prognose ebenso erschwert werden kann. (36)

Die zweidimensionale Planungsmethode, sowohl manuell als auch computerassistent, hat eine bestimmte Limitation, da sich keine Prognose für die Transversalebene erstellen lässt. Komplexe anatomische Strukturen können entsprechend nicht wiedergegeben werden, sodass die Behandlungsplanung in 3D notwendig wird, welche mittlerweile deutliche Fortschritte in ihrer Handhabbarkeit und Vorhersagegenauigkeit erreicht hat. (36)

Man findet viele Studien, die die Planungsmethoden in 2D und 3D miteinander vergleichen und die Exaktheit der dreidimensionalen Technik überprüfen. Jedoch variiert die ProbandInnenzahl mit einer Bandbreite von 5 bis 65 Teilnehmern sehr. (43; 51; 52) Neben der Genauigkeit der Vorhersage wurden in diesen Studien auch andere Schritte überprüft,, wie z.B. die Übertragung der geplanten Bewegung auf die Operation. Manche dieser überprüften Zwischenschritte können auf unterschiedliche Art und Weise das Ergebnis beeinflussen, sodass es schwierig ist festzustellen, welche Phase des Methodenvergleichs den größten Einfluss hat. (43)

Für einen Großteil der Studien in 3D wurde ein Erfolgsniveau festgelegt mit einem tolerablen Wert von <2mm. Für diesen Toleranzbereich ergab sich eine hohe Erfolgsrate von 80-100% einhergeht. (28; 51; 52) Bengtsson et al. vergleicht in seiner Studie von 2017 die 2D mit der 3D Planung, indem er verschiedene Marker im Oberkiefer und Unterkiefer

festlegt, welche anschließend auf ihre Präzision geprüft werden sollen. Es werden sowohl knöchernerne als auch Referenzpunkte des Weichgewebes verwendet. (43) Dabei stellt er fest dass sich für beide Methode signifikante Unterschiede ($p < 0.001$) für alle Markierungen und kephalometrischen Messungen ergaben, wobei sich für den Unterkiefer größere Differenzen ergaben verglichen mit jenen des Oberkiefers. Die Ergebnisse dieser Studie ergaben vor allem für die vordere Maxilla einen signifikanten Unterschied, hier zeigt sich eine höhere Exaktheit für die Planung in 3D. In einem anderen Artikel von 2017 beschreibt Bengtsson et al. eine ähnliche Schlussfolgerung. Für alle gesetzten Markierungen, mit denen die prä- und postoperativen Ergebnisse der 2D und 3D Methode verglichen wurden, ergab sich ein statistisch signifikanter Unterschied, welcher indiziert, dass beide Techniken nicht exakt in ihrer Genauigkeit sind. Es zeigten sich nur geringe Unterschiede zwischen den zu vergleichenden Methoden, wobei in Fällen von Asymmetrie, die dreidimensionale Planung derer in 2D deutlich überlegen ist. Dieser Nachteil der 2D Technik ist auf die fehlenden Simulationsmöglichkeit in der Transversalebene zurückzuführen. (28) Wu et al. stellte in seiner Studie fest, dass beide Planungsmethoden gleichermaßen korrekte Ergebnisse bezüglich des Gesichtsprofils ergaben. Jedoch zeigte sich auch in dieser Arbeit, dass die 3D Technik eine bessere Korrektur für asymmetrische Fälle mit Mittellinienverschiebung erbrachte, verglichen mit der zweidimensionalen Planung. Ebenso wurde festgestellt, dass jene PatientInnen, bei denen die Operation dreidimensional geplant wurde, mit ihrem postoperativen Ergebnis und Erscheinungsbild zufriedener waren, verglichen mit der 2D Kontrollgruppe. (31) Lonic et al. beschreibt in seiner Studie zu chirurgischen Eingriffen bei PatientInnen mit Lippen-Kiefer-Gaumenspalte, dass mittels 3D Simulation deutlich mehr Informationen zu erhalten waren. Es konnten bei 83,3% der 2D Planungen, besonders bei der Mittellinieneinstellung und Kieferpositionierung, Optimierungen vorgenommen werden. Es zeigt sich, dass in Fällen mit komplexen kraniofazialen Anomalien entscheidende Verbesserungen bezüglich der Genauigkeit der Planung und der Vorhersage getroffen werden können. (53)

Diese Arbeit beschäftigt ich mit der zweidimensionalen Planung und ihrer Exaktheit für die Vorhersagbarkeit bezüglich des postoperativen Ergebnisses. Es wurden 29 ProbandInnen in diese Studie inkludiert mit einem Altersdurchschnitt von $32,2 \pm 8,2$ Jahre (Bandbreite von 20-49 Jahren). Bei allen PatientInnen wurde eine bimaxilläre Umstellungsosteotomie vorgenommen, wobei bei 45% zusätzlich einer Genioplastik vorgenommen wurde. Untersucht wurden das prä- und postoperative Fernröntgenseitenbild, sowie die jeweils zugehörige manuell angefertigte chirurgische Planung. Nach Durchzeichnung der

Röntgenbilder, wurden die festgelegten Referenzpunkte eingetragen und die jeweiligen Zeichnungen zueinander ins Verhältnis gesetzt und verglichen. Für die drei Orientierungspunkte ergaben sich schlussendlich unterschiedliche Ergebnisse bezüglich ihrer Genauigkeit der Prognose. Ein Toleranzbereich wurde bei 0-1,5mm Abweichung festgelegt. Für den Oberlippenpunkt (Ls) ergab sich in diesem Bereich eine Übereinstimmung von 37,9%, mit der höchsten Deckungsgleichheit bei 0mm mit 24,1%. Der Unterlippenpunkt (Li) verzeichnet mit 58,6% das beste Gesamtergebnis, wobei die höchste Übereinstimmung bei 1mm Abweichung mit 31% zu finden ist. Für das Kinn, mit der Markierung Hautgnathion (Gn'), ergibt sich die geringste Übereinstimmung mit 34,5%, eine Deckungsgleichheit bei 0mm konnte nicht gefunden werden. Ein Vergleich innerhalb der Messzeitpunkte, Planung und postoperatives Ergebnis, ergab für alle Referenzpunkte einen statistisch signifikanten Unterschied $p < 0,001$. Der Vergleich der Messungen untereinander ergab einen signifikanten Unterschied für den Ls-Punkt zum Gn'-Punkt ($p < 0,006$), sowie für den Li-Punkt zum Gn'-Punkt ($p < 0,004$). Wohingegen sich für Ls- und Li-Punkt keinerlei signifikante Unterschiede ($p < 0,875$) feststellen ließen. Ausgehend dieser Ergebnisse, lässt sich, unter Beachtung des Toleranzbereichs, nur eine geringfügige Übereinstimmung von Planung und postoperativem Ergebnis feststellen. Während die Oberlippe das genaueste Ergebnis bei 0mm und die Unterlippe die höchste Übereinstimmung aller Werte aufweist, ergeben sich für das Kinn die höchsten Abweichungen. Für diese Studie lässt sich daraus ableiten, dass sich die Vorhersage für die Weichteilveränderung des Kinnes am schwierigsten erweist. Wie in der Studie von Mobarak et al. beschrieben, finden sich auch für diese Arbeit unterschieden bezüglich der Genauigkeit in Abhängigkeit des Geschlechts. Lässt man, dass ungleiche Verhältnis von Mann (12 Personen) und Frauen (17 Personen) außer Acht, so lässt sich feststellen, dass für die Männer eine exaktere Vorhersagbarkeit, bei den einzelnen Messpunkten, möglich ist, verglichen mit den Frauen. Es gibt viele Studien, die sich mit den Planungsmethoden in 2D und 3D beschäftigen, diese miteinander vergleichen oder versuchen zu ermitteln in welchen Fällen welche Methode geeigneter ist. Wu et al. beschäftigt sich in seiner Vergleichsstudie mit der 2D und 3D Planung. Er bezieht 60 ProbandInnen in seiner Studie die ein, die in zwei Gruppen mit je 30 Personen unterteilt wurden. Es werden mehrere Winkel und Punkte vermessen und prä- und postoperativ miteinander verglichen. Dabei stellte sich heraus, dass ausgehend der sagittalen Ansicht, keinerlei statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Ergebnissen der 2D und 3D Planung zu finden waren. In Fällen der frontalen Asymmetrie hingegen zeigte sich die 3D Methode jedoch überlegen. Zusätzlich wurde in dieser Studie ermittelt, wie es sich

mit der Zufriedenheit der PatientInnen bezüglich des postoperativen Ergebnisses verhält. Es wurde festgestellt, dass sich die PatientInnen, verglichen mit den BehandlerInnen, mit einer Abweichung von 2mm zufrieden gaben. Insgesamt wurde festgestellt, dass 90% der 3D Gruppe entweder sehr zufrieden (47%) bzw. zufrieden mit dem Ergebnis waren. Für die 2D Gruppe zeigten sich 80% mit dem Ergebnis zufrieden und 20% empfanden es akzeptabel. (31)

Lonic et al. bezog in seiner Studie nur PatientInnen mit Lippen-Kiefer-Gaumenspalte ein. Er verglich die traditionelle mit der dreidimensionalen Planung, indem er die kieferorthopädischen 2D Planungen in eine 3D Planungssimulation konfigurierte. Anschließend wurde untersucht, ob sich Verbesserungen der 2D Planungen mithilfe der 3D Simulation erreichen ließen. Man unterteilte die Erkenntnisse dahingegen bei vielen der PatientInnen sich gar keine Optimierung ergab bzw. wie häufig sich eine Verbesserung bei einem bzw. 2-4 der festgelegten Parameter erzielen ließ. Es zeigte sich, dass bei 25 der 30 TeilnehmerInnen zumindest eine Optimierung erzielt werden konnten. Dabei stellte die Kieferrotation jene Größe dar, die am häufigsten angepasst wurde (63,3%), gefolgt von einer Mittellinienkorrektur (36,7%). Diese Größen entsprechen vor allem Vorhersagen für die Gesichtssymmetrie. Anhand dieser Erkenntnisse zeigt sich, dass die Simulation in 3D für frontale Asymmetrien und komplexe Anomalien bessere Ergebnisse erzielen lassen, verglichen mit der 2D Methode. (42)

Eine Studie von Bengtsson et al. beschäftigt sich mit dem direkten Vergleich von Planungen in 2D und 3D und ihrem jeweiligen postoperativen Ergebnis, ohne Beachtung von verschiedenen Zwischenschritten. Es wurde 60 ProbandInnen, im Alter zwischen 18-30 Jahren, in die Studie inkludiert und gleichmäßig auf zwei Gruppen (2D Kontrollgruppe und 3D Testgruppe) aufgeteilt. (28) Alle TeilnehmerInnen wurden klinisch untersucht, für die Planung wurden Röntgenbilder (Orthopanthomogram, FRS-Bilder, a.p. Röntgenbilder), sowie ein CT angefertigt. Eine Kephalometrische Analyse, Fotografien und Zahnabdrücke folgten diesen Untersuchungen. Für die Planung in 2D wurden 12 Markierungen festgelegt, für die Planung in 3D wurden die gleichen Marker verwendet, mit einer Erweiterung auf 14 Messpunkte. Eine „follow-up“ Untersuchung wurde zwölf Monate nach erfolgter Operation durchgeführt. Um die Genauigkeit der kephalometrischen Analyse zu überprüfen, wurden insgesamt 1560 Markierungen gesetzt, 600 Messungen und 600 prä- und postoperativen Vergleiche vorgenommen. Die entscheidenden Punkte sind der A Punkt (innerster Punkt der Maxillakontur zwischen U1 und Spina nasalis anterior), B-Punkt (innerster Punkt der Mandibulakontur zwischen knöchernem Kinn und L1), das Pogonion (anteriorster Punkt des

knöchernen Kinns auf der Mediansagittalebene) und das Gnathion (anteriorster und inferiorster Punkt des knöchernen Kinns in der Mediansagittalebene). Für diese Punkte ergab sich sowohl für die 2D, als auch für die 3D Planung ein statistisch signifikanter Unterschied innerhalb der zwei Messzeitpunkte. Der A-Punkt als einziger einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den zwei Methoden, mit einer höheren Genauigkeit für die 3D Technik. Der SNA-Winkel (Winkel zwischen SN und NA Linie) hingegen, zeigte für die 2D Planung ein exakteres Ergebnis. (28) Bengtsson et al. vervollständigte in einer weiteren Arbeit die Ergebnisse dieser Studie, wobei die Vermessung der Daten wurde mit 3120 Markierungen, 1200 Messungen und 1200 prä-/postoperativen Vergleichen ausgeweitet. (43) Hier zeigte sich, dass der Vergleich der beiden Planungsmethoden einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen geplantem und erreichtem Ergebnis ergab. Aus diesen Erkenntnissen lässt sich schließen, dass weder mit der einen noch der anderen Planungsmethode eine exakt genaue Vorhersage bezüglich des endgültigen Ergebnisses getroffen werden kann. Die Betrachtung einzelner Messpunkte ergab, dass Markierungen des Unterkiefers verglichen mit jenen des Oberkiefers größere Differenzen ergaben. Die genauesten Werte zeigte der A-Punkt, woraus man schließen kann, dass sich vor allem für die anteriore Maxilla ein präzises Ergebnis bestimmen lässt. Diese Erkenntnis wurde auch von anderen Autoren festgestellt. (54; 55) Dahingegen verzeichneten die Markierungen der Mandibula: der B-Punkt, das Pogonion und das Gnathion ein geringes Maß an Genauigkeit. Dies gilt für beide Planungsmethoden, wobei die 2D Planung jener in 3D tendenziell überlegen ist. (43)

Überträgt man die Erkenntnisse der obengenannten Studien auf die Ergebnisse dieser Arbeit, lassen sich einige Übereinstimmungen finden. Bengtsson et al. stellte fest, dass der Oberkieferbereich die genauesten Ergebnisse liefert, während der Unterkieferbereich, mit Pogonion und Gnathion die ungenaueste Vorhersage ergab. Ähnliches lässt sich aus dieser Arbeit ermitteln. Während der Oberlippenbereich die genaueste Übereinstimmung ergibt, zeigt das Kinn die höchste Abweichung von Planung zu postoperativem Ergebnis.

Ziel dieser Arbeit war es die Vorhersagbarkeit einer orthognathen Operation zu überprüfen, dafür wurden prä- und postoperative Fernröntgenseitenbilder benötigt, sowie eine präoperative Planung. Es wurde eine retrospektive Studie durchgeführt, bei welcher, nach Beachtung aller Ein- und Ausschlusskriterien sich eine ProbandInnenzahl von 29 Personen ergab. Alle PatientInnen Unterlagen, die es zu untersuchen galt, wurden mittels zweidimensionaler Technik angefertigt, bzw. in 2D geplant. Hier findet sich bereits die erste Limitation dieser Arbeit. Aufgrund der Aufnahmetechnik, können bereits hier mögliche

Fehler entstehen, beispielsweise durch Verzerrung, da komplexe dreidimensionale anatomischen Strukturen auf den FRS-Bildern nur flach wiedergegeben werden können. Festgelegt wurden drei Referenzpunkte, mit denen die Genauigkeit der Vorhersage überprüft werden sollte. Ausgehend dieser drei Messpunkte und der recht geringen Anzahl an TeilnehmerInnen, erlangt man einen verhältnismäßig niedrigen Datensatz. Neben der kleinen Gruppengröße, stellt ebenso das retrospektive Studiendesign eine mögliche Limitation dar.

Alle diese Orientierungspunkte sind reine Weichteilpunkte, knöcherne Strukturen oder Winkel wurden für diese Arbeit nicht mit Markierungen versehen und in die Vermessungen mit einbezogen. Genauere Angabe dazu, wie sich das Weichgewebe zum Hartgewebe verhält konnten entsprechend nicht getroffen werden. Es konnten nur im Allgemeinen Weichteilveränderung nach ventral bzw. dorsal, anhand des Gesichtsprofils festgestellt werden.

Dennoch zeigt sich in dieser Arbeit deutlich, dass die Planung in 2D eine ausreichend gute Aussagekraft für Standardeingriffe ergibt. Wie von Wu et al. und Malière et al. festgestellt wurde, tolerieren PatientInnen eine Abweichung von bis zu 2mm und empfinden dies als ein zufriedenstellendes Ergebnis. Eine Diskrepanz von weniger als 2mm wurde in diesen Studien demnach als akzeptabel eingestuft. Es zeigte sich, dass das postoperative Ergebnis für die 2D Planung mit 80% bzw. bei der Planung in 3D mit 90% Zufriedenheit bei einer Mittellinienabweichung von 2mm nach erfolgtem chirurgischem Eingriff einhergeht. (31; 39)

Für diese Arbeit gilt ein Toleranzbereich von bis zu 1,5mm Diskrepanz. Verglichen mit anderen Studien, ist dies eine entsprechend strenger festgelegte maximale Abweichung. Es ergibt sich für diesen Grenzwert im Oberlippenbereich eine Übereinstimmung von 38%, bei der Unterlippe von 59% und beim Kinn von 35% erbringt. Für alle drei gemessenen Punkte gilt demnach eine Deckungsgleichheit von über 1/3 der PatientInnen. Würde man diesen Toleranzbereich anderen Studien angleichen, welche eine Abweichung bis zu 2mm tolerieren erhält man hier eine Genauigkeit von 41%-69%.

6 Zusammenfassung

Diese Studie zeigt, dass die Planung von orthognathen Eingriffen in 2D eine einfach anzuwendende und klinisch akkurate Methode für Standardeingriffe ist. Es wird für die Planung neben einer klinischen Untersuchung, einer Abdrucknahme der Ober- und Unterkieferzahnreihen, mit anschließender Anfertigung von Gipsmodellen, ein Röntgenbild des Gesichtsschädels in frontaler und seitlicher Position benötigt. Das mögliche Endergebnis des Weichteilgewebes kann hier in zwei Ebenen, der vertikalen und horizontalen, berechnet und dargestellt werden. Die in dieser Studie durchgeführte Planung mit den definierten Weichteilreferenzpunkte Ls, Li und Gn¹ ergeben bei einem Toleranzbereich von bis zu 1,5mm Abweichung, eine übereinstimmende Genauigkeit in 35-59%. Unter Beachtung, anderer Studienergebnisse, welche eine PatientInnenzufriedenheit bei einer Abweichung von bis zu 2mm feststellten, ergibt sich bei dieser Studie für die Vorhersehbarkeit für das postoperative Ergebnis des Weichteilprofils eine übereinstimmenden Genauigkeit von 41-69%. Für Standardeingriffe ist diese Variante der 2D- Planung eine gute Möglichkeit, da sie zum einen eine schnelle und einfach anzuwendende Methode darstellt und zum anderen kostengünstig ist und mit einer vergleichsweise geringen Strahlenbelastung einhergeht.

Die Planung in 3D zeigt in verschiedenen Studien sehr akkurate Ergebnisse. Vor allem ist hier die Möglichkeit gegeben das postoperative Ergebnis in allen drei Ebenen zu bestimmen. Dies ist entscheidend bei komplexeren asymmetrischen Fällen. Da die dreidimensionale Planung auch in der Transversalebene Auskünfte über die Veränderung des Weichteilgewebes geben kann, zeigen sich hier deutlich bessere Ergebnisse für PatientInnen mit komplexen Fehlstellungen bzw. Deformationen.

Dennoch sollte beachtet werden, dass für diese Variante eine Computertomografie angefertigt wird, welche nicht nur mit einer hohen Strahlenbelastung einhergeht, sondern auch, verglichen mit einem konventionellen Röntgen, eine sehr kostenintensive Untersuchung darstellt. Demnach sollte die Planung in 3D nur in speziellen, individuell ausgesuchten Fällen Anwendung finden, sodass die zweidimensionale Planung für Standardeingriffe bevorzugt werden sollte.

7 Literaturverzeichnis

1. Schwenzer, Norbert und Grimm, Gerhard. *Zahn- Mund- Kiefer- Heilkunde Band 2 Spezielle Chirurgie*. New York : Georg Thieme Verlag Stuttgart, 1981. S. 415-463. Bd. Band 2.
2. Harzer, Winfried. *Lehrbuch der Kieferorthopädie*. Dresden : Carl Hanser Verlag München Wien, 1998.
3. Schamsawary, Schahram und Esser, Elmar. *Dysgnathie - Interdisziplinäre Therapiekonzepte von der Planung bis zur Operation*. Osnabrück : Elsevier GmbH, Urban&Fischer Verlag, 2006.
4. Roser, Martin, et al. Osteotomien im Gesichtskelett - Basis der orthognathen Chirurgie: Befunderhebung, präoperative Planung und individuelle Realisation bei Korrekturoperationen von Kiefer- und Gesichtsdeformitäten. 3 2011, Bd. 27, S. 200-221.
5. Hausamen, Jarg-Erich, et al., [Hrsg.]. *Curriculum Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie*. Berlin : Quintessenz Verlags-GmbH, 2003. S. 199-246. Bd. 3.
6. Morcos, Sherif S. und Patel, Pravin K. The Vocabulary of Dentofacial Deformities. *Clinics in Plastic Surgery*. 2007, 34, S. 589-599.
7. Howaldt, Hans-Peter und Schmelzeisen, Rainer. *Einführung in die Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie* . s.l. : Deutscher Zahnärzte Verlag Köln, 2015. S. 251-283.
8. Lehmann, Klaus M, Hellwig, Elmar und Wenz, Hans-Jürgen. *Zahnärztliche Propädeutik – Einführung in die Zahnheilkunde*. Köln : Deutscher Zahnärzte Verlag, 2009. S. 15-73.
9. Kolokitha, Olga-Elpis und Topouzelis, Nikolaos. Cephalometric Methods of Predication in Orthognathic Surgery. *J. Maxillofacial Oral Surg*. July 2010, Bd. 10(3), S. 236-245.
10. Arnett, William und Gunson, Michael J. Esthetic Treatment Planning for Orthognathic Surgery. *J. Cosmet. Dent*. 3 2010, Bd. Volume XLIV, 3, S. 196-200.
11. Kahl-Nieke, Bärbel. *Einführung in die Kieferorthopädie - Diagnostik, Behandlungsplanung, Therapie*. Hamburg : Deutscher Zahnärzte Verlag Köln, 2009.
12. Claassen, Horst, et al. *Fernröntgenseitbild-Analyse*. [Hrsg.] Frank Nötzel, Christian Schultz und Matthias Hartung. s.l. : Deutscher Zahnärzte Verlag Köln, 2007.
13. Proffit, William R., fields, Jr., Henry W. und Sarver, David M. *Contemporary Orthodontics*. 4. s.l. : Mosby Elsevier, 2007. S. 167-330. Bd. 4.
14. Hoffmann-Axthelm, Walter. *Die Geschichte der Mund-,Kiefer- und Gesichtschirurgie*. Berlin : Quintessenz, 1995.
15. Reuther, J. Orthognathic surgery: corrective bone operations. *Mund Kiefer Gesichtchir*. May 2000, 4, S. 237-48.
16. Obwegeser, H und Trauner, R. *Zur Operationstechnik bei der Progenie und anderen Unterkieferanomalien*. s.l. : Dtsch Zahn und Kieferheilk, 1955.

17. Dal Pont, G. [Retro-molar osteotomy for correction of prognathism]. 1959, 18, S. 1138-1141.
18. Hunsuck, E.E. A modified intraoral sagittal splitting technic for correction of mandibular prognathism. 1968, 26, S. 250-253.
19. Epker , B. N. . Modifications in the sagittal osteotomy of the mandible. *J Oral Surg.* 1977, 35, S. 157-159.
20. Steinhäuser, E W. Historical developement of orthognathic surgery. *J Craniomaxillofacial Surgery.* 1996, 24, S. 195-204.
21. Buchanan, Edward P. und Hyman, Charles H. LeFort I Osteotomy. *Seminars in Plastic Surgery.* 03 2013, 27, S. 149-154.
22. Dowling, PA, et al. LeFort I. LeFort I maxillary advancement: 3-year Stability and risk factors for relapse. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005, S. 560-567.
23. Robinson, Randolph C. und Holm, Rebecca L. Orthognathic surgery for maxillofacial deformities. *AORN Journal.* July 2010, 92, S. 28-52.
24. Cohen, MI. Mandibular prognathism. *J Orthod.* 1956, Bd. 51, S. 368-379.
25. Hohl, TH, et al. Craniofacial osteotomies: A photocephalometric technique for the prediction and evaluation of tissue changes. *Angle Orthod.* 1978, Bd. 48, S. 114-125.
26. Wolford, Larry M, Hilliard, Frank W und Dugan , Daniel J. *Surgical treatment objective: a systematic approach to the prediction tracing.* St. Louis : Mosby Year Book, 1985. S. 54-74.
27. Proffit, W R. Treatment planning: The search for wisdom. [Hrsg.] W R Proffit und R P White. *Surgical-Orthodontic Treatment.* St. Louis : Mosby Year Book, 1991, S. 142-191.
28. Bengtsson, Martin, et al. Treatment outcome in orthognathic surgery - A prospective comparison of accuracy in computer assisted two and three-dimensional prediction techniques. *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery.* January 2017, S. 1-8.
29. Swennen, G.R., et al. A cone-beam computed tomography triple scan procedure to obtain a three-dimensional augmented virtual skull model appropriate for orthognathic surgery planning. *Journal of Craniofacial Surgery.* 2009, 20, S. 297-307.
30. Griffiths, Trevor M., et al. Computer Assisted Surgical Simulation versus Model Surgery in Orthognathic Surgery: A Postoperative Comparison of Surgical Outcomes. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery.* 2013, 71.
31. Wu, Ting-Yu, et al. Postoperative outcomes of two- and three-dimensional planning in orthognathic surgery: A comparative study. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery.* April 2017, 70, S. 1101-1111.
32. Stokbro, K., et al. Surgical accuracy of three-dimensional virtual planning: a pilot study of bimaxillary orthognathic procedures including maxillary segmentation. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2016, 45, S. 8-18.

33. Rezaei, Farzad, et al. Oral health related quality of life of patients with class III skeletal malocclusion before and after prthognathic surgery. *BMC Oral Health*. December 2019, 19.
34. Marques, Leandro Silva, et al. Malocclusion: esthetic impact and quality of life among Brazilian schoolchildren. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. March 2006, 129(3), S. 424-7.
35. Silva, I, et al. Quality of life in patients undergoing orthognathic surgery - A two-centered Swedish study. *J Craniomaxillofac Surg*. May 2016, 44, S. 973-8.
36. Kolokitha, Olga-Elpis und Chatzistavrou, Evangelia. *Factors influencing the Accuracy of Cephalometric Prediction of Soft Tissue Profile changes following Orthognathic Surgery*. Januar-März 2012. doi:10.1007/s12663-011-0228-7.
37. Rustemeyer, Jan und Martin, Alice. Soft tissue respse in orthognathic surgery patients treated by bimaxillary osteotomy: cephalometry compared with 2-D photogrammetry. *Oral Maxillofac Surg*. 2013, 17, S. 33-41.
38. Plooij, Joanneke M, et al. Digital three-dimensional image fusion processes for planning and evaluating orthodontics and orthognathic surgery. A systemic review. *Int J Oral Maxillofac. Surg*. April 2011, 40, S. 341-52.
39. Marlière, Daniel-Amaral-Alves, et al. Accuracy between virtual surgical planning and actual outcomes in orthognathix surgery by interative closest oint algorithm and color maps: A retrosprective cohort study. *Med Oral Patol Oral Circ Bucal* . March 2019, 24, S. 243-53.
40. Xia, James J, et al. *Outcome study of computer-aided surgical simulation in the treatment of patients with craniomaxillofacial deformities*. July 2011. doi:10.1016/j.joms.2011.02.018.
41. Baker, Stephen B, Goldstein, Jesse A und Seruya, Mitchel. Outcomes in computer-assisted surgical simulation for orthognathic surgery. *J Craniofac Srug*. March 2012, 23, S. 509-13.
42. Lonic, Daniel, et al. Computer-assisted Orthognathic Surgery for Patients with Cleft lip/Palate: From Traditional Planning to three-dimensional Surgical Simulation. *PLoS ONE*. March 2016, 11.
43. Bengtsson, Martin, et al. Treatment outcome in orthognathic surgery - A prospective randomized blinded case-controlled comparison of planning accarcy in computer-assisted two- and three-dimensional planning technique (part II). *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery*. July 2017, 45, S. 1419-24.
44. Mobarak, K A, et al. Factors influencing the predictability of soft tissue profile changes following mandibular setback surgery. *Angle Orthod*. June 2001, 71, S. 216-227.
45. Clemente-Panichella, D, Suzuki, S und Cisneros, G J . Soft to hard tissue movement ratios: Orthofnathis surgery in Hispanic population. *Int J Adult Orthod Orthognath Surg*. 2000, 15, S. 255-64.

46. Koh, C H und Chew M T. Predictability of soft tissue profile changes following bimaxillary surgery in skeletal Class III Chinese patients. *J Oral Maxillofac Surg.* 2004, 62, S. 1505-1509.
47. Baumring, S. Prediction in the Planning and Conduct of Orthodontic Treatment. [Hrsg.] Birte Melsen. *Current controversies in orthodontics.* s.l. : Quintessence Publishing Company, 1991, S. 25-43.
48. Popisil, O A. Reliability and feasibility of prediction tracing in orthognathic surgery. *J Craniomaxillofac Surg.* 1985, 15, S. 79-83.
49. Fish, L C und Epker, B N. Surgical superior repositioning of the maxilla: what to do with the mandible? *Am J Orthod.* 1980, 78, S. 164-191.
50. Proffit, W R und White, R P Jr. Who needs surgical-orthodontic treatment? *Int J Adult Orthod Orthognath Surg.* 1990, 5, S. 81-89.
51. Xia, James J, et al. Accuracy of the computer-aided surgical simulation (CASS) system in the treatment of patients with complex craniomaxillofacial deformity: A pilot study. *J Oral Maxillofac Surg.* February 2007, 65, S. 248-54.
52. Tucker, Scott, et al. *Comparison of actual surgical outcomes and 3-dimensional surgical simulation.* 2010. doi:10.1016/j.joms.2009.09.058..
53. Lonc, D, et al. *Computer-Assisted Orthognathic Surgery for Patients with Cleft Lip/Palate: From Traditional Planning to Three-Dimensional Surgical Simulation.* 2016. doi:10.1371/journal.pone.0152014.
54. Kaipatur, N, Al-Zhomali, Y und Flores-Mir, C. Accuracy of computer programs in predicting orthognathic surgery hard tissue response. *J Oral Maxillofac Surg.* 2009, 67, S. 1628-1639.
55. Olszewski, R, et al. Reproducibility of osseous landmarks used for computed tomography based three-dimensional cephalometric analyses. *J Craniomaxillofac Surg.* 2010, 38, S. 214-221.
56. Hönig, J.F. *Maxillomandibuläre Umstellungsosteotomien.* Darmstadt : Steinkopff, 2002.
57. Drommer, R. The History of the Le fort I osteotomy. *J Max fac surg.* 1986, 14, S. 119-122.