

Dreidimensionale Veränderung der Morphologie des Gesichtes während kieferorthopädisch-kieferchirurgischer Therapie

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät der
Friedrich-Schiller-Universität Jena

von Antje Dreisow

geboren am 14. Juni 1981 in Naumburg/Saale

Gutachter

1: Prof. Dr. Christopher J. Lux, Jena

2: Prof. Dr. Dr. Stefan Schultze-Mosgau, Jena

3: PD Dr. Dr. Peter Cornelius, München

Tag der öffentlichen Verteidigung: 06. Mai 2008

Felix in Dankbarkeit gewidmet

Abkürzungsverzeichnis

FRS	Fernröntgenseitenbild
FSU Jena	Friedrich-Schiller-Universität Jena
GKV	Gesetzliche Krankenversicherung
IAO	Institut für Angewandte Optik
IOF	Fraunhofer Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik
KD-MMS	Kalibriertes-Doppelsokkel-Münsteraner- Modellübertragungssystem
KIG	Kieferorthopädische Indikationsgruppen
OPG	Orthopantomogramm
ZZMK	Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

Verwendete kephalometrische Referenzpunkte

B	knöcherner B-Punkt
Ii	Incision inferius
Li	Labrale inferius
Pog	knöchernes Pogonion
Pog'	Weichteilpogonion
Sl	Sublabiale

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung	1
2 Einleitung	3
2.1 Ätiologie und Klassifikation von Dysgnathien	4
2.1.1 Behandlungsnotwendigkeit und kieferorthopädische Indikationsgruppen	7
2.1.2 Physiopathogenese der Dysgnathien	10
2.2 Geschichte der Weichteilkephalometrie	11
2.3 Optische 3D-Messsysteme	14
3 Zielstellungen der Arbeit	15
4 Patienten und Methoden	16
4.1 Patienten	16
4.1.1 Auswahl und Dysgnathie der Patienten	16
4.1.2 Geschlechtsspezifische Einteilung der Patientengruppen	17
4.1.3 Altersstruktur der Patientengruppen	18
4.1.4 Messaufnahme	19
4.2 Interdisziplinäre Behandlungsplanung	20
4.3 Interdisziplinäre Therapie	21
4.3.1 Kieferorthopädische Vorbehandlung	21
4.3.2 Dreidimensionale Operationsplanung am Modell	21
4.3.3 Chirurgisches Vorgehen	27
4.3.4 Kieferorthopädische Nachbehandlung	29
4.3.5 Postoperative kieferchirurgische Betreuung	30
4.4 Gerätetechnische Aspekte	30
4.4.1 Mehrbild-3D-Messsysteme	30
4.4.2 Triangulation	30
4.4.3 Streifenprojektion	32
4.4.4 Selbstkalibrierung - Methode der Phasogrammetrie	33
4.4.5 Farberfassung	34

4.4.6	<i>Gscan</i>	35
4.5	Dreidimensionale Weichteilkephalometrie und Datenbearbeitung . . .	41
4.6	Statistische Methoden	45
4.6.1	Messfehler nach Dahlberg	45
4.6.2	Kolmogorov-Smirnov-Test	45
4.6.3	Geschlechtsspezifische Analyse	46
4.6.4	Analyse der Weichteilveränderungen	46
5	Diskussion	47
6	Schlussfolgerungen	60
	Literaturverzeichnis	62
	Anhang	69

1 Zusammenfassung

Die optische 3D-Messtechnik stellt ein innovatives Konzept für die medizinische Diagnostik und Therapie dar. In einem Verbundprojekt zwischen dem Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (ZZMK) der FSU Jena, dem Fraunhofer Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik (IOF), der IVB GmbH und dem Institut für Angewandte Optik (IAO) der FSU Jena wurde das 3D-Messsystem *Gscan* entwickelt. Dieses 3D-Multi-View-System ermöglicht die dreidimensionale Oberflächendigitalisierung des Kopf-Hals-Bereiches einschließlich der Ohren.

In der vorgelegten Studie wurden 18 Patienten mit Unterkiefervorverlagerung und 17 Patienten mit Unterkieferrückverlagerung auf dreidimensionale Weichteilveränderungen nach orthognather Chirurgie untersucht. Die Darstellung der Weichteilveränderungen erfolgte in einem dreidimensionalen Differenzbild mittels Farbkodierungen. Die kephalometrische Auswertung wurde anhand relevanter Weichteilreferenzpunkte im Lippen- und Kinnbereich vorgenommen. Als Parameter für das Ausmaß der Osteotomie wurden die Messwerte der Modelloperation herangezogen. Anwendung fand operativ bei der Anterior- und Posteriorverlagerung des Unterkiefers die Methode nach Obwegeser/Dal Pont. Die Erfassung der Gesichtsoberfläche erfolgte ein bis zwei Wochen präoperativ und nach einer durchschnittlichen Zeitdauer von zwölf Monaten postoperativ. In der statistischen Auswertung wurde die Normalverteilungsannahme der Patientengruppen nach Kolmogorov-Smirnov getestet. Zur Prüfung von geschlechtsspezifischen Unterschieden diente die multivariate Kovarianzanalyse. Die Weichteilveränderungen im Gesichtsbereich wurden in Bezug zum Ausmaß der Umstellungsosteotomie mittels linearer Regressionsanalyse errechnet.

Im Ergebnis zeigte sich, dass bei der Unterkiefervor- und Unterkieferrückverlagerung keine geschlechtsspezifischen Unterschiede hinsichtlich der Weichteilveränderungen vorlagen und die Normalverteilung angenommen werden konnte. Aus der Regressionsanalyse resultierten bei der Unterkiefervorverlagerung signifikante Weichteilveränderungen im Lippenbereich an den Landmarken Stomion, Cheilion links und Labrale inferius zwischen 1% und 17% ($p < 0,01 - 0,03$). Im Kinnbereich sind bei der Anteriorverlagerung die Weichteilveränderungen an den Referenzpunkten Pogonion

und Menton mit 58% ($p = 0,04$) und 69% ($p = 0,03$) signifikant. Bei der Posteriorverlagerung waren Cheilion links und Labrale inferius im Lippenbereich mit 43% ($p = 0,02$) und 81% ($p < 0,01$) sowie Pogonion und Menton im Kinnbereich mit 77% ($p < 0,01$) bzw. 81% ($p < 0,01$) signifikant. Der sublabiale Weichteilpunkt als Übergang zwischen Lippen- und Kinnpartie zeigte ebenfalls eine statistisch signifikante Veränderung von 62% ($p = 0,01$) bei Unterkieferverlagerung und 90% ($p < 0,01$) bei Unterkiefernückverlagerung. Generell waren große Variabilitäten der Weichteilverschiebungen zwischen den Patientengruppen der Unterkieferver- und Unterkiefernückverlagerung sowie zwischen den Weichteillandmarken des Lippen- und Kinnbereiches ersichtlich. Infolge der kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Therapie wurde bei allen Patienten eine individuelle Optimierung der Funktion des stomatognathen Systems und eine Harmonisierung der fazialen Ästhetik erreicht. Bei der Untersuchung der Gesichtstypen nach A. M. Schwarz ergab sich bei der Unterkieferverlagerung in zehn von achtzehn Patientenfällen eine Veränderung des Gesichtstyps. Im Gegensatz dazu trat bei der Unterkiefernückverlagerung nur bei fünf von sieben Patienten eine Veränderung des Gesichtstyps auf.

Das Gesichtsprofil unterlag bei allen Patienten individuellen Veränderungen, welche aus der Umstellungsosteotomie der Mandibula und ihren Weichteilreaktionen resultierten. Die große Variabilität der Weichgewebeveränderungen wurde durch die chirurgisch asymmetrische Korrektur der Bisslage bei einem Großteil der Patienten bedingt. Das heißt, dass neben der anterioren oder posterioren Translation eine Schwenkung der Mandibula erforderlich war. Zudem war die Anpassung der Muskulatur an die morphologisch veränderte Unterkieferlage individuell sehr unterschiedlich. Andere individuelle, unbestimmte Einflussfaktoren wie Volumen und Elastizität der Weichteile, Konstitution und Alter eines Patienten wirkten sich ebenfalls auf die Variabilität der Weichteilveränderungen aus.

Die vorgelegte Pilotstudie zeigte, dass der *Gscan* ein geeignetes Instrument zur dreidimensionalen Digitalisierung der Gesichts ist, da er dieses berührungslos, nicht-invasiv und ohne ionisierende Strahlung erfasst. Problematisch wirkte sich die Messdauer von 20 Sekunden aus, da infolge von Körperbewegungen des Patienten qualitätsmindernde Artefakte innerhalb der Bilddaten zu erkennen waren.

2 Einleitung

Das Gesicht ist eine der komplexesten Körperpartien des Menschen. Es fasziniert durch seine Individualität, Einzigartigkeit und Ausdruckskraft und ist bestimmend für die Attraktivität eines Menschen (Hönn und Göz 2007). Individuelle Charakteristika der Person und der Formaufbau des Kopfes werden durch die knöcherne Grundlage, den Schädel, gegeben. Schon Künstler wie Albrecht Dürer oder Leonardo da Vinci widmeten sich der Physiognomie des Kopfes und des Gesichtes, der Untersuchung von Proportionen, der Erstellung von Proportionsregeln und Studien zur Veränderung des Gesichtsausdruckes (Abb. 2.1 und 2.2).



Abb. 2.1: Leonardo da Vinci, 1452-1519, Proportionsschema des männlichen Kopfes, Venedig, Akademie (Bammes 1981)

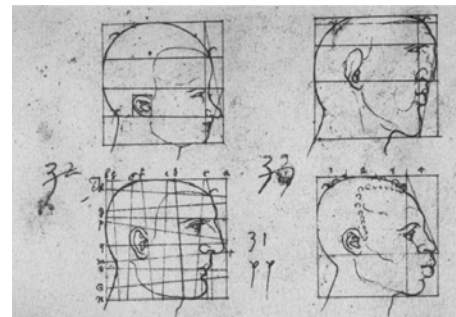


Abb. 2.2: Albrecht Dürer, 1471-1528, Köpfe zur gedruckten Proportionslehre (Bammes 1981)

Kopf und Gesicht als Sitz der Persönlichkeit sind für den Menschen von enormer Wichtigkeit. Eine unzulängliche Darstellung würde von niemanden geduldet (Bammes 1981). Der Begriff Ästhetik nimmt eine bedeutende Rolle ein, da der Mensch dazu neigt mit Symmetrie harmonische Gesichtszüge und mit Attraktivität Schönheit zu implizieren.

Symmetrie und Durchschnittlichkeit tragen maßgeblich zur Steigerung der Attraktivität bei (Hönn und Göz 2007). Sie sind individuell aber nicht subjektiv, denn sie folgen allgemeinen Normen. Bereits die Definition von Normwerten ist sehr problematisch. Umso schwieriger ist festzulegen, was nicht nur der Norm entspricht, sondern zusätzlich noch als schön gilt (Pogrel 1991).

Die Dysgnathieoperationen gehören zum Fachbereich der orthognathen Chirurgie. Sie werden vor allem aus funktionellen Aspekten durchgeführt und dienen der skelettalen Korrektur der Kieferrelationen.

Zur objektiven Darstellung und Erfassung des Gesichtsschädels und dessen Weichteilen werden in der Medizin vorwiegend zweidimensionale Verfahren (FRS, OPG, Photostatverfahren) eingesetzt. Eine Innovation stellen dagegen Konzepte zur dreidimensionalen optischen Vermessung der fazialen Oberfläche dar. Es gibt verschiedene Messtechniken und zahlreiche Applikationsfelder. Das im Rahmen dieser Arbeit angewandte optische 3D-Messsystem *Gscan* realisiert die automatisierte und genaue Erfassung von Form und Farbe des Gesichtes. Die durchgeführten Untersuchungen spezifizieren sich einerseits durch die dreidimensionale prä- und postoperative Messung der Weichteilstrukturen des Gesichtes bei Patienten mit Dysgnathieoperationen und andererseits durch eine vergleichende Analyse der sich verändernden Weichgewebestrukturen.

2.1 Ätiologie und Klassifikation von Dysgnathien

Von zahlreichen Autoren wurden verschiedenste Nomenklaturen zur Einteilung von Malokklusionen favorisiert und immer wieder modifiziert. E. H. Angle hat erstmals im Jahr 1899 eine Einteilung von sagittalen Okklusionsabweichungen vorgenommen (Angle 1899). Sie orientiert sich an der sagittalen Position beider Kiefer zueinander und bestimmt bei der Indikation zur monognathen Umstellungsosteotomie der Mandibula die Richtung der Translation. Die Einteilung der Patienten der vorliegenden Arbeit wurde nach der Translationsrichtung des Unterkiefers und somit indirekt nach der Angle-Klassifikation vorgenommen.

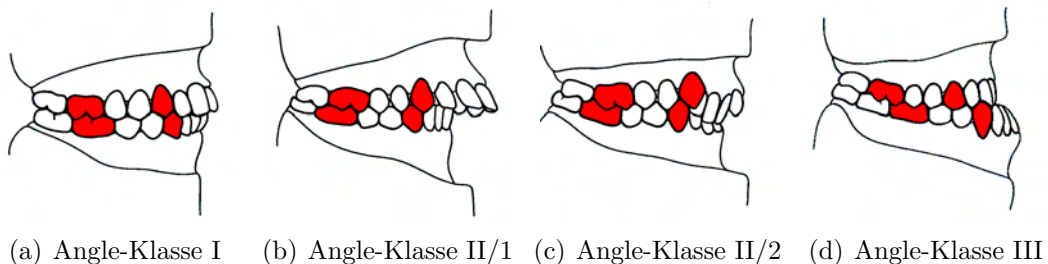
Diese Nomenklatur ist bis heute international gültig. Sie wird wie folgt unterteilt:

Angle-Klasse I	Neutralbisslage
Angle-Klasse II	Distalbisslage
II/1	Distalbisslage mit Protrusion der Schneidezähne
II/2	Distalbisslage mit Retrusion der Schneidezähne
Angle-Klasse III	Mesialbisslage

Zusätzlich ist bei der Betrachtung einer Malokklusion eine genaue Differenzierung zwischen intermaxillärer Zahnstellungsanomalie und dysgnather Bisslage erforderlich (Rakosi und Jonas 1989).

E. H. Angle definierte die Neutralokklusion wie folgt:

„Eine Neutralokklusion liegt vor, wenn der mesiobukkale Höcker des ersten oberen Molaren in die nach vestibulär verlängerte Querfissur des ersten unteren Molaren greift. Der erste obere Molar umgreift den ersten unteren Molar dabei bukkalwärts“ [Abb. 2.3(a)].



(a) Angle-Klasse I (b) Angle-Klasse II/1 (c) Angle-Klasse II/2 (d) Angle-Klasse III

Abb. 2.3: Klassifikation der Okklusion nach Angle (Rakosi und Jonas 1989)

Um von den intermaxillären Okklusionsbeziehungen auf die Bisslage zu schließen, ist das gedankliche Rückversetzen der gewanderten Zähne notwendig. Diese Methode wird als Rekonstruktion der Bisslage nach A. M. Schwarz oder Umdenken nach Grünberg verifiziert (Rakosi und Jonas 1989). Ableitend von der sagittalen Verzahnung ergeben sich die verschiedenen Angle-Klassen [Abb. 2.3(b-d)].

Zahnstellungs- und/oder Bisslageanomalien sind in der Bevölkerung weit verbreitet. Die Angaben über die Häufigkeit von Dysgnathien zeigen in der Literatur eine Spanne zwischen 40 % und 80 % (Harzer 1999). Malokklusionen der Angle-Klasse II weisen eine Häufigkeit von 20-30 % auf. Dysgnathie der Angle-Klasse III sind dagegen nur mit 6-10 % vertreten (Abb. 2.4).

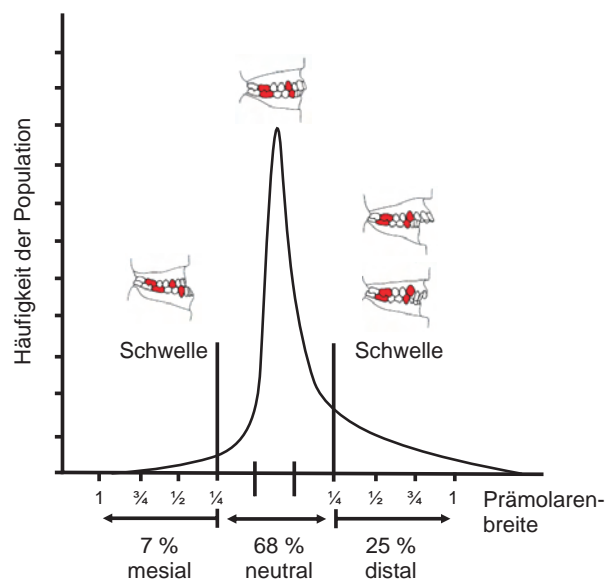


Abb. 2.4: Häufigkeit der Dysgnathien innerhalb einer Population (Tammoscheit 1971)

Exogene Faktoren haben bei der Ausprägung der Angle-Klasse II einen stärkeren ätiologischen Einfluss als bei der Angle-Klasse III. Wachstum und Formgebung des Gesichtsbereiches werden einerseits von Erbanlagen und andererseits von funktionellen Anpassungen während der Entwicklung beeinflusst (Enlow 1996). Die Funktion der Kaumuskulatur ist eine der wichtigsten Faktoren in der postnatalen kraniofazialen Morphogenese (Enlow 1996), da durch sie unter anderem die individuelle Relation beider Kiefer zueinander determiniert wird (Gedrange et al. 2005).

Neuromuskuläre Dysbalancen der orofazialen Muskulatur können dento-skelettale Fehlentwicklungen implizieren, indem sie Knochenverlagerungsprozesse stören (Fränkel und Fränkel 2001). Es resultieren Anomalien im Bereich der Kieferbasen, welche nach Wachstumsabschluss nur kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgisch behandelbar sind.

2.1.1 Behandlungsnotwendigkeit und kieferorthopädische Indikationsgruppen

Zur Befunderhebung und Diagnosestellung dienen dem Behandler die orale Situation am Patienten, aktuelle Modelle beider Kiefer, Röntgenaufnahmen des Gesichtsschädels (OPG und FRS) sowie photographische Aufnahmen. Daraus ist die Behandlungsnotwendigkeit nach den KIG (ab 01.01.2002) (Tab. 2.1) abzuleiten. Es erfolgt eine Einteilung der Dysgnathien in fünf kieferorthopädische Behandlungsbedarfsgruppen. Die Unterteilung in verschiedene Behandlungsbedarfsgrade stellt keine Einschränkung der medizinischen Behandlungsmöglichkeit dar, sondern entscheidet, ob die Behandlung Bestandteil des Leistungskataloges der GKV (Tab. 2.2) ist.

Es stellt sich jedoch die Frage, wann die Indikation zur interdisziplinären Therapie mit orthognather Chirurgie gegeben ist. Eine Behandlung sollte einerseits begonnen werden, wenn die Zahnstellungs- und Bisslageanomalie nicht mehr durch alleinige orthodontische Behandlungsmaßnahmen funktionell und ästhetisch kompensiert werden kann und eine ausgeprägte faziale Dysharmonie sichtbar ist. Eine Dysgnathie stellt immer eine potentielle Erkrankung dar, deren Behandlungsbedarf subjektiv und objektiv nach Funktion, Ästhetik und Psyche zu diskutieren ist (Lunström 1977, Malmgren 1980), wobei beim Überwiegen des Behandlungsvorteils ein Behandlungsbedarf vorliegt. Andererseits kann trotz orthodontischer Kompensation der Dysgnathie ein operativer Eingriff notwendig werden, wenn daraus eine Dysfunktion des stomatognathen Systems resultiert und schwerwiegende physiopathologische Folgen, wie Arthropathien des Kiefergelenkes, Myopathien der Kaumuskulatur und vorzeitiger Zahnverlust, zu befürchten sind. Dies setzt eine vorherige Dekompensation der Zahnbögen voraus.

Behandlungsbedarf	Grad	1	2	3	4	5
Kraniofaziale Anomalien	A					Lippen-Kiefer-Gaumenspalten bzw. andere kraniofaziale Anomalien
Zahnunterzahl (Aplasie oder Zahnverlust)	U				Unterzahl (nur wenn präprothetische Kieferorthopädie oder kieferorthopädischer Lückenschluss indiziert)	
Durchbruchstörungen	S				Retention (außer 8er)	Verlagerung (außer 8er)
Sagittale Stufe	D	≤ 3 mm	> 3-6 mm		> 6-9 mm	> 9 mm
	M				0-3 mm	> 3 mm
Vertikale Stufe	O	≤ 1 mm	> 1-2mm	> 2-4 mm	> 4 mm	> 4 mm
	T	> 1-3 mm	> 3 mm ohne/ mit Gingiva- kontakt	> 3 mm mit traumatischen Gingivakontakt	habituell offen	skelettal offen
Transversale Abweichung	B				Bukkal-/ Lingualokklusion	
	K		Kopfbiss	beidseitiger Kreuzbiss	einseitiger Kreuzbiss	
Kontaktpunkt- abweichung Engstand	E	< 1 mm	> 1-3 mm	> 3-5 mm	> 5 mm	
Platzmangel	P		≤ 3 mm	> 3-4 mm	> 4 mm	

Tab. 2.1: Schema zur Einstufung des kieferorthopädischen Behandlungsbedarfs anhand kieferorthopädischer Indikationsgruppen

Behandlungsbedarfsgrade	
G 1 und 2	Eine Behandlung wird als Privatleistung durchgeführt, weil ...
1	eine leichte Zahnfehlstellung vorliegt, die aus ästhetischen Gründen zwar behandelt werden kann, deren Behandlung allerdings nur als Privatleistung angeboten wird.
2	eine Zahnfehlstellung vorliegt, die aus medizinischen Gründen eine Korrektur erforderlich macht, deren Behandlungskosten jedoch wegen des geringeren Ausprägungsgrades der Zahn- und/oder Kieferfehlstellung nicht von der gesetzlichen Krankenkasse übernommen wird.
G 3 bis 5	Eine Behandlung wird nach dem Kostenerstattungsprinzip Ihrer gesetzlichen Krankenkasse durchgeführt, weil ...
3	eine ausgeprägte Zahn- und/oder Kieferfehlstellung vorliegt, die aus medizinischen Gründen eine Behandlung erforderlich macht.
4	eine stark ausgeprägte Zahn- und/oder Kieferfehlstellung vorliegt, die aus medizinischen Gründen dringend eine Behandlung erforderlich macht.
5	eine stark ausgeprägte Zahn- und/oder Kieferfehlstellung vorliegt, die aus medizinischen Gründen dringend eine Behandlung erforderlich macht.

Tab. 2.2: Erläuterung der Behandlungsbedarfsgrade

Grundsätzlich ist eine interdisziplinäre Therapie mit chirurgischer Korrektur der disharmonischen Kieferbasisrelationen erst nach Abschluss des skelettalen Wachstums anzustreben, um eine Beeinflussung des chirurgischen Ergebnisses durch einen postpubertären Wachstumsschub zu vermeiden. Dabei dient die Handröntgenaufnahme der Ermittlung des skelettalen Reifegrades (Greulich und Pyle 1959, Björk 1972). Für eine kombinierte kieferorthopädisch-kieferchirurgische Therapie sollte das skelettale Wachstum abgeschlossen sein, um Rezidiven aufgrund noch vorhandener Entwicklungsvorgänge vorzubeugen.

Art und Ausprägungsgrad einer Dysgnathie sowie das Alter des Patienten sind bestimmend für das Behandlungskonzept, welches kieferorthopädisch/orthodontisch oder orthodontisch-kieferchirurgisch sein kann, und unter Betrachtung der Okklusion und des Gesichtsprofils die limitierenden Faktoren zur Auswahl des Umstellungsosteotomieverfahrens. Das skelettale Alter des Patienten stellt einen weiteren Grenzpunkt dar, der sich auf Therapieart und -dauer auswirkt.

Das Gesicht der untersuchten Patienten wurde während der interdisziplinären kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Therapie prä- und postoperativ mit dem *Gscan* dreidimensional erfasst. Das Interesse galt dabei vor allem Patienten mit Unterkieferverlagerung und Unterkieferrückverlagerung.

2.1.2 Physiopathogenese der Dysgnathien

Eine Disharmonie der Kieferbasisrelationen mit dento-alveolären Fehlstellungen stellt ein erhöhtes Risiko für mandibuläre Dysfunktionen oder orofaziale Dyskinesen dar (Janson 1981, Wisth 1984, Ingervall und Egermark-Erikson 1979). Die Folgen von craniomandibulären Dysfunktionen kommen erst voll zum Ausdruck, wenn im Erwachsenenalter im Gegensatz zum Wachsenden die Anpassungsfähigkeit des Kiefergelenkes an eine veränderte Okklusion und Krafrichtung geringer wird (Harzer 1999). Es resultieren ausgeprägte funktionelle Störungen im stomatognathen System, welche eine adäquate Therapie erfordern und unter Umständen die Indikation für eine Umstellungsosteotomie darstellen. Typisch auftretende Symptome sind unter anderem Einschränkung der Unterkiefermobilität, Kiefergelenkgeräusche, Bewegungs-, Kiefergelenk-, Muskel- und Kopfschmerz. Malokklusionen können weiterhin die Entstehung von Karies und Parodontopathien fördern (Rateitschak et al. 1984).

Aus kieferorthopädischer Sicht ist es daher sinnvoll, während der Entwicklungs- und Wachstumszeit zu intervenieren. Ziel sollten eine Korrektur der Zahnfehlstellungen und eine skelettale Adaptation sein, damit sich eine Dysgnathie erst gar nicht manifestieren kann. Bildet sich aufgrund fehlender skelettaler Anpassung eine Malokklusion heraus, kann eine Okklusion ohne chirurgische Maßnahmen nur über eine dentoalveoläre Kompensation erreicht werden. Sie zeigt im Verhältnis zur Kieferbasis meist starke Abweichungen von der als korrekt anzusehenden Zahnstellung. Es kommt zu Fehlbelastungen der Zähne und des Parodontiums, da keine axiale Belastung der Zähne vorliegt. Es resultiert die Gefahr eines Gewebeabbaus und damit einer Zahnlockerung. Im Extremfall ist mit einem vorzeitigen Zahnverlust zu rechnen.

Die umgebenden Weichgewebe wie Lippen-, Wangen- und Zungenmuskulatur dienen nicht allein der Nahrungsaufnahme, dem Sprechen und Schlucken, sondern sind auch verantwortlich für die Formgebung im dento-alveolären Bereich. Sie beeinflussen durch ihre Funktion/ Dysfunktion die Form der Zahnbögen und die Zahnstellung. Umgekehrt wirkt sich diese auf das Schlucken und Sprechen aus. Parafunktionen und Habits prägen ebenfalls die Zahnbogenform und die Position der Zähne.

Der deutsche Anatom Wilhelm Roux formulierte bereits 1894 *Das Gesetz der funktionellen Anpassung* mit folgenden Worten: „Auf eine veränderte Beanspruchung erfolgt eine morphologisch erfassbare Reaktion von Geweben und Organen, wobei die Muskulatur selbst einen Teil dieser funktionellen Anpassung darstellt.“ (Roux 1894).

2.2 Geschichte der Weichteilkephalometrie

Manuelle und photographische Methoden zur dreidimensionalen Erfassung der Weichteilstrukturen des Gesichtes sind in der Literatur schon lange bekannt. Die erste Methode der 3D-Abformung ist die Gipsmaske des menschlichen Gesichtes, welche seit Jahrhunderten eine große Bedeutung in der Kunst hat.

Im Rahmen der kieferorthopädischen Diagnostik wurde 1922 das sogenannte Photostatverfahren durch Simon beschrieben (Simon 1922), welches es erstmalig ermöglichte, die Profilkonturen des Gesichtes standardisiert photographisch zu erfassen. Obwohl diese Methode nur zweidimensionale Darstellungen liefert, konnte man dadurch das Gesichtsprofil analysieren.

Später führte A. M. Schwarz die Spiegelphotographie ein, um die Frontal- und beide Lateralansichten des Gesichtes gleichzeitig wiederzugeben. 1953 beschrieb Sassouni die erste optische Methode der dreidimensionalen Gesichtsfelderfassung. Er projizierte ein bestimmtes Muster auf das Gesicht und photographierte es aus einem Winkel von 90° (Beckmann-van der Ven et al. 1985). Diese Methode unterlag einer stetigen Weiterentwicklung und bildet unter anderem die Grundlage für neue Messtechniken.

Photostatverfahren

Die frontale Photostataufnahme ist zur Betrachtung der Symmetrie und vertikalen Relationen des Gesichtes geeignet. Die vertikale Dreiteilung des Gesichtes in $\approx 33\%$ (Trichion-Glabella), 33-34% (Glabella-Subnasale) und 36-37% (Subnasale-Menton) (Farkas et al. 1985) dient dem Auffinden von vertikalen Dysharmonien (Abb. 2.5).

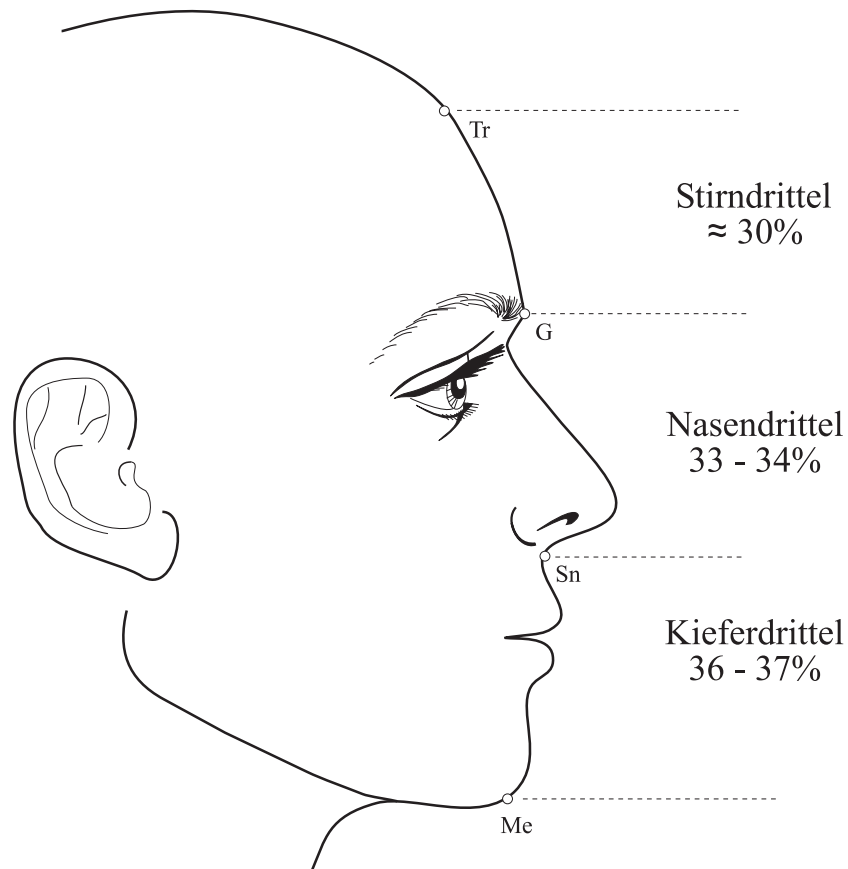


Abb. 2.5: Schematische Darstellung der vertikalen Gesichtsproportionen nach Farkas

Die Profil-Photographie dagegen ermöglicht anhand der Weichteilkontur des Gesichtes die Einlagerung der Kiefer in den Schädel zu beurteilen. Grundlage der Analyse ist das Mittelwertprofil des Gesichtes nach A. M. Schwarz (Schwarz 1958). In Abhängigkeit der Lage des Subnasalpunktes (Sn) zur Nasion-Senkrechten (Pn) ergeben sich drei Profiltypen (Vor-, Rück- und Durchschnittsgesicht). Diese werden ergänzend anhand der Lokalisation des Pogonions (Pog) im Kieferprofilfeld (KPF) differenziert. A. M. Schwarz unterscheidet daher neun Gesichtstypen (Nötzel und Schultz 2001) (Abb. 2.6).

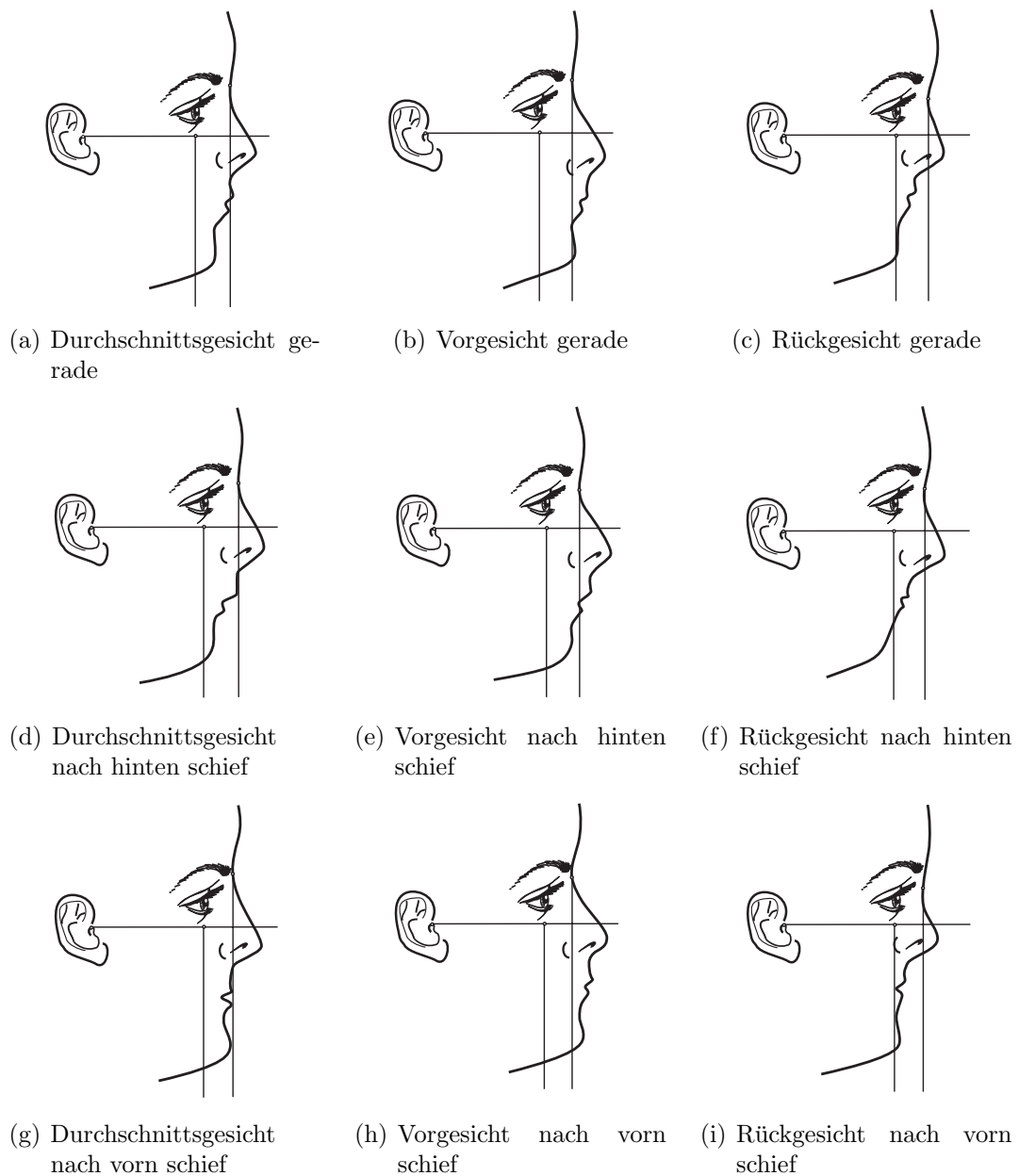


Abb. 2.6: Neun Gesichtstypen nach A. M. Schwarz (Nötzel und Schultz 2001)

In der vorliegenden Arbeit wurde die Profilansicht der dreidimensionalen Bilddaten der Patienten genutzt, um anhand der Weichteilkontur den prä- und postoperativen Gesichtstyp nach A. M. Schwarz zu ermitteln.

2.3 Optische 3D-Messsysteme

Optische 3D-Messsysteme haben sich in den letzten Jahren in der Medizin etabliert, da sie eine schnelle, präzise, nicht-invasive und berührungslose Oberflächendigitalisation verschiedener Körperpartien bis hin zum gesamten Körper erlauben. Sie sind somit wichtiger Bestandteil von Diagnostik und Therapie geworden.

Speziell für den Gesichtsbereich sind weltweit verschiedene Systeme erhältlich. Während sich in Europa, vor allem in Deutschland, die Streifenprojektion durchgesetzt hat, werden in Nordamerika bevorzugt eye-safe Laserscan-Systeme hergestellt (D'Apuzzo 2006). Beide Konzepte differenzieren sich im Wesentlichen durch ihre Lichtquelle, die das gewünschte Muster auf der zu vermessenden Objektoberfläche erzeugt. Derzeit sind neben dem verwendeten *Gscan* (IVB GmbH und Fraunhofer Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik, Jena), beispielsweise der *faceScan II und III* (Breuckmann GmbH, Meersburg), der *FaceScan^{3D}* (3D-Shape GmbH, Erlangen) und der *Vitus ahead* (Vitronic Dr.-Ing. Stein Bildverarbeitungssysteme GmbH, Wiesbaden) als 3D-Messsysteme basierend auf Streifenprojektion kommerziell erhältlich. Der *Head and Face 3D Color Scanner, Modell 3030* (Cyberware, Inc., Californien) und der *Minolta Vivid 900* (Konica Minolta Holdings, Inc., Tokio) sind als Vertreter der Laser-Messsysteme zu nennen.

Außerdem befinden sich derzeit auch holographische Messsysteme zur 3D-Erfassung der Gesichtsoberfläche in der Entwicklungsphase. Sie basieren auf einem gepulsten frequenzverdoppelten Nd:YLF-Lasersystem (Giel et al. 2002).

3 Zielstellungen der Arbeit

In der orthognathen Chirurgie ist es von Interesse, postoperativ zu erwartende Weichteilveränderungen unter Kenntnis des Ausmaßes der skelettalen Verlagerung präoperativ dreidimensional zu visualisieren und zu prognostizieren. In der Literatur werden Weichteilveränderungen zumeist in Korrelation zu knöchernen Veränderungen im FRS betrachtet.

Im Rahmen der vorgelegten Arbeit sollen dreidimensionale Weichteilveränderungen von Patienten mit chirurgischer Korrektur der Bisslage im Unterkiefer gemessen und relativ zum Ausmaß der ventralen und dorsalen Umstellungsosteotomie der Mandibula anhand der Messwerte der Modelloperation untersucht werden.

Im Einzelnen ergeben sich nachstehende Fragestellungen:

1. Treten geschlechtsspezifische Unterschiede hinsichtlich der Weichteilveränderungen nach monognathen Dygnathieoperationen im Unterkiefer auf?
2. In welchem Verhältnis folgen die Gesichtsweichteile dem Ausmaß der operativen Unterkieferverlagerung nach anterior und posterior?
3. Welchen Einfluss haben die Hart- und Weichgewebeveränderungen auf den Gesichtstyp nach A. M. Schwarz der untersuchten Patienten?
4. Wie ist die klinische Anwendbarkeit des *Gscans* und die Qualität seiner Messdaten zu beurteilen?
5. Welche diagnostischen Möglichkeiten bietet die dreidimensionale Weichteilanalyse für Behandler und Patient?

4 Patienten und Methoden

4.1 Patienten

Die Aufzeichnung der Gesichtsoberfläche von insgesamt 35 Patienten erfolgte prä- und postoperativ dreidimensional mittels *Gscan*. Es wurden ausschließlich Patienten mit einer monognathen Unterkiefervor- oder Unterkieferrückverlagerung gescannt. Diese Patienten wurden interdisziplinär kieferorthopädisch-kieferchirurgisch am Universitätsklinikum der Friedrich-Schiller-Universität Jena durch die Poliklinik für Kieferorthopädie und die Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie/Plastische Chirurgie betreut. Bei allen Patienten lag zu Behandlungsbeginn eine Dysgnathie der Angle-Klasse II oder der Angle-Klasse III vor, die nicht allein durch orthodontische Maßnahmen zu beheben war. Sie bedurfte in allen Fällen einer chirurgischen Intervention.

4.1.1 Auswahl und Dysgnathie der Patienten

Die Auswahl des Patientengutes unterlag der Operationsvorbereitung. Es erfolgte ausschließlich die Untersuchung von Patienten, deren Operationsplanung in der Poliklinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums der FSU Jena erbracht wurde. Unerheblich war dabei, wo die kieferorthopädische Vor- und Nachbehandlung erfolgte.

Grundsätzlich waren zwei Patientengruppen anhand der vorliegenden Dygnathien zu spezifizieren (Abb. 4.1). Bei 18 Patienten war präoperativ eine Malokklusion der Angle-Klasse II vorhanden. Operativ-korrigierend erfolgte bei diesen Patienten eine skelettale Verlagerung der Mandibula nach anterior. Die anderen 17 Patienten wiesen präoperativ eine Dysgnathie der Angle-Klasse III auf. Die skelettale Verlagerung des Unterkiefers nach posterior wurde durchgeführt.

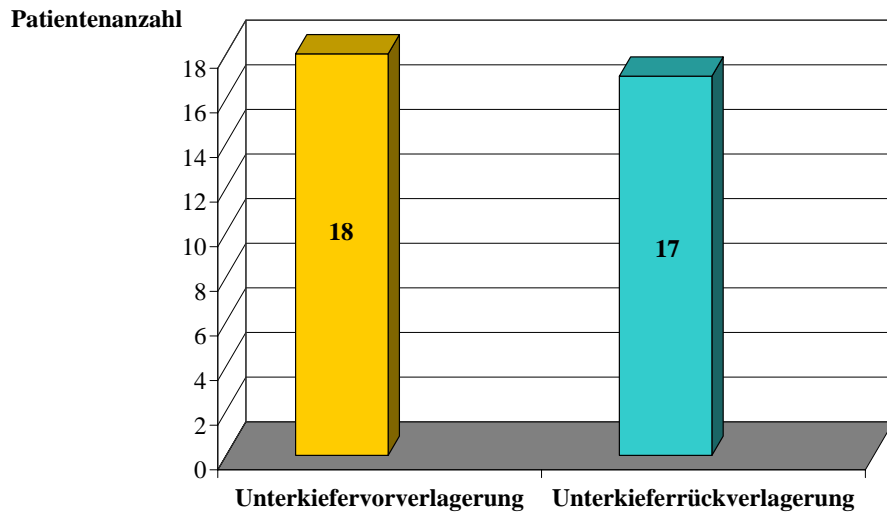


Abb. 4.1: Patientenverteilung der chirurgischen Unterkieferosteotomie

4.1.2 Geschlechtsspezifische Einteilung der Patientengruppen

Zunächst wurde eine geschlechtsspezifische Differenzierung der Patientengruppen vorgenommen. Diese zeigte, dass sich 13 weibliche und 5 männliche Patienten einer Unterkiefervorverlagerung unterzogen. Bei 6 weiblichen und 11 männlichen Patienten dagegen wurde eine Unterkiefferrückverlagerung durchgeführt (Abb. 4.2).

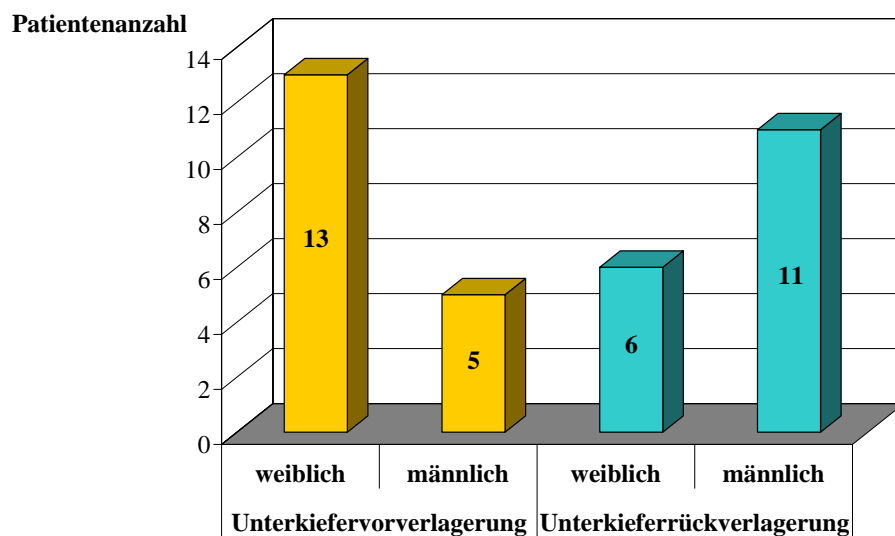


Abb. 4.2: Geschlechtsspezifische Patientenverteilung der chirurgischen Unterkieferosteotomie

Da bei den untersuchten Patienten nur in seltenen Fällen eine symmetrische Verlagerung des Unterkiefers erfolgte, wurde über das Ausmaß der knöchernen Verlagerung der rechten und linken Seite der Mandibula das arithmetische Mittel errechnet. Die Messwerte ergaben sich aus der dreidimensionalen Modelloperation. Der Mittelwert der knöchernen Verlagerung wurde zur statistischen Auswertung herangezogen.

In der Patientengruppe mit einer Dysgnathie der Angle-Klasse II erfolgte die Umstellung der Mandibula durchschnittlich um $5,38 \pm 1,27$ mm (Mittelwert \pm Standardabweichung) nach anterior. Bei den Patienten mit einer Malokklusion der Angle-Klasse III wurde der Unterkiefer durchschnittlich um $4,85 \pm 1,91$ mm nach posterior verlagert.

4.1.3 Altersstruktur der Patientengruppen

Das Durchschnittsalter der Patienten mit Unterkieferverlagerung betrug zum Zeitpunkt der präoperativen *Gscan*-Aufnahme 36 Jahre, 7 Monate, wobei der jüngste Patient 18 Jahre und der älteste Patient 47 Jahre, 2 Monate war. Das mittlere Alter der Patienten mit Unterkiefernückverlagerung dagegen war 24 Jahre, 5 Monate. Auch hier war der jüngste Patient 18 Jahre, der älteste Patient dagegen war 44 Jahre, 8 Monate. Es war eine schiefe Altersverteilung in beiden Operationsgruppen vorzufinden. Der Großteil der Patienten mit Unterkieferverlagerung ist älter als 40 Jahre (Abb. 4.3).

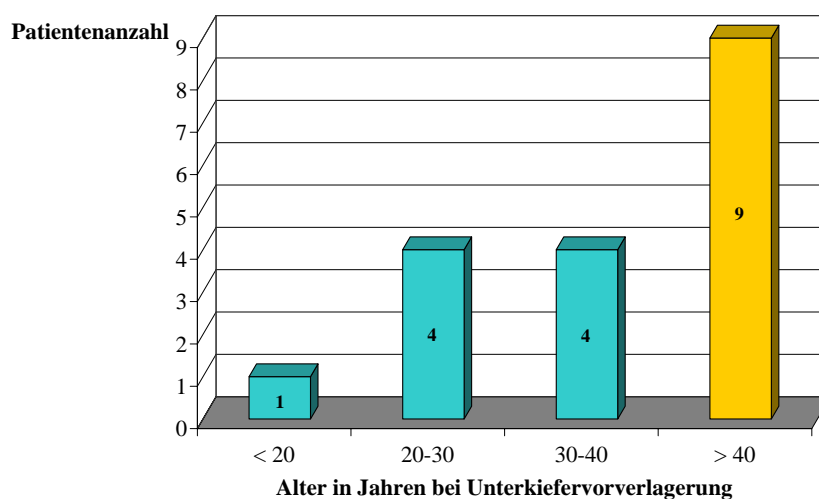


Abb. 4.3: Altersspezifische Patientenverteilung der Unterkieferverlagerung

Im Gegensatz dazu wies die Unterkieferrückverlagerung auf einen deutlich größeren Patientenstamm bis zum 30. Lebensjahr hin (Abb. 4.4).

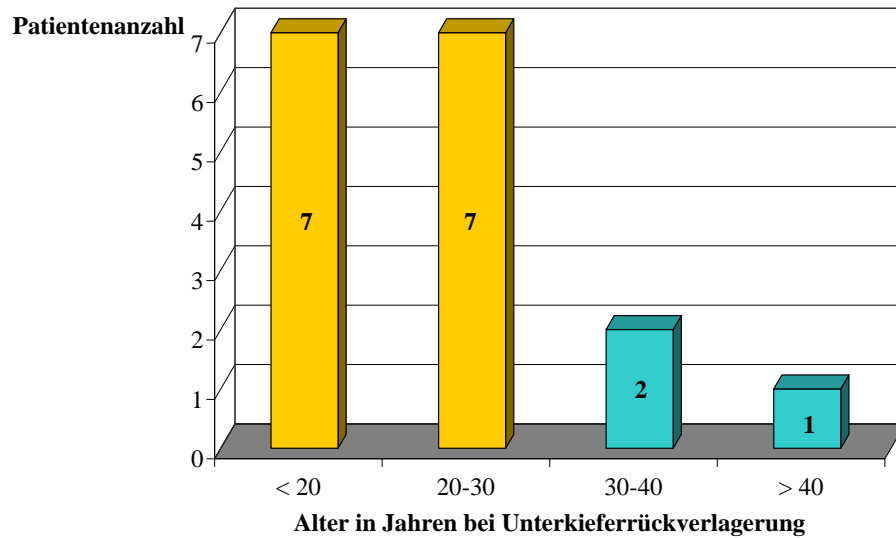


Abb. 4.4: Altersspezifische Patientenverteilung der Unterkieferrückverlagerung

4.1.4 Messaufnahme

Zum Zeitpunkt der präoperativen 3D-Gesichtserfassung waren bei allen Patienten folgende Voraussetzungen erfüllt:

- Die kieferorthopädische Vorbehandlung war abgeschlossen.
- Der Patient trug eine Multiband-/Multibracket-Apparatur.
- Eine Dysgnathie der Angle-Klasse II oder III war determiniert und durch rein orthodontische Maßnahmen nicht korrigier- und kompensierbar.
- Die chirurgische Intervention zur skelettalen Korrektur der Bisslage wurde zeitnah vorgenommen.

Eine zweite Messaufnahme der Gesichtsoberfläche wurde postoperativ erstellt, unter der Voraussetzung, dass mindestens sechs Monate seit der Dysgnathieoperation vergangen waren.

Somit konnte von einer vollständigen Rehabilitation der Weichteile und des Knochens ausgegangen werden. Weiterhin war die Multiband-/Multibracket-Apparatur bei allen Patienten entfernt und die aktive kieferorthopädische Nachbehandlung beendet. Die Patienten befanden sich in der Retentionsphase. Das Osteosynthesematerial war während der postoperativen Messaufnahme bei 34 Patienten in situ.

Die mittlere Zeitdifferenz zwischen beiden *Gscan*-Aufnahmen betrug bei der Unterkiefervorverlagerung 12 ± 2 Monate und bei der Unterkiefervorverlagerung 11 ± 2 Monate.

4.2 Interdisziplinäre Behandlungsplanung

Die Grundlage für eine chirurgische Korrektur von Malokklusionen ist die interdisziplinäre Koordination einer kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Therapie. Fachspezifische Behandlungsaufgaben mussten gemeinsam aus der Diagnose abgeleitet sowie Therapiemöglichkeiten und -grenzen festgelegt werden. Während der gesamten Behandlungszeit wurden die Patienten interdisziplinär nach individuellen Behandlungsaufgaben betreut. Die Vorgehensweise in der Therapie wurde bei der ersten interdisziplinären Patientenvorstellung abgestimmt. Vor diesem Konsilium haben die Behandler die klinischen und technischen Befunde erhoben.

Die kieferorthopädisch-kieferchirurgische Therapie gliederte sich in prätherapeutische Untersuchungen. Diese beinhalteten die Erfassung der Vorgeschichte des Patienten mit Hilfe standardisierter Anamnesebögen, die intra- und extraorale Befundung sowie die manuelle Strukturanalyse des Patienten. Die Modellanalyse anhand dreidimensional getrimmter aktueller Situationsmodelle und die Analysen von Röntgenbildern und Photoaufnahmen waren weitere wichtige Bestandteile der kieferorthopädischen Behandlungsplanung. Im Rahmen der Operationsplanung und -vorbereitung gehörten das Orthopantomogramm und das Fernröntgenseitenbild zu den Standardröntgenaufnahmen. Sie unterstützten die Therapieentscheidung und -planung sowie die prognostischen Einschätzungen. Die Auswertung des FRS erfolgte präoperativ in der Poliklinik für Kieferorthopädie der FSU Jena mittels der Jenaer-Analyse und dem Programm *fr-win extended* (Computer konkret AG, Dental Software, Falkenstein). Außerdem wurde das Gesicht der Patienten präoperativ dreidimensional mittels *Gscan* erfasst.

4.3 Interdisziplinäre Therapie

4.3.1 Kieferorthopädische Vorbehandlung

Voraussetzungen für den Beginn einer kieferorthopädischen Therapie waren eine optimale Mundhygiene, gesunde parodontale Verhältnisse und ein primär gesundes oder korrekt saniertes Gebiss. Es erfolgten eine Dekompensation der Zahnstellung und eine Anpassung zum individuell harmonischen und symmetrischen Zahnbogenverlauf. Des Weiteren waren die Lückenkontrolle und die vertikale, achsengerechte Einstellung der Schneidezähne sowie eine Harmonisierung der Schneidezähne zueinander Behandlungsaufgabe. Vor Abschluss der prächirurgischen Therapie musste am Modell die Passfähigkeit der postoperativen Okklusion und Zahnbogenform geprüft werden.

War die kieferorthopädische Vorbehandlung abgeschlossen, wurde die Planung der Dysgnathieoperation durchgeführt. Mindestens sechs Wochen vor der chirurgischen Intervention wurden keine orthodontischen Bewegungen mehr vorgenommen. Die Stabilisierung der dento-alveolären Situation mittels passivem Vierkant-Stahlbogen von großer Bogendimension. An den Molaren wurden für die Operation und anschließende intermaxilläre Immobilisation vorzugsweise Bänder statt Tubes angebracht, da diese eine bessere Retention am Zahn aufwiesen.

Impaktierte oder retinierte Weisheitszähne wurden spätestens sechs Monate vor der kieferchirurgischen Korrektur der Dysgnathie entfernt, um eine ausreichende Ausheilung der Wundverhältnisse zu gewährleisten.

4.3.2 Dreidimensionale Operationsplanung am Modell

Die Modelloperation war ein wichtiger Bestandteil der kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Therapie. Zuerst wurden Situationsabformungen des Ober- und Unterkiefers am Patienten genommen. Zudem erfolgte eine Zentrikbissnahme, bei der die vertikale Sperrung möglichst gering war, am Patienten in entspannter, aufrechter Körperhaltung (Abb. 4.5).

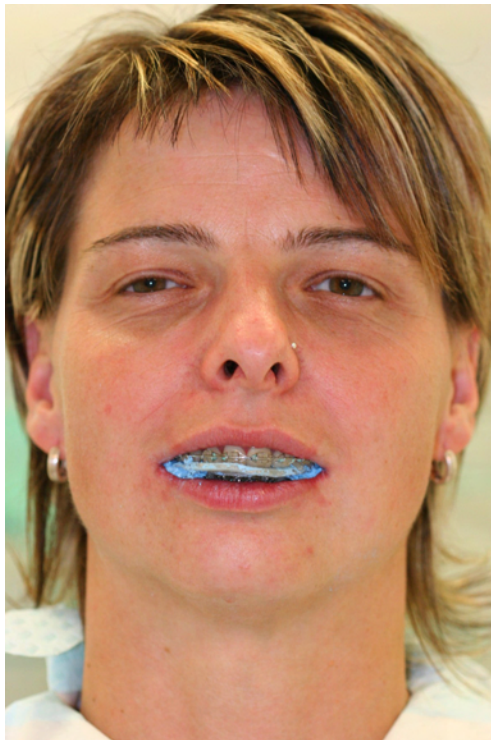


Abb. 4.5: Zentrikbissnahme am Patienten

Am sitzenden und liegenden Patienten wurde die Reproduzierbarkeit der sagittalen Unterkieferposition kontrolliert. Weiterhin wurde über den Gesichtsbogen (Gesichtsbogen Reference, Amann Girrbach GmbH, Koblach, Österreich) die dreidimensionale Position der Maxilla im Gesichtsschädel registriert. Anhand der Abformungen wurden Situationsmodelle des Ober- und Unterkiefers (Superhartgips) hergestellt. Unter Verwendung des Kalibrierten-Doppelsockel-Münsteraner-Modellübertragungssystems (KD-MMS) konnte die Modelloperation ausgeführt werden. Das System bestand aus blauen und roten Sockelplatten (als Austausch zu den Standardmontageplatten), einer Messübertragungslehre, Fixations- und Positionierungselementen zur Verbindung untereinander oder mit dem Artikulatorober- bzw. Artikulatorunterteil. Die Montage des Oberkiefermodells erfolgte schädelbezüglich durch eine arbiträre Gesichtsbogenübertragung (Abb. 4.6). Das Unterkiefermodell wurde über das Zentrikregistrat unter Berücksichtigung der interinzisalen Distanz einartikuliert (Abb. 4.7).

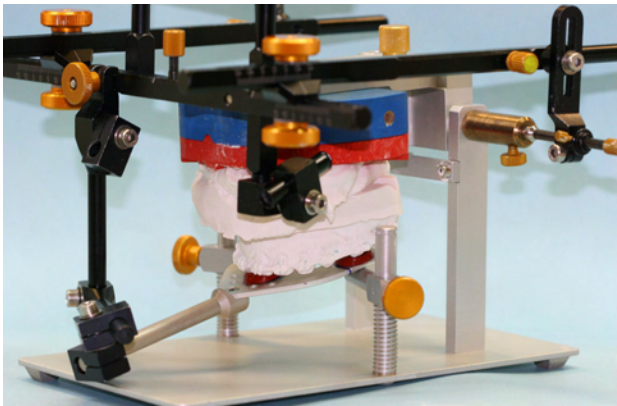


Abb. 4.6: Schädelbezügliche Montage des Oberkiefermodells durch arbiträre Gesichtsbogenübertragung

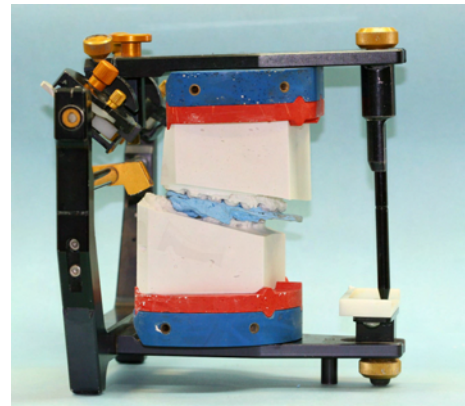


Abb. 4.7: Einartikuliertes Ober- und Unterkiefermodell mit Zentrikregistrat

Der Stützstift wurde auf die vertikale Veränderung des Zentrikregistrates eingestellt. Im nächsten Schritt wurde die Messübertragungslehre auf den Stützstift geschraubt. Sie diente der Ermittlung des Abstandes von der Inzisalkante des Ober-/Unterkiefers zur Innenseite des Stützstiftes. Anschließend wurden im Modell sagittale und transversale dentale Referenzlinien im Bereich der ersten Molaren und der Eckzähne sowie der Ober- und Unterkiefermittellinie auf dem Modell eingezeichnet. Zusätzlich erfolgte die Kennzeichnung einer blauen vertikalen Referenzlinie zirkulär um den Modellsockel. Über Bohrungen im Modellsockel konnten die Modelle untereinander über Fixationselemente und zum Artikulator über Positionierungselemente verbunden werden (Abb. 4.8).

Bei der monomaxillären Modelloperation am Unterkiefer der untersuchten Patienten wurde die Verlagerung der Mandibula ausschließlich manuell vorgenommen, nach dem Prinzip der bestmöglichen einstellbaren Okklusion unter Beachtung der Mittellinien. Um eine möglichst optimale Einstellung der Okklusion während der Modelloperation zu erreichen, sollten die Zahnfehlstellungen orthodontisch korrigiert und der Zahnbogenverlauf symmetrisch sein. Der Unterkiefer wurde in seiner neuen Position mit der Maxilla und dem Artikulatoroberteil fixiert. Die kalibrierte rote Sockelplatte wurde unter dem zu operierenden Kiefer entfernt. Anschließend wurde ein herausnehmbarer Operationssockel aus weißem Gips gestaltet. Er diente als Informationsträger der operativen Unterkieferbewegung (Abb. 4.9).

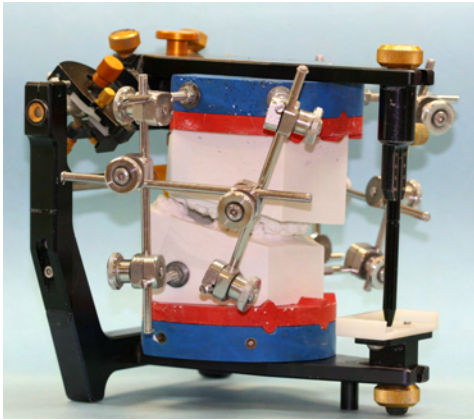


Abb. 4.8: Modellfixation im Artikulator durch Fixierungs- und Positionierungselemente

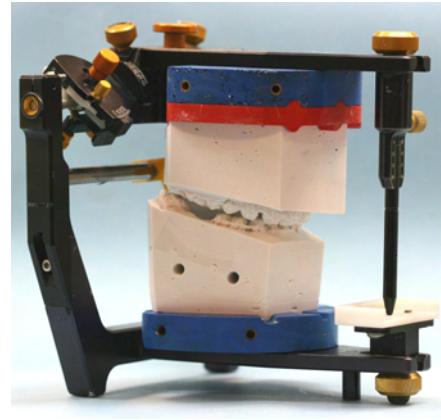


Abb. 4.9: Unterkiefermodell mit Operationssockel

Zum einen wurden blaue vertikale und horizontale Referenzlinien am Modell eingezeichnet, um die vorhandene Relation beider Kiefer zueinander (Ist-Referenz) festzuhalten, zum anderen wurden unter Einsatz des weißen Operationssockels rote Markierungslinien gesetzt, um Differenzmesswerte zu erhalten, die das Ausmaß der Unterkieferosteostomie in der Sagittalen, Transversalen und Vertikalen (Soll-Referenz) wiederzugeben. Die Differenzwerte wurden von Soll (rot) zu Ist (blau) gemessen (Abb. 4.10 und 4.11).

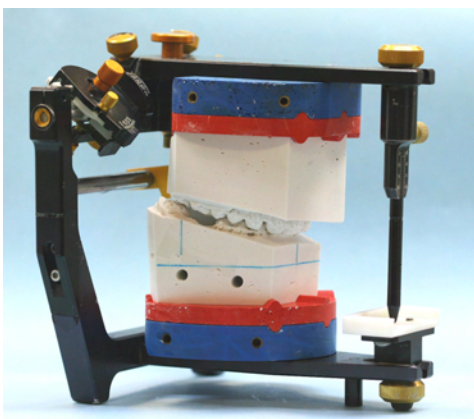


Abb. 4.10: Modelle mit Ist-Referenzlinien (blau)

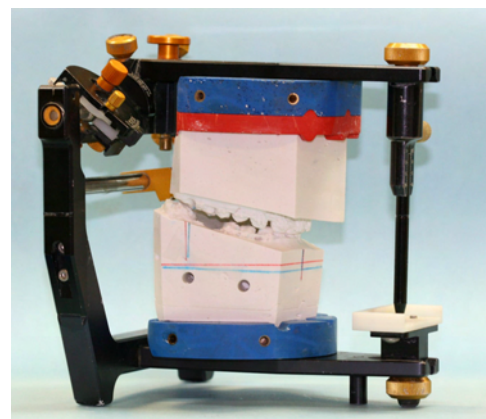


Abb. 4.11: Modelle mit Ist- und Sollreferenzlinien (blau und rot)

Zur Übertragung der Modellsituation in den Operationssitus wurden für eine Verlängerung der Mandibula zwei Kunststoffsplinte angefertigt. Zur besseren Differenzierung waren diese unterschiedlich eingefärbt [Abb. 4.12(a) und 4.12(b)].



(a) Zentriksplint (farbig)

(b) definitiver Splint (transparent)

Abb. 4.12: Operationssplinte für die Dysgnathiechirurgie

Der erste Splint war farbig und gab die Zentrik wieder, er diente dem Chirurgen zur Fixierung der Kiefergelenkposition. Der transparente Splint war der definitive Splint, welcher die neue Relation beider Kiefer zueinander zeigte und sie in der neuen Lage fixierte.

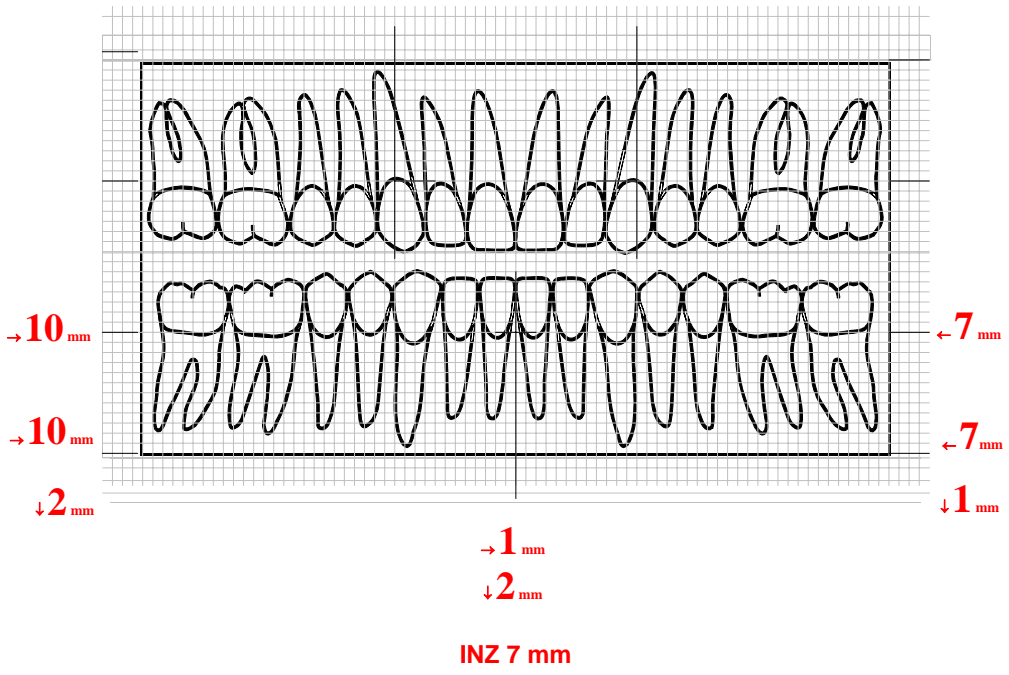
Die Acrylschienen wiesen Einbisse beider Kiefer sowie Bohrungen für die intermaxilläre Immobilisation auf. Nachfolgend wurden die verschiedenen Splinte in den Artikulator remontiert. Der definitive Splint lies eine möglichst geringe vertikale Sperrung zu. Abschließend wurden die Splinte am Patienten auf einwandfreie Passfähigkeit geprüft. Es wurde besonders darauf geachtet, dass keine Frühkontakte bestanden.

Abschließend wurden die Messwerte der Modelloperation alle auf einem Formblatt für die orthognathe Chirurgie (Abb. 4.13) dokumentiert.

KLINIKUM DER FRIEDRICH-SCHILLER-UNIVERSITÄT JENA
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Dysgnathiesprechstunde

KFO- chirurgische Planung UK- Vorverlagerung

Patient	D., C.		
geboren			
Artikulator-Montage	06.02.06		
Artikulator-Nr./Platten.-Nr.			
Pano / FRS			
G-Scan			
chir. Planung / Simulation			
Modell-OP			
Splinte			



Molar	Molar	PM	Front	Front	PM	Molar	Molar
→ 10 mm	↓ 2 mm		↓ 2 mm	→ 1 mm		↓ 1 mm	← 7 mm
→ 10 mm							← 7 mm
Nullsplint / Abweichung in mm				OP-Splint / Abweichung in mm			

Abb. 4.13: Formblatt für die orthognathe Chirurgie am Patientenbeispiel einer Unterkieferverlagerung

4.3.3 Chirurgisches Vorgehen

Ein abgeschlossenes skelettales Wachstum war Voraussetzung für die chirurgische Korrektur einer Dysgnathie. Vorbereitend wurde kieferorthopädisch die dento-alveoläre Kompensation mittels einer festsitzenden Multiband-/Multibracket-Apparatur realisiert. Die Ausformung beider Zahnbögen erfolgte nach den Gesichtspunkten der sagittalen und transversalen Symmetrie, da eine Zahnfehlstellung sowie ein asymmetrischer Bogenverlauf die operative Harmonisierung der Kieferbasisrelationen und damit die individuell optimale Okklusionseinstellung (Steinhäuser und Janson 1988) behindern würden. Die Umstellungsosteotomie wurde nach interdisziplinärer kieferorthopädisch-kieferchirurgischer Planung, sechs Wochen nachdem die kieferorthopädische Vorbehandlung abgeschlossen war, vorgenommen. Anamnese, Aufklärung über Anästhesie und das chirurgische Vorgehen sowie die entsprechenden Risiken waren Grundvoraussetzungen für den Operationsbeginn.

Die hier untersuchten Patienten unterlagen ausschließlich der kieferchirurgischen Betreuung der Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie/Plastische Chirurgie der FSU Jena.

Bei den im *Gscan* untersuchten Patienten erfolgten immer totale Umstellungsosteotomien des Unterkiefers nach der Methode von Obwegeser/Dal Pont (Obwegeser und Trauner 1955, Dal Pont 1961). Intra operationem wurde die Schleimhaut vom Vestibulum im Molarenbereich über die Vorderkante des aufsteigenden Astes inzidiert und der Mukoperiostlappen vom Knochen abgelöst. Die linguale Kompakta wurde zwischen Lingula und Inzisur horizontal osteotomiert. Die bukkale Kompakta wurde senkrecht zur linguale Osteotomielinie distal des letzten Molaren (retromolar) durchtrennt. Eine sagittale Osteotomie am Vorderrand des Ramus ascendens vollendete die stufenförmige Spaltung des aufsteigenden Unterkiefers. Es entstanden drei Fragmente: zwei gelenktragende und ein zahntragendes, in welchem die Nervi alveolares inferiores verliefen. Bedeutend für das von Dal Pont modifizierte Verfahren war die bukkal verlängerte Knochenlamelle. Sie bot auch bei ausgedehnten kieferchirurgischen Dysgnathiekorrekturen ausreichend große Knochenberührungsflächen und gewährleistete eine verlässlichere Schonung des Nerven-Gefäß-Bündels (Abb. 4.14) (Gattinger und Obwegeser 2002).

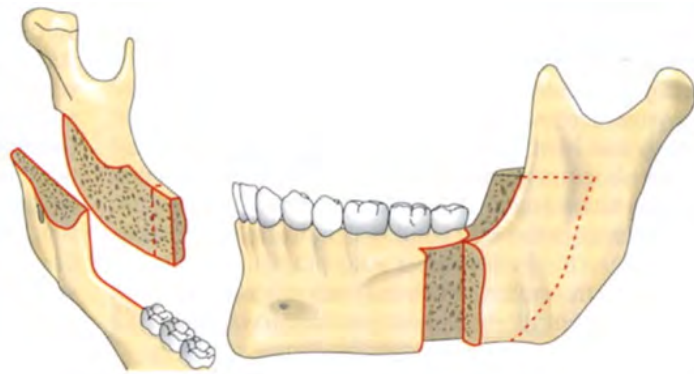


Abb. 4.14: Sagittale stufenförmige Osteotomie des Unterkiefers nach Obwegeser/Dal Pont (Gattinger und Obwegeser 2002)

Die breitflächige Knochenadaptation begünstigte die schnelle Konsolidierung der Osteotomiestellen. Selbst vertikale Veränderungen im Sinne einer Schwenkung nach kranial oder kaudal waren möglich.

Vor einer monomaxillären Umstellungsosteotomie des Unterkiefers wurden zwei Splinte (Zentriksplint - farbig, definitiver Splint - transparent) aus Acryl mit Einbissen angefertigt. Der farbliche Splint gab die zentrische Gelenkposition wieder und wurde vor der eigentlichen Umstellungsosteotomie einligiert, um das Kiefergelenk zu fixieren. Der transparente Splint diente der Orientierung über das Ausmaß der Verlagerung des Unterkiefers und dessen Fixierung in seiner neuen Position. Vor der Distalverlagerung des Corpus mandibulae musste von der bukkalen Lamelle des gelenktragenden Fragments ein Knochenstück, entsprechend dem Ausmaß der skeletalen Verlagerung, ostektomiert werden. Nach erfolgter Mobilisation und Einstellung des Unterkiefers wurde eine starre intermaxilläre Fixation über den definitiven Splint erreicht. Anschließend wurde die Retention der Mandibula in ihrer neuen Position mittels Osteosyntheseplatten vorgenommen, nachdem der Unterkiefer intermaxillär über die transparente Schiene immobilisiert wurde. Der transparente Splint realisierte die abschließende (korrigierte) Basalrelation. Waren die Knochenfragmente ausreichend durch Osteosynthesematerial stabilisiert, wurde die starre intermaxilläre Fixation gelöst, um akute Atemwegsprobleme infolge des Operationstraumas oder durch Blutungen zu mindern. Aufgrund der besseren Wundheilungstendenz wurden ab dem ersten postoperativen Tag beide Kiefer über intermaxillär einligierte Gummizüge fixiert.

Die Nahrung des Patienten beschränkte sich bis zu acht Wochen nach der Operation auf flüssige und breiige Kost, um ungünstige Belastungen des Kiefers durch Kau- und Abbeißfunktionen sowie die damit verbundene Gefährdung der Fragmentstabilität und der Knochenbruchheilung zu vermeiden. Die Weiterführung der kieferorthopädischen Behandlung war bereits vier Wochen nach Lösen der intermaxillären Immobilisation möglich.

4.3.4 Kieferorthopädische Nachbehandlung

Um gezielten Einfluss auf die angestrebte Okklusion zu nehmen, erfolgte die kieferorthopädische Weiterbehandlung schnellst möglich nach der chirurgischen Korrektur der Bisslage. Voraussetzungen dafür waren der Abschluss der primären Wundheilung und die Öffnung des Mundes. Intra operationem wurde ein interokklusaler Splint zur richtigen Einstellung des Unterkiefers eingesetzt. Zudem wurde mit elastischen Gummizügen gearbeitet, um den veränderten Muskeltonus zu unterstützen, seine langsame Anpassung zu fördern und gleichzeitig die Okklusion einzustellen (Richter 1992). Der interokklusale Splint wurde so früh wie möglich entnommen. Gegebenenfalls reduzierte der behandelnde Kieferorthopäde die Splinthöhe durch selektives Einschleifen des Acryls (Steinhäuser und Janson 1988). Ausstehende dento-alveoläre Therapieschritte waren vor allem die Nivellierung der Spee-Kurve und damit der Ausgleich der vertikalen Distanz im Seitenzahnggebiet, das Schließen von Restlücken sowie die Optimierung der Okklusion.

Die Behandlungsziele der gesamten interdisziplinären kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Therapie orientierten sich an einer sicheren zentrischen Beziehung der Oberkiefer- zur Unterkieferzahnreihe sowie an interferenzfreien Exkursionsbewegungen. Angestrebt wurde für jeden Patienten ein „individuelles funktionelles und ästhetisches Optimum“ (Andresen 1936), wobei die Langzeitstabilität des Therapieergebnisses ein essentielles Kriterium darstellte. Diese sollte unter anderem über die Retentionsphase nach Beendigung der aktiven Behandlung gesichert werden. Intensität und Dauer der Retention waren abhängig vom Ausprägungsgrad, Typ und Charakter der primär vorliegenden Malokklusion, den umgebenden Weichteilen, dem Parodont und von der aktiven Behandlungszeit (Harzer 1999, Diedrich 2000). Mit Beendigung der Retention war auch die kieferorthopädische Therapie abgeschlossen.

4.3.5 Postoperative kieferchirurgische Betreuung

Sieben bis zehn Tage postoperativ erfolgte die Entfernung des Nahtmaterials und die Kontrolle des Wundheilungsverlaufes. In der Regel wurde das Osteosynthesematerial trotz einer guten Gewebeverträglichkeit nicht im Organismus belassen, sondern zehn bis zwölf Monate postoperativ entfernt. Dieser zweite operative Eingriff war von geringerem Aufwand und wurde ambulant oder während eines kurzen stationären Klinikaufenthaltes ausgeführt. Begleitend waren Korrekturoperationen an Nase, Kinn und Narben möglich. Zur Beobachtung der Stabilität des Behandlungsergebnisses wurde in den ersten fünf Jahren nach Therapieende ein interdisziplinärer kieferorthopädisch-kieferchirurgischer Recall empfohlen, später sollte ein größeres Nachuntersuchungsintervall ausreichend sein.

4.4 Gerätetechnische Aspekte

4.4.1 Mehrbild-3D-Messsysteme

Die Digitalisierung von Gesichtsoberflächen wird in der modernen Medizin mit Multi-View-3D-Messsystemen realisiert. Es werden hohe Anforderungen an vollständige Erfassung der zu vermessenden Objekte und an eine anschließende angemessene Auswertestrategie gestellt (Notni und Kühmstedt 2003).

Sogenannte Mehrbildtechniken ermöglichen eine Rundumvermessung von komplexen Objekten, wobei das Objekt aus verschiedenen Richtungen beleuchtet und mehreren Ansichten aufgenommen wird. Die hier angewandte Multi-View-Messtechnik basiert auf der Methode der selbstkalibrierenden Streifenprojektion - der Phasogrammetrie (Notni et al. 2003a, Kühmstedt und Notni 2005). Es wird eine vollautomatisierte und schnelle Messung ohne spezifische messtechnische Kenntnisse des Anwenders möglich.

4.4.2 Triangulation

Zur Erfassung der Oberflächenform eines Objektes wird die räumliche Position mehrerer Messpunkte innerhalb eines globalen Koordinatensystems erfasst, wobei der Messpunktabstand entscheidend für die messbare Größe von Oberflächendetails ist.

Für die hier angewandte optische Formerfassung liegt das Prinzip der Triangulation zugrunde. Die optischen Triangulationsmethoden lassen sich in passiv und aktiv messende Verfahren unterteilen. Das angewandte 3D-Messverfahren (Kap. 4.4.4) ist eine aktiv messende Triangulationsmethode, welche im Gegensatz zum passiven Verfahren eine spezielle Ausleuchtung des Objektes erfordert (Notni 2005). Die Triangulation ermöglicht die Erfassung komplexer Oberflächen, indem die Lage verschiedener Messpunkte im Raum berechnet wird. Die Grundlage bildet das Triangulationsdreieck, dessen Eckpunkte beim aktiven Verfahren aus Projektor P, Sensor S und Objektpunkt O bestehen (Abb. 4.15).

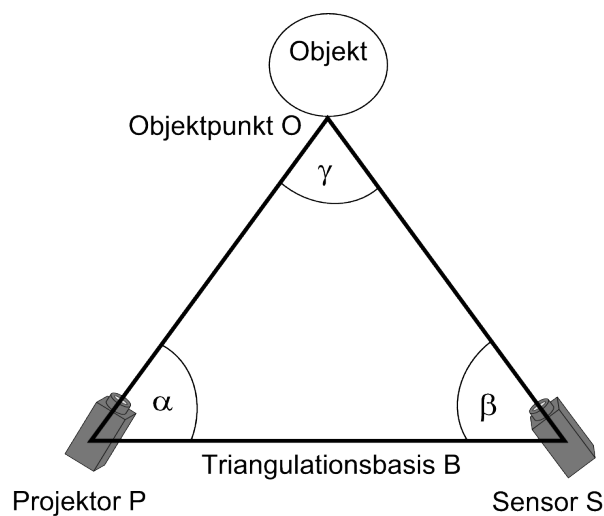


Abb. 4.15: Prinzip der Triangulation

Der Projektor funktioniert als Lichtquelle und beleuchtet die zu erfassende Objektfläche. Das vom Objekt reflektierte bzw. gestreute Licht wird von einem Sensor, z.B. einer Kamera, registriert. Die Triangulationsbasis B sowie Beleuchtungs- und Beobachtungsrichtung zum Objektpunkt bilden somit ein Dreieck, in welchem mindestens zwei Winkel und eine Seite bekannt sein müssen, um die räumliche Position des beobachteten Objektpunktes relativ zu den anderen Eckpunkten, Projektor und Sensor, berechnen zu können.

Es ist zu beachten, dass die Triangulation in verschiedenen Verfahren ihre Anwendung findet. Für die vorliegende Arbeit ist das Prinzip der Streifenprojektion, welches zu den aktiven Triangulationsverfahren zählt, von besonderer Relevanz und soll im folgenden (Kap. 4.4.3) eingehender erläutert werden.

Durch eine flächenhafte Beleuchtung und die Aufnahme mit einer Kamera können sehr viele Messpunkte simultan aufgenommen werden, was sich in der Reduktion der Messzeit widerspiegelt. Es lassen sich Objektoberflächen in kurzer Zeit mit hoher Messpunktdichte erfassen.

4.4.3 Streifenprojektion

Die Streifenprojektion gehört zu den aktiv messenden Triangulationsverfahren. Mehrere Streifen werden dazu parallel angeordnet und von einem Projektor als Muster kontinuierlich auf das dreidimensionale Objekt projiziert. Die abgebildeten Beleuchtungszustände weisen eine periodische Intensitätsverteilung auf, die häufig aus mehreren Gray-Code-Mustern und phasenverschobenen Streifensequenzen besteht (Notni 2005, Notni und Kühmstedt 2003) (Abb. 4.16).

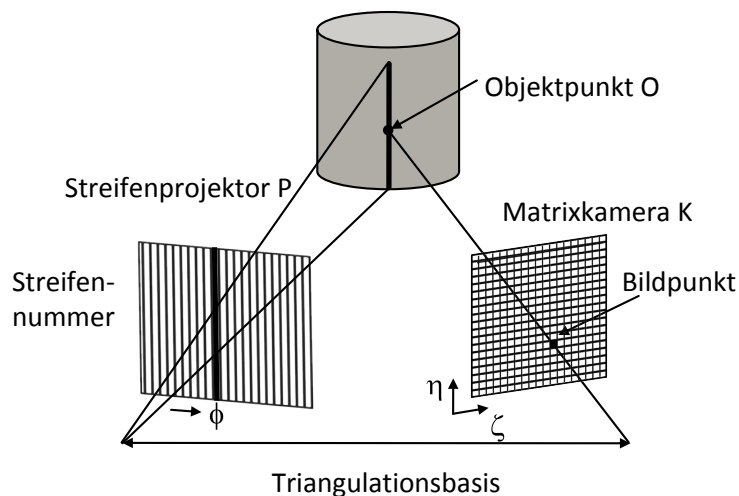


Abb. 4.16: Grundprinzip der Streifenprojektion (Notni und Kühmstedt 2003)

Durch die Topographie der Objektoberfläche erscheint das Streifenmuster aus Sicht der Kamera deformiert. Diese seitliche Verformung der Linien wird von einer oder mehreren Kameras aufgenommen. Sie ist ein Maß für die Form des Objektes. Nachdem an allen Messpunkten mehrere Intensitäten aufgenommen wurden, werden für die gesamten Messpunkte die Phasenwerte berechnet.

Daraus ergeben sich unter Kenntnis der Geräteparameter die gewünschten Koordinaten (x_M, y_M, z_M) des Objektpunktes O (Breuckmann 1993, Luhmann 2003, Kühmstedt und Notni 2005, Notni 2005). Die flächenhafte Antastung eines Objektes mittels strukturierter Beleuchtung erlaubt eine schnelle optische 3D-Vermessung komplexer und ausgedehnter Oberflächen.

4.4.4 Selbstkalibrierung - Methode der Phasogrammetrie

Selbstkalibrierung bezeichnet die Kalibrierung im Messprozess selbst, Koordinaten und Systemparameter, welche das Messsystem beschreiben, werden simultan zur Formvermessung des Objektes ermittelt. Hierbei werden mehr Messdaten gewonnen, als zur reinen Berechnung der Objektgeometrie, bei bekannten Systemparametern, notwendig sind. Daraus resultiert eine ausgezeichnete Langzeitstabilität sowie eine Unempfindlichkeit des Messsystems gegenüber zeitlichen Instabilitäten wie Temperaturschwankungen, Vibrationen, usw.

Die Selbstkalibrierung kann nach der Methode der Phasogrammetrie umgesetzt werden (Schreiber und Notni 2000), welche am Fraunhofer Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik (IOF) entwickelt wurde (Schreiber und Notni 2000). Unter Phasogrammetrie versteht man die mathematisch geschlossene Verschmelzung der Photogrammetrie und der Streifenprojektion (Luhmann 2003).

Das Grundprinzip besteht in der Vermessung eines Objektes aus mindestens zwei unterschiedlichen Positionen mit jeweils zwei Serien von Mustersequenzen, die auf das Objekt projiziert werden. Die zweite Phase wird dabei um einen Winkel von 90° zur ersten Phase verdreht, während die bildaufzeichnende Kamera ortsfest in Bezug auf das Objekt verbleibt (Abb. 4.17).

Für jeden Messpunkt ist bekannt, von welcher Spalte und von welcher Zeile, also von welchem Projektorpixel, er beleuchtet wird. Jeder Objektpunkt wird daher durch mindestens vier Phasenwerte signalisiert (Notni und Kühmstedt 2003, Kühmstedt und Notni 2005).

Die am Objektpunkt M gemessenen Phasenwerte $\delta_x^{(i)}$ und $\delta_y^{(i)}$ und ihre zugehörigen Projektionszentren $O_p^{(i)}$ definieren räumliche Strahlenbündel, die in gleicher Weise wie photogrammetrische Strahlenbündel zur Koordinatenberechnung genutzt werden (Kühmstedt und Notni 2005).

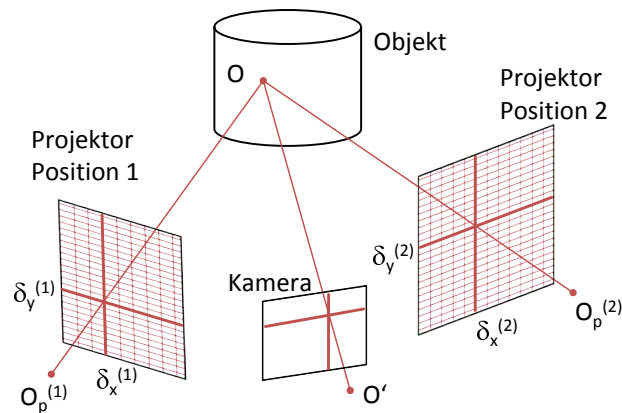


Abb. 4.17: Geometrisches Aufnahmемодell der Phasogrammetrie (Luhmann 2003, Kühmstedt und Notni 2005)

Phasogrammetrische Messsysteme können zur Rundumvermessung erweitert werden, indem das Objekt mit mehreren Projektoren aufeinanderfolgend aus unterschiedlichen Richtungen beleuchtet und von einer Kamera sequentiell oder mehreren Kameras parallel aus unterschiedlichen Ansichten aufgenommen wird (Schreiber und Notni 2000, Osten und Jüptner 2001, Notni und Kühmstedt 2003, Kühmstedt und Notni 2005).

4.4.5 Farberfassung

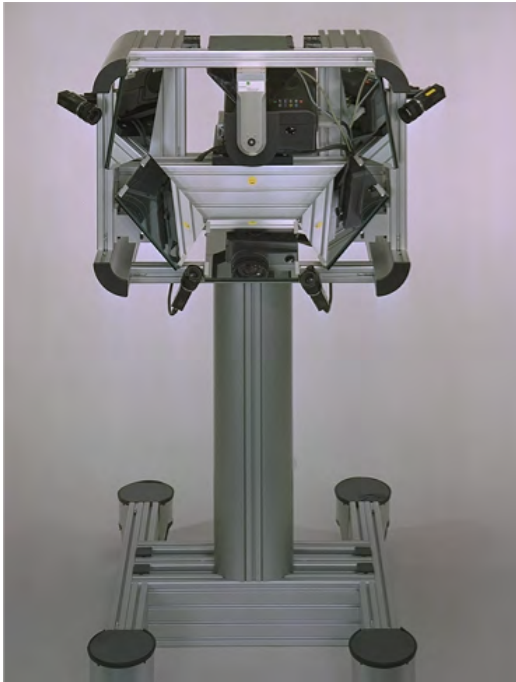
Nicht allein die Formerfassung eines Objektes ist für die visuelle Charakterisierung wichtig, sondern auch die Oberflächenfarbe. Die Aufnahme mittels Farbkamera führt am einfachsten zur Darstellung von Farbinformationen. Ihre Verwendung verursacht in der 3D-Messtechnik jedoch verschiedene Schwierigkeiten (z.B. deutlich schlechtere Auflösung bei gleicher Pixelanzahl, sehr kostenintensiv bei technisch gleichwertigen Auflösungsparametern). Aufgrund dieser Gegebenheit werden Monochromkameras in Kombination mit farbiger Beleuchtung angewandt (Notni et al. 2003b). Die Verfahren der Phasogrammetrie und der Farbaufnahme mit Monochromkameras können kombiniert werden und man erhält die gleichen Daten wie beim Gebrauch einer Farbkamera (Notni et al. 2003b).

Die Farbe eines Objektmesspunktes kann man durch drei unabhängige Farbintensitäten, z.B. im RGB-System durch Rot-, Grün- und Blauintensitäten, angeben. Die Farbe kann damit als ein Vektor in einem dreidimensionalen Farbraum verstanden werden. Digitale Projektoren auf der Basis von LCDs, DMDs, LCoS oder OLED-Mikrodisplays sind geeignet, farbige Sequenzen zu projizieren (Notni und Kühmstedt 2003, Notni et al. 2004, Notni et al. 1999), so ist die Grundlage zur Aufnahme farbiger Objekte mit Monochromkameras gegeben. Während der Messaufnahme wird das Objekt über den Projektor mit farbigen unstrukturierten Licht beleuchtet. Um eine möglichst reale Farbwiedergabe der Objektoberfläche zu erhalten, muss das Grundprinzip an die verwendete Hardware angepasst und unempfindlich gegenüber Änderungen der Umgebungsbedingungen gemacht werden. Der Einfluss des Umgebungslichtes wird eliminiert, indem neben drei Farbbildern ein Dunkelbild ohne Beleuchtung aufgezeichnet und anschließend von den Farbbildern subtrahiert wird. So entsteht ein Echtfarbbild für jede Projektorposition. Im Projektor wird Farbbilderzeugung unter Anwendung des CMY-Farbraumsystems (Cyan/Magenta/Yellow - subtraktive Farbzusammensetzung) realisiert. Dies wirkt sich begünstigend auf die visuelle Qualität der umgesetzten Farben aus, da die projizierte Intensität pro Farbe doppelt so hoch, die Verstärkung nur halb so groß und damit das Rauschen kleiner ist als unter Nutzung des RGB-Systems (Rot/Grün/Blau - additive Farbzusammensetzung). Um RGB-Farben zu erhalten, wird eine Farbtransformation verwendet. Aus den aufgenommenen Echtfarbbildern werden abschließend die endgültigen Farbwerte der Messpunkte berechnet. Somit ist jeder Datenpunkt eines gemessenen Objektes durch drei Koordinaten, welche seine Position im Raum wiedergeben, und drei Farbbilder definiert (Notni et al. 2003b).

4.4.6 Gscan

Basierend auf der Methode der Phasogrammetrie können unterschiedliche applikationsspezifische Systeme umgesetzt werden, wobei man zwischen stationären und mobilen Systemen der Gerätefamilie *kolibri* differenzieren kann.

Zur optischen Vermessung von Gesichtern wird das Messsystem *Gscan* eingesetzt, aus dessen Anwendung sich die Namensgebung ableitet [Abb. 4.18(a) und 4.18(b)]. Der *Gscan* ist ein mobiler 3D-Scanner, der den Messgeräten der *kolibri*-Familie zuzuordnen ist (Notni und Kühmstedt 2002).



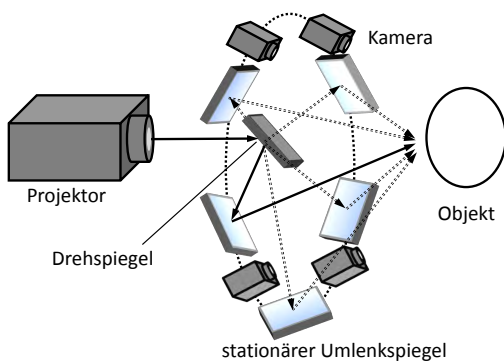
(a) Das Vier-Kamera-Messsystem



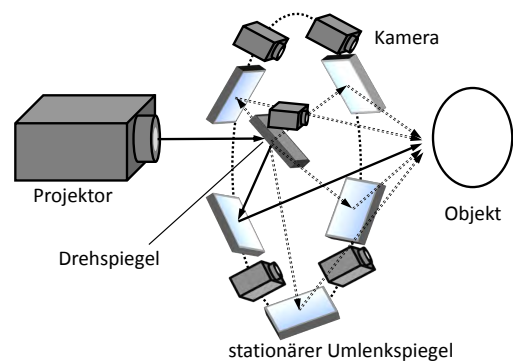
(b) Das Fünf-Kamera-Messsystem

Abb. 4.18: 3D-Messsystem *Gscan* (IOF)

Er besteht im Grundaufbau aus einem Projektor, einem Drehspiegel M_1 , fünf stationären Umlenkspiegeln und vier Kameras [Abb. 4.18(a)]. In der aktuellen Modellserie des *Gscan* sind fünf Kameras installiert. Die fünfte Kamera befindet sich in Höhe des Drehspiegels M_1 [Abb. 4.19(b)].



(a) Vier-Kamera-Messsystems



(b) Fünf-Kamera-Messsystems

Abb. 4.19: Grundanordnung des *Gscan*

Der gesamte Messkopf ist um die Achse der Projektionsrichtung dreh- und kippar (Abb. 4.20) (Kühmstedt und Notni 2005) und ermöglicht verschiedene Aufnahmepositionen am Patienten (Abb. 4.21(a) und 4.21(b)).

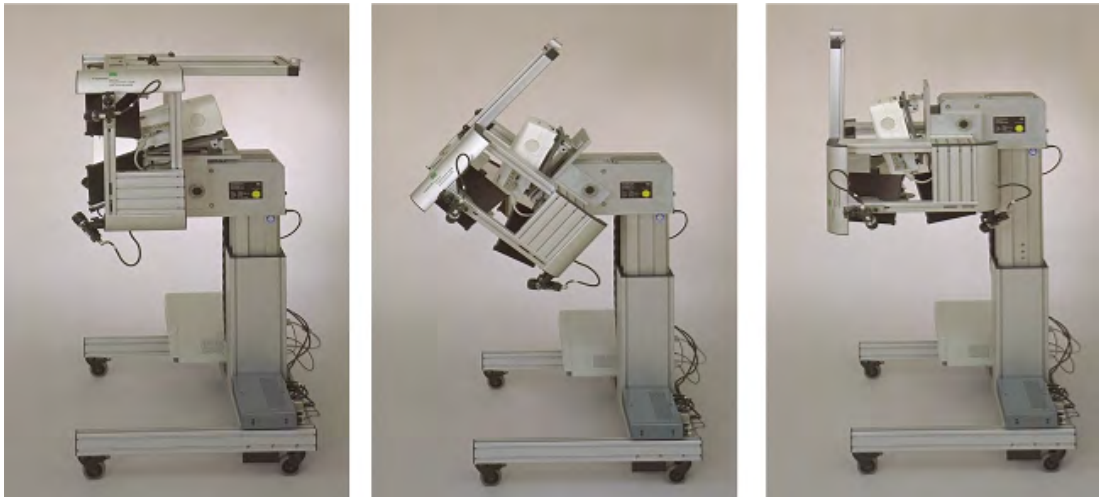
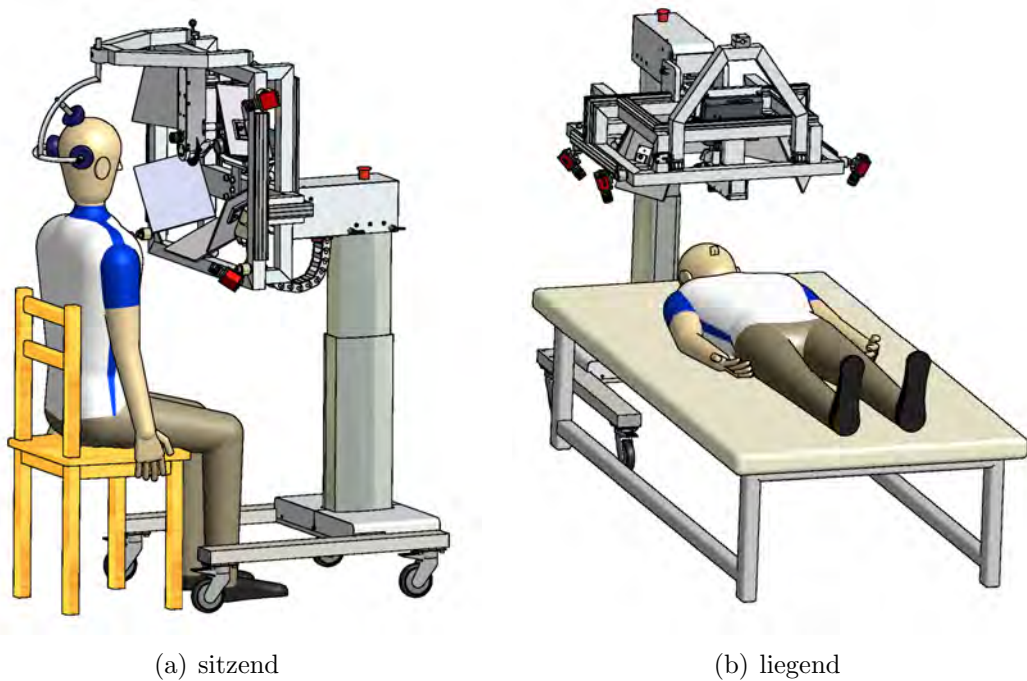


Abb. 4.20: Neigungsmöglichkeiten des *Gscan*-Messkopfes (IOF)



(a) sitzend

(b) liegend

Abb. 4.21: Aufnahmepositionen des Patienten (IOF)

Der Ablauf einer Messwertaufnahme folgt dem des *kolibri*-Messsystems (Abb. 4.22).

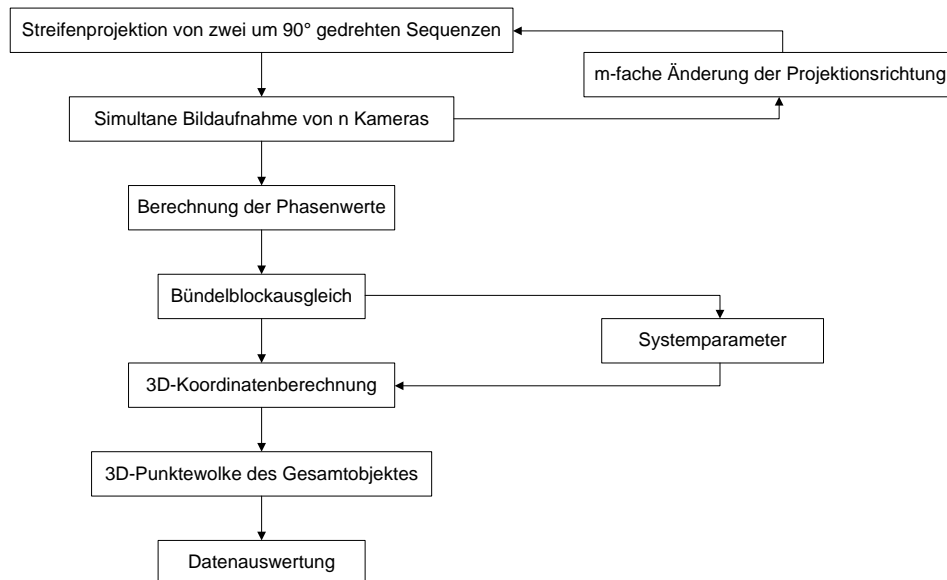


Abb. 4.22: Schematische Darstellung zum Ablauf einer Messung

Das Mehrbild-3D-Messsystem *Gscan* ist ein für die medizinische Anwendung entwickeltes Spezialgerät. Während der Messung sind die Kameras so angeordnet, dass sie wesentliche Teile der Kopf-Hals-Region erfassen. Vor der Messung sind die Kamerapositionen frei wählbar, sie haben jedoch in Bezug auf das Objekt einen festen Abstand. Die verschiedenen Beobachtungs- und Beleuchtungsrichtungen werden über den Drehspiegel M_1 und die stationären Umlenkspiegel verwirklicht. Vom Projektor werden Streifensequenzen über den Drehspiegel M_1 auf die zu vermessende Gesichtsoberfläche aus frei wählbaren Richtungen projiziert.

In der ersten Projektionsposition werden zwei senkrecht zueinander verlaufende Streifensequenzen über den Drehspiegel M_1 auf das Gesicht gelenkt. Kameras nehmen simultan die Bilder auf. Nach der Bildaufnahme wird die Projektionsrichtung verändert, indem sich der Drehspiegel M_1 in eine andere Winkelposition ausrichtet [Abb. 4.19(a)]. Es erfolgt erneut eine Projektion der Gittersequenzen auf das Gesicht bei simultaner Bildaufnahme aller Kameras. Der Aufnahmevorgang wiederholt sich innerhalb der Messung am *Gscan* insgesamt fünfmal, bis das Gesicht vollständig ausgeleuchtet und erfasst ist. Die Anzahl der Teilbilder wird durch die Zahl der angesteuerten Projektionspositionen sowie der Anzahl der Kameras bestimmt.

In der beschriebenen Messung wird das Gesicht aus fünf Richtungen beleuchtet und aus vier Ansichten beobachtet (Abb. 4.23). Aufgrund der geringen Drehspiegelmasse erfolgt das Umlenken des Spiegels in weniger als einer Sekunde. Ebenso ist die erreichbare Reproduzierbarkeit der Spiegelpositionen sehr hoch. Die Umsetzung der verschiedenen Projektionsrichtungen über den Drehspiegel M_1 und die fünf stationären Umlenkspiegel vermeidet zeitaufwendige Projektorbewegungen, wodurch eine deutlich kürzere Messzeit erreicht werden kann (Kühmstedt und Notni 2005), somit sind Messungen von 20 Sekunden möglich.

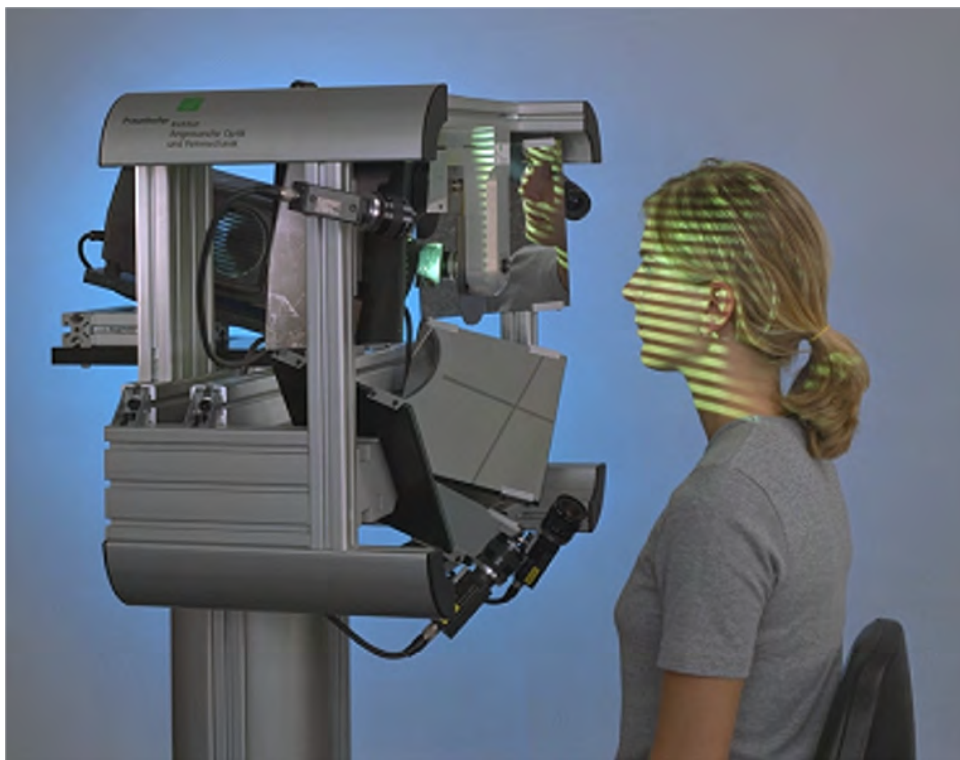


Abb. 4.23: Messaufnahme am Patienten (IOF)

Eine möglichst geringe Messzeit ist ausschlaggebend für die Belastungsminderung des Patienten. Er sollte während eines Messvorganges den Kopf ruhig halten, Zwinkern und Schlucken vermeiden, um Fehler innerhalb der Messdaten zu verhindern. Kritisch sind Bewegungen des Patienten vor allem während der Messwertaufnahme. Eine Selbstkalibrierung des *Gscan* simultan zur Messaufnahme des Patienten ist daher ungeeignet, da Ungenauigkeiten in der Selbstkalibrierung des Messsystems impliziert werden können. Folglich ist der Fehler einer Simultankalibrierung zu groß. Zur Problemlösung trägt eine Vorabkalibrierung bei, welche durch die genaue Reproduzierbarkeit der Spiegelpositionen ermöglicht wird.

Es wird vorab eine selbstkalibrierende Messung mit einem starren Objekt durchgeführt, welches ähnlich dem Gesicht positioniert wird. Die gewonnenen Kalibrierdaten werden gespeichert und in der nachfolgenden Messung am Patienten erneut angewandt.

Erst die Vorabkalibrierung ermöglicht stabile Messungen am Patienten. Fehlmessungen aufgrund von Kalibrierfehlern können vollständig eliminiert werden. Die technische Messgenauigkeit des *Gscan* liegt bei $50\ \mu\text{m}$. An Personen sind $100\text{-}200\ \mu\text{m}$ realisierbar. Dennoch bleibt der Patient der limitierende Faktor für die Messgenauigkeit des *Gscans*, da er kein starres Objekt darstellt. Körperbewegungen aber auch Vitalfunktionen wie Atmung und Puls sind nicht vollständig auszuschalten und wirken immer wie eine zusätzliche Rauschquelle.

Als Ergebnis der 3D-Messaufnahme des Gesichtes erhält man eine Punktwolke, die aus einer Verbindung aller aufgenommenen Daten der unterschiedlichen Messpositionen und ihrer Transformation in ein einheitliches globales Koordinatensystem resultiert (Notni et al. 2003b) (Abb. 4.24).

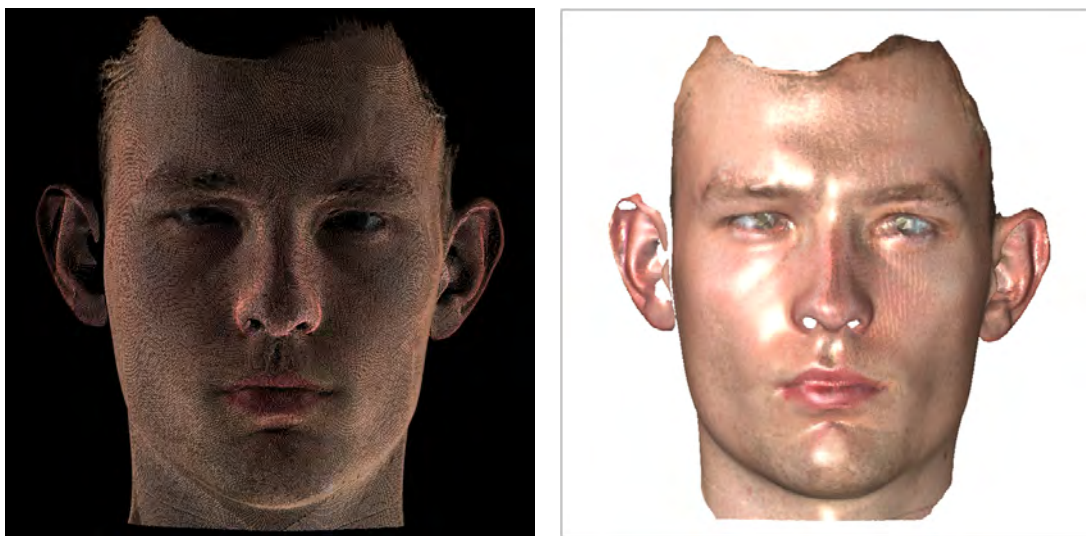


Abb. 4.24: 3D-Aufnahme eines Gesichtes (Punktwolke und STL-Datensatz)

Die Punktwolke besteht aus maximal so vielen Datenpunkten (Koordinatentripel) wie Kamerapixel, multipliziert mit den Messobjektansichten. Im angewandten Messsystem sind daher maximal $4\times (640 \times 480)$ Datenpunkte erfassbar, bei einem Volumen des Messfeldes von maximal $400\ \text{mm} \times 400\ \text{mm} \times 300\ \text{mm}$.

Einsatzmöglichkeiten bietet der *Gscan* vor allem in den Bereichen Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie, Plastische Chirurgie, Kieferorthopädie, Zahnersatzkunde, Epithetik, Unfallchirurgie und Hals-Nasen-Ohrenheilkunde.

In Verlaufsstudien lassen sich Veränderungen der Morphologie des Gesichtes durch Wachstum, kieferorthopädische/orthodontische und prothetische Therapie sowie durch chirurgische Behandlungsmaßnahmen detailliert auswerten. Weiterhin ist es erstrebenswert, eine Grundlage für die dreidimensionale Operationsplanung zu schaffen (Notni und Kühmstedt 2003, Notni und Kühmstedt 2002). Im Fachgebiet der Epithetik ist durch den *Gscan* eine Modernisierung der Produktionskette zu verzeichnen. Bisher erfolgte für die Herstellung von Epithesen eine Abformung der betroffenen Gesichtsregion mit einer entsprechenden Abformmasse. Dies führte aufgrund der Resilienz und Verschieblichkeit der Weichteile zu Ungenauigkeiten in der Passform der Epithese. Die Eigenschaften der Abformmassen tragen zusätzlich zu geringen Dimensionsunterschieden bei, was zur Randspaltbildung führt. Abgesehen von diesen Fehlerquellen ist die physische und psychische Belastung des Patienten enorm. (Reitemeier et al. 2004)

Mit dem *Gscan* dagegen erfolgt eine berührungslose Antastung der Gesichtsoberfläche. Die entstandene Punktwolke wird anschließend mit entsprechenden Software-Tools bearbeitet und zu einem Volumenmodell generiert, welches mit Hilfe eines 3D-Druckers in ein physisches Modell überführt wird. Dieses dient dem Epithetiker oder Zahntechniker als Arbeitsgrundlage zur Herstellung der Epithese. Diese Verfahrensweise ist unter anderem auch für die Herstellung einer patientenindividuellen Atemmaske und von Strahlenapplikatoren geeignet (Reitemeier et al. 2002).

4.5 Dreidimensionale Weichteilkephalometrie und Datenbearbeitung

Der *Gscan* erlaubte es, die Gesichtsoberfläche berührungslos, nicht-invasiv, ohne ionisierende Strahlung dreidimensional nach der Methode der Phasogrammetrie (Kap. 4.4.4) zu erfassen. Jeder Patient des vorhandenen Patientengutes (Kap. 4.1) wurde unmittelbar präoperativ, im Rahmen der Operationsplanung, und durchschnittlich $11 \pm 1,5$ Monate postoperativ eingescannt.

Eine 3D-Punktwolke der Gesichtsoberfläche entstand infolge der Antastung des Gesichtes durch Streifenprojektion, indem aus den Patches der vier Kameras eine Punktwolke in einem Koordinatensystem generiert wurde. Diese bestand aus maximal 4x (640 x 480) Datenpunkten. Zunächst wurde sie in Falschfarben wiedergegeben, man konnte jedoch Echtfarbinformationen integrieren. Die Erstdarstellung und -bearbeitung der Punktwolke erfolgte in dem speziellen Software-Programm *Argus Version 3.32*. Typische Arbeitsschritte wie Skalierung und Komprimierung des Datensatzes, Integration von Echtfarben, Überlappung identischer Datenpunkte aus unterschiedlichen Patches nach Qualität sowie Rotation, Translation und Zoomen des Datensatzes wurden ausgeführt.

Um aus der Punktwolke ein Volumenmodell zu erstellen, waren weitere Bearbeitungsvorgänge in einer anderen Software notwendig. Der zuvor im Argus erstellte Datensatz wurde in das Programm *Geomagic Studio 6 (Raindrop Geomagic, Inc.)* transformiert. Die ersten Arbeitsschritte gliederten sich in Selektion und Löschen von Ausreißerpunkten, Rauschreduktion, Punktreduktion (Ausdünnung), Triangulation der Datenpunkte zu einem Volumenmodell. Diese wurden aufeinanderfolgend durch ein Makro-File ausgeführt. Das entstandene Volumenmodell des Gesichtes vermittelte ein nahezu photorealistisches Bild. Zur weiterführenden digitalen Bearbeitung des Datensatzes standen unterschiedliche Software-Tools zur Verfügung:

- Rotation, Translation, Zoom
- Monochrom-Farbeinsatz
- Clean-Funktionen von fehlerhaften Flächen und Funktionen zum Ersetzen durch reguläre Flächen
- Glätten von Konturen und Grenzen
- Rauschreduktion und Oberflächengenerierung
- Photodokumentation

Die prä- und postoperative Messaufnahme der untersuchten Patienten wurden separat nach diesem Schema aufbereitet. Anschließend wurde der dreidimensionale Differenzvergleich des prä- und postoperativen Datensatzes zueinander angestrebt, wobei die präoperative Aufnahme immer als Referenz gesetzt wurde.

Das prä- und postoperative Volumenmodell wurden in das dafür ausgelegte Software-Programm *Geomagic Qualify 7 (Raindrop Geomagic, Inc.)* übertragen.

Um ein 3D-Differenzbild zu erstellen, mussten beide Datensätze in einem Bereich ohne Weichteilveränderung überlagert werden. Bei den untersuchten Patienten wurde die Stirnregion und die obere Hälfte des Nasenrückens ausgewählt, da sie unbeeinflusst von der orthognathem Chirurgie blieben. Außerdem war die Weichteildicke sehr gering, so dass keine oder minimalste Abweichungen der Weichteile ohne knöchernen Veränderungen zu erwarten waren. Diese Strukturen wurden manuell selektiert, um die beiden Datensätze übereinander matchen zu können. Darauffolgend wurde die präoperative Aufnahme als Referenz gesetzt und der 3D-Vergleich gestartet. Resultierend erhielt man farbkodiertes Volumenmodell der präoperativen Gesichtsoberfläche. Unter Anwendung des Tools *Create Annotations* konnten auf der farbkodierten dreidimensionalen Gesichtsoberfläche definierte kephalometrische Weichteilreferenzpunkte (Tab. 4.2) markiert werden.

Dreidimensionale Weichteilreferenzpunkte		
Referenzpunkt	Symbol	Bedeutung
Glabella	g	anteriorster Punkt der frontoorbitalen Weichteilkontur in der Mediansagittalebene
Nasion	n	Punkt an der Nasenwurzel auf Höhe der frontonasalen Sutur in der Mediansagittalebene
Zygion	zy	lateralster Punkt des Arcus zygomaticus
Pronasale	prn	ventralster Punkt der Nasenspitze in der Mediansagittalebene
Subnasale	sn	Mittelpunkt der nasolabialen Kontur zwischen Columella und Oberlippe in der Mediansagittalebene
Subspinale	ss	dorsalster Punkt des Philtrums in der Mediansagittalebene
Labrale superius	ls	Mittelpunkt der Lippenrotgrenze der Oberlippe
Stomion	sto	Mittelpunkt der Lippenschlusslinie
Cheilion	ch	lateralster Punkt der Lippenschlusslinie
Labrale inferius	li	Mittelpunkt der Lippenrotgrenze der Unterlippe
Sublabiale	sl	posteriorster Punkt der labiomentalen Kontur in der Mediansagittalebene
Pogonion	pg	anteriorster Punkt des Kinns in der Mediansagittalebene
Menton	me	kaudalster Punkt der Kinnkontur in der Mediansagittalebene
Mittelpunkt	mp	Mittelpunkt zwischen den Weichteilreferenzpunkten Zygion und Cheilion einer Gesichtshälfte

Tab. 4.2: Definition dreidimensionaler Weichteilpunkte zur kephalometrischen Analyse (Swennen et al. 2006)

Im Gegensatz zur zweidimensionalen Weichteilanalyse (Kap. 2.2) konnten die Referenzpunkte in sagittaler, transversaler und vertikaler Richtung gesetzt und definiert werden. Im Rahmen der Unterkiefervor- und Unterkiefrückverlagerung waren vor allem die Punkte Stomion, Labrale inferius, Sublabiale, Pogonion und Menton von Interesse, da sie im unmittelbaren anatomischen Bezug zur Mandibula standen. Gleichzeitig wurde der geradlinige Abstand von Punkt zu Punkt zwischen prä- und postoperativen Weichteilpunkt vermessen und angegeben. Verschiedene Farben charakterisierten das Ausmaß der Weichteilveränderungen in Millimetern (Abb. 4.25). Blautöne markierten das Ausmaß der Weichteilveränderungen nach posterior, Gelb- und Rottöne standen für eine Verlagerung nach anterior.

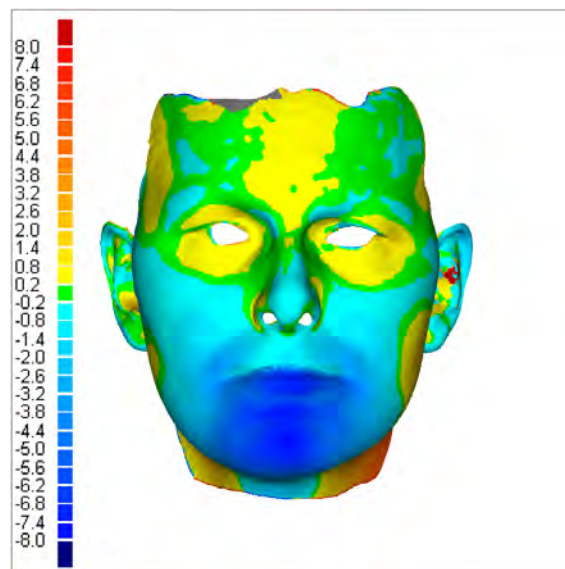


Abb. 4.25: Dreidimensionales Differenzbild des Gesichtes en face

Alle Weichteilpunkte wurden *step by step* ermittelt. Die Positionierung eines jeden Punktes erfolgte sowohl auf jeder Profilstseite als auch von frontal (Swennen et al. 2006). Die Markierung der Weichteilpunkte sowie die Erfassung der verschiedenen Differenzen wurden von einer Person unter gleichen Bedingungen an jedem Patienten zweimal im Abstand von zwei bis drei Wochen vorgenommen, um Memoryeffekte zu verhindern und um die Validität und Reproduzierbarkeit der Untersuchung zu sichern.

Außerdem wurde in der vorliegenden Arbeit die Profilansicht der dreidimensionalen Bilddaten der Patienten genutzt, um anhand der Weichteilkontur den prä- und postoperativen Gesichtstyp nach A. M. Schwarz (Kap. 2.2, Tab. 2.6) zu ermitteln.

4.6 Statistische Methoden

Für die deskriptive Statistik und die induktiven Tests wurden die Software-Programme SPSS 14.0, Origin.Pro 6.0 und Microsoft Excel verwendet.

Nachfolgend gilt das Ergebnis als statistische signifikant, wenn $p < 0,05$.

4.6.1 Messfehler nach Dahlberg

Zu Beginn der deskriptiven Statistik wurden die Veränderungen der kephalometrischen Weichteilpunkte (Tab. 4.2) am Differenzvergleich zweimal im Zeitraum von ein bis zwei Wochen von einer Person unter gleichen Bedingungen gesetzt, um den systematischen Mess- und Methodenfehler der Auswertung zu überprüfen. Die Differenzwerte an den verschiedenen Weichteillandmarken wurden über eine geradlinige Punkt-zu-Punktmessung zwischen prä- und postoperativen Zustand ermittelt. Aus diesen Messwerten wurde das arithmetische Mittel für jeden Patienten und jeden Weichteilpunkt bestimmt. Diese Mittelwerte wurden für die statistische Auswertung genutzt.

Die zugehörige Größe des Messfehlers δ errechnete sich nach Dahlberg (Dahlberg 1940) gemäß der Formel:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum d^2}{2n}},$$

wobei d die Differenz der Einzelmesswerte und n die Größe des Patientengutes symbolisierten.

Zusätzlich war zu beachten, dass der *Gscan* am menschlichen Gesicht mit einer Genauigkeit von 0,2 mm für jede Messwertaufnahme zu spezifizieren ist.

4.6.2 Kolmogorov-Smirnov-Test

Der Kolmogorov-Smirnov-Test ist ein nichtparametrischer Test, der die Normalverteilungsannahme einer Stichprobe überprüft und zudem für einen kleinen Stichprobenumfang geeignet ist. Er wurde als Voraussetzungstest für die multivariate Kovarianzanalyse durchgeführt. Es wurden für alle Kriterien (Weichteilveränderungen) und den Prädiktor (Ausmaß der Unterkieferosteotomie) geprüft, ob Normalverteilungen

der einzelnen Weichteilreferenzpunkte des männlichen und weiblichen Patientengutes bei Unterkiefervor- und Unterkieferrückverlagerung gegeben waren.

Es lagen in keiner der Patientengruppen statistisch signifikante Abweichungen von der Normalverteilungsannahme vor.

4.6.3 Geschlechtsspezifische Analyse

Anhand der multivariaten Kovarianzanalyse wurde geprüft, ob in den Patientengruppen Unterkiefervor- und Unterkieferrückverlagerung geschlechtsspezifische Unterschiede an den erhobenen kephalometrischen Landmarken auftreten. Als Kovariate diente das mittlere Ausmaß der Umstellungsosteotomie. Geprüft wurde das vollständige Modell mit Interaktionseffekt.

4.6.4 Analyse der Weichteilveränderungen

Die vorliegende Arbeit soll die Abhängigkeit der Weichteilveränderung zum Ausmaß der Umstellungsosteotomie der Mandibula darlegen. Als Zusammenhang zwischen dem Kriterium (Weichgewebeveränderung y) und dem Prädiktor (Ausmaß der knöchernen Verlagerung im Unterkiefer x) wurde eine lineare Funktion

$$y = A + Bx$$

angenommen. Die lineare Regressionsanalyse berechnet die Parameter Nullpunktverschiebung A und Anstieg der Geraden B mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate und ihre Standardabweichung (SA). Das Bestimmtheitsmaß R^2 beschreibt, welcher Prozentsatz der Varianz der Veränderung der abhängigen Variable (Weichteilveränderung) auf den Prädiktor (knöcherne Verlagerung des Unterkiefers) zurückzuführen ist. Der Determinationskoeffizient R^2 liefert für Gruppenvorhersagen gute Werte, aber bei individuellen Prognosen treten große Unsicherheiten auf. In der folgenden Auswertung wurde daher zusätzlich das korrigierte Bestimmtheitsmaß R_{adj}^2 angegeben, welches die Anzahl der Patienten berücksichtigt. Es dient als Populationsschätzer und korrigiert das Maß leicht nach unten.

5 Ergebnisse

5.1 Messfehler nach Dahlberg

Die errechneten Dahlberg-Fehler (Tab. ??) der einzelnen Weichteilparameter spiegelten den systematischen Mess- und Methodenfehler zwischen den beiden Einzelmessungen der Differenzvergleiche aller Patienten wider. Sie waren von geringer Größe und lagen bei Werten von 0,04 mm am Pronasale und 0,14 mm am Cheilionpunkt links.

Weichteilreferenzpunkt	Dahlberg-Fehler in mm
Glabella	0,05
Nasion	0,05
Zygion rechts	0,07
Zygion links	0,07
Pronasale	0,04
Subnasale	0,10
Subspinale	0,07
Labrale superius	0,07
Stomion	0,11
Cheilion rechts	0,11
Cheilion links	0,14
Labrale inferius	0,07
Sublabiale	0,09
Pogonion	0,08
Menton	0,07
Mittelpunkt rechts	0,09
Mittelpunkt links	0,07

Tab. 5.1: Dahlberg-Fehler der einzelnen Weichteilparameter im Differenzvergleich

5.2 Geschlechtsspezifische Analyse

Sowohl für die Unterkiefervorverlagerung als auch für die Unterkieferrückverlagerung wurden multivariate Kovarianzanalysen der verschiedenen Weichteilparameter und dem gemittelten Ausmaß der Unterkieferosteotomie gruppiert nach dem Geschlecht der Patienten berechnet, um zu ermitteln, ob weitere Untersuchungen geschlechtsspezifisch eingeteilt werden müssen.

Unterkiefervorverlagerung

Die multivariaten Kovarianzanalysen der weiblichen und männlichen Patienten mit Unterkiefervorverlagerung zeigten weder statistisch signifikante Unterschiede der Weichteilveränderungen im Haupteffekt bei $p = 0,57$; $F_{1,14}=1,54$ noch im Interaktionseffekt bei $p = 0,83$; $F_{1,14}=0,49$.

Unterkieferrückverlagerung

Die multivariaten Kovarianzanalysen der weiblichen und männlichen Patienten mit Unterkieferrückverlagerung wiesen sowohl im Haupteffekt bei $p = 0,19$; $F_{1,13}=17,18$ als auch im Interaktionseffekt bei $p = 0,44$; $F_{1,13}=2,79$ keine statistisch signifikanten Unterschiede der Weichteilveränderungen auf.

Auf Grundlage der Ergebnisse wurde entschieden, dass bei beiden Patientengruppen keine geschlechtsspezifischen Differenzierungen in den nachfolgenden Analysen zu berücksichtigen waren.

5.3 Analyse der Weichteilveränderungen

Durchgeführt wurde eine lineare Regressionsanalyse, wobei die Kriteriumsvariable die Weichteilveränderung und der Prädiktor das Ausmaß der knöchernen Verlagerung der Mandibula darstellten. Sie wurde an jedem Weichteilreferenzpunkt für das gesamte Patientengut berechnet. Unterkiefervor- und Unterkieferrückverlagerung wurden unabhängig voneinander betrachtet.

Unterkiefervorverlagerung

Die Weichgewebeveränderungen im Bezug zur Umstellungsosteotomie der Mandibula waren an den Punkten Stomion, Cheilion links, Labrale inferius, Sublabiale, Pogonion und Menton statistisch signifikant (Tab. ?? und Abb. ??). Die Varianzen der Weichteilveränderungen waren zu 24-55% abhängig vom Ausmaß der Osteotomie und wurden durch R^2 beschrieben.

Weichteilreferenzpunkte	Dreidimensionale Weichteilveränderung		p – Wert	R^2	R^2_{adj}
	$A \pm SA_A [mm]$	$B \pm SA_B$			
Glabella	-0,05±0,28	0,01±0,05	0,79	0,01	-0,06
Nasion	-0,06±0,31	0,01±0,05	0,82	0,01	-0,06
Zygion rechts	0,40±0,33	-0,04±0,06	0,43	0,04	-0,02
Zygion links	-0,22±0,25	0,05±0,04	0,25	0,08	0,03
Pronasale	-0,60±0,42	0,07±0,08	0,38	0,05	-0,01
Subnasale	-0,68±0,43	0,08±0,08	0,32	0,06	0,00
Subspinale	-0,87±0,58	0,08±0,10	0,45	0,04	-0,02
Labrale superius	-2,09±0,71	0,21±0,13	0,11	0,15	0,10
Stomion	-2,09±0,89	0,44±0,16	0,01*	0,33	0,29
Cheilion rechts	-0,85±1,15	0,22±0,20	0,28	0,07	0,02
Cheilion links	-1,66±0,79	0,32±0,14	0,03*	0,26	0,21
Labrale inferius	-2,06±0,71	0,55±0,13	< 0,01*	0,55	0,52
Sublabiale	0,94±0,90	0,45±0,16	0,01*	0,33	0,28
Pogonion	0,50±1,22	0,49±0,22	0,04*	0,24	0,20
Menton	1,05±1,13	0,49±0,20	0,03*	0,27	0,23
Mittelpunkt rechts	0,83±0,44	-0,14±0,07	0,08	0,18	0,13
Mittelpunkt links	-0,23± 0,58	0,03±0,10	0,75	0,01	-0,06

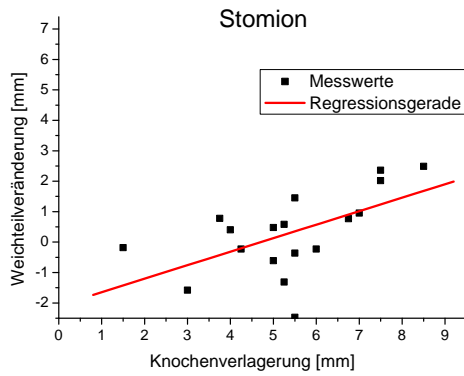
* - statistisch signifikant

A - Konstante

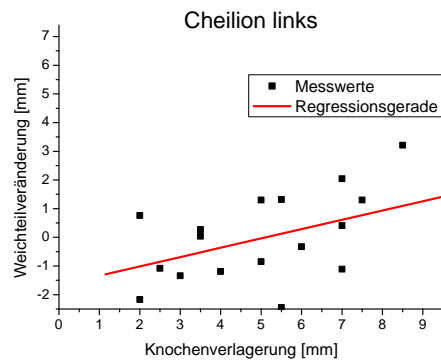
B - Prädiktorgewicht

SA - Standardabweichung

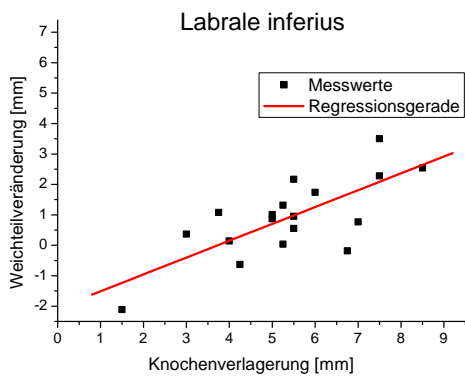
Tab. 5.2: Regressionswerte der Weichteilveränderungen bei Unterkiefervorverlagerung



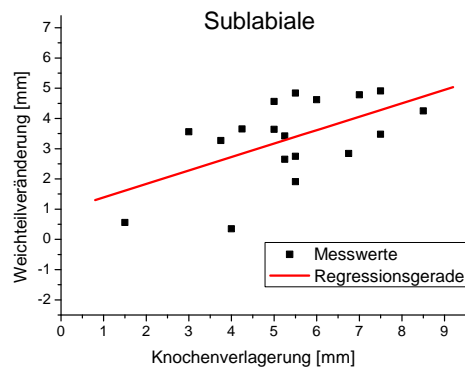
(a) Stomion



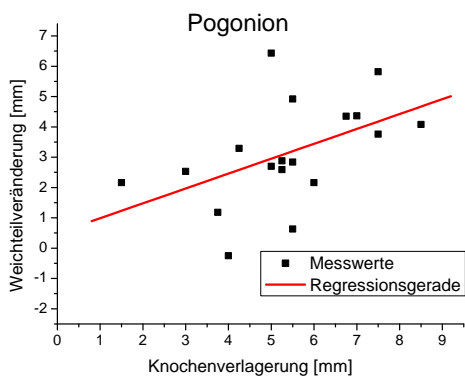
(b) Cheilion links



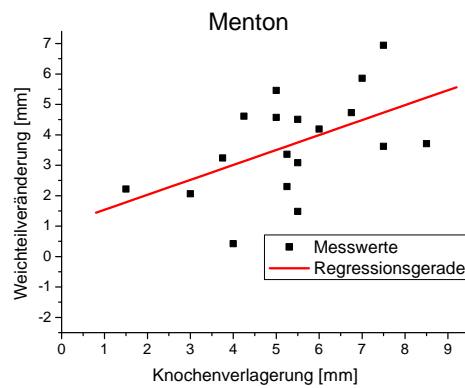
(c) Labrale inferius



(d) Sublabiale



(e) Pogonion



(f) Menton

Abb. 5.1: Graphische Darstellung der linearen Regressionsanalysen der wichtigsten Weichteilreferenzpunkte bei Unterkieferverlagerung

Unterkieferrückverlagerung

Statistisch signifikante Weichteilveränderungen in Abhängigkeit zum Ausmaß der knöchernen Umstellung zeigten sich an den Punkten Cheilion links, Labrale inferius, Sublabiale, Pogonion und Menton (Tab. ?? und Abb. ??). Die Varianzen der Weichteilveränderungen wurden zu 33-54% von der Umstellungsosteotomie der Mandibula beeinflusst und waren durch R^2 charakterisiert.

Weichteilreferenzpunkte	Dreidimensionale Weichteilveränderung		p – Wert	R^2	R^2_{adj}
	$A \pm SA_A [mm]$	$B \pm SA_B$			
Glabella	0,25±0,16	0,02±0,03	0,46	0,04	-0,03
Nasion	0,21±0,14	0,02±0,03	0,50	0,03	-0,03
Zygion rechts	0,93±0,60	0,12±0,10	0,22	0,11	0,04
Zygion links	0,31±0,41	0,12±0,09	0,16	0,13	0,07
Pronasale	0,63±0,27	0,08±0,05	0,12	0,15	0,10
Subnasale	0,78±0,46	0,14±0,09	0,11	0,16	0,10
Subspinale	0,29±0,57	0,08±0,11	0,45	0,04	-0,03
Labrale superius	0,13±0,76	0,13±0,14	0,39	0,05	-0,01
Stomion	0,43±1,23	0,41±0,23	0,09	0,18	0,13
Cheilion rechts	0,64±1,41	0,40±0,23	0,10	0,18	0,12
Cheilion links	-0,34±0,80	0,41±0,15	0,02*	0,33	0,28
Labrale inferius	-1,28±0,92	0,55±0,17	< 0,01*	0,41	0,37
Sublabiale	-1,00±0,88	0,69±0,16	< 0,01*	0,54	0,51
Pogonion	-0,35±0,95	0,70±0,18	< 0,01*	0,51	0,48
Menton	-0,46±0,95	0,71±0,18	< 0,01*	0,52	0,49
Mittelpunkt rechts	0,99±0,51	0,18±0,08	0,05	0,25	0,20
Mittelpunkt links	-0,01± 0,30	0,05±0,06	0,40	0,05	-0,02

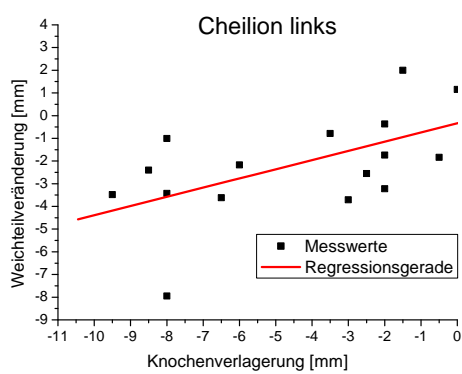
* - statistisch signifikant

A - Konstante

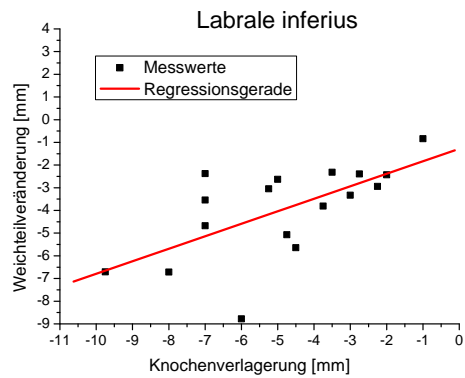
B - Prädiktorgewicht

SA - Standardabweichung

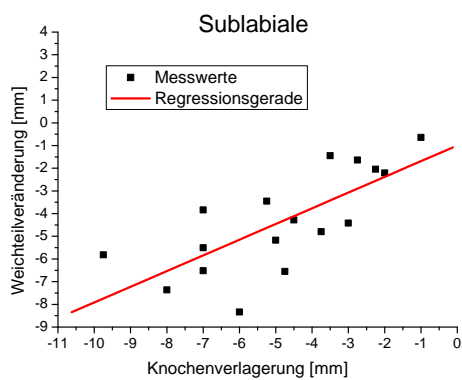
Tab. 5.3: Regressionswerte der Weichteilveränderungen bei Unterkieferrückverlagerung



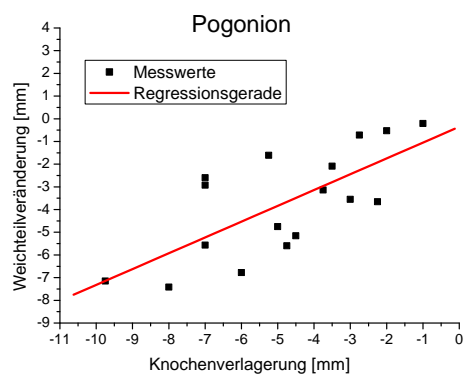
(a) Cheilion links



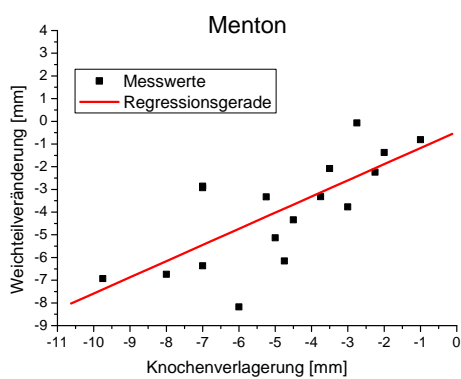
(b) Labrale inferius



(c) Sublabiale



(d) Pogonion



(e) Menton

Abb. 5.2: Graphische Darstellung der linearen Regressionsanalysen der wichtigsten Weichteilreferenzpunkte bei Unterkieferrückverlagerung

5.4 Patientenbeispiele

Unterkiefervorverlagerung - Patient 1



Abb. 5.3: Dreidimensionale prä- und postoperative en face-Aufnahme einer Patientin mit Unterkiefervorverlagerung

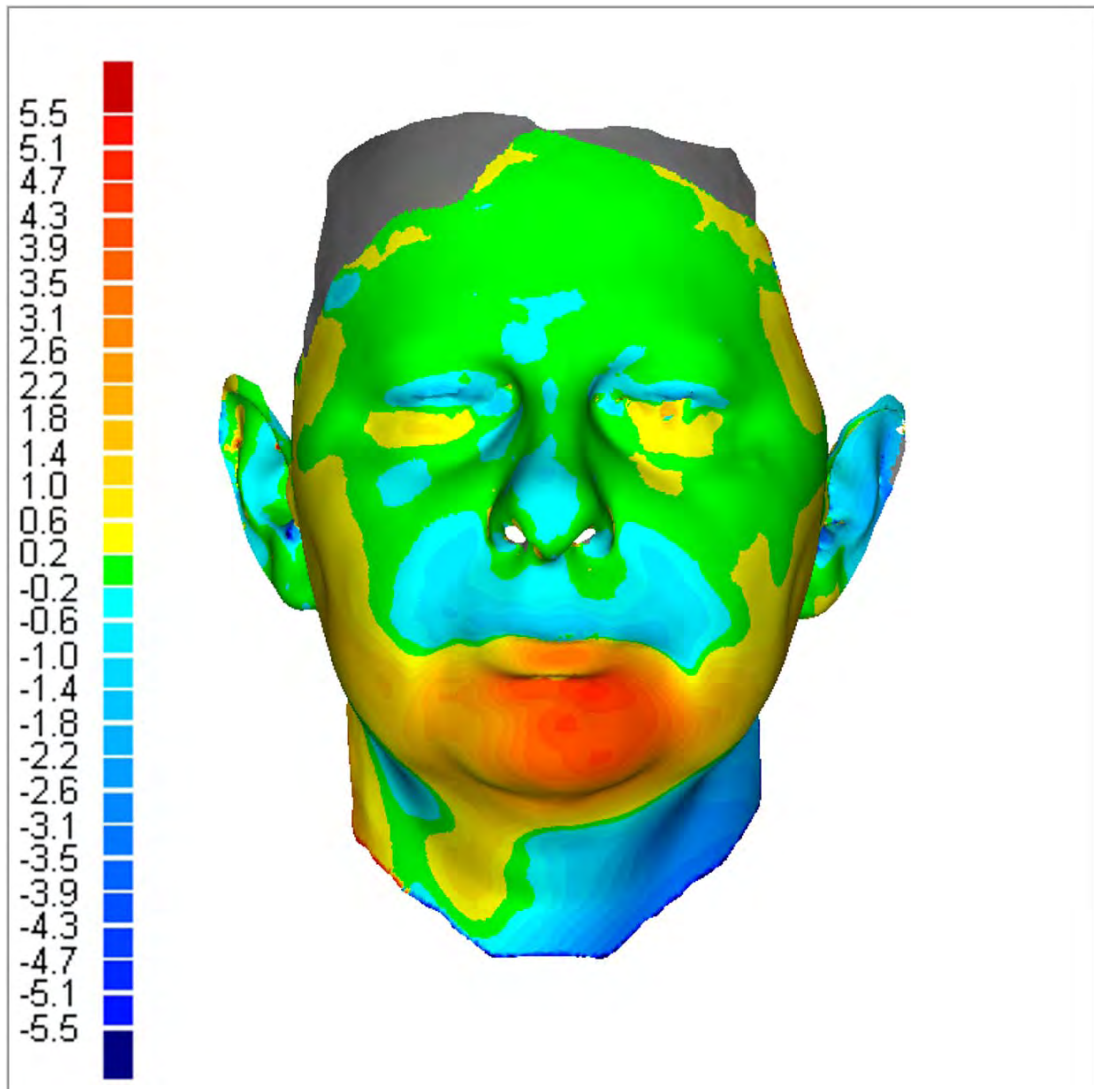
Unterkiefervorverlagerung - Patient 1



Abb. 5.4: Dreidimensionale präoperative Aufnahme des Gesichtes einer Patientin mit einer Dysgnathie der Angle-Klasse II

Abb. 5.5: Dreidimensionale postoperative Aufnahme des Gesichtes einer Patientin 8 Monate nach Unterkiefervorverlagerung

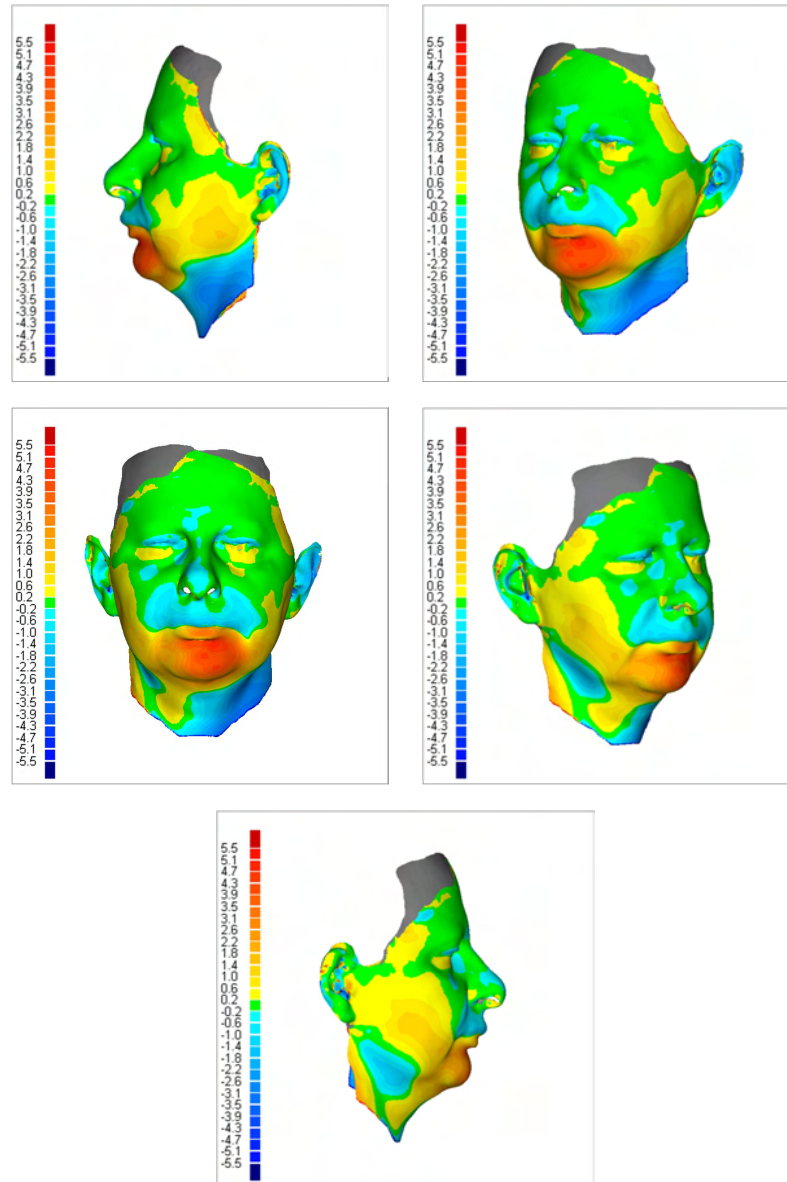
Unterkiefervorverlagerung - Patient 1



Das Differenzbild ergibt sich aus der Messung der Weichteilveränderungen zwischen dem prä- und postoperativen Datensatz. Die präoperative Messaufnahme wird als Referenz gesetzt. Verschiedene Farben charakterisieren das Ausmaß der Weichteilveränderungen in Millimetern.

Abb. 5.6: En face-Ansicht des Differenzbildes einer Patientin mit Unterkiefervorverlagerung

Unterkiefervervorverlagerung - Patient 1



Das Differenzbild ergibt sich aus der Messung der Weichteilveränderungen zwischen dem prä- und postoperativen Datensatz. Die präoperative Messaufnahme wird als Referenz gesetzt. Verschiedene Farben charakterisieren das Ausmaß der Weichteilveränderungen in Millimetern.

Abb. 5.7: Ansichten des Differenzbildes einer Patientin mit Unterkiefervervorverlagerung

Unterkiefervervorlagerung - Patient 2

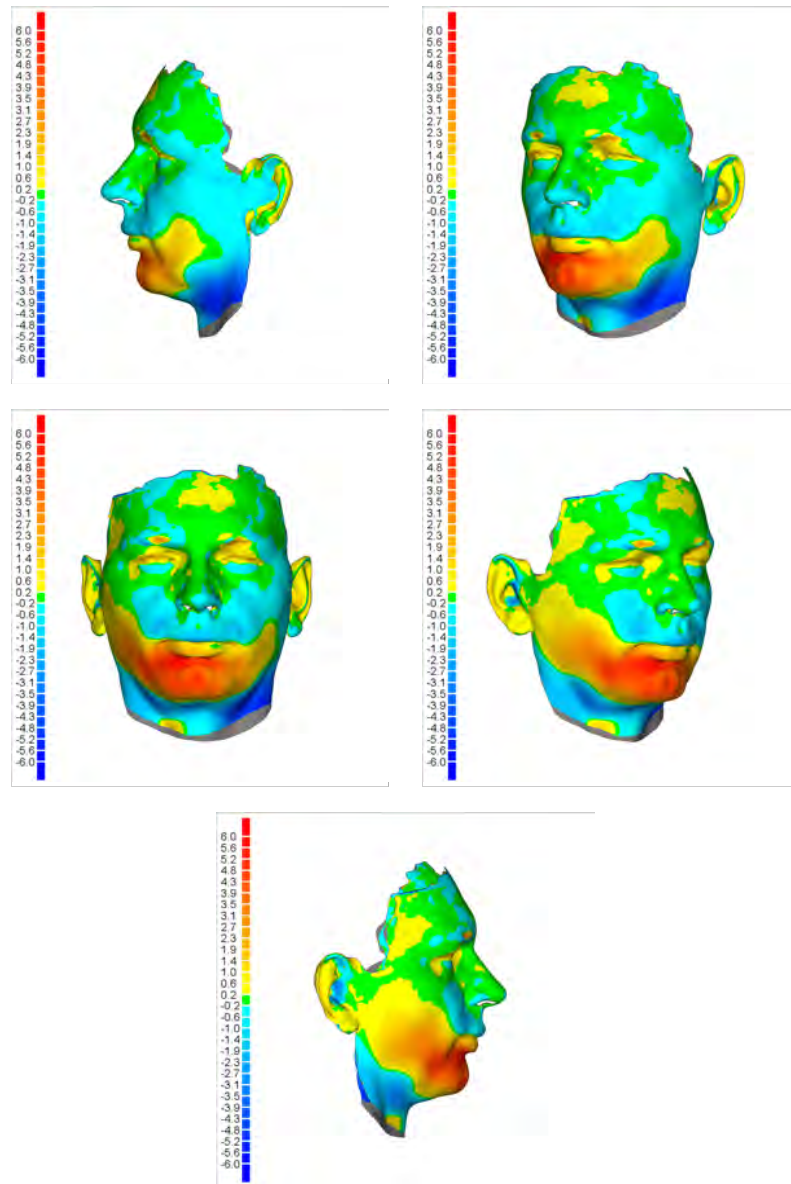


Abb. 5.9: Dreidimensionale postoperative Aufnahme des Gesichtes eines Patienten 14 Monate nach Unterkiefervervorlagerung

Die präoperative Messaufnahme zeigt median im Stirnbereich des Patienten einen Überlagerungsartefakt.

Abb. 5.8: Dreidimensionale präoperative Aufnahme des Gesichtes eines Patienten mit einer Dysgnathie der Angle-Klasse II

Unterkiefervorverlagerung - Patient 2



Das Differenzbild ergibt sich aus der Messung der Weichteilveränderungen zwischen dem prä- und postoperativen Datensatz. Die präoperative Messaufnahme wird als Referenz gesetzt. Verschiedene Farben charakterisieren das Ausmaß der Weichteilveränderungen in Millimetern.

Abb. 5.10: Ansichten des Differenzbildes eines Patienten mit Unterkiefervorverlagerung

Unterkieferrückverlagerung - Patient 3



Abb. 5.11: Dreidimensionale prä- und postoperative en face-Aufnahme einer Patientin mit Unterkieferrückverlagerung

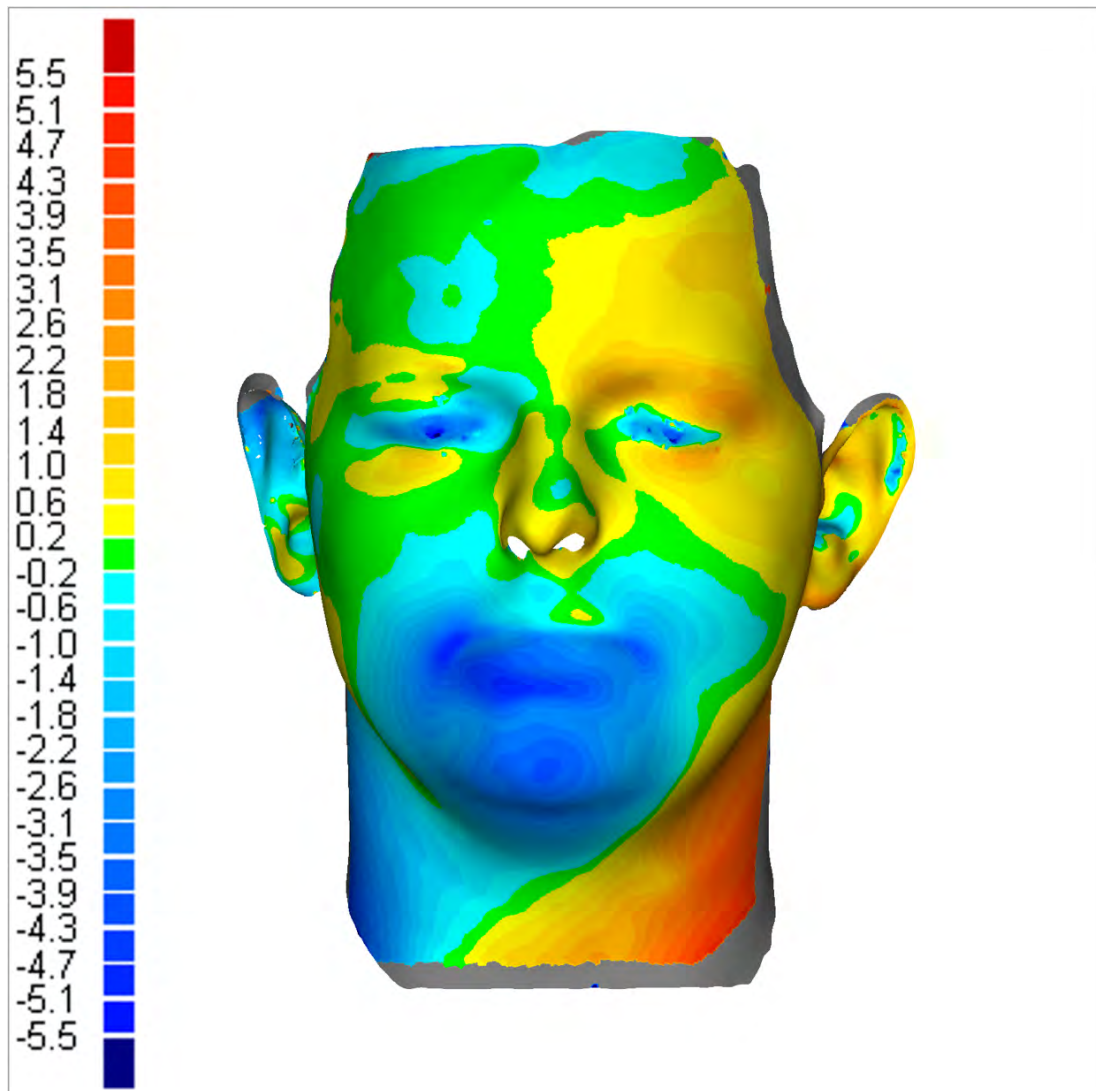
Unterkieferrückverlagerung - Patient 3



Abb. 5.12: Dreidimensionale präoperative Aufnahme des Gesichtes einer Patientin mit einer Dysgnathie der Angle-Klasse III

Abb. 5.13: Dreidimensionale postoperative Aufnahme des Gesichtes einer Patientin 11 Monate nach Unterkieferrückverlagerung

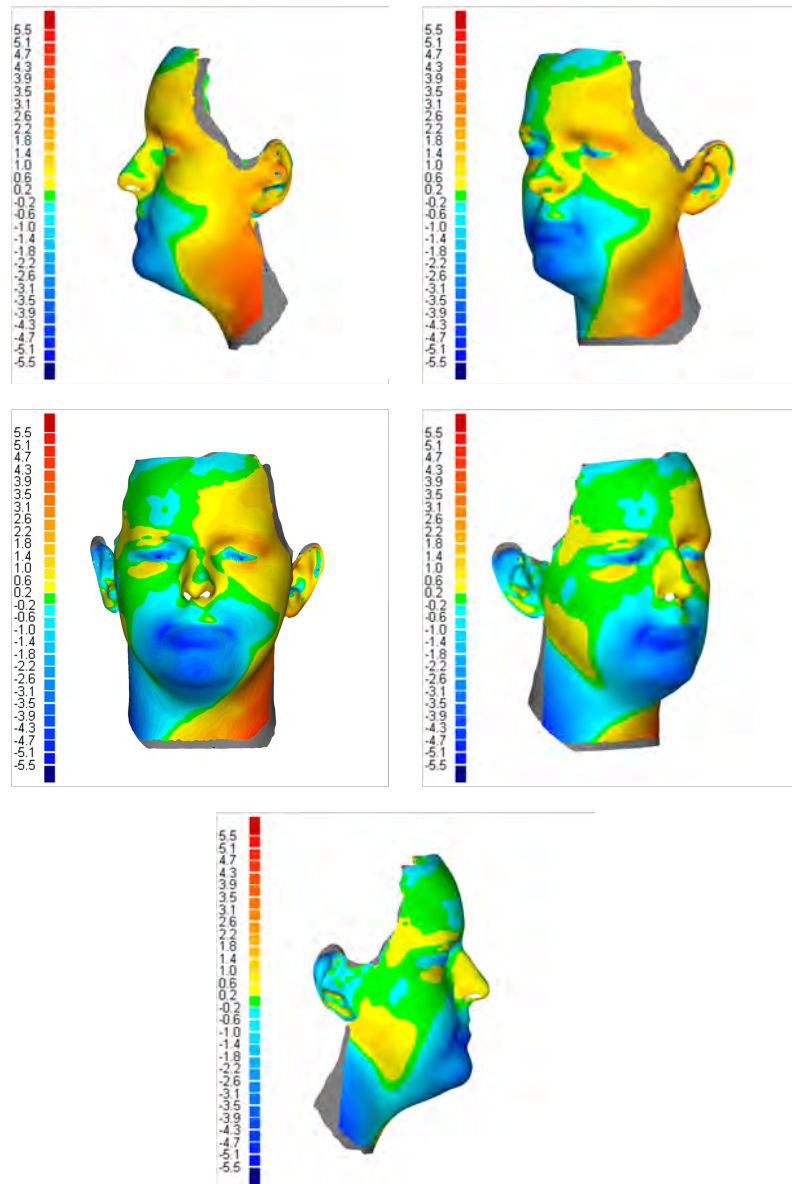
Unterkieferrückverlagerung - Patient 3



Das Differenzbild ergibt sich aus der Messung der Weichteilveränderungen zwischen dem prä- und postoperativen Datensatz. Die präoperative Messaufnahme wird als Referenz gesetzt. Verschiedene Farben charakterisieren das Ausmaß der Weichteilveränderungen in Millimetern.

Abb. 5.14: En face-Ansicht des Differenzbildes einer Patientin mit Unterkieferrückverlagerung

Unterkieferrückverlagerung - Patient 3



Das Differenzbild ergibt sich aus der Messung der Weichteilveränderungen zwischen dem prä- und postoperativen Datensatz. Die präoperative Messaufnahme wird als Referenz gesetzt. Verschiedene Farben charakterisieren das Ausmaß der Weichteilveränderungen in Millimetern.

Abb. 5.15: Ansichten des Differenzbildes einer Patientin mit Unterkieferrückverlagerung

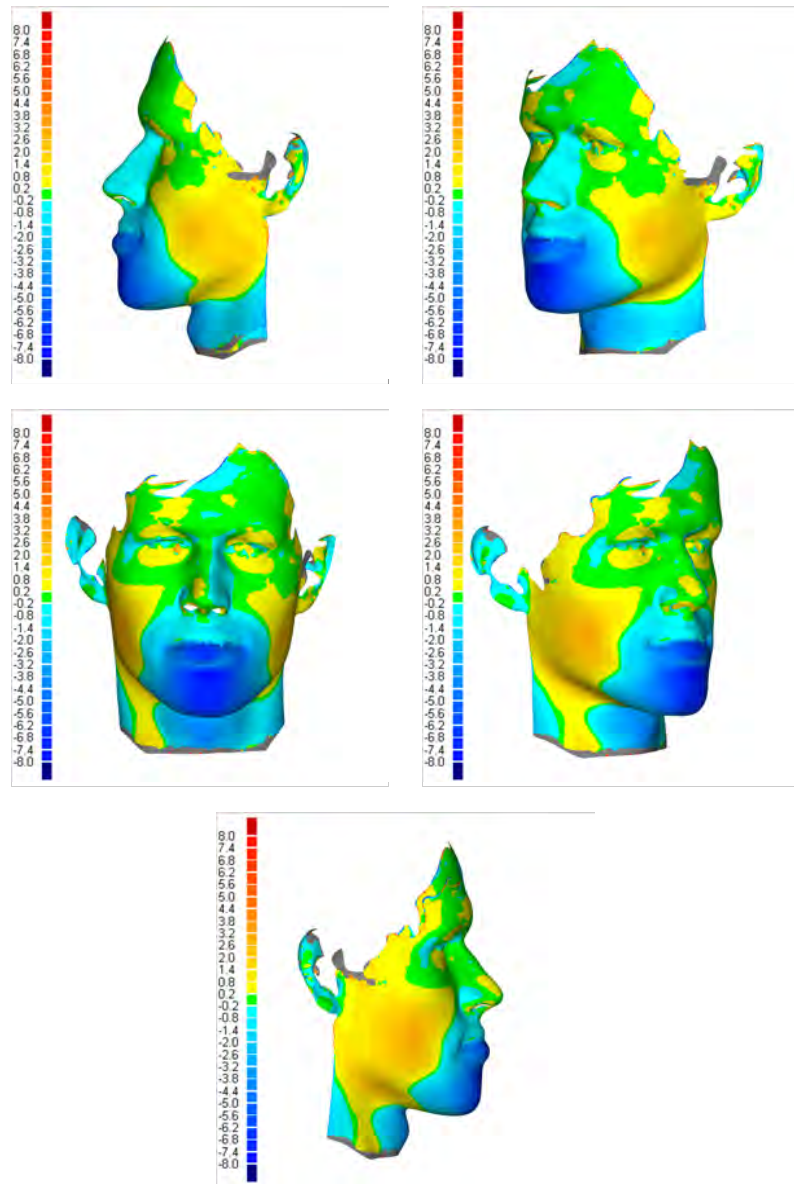
Unterkieferrückverlagerung - Patient 4



Abb. 5.16: Dreidimensionale präoperative Aufnahme des Gesichtes eines Patienten mit einer Dysgnathie der Angle-Klasse III

Abb. 5.17: Dreidimensionale postoperative Aufnahme des Gesichtes eines Patienten 11 Monate nach Unterkieferrückverlagerung

Unterkieferrückverlagerung - Patient 4



















Das Differenzbild ergibt sich aus der Messung der Weichteilveränderungen zwischen dem prä- und postoperativen Datensatz. Die präoperative Messaufnahme wird als Referenz gesetzt. Verschiedene Farben charakterisieren das Ausmaß der Weichteilveränderungen in Millimetern.

Abb. 5.18: Ansichten des Differenzbildes eines Patienten mit Unterkieferrückverlagerung

5.5 Gesichtstypen nach A. M. Schwarz















Anhand der Profilanalyse des Gesichtes nach A. M. Schwarz können neun Gesichtstypen unterschieden werden (Kap. 2.2). Um den Einfluss der orthognathen Chirurgie auf die Gesichtsmorphologie zu untersuchen, wurden separat für Unterkiefervor- und Unterkieferrückverlagerung von jedem Patienten die prä- und postoperativen Gesichtstypen erfasst (Tab. ?? und ??). Durch die kieferorthopädisch-kieferchirurgische Kombinationstherapie wird sowohl die dento-alveoläre als auch die dento-basale Situation des stomatognathen Systems und damit das Gesichtsprfil verändert (Keß 1990).

Unterkieferverlagerung

Präoperativer Gesichtstyp		Postoperativer Gesichtstyp		Anzahl der Patienten
Durchschnittsgesicht nach hinten schief		Durchschnittsgesicht gerade		3
Durchschnittsgesicht nach hinten schief		Durchschnittsgesicht nach hinten schief		3
Durchschnittsgesicht nach hinten schief		Durchschnittsgesicht nach vorn schief		1
Vorgesicht gerade		Vorgesicht gerade		1
Vorgesicht nach hinten schief		Vorgesicht gerade		4
Vorgesicht nach hinten schief		Vorgesicht nach hinten schief		3
Rückgesicht nach hinten schief		Rückgesicht gerade		2
Rückgesicht nach hinten schief		Rückgesicht nach hinten schief		1

Tab. 5.4: Veränderungen der Gesichtstypen nach A. M. Schwarz durch Unterkieferverlagerung

Unterkieferrückverlagerung

Präoperativer Gesichtstyp		Postoperativer Gesichtstyp		Anzahl der Patienten
Durchschnittsgesicht nach hinten schief		Durchschnittsgesicht nach hinten schief		3
Vorgesicht nach hinten schief		Vorgesicht nach hinten schief		4
Vorgesicht nach vorn schief		Vorgesicht nach hinten schief		1
Rückgesicht gerade		Rückgesicht nach hinten schief		2
Rückgesicht nach hinten schief		Rückgesicht nach hinten schief		4
Rückgesicht nach vorn schief		Rückgesicht gerade		2
Rückgesicht nach vorn schief		Rückgesicht nach vorn schief		1

Tab. 5.5: Veränderungen der Gesichtstypen nach A. M. Schwarz durch Unterkieferrückverlagerung

6 Diskussion

Die 3D-Oberflächendigitalisierung des Gesichtes wird im Bereich der kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Kombinationstherapie von vielen Autoren (Beckmann-van der Ven et al. 1985, Schwenzer et al. 1998, Surwald und Ward-Booth 2000, Keßler et al. 2000, Notni und Kühmstedt 2002, Holberg et al. 2005a, Holberg et al. 2005b, Heine 2005) favorisiert. Einerseits können individuelle Weichteilveränderungen nach operativen Eingriffen gemessen und dokumentiert werden, andererseits sind mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode postoperativ zu erwartenden Weichteilveränderungen präoperativ dreidimensional simuliert und visualisierbar (Holberg et al. 2005a, Holberg et al. 2005b, Heine 2005).

Bei der Vergleichsmessung zwischen prä- und postoperativen Weichteilverhältnissen ist zu beachten, dass die postoperative Messaufnahme frühestens sechs Monate nach der chirurgischen Intervention erfolgen sollte. Erst nach diesem Zeitraum ist die vollständige Rückbildung des postoperativen Ödems (Hershey und Smith 1974) sowie die Rehabilitation des Knochens und der Weichgewebe gewährleistet.

Messfehler

Ungenauigkeiten in der Auswertung der Differenzbilder waren hauptsächlich durch die Markierung der Referenzpunkte auf der farbig kodierten Weichteilfreiformfläche bedingt. Landmarken auf flach gewölbten dreidimensionalen Oberflächenpartien ließen sich schwieriger lokalisieren. Aus den Messungen der Differenzwerte an den verschiedenen Weichteilreferenzpunkten resultierten geringe Mess- und Methodenfehler, welche nach Dahlberg (Kap. 4.6.1) berechnet wurden und am Cheilion mit 0,11-0,14 mm am größten waren. Unabhängig davon war die Messgenauigkeit des *Gscans* am menschlichen Gesicht mit 0,2 mm zu spezifizieren.

Weichteilveränderungen bei Unterkiefervor- und Unterkieferrückverlagerung

In der vorgelegten Studie wurden mittels multivariater Kovarianzanalyse keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede in den Weichteilveränderungen bei Unterkiefervor- und Unterkieferrückverlagerung gefunden, somit war aufgrund der Ergebnisse und des Stichprobenumfangs eine Subklassifikation nach den Geschlecht nicht sinnvoll. In Anbetracht des geringen Stichprobenumfangs beider Patientengruppen ist dieser Befund grundsätzlich vorsichtig zu interpretieren und bedarf einer Replikationsuntersuchung.

Für die Patientengruppe der Unterkiefervorverlagerung zeigten sich statistisch signifikante Veränderungen der Weichteile im unteren Gesichtsdrittel relativ zum Ausmaß der Umstellungsosteotomie nach anterior. Das Verhältnis zwischen Weichteilmenton und knöchernen Menton betrug $(0,49 : 1) + 1,05$ mm und zwischen Weichteil- und knöchernen Pogonion $(0,49 : 1) + 0,5$ mm. Die Relationen bei der Unterkiefervorverlagerung waren am Sublabiale mit $(0,45 : 1) + 0,94$ mm und am Cheilion links mit $(0,32 : 1) - 1,66$ mm zu beziffern. Am Labrale inferius wurde ein Verhältnis von $(0,55 : 1) - 2,06$ mm und am Stomion von $(0,44 : 1) - 2,09$ mm ermittelt. Bei der Anteriorverlagerung erklärten sich 24-55% der Varianzen (R^2) der statistisch signifikanten Weichteilveränderungen an den Referenzpunkten durch die Regressionsgleichungen.

In der Patientengruppe mit Unterkieferrückverlagerung zeigten sich ebenfalls statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen den Weichteilveränderungen im unteren Gesichtsdrittel und dem Ausmaß der Umstellungsosteotomie des Unterkiefers nach dorsal. Die Weichteilveränderungen verhielten sich zur knöchernen Verlagerung der Mandibula am Menton $(0,71 : 1) - 0,46$ mm und am Pogonion $(0,70 : 1) - 0,35$ mm. Die Regressionsparameter waren am Sublabialpunkt mit $(0,69 : 1) - 1,00$ mm, am Cheilion links mit $(0,41 : 1) - 0,34$ mm und am Labrale inferius mit $(0,55 : 1) - 1,28$ mm zu beurteilen. Bei der Posteriorverlagerung des Unterkiefers ergaben sich 33-54% der Variabilitäten (R^2) der statistisch signifikanten Weichteilveränderungen an den Landmarken aus den Regressionsgleichungen.

Der Parameter der Nullpunktverschiebung A war bei beiden Osteotomien im Lippenbereich doppelt bis vierfach so groß wie am Menton oder Pogonion. Ausschlaggebend kann dafür der tagesabhängige Tonus der perioralen Muskulatur sowie die Lippenposition (Heine 2005) sein. Die Weichteile im Kinnbereich folgten der knöchernen Unterlage stärker als jene im Unterlippenbereich. Erklärend ist die unterschiedliche Dicke der Weichteile (Hernandez-Orsini et al. 1989). Signifikante Weichteilveränderungen am Referenzpunkt Cheilion links sind sowohl bei Unterkiefervorverlagerung als auch bei Unterkieferrückverlagerung äußerst kritisch zu bewerten, da die genaue Identifikation des Referenzpunktes auf der farbig kodierten 3D-Freifformfläche nicht gesichert sind. Aus anatomischer Sicht lässt sich die statistische Signifikanz ($p < 0,05$) am Cheilion links durch die Vereinigung der Muskelfasern des Musculus orbicularis oris mit denen des Musculus buccinator und anderer Gesichtsmuskeln zum Modiolus im Bereich des Mundwinkels erklären, denn Weichteilveränderungen im Bereich der Unterlippe können Muskelspannungen im Mundwinkel hervorrufen (Kim et al. 2006). Die vorgelegte Studie zeigte ausschließlich linksseitig dieses Phänomen.

Die relativen Weichteilveränderungen eines Patienten können anhand der Regressionsgleichung berechnet werden. Beispielhaft soll dies für den Durchschnittspatienten mit Unterkiefervorverlagerung am Weichteilreferenzpunkt Pogonion dargelegt werden. Die Berechnung erfolgt mittels nachstehender Regressionsgleichung (Kap. 4.6.4):

$$\bar{y}_{Pog} = A_{Pog} + B_{Pog}\bar{x}.$$

Die Weichteilverlagerung ergibt sich demzufolge aus $A = 0,50$ mm plus $B = 0,49$ (Kap. ??, Tab. ??) multipliziert mit $\bar{x} = 5,38$ mm (Kap. 4.1.2) zu $\bar{y}_{Pog} = 3,14$ mm, was einer relativen Verlagerung von 58% entspricht. Analoge Berechnungen können für alle statistisch signifikanten Weichteilreferenzpunkte durchgeführt werden. Die Resultate sind in Tabelle 5.1 angegeben. Die in der Studie erfassten Relationen der Weichteilveränderungen zur skelettalen Korrektur des Unterkiefers nach anterior oder posterior waren meist geringer ausgefallen als in bisher bekannten Studien (Tab. 5.2 und 5.3).

Weichteilreferenzpunkt	Unterkiefervorverlagerung	Unterkieferrückverlagerung
Stomion	5%	nicht signifikant
Cheilion links	1%	43%
Labrale inferius	17%	81%
Sublabiale	62%	90%
Pogonion	58%	77%
Menton	69%	81%

Tab. 6.1: Ausmaß der relativen Weichteilveränderungen an statistisch signifikanten Landmarken bei Unterkiefervor- und Unterkieferrückverlagerung

Studie	Patientenzahl	Betrachtungszeitraum	Unterlippe Li:li	Mentolabialfalte Sl:B	Pogonion Pog':Pog
(Lines und Steinhäuser 1974)	9	> 3 Monate	67,7%		100%
Talbott, 1975 ¹	12	> 6 Monate	85%	101%	104%
(Quast et al. 1983)	18	> 1 Jahr	38%	97%	97%
(Mommaerts und Marxer 1987)	35	1 Jahr	55%	106%	103%
(Hernandez-Orsini et al. 1989)	31	> 8 Monate	43%	93%	94%
(Dermaut und De Smit 1989)	31	1 Jahr	26%	119%	110%
(Ewing und Ross 1992)	14	3 Jahre	80%	100%	100%
(Thuer et al. 1994)	30	13 Monate	66%	88%	100%
(Mobarak et al. 2001a)	20 (H)	3 Jahre	60% (37%) ²	86% (60%) ²	102% (66%) ²
	21 (M)		60% (40%) ²	93% (60%) ²	111% (77%) ²
	20 (L)		60% (33%) ²	95% (71%) ²	111% (71%) ²
(Wolford et al. 1985)			67-85%	100%	100%

(H), (M) und (L) - großer, mittlerer und kleiner Kieferwinkel

¹ - zitiert aus (Mobarak et al. 2001a)

² - Verhältnisse, welche als Rezidiv bewertet werden.

Tab. 6.2: Retrospektive Übersicht von Studien zum Ausmaß der Weichteilverlagerung bei Unterkiefervorverlagerung

Ein Vergleich der relativen Weichteilveränderungen bei Unterkiefervorverlagerung mit denen verschiedener Studien (Tab. 5.2) zeigte, dass sich die Weichteilveränderungen im Bereich der Unterlippe mit 17% unterhalb von 26-85% befanden. In den Studien zum Weichteilverhalten nach Unterkieferrückverlagerung (Tab. 5.3) werden die Weichteilreaktionen der Unterlippe mit 66-100% angegeben.

Der in dieser Studie errechnete Wert von 81% lag im mittleren Bereich. Abhängig davon musste beachtet werden, dass alle Patienten während der präoperativen *Gscan*-Aufnahme eine Multiband-/Multibracket-Apparatur getragen haben und diese bei der postoperativen Erfassung aber entfernt war. Das Unterlippenprofil konnte sich bei beiden Umstellungsosteotomien nach der Entbänderung der Multiband-/Multibracket-Apparatur noch leicht nach dorsal einlagern.

Studie	Patientenanzahl	Betrachtungszeitraum	Unterlippe Li:Ii	Mentolabialfalte Sl:B	Pogonion Pog':Pog
Björk et al, 1971 ¹	22	1 Jahr	100%		100%
(Robinson et al. 1972)	10			100%	100%
(Lines und Steinhäuser 1974)	8	> 6 Monate	75%		100%
(Suckiel und Kohn 1978)	50	3-6 Monate	83%	95%	96%
(Kajikawa 1979)	20		66%	92%	80%
	13		75%	112%	104%
(Willmot 1981)	26	1 Jahr	80%	87%	92%
(Fanibunda 1989)	33	9 Monate bis 7 Jahre	74%	107%	94%
(Lew et al. 1990)	25	12-26 Monate	67%	89%	95%
(Gjørup und Athanasiou 1991)	50	5-22 Monate		103%	91%
(Ingervall et al. 1995)	29	14 Monate	88%	106%	107%
(Chunmaneechote und Friede 1999)	23	> 5,4 Monate	84%	97%	96%
(Gaggl et al. 1999)	60	3-4 Monate	83%		84%
(Mobarak et al. 2001b)	80	3 Jahre	100%	106%	94%
(Wolford et al. 1985)			30%	90%	90%

¹ - zitiert aus (Mobarak et al. 2001b)

Tab. 6.3: Retrospektive Übersicht von Studien zum Ausmaß der Weichteilverlagerung bei Unterkieferrückverlagerung (Mobarak et al. 2001b)

Am Sublabialpunkt und am Weichteilpogonion waren die erfassten Werte bei der Unterkiefervorverlagerung mit 62% und 58% kleiner als in vergleichbaren Studien (Tab. 5.2). Die Weichteilreaktionen nach Unterkieferrückverlagerung am Sublabialpunkt und Weichteilpogonion befanden sich mit 90% und 77% an der unteren Grenze der Messwerte der in Tabelle 5.3 aufgeführten Studien.

Die geringeren Werte waren auf die asymmetrische Verlagerung der Mandibula nach anterior und posterior zurückzuführen, wodurch kein gleichmäßiger knöcherner Vorschub in der Mediansagittalen erreicht wurde. Das Maximum der Weichteilveränderung konzentrierte sich somit nicht in der Mediansagittalebene, sondern lateral auf der Seite mit dem größeren Ausmaß der skelettalen Umstellung. Die erfassten Messwerte bezogen sich jedoch auf die Mediansagittale und sind somit geringer ausgefallen als bei einer symmetrischen Korrektur der Unterkieferlage nach anterior oder posterior.

Bei einer beidseitig gleichmäßigen knöchernen Verlagerung sind dagegen die maximalen Weichteilreaktionen in der Mediansagittalen zu erwarten. Grundsätzlich ist ein direkter Vergleich zu bereits durchgeführten Studien, trotz teilweise vergleichbarer Patientenzahlen und Betrachtungszeiträume, kritisch zu interpretieren, da in diesen Arbeiten symmetrische Umstellungsosteotomien der Mandibula und ihre Weichteilreaktionen untersucht wurden. Zudem lagen den verschiedenen Studien auch unterschiedliche Operationsmethoden zugrunde, welche sich ebenfalls auf das Weichteilverhalten auswirkten. Weiterhin wurden zweidimensionale kephalometrische Auswertungen anhand von Fernröntgenseitenbildern vorgenommen. Asymmetrien konnten nicht berücksichtigt und ausgewertet werden, da ein dreidimensionales Objekt zweidimensional abgebildet wurde.

Um die Projektion auf ein zweidimensionales Bild zu umgehen, bildete in der vorliegenden Arbeit die dreidimensionale Modelloperation die Grundlage für das Ausmaß der skelettalen Verlagerung der Mandibula nach anterior oder posterior. Die Untersuchung der postoperativen Weichteilveränderungen der Patienten erfolgte in Relation zu den Messwerten der Modelloperation. Auf diese Weise wurde die Dreidimensionalität gewahrt. Das Ausmaß der Verlagerung wurde über den Operationssplint definiert und intraoperativ umgesetzt. Nachteilig wirkte sich aus, dass zum Zeitpunkt der postoperativen *Gscan*-Aufnahme nicht dreidimensional geprüft werden konnte, ob die in der Operationsplanung ermittelten und anhand des Splintes operativ umgesetzten Messwerte konstant geblieben waren. In der vorgelegten Studie war das Osteosynthesematerial während der postoperativen *Gscan*-Aufnahme bei 34 von 35 Patienten noch in situ. Weiterhin konnte dem Weichteilreferenzpunkt des 3D-Scans kein direkt korrelierender knöcherner Referenzpunkt wie im Fernröntgenseitenbild zugeordnet werden.

Zur Unterkieferrückverlagerung wurden in der Literatur dreidimensionale Untersuchungen anhand von CT- und Laserscan-Datensätzen beschrieben (Kim et al. 2006). Diese Daten wahrten gleichfalls die Dreidimensionalität im Hart- und Weichgewebe. In Relation zur knöchernen Verlagerung der Mandibula wurden die Weichteilveränderungen von 77-102% in der Mediansagittalen beschrieben, diese Werte waren vergleichbar mit denen der durchgeführten Studie. CT-Aufnahmen gehören aber nicht zum Standard bei der Diagnostik und Therapie von Dysgnathien. Auch sprechen eine zusätzliche Strahlenexposition des Patienten und ein erhöhter Kostenaufwand dagegen. Die durchgeführte Studie zeigt, dass die Applikation des *Gscans* in Verbindung mit den präoperativen Messwerten der Modelloperation eine praktikable Methode zur Erfassung von dreidimensionalen Weichteilveränderungen bei Dysgnathieoperationen ist.

Eine weitere Hauptschwierigkeit bei der Analyse von Weichteilkonturen ist, dass keine exakt definierbaren Referenzpunkte außerhalb der Mediansagittalen zur Verfügung stehen, sondern nur Flächen, auf denen kaum ein Punkt genau definiert werden kann (Beckmann-van der Ven et al. 1985). Zygion und Gonion sind mögliche Referenzpunkte in der Peripherie, problematisch ist aber, dass sie in allen drei Dimensionen als nicht reproduzierbar gelten (Gwilliam et al. 2006). Entscheidend auf die Reproduzierbarkeit wirkt sich ein abnehmender bzw. fehlender Farbkontrast aus.

Maximal die Hälfte der Variabilitäten der verschiedenen statistisch signifikanten Weichteilveränderungen an den Referenzpunkten waren durch die Regressionsgleichungen erklärbar. Die verbleibenden Varianzen resultierten demzufolge aus weiteren Einflussgrößen, welche in der Regressionsformel keine Berücksichtigung fanden.

Dieser hohe Anteil spiegelte sich in einer starken Streuung der Messwerte um die Regressionsgerade wider. Individuelle Faktoren eines Patienten wie Volumen und Elastizität der Weichteile, Konstitution und Alter eines Patienten können unbestimmte Einflussfaktoren sein. Außerdem könnten sich bei einem größeren Stichprobenumfang Differenzierungen zwischen den Geschlechtern ergeben.

Gesichtstypen nach A. M. Schwarz

Gebunden an die dentale und skelettale Modulation sind die Gesichtswichteile bestimmend für die Wahrnehmung aus der Umwelt und die Bildung sozialer Kontakte. Behandlungsmotive einer Dysgnathie sind bei Patienten daher primär psychoästhetischer Natur (Watted und Bartsch 2002). Bei beiden Patientengruppen bestanden vor dem operativen Eingriff sagittale, aber auch vertikale Anomalien, welche sich in den Weichteilstrukturen widerspiegelten. Durch die chirurgische Korrektur war eine Harmonisierung bzw. Verbesserung des Weichteilprofils nach A. M. Schwarz im Untergesicht zu beobachten. Gleichzeitig wurde die Entspannung der Supramentalfalte angestrebt.

Bei der Patientenengruppe mit Unterkiefervorverlagerung (Kap. ??, Tab. ??) war in neun Fällen das Profil von *nach hinten schief* auf *gerade* optimiert worden. Acht weitere Patienten zeigten eine deutliche Harmonisierung des Profils ohne Änderung des Gesichtstyps. Ursache dafür kann eine operative Clockwise-Rotation des zahntragenden Segmentes sein. Es kam trotz Ventralverlagerung der Mandibula zu einer geringeren Anteriorverschiebung im Kinnbereich, da sich das Menton infolge der Rotation weiter kaudal positionierte. In einem Fall hatte die chirurgische Intervention trotz funktioneller Optimierung eine Veränderung zu Ungunsten des Gesichtstyps bewirkt. Verantwortlich konnte einerseits eine primäre Kinnprominenz und andererseits eine reine Translation des zahntragenden Unterkiefersegmentes sein. Das würde bedeuten, dass nur die sagittale Disharmonie korrigiert wurde und die vertikale Relation dagegen unverändert blieb, wodurch die Kinnprominenz verstärkt erschien. Trotzdem war der postoperative Gesichtstyp subjektiv positiver zu bewerten als das präoperative Weichteilprofil, da eine deutliche Entspannung der Supramentalfalte resultierte. Weiterhin bestand die Möglichkeit, in einem zweiten operativen Eingriff eine Kinnplastik durchzuführen, um einen modulierenden ästhetischen Effekt im Kinnbereich zu erzielen.

Die Patienten mit Unterkieferrückverlagerung (Kap. ??, Tab. ??) wiesen in zwölf Fällen keine Veränderung des Weichteilprofils auf. Subjektiv und metrisch war jedoch eine Verbesserung des Profils und eine Zunahme der fazialen Konvexität zu verzeichnen. Bedingt waren diese dezenten Profilveränderungen durch die operative Translation und Rotation des zahntragenden Unterkiefersegmentes. Ein Patient behielt den bereits präoperativ bestehenden ungünstigen Gesichtstyp *nach vorn schief* auch postoperativ bei, er wurde aber kaufunktionell optimiert.

Ursächlich konnte wieder ein ausgeprägtes knöchernes Kinn oder eine eventuelle Counterclockwise-Rotation sowie eine reine Translation des zahntragenden Unterkiefersegmentes angeführt werden. Zur Verbesserung der Gesichtsästhetik war wiederum eine Kinnplastik möglich. Das Gesichtsprofil von zwei Patienten wurde auf ein *gerades* Profil optimiert. Zwei weitere Patienten dagegen machten eine metrisch ungünstigere Veränderung des Profils von *gerade* auf *nach hinten schief* durch, wahrscheinlich verursacht durch die Translation und eine Clockwise-Rotation. Aus individuell ästhetischer Sicht war das postoperative Profil jedoch als vorteilhafter zu bewerten und durch die funktionelle Einstellung beider Kiefer zu vertreten. Zuletzt wurde bei einem Patienten der Gesichtstyp von *nach vorn schief* auf *nach hinten schief* verändert, zeigte aber subjektiv einen harmonischeren Profilverlauf als präoperativ. Zum einen wird ersichtlich, dass eine harmonische faziale Ästhetik mit einer Dysgnathie einhergehen kann und zum anderen muss ein dento-skelettaler „Normaufbau“ nicht zwangsläufig mit einem harmonischen Gesichtsprofil korrelieren (Watted und Bartsch 2002).

Zukunftsweisend könnte die kephalometrische 3D-Weichteilanalyse die zweidimensionale Photoanalyse ablösen, da sie eine Beurteilung des Gesichtes bezüglich Harmonie/Dysharmonie und Symmetrie/Asymmetrie in allen drei Dimensionen des Raumes erlaubt.

3D-Messsysteme

Die Anzahl der auf dem globalen Markt erhältlichen Messsysteme zur Digitalisierung der fazialen Oberfläche ist in den letzten Jahren gestiegen. In dieser Studie wurde das 3D-Messsystem *Gscan* zur Vermessung der Gesichtsoberfläche von Dysgnathiepatienten eingesetzt. Dessen Vorteile liegen gegenüber einem kommerziell zu erwerbenden Laserscanner eindeutig in seinem selbstkalibrierenden Modus (Schreiber und Notni 2000), der eine ausgezeichnete Langzeitstabilität sichert, sowie in seiner Multi-View-Technik, die in dieser Studie auf vier Kameras basiert, welche simultan die Bilder aufnehmen. Es entfällt ein aufwändiges Umpositionieren des Messsystems, um die gesamte Kopf-Hals-Region von Ohr zu Ohr zu erfassen. Die Lasersysteme sind in der Regel nur mit zwei Kameras ausgestattet und erlauben eine 180°-Vermessung des Kopfes einschließlich der Halsregion nur aus mindestens zwei unterschiedlichen Gerätepositionen. Außerdem wird das Gesicht beim *Gscan* aus fünf verschiedenen Richtungen beleuchtet.

Durch die serielle Beleuchtung aus unterschiedlichen Richtungen werden Abschattungsphänomene minimiert oder gar ausgeschaltet. Bei Laserscannern existieren in der Regel nur zwei Beleuchtungsrichtungen, was ebenfalls zu einer verminderten Rundumerfassung des Objektes führt. Zwar ist die reine Messzeit eines Laserscanners mit ≤ 5 Sekunden (verschiedene Herstellerangaben) deutlich geringer als die des *Gscan*, jedoch müssen das nicht simultane Arbeiten der Kameras und das Umpositionieren des Systems beachtet werden. Somit resultiert eine ähnliche Messzeit wie mit dem *Gscan*. Eine weitere Besonderheit des *Gscan* besteht darin, dass die Einzelpatches der Kameras sofort als eine Gesamtpunktewolke in einem Koordinatensystem dargestellt werden. Dagegen werden sie beim Laserscanner erst zu einer Punktewolke in einem Koordinatensystem registriert.

Beide Messkonzepte beruhen auf aktiver Triangulation. Sie erfassen die Gesichtsoberfläche dreidimensional, nicht-invasiv und frei von ionisierender Strahlung und sind daher für die Anwendung in der Medizin geeignet. Während der Messaufnahme resultieren für den Patienten keine physischen und psychischen Belastungen. Technische Einschränkungen finden sich bei beiden Messsystemen im Bereich der Aufnahmezeit. Eine Messdauer von ca. 20 Sekunden impliziert immer Bewegungsartefakte. Diese sind vor allem durch Vitalfunktionen (z. B. Pulsschlag, Atmung) sowie Minimalbewegungen bedingt. Die am *Gscan* montierte Kopfhalterung schränkt zwar Bewegungen ein, erlaubt aber keine starre Fixierung des Kopfes. Damit sind Grenzen in der Anwendung (z. B. Säuglinge, Kleinstkinder) des Gerätes gesetzt.

Außerdem ist keine exakt reproduzierbare Positionierung des Kopfes im Messsystem gegeben. Die prä- und postoperative Aufnahme im *Gscan* haben stets eine aufrechte Körperhaltung, eine etwaige Ausrichtung der Okklusionsebene parallel zum Boden, die Ruhelage der Mandibula und einen entspannten Lippenschluss zur Bedingung, um die Validität und Reproduzierbarkeit der Aufnahme zu gewährleisten. Eine veränderte Inklination des Kopfes könnte an anatomischen Weichteilreferenzpunkten, welche sich an wechselnden Gesichtskonturen befinden, verfälschte Messwerte ergeben (Soncul und Bamber 2000).

Entwicklungstechnische Fortschritte am *Gscan*, insbesondere die Reduktion der Messzeit auf ≤ 5 Sekunden sowie die Ergänzung des Multi-View-Systems durch eine fünfte Kamera, tragen zur Verbesserung der Messgenauigkeit bei und steigern die Attraktivität für den Anwender. Mit Verkürzung der Messzeit können qualitätsmindernde Bewegungsartefakte zuverlässig verringert werden.

Weichteilprognose

Derzeit ist anhand des Dentofacial Planners (Dentofacial Planner Software Inc., Toronto, Kanada) eine Vorhersage von Veränderungen des Weichteilprofils nach orthognather Chirurgie möglich. Diese zweidimensionale Methode zeigt hinsichtlich der Prognosegenauigkeit im unteren Gesichtsdrittel deutliche Abweichungen zum postoperativen Gesichtsprofil (Fischer 2000, Heine 2005). Somit ist die Aussagekraft limitiert. Eine dreidimensionale Weichteilprognose erlaubt die Finite-Elemente-Methode (Holberg et al. 2005b). Eine Pilotstudie (Holberg et al. 2005b, Heine 2005) stellt fest, dass die Autorotation der Mandibula nur bedingt simulierbar ist. Außerdem können individuelle Eigenschaften der Weichteile nur eine grobe Berücksichtigung in der Simulation finden. Im Gegensatz zum Dentofacial Planner weist die Finite-Elemente-Methode eine höhere Genauigkeit der individuellen Weichteilprognose auf. Diese Methode erfordert einen hohen rechentechnischen Aufwand, so dass derzeit 50 Minuten (Holberg et al. 2005a) für eine differenzierte, patientenindividuelle dreidimensionale Darstellung der zu erwartenden Weichteilveränderungen benötigt werden.

Generell gestaltet sich die Vorhersage der postoperativen Weichteilveränderungen schwierig, da eine skelettale Verlagerung nicht das gleiche Ausmaß an Weichgewebereaktionen nach sich zieht (Bastian et al. 2003). Außerdem läßt sich die individuelle Gewebereaktion nie ganz exakt vorausbestimmen, sie muss im Laufe einer Behandlung stets neu beurteilt und kontrolliert werden (Steinhäuser und Janson 1988). Bei der Unterkiefervorverlagerung werden die Weichteile gespannt und bei der Rückverlagerung gestaucht (Heiner und Hyckel 1985), was mit den relativen Weichteilveränderungen $< 100\%$ koinzidiert. Eine neuromuskuläre Adaptation der Kaumuskulatur an die veränderte Unterkieferlage wird angestrebt, denn ein muskuläres Gleichgewicht ist für ein langzeitstabiles Behandlungsergebnis essentiell. Bei der Unterkiefervorverlagerung kommt es zur Streckung des infra- und suprahyoidalen Komplexes, insbesondere des Musculus digastricus. Je größer das Ausmaß der Translation des Unterkiefers, um so höher ist die Belastung der Muskulatur, desto höher ist auch der rezidivfördernde Effekt (Watted et al. 2000).

Eine neuromuskuläre Adaptation der orofazialen Muskulatur an die veränderte Unterkieferlage ist für die Stabilität des Behandlungsergebnisses obligat. Es ist umso schwieriger, je größer das Ausmaß der skelettalen Verlagerung und damit die Belastung der Muskulatur ist. Die Korrektur der skelettalen Fehlentwicklung im Unterkiefer ist oft in allen drei Ebenen (sagittal, transversal und vertikal) erforderlich.

Um die Muskulatur der morphologischen Veränderung der Unterkieferlage anzupassen, ist eine postoperative physiotherapeutische Rehabilitation sehr wichtig. Andernfalls können funktionelle Abweichungen im Bereich der Muskulatur nach der Behandlung bestehen bleiben und sich rezidivfördernd auswirken (Watted et al. 2000, Fränkel und Fränkel 2001).

Dysgnathieoperationen führen zur Veränderungen der dentofazialen Ästhetik, welche durchaus subjektiv und objektiv positiv wirkende Effekte der Gesichtsproportionen nach sich ziehen können. Eine simulierte Weichteilprognose ist sowohl für den Behandler als auch für den Patienten interessant. Zudem kann sie unterstützend in die Aufklärung des Patienten eingebunden werden. Sie muss jedoch kritisch bewertet werden, da eine exakte Vorhersage des Weichteilverhaltens technisch nicht ausgereift ist, der Patient aber mit einer Simulation bestimmte Erwartungen verknüpft.

Ausblick

Im Rahmen der kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Therapie sind Untersuchungen zu dreidimensionalen Weichteilveränderungen bei monognather Oberkieferverlagerung und bimaxillärer Chirurgie möglich. Außerdem würden chronologische Reihen-aufnahmen (vor Therapiebeginn, unmittelbar nach dem Einsetzen der Multiband-/Multibracket-Apparatur, nach Abschluss der orthodontischen Vorbehandlung, ein Monat postoperativ, 10-12 Monate postoperativ bzw. kurz vor dem Debonding der Multiband-/Multibracket-Apparatur, nach dem Entbändern, im Recall nach drei bis fünf Jahren) dentalbedingte und skelettal verursachte Weichteilveränderungen sowie den Einfluss der Multiband-/Multibracket-Apparatur auf das Weichgewebe zeigen. 3D-Aufnahmen während der Nachuntersuchungen sind geeignet, um ein eventuelles zum Rezidiv geneigtes Verhalten der Weichteile zu beurteilen.

Zukunftsweisend sollten kombinierte 3D-Simulationen von dreidimensionalen Kno-chendaten und dreidimensionalen Weichteildaten von Bedeutung sein, um detail-lierte dreidimensionale Untersuchungen durch direkte Schichtung der verschiedenen 3D-Daten zu fördern.

Für eine dreidimensionale reproduzierbare Bestimmung von Weichteilreferenzpunk-ten lateral der Mediansagittalen ist es empfehlenswert, die Anwendung koronaler Gitter zu diskutieren und zu prüfen.

Erste Studien (Kim et al. 2006) haben ergeben, dass sich Weichteilpunkte verteilt über den gesamten Gesichtsbereich untersuchen ließen. Transversale Veränderungen stellten sich deutlicher dar. Es wurden auch bessere Messergebnisse anhand von Gitterpunkten im Vergleich zu anatomischen Referenzpunkten erzielt, weil aufgrund des festgelegten Gitters auch Punkte auf gering gewölbten Gesichtsf lächen reproduzierbar waren. Allerdings war die Definition eines solchen Gitters bei prä- und postoperativen Aufnahmen verschieden, da vertikale Veränderungen des Gesichtes mit der orthognather Chirurgie einhergehen.

Die messtechnischen Fortschritte am *Gscan*, vor allem die Reduktion der Messzeit, würden Studien an Kindern ermöglichen, da Bewegungsartefakte minimiert werden könnten. Zuvor durchgeführte 3D-Messaufnahmen an Kindern zeigten dahingehend deutliche Grenzen. Interessant werden somit Wachstumsstudien und Untersuchungen zum Einfluss funktionskieferorthopädischer Apparaturen auf die dento-skelettale Entwicklung.

Zusätzlich könnte eine Erweiterung des *Gscan* um lichtprojizierte Markierungslinien für die Gesichtsmitte und die Frankfurter Horizontale (Soncul und Bamber 2000) zur Reproduzierbarkeit und Standardisierung der Kopfhaltung und damit zur Optimierung der Datenaufnahme beitragen.

7 Schlussfolgerungen

In der durchgeführten Studie wurde die Gesichtsoberfläche von 35 Patienten vor und nach Dysgnathiechirurgie der Mandibula dreidimensional mit dem *Gscan* aufgenommen. Zusammengefasst zeigten sich nachstehende Ergebnisse und Schlussfolgerungen:

Unterkiefervor- und Unterkieferrückverlagerung

1. In beiden Patientengruppen wurden keine geschlechtsspezifischen Unterschiede bezüglich der Weichteilveränderungen eruiert.
2. Skelettale Verlagerungen der Mandibula nach anterior oder posterior zogen nicht das gleiche Ausmaß an Weichteilreaktionen nach sich.
3. Die Weichgewebeveränderungen sind bei der Unterkieferrückverlagerung ausgeprägter als bei der Unterkiefervorverlagerung.
4. Statistisch signifikante Weichteilveränderungen zeichneten sich ausschließlich im mandibulären Bereich ab.
5. Die Unterkiefervorverlagerung zeigte signifikante Weichteilveränderungen im Lippenbereich an den Landmarken Stomion, Cheilion links und Labrale inferius zwischen 1% und 17% ($p < 0,01 - 0,03$). Im Kinnbereich sind die Weichteilreferenzpunkte Pogonion und Menton mit 58% ($p = 0,04$) und 69% ($p = 0,03$) signifikant. Die Übergangszone am Sublabialpunkt war mit 62% ($p = 0,01$) statistisch signifikant. 45-76% der Weichteilveränderungen an den statistisch signifikanten Referenzpunkten wurden durch die knöcherne Verlagerung der Mandibula verursacht.
6. Bei der Unterkieferrückverlagerung resultierten im Lippenbereich an den Referenzpunkten Cheilion links und Labrale inferius Signifikanzen von 43% ($p = 0,02$) und 81% ($p < 0,01$) sowie im Kinnbereich an Pogonion und Menton von 77% ($p < 0,01$) bzw. 81% ($p < 0,01$).

Sublabial zeigte sich eine Signifikanz von 90% ($p < 0,01$). 46-67% der Weichteilveränderungen an den statistisch signifikanten Landmarken wurden durch die skelettale Umstellung des Unterkiefers bedingt.

Gesichtstypen nach A. M. Schwarz

1. Bei den Patienten mit Unterkiefervorverlagerung ergaben sich in zehn von achtzehn Fällen Veränderungen des Gesichtstyps.
2. Bei den Patienten mit Unterkieerrückverlagerung traten in fünf von siebzehn Fällen Veränderungen des Gesichtstyps auf.
3. Mit der kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Therapie wurde bei allen Patienten die Kaufunktion und die faziale Ästhetik individuell optimiert.

Gscan

1. Durch seine optische Arbeitsweise bietet der *Gscan* eine geeignete Möglichkeit das Gesicht berührungslos und dreidimensional zu erfassen.
2. Während der Aufnahmezeit entstanden für den Patienten keine physischen und psychischen Belastungen.
3. Da Bewegungen des Patienten während der Aufnahme zu Artefakten in den Mess- und Bilddaten führten, ist eine Messdauer von mehr als 20 Sekunden klinisch weniger angemessen und bedarf technischer Verbesserungen.

Diagnostische Möglichkeiten

1. Die dreidimensionale Analyse der Weichteilveränderungen nach Dysgnathiechirurgie bildet die Grundlage für prognostische Aussagen.
2. Die Erfassung eines ausreichend großen Pools derartiger morphologischer Daten kann als Basis für 3D-Vorhersageprogramme genutzt werden.
3. Die Visualisierung und Prognose von Weichteilveränderungen können dem Behandler bei der Aufklärung des Patienten helfen.

Literaturverzeichnis

- Andresen V. 1936. Über das sogenannte „Norwegische System“ der Funktionskieferorthopädie. Deutsche Zahnärztliche Wochenschrift, 39:236–236.
- Angle EH. 1899. Classification of malocclusion. Dent Cosmos, 41:248–264, 350–357.
- Bammes G. 1981. Figürliches Gestalten - Ein Leitfaden für Lehrende und Lernende. Zweite Aufl. Volk und Wissen.
- Bastian B, Georg T, Lisson JA. 2003. Genauigkeit der Vorhersage von Weichteilveränderungen durch orthognathe Chirurgie. Kieferorthopädie, 17:121–131.
- Beckmann-van der Ven G, Segner D, Hasund A. 1985. Die Erfassung der Gesichtsweichteiloberfläche in drei Dimensionen unter besonderer Berücksichtigung der Mandibula. Fortschritte der Kieferorthopädie, 46(4):279–287.
- Björk A. 1972. Timing of interceptive orthodontic measures based on stages of maturation. Transactions European Orthodontic Society, 48:61–74.
- Breuckmann B. 1993. Bildverarbeitung und optische Messtechnik in der industriellen Praxis. Franzis-Verlag.
- Chunmaneechote P, Friede H. 1999. Mandibular setback osteotomy: facial soft tissue behavior and possibility to improve the accuracy of the soft tissue profile prediction with the use of a computerized cephalometric program. Clinical orthodontics and research, 2(2):85–98.
- Dahlberg G. 1940. Statistical methods for medical and biological students. New York: Interscience Publications.
- Dal Pont G. 1961. Retromolar osteotomy for the correction of prognathism. Journal of Oral Surgery, 19:42–47.
- D’Apuzzo N. 2006. Overview of 3D surface digitization technologies in Europe. Proc of the SPIE-IS&T Electronic Imaging, 6056.

- Dermaut LR, De Smit AA. 1989. Effects of sagittal split advancement osteotomy on facial profiles. *European Journal of Orthodontics*, 11:366–374.
- Diedrich P. 2000. *Praxis der Zahnheilkunde, Kieferorthopädie II - Therapie*, Bd 11/II. Vierte Aufl. Urban and Fischer.
- Enlow DH. 1996. *Essentials of facial growth*. Saunders, Philadelphia.
- Ewing M, Ross RB. 1992. Soft tissue response to mandibular advancement and genioplasty. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 101(6):550–555.
- Fanibunda KB. 1989. Changes in the facial profile following correction for mandibular prognathism. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 27:277–286.
- Farkas LG, Hreczko TA, Kolar JC, Munro IR. 1985. Vertical and horizontal proportions of the face in young adult North American Caucasians: revision of neoclassical canons. *Plastic Reconstructive Surgery*, 75:328–338.
- Fischer AM. 2000. *Prognose zur Veränderung des Weichgewebsprofils einer skeletal tiefen Konfiguration durch operative Therapie im Unterkiefer mit Hilfe des Dentofacial-Planner-Plus 2.01 [Dissertation]*. Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Fränkel R, Fränkel C. 2001. Clinical implication of Roux's concept in orofacial orthopedics. *Journal of Orofacial Orthopedics*, 62(1):1–21.
- Gaggl A, Schultes G, Kärcher H. 1999. Changes in soft tissue profile after sagittal split ramus osteotomy and repositioning of the mandible. *Journal of Oral and maxillofacial Surgery*, 57(5):542–546.
- Gattinger B, Obwegeser JA. 2002. *Spezielle Chirurgie, Lehrbuch zur Aus- und Weiterbildung*. Dritte Aufl. Thieme-Verlag.
- Gedrange T, Hietschold V, Haase I, Haase J, Laniado M, Harzer W. 2005. Computertomographische Untersuchung von Muskelvolumen, -querschnitt und -dichte bei Dygnathiepatienten. *Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren*, 177:204–209.

- Giel D, Bongartz J, s Fray, Hering P. 2002. Dreidimensionale Darstellung der Körperoberfläche - Ultraschnelle Porträtolographie. Deutsches Ärzteblatt/PraxisComputer, 99(23):28–29.
- Gjørup H, Athanasiou AE. 1991. Soft-tissue and dentoskeletal profile changes associated with mandibular setback osteotomy. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 100(4):312–323.
- Greulich WW, Pyle SI. 1959. Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist. Stanford University Press.
- Gwilliam JR, Cunningham SJ, Hutton T. 2006. Reproducibility of soft tissue landmarks on three-dimensional facial scans. European Journal of Orthodontics, 28(5):408–415.
- Harzer W. 1999. Lehrbuch der Kieferorthopädie. München, Wien: Carl Hanser-Verlag.
- Heine AK. 2005. Individuelle dreidimensionale Simulation von Weichteilveränderungen im Gesichtsbereich - eine Finite-Elemente-Studie [Dissertation]. Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Heiner H, Hyckel P. 1985. Kieferchirurgie, Kap Dysgnathien. Zweite Aufl. Johann Ambrosius Barth-Verlag, 257–282.
- Hernandez-Orsini R, Jacobson A, Sarver DM, Bartolucci A. 1989. Short-term and long-term soft tissue profile changes after mandibular advancements using rigid fixation techniques. International Journal of Adult Orthodontics and Orthognathic Surgery, 4:209–218.
- Hershey HG, Smith LH. 1974. Soft-tissue profile change associated with surgical correction of the prognathic mandible. American Journal of Orthodontics, 65(5):483–502.
- Hönn M, Göz G. 2007. Das faziale Schönheitsideal: ein Literaturüberblick. Journal of Orofacial Orthopedics, 68(1):6–16.
- Holberg C, Heine AK, Geis P, Schwenzer K, Rudzki-Janson I. 2005a. Dreidimensionale Weichteilprognose mit Finiten Elementen, Teil II: Klinische Anwendung. Journal of Orofacial Orthopedics, 66(2):122–134.

- Holberg C, Schwenzer K, Rudzki-Janson I. 2005b. Dreidimensionale Weichteilprognose mit Finiten Elementen, Teil I: Implementierung eines neuen Verfahrens. *Journal of Orofacial Orthopedics*, 66(2):110–121.
- Ingervall B, Egermark-Erikson I. 1979. Function of temporal and masseter muscles in individuals with dual bite. *The Angle Orthodontist*, 49(2):131–140.
- Ingervall B, Thuer U, Vuillemin T. 1995. Stability and effect on the soft tissue profile of mandibular setback with sagittal split osteotomy and rigid internal fixation. *International Journal of Adult Orthodontics and Orthognathic Surgery*, 10:15–25.
- Janson M. 1981. Long-term effects of orthodontic treatment. A functional cephalometric and clinical study of Angle Cl. II, div. 1 malocclusion cases. [Dissertation]. University of Bergen, Norwegen.
- Kajikawa Y. 1979. Changes in soft tissue profile after surgical correction of skeletal class III malocclusion. *Journal of Oral Surgery*, 37(3):167–174.
- Keß K. 1990. Altersabhängige Weichteilveränderungen des Gesichts. *Fortschritte der Kieferorthopädie*, 51(6):373–377.
- Keßler P, Wiltfang J, Girod B, Neukamp FW. 2000. Computergraphische Simulationmöglichkeiten in der orthopädischen Chirurgie. *Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie*, 4(6):373–376.
- Kühmstedt P, Notni G. 2005. Mehrbild-3D-Messsysteme in Rapid-Prototyping und Qualitätssicherungs-Prozessketten.
- Kim NK, Lee C, Kang SH, Park JW, Kim MJ, Chang YI. 2006. A three-dimensional analysis of soft and hard tissue changes after a mandibular setback surgery. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 83(3):178–187.
- Lew KK, Loh FC, Yeo JF, Loh HS. 1990. Evaluation of soft tissue profile following intraoral ramus osteotomy in Chinese adults with mandibular prognathism. *International Journal of Adult Orthodontic and Orthognathic Surgery*, 5:189–197.
- Lines PA, Steinhäuser EW. 1974. Soft tissue changes in relationship to movement of hard structures in orthognathic surgery: a preliminary report. *Journal of Oral Surgery*, 32:891–896.

- Luhmann T. 2003. Nahbereichsphotogrammetrie. Herbert Wichmann-Verlag.
- Lunström A. 1977. Need for treatment in cases of malocclusion. Transactions of the European Orthodontic Society, 53:111–123.
- Malmgren O. 1980. Studies on the need and demand of orthodontic treatment. Swedish dental journal:1–121.
- Mobarak KA, Espeland L, Krogstad O, Lyberg T. 2001a. Soft tissue profile changes following mandibular advancement surgery: Predictability and long-term outcome. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 119(4):353–367.
- Mobarak KA, Krogstad O, Espeland L, Lyberg T. 2001b. Factors Influencing the Predictability of Soft Tissue Profile Changes Following Mandibular Setback Surgery. The Angle Orthodontist, 71(3):216–227.
- Mommaerts MY, Marxer H. 1987. A Cephalometric Analysis of the Long-term, Soft Tissue Profile Changes which Accompany the Advancement of the Mandible by Sagittal Split Ramus Osteotomies. Journal of Craniomaxillofacial Surgery, 15:127–131.
- Notni G. 2005. Konfokale Verfahren, Triangulationsverfahren - Lichtschnitt- und Streifenprojektionstechnik.
- Notni G, Kühmstedt P. 2002. Nahbereichsphotogrammetrie in der Praxis, Kap Oberflächenerfassung: Gesichtsvermessung für die kieferorthopädische Behandlungsplanung und Verlaufskontrolle - G-Scan. Herbert Wichmann-Verlag, 241–244.
- Notni G, Kühmstedt P. 2003. Der digitale Mensch - Optische 3D-Erfassung und Analyse biometrischer Daten. Laser + Photonik, 4:46–48.
- Notni G, Kühmstedt P, Heinze M, Himmelreich M. 2003a. Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik, Kap Phasogrammetrische 3D-Messsysteme und deren Anwendung zur Rundumvermessung. Herbert Wichmann-Verlag, 21–32.
- Notni G, Riehemann S, Kühmstedt P, Heidler L, Wolf N. 2004. OLED microdisplays: a new key element for fringe projection setup. In: Osten W, Novak E, Hrsg. Interferometry XII: Applications, Bd 5532. Proceedings of the SPIE.

- Notni GH, Heinze M, Notni G. 1999. Genauigkeit verschiedener pixelweise adressierbarer Projektoren beim Einsatz in der Streifenprojektion. In: Berichtsband, Messen in der Fertigung: 3D-Messtechnik in Produktion und Entwicklung, Bd 70.
- Notni GH, Kühmstedt P, Heinze M, Notni G. 2003b. Simultane Erfassung von 3D-Form und Farbe komplexer Objekte. TM-Technisches Messen, 70(2):79–84.
- Nötzel F, Schultz C. 2001. Leitfaden der kieferorthopädischen Diagnostik: Analysen und Tabellen für die Praxis. Deutscher Zahnärzte-Verlag, DÄV-Hanser.
- Obwegeser H, Trauner R. 1955. Zur Operationstechnik bei der Progenie und anderen Unterkieferanomalien. Deutsche Zahn-Mund-Kieferheilkunde, 23:1–2.
- Osten W, Jüptner W, Hrsg. 2001. 360-deg shape measurement with fringe projection-calibration and application. Fringe 2001-Workshop on Automatic Proceeding of Fringe Pattern. Elsevier-Verlag.
- Pogrel MA. 1991. What are normal esthetic values? Journal of Maxillofacial Surgery, 49(9):963–969.
- Quast DC, Biggerstaff RH, Haley JV. 1983. Ther short-term and long-term soft-tissue profile changes accompanying mandibular advancement surgery. American Journal of Orthodontics, 84(1):29–36.
- Rakosi T, Jonas I. 1989. Farbatlant der Zahnmedizin, Kieferorthopädie - Diagnostik, Bd 8. Thieme-Verlag.
- Rateitschak KH, Rateitschak EM, Wolf HF. 1984. Parodontologie. Farbatlant der Zahnmedizin, Bd 1. Thieme-Verlag.
- Reitemeier B, Notni G, Fichtner D, Heinze M, Schöne C, Schmidt A. 2002. Verfahren zur digitalen Darstellung von Körperoberflächen für Epithesen, Strahlenapplikatoren und Atemmasken. Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift, 57(10):623–625.
- Reitemeier B, Notni G, Heinze M, Schöne C, Schmidt A, Fichtner D. 2004. Optical modeling of extraoral defects. Journal of Prosthetic Dentistry, 91(1):80–84.
- Richter U. 1992. Interdisziplinäre Koordination - Ein fachübergreifendes Behandlungskonzept für skelettale Dysgnathien Teil II. Praktische Kieferorthopädie, 6:1–24.

- Robinson SW, Speidel TM, Isaacson RJ, Worms FW. 1972. Soft Tissue Profile Change Produced by Reduction of mandibular Prognathism. *The Angle Orthodontist*, 42(3):227–235.
- Roux W. 1894. *Development Genes and Evolution*, Bd 1, Kap Biomedical and Life Sciences. Springer-Verlag.
- Schreiber W, Notni G. 2000. Theory and arrangements of self-calibrating whole-body three-dimensional measurement systems using fringe projection technique. *Optical Engineering*, 39:159–169.
- Schwarz AM. 1958. *Röntgendiagnostik*. Urban & Schwarzenberg.
- Schwenzer K, Holberg C, Willer J, Mast G, Ehrenfeld M. 1998. 3D-Erfassung der Gesichtsoberfläche durch Topometrie unter der Verwendung von projizierten Weißlichtstreifen. *Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie*, 2:130–134.
- Simon PW. 1922. *Grundzüge einer systematischen Diagnostik der Gebissanomalien*. H. Meusser Verlag.
- Soncul M, Bamber A. 2000. The reproducibility of the head position for a laser scan using a novel morphometric analysis for orthognathic surgery. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 29(2):86–90.
- Steinhäuser EW, Janson IM. 1988. *Kieferorthopädische Chirurgie, Eine interdisziplinäre Aufgabe*, Bd 1. Quintessenz Verlags-GmbH.
- Suckiel JM, Kohn MW. 1978. Soft-tissue changes related to the surgical management of mandibular prognathism. *American Journal of Orthodontics*, 73(6):676–680.
- Surwald S, Ward-Booth P. 2000. Erste Erfahrungen mit der digitalen dreidimensionalen stereofotogrammetrischen Bildgebung. *Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie*, 4(3):183–186.
- Swennen GRJ, Schutyser F, Hausamen JE. 2006. *Three-Dimensional Cephalometry, A Color Atlas and Manual*. Springer-Verlag.
- Tammoscheit UG. 1971. *Zur Ätiologie und Pathogenese der sogenannten Angle-Klasse II,1 [Habilitation]*.

- Thuer U, Ingervall B, t Vuillemin. 1994. Stability and effect on the soft tissue profile of mandibular advancement with sagittal split osteotomy and rigid internal fixation. *International Journal of Adult Orthodontics and Orthognathic Surgery*, 9:175–185.
- Watted N, Bartsch A. 2002. Ästhetische Aspekte der kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Behandlung sagittal-vertikaler Anomalien am Beispiel des Short-Face-Syndroms. *Fortschritte der Kieferorthopädie*, 63(2):129–142.
- Watted N, Bill JS, Peters C. 2000. Therapiekonzept zur kombinierten kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Behandlung von Klasse-II-Dysgnathien mit Short-face-Syndrom. *Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie*, 4(2):118–124.
- Willmot DR. 1981. Soft tissue profile changes following correction of class III malocclusions by mandibular surgery. *British Journal of Orthodontics*, 8:175–181.
- Wisth PJ. 1984. Mandibular function and dysfunction in patients with mandibular prognathism. *American Journal of Orthodontics*, 85(3):193–198.
- Wolford LM, Hillard FW, Dugan DJ. 1985. Surgical treatment objective. A systematic approach to prediction tracing. C. V. Mosby, St. Louis.

Anhang

Danksagung

Für die Übernahme des Themas und die hervorragende Betreuung bei der Durchführung meiner Arbeit gilt mein ganz besonderer Dank Herrn Prof. Dr. med. dent. C. J. Lux. Ebenso danke ich Herrn Prof. Dr. med. Dr. med. dent. S. Schultze-Mosgau für das intensive Mitwirken zum Gelingen der Studie.

Es sei auch Herrn Prof. Dr. med. dent. H. Küpper und seinen Mitarbeitern für die klinische Weiterführung des Projektes „3D-Formerkennung für die funktionsrelevante Diagnostik und Therapie in der Zahnmedizin“ (Förderkennzeichen: B 509-03-009 des TMWFK) gedankt.

Ein großes Dankeschön wird der Abteilung Optische Systeme/Optische Messtechnik des Fraunhofer Institutes für Angewandte Optik und Feinmechanik in Jena, insbesondere Herrn Dr. rer. nat. P. Kühmstedt, sowie der Firma IVB GmbH, vor allem Herrn G. H. Notni, zuteil. Sie haben mich bei Fragen im Bereich der optischen Messtechnik und speziellen Softwareanwendungen ausgezeichnet unterstützt und immer wieder gefördert.

Herrn Prof. Dr. med. Dr. med. dent. W. Zenk und Dr. med. dent. G. Reinhardt möchte ich für fachliche Diskussionen und Hinweise sowie für die Motivation der Patienten bezüglich der Studie danken.

Außerdem gilt mein aufrichtiger Dank Herrn PD Dr. med. dent. habil U. Langbein für die Überlassung des Themas und Herrn Prof. Dr. med. dent. S. Kopp für die Erstbetreuung.

Der Thüringer Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde am Klinikum der FSU Jena e.V. danke ich für die Vergabe des „Adolph-Witzel-Stipendiums 2004“.

Ebenso geht ein Dank an an Helga und Michael Dreisow für die stetige moralische Unterstützung und Aufmunterung.

Gedankt sei auch all jenen, die nicht namentlich erwähnt wurden, jedoch zum Erfolg und Fortschreiten der Arbeit beigetragen haben.

Lebenslauf

Name	Dreisow
Geburtsname	Brandt
Vorname	Antje
Anschrift	Mühlenstraße 7 06647 Bad Bibra

Persönliche Angaben

Geburtsort	Naumburg/Saale
Geburtsstag	14.06.1981
Eltern	Brandt, Marion Mauer, Bernd
Familienstand	verheiratet

Ausbildung

1988 - 1992	Grundschule Herrengosserstedt
1992 - 1998	Domgymnasium Naumburg/Saale
1998 - 2000	Gymnasium Laucha/Unstrut
2000 - 2006	Zahnmedizinstudium an der Friedrich-Schiller-Universität Jena
30.01.2006	Zahnärztliche Approbation
04/2006-03/2007	Assistenz Zahnärztliche Tätigkeit in der Praxis Dr. B. Siegel in Bad Bibra
04-05/2007	Hospitantin in der Poliklinik für Kieferorthopädie am Universitätsklinikum der Friedrich-Schiller-Universität Jena
seit 06/2007	Assistenz Zahnärztliche Tätigkeit in der Praxis Dr. B. Siegel in Bad Bibra

Jena, am 5. Juni 2008

Antje Dreisow

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass

- mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität Jena bekannt ist,
- ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,
- mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben: Prof. Dr. med. dent. C. J. Lux, Dr. rer. nat. P. Kühmstedt, Dr. rer. nat. R. Vollandt, Dr. phil. T. Buhl, Dr. med. dent. G. Reinhardt
- die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde,
- Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,
- ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Jena, am 5. Juni 2008

Antje Dreisow