

Klinik und Poliklinik für Plastische Chirurgie und Handchirurgie,
Technische Universität München, Klinikum rechts der Isar
Direktor: Univ.-Prof. Dr. H.-G. Machens

**Entwicklung eines strukturierten Evaluationsbogens für eine
objektive 3-D Analyse der Gesichtsgeometrie
in der Plastischen, Ästhetischen und Rekonstruktiven Chirurgie**

Dorothee Oestreicher

**Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität
München zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Medizin
genehmigten Dissertation.**

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. E. J. Rummeny

Prüfer der Dissertation:

1. Priv.-Doz. Dr. L. Kovacs-Hintz
2. Univ.-Prof. Dr. H.-G. Machens

Die Dissertation wurde am 16.04.2013 bei der Technischen Universität
München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 16.10.2013 angenommen

**Meinen Eltern
in Dankbarkeit**

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	7
1.1 Quantifizierung menschlicher Proportionen	7
1.1.1 Der Schönheitsbegriff und das Ideal des Goldenen Schnittes.....	7
1.1.2 Die Vermessung des menschlichen Körpers und Einfluss der Anthropometrie in der Architektur von der Antike bis in die Moderne.....	12
1.2 Methoden zur Quantifizierung der Gesichtsgeometrie	21
1.2.1 Zwei- und dreidimensionale Messverfahren - eine Übersicht.....	21
1.2.2 Zweidimensionale Messverfahren.....	23
1.2.3 Dreidimensionale Messungen.....	25
1.2.4 3D-Fertigungsverfahren.....	34
1.3 Problemstellung und Ziel der Arbeit	35
1.3.1 Problemstellung und Problemdefinition	35
1.3.2 Klinische Anwendung.....	35
1.3.3 Ziel der Arbeit.....	36
2. Material und Methoden	37
2.1 Entwicklungsprozess des Evaluationsbogens	37
2.2 Klinische Datenakquisition	37
2.2.1 Persönliche Datenerhebung.....	37
2.2.2 Fotografie.....	37
2.2.3 Laserscan	38
2.2.3.1 Laserscanner Konica Minolta	38
2.2.3.2 Laserscanaufnahme	39
2.3 Grundlagen der Analyse	39
2.3.1 Erstellung des virtuellen Modelles mittels Software.....	39
2.3.2 Landmarks.....	40
2.3.3 Ansatzpunkte für die Berechnungen	46
2.3.4 Ästhetische Regionen	56
2.3.5 Erstellung des Evaluationsbogens	61
2.4 3D-Analyse am Beispiel des Puppenmodelles	65
2.4.1 Spiegelebene und Spiegelung.....	65
2.4.2 2D-Compare.....	65
2.4.3 3D-Compare.....	66
2.4.4 Trendanalyse.....	67
2.5 Daten der Probandin	67
2.6 Daten der Patienten	67
3. Ergebnisse	69
3.1 Evaluationsbogen Puppenmodell	69
3.2 Evaluationsbogen Probandin	73
3.3 Evaluationsbogen Patientin S.F.	78
3.4 Evaluationsbogen Patientin V.R.	87
3.5 Evaluationsbogen L.X.	107
4. Diskussion	109
4.1 Mögliche Fehlerquellen	110
4.2 Diskussion des Evaluationsbogens und der Ergebnisse	111

4.3 Schlussfolgerung und Ausblick	112
5. Zusammenfassung	115
6. Literaturverzeichnis	117
7. Abbildungsverzeichnis.....	125
8. Tabellenverzeichnis.....	127
9. Anhang.....	129
9.1 Einverständniserklärung	129
9.2 Evaluationsbogen L.X.....	131
10. Danksagung	151
11. Lebenslauf.....	153

1. Einleitung

1.1 Quantifizierung menschlicher Proportionen

1.1.1 Der Schönheitsbegriff und das Ideal des Goldenen Schnittes

„Der Mensch ist das Maß aller Dinge“

- dieser Denkansatz, betitelt als „homo mensura“, formuliert eine fundamentale Erkenntnis und soll ganz bewusst die Frage des Zusammenhanges mit einem medizinischen Faktum aufwerfen. In der Tat impliziert diese Sentenz - von dem bedeutenden Sophisten Protagoras (Abdera, um 485-415 v.Chr.) postuliert und von Platon (Athen, 427 – 348/7 v. Chr.) in „*Theaitetos*“[99] aufgegriffen - philosophische Denkinhalte, welche vor allem respektive der „Relativität des menschlichen Wissensumfanges“ interpretiert wurden und auch weiterhin diskutiert werden. Diesem komplexen Ausgangspunkt steht aber auch ein greifbarer Ansatz gegenüber: Für die dieser Dissertation zu Grunde liegenden Arbeitshypothese im Sinne einer „Standardisierung und Optimierung der dreidimensionalen Körperoberflächen- erfassung in der Gesichtsregion“ soll die Bedeutung des griechischen Wortes „μέτρον“ (métron) in seiner messtechnischen Tragweite und die immer wieder kehrende Verwendung menschlicher Proportionen als Maßeinheit exemplifiziert werden.

Dabei gilt es, die bis in die Antike zurückreichenden anfänglichen Überlegungen als Basis für die heutigen modernen Methoden zu verknüpfen und die Weiterentwicklung der Bildgewinnung und technischen Verarbeitung bis hin zu hochaktueller dreidimensionaler Visualisierung durch Computermodelle darzustellen.

Die Optimierung dieser Anwendungen, wie etwa im vorliegenden Projekt mittels Laserscan und progressiver Software, hat im Laufe der letzten Jahre progressiv zu verbesserten Darstellungsmöglichkeiten geführt. Der Vorteil der Dreidimensionalität, den die Illustrierung des Weichteilgewebes mit sich bringt, ist aus technischer, medizinischer und persönlicher Sichtweise ein bemerkenswerter Fortschritt. Dies hat auch Ferrario[48] (Ferrario, 1995, S. 280) schon festgehalten: “The technological developments in computer sciences and medical imaging presently allow visualization of the external surface and the internal structures of the living body with remarkable clarity”. Der technische Fortschritt zeigt sich auch dahingehend, dass die konstante Verarbeitung von Informationen in einem dreidimensionalen Prozess an sich bisher ein Privileg des menschlichen Auges und eine Leistung des Zentralen Nervensystems darstellte.

Um den Zugang zu der vorliegenden Fragestellung zu erleichtern, sei zunächst die Proportion ihrem Sinngehalt nach dargestellt: der Duden[36] unterscheidet unter anderem bildungssprachlich das „[Größen]verhältnis verschiedener Teile eines Ganzen zueinander“ vom mathematischen Aspekt des „durch einen Quotienten ausdrückbare Verhältnis zweier oder mehrerer Zahlen zueinander“. Beide Blickwinkel im Folgenden beleuchtend, kann bereits an dieser Stelle die Relevanz für chirurgische Disziplinen, insbesondere bei ästhetischen und rekonstruktiven Überlegungen, herausgestellt werden: das Ziel dieser ärztlichen Bemühungen sollte sein, ein größtmögliches

Ebenmaß, Harmonie und Ausgewogenheit (Synonyme der Proportion, vergleiche Duden[36]) zu erreichen. Dante Alighieri (italienischer Dichter und Philosoph, 1265-1321) wusste in seinem Buch „Il convivio“ bereits zu berichten: „Ein Mensch erscheint dann als schön, wenn seine Glieder in entsprechendem Verhältnis zueinander stehen“ (Beitin, 2004, S. 16)[23].

Seit jeher wird diskutiert, in wieweit proportionales Gleichmaß mit Schönheit gleichzusetzen ist[15, 18, 63, 66, 72] und welche Abhängigkeiten zu Symmetrie und Durchschnittlichkeit bestehen, wenn sich etwas „in seiner Art besonders reizvoll, ansprechend, sehr angenehm oder wohltuend auf das Auge oder Ohr“ auswirkt (Duden[36], 2013). Langlois und Roggman[80] erreichten in den neunziger Jahren mit der Durchschnittlichkeitshypothese „Attractive faces are only average“ Bekanntheit, diesem Postulat widerspricht Pollard[94] Ende desselben Jahrzehntes. Dies sei als eines von zahlreichen Beispielen in der ewig jungen Erörterung genannt. Der Schönheitsbegriff erhält hierbei durch die Beifügung „Attraktivität“ eine weitere Facette: Der Blickpunkt wechselt aus dem ästhetischen Bereich und gleitet in den sozialen, beide verknüpfend. Auch in Zukunft wird die eminente Rolle der Schönheit im Alltag, in der intersozialen Kommunikation und in der Psychologie ebenso wie auch in der Medizin Gegenstand eines lebhaften Dialoges sein. Für eigenständige Untersuchungen über Attraktivitätsmerkmale ist ausreichend Material vorhanden, man denke an die zunehmende Interkulturalität und Globalisierung: So ergibt sich aus wissenschaftlicher Perspektive durch die multiethnischen Verbindungen zum Beispiel die Frage, inwieweit Schönheitsideale von Kultur und Lebensstil, sowie Geographie und geschichtlichem Hintergrund beeinflusst werden. Iglesias-Linares et al.[65, 87] etwa stellten 2011 beim Vergleich von jeweils 40 weißen und schwarzen Menschen fest: „beautiful women tend to have similar facial features that are a mixture of both black and white features“ (Iglesias-Linares et al., 2011, S. 216).

Geprägt werden Schönheitsideale desgleichen durch den Wandel der Zeit: Eco[35] widmete sich der „Geschichte der Schönheit“; er konstatiert ähnlich der obigen Ausführungen, dass „das vorliegende Buch von dem Prinzip aus [geht], dass Schönheit nie etwas Absolutes und Unveränderliches war, sondern je nach der historischen Epoche und dem Land verschiedene Gesichter hatte“ ([35], Eco, 2009, Einführung (S. 8-35), S. 14). Die Subjektivität, die sich bei dieser Art von Beurteilung ausdrückt, eröffnet schier unendliche Interpretationsmöglichkeiten. Dieser ganz individuelle Spielraum drückt sich in der Literatur durch das (häufig) zitierte geflügelte Wort „Beauty is in the eye of the beholder“ (Margret Wolfe Hungerford, 19. Jahrhundert) aus; welches in anderer Form durch Shakespeare (englischer Dramatiker und Lyriker, 1564-1616) in „Love Labour’s Lost“ (1588, Act 2, Scene 1, The same) populär wurde: „Beauty is bought by judgement of the eye“ ist ein Gedanke, der in der Philosophie und Kulturgeschichte[91], in der Psychologie und Soziologie[80] aufgegriffen wird. Johann Caspar Lavater (Schweizer Pfarrer und Philosoph, 1741-1801) machte durch seine vier Bände „Physiognomische Fragmente zur Beförderung der Menschenkenntnis und Menschenliebe“ gar den Gedanken populär, von den Gesichtszügen auf die Charaktereigenschaften des Menschen schließen zu können. Im Hinblick auf die von uns untersuchte faziale Geometrie wurde deren Stellenwert bereits in Schweden und den USA erkannt und hat in diesen Ländern zu einem Bewerberausleseverfahren bei Stellenangeboten geführt, in dem den Unterlagen keine Fotos beigelegt werden, um die Qualität frei und unbeeinflusst vom ästhetisch subjektiven Eindruck beurteilen zu können.

Künstler beschäftigen sich auf unterschiedlichste Art mit Schönheit. Bobby Neel Adams, ein zeitgenössischer amerikanischer Fotograf, hat die „Zeichen der Zeit“, die im Laufe eines Lebens Gesichter verändern können und nahezu jedes Individuum beschäftigen, in seinem „family tree“ sowie „age maps“ (Abb. 1 und 2) festgehalten. Bei der ersten Arbeit handelt es sich um die Zusammensetzung einer Gesichtshälfte zum Beispiel der Mutter mit der anderen der Tochter; bei der zweiten um die einer einzelnen Person als Kind und im Alter. Die individuelle „Schönheit“ im Lebenswandel soll ausgedrückt werden (www.bobbyneeladams.com).



Abbildung 1: Bobby Neel Adams, "FamilyTree"[13]

(mit freundlicher Genehmigung von Bobby Neel Adams)



Abbildung 2: Bobby Neel Adams, "AgeMaps"[12]

(mit freundlicher Genehmigung von Bobby Neel Adams)

Schönheit beschreibt letztlich einen so allumfassenden Begriff, dass eine abschließende Erläuterung in keiner Kategorie glaubwürdig zu vertreten wäre. Und dennoch, beziehungsweise gerade deswegen, findet die Fragestellung, die über die Jahrzehnte nichts an ihrer Aktualität verloren hat - es sei das 2007 veröffentlichte Review über das Schönheitsideal von Honn und Göz genannt[63] - ihren Stellenwert auch in medizinischen Publikationen[14, 18, 22, 32, 55, 66, 72]. Dass diese Überlegungen gerade im chirurgischen Bereich bedeutsam sind, stellt die Publikation „Changing perceptions of beauty: a surgeon's perspective“[15] (Adamson, 2006) heraus.

Gerade für den uns interessierenden medizinischen Blickwinkel mit seinem Anspruch der evidenzbasierten ärztlichen Wissenschaft ist es dagegen von enormem Interesse, ein objektivierbares Kriterium - ein „Maß“ - für die Behandlung zu finden, mit dem all die Teilaspekte, die für das Individuum und dessen Umfeld Schönheit repräsentieren, bestmöglich eingeschlossen werden. So konstatiert auch Eco: „Wir beurteilen etwas als schön, wenn es wohlproportioniert ist. Das ist insofern verständlich, als Schönheit seit der Antike mit der Proportion identifiziert (wird)“ ([35], Eco, 2009, Kapitel III „Schönheit als Proportion und Harmonie“, S. 61. Die Frage ist aber nun, wie ein solches Maß zu finden ist.

Der Goldene Schnitt:

Die Suche nach dem idealen System reicht weit zurück bis in die antike Vergangenheit. Die älteste Messregel, die offensichtlich intuitiv unter anderem von den Ägyptern beim

Bau der Pyramiden angewandt wurde, hat Euklid in seinem Werk "Elemente" (Buch VI) mitgeteilt. Sie hat viele Namen: "Goldenes Mittel", "Goldenes Verhältnis", "Heiliger Schnitt", "Divina Proportione", "Sectio aurea" und (seit dem 19. Jhdt. allgemein üblich) "Goldener Schnitt". Als mathematische Grundlage wird die „Göttliche Proportion“ genommen, die eine bestimmte Relation zweier Größen zueinander ausdrückt, welche mit der Zahl Φ (phi) festgelegt ist. Φ entspricht ~ 1.618 , entstehend aus der Gleichung

$$\Phi = \frac{1}{2} \sqrt{5} + 1$$

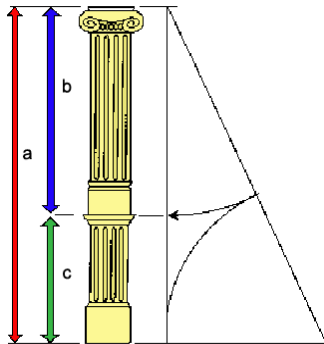


Abbildung 3: Goldener Schnitt am Beispiel der klassischen Säule[88]

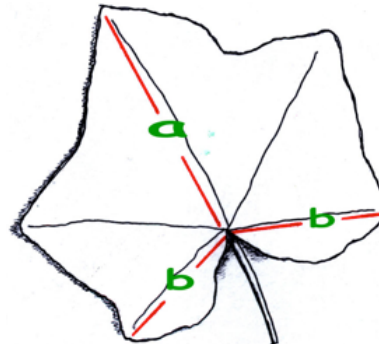


Abbildung 4: Goldener Schnitt am Beispiel eines Efeublattes[50]

Betrachtet man eine Strecke, die aus zwei Abschnitten besteht, so findet man den Goldenen Schnitt, wenn sich der größere zum kleineren Abschnitt verhält wie die ganze Strecke zum größeren Abschnitt, $a:b = b:c$. Wie Abb. 3 zu entnehmen, ist diese *proportio divina* Bestandteil in der Architektur, des Weiteren in der Kunst und Malerei, um nur einige Bereiche zu nennen. Erstaunlicherweise findet sich (näherungsweise) diese Proportion auch in der natürlichen Umwelt[92, 102, 110]: So findet sich zur bestmöglichen Sonnenlichtnutzung in der Botanik dieses ideale Streckenverhältnis beispielsweise bei Blättern (Abb. 4). Die Proportionslehre gewinnt mit dem Goldenen Schnitt und der Verhältniszahl „phi“ eine konkrete, anwendbare Größe.

Sie hat eine aufregende Geschichte genommen, in der Vitruv (ca. 70-10 v.Chr.), Leonardo da Vinci (1452-1519), Albrecht Dürer (1471-1528) und Le Corbusier (1887-1965) eine bedeutende Rolle spielen, denn sie übertragen diese Formel, die mitunter auch in Vergessenheit zu geraten drohte, auf den Menschen und die darstellenden Künste; verknüpfen Anthropometrie mit Architektur, Malerei und Plastik. Stephen Marquardt (amerikanischer Chirurg) entwickelte eine auf „phi“ beruhende frontale Profil-Gesichtsmaske (Abb. 5). Auf komplexen Berechnungen beruhend sollen die Masken Ausdruck der Wohlproportion und damit des Idealgesichtes sein. Die Maske (<http://www.beautyanalysis.com/>) kann über Fotografien gelegt werden und somit Abweichungen des Individuums vom „perfekten“ Vorbild offenbaren.



Abbildung 5: Stephen Marquardt, „Gesichtsmaske“ für die Schönheitsanalyse[85]

Grundlage aller Überlegungen, die dieser Dissertation zu Grunde liegen, sind anthropometrischer Natur, sodass die Frage lautet, in welchem Maß die „Wissenschaft von den menschlichen Körper- und Skelettmerkmalen und deren exakter Bestimmung“[116] (Duden, 2013) Einfluss hat, um das Verständnis für die heutzutage und hier verwendeten hochmodernen Messtechniken zu schärfen. In diversen Bereichen spiegelt sich die Messung und Vermessung des menschlichen Körpers als Analogon zu Dingen wieder, die in Symmetrie, Harmonie und Ausgewogenheit ausgedrückt werden sollen.

Nicht zu vergessen sind die Vielzahl „versteckter“ Bereiche, in denen Mess- und Auswerteverfahren rund um den Menschen eine Rolle spielen: Einen rasanten Aufschwung erfuhr die Biometrie in den letzten Jahren beispielsweise bei der Entwicklung fälschungssicherer neuer Reisepässe. In Rechtsmedizin und Forensik spielen zur Identifizierung von Menschen Messmethoden eine Rolle, bei denen zunehmend auch diejenigen Lasertechniken der vorliegenden Arbeit zur Nutzung kommen[105]. Setzt man bei pränatalen Körperberechnungen (SSL, Scheitel - Steißlänge e.g.) einen Beginn, schließt sich bei der Postmortalität der Kreis der „lebenslang“ wiederkehrenden (medizinischen) Bedeutung von Anthropometrie. Darüber hinaus sei zu erwähnen, dass in der heutigen Pränatalmedizin ebenso auch dreidimensionale Diagnostikwerkzeuge entwickelt und immer mehr bevorzugt werden.

Zweidimensionale Messungen werden in der Medizin, speziell vor dem Hintergrund der knöchernen Beurteilung in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie sowie in der Kieferorthopädie durchgeführt. Historisch gesehen hat sich der Mensch zunächst sein eigenes Maßsystem entwickelt - vorab als Beispiel die Längeneinheit der „Elle“ (zum Beispiel deutsche Beschreibung als 2.5 Fuß zu 26.8 cm) beziehungsweise der „Fuß“ (die englische Definition beträgt 1 ft = 30.48 cm); heutzutage bedient sich die Wissenschaft genau definierter internationaler Standardeinheiten und Termini.

Nachdem die Geschichte der Anthropometrie an sich nicht nur in den zuständigen Fachgebieten dargestellt wurde sondern auch bereits im medizinischen Kontext Gegenstand historischer Betrachtung war[82], soll im Folgenden ein weiterer Aspekt im Entwicklungsablauf beleuchtet werden. Da die Anthropometrie bei dieser nicht nur das Fundament darstellt sondern auch durch die Verknüpfung mit der Geometrie einen engen Bezug zur vorliegenden Untersuchung herstellt, wird die Verwendung und Übertragung menschlicher Proportionen und Ästhetik in der Architektur im Folgenden beleuchtet :

„Denn kein Tempel kann eine vernunftmäßige Komposition ohne Symmetrie und Proportion haben, das heißt, wenn er nicht eine genaue Berechnung der Glieder hat wie

die eines wohlgestalteten Menschen“ [49] (Frings, 1998, Kapitel I, „Die Wurzeln in Antike und Mittelalter“, 1. Vitruvius, b) Der Proportionskanon des Menschen [III,1,1-2], (S. 26-28), S. 27)

Diese überlieferte Aussage Vitruvs, „Initiator“ der anthropomorphen Architekturtheorie, drückt die Beziehung der menschlichen Gestalt bei der Konstruktion und Schaffung von Gebäuden in ihrer Zwangsläufigkeit aus. Aufgrund dieser zentralen Aussage beschäftigt sich Frings[49] in „Mensch und Maß“ mit anthropomorphen Elementen in der Architektur; Paul von Naredi-Rainer[89] geht einen Schritt weiter und beschreibt Zusammenhänge von „Architektur und Harmonie“, was im vorliegenden Kontext zur Deskription des Schönheitsideals in Abhängigkeit von Symmetrie, Harmonie und Idealproportionen führt (Naredi-Rainer[89],1999, Kapitel III, „Maß“, S. 82- 137; insbesondere „Mensch und Maß“ S. 82-103 sowie Kapitel IV, „Proportion“, S. 138-231). Für das 20. Jahrhundert kristallisiert Walter Gropius (deutsch-amerikanischer Architekt, 1883-1969) einen anregenden Bezug zwischen den hier untersuchten inhaltlichen Schwerpunkten heraus: „Das Schlagwort «das Zweckmäßige ist auch schön» ist nur zur Hälfte wahr. Wann nennen wir ein menschliches Gesicht schön? Nur weil man durch eine Nase atmen kann, wird sie niemand als schön bezeichnen. Nur wenn die Teile des Gesichts vollkommen sind in Form, Farbe und wohlausgewogener Harmonie, dann verdient das Gesicht nicht nur die Beschreibung "zweckmäßig", sondern „schön“. Das gleiche gilt für die Architektur. Nur vollkommene Harmonie in der technischen Zweckfunktion und den Proportionen der Formen kann Schönheit hervorbringen. Und das macht unsere Aufgabe so vielseitig und kompliziert“[54]. Ähnlich formuliert es Naredi-Rainer, in dessen Buch beschrieben ist, dass „Zahl, Maß und Proportion“ die „drei Grundelemente“ darstellen, „aus deren Beherrschung in der Architektur Harmonie wird“ [89] (Naredi-Rainer, 1999, letzte Seite, „Über dieses Buch“).

1.1.2 Die Vermessung des menschlichen Körpers und Einfluss der Anthropometrie in der Architektur von der Antike bis in die Moderne

1.1.2.1 Ursprung des anthropometrischen Leitmotives in der Antike

(~ 1200 v.Chr – 600 n. Chr.) – Vitruv

Über die exakten Lebensdaten Vitruvs, Architekt und Ingenieur im antiken römischen Reich (ca. 70-10 v.Chr.), sind kaum Informationen vorhanden. Sein bedeutendstes Werk ist die Abhandlung „Zehn Bücher über die Architektur“, dessen Einzigartigkeit nicht nur durch die Erhaltung des einzigen antiken Traktates an sich sondern auch durch die Struktur des Inhaltes gewährleistet wird. So hat „De Architectura libri decem“ die Position eines Grundsteins der anthropomorphen Architekturtheorie inne, wie im Folgenden deutlich wird.

Die Überlegungen, die Vitruv hinsichtlich eines symmetrisch gestalteten Menschens tätigt, beinhalten neben „Ordinatio, Dispositio, Eurythmia, Decor und Distributio“ ebenso die „Symmetria“ als Grundterminus, unter dem er „den Einklang der Glieder des Bauwerks, deren Proportionen aus einem Modul entwickelt sind“[49], versteht. Proportionen sind demnach „kommensurable Proportionen, das heißt Verhältnisse, zwischen „Größen, die von einem gemeinsamen Maß gemessen werden“, wie Euklid definiert[49]“ (Frings, 1998, Kapitel I, „Die Wurzeln in Antike und Mittelalter“, 1. Vitruvius, a) Der symmetrisch gestaltete Mensch [I,2,4], (S. 23-26), S. 23 und S. 25) .

Für Vitruv galt der Mensch mit seinen (optimalerweise idealen) Proportionen quasi als Vorbild und Grundstock für Vergleiche. In seiner „Säulenlehre“ setzt er dabei Zahlen in

definiertem Verhältnis fest. An dieser Stelle sei erwähnt, dass der antike Verfasser selbst vermutlich keine Messungen am Menschen direkt vorgenommen hat und einzelne Proportionen modifizierte (etwa die Reduktion des Halses von 1 /15 auf 1/17). Auch Naredi-Rainer befindet Vitruvs Lehre an sich für „keineswegs in allen Teilen in sich schlüssig (...) und widerspruchsfrei (...)“[89] (Naredi-Rainer, 1999, Kapitel I, harmonia - ordo - concinnitas, (S. 11-32), S. 18). Knell sieht die „Problematik (...) insbesondere durch zweierlei gegeben: zum einen durch die Abfolge, welche nicht kausal bestimmt ist, zum anderen durch eine gegenseitige Verschränkung der Begriffe. Vitruv erläutert z.B. den Begriff „Ordinatio“ unter Hinweis auf die Symmetria, die ihrerseits noch nicht geklärt ist“[71] (Knell, 2008, Kapitel "Die Grundlagen der Architektur", Unterkapitel "Die Grundbegriffe der Architektur", (S. 30-34), S. 30).

Um den Bogen von der Symmetrie eines ideal proportionierten „schönen“ Menschen auf die bei Vitruv vergleichsweise als die „eurhythmia“ beschriebene Gleichmäßigkeit eines Bauwerkes zu spannen, lässt sich feststellen, dass jene bestimmt wird durch das Ebenmaß der Verhältnisse, denn „wirkt es (...) anmutig durch seine Proportionen und Symmetrien, dann wird der Ruhm dem Architekten gehören“, wie Vitruv in seinem VI. Buch feststellt.[49] (Frings, 1998, Kapitel I, „Die Wurzeln in Antike und Mittelalter“, 1. Vitruv, h) Ergebnis, (S. 50-56), S. 52). Der Intention von Knell ist zu entnehmen, dass „eurhythmia“ aber noch darüber hinaus Aspekte mit einschließt: „Die menschliche Gestalt belegt, dass geordnete Verhältnisse der Teile und Glieder zwar unabdingbare Voraussetzung für einen idealen Körper sind, zeigt aber zugleich, dass die Formen der Glieder hinzutreten, um aus dem Zusammenwirken von Formen und Proportionen ein „anmutiges Aussehen“ entstehen zu lassen; Vitruv bezeichnet das als Eurhythmia“[71] (Knell, 2008, Kapitel "Die Grundlagen der Architektur", Unterkapitel "Die Grundbegriffe der Architektur", (S. 30-34), S. 32). So ist allzeit eine innige Beziehung zwischen dem Mensch in natura und dessen anthropometrischer Vermessung gegeben.

Der Renaissance-Künstler Leonardo da Vinci (1452-1519) studierte um 1492 intensiv die Schriften Vitruvs und schuf den weltweit bekannten „vitruvianischen Menschen“ (Abb.7, Original in der Galleria dell' Accademia, Venedig). An jenen angelehnt, entstand die augenfällige Kongregation des *homo ad circulum* und *homo ad quadratum* (Abb.6).

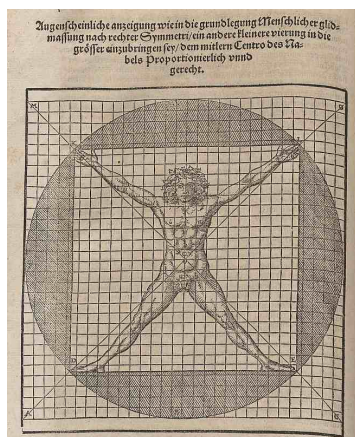


Abbildung 6: Menschliche Proportionsfigur[95]

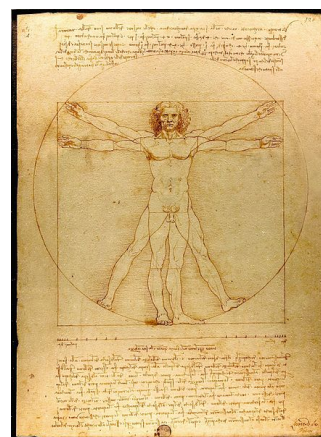


Abbildung 7: Leonardo Da Vinci „Homo Vitruvianus“[111]

Die außerordentliche Relevanz beider Werke zeigt sich aktuell durch die Auswahl des „*homo bene figuratus*“ als Symbol auf der Ein-Euro-Münze Italiens (Abb.8).

Die Proportionsfigur ist darüber hinaus immer wieder Gegenstand wissenschaftlich orientierter Ausstellungen: So widmete beispielsweise das *Swiss Science Center* „Technorama“ in Winterthur dem Thema „Der vermessen(d)e Mensch“ 2011 eine eigene, eineinhalbjährige Sonderausstellung, bei dem u.a. an einer lebensgroßen *Da - Vinci - Figur* die individuelle „Abweichung“ des Besuchers von der Symmetrie des vitruvianischen Menschen abgelesen werden konnte (Abb. 9).

Ebenso sei an dieser Stelle hervor gehoben, dass eben diese Leitfigur eine solche Bedeutung zu haben scheint, dass sich selbst das Internetportal des *Klinikums rechts der Isar* sowie die Medizinische Fakultät der *TU München* des anthropometrischen Werkes als Logo bedienen (siehe <http://www.med.tu-muenchen.de/>).



Abbildung 8: Darstellung des „homo bene figuratus“ auf der ital. Ein - Euro Münze[38]

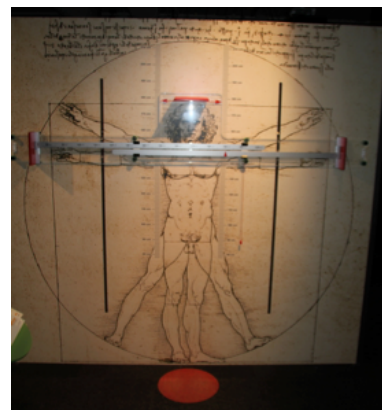


Abbildung 9: Technorama Winterthur, Messfigur nach Vorlage des vitruvianischen Menschen für Besucher

Bereits in der Antike wurde auch die formgebende Bedeutung der Tiefendimension erfasst: Augustinus von Hippo (Kirchengelehrter und Philosoph, 354-430) interpretiert in seiner Abhandlung „*De civitate dei*“ (413-426) den Bau der Arche als Anlehnung an den Leib Christi mit anthropometrischen Richtlinien. So deuten „auch die Maße der Länge, Höhe und Breite (...) auf den menschlichen Körper hin, in dessen Wirklichkeit der Erlöser zu kommen verheißen war und in der Tat gekommen ist. Denn die Länge des menschlichen Körpers vom Scheitel bis zur Sohle beträgt das Sechsfache der Breite von einer Seite zur anderen und das Zehnfache der Höhe, seitlich gemessen vom Rücken bis zum Bauch (...)“[49] (Frings, 1998, Kapitel I, „Die Wurzeln in Antike und Mittelalter“, 2. Der anthropomorphe Kirchengrundriss des Mittelalters, (S. 57-82), S. 58 ff.). Hierbei vermutet Frings einen Zusammenhang zwischen Vitruv und den Auslegungen des Augustinus im Sinne einer Erweiterung dessen Proportionscanons. Und auch bei Aurelius Augustinus findet sich der Konnex zur Schönheit: Er ersetzt aus den drei oben vorgestellten Grundelementen die „Zahl (...) durch den Terminus Schönheit“, da „Schönheit aber (...) in der Zahl (liege)“ und diese „Quelle ästhetischer Vollkommenheit“[89] (Naredi-Rainer, 1999, Kapitel I, *harmonia-ordo-concinnitas*, (S.11-32), S. 21) inkludiert. Immer wieder wird Schönheit in unlösbar Zusammenhang mit Maß, Ordnung und auch „Fassbarkeit“ gebracht; Überlegungen, die ergo eine Vorstufe zu den heutigen Möglichkeiten der Erfassung von Körpergeometrien sind.

Als Resümée - respektive der weiter oben erläuterten subjektiven Beurteilung „beauty is in the eye of the beholder“ sowie der Ideen der Vermessung - lässt sich bereits an dieser Stelle im übertragenen Sinne für unsere heutigen Vorstellungen von Schönheit (des Menschen) - von Naredi-Rainer zitieren, welcher konstatiert, dass es zwei Ebenen wahrer Schönheit gibt: die „beiden Leit motive der antiken Ästhetik: der pythagoräisch-platonische Gedanke einer objektiv-gesetzmäßigen, auf Zahlen und Proportionen beruhenden, im Grunde nur verstandesmäßig erfassbaren Schönheit und die hellenistische Vorstellung einer vom persönlichen Geschmack durchaus nicht unabhängigen und mittels der Sinne wahrnehmbaren Schönheit; vereinfacht ausgedrückt: Die Harmonie der Symmetrie und die Harmonie der Eurhythmie“[89] (Naredi-Rainer, 1999, Kapitel I, harmonia-ordo-concinnitas, S. 11-32, S. 18, Zeile 9 f.).

1.1.2.2 Einfluss der menschlichen Maßverhältnisse im Mittelalter

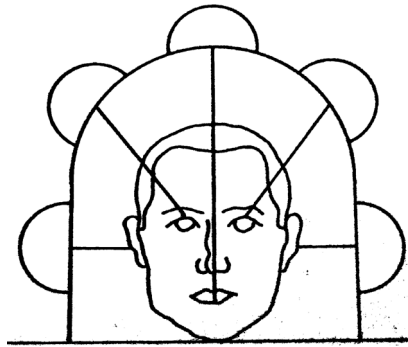
(~ 6.-15. Jahrhundert) - Durandus, Dürer

Die Periode zwischen Antike und Neuzeit umfasst eine große Spanne, was die Komplexität und Quantität der kulturellen, politischen und religiösen Zusammenhänge dieser Ära bedingt. Auf ca. 600 wird der Beginn des Frühmittelalters datiert; dieser ist durch Loslösung von römisch-antiken Vorstellungen und Christianisierung charakterisiert. In der westlichen Welt prägt der Feudalismus die Blütezeit des Hochmittelalter zwischen 1000 und 1200 n.Chr. gekennzeichnet durch die Hierarchie der Ständegesellschaft sowie den Bezug auf das Bildungswesen durch die Gründung erster europäischer Universitäten. Für das Spätmittelalter charakteristisch sind neben der Ausdehnung der wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklung wiederum maßgebend Suggestionen der Kleriker. Unter dem Eindruck der Kreuzzüge setzt sich die christliche Grundhaltung weitestgehend durch; der religiöse Glaube übersteht Misere wie Pest (mit dem Höhepunkt im „Pestjahr“ 1347) und ufer um 1550 in der von der katholischen Kirche eingeleiteten Inquisition und Hexenverfolgung aus. Ein radikaler Umbruch und eine vollständige Reformation bisheriger Traditionen wurde dann 1517 durch die 95 Thesen von Martin Luther eingeläutet.

Dem sich über die gesamte Epoche des Mittelalters ziehenden Signum der Religiosität und unter dem Einfluss der Kirche in seiner unterschiedlichsten Ausprägung wurde nun auch in der Architektur sein unverkennbarer Ausdruck verliehen. Der Wunsch nach imposanten Gotteshäusern - als Stätte der Andacht ebenso wie zur Hervorhebung des entsprechenden Wohlstandes - ermöglichte dem Bauwesen eine Hochkonjunktur. Und auch hier spiegelt sich die Anthropometrie wider - als Initiation für die Formgebung der Bauwerke oder/und auch als anthropometrisches Maß.

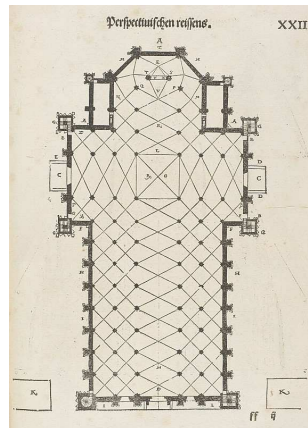
Exemplarisch für die Vielzahl der initiierten Bauwerke dieser Epoche und speziell im Hinblick auf die Anthropometrie sei anfänglich auf Guilelmus Durandus verwiesen (Jurist und Theologe, 1230/31-1296). Er verfasst ein achtbändiges Liturgietraktat unter dem Titel „Rationale divinatorum operum“, in dem er nicht nur Herkunft, Zweck und Relevanz kirchlicher Bautätigkeit umreißt, sondern den bis dahin schriftlich nicht erfassten Vergleich von Mensch und Kirchengebäude aufgreift. Die Konzeption eines kreuzförmigen Kirchengrundrisses ist der grundlegende anthropomorphe Charakterzug der mittelalterlichen Konstruktionen: „Die Gliederung der materiellen Kirche bewahrt das Maß des Körpers. Die Schranke oder der Ort, wo der Altar steht, stellt das Haupt dar, das Kreuz aus beiden Teilen die Arme und Hände, der übrige Teil vom Westen her was auch immer vom Körper noch übrig zu sein scheint“[49] (Frings, 1998, Kapitel I, „Die Wurzeln in Antike und Mittelalter“, 2. Der anthropomorphe Kirchengrundriss des Mittelalters, S. 61). Die Vorstellung, einen Grundriss als Abbild des menschlichen Körpers - und theologisch begründbar als Symbol des Kreuzes - in Form einer Kirche zu

gestalten, wurde unter anderem bei dem Bau des Duomo di Santa Maria Nascente in Mailand (Baubeginn 1386) verwirklicht (Abb.11).



**Abbildung 10: Chor mit Kapellen nach den
"Partimenti des Gesichts"[49], S.425**

(mit freundlicher Genehmigung des VDG)



**Abbildung 11: Grundriss des
Mailänder Doms[100]**

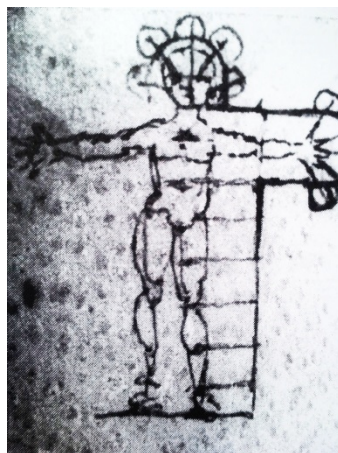


Abbildung 12: Anthropomimetischer Kirchengrundriss[49], S.423

(mit freundlicher Genehmigung des VDG)

Im Spätmittelalter und Übergang zur Renaissance wurde die Proportionslehre maßgeblich durch Albrecht Dürer (1471-1528, Maler und Mathematiker), auf den Vorlagen der erwähnten Pionierleistungen basierend, weiterentwickelt. Als Kunsttheoretiker versucht er, den menschlichen Körper in exakten Berechnungen idealtypisch widerzuspiegeln. Das bedeutendste Werk, posthum an die Öffentlichkeit getragen, sind die „Vier Bücher von menschlicher Proportion“, in denen er nicht nur männliche und weibliche Größenverhältnisse und Bewegungsabläufe studiert sondern interessanterweise auch die Gesichtsgeometrie zweidimensional zu klassifizieren versucht. So spielen bei seinen Überlegungen über die „Wohl-proportion“ Symmetrie und messbare Differenzen untereinander sowie Zusammenhänge mathematischer Bezüge eine entscheidende Rolle.

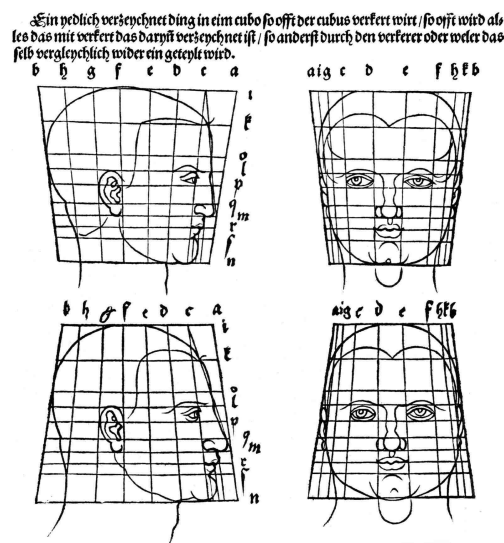


Abbildung 13: Albrecht Dürer: geometrische Gesichtsskizzen

1.1.2.3 Blütezeit der Proportionslehre in der Renaissance

(~ 15. - 17. Jahrhundert) - Antonio Averlino „Filarete“

Der Übergang zwischen Mittelalter und Neuzeit ist gekennzeichnet durch eine Epoche, die sich an antiken Vorstellungen orientiert. In ihrer geistigen Ausprägung - dem Humanismus - äußert sich die Abgrenzung zum Mittelalter am deutlichsten.

Als bedeutender Architekt und Theoretiker dieser Zeit sei Antonio Averlino „Filarete“ (~1400-1469) genannt. „Bei diesem wird nun der Mensch zur Grundlage jeglicher Architektur“[49] (Frings, 1998, Kapitel V, Filarete, 1. Der Mensch als Grundlage der Architektur, (S. 157-160), S. 157), eine Forderung, die er allerdings nicht ganz konsequent umsetzen konnte und zum Teil in Kompromissen abgedeckt wurde, jedoch die Grundlage der anthropometrischen Idee veranschaulicht. Insbesondere die Säulenlehre Filaretos weist den anthropometrischen Charakter auf, denn die „anschaulichste Umsetzung des Anthropometrie - Grundsatzes ist selbstverständlich die traditionell menschengestaltige Säule“[49] (Frings, 1998, Kapitel V, Filarete, 2. Die anthropometrische Säule, (S. 161-167), S. 161), wobei er zunächst die verschiedenen

Größen des Menschen als Ausgangspunkt kategorisiert. Eine Vereinfachung und fortschrittliche Entwicklung gegenüber seinen Vorgängern stellt die Rückführung sämtlicher Säulenhöhen auf das Kapitell dar: „der Kopf als Grundlage des Maßsystems wird zum Modul der Säule“[49] (Frings, 1998, Kapitel V, Filarete, 2. Die anthropomimetische Säule, (S. 161-167), S. 163). Darüber hinaus erhalten bauliche Gegenstände etwa auch menschliche Wesenszüge wie zum Beispiel „Fenster - Augen“[49] (Frings, 1998, Kapitel V, Filarete, 2. Die anthropomimentische Säule, (S. 183-198), S. 183) dar. Auch heutzutage wird dieser Gedanke im wahrsten Sinne des Wortes „verkörpert“: „Like eyes on the human face, it is the first part that we notice without even realizing. There is nothing like a beautiful set of eyes on a person and the same is true of windows on a structure whether it is your home or a wonderful period structure.“ (Dave Bowers, <http://www.oldwindowrestorer.com/-eyes.html>).

Das Charakteristikum seiner Epoche - im Aufgreifen antiken Gedankengutes manifest - kennzeichnet auch Averlino durch seine Auseinandersetzung mit dem römischen Gedankengut, insbesondere Vitruvs. Sehen beide dazu den Mensch als Exempel für die Maßangaben, stimmt Filarete im Gegensatz zu diesem aber nicht zu, dass der Nabel als Mittelpunkt zu betrachten sei. Sein Maßsystem geht vom Kopf aus, indem er einen „Neun-teste (=Kopflänge) - Kanon“ formuliert mit dem Modul einer „Einteilung des Kopfes in Nasenlängen“[49] (Frings,1998, Kapitel V, Filarete, 1. Der Mensch als Grundlage der Architektur, (S. 157-160), S. 159); außerdem bestimmt er das übliche Maß „braccio“ mit drei Kopflängen. Alle diese Überlegungen sollen als Musterfall für die Vielzahl der in der Renaissance erstellten Werke gelten; der Mensch als Maß der Dinge rückt in dieser Ära in einer Vielzahl von Gebieten und auch in der Anthropometrie in den Mittelpunkt. Die Signifikanz des „homo bene figuratus“ von Leonardo da Vinci als Meisterstück der Renaissance (vgl. Abb. 6 bis Abb. 9) wurde bereits in den obigen Ausführungen näher erläutert.

1.1.2.4 Bedeutung in der Moderne – Le Corbusier

Der Annahme, dass die Verbindung zahlenmäßiger Reglements anhand menschlicher Proportion mit baulichen Konstruktionen althergebracht sei, muss vehement widersprochen werden. Einen eigenständigen eindrucksvollen Weg im Umgang mit Maß, Zahl und Proportion geht der schweizerisch - französische Architekt, Maler und Kunsttheoretiker Charles-Édouard Jeanneret-Gris, nom de plume Le Corbusier (Abb. 14 und 15). Er konzipierte richtungsweisende Bauwerke, die auf anthropometrischen Fundamenten basieren. An Vitruv orientiert, entwickelt er ein Proportionsschema, dem er als Maßinstrument und Einheitsgröße den „Modulor“ zu Grunde legt. Dabei spielt der „Goldene Schnitt“ eine maßgebliche Rolle. Mit Hilfe der „Section d’or“ entsteht seine *série rouge* bis zum Scheitelpunkt (183 cm) und die *série bleue* mit elevierten Armen (226 cm); d.h. die Abfolge - nach oben ebenso wie nach unten - leitet sich nach der jeweiligen Serie ab (rote Serie 183 cm, 113 cm (Nabelhöhe), 70 cm ...bzw. blaue Zahlenreihe 226 cm, 140 cm , 86 cm ...).



Abbildung 14: Schweizer Gedenkmünze für Le Corbusier CHF 5 (1987)[24]



Abbildung 15: Centre Le Corbusier in Zürich[98]

Le Corbusier betont den Bezug zur Vermessung des menschlichen Körpers: „Le Modulor est un outil de mesure issu de la stature humaine et de la mathématique“[67] (Le Corbusier, 1950, S.55). Er ist ein essentielles Element seines Opus „nicht nur für die Proportionen eines Gebäudes (...) sondern auch Normgrundlage für industrielle Serienanfertigungen“[89] (Naredi-Rainer,1999, Kapitel III, (S. 82-137), S.103) Im Sinne dieser Richtlinien wurde die Unité d’Habitation (in Marseille und vier weiteren französischen Städten sowie 1958 auch in Berlin) aber auch eine Kirche, „La Chapelle de Ronchamps“ (Abb.16), gebaut. Im Centre Le Corbusier am Zürisee ist neben dem von Gris entworfenen Gebäude unter anderem auch eine lebensgroße Skulptur des Modulors ausgestellt. Die wissenschaftlichen und theoretischen Bemühungen Le Corbusiers fanden dieselbe ehrenvolle Auszeichnung wie Leonardos Zeichnung; den Modulor und seinen Künstler krönen eine Gedenkmünze ihres Geburtslandes (Abb.14).



Abbildung 16: Notre-Dame-du-Haut de Ronchamp, Kapelle nach Maßstäben Le Corbusiers[118]

Die moderne Architektur überrascht mit Bauwerken, die das Vorbild „Mensch“ erkennen lassen: Die Toronto City Hall (Abb.17) ahmt das menschliche Auge nach; ebenso ein Bürogebäudekomplex im Rhein-Main-Gebiet (Abb.19). Die Anlage der Gesamthochschule Kassel ähnelt einem stilisierten Körper (Abb.18).



Abbildung 17: Architektonische Nachahmung des menschlichen Auges: Die City Hall in Toronto[33]

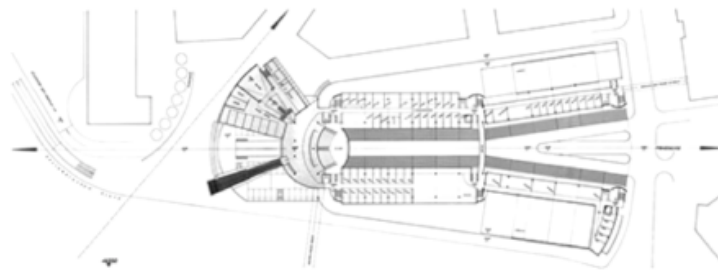


Abbildung 18: Menschliche Züge: Grundriss der Gesamthochschule Kassel[43] (1985)



Abbildung 19: Bauvorhaben Bürogebäude "Das Auge" im Rhein-Main-Gebiet[1]

1.2 Methoden zur Quantifizierung der Gesichtsgeometrie

1.2.1 Zwei- und dreidimensionale Messverfahren - eine Übersicht

Die Anthropometrie gehört als Teilgebiet zur Anthropologie, der umfassenden Wissenschaft und Lehre vom Menschen. Ihre Messverfahren erfassen metrische und numerische Körper- und Skelettmerkmale z.B. Strecken, Umfänge oder auch besonders prägende Formen wie Mund, Lippen, Nase. Neben den klassischen 2D-Verfahren haben sich in den letzten Jahrzehnten die 3D-Techniken rasant entwickelt. In dieser Arbeit engen sie sich im Folgenden auf Messungen ein, die das Gesicht und seine Weichteiloberfläche betreffen. Drei schematische Schaubilder geben einen systematischen Überblick über Messverfahren, die zwei- oder dreidimensionale Körpergeometrien ermitteln. Sie werden in Gruppen zusammengefasst und kurz skizziert.

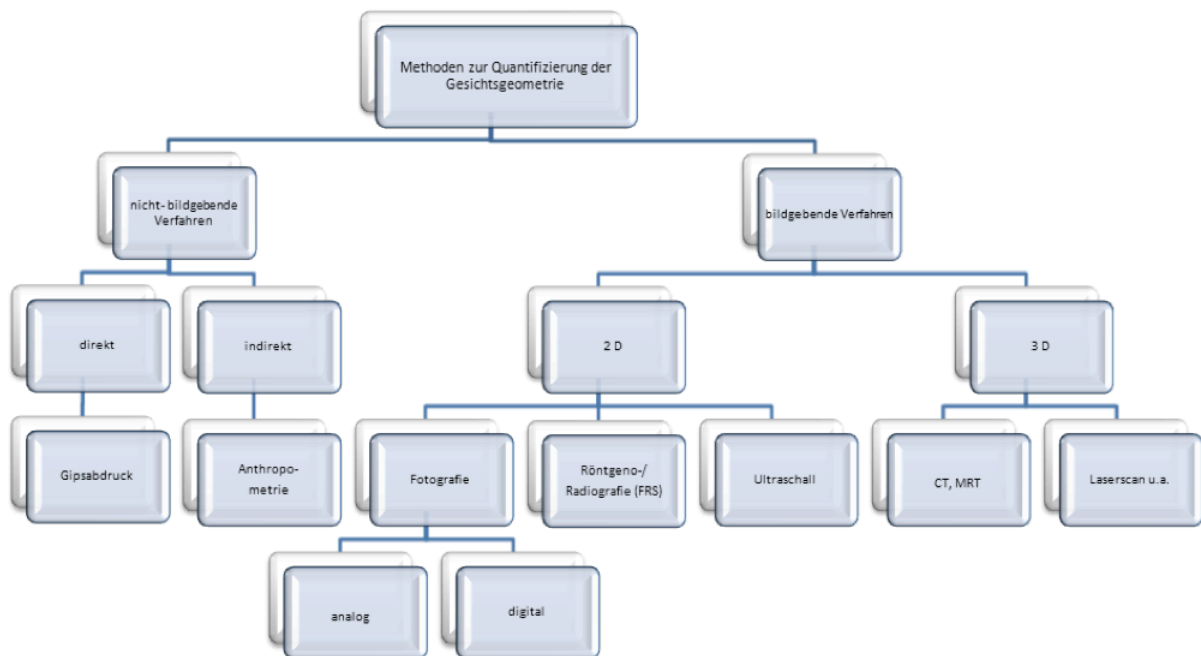


Abbildung 20: Methoden zur Quantifizierung der Gesichtsgeometrie

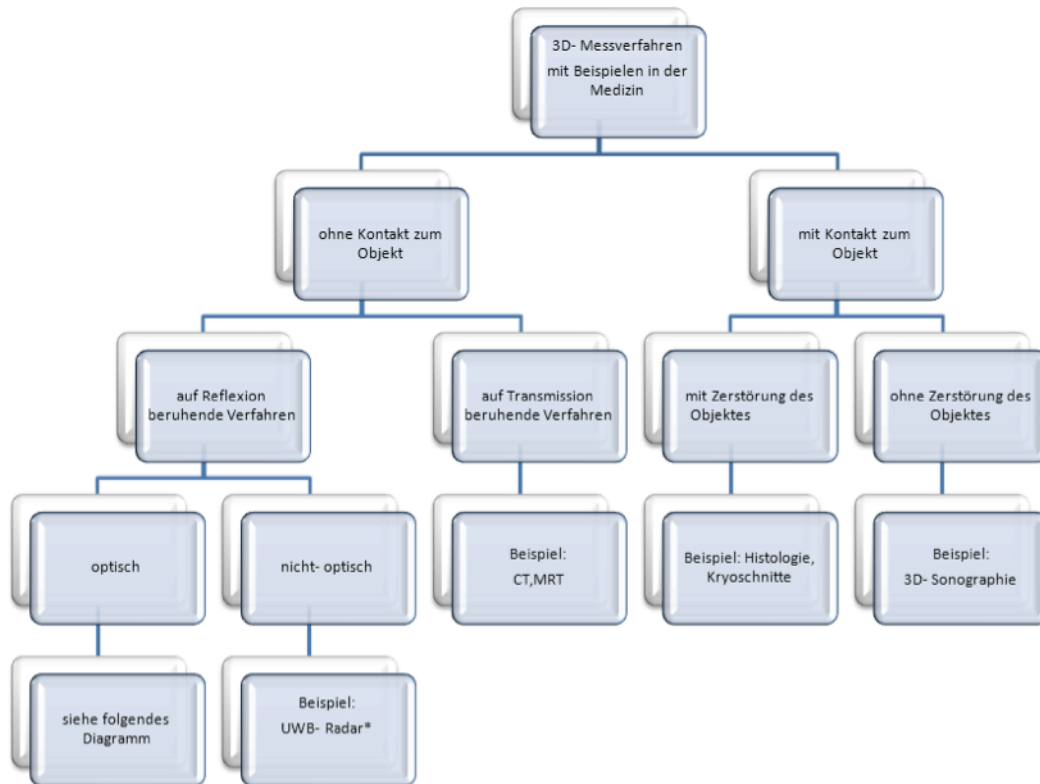


Abbildung 21: 3D- Messverfahren mit Beispielen in der Medizin, modifiziert und erweitert nach Kovacs[73] (Kovacs, 2006, S.8)

Untertitel Abb.: *Ultrabreitband - Radartechnik ist in der Medizin ein noch junges Arbeitsfeld. UWB - Radar kann zur Optimierung einer MRT - Aufnahme, zur intraoperativen und kardiovaskulären Überwachung sowie in der Tumordiagnostik eingesetzt werden[108]

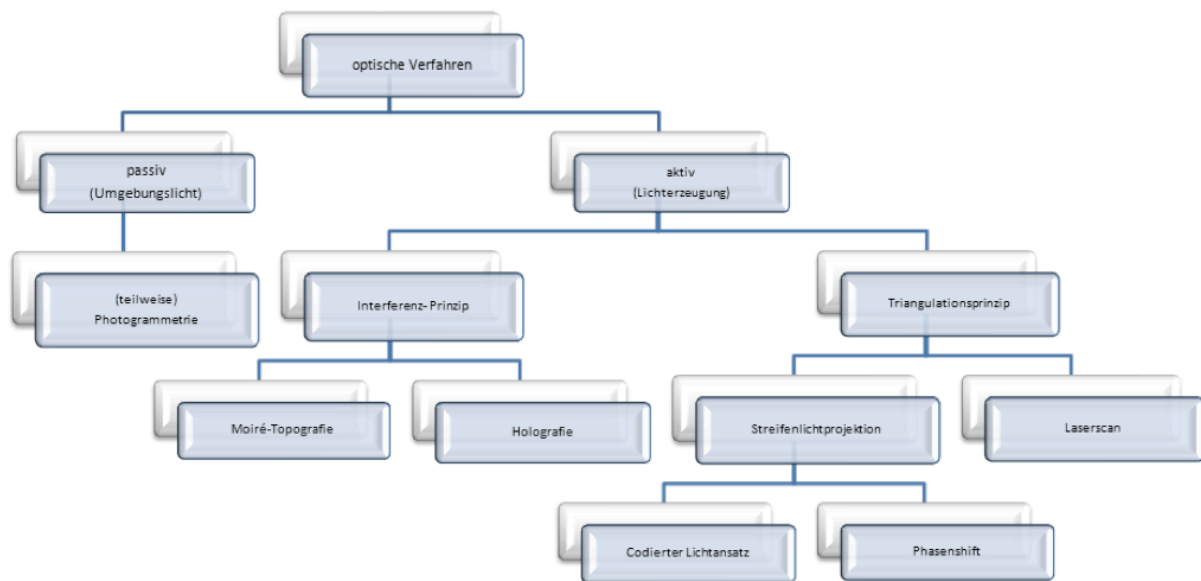


Abbildung 22: optische Verfahren, modifiziert nach Kovacs[73] (Kovacs, 2006, S.11)

1.2.2 Zweidimensionale Messverfahren

1.2.2.1 Anthropometrisch - direkte (lineare) Messungen

Bei den anthropometrischen Messungen *in situ* werden die zu eruiierenden Größen direkt am Patienten linear vermessen. Verwendete Hilfsmittel sind u.a. Lineal, Schublehre (Messschieber) und Winkelmesser. Die einfache Struktur und Handhabung dieser Werkzeuge deutet bereits daraufhin, dass diese Methodik schon sehr früh Einzug in der Geschichte der Anthropometrie erhielt und sich durch ihre kostengünstigen und nicht-invasiven Kennzeichen charakterisiert. Auch heute noch finden sich in der aktuellen Literatur immer wieder Vergleiche zwischen neuen Verfahren und der traditionellen Messung und werden als valide befundet[113]. In der klinischen Anwendung verwendet - zum Beispiel bei Gaumenspalten - liefern anthropometrische linear-proportionale Messungen ihren Beitrag. Ganz offensichtlich sind aber die Limitationen dieser Methode durch ihren Zeitaufwand und die Bewegungsartefakte bei Kindern oder geistig retardierten Patienten[52], was insbesondere bei kraniofazialen Syndromen eine wichtige Rolle spielt. Darüber hinaus sollte der Untersuchende nicht nur in der Anatomie sondern auch in der Technik des linearen Messverfahrens profiliert sein.

1.2.2.2 2D-Kephalometrie: Röntgen-/Radiografie (konventionelle Kephalometrie)

Das älteste und wohl zunächst allgemein bekannteste Verfahren zur Kephalometrie neben der Technik mit handwerklichen Instrumenten stammt von Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923). Er entdeckte 1895 die ihm zu Ehren Röntgen-Strahlung benannte Methode und wurde 1901 mit dem ersten Physiknobelpreis ausgezeichnet.

Die Kephalometrie ist - im Gegensatz zu den *in situ* - Messungen der Kraniometrie - ein Verfahren, welches Distanzen indirekt - z.B. am Röntgenbild - erfasst. Röntgenstrahlung bezeichnet Weichteil-durchdringende elektromagnetische Wellen, entstehend durch Interaktionen von Elektronen (Beschleunigung und Bremsvorgänge der Teilchen, Wechsel der Atomhüllen) mit Materie, die auf einem Film festgehalten werden. Die unterschiedliche Schwärzung auf Fotoplatten erlaubt Rückschlüsse auf die Absorption der Strahlen und damit auf die zu untersuchende Gewebeart. Die Strahlung gilt als kanzerogen. Nicht nur in der Diagnostik sondern auch in der Beurteilung der skelettalen und dentalen Entwicklung sind Röntgenaufnahmen der bis heute geltende Standard, die flächendeckende Verfügbarkeit und verhältnismäßig geringe Kosten spielen eine zusätzliche Rolle. Die Reliabilität ist mehrfach überprüft worden (beispielsweise 1997 im Vergleich zu CT-Daten[78]). Ein typisches Beispiel aus dem Bereich der Anwendung im fazialen Bereich sei das Fernröntgenseitenbild (eingeführt 1931 von Hofrath und Broadbent) erwähnt, anhand dessen auch heute noch in der Kieferorthopädie standardmäßig Behandlungen geplant und evaluiert werden[90]. Der Nachteil liegt auf der Hand: Da die Dreidimensionalität (Tiefendimension) der Schädel- und Gesichtsstrukturen bei der Projektion auf den Röntgenfilm verloren geht und das Weichteilprofil nur sehr begrenzt zu begutachten ist, kann dieses Verfahren letztlich in seiner Betrachtung und insbesondere im Hinblick auf die in dieser Arbeit zu Grunde liegende Fragestellung nur als „unbefriedigend“ von Atiyeh et al. (2008)[18] eingestuft werden. Demgegenüber ist ein detaillierter Ausdruck als spezifisches Bild anzustreben.

1.2.2.3 Fotografie

Aus dem Griechischen entlehnt (photos „Licht“, graphein „schreiben“) ist hier eine Bildgebung zu beschreiben, die durch jeweils variierte Intensität des einfallenden Lichtes auf einem Film (chemisch präpariert) charakterisiert wird. Entsprechend der Helligkeit ist auf einem „Positiv“ Dunkles dunkel und Helles hell abgebildet. Das „Negativ“ gibt komplementäre Farbwerte an, die erst in einem weiteren Schritt zu einem positiven Bild entwickelt werden können. Bei Farbfotografien spielt neben der Intensität auch die Frequenz des Lichtes eine Rolle.

War dieses „analoge“ Verfahren früher weit verbreitet, so findet heute die digitalisierte Version Anwendung. Hierbei wandelt ein Bildsensor die Lichtintensität elektronisch um und speichert die gewonnenen Informationen digital; eine positive Entwicklung respektive der Tatsache, dass die Fotos digital bearbeitet, korrigiert und archiviert werden können.

An dieser Stelle sei auch das CCD-Verfahren („Charge coupled device = Ladungsgekoppeltes, analoges Bauelement“) genannt, welches bei der Moiré-Topografie und der 3D-Morphometrie zur Geltung kommt. Ein CCD-Chip ist Bestandteil elektronischer Kameras, der die Anzahl möglicher Bildpunkte (Pixel) und die Pixelgröße speichert. Dabei führen viele kleine Bildpunkte zu einer hohen Auflösung, haben auf Grund der geringen Größe aber wenig licht-sensitive Einheiten. Für die Verarbeitung der Bildinformation stehen verschiedene Techniken (Frame Transfer-Chip, Interline

Transfer-Chip und Frame Interline Transfer-Chip) zur Verfügung; eine abhängige Größe bei der Abänderung von Licht in Spannung ist dabei die Belichtungszeit. Das CCD-Verfahren leitet zu den 3D-Verfahren über, die eine dreidimensionale Bildgebung gestatten.

1.2.3 Dreidimensionale Messungen

Die 3D-Verfahren haben sich in den letzten Jahren aus den fotografischen Methoden weiterentwickelt und konnten rasch etabliert werden, weil sie die tiefendimensionale Raumkomponente erfassen. Ihre Anwendung wirkt sich u.a. in der Operationsplanung, im prä- und postoperativen Qualitätsmanagement sehr vorteilhaft aus, in dem Volumina präziser berechnet und Weichteilprofile qualitativ höherwertig beurteilt werden können als bisher: ein entscheidender Fortschritt in der Erfassung der Gesichtsgeometrie. Als Weiterentwicklung der oben genannten Methoden präsentierte sich in den letzten Jahren zunehmend mehr die dreidimensionale Bildgebung. Die Erfassung der Tiefendimension als Raumkomponenten konnte sich in zahlreichen Anwendungsbereichen - es seien Operationsplanung, prä- und postoperatives Qualitätsmanagement, präzisere Berechnung von Volumina und qualitativ höherwertige Beurteilung des Weichteilprofiles für die Erfassung der Gesichtsgeometrie stellvertretend hervorgehoben - positiv etablieren[64].

1.2.3.1 Morphanalyse

Die Morphanalyse ist ein analytisches Verfahren, bei dem die dreidimensionalen Datensätze durch Extraktion und Überlagerung von Fotos auf Röntgenbilder oder Gipsabdrücke entstehen. In Bezug zu einem Koordinatensystem gesetzt, ermöglicht die Morphanalyse die Beurteilung von Formänderungen oder Abweichungen in der Größe - insbesondere erkennbar an den Umrissen und Randlinien der Bilder[97].

Dem Vorteil der Validität stehen Zeitaufwand sowie kostspieliges und kompliziertes Equipment entgegen, wodurch sich die Methode für den klinischen Alltag als unpraktisch erwiesen hat[57].

1.2.3.2 3D-Morphometrie

Die Erstellung von dreidimensionalen Abbildungen mittels zweier CCD-Kameras, einer Hardware, welche die gekennzeichneten Landmarks auf dem Gesicht in Echtzeit erkennt, sowie eine anschließende Bearbeitung der Daten mittels einer Software zu einem resultierenden 3D-Koordinatensystem ist das der 3D-Morphometrie zu Grunde liegende Prinzip[57]. Auf Grund seiner Anfälligkeit für Bewegungsartefakte zwischen aufeinanderfolgenden Aufnahmen hat sich die Methode eher im Bereich der Forensik und Evolutionsforschung bewährt, bei denen die Herstellung naturgetreuer, aber auch zu variierender Modelle im Vordergrund steht. Mit Hilfe von Rohdatenkonfiguration durch Translation, Rotation und Übereinanderlagerung können Messpunkte vereinheitlicht werden und stehen in konsekutiven Analysen zum Vergleich. Berechnungsfehler oder Verzerrungen bergen jedoch das Risiko, realistische Abbildungen falsch widerzuspiegeln. Hajeer et al.[57] sprechen sich gegen die Benutzung des Verfahrens in der Behandlungsplanung aus.

1.2.3.3 3D-Kephalometrie

Als Weiterentwicklung aus der konventionellen Kephalometrie mittels Fernröntgenseitenbild (FRS) entstanden, basiert die dreidimensionale Version auf Abstraktion von 3D-Daten, welche heutzutage bevorzugt aus Schnittbildern (CT, MRT)

gewonnen werden. Die Erstellung anhand von herkömmlichen Röntgenbildern ist ebenfalls möglich und entsteht idealerweise durch Überkreuzung der Strahlengänge in 90°-Winkeln zur Mediansagittalebene als lateraler und als a.p. - Film[53, 57, 64]. Hierbei eröffnet sich ein Problem: es wird die Frage aufgeworfen, wo genau Röntgengerät und Film zum Zeitpunkt der Aufnahme lokalisiert waren; eine Feststellung der Fokuslänge z.B. ist dadurch erschwert.

Dies und die Röntgenstrahlung an sich stellen die negative Seite dieser Methode dar - verglichen mit der ubiquitären Verfügbarkeit und den verhältnismäßig geringen Kosten - ein Übergewicht. Während sich bei der Computertomografie die Kosten und Strahlenexposition ungünstig auswirken, gereicht bei der MRT der immense zeitliche Aufwand der Aufnahme-prozedur an sich sowie zusätzlich die manuelle Nachbearbeitung der dreidimensionalen Modelle zum Nachteil. Kurzum, durch den hohen ökonomischen (MRT) bzw. strahlenintensiven (CT) Nachteil, steht diese Form der Datenerfassung einem standardisierten Einsatz entgegen.

Die Problematik der präzisen Lokalisation der Landmarks sowie die eingeschränkte Beurteilungsmöglichkeit des Weichteilgewebes sind zudem weitere Negativaspekte. Sind MRT bzw. CT „Datenquelle“, können Projektions- oder Überlagerungseffekte eher als gering eingestuft werden. Ein Vergleich mit anderen Resultaten - insbesondere „normativen Referenzen“ - wird sich als schwierig erweisen, da es kaum Datenbanken gibt, deren Erhebung auf Strahlenbelastung hinzielt und daher an gesunden Individuen durchgeführt wird (dasselbe gilt für die CT-Aufnahmen.) Eine Empfehlung für die Nutzung kann daher nur eingeschränkt für ein spezielles Patientengut (schwere kraniofaziale Deformitäten u. Ä.[60]) ausgesprochen werden.

1.2.3.4 Gipsmodelle

Eine simple und relativ kostengünstige, aber arbeitsintensive Abbildungsmöglichkeit der dreidimensionalen Struktur des Gesichtes ist der Gipsabdruck. Ein häufig verwendetes Verfahren ist die Auftragung von Alginat auf das Gesicht und seine Stabilisierung mittels Gipsstreifen bis zur Aushärtung. Das so entstandene Modell kann entweder direkt oder mit Hilfe von z.B. Laser-Scans vermessen werden. Da die Produktion simpel und kostengünstig ist, würde das für eine regelmäßige Nutzung der Methode sprechen. Dennoch überwiegen die Nachteile weitgehend: Ökonomisch betrachtet wiegt die günstige Produktion die raumfordernde Lagerung nicht auf. Darüber hinaus birgt die zeitintensive Prozedur diverse Unannehmlichkeiten für den Patienten: Die eingeschränkte Respiration (mit Hilfe von Oral- oder Nasalröhrchen) für die Zeit der Aushärtung ist nicht nur bei speziellen Patientengruppen (Kindern, geistig retardierte Personen), sondern auch bei gesunden Erwachsenen problematisch. Germeç- Cakan et al.[52] postulieren gar, Gipsabdrücke bei Kindern nur unter Intubationsbereitschaft im Operationssaal und bei Säuglingen immer in Anwesenheit eines Neonatologen anzufertigen. Dieser Aufwand trafe eine Patientengruppe hart, die einer komplexen Diagnostik und individuellen Therapieplanung bedarf: Neugeborene mit fazialen Deformitäten und juvenile Patienten mit angeborenen Syndromen.

Des Weiteren bergen der Gesamtabdruck im Allgemeinen sowie die Respirationshilfen im Speziellen die Gefahr, Bewegungen aufzunehmen und das Weichteilgewebe zu irritieren. Durch leichte Materialien und sorgfältige Anfertigung kann dieser Effekt zwar vermindert, aber nicht eliminiert werden[52]. Ergebnisse zeigen, dass Versuche mit Alginat als Basis Differenzen zwischen 1-3 mm hervorrufen können[61], wobei das untere Gesichtsdrittel, Nase und Wangen besonders betroffen sind. Ungünstig wirkt sich diese Tatsache besonders dann aus, wenn es sich um diffizile Fragestellungen der ästhetischen Chirurgie mit geringer Größe des Operationsgebietes handelt. Holberg et

al.[61] konstatieren 2006, dass die Publikationslage zu diesem Verfahren im Hinblick auf wissenschaftliche Aspekte wie Reproduzierbarkeit, Präzision und Anwendung spärlich ist; als zu begrüßender Schritt in Richtung Beseitigung dieses Defizits sei die Veröffentlichung des umfassenden Vergleiches zwischen direkt-linearen Messungen, Gipsabdrücken und bildgebenden dreidimensionalen Methoden von Germeç-Cakan et al. (2010) hervorgehoben[52]. Konkludierend lässt sich feststellen, dass die Visualisierung der dreidimensionalen Gesichtsstruktur durch Gipsmodelle das Verständnis für etwaige Deformitäten erleichtert; eine Empfehlung zum Zwecke morphometrischer Messungen insofern aber nicht gegeben werden kann.

1.2.3.5 3D-Sonographie

Unter Sonographie (synonym Ultraschall) wird die Bildgebung mittels einer sich longitudinal ausbreitenden Welle mit Frequenzen zwischen 20000 Hertz bis 1 Gigahertz verstanden, wobei in der medizinischen Diagnostik Bereiche zwischen 1 und 40 MHz genutzt werden. Das Prinzip, welches man sich zu Nutze macht, ist die Veränderung der Schallgeschwindigkeit, sobald sie auf eine Grenzfläche trifft, die ein Medium anderer Dichte beinhaltet als das Vorherige. Aus a) der Schallgeschwindigkeit b) der Zeit zwischen Schallemission bis zur Aufnahme des reflektierten Signales können Distanzen berechnet werden. Der B-Scan ist die zweidimensionale Variante der Sonographie, indem der emittierende Schallsender senkrecht zur Ausbreitungsrichtung des Schalls platziert wird. Hohe Frequenzen dringen nur durch oberflächliche Strukturen und sind daher beispielsweise bei der Gesichtsmessung sinnvoller (20 MHz für Auge und Haut, 40 MHz Haut und Gefäße[11]).

Die Überführung in die Dreidimensionalität wurde 1993 von Hell[58] als dreistufiger Prozess beschrieben, der folgende Schritte umfasst: B-Scan Sonographie mit achsenparallelen Strahlen und Einteilung des Gewebes in gleiche Intervalle und deren Aufarbeitung; danach Segmentierung (mit Markierung der markantesten Strukturen) und Transfer der gewonnenen Daten aus x- und y-Achse in die z-Achse und schließlich 3D-Rekonstruktion mit Hilfe einer speziellen Software. Publikationen neueren Datums verweisen vor allem auf den Stellenwert der 3D-Sonographie in der pränatalen Diagnostik, beispielsweise in der Körperlängenberechnung[121] oder Erfassung etwaiger (Skelett- und Gesichts-) Anomalien[34]. Die klinische Anwendung in der Chirurgie dagegen ist, wenn überhaupt, in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie zu sehen[79]. In der Plastischen Chirurgie ist sie insbesondere bezüglich Fragestellungen, die das Gesicht betreffen allerdings nur eingeschränkt möglich und wird nicht empfohlen[64].

1.2.3.6 Interferenzmethoden

Der Begriff „Interferenz“ bezeichnet ein physikalisches Phänomen, das durch Superposition von zwei oder mehreren (elektromagnetischen oder mechanischen) Wellen entsteht. Die Kurvenverläufe, in diesem Fall des Lichtes, werden entweder in Richtung Abschwächung bis hin zur Auslöschung [Minimum, destruktive Interferenz]) oder in Richtung Verstärkung [Maximum, konstruktive Interferenz] verändert.

Das Prinzip der Interferenz wird in der Lasertechnik, in der Akustik als auch in der Funktechnik ausgenutzt. Unter Interferenzmethodik subsumieren sich Holografie und Moiré-Topografie.

1.2.3.6.1 Holografie

In der Holografie wird das zu untersuchende Objekt mit einer kohärenten (zeitlich stabilen) Lichtquelle beleuchtet, die vom Objekt zurückfällt („Objektwelle“). Die durch das Umgebungslicht bereitgestellte Referenzwelle ist der interferierende Gegenpart. Bei der Holografie wird nicht Intensität und Frequenz (vergleiche 1.4.3.3 Fotografie), sondern Intensität und Phase gespeichert. Die Phase beschreibt dabei die Charakteristik und den Grad einer Wellenschwingung zu einem definiertem Zeitpunkt und Ort. Den (zukünftigen) Stellenwert der Portraitholografie in der Gesichtsvermessung hebt Bongartz[25] hervor, der durch aufeinanderfolgende Arbeitsschritte (Erstellung des Hologrammes, Laserrekonstruktion des reellen Bilddatensatzes) gekennzeichnet ist. Die vorteilhaften Charakteristika der ultraschnellen Aufnahmezeit (30 ns), der hohen Ortsauflösung unter 1 mm in allen drei Raumrichtungen und der Kontaktlosigkeit machen das Verfahren auch für Kinder und unkooperative Patienten sinnvoll[61, 76]. Nachteilig anzumerken sind erstens die Stufen der Prozedur (beispielsweise, um überlagerte Bildinformationen zu ordnen), zweitens die noch nicht ausreichende klinische Anwendung mangels versierter Anwender sowie geeigneter Örtlichkeiten und viertens die nicht geklärte Kostendeckung der Geräte.

1.2.3.6.2 Moiré-Topografie

Takasaki[107] führte 1970 die Moiré-Topographie (moirer, frz. „marmorieren“) ein, die sich der Abbildung von Konturen und Konturmustern bedient. Von einer punktförmigen Quelle aus gelangt das Licht durch ein Gitter, dessen Intervalle parallel und in definierten Abständen lichtundurchlässig sind, auf das zu fotografierende Objekt. Dadurch bildet sich auf dessen Oberfläche ein spezifisches Schattenmuster aus - ähnlich den Höhenschichtlinien in der Geografie (sogenannte Moiré-Kurven) -, welches in einem CCD-Sensor festgehalten werden kann. Die Tiefendimension kann aus der Distanz der Lichtquelle zur Projektionsebene (Objekt), deren kürzest möglichem Abstand von der Geraden (im rechten Winkel, „Normalabstand“) und der Gitterkonstanten berechnet werden. Obwohl die einfache Struktur des Verfahrens und die Anschaulichkeit der Resultate innerhalb fotogrammetrischer Methoden für die Moiré-Topographie sprechen, ist vor allem die Anfälligkeit des Systems hinsichtlich Bewegungsartefakten von großem Nachteil. Des Weiteren eignet sich die Nutzung der Moiré-Topographie nicht für Oberflächen (Messungenauigkeit durch Artefakte der unterbrochenen Kontur), die scharfe Konturen enthalten[57, 64] (Messungenauigkeit durch Artefakte der unterbrochenen Kontur), insofern muss sie für die 3D-Gesichtsgeometrie als disqualifiziert gelten. Lediglich im Feld der ebenen Oberflächen wie beispielsweise in der Hautforschung[103] oder Wirbelsäulendeformitäten kann die Moiré-Topographie unterstützenden Charakter haben und höchstens hinsichtlich Alternativverfahren in Betracht gezogen werden.

1.2.3.7 Tomographie

Die Tomografie beinhaltet zwei Verfahren: die Röntgenstrahlentechnik der Computertomografie (CT) sowie die Kernspिनresonanztomografie (MRT) haben – in Kombination mit dem Computer – die bildgebende Diagnostik revolutioniert. Der Körper wird kontaktlos schichtweise erfasst sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung und überlagerungsfrei einschließlich seiner Weichteile dargestellt. Die Einzelschnitte werden zu einem dreidimensionalen Ganzen zusammengefasst. Der Unterschied liegt im physikalischen Prinzip: die CT arbeitet mit (ionisierender) Strahlung, die NMR (MRT) mit elektromagnetischen Wellen im Radiofrequenzbereich.

1.2.3.7.1 CT-assistierte Bildgebung und cone beam Computertomografie (CBCT)

Die Computer-Tomografie beschreibt eine transmissive, kontaktlose Bildgebung, bei der röntgenologisch erzeugte Schnittbilder am Rechner zu einem Objekt zusammengefügt werden. Die Grundlagen für die Entwicklung aller heute auf dem Markt befindlichen Computertomographen (PET-CT, Multi-Energy-CT u.a.) legte Sir G. Hounsfield, der hierfür 1979 den Nobelpreis erhielt. Nachdem 1971 die erste menschliche CT-Aufnahme überhaupt produziert wurde, fand die CT-assistierte Bildgebung Mitte der 1980er Jahre ihre Einführung in den klinischen Alltag. Seither kommt das Verfahren vor allem in der Kieferorthopädie und der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie zum Einsatz [28, 86, 119]. Die selbst in den heutzutage üblichen Mehrzeilen- oder Spiral-Computertomographen hohe Strahlungsbelastung ist ein entscheidender Faktor, der gegen die CT spricht; hierbei insbesondere der Einsatz zu Studienzwecken oder in der Ästhetischen Chirurgie. Die von der Strahlenschutzkommission herausgegebene „Orientierungshilfe für bildgebende Untersuchungen“ [106] spricht, beruhend auf den berechneten effektiven Dosen, eindeutige Empfehlungen aus. Zusätzlich limitiert sich die CT-assistierte Bildgebung respektive des dieser Arbeit zugrunde liegenden Ansatzes durchweg in der nur unpräzisen Darstellungsmöglichkeit des Weichteilgewebes, welche durch die verschiedenen Prozedurschritte bedingt ist.

Xia et al. [120] veröffentlichte 2000 ein Schema, welches die Erstellung eines kolorierten 3D-Kopfmodelles durch Bearbeitung von axialen CT-Scans in Kombination mit kolorierten Porträts (frontale und je 90° laterale Aufnahme) mittels texture mapping beinhaltet (texture mapping fügt dreidimensionalen Flächen zweidimensionale Bilder hinzu, ohne das dreidimensionale Modell zu verändern für eine gesteigerte realistische Darstellung. Angestrebt wird hier eine 3D-Rekonstruktion inklusive korrigierter Geometrie unter Berücksichtigung spezifisch ausgeprägter Merkmale (entsprechend Konturen in den Farbporträts und Eckpunkten im CT), die zum Ziel hat, ein individuelles Gesichtsmodell in dreidimensionaler Form zu präsentieren. Neben den oben erwähnten Einschränkungen limitiert sich diese Art der Rekonstruktion u.a. durch den nicht evaluierten Konstruktionsprozess und die lange Aufnahmedauer [57].

Das Kegelstrahl- oder cone beam CT (CBCT) ist eine Variante der Tomografie, die durch die rotierende kegelförmige Strahlenführung eine reduzierte Strahlenbelastung aufweist. Für die Digitale Volumetomografie (DVT) konnte sich das Verfahren daher zunächst in der Kieferorthopädie und Mund, Kiefer- und Gesichtschirurgie durchsetzen, zumal die Kosten auch für größere niedergelassene Praxen tragbar sind. Gilt die „CBCT-Technologie in den USA bereits seit 2003 als Goldstandard in der kraniofazialen Bildgebung“ [118], muss dem Vorteil der geringeren Strahlendosis und der guten Darstellung knöcherner Strukturen durch hohe Auflösung die geringe Weichteilgewebeabbildung entgegengestellt werden. Darüber hinaus können nur begrenzte Körperabschnitte (z.B. der Kopf), nicht aber der gesamte Körper erfasst werden.

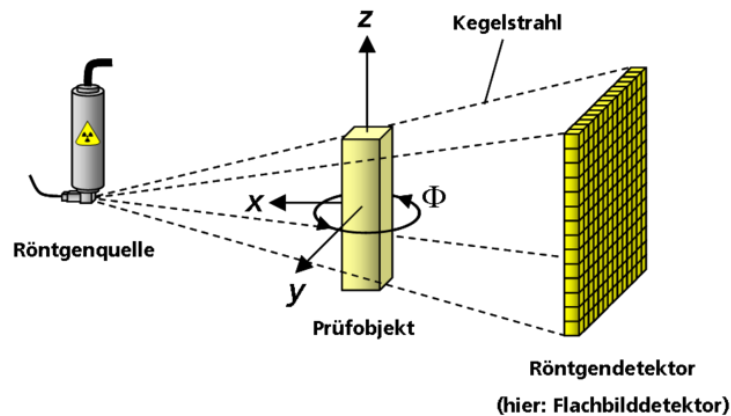


Abbildung 23: Prinzip der Kegelstrahl-Tomografie[26]

1.2.3.7.2 Magnetresonanztomographie (MRT/MRI)

Die Magnetresonanztomographie (MRT) (engl. magnetic resonance imaging, MRI) beruht auf dem physikalischen Prinzip der Kernspinresonanz. Angeregte Wassermoleküle des Körpers geben in einem hohen Magnetfeld messbare Energie während der Rückkehr zum Ursprungszustand ab, nachdem extern ein elektromagnetisches Feld (in diesem Fall durch Radiofrequenzspulen) angelegt wurde. Abhängig von der Gewebeart lassen sich unterschiedliche Werte ermitteln, durch die Gewebeschichten im Schnittbild am Computer repräsentiert werden. Seit der Einführung in den 1980er Jahren wurde die Technik des MRT stetig verbessert und steht heutzutage flächendeckend und mit einer Vielzahl an Indikationen der medizinischen Diagnostik zur Verfügung. Für die 3D-Messung beschrieb Landes[79] im Vergleich mit postmortalen Kryoschnitten das MRT als „Goldstandard für die Diagnostik“; allerdings spricht eine Vielzahl von Argumenten gegen dieses Postulat: So sind die Einsatzmöglichkeiten begrenzt durch die hohen Kosten zum Einen, durch die im Verhältnis grobe Auflösung sowie lange Aufnahmedauer (Kinder, alte Patienten, Behinderte) zum anderen. Auch wenn im Vergleich mit dem CT keine Röntgenstrahlung verwendet wird und bisher keine Schädigungen nachweisbar waren, muss beispielsweise bei Schwangerschaft im ersten Trimenon eine strenge Indikationsstellung erfolgen[106]. Ferner verbietet sich die Verwendung der MRT bei Patienten mit Herzschrittmachern, Insulinpumpenträgern und Cochlea-Implantaten obligat; bei anderweitigen metallischen Fremdkörpern fakultativ (Individualentscheidung bei Gefäßstents, Prothesen, sowie durch die zeitliche Ausdehnung der Untersuchung. Darüber hinaus seien mögliche Nebenwirkungen erwähnt, welche vor allem bei Tomographen ab einer Feldstärke von 3 Tesla beschrieben werden (Nausea, Emesis, Magnetophosphen („Blitze“)).

1.2.3.8 Das Triangulationsprinzip als Grundlage

Die beschriebenen Verfahren von der Streifenlichtprojektion bis einschließlich des Laserscans unterliegen alle dem Triangulationsprinzip (Abb. 24).

Unter dem Triangulationsprinzip („Dreiecksprinzip“) versteht man eine Methode, bei dem mit Hilfe der Mathematik im Rückschluss die gesuchten Daten ermittelt werden können. Über die Kenntnis einer Strecke mit ihren benachbarten Winkeln im Dreieck lässt sich über trigonometrische Berechnungen der gesuchte Wert ermitteln. In Anlehnung an Bongartz[25] ergibt sich aus der in Abb.24 dargestellten Geometrie: Die Distanz \overline{AB} ist bekannt, durch Messung erhält man die Winkel α und β . Da die Summe

aller Innenwinkel im Dreieck 180° beträgt, ergibt sich $\gamma = 180^\circ - (\alpha + \beta)$. Nach dem Sinussatz, der eine Beziehung zwischen den Winkeln eines Dreiecks und dessen Seiten herstellt, ergeben sich für die gesuchten Strecken \overline{AC} und \overline{BC} (wie unten angeführt) wobei Punkt C mittels Vektorrechnung als Schnittstelle von \overline{AC} und \overline{BC} ermittelt wird:

Formel 1

$$\overline{AC} = \overline{AB} * \frac{\sin \beta}{\sin \gamma}$$

Formel 2

$$\overline{BC} = \overline{AB} * \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}$$

Auf die optischen Methoden, insbesondere die Lasertriangulation, lässt sich dieser geometrische Hintergrund wie folgt anwenden:

Der zu vermessende Gegenstand wird von einem Laser angestrahlt; das von dort reflektierte Licht wird von einer Kamera eingefangen, wobei Sendequelle und Aufnahmeeinheit auf einer Grundlinie liegen. Die Position des Gegenstandes im Raum kann dann mittels Messwinkeln bestimmt werden; auch dann, wenn die Objektposition sich verändert.

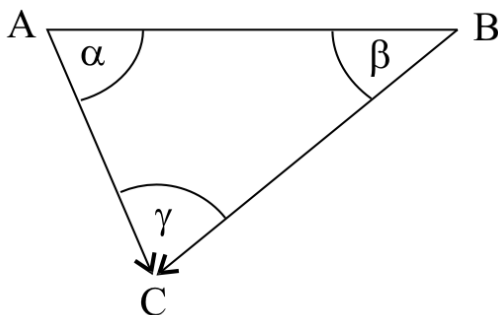


Abbildung 24: Grundprinzip der Triangulation: Kennt man die Strecke AB sowie die Winkel α und β , so ist die relative Lage des Punktes C zu A und B eindeutig bestimmt.[25]

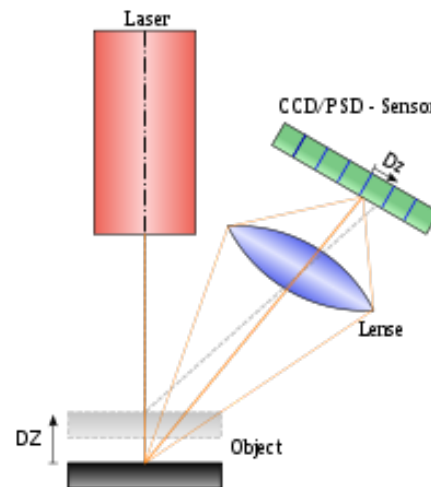


Abbildung 25: Prinzipdarstellung eines Lasertriangulationssensors. Der Laserstrahl wird auf das Messobjekt projiziert. Das Objektiv bildet den Lichtfleck auf den CCD- oder PSD-Sensor ab. Eine Verschiebung des Objekts führt auch zu einer Verschiebung des Bildes auf dem Sensor.[117]

1.2.3.9 Strukturiertes Licht (Streifenlicht): CLA und Phasenshift

Die Technik der „strukturierten Beleuchtung“ ähnelt dem Gitter des Moiré-Verfahrens. Hier sendet eine Lichtquelle Streifen- oder Punktmuster aus, die bekannt sind. Die resultierenden Abbildungen des Objektes werden ausgewertet und geben Informationen über Größe, Entfernung und Oberflächengeometrie.

Die Streifenlichtprojektion gestattet eine kontaktlose dreidimensionale Vermessung. Die Bilder, die durch seitliche Verschiebung der Streifen auf dem Objekt entstehen, werden von einer (besser zwei oder mehr) Kameras detektiert. Mit Hilfe des Triangulationsverfahrens können die Raumkoordinaten des Objektes ermittelt werden. Die Analyse hängt von der Lokalisierung der Pixel ab. Problematisch erweisen sich Messungen reflektierender Oberflächen und die präzise Darstellung von Einkerbungen. In dem gerade beschriebenen Verfahren unterscheidet man den Codierte Lichtansatz und das Phasenshift-Verfahren.

1.2.3.9.1 Codierter Lichtansatz (CLA)

Bei dem codierten Lichtansatz werden aufeinanderfolgend immer differenziertere (enger zusammenrückende) Hell-Dunkel-Muster (Streifengitter) auf das Objekt projiziert, die sogenannte Gray-Code-Sequenz. Das Resultat dieses Musters wird für jedes Pixel der Kamera aufgenommen und - wie oben angeführt - im Rückschluss lassen sich die Distanz zwischen Kamera und Objekt berechnen[16]. Dem Vorteil einer sekundenschnellen und flächendeckenden Aufnahme steht der ungünstige Aspekt gegenüber, dass der CLA zwar als Strukturlichtverfahren präzise, und diesen Verfahren aber eines der „ungenaueren“ ist: Da eine akkurate Bestimmung nur an den Grenzen und in der Mitte der Streifenabbildung möglich ist, bedarf es an Interpolierungen für die dazwischen liegenden Flächen. Eine Kombination mit Elementen des Phasenshiftverfahrens ist möglich.

1.2.3.9.2 Phasenshift

Das Phasenshiftverfahren kann als Variation des CLA beschrieben werden. Der Unterschied besteht darin, dass die Lichtquelle hinsichtlich ihrer Helligkeitsstufe sinusförmig verändert wird. Die gemessene Oberfläche ist indirekt codiert, da über das Intensitätssignal, welches bei Verschiebung der Sinusperioden (seitliche Verschiebung um eine Viertelperiode) auf der Oberfläche erscheint, die Phase bestimmt werden kann. In trigonometrischem Rückschluss lassen sich die Projektionskoordinaten berechnen[16, 73].

1.2.3.10 Stereophotogrammetrie

Prägnant veranschaulicht wird die beschriebene Technik in dem eher selten verwendeten Synonym „Bildmessung“. Der 1967 von Burke und Beard[27] in die Medizin und hier speziell in die Gesichtsmessung eingeführte Prozess berechnet 3D-Koordinaten und Objektgeometrie aus mehreren (digitalen) Bildern, welche aus verschiedenen Positionen aufgenommen wurden. War früher eine Analogkamera mit Übertragung der Bilder auf CD oder Diascan Usus, wird aufgrund der allgemeinen Verbreitung der Digitaltechnik heute diese bevorzugt[16]. Nach Markierung von Objektpunkten kann aus Übereinanderlagerung der Bilder unter Berücksichtigung der Aufnahmeparameter (Fokuslänge, Abstand der Kameras) mittels Triangulation die Gestalt des Messgegenstandes rekonstruiert werden[16, 52, 73]. Da die Photogrammetrie in den vergangenen Jahren einen hohen Stellenwert besaß und teilweise immer noch besitzt, ist dieses Verfahren mit seinen wissenschaftlich begründeten

Ansprüchen in zwei- und dreidimensionaler Variante vielfach in der Literatur beschrieben worden. So beschäftigte sich Farkas et al. 1980 mit der Frage "Is photogrammetry of the face reliable?"[41], Weinberg et al.[113] untersuchten 2006 direkte Anthropometrie und zwei verschiedene 3D-Photogrammetriesysteme hinsichtlich Genauigkeit und Präzision und Malkoc et al.[84] publizierten in ihrer Abhandlung „Angular photogrammetric analysis of the soft tissue facial profile of Turkish adults“ das Prinzip zur Beurteilung von Winkelmessungen im Weichteilprofil, um nur einige Referenzen zu nennen. Die Popularität des Verfahrens begründet sich nicht allein durch seine Geschwindigkeit; es ist darüber hinaus nicht-invasiv und ohne Strahlenbelastung agierend, auch können die Aufnahmen problemlos beliebig oft durchgeführt werden. Für schwer fassbare oder kontrastarme Texturen und Oberflächen sind der Photogrammetrie dagegen Grenzen gesetzt, welche konsekutiv den Einsatz beispielsweise in der Erfassung des fazialen Maßes limitieren. Darüber hinaus ist die umfangreiche technische Ausrüstung nur in größeren Forschungszentren vorhanden[16, 52, 73].

1.2.3.11 Laserscan

Die im Folgenden beschriebene Technik basiert ebenfalls auf der Triangulation, wobei der Laser darüber hinaus zu der aktiven, optischen, reflektierenden und berührungslosen Lichtschnittbildgebung zählt. Die Projektion eines gebündelten Lichtpunktes (im Falle einer dreidimensionalen Erfassung auf der Basis mehrerer Laserlinien) auf das Messobjekt und die Detektion der auf der Objektoberfläche gestreuten, zurückgeworfenen Strahlen mittels einer Kamera im Hintergrund bilden die Grundlage für die Berechnung der Tiefendimension bei bekannter Einstrahl- und Reflexionsrichtung zur Bezugsfläche. Diese wird meist durch die Verbindungslinie zwischen Kamera und Laserquelle determiniert[16, 73] (Abb. 25). Der Vorzug des zeitlichen Aspektes und die Computer-unterstützte Weiterverarbeitung anstelle der für den Patienten unangenehmen, langwierigen und sich wiederholenden Messungen beispielsweise im Vergleich zu direkt - anthropometrischer Erfassung wurde schon früh betont[19].

Von Kovacs et al.[73, 75] hinsichtlich Präzision und Genauigkeit untersucht und als zuverlässige Methode evaluiert, wurden diese Ergebnisse in unterschiedlichen Studien über die letzten Jahre mehrfach bestätigt[69, 70]. Hinreichende Aussagekraft zur Validität der Lasermessungen insbesondere im Gesichtsbereich, ermittelt durch Messungen zwischen den Landmarks, konnte in zahlreichen Publikationen getroffen werden[19, 20, 30, 31]. Einen interessanten messmethodischen Aspekt bei der Überprüfung mehrerer wissenschaftlicher Fragestellungen (Effizienz, Validität, Reproduzierbarkeit unter anderem) lieferte die Untersuchung der Gesichtsmorphologie von Kau et al.[70] anhand eineiiger Zwillinge. In diesem Falle ging es um die Quantifizierung der Veränderung im Gesichtsausdruck bei identischem Erbgut auf vergleichender Basis.

Weitere, diese Methode auszeichnende Aspekte bei der Gesichtsgeometrie - respektive Weichteilprofilevaluation - sind Reproduzierbarkeit und die äußerst geringen Messabweichungen (< 1 mm)[69, 109]; der Laserscan konnte sich in den letzten Jahren in der klinischen Anwendung somit für eine breites Spektrum an Einsatzmöglichkeiten immer mehr durchsetzen[9, 59, 77, 105, 114]. Ein zunächst als problematisch diskutierter Sachverhalt, nämlich die nicht ganz exakte Erfassung von Flächen, die hinter hochstehenden Anteilen verschattet liegen, fand mit der Kopfreklination von + 20 Grad - beispielsweise bei Kovacs[73] beschrieben - einen Lösungsansatz. Zusätzlich wurde in den letzten Jahren nicht nur das Kosten-Nutzenverhältnis verbessert, sondern

auch die Dauer der Aufnahmezeit zunehmend verkürzt und so die Methode auch für Kinder zugänglich gemacht.

In toto stellt das Lasersystem eine ausgesprochen fortschrittliche Technik dar, die ein detailgetreues 3D-Bild des Messobjektes schnell, wissenschaftlich ausreichend validiert und nicht-invasiv liefert.



Abbildung 26: KONICA MINOLTA 3D Laserscanner[9]

1.2.4 3D-Fertigungsverfahren

1.2.4.1 Stereolithografie (STL)

Sinngemäß nach den altgriechischen Worten stereos „fest“/„körperlich“, lithos, „der Stein“ und graphein „schreiben“) beschreibt die Lithografie eine „Drucktechnik“. Es handelt sich in dieser Modifikation ursprünglich um eine Subform des Rapid-Prototyping- Verfahrens in der Industrie. STL ist ein Herstellungsverfahren, das aus jeder 3D-Bildgebung entstehen kann. In der Medizin werden aus computertomographisch erfassten Bilddaten mittels aushärtendem Kunststoff oder Gips maßstabgerechte dreidimensionale Körper produziert; ein anschauliches Beispiel sind naturgetreue anatomische Skelettmodelle, wie sie in der Ausbildung und Lehre, aber auch in der präoperativen Planung oder zur Patientenaufklärung genutzt werden. Trotz des Aufschwunges der Stereolithografie, der in Zusammenhang mit dem Fund und der wissenschaftlichen Aufarbeitung von „Ötzi“ in den 1990er Jahre stand und der sich auch in der Medizin abzeichnete[17], konnte sich diese dort nicht durchsetzen. Auch angesichts des Vorteiles der detailgetreuen dreidimensionalen Abbildungen ist die Notwendigkeit und der Zeitbedarf eines erfahrenen und geübten Herstellers bei gleichzeitig vorhandenen günstigeren Alternativen groß. Ökonomisch ausgelegte Lösungen wurden vorgestellt[122], entbehren aber letztlich wissenschaftlichen Ansprüchen hinsichtlich Reproduzierbarkeit und Präzision. Für die hier zu Grunde liegende Fragestellung disqualifiziert sich die Stereolithografie aufgrund ihrer vollständig fehlenden Möglichkeit der Weichteilbegutachtung[57].

1.2.4.2 CNC- Frästechnik

Ein weiteres Fertigungsverfahren ist die CNC - Frästechnik.

„Computertechnische numerische Steuerung“ (computerized numerical control - CNC) wird eingesetzt, um maschinell aus Kunststoffen oder Metallen für die medizinische Verwendung vor allem bioverträglich Implantate bzw. Knochenersatz herauszuarbeiten. Durch die eingesetzte Steuerung ist eine hohe Zielgeometrie erreichbar und das Verfahren im Verhältnis kostengünstig. Für den Gesichtsbereich spielt das Fertigungsverfahren insbesondere in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie eine Rolle.

1.3 Problemstellung und Ziel der Arbeit

1.3.1 Problemstellung und Problemdefinition

In der Vergangenheit waren anthropometrische Messverfahren auch im Gesichtsbereich vor allem zweidimensional und auf knöchernen Strukturen ausgerichtet; die 2D-Form stellt sich aufgrund der fehlenden Tiefendimension aber als unzureichend dar. Röntgen wie auch CT-Bilder liefern in erster Linie Daten, die über die knöchernen Aspekte hinaus kaum Rückschluss auf Weichteilverhältnisse liefern. Laserscanaufnahmen haben dieses Problem sowie das der Strahlenbelastung gelöst und es besteht die Möglichkeit, mittels spezieller Software 3D-Modelle zu erstellen.

Bis dato fehlt aber noch eine Form, um die an den Computermodellen berechneten Ergebnisse einer per Laserscan erfassten Gesichtsoberfläche vergleichbar darzustellen. Es muss eine Evaluationsmöglichkeit geschaffen werden, diese Daten mit besonderem Augenmerk auf die fazialen Weichteilverhältnisse zugänglich zu machen. Dafür muss ein Report entwickelt werden, der die Werte darstellen kann. Ein Evaluationsbogen muss als Funktion einerseits erfüllen können, dass die Daten für weitere wissenschaftliche Analyse genutzt, eine Dokumentation des Behandlungsverlaufes vollzogen werden und er als Demonstrationshilfe für den Patienten eingesetzt werden kann. Zudem sollte eine individuelle Anpassung an spezielle Fragestellungen, spezielle Operationsplanung oder Bedürfnisse des Patienten möglich sein. Neben den angesprochenen Aspekten fehlt darüber hinaus eine Möglichkeit, prä- und postoperative Resultate in einer Trendanalyse darstellen zu können. Für alle diese evidenten Forderungen existiert bisher keine Darstellungsform. Die Gesichtspunkte fassen die aufgezeigten Defizite zusammen, verbunden mit dem Anspruch, diese zu beheben, um eine klinisch valide, objektive und reproduzierbare Methode zur Erfassung der oberflächlichen Gesichtsgometrie gewährleisten zu können.

1.3.2 Klinische Anwendung

Sowohl für die Therapieplanung als auch für den intra- und interdisziplinären Dialog in medizinischen Fachkreisen sind objektive, valide, reproduzierbare Datensätze unerlässlich. Sei es in der Plastischen, Ästhetischen und Rekonstruktiven Chirurgie oder seien andere operative Fächer (Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie) in Betracht gezogen: Eine problemorientierte Registrierung mit der Option, die Behandlung individuell so optimal wie möglich zu gestalten, sollte grundlegend das Ziel der ärztlichen Tätigkeit darstellen.

Durch die Erstellung eines Evaluationsbogens wird für den behandelnden Arzt im Folgenden eine anwenderfreundliche Grundlage für solchermaßen optimale Behandlungsplanung und -durchführung geschaffen. Umfassende Informationen zusätzlich zur eigentlichen dreidimensionalen Gesichtsanalyse wie unter anderen Gewichtsangaben, Diagnosen und Epikrise sollen auf einen Blick wichtige Informationen bereit stellen. Ein standardisierter Evaluationsbogen soll in Zukunft - nicht zuletzt auch

im Sinne einer Qualitätskontrolle - den behandelnden Medizinern an die Hand gegeben werden können und so den klinischen Alltag erleichtern. Die „Entwicklung eines strukturierten Evaluationsbogens für eine objektive, dreidimensionale Analyse der Gesichtsgeometrie mit Hilfe 3D-Körperoberflächenerfassung für Fragestellungen in der Plastischen, Ästhetischen und Rekonstruktiven Chirurgie“ soll darüber hinaus auch weitere medizinische Fachbereiche ansprechen. Klinische Anwendung des Reportes durch ebenfalls immense Bedeutung dreidimensionaler Messungen könnte beispielsweise in der Mund- Kiefer- und Gesichtschirurgie von interdisziplinärem Interesse sein.

1.3.3 Ziel der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist es, eine Evaluationsmethode für die Gesichtsgeometrie zu entwickeln, die auf dreidimensionalen Daten basiert. Ein Evaluationsbogen soll entstehen, dessen klinische Anwendbarkeit anhand eines idealsymmetrischen Puppenmodells, einer normalsymmetrischen Probandin und asymmetrischen Patienten exemplarisch dargestellt wird. Er soll die Funktion erfüllen, verschiedene Methoden der zwei- und dreidimensionalen Analyse verknüpfend, intra-individuelle Behandlungsbeziehungsweise Operationsverläufe darzustellen, die anhand einer Trendanalyse resümiert werden können. Unter Nutzung der evidenten Vorteile der 3D-Technik können so objektiv und problemorientiert die fazialen Verhältnisse quantifiziert und im Folgenden einem bis dato in dieser Umfänglichkeit nicht vorhandenen Behandlungsansatz zugänglich gemacht werden. Die erarbeitete Vorlage soll der Computer-unterstützten Chirurgie insofern dienen, als an ihr objektivier- und vergleichbar Behandlungsplanung und -ergebnisse diskutiert werden können.

Voraussetzung für die Erstellung eines Evaluationsbogens für eine objektive Gesichtsanalyse ist die Verwendung von 3D-Oberflächendaten der Patienten. Diese werden durch die Weiterverarbeitung von Laserscanaufnahmen mittels spezieller Computersoftware (Geomagic Studio11® und Sinus® Software) ermittelt. Präzision und Genauigkeit der dreidimensionalen Bewertungsmethoden und des Laserscans wurden bereits im Vorfeld[73, 75] untersucht.

Zur Vermessung der erstellten Computermodelle sollen letztlich anatomische Landmarks am Puppenmodell definiert werden, durch deren manuelles Setzen es möglich wird, Distanzen, Winkel, Flächen und Volumina zu berechnen. Mit entsprechender Vernetzung können die Ergebnisse dann zwei- beziehungsweise dreidimensional dargestellt werden. Für die Gesichtsanalyse ist eine Weiterentwicklung und Programmierung der Software Sinus® als Arbeitsschritt notwendig.

In der Software wird mit Hilfe einer Spiegelung anhand medianer Landmarks ein rechts- auf- links (sowie umgekehrt links- auf- rechts-) Vergleich der Gesichtshälften durchgeführt. Dies ist Voraussetzung für eine quantitative Analyse möglicher Asymmetrien, die dann sowohl zahlenmäßig und auch als Abbildung im Evaluationsbogen visualisiert werden sollen. Neben der Trendanalyse soll der Evaluationsbogen ein Textfeld „Epikrise“ enthalten: Anamnestische, diagnostische und therapeutische Informationen sollen den Inhalt des Reportes abrunden.

Die Verifikation eines möglichst verbindlichen, aber individuell anpassungsfähigen Evaluationsbogens stellt den Schwerpunkt dieser Arbeit dar, dessen Erprobung über diese Dissertation hinaus im klinischen Alltag Einzug erhalten und als Zukunftsweisung unserer Arbeitshypothese die Tätigkeit im Bereich der Computer- assistierten Chirurgie erleichtern soll.

2. Material und Methoden

2.1 Entwicklungsprozess des Evaluationsbogens

Um einen objektiven Evaluationsbogen für die Quantifizierung der dreidimensionalen Gesichtsoberfläche erstellen zu können, müssen mehrere Schritte im Entwicklungsprozess bedacht werden. Vorarbeiten, wie unter anderem die Selektion der Landmarks, deren Vernetzung und Festlegung der letztlich verwendbaren Berechnungen sind in der finalen Version des Evaluationsbogens eingearbeitet und nicht mehr direkt ersichtlich.

Zunächst müssen standardisierte Laserscanaufnahmen des Patienten in den Computer eingelesen und ein virtuelles Modell des Gesichtes hergestellt werden. Für die faziale Analyse ist es wichtig, standardisierte und in der Forschung etablierte anatomische Feldpunkte, sogenannte Landmarks, zu definieren und anhand dieser die Ansatzpunkte für die Berechnungen zu bestimmen. Neben der notwendigen steten Weiterentwicklung und Optimierung der Software muss insbesondere die Kombination von Standardisierung des Bogens mit der Möglichkeit der an individuelle Bedürfnisse angepassten Nutzung berücksichtigt werden. Daher wurde der Report zunächst am Puppenmodell erprobt, um ihn dann an einer als subjektiv normalsymmetrisch eingestuften Patientin anzuwenden und schließlich anhand von Patienten zu überprüfen.

2.2 Klinische Datenakquisition

2.2.1 Persönliche Datenerhebung

Für die bestmögliche Erstellung eines individuellen Reports ist ein Arzt-Patientengespräch unerlässlich. Neben wertvollen Informationen über die individuelle Anamnese nebst klinischer Untersuchung werden Behandlungsansätze, -optionen und -ziele definiert. Des Weiteren werden Diagnose und Operationsplanung dokumentiert. Zur Identifikation, auch später bei Archivierung des Evaluationsbogens, sollten anonymisierte Daten (Initialen des Patienten sowie Zuteilung einer Studiennummer), Geschlecht und Alter registriert werden.

Von Bedeutung sind darüber hinaus Angaben zu Größe, Gewicht und BMI (kg/m^2).

Eine Selektion der zur Auswahl stehenden Ästhetischen Einheiten ist möglich.

2.2.2 Fotografie

Für einen ersten Eindruck wird aus Gründen der Vollständigkeit eine Fotografie aufgenommen. Die Aufnahmen werden analog zu den Laserscanaufnahmen frontal und beidseits 30° lateral bei gleichen Lichtverhältnissen aufgenommen. Die Aufnahmen erfolgen präoperativ sowie nach jeder Operation postoperativ.

2.2.3 Laserscan

2.2.3.1 Laserscanner Konica Minolta

Für die dreidimensionale Vermessung der untersuchten Gesichter wurde der kontaktlose Scanner VI-910 der Firma Konica Minolta verwendet. Wie in 1.2.3.8 erläutert, basiert das Produkt auf der technischen Nutzung des Prinzips der Triangulation. Aus einer Lichtquelle fällt der Laserstrahl auf das zu vermessende Gesicht und wird an dessen Weichteiloberfläche reflektiert. Eine Aufnahmeeinheit (CCD-Kamera) fängt die reflektierten Strahlen auf, anhand der Höhenlinien kann die Gestalt des Messobjektes rekonstruiert werden. Die Aufnahmedauer beträgt 0.3 Sekunden pro Scan und die Präzision ± 0.10 mm[10]. Durch seine spezielle wie auch einfache Handhabung und Flexibilität wird das Gerät im medizinischen Sektor unter anderem vor allem in der Kieferorthopädie, der Plastischen, Ästhetischen und Rekonstruktiven Chirurgie, in der Forensischen Medizin, der Mund-, Kiefer-Gesichtschirurgie, Orthopädie und der HNO-Heilkunde verwendet. Kovacs et al.[75] untersuchten Präzision und Genauigkeit der Apparatur (siehe Tab.1).

Tabelle 1 Überblick über die technischen Daten des Laserscanners[10]

Model	3D Laser Scanner VIVID 910
Measurement method	Triangulation light block method
Autofocus	Image surface AF (contrast method); active AF
Light-receiving lenses (Exchangeable)	TELE: Focal distance $f=25$ mm MIDDLE: Focal distance $f=14$ mm WIDE: Focal distance $f=8$ mm
Scan range (depth of field)	0.6 to 2.5m (2m for WIDE lens)
Optimal 3D measurement range	0.6 to 1.2m
3D Laser class	Class 2 (IEC60825-1), Class 1 (FDA)
3D Laser scan method	Galvanometer-driven rotating mirror
X-direction input range (varies with distance)	111 to 463mm (TELE), 198 to 823mm (MIDDLE), 359 to 1196mm (WIDE)
Y-direction input range (varies with distance)	83 to 347mm (TELE), 148 to 618mm (MIDDLE), 269 to 897mm (WIDE)
Z-direction input range (varies with distance)	40 to 500mm (TELE), 70 to 800mm (MIDDLE), 110 to 750mm (WIDE/FINE mode)
Accuracy	X: ± 0.22 mm, Y: ± 0.16 mm, Z: ± 0.10 mm to the Z reference plane (Conditions: TELE/FINE mode, Konica Minolta's standard)
Input Time	0.3s (FAST mode), 2.5s (FINE mode), 0.5s (COLOR)
Transfer time to host computer	Approximately 1s (FAST mode) or 1.5s (FINE mode)
Ambient lighting condition	500 lx or less
Imaging element	3D data: 1/3 inch frame-transfer CCD (340,000 pixels) Color data: 3D data is shared (color separation by rotary filter)
Number of output pixels	3D data: 307,000 (FINE mode), 76,800 (FAST mode) Color data: 640 \times 480 \times 24 bits color depth
Output format	3D data: Konica Minolta format (& STL, DXF, OBJ, ASCII points, VRML; converted into 3D data by Polygon Editing Software provided as a standard accessory)Color data: RGB, 24-bit raster scan data
Recording medium	Compact flash memory card (128MB)
Data file size	Total 3D data and color data capacity: 1.6MB (FAST mode) per data, 3.6MB (FINE mode) per data
Viewfinder	5.7-inch LCD (320 \times 240 pixels)
Output interface	SCSI II (DMA synchronous transfer)
Power	Commercial AC power 100V to 240V (50 or 60Hz), current 0.6A (at 100V)

2.2.3.2 Laserscanaufnahme

Die Laserscanaufnahme wurde mit konstanten Aufnahmebedingungen durchgeführt. Der Abstand von der Lichtquelle zum Patienten betrug einheitlich 110 cm, wobei Probanden und Patienten während des Scanvorganges eine sitzende Position einnehmen konnten. Kontinuierlich eingehalten wurden die Lichtverhältnisse im Raum; standardisiert waren ebenso die Aufnahme des Gesichtes frontal zum Scanner und jeweils beidseits 30° lateral. Es wurde zudem darauf geachtet, dass die zu scannenden Personen den Kopf 10° Richtung kranial gehoben hatten und der Winkel zwischen einer Waagerechten und der „Frankfurter Horizontalen (FH)“ beständig war. Bei der FH handelt es sich um eine fiktive Strecke zwischen dem *inferioren* Rand der Orbita zum *superioren* Punkt des *Porus acusticus externus* [68, 73, 75, 83].

2.3 Grundlagen der Analyse

2.3.1 Erstellung des virtuellen Modelles mittels Software

Die Laserscanaufnahmen werden in eine Software eingelesen, die aus den separaten Bildern dreidimensionale Computermodelle berechnen.

2.3.1.1 Geomagic® Studio11

Die Weiterverarbeitung der Laserscans erfolgte mittels der etablierten Software Geomagic® Studio 11.0 ([2-8, 51], <http://www.geomagic.com/de>), in der die drei Einzelshells der Gesichtsaufnahmen implementiert wurden. Die Software erfasst Punktdaten aus dem 3D-Scanner und integriert diese zu einem dreidimensionalen virtuellen Modell. Die Zusammenfügung der shells geschieht durch Übereinanderlagerung der Anteile an definierten Punkten. Nach Begradigung, Glättung und Zuschneidung der virtuellen 3D-Modelle („mesh-Funktion“) und Speicherung im .wrp- bzw. .stl- Format ist eine individuelle Weiterverarbeitung mit einer Vielzahl verschiedener Werkzeuge möglich. Eine Analysefunktion ist für 2D- und 3D-Daten vorhanden.

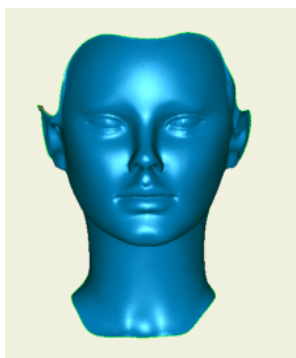


Abbildung 27: dreidimensionales Computermodell vor der Bearbeitung in Geomagic®Studio11

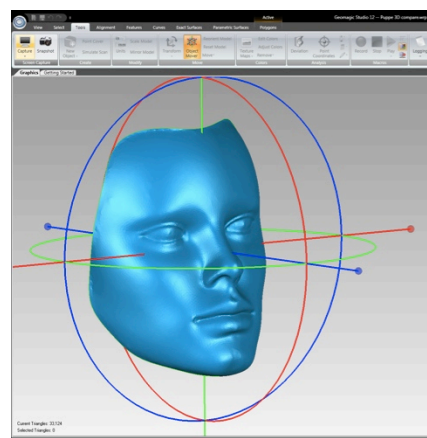


Abbildung 28: dreidimensionales Computermodell während der Bearbeitung in Geomagic®Studio11

Die mathematische Auswertung, anhand derer Ergebnisse dargestellt werden, erfolgt mittels der Standardabweichung einer je nach Anwendung definierten Messgröße der Symmetrie; sie ist ein statistischen Maß für die Streubreite von Messwerten um ihren Mittelwert.

2.3.1.2 Software Sinus®

Eine weitere Bildverarbeitungssoftware beruht auf dem an der TU München in Zusammenarbeit mit CADFEM® (<http://www.cadfem.de/>) als Forschungsprojekt entwickelten Programm Sinus® für die Erstellung und Analyse von dreidimensionalen Computermodellen. Hier werden die Datenbank für das Puppenmodell, die Probanden und die Patienten angelegt und anhand dieser Werte sämtliche Messungen durchgeführt. Neben der Archivierung und Verwaltung der einzelnen Scans bietet die Datenbank die Möglichkeit, bei Patienten den klinischen Verlauf zu erfassen und zu dokumentieren (mehrere Scanaufnahmen z.B. prä- und postoperativ). Die Software beinhaltet das Tool, die Landmarks manuell setzen zu können, wobei sich die Möglichkeit der Rotation des virtuellen Gesichtsmodells positiv auswirkt. Sinus® wird für die Bearbeitung von Gesichtsmodellen während dieser Arbeit durch Programmierung des Landmark-Gitternetzes, der Ausgabe einzelner Ästhetischer Einheiten und eines gesamten Gesichtsmodelles erweitert und weiterentwickelt. Der Effektivwert, Root Mean Square, ist die mathematische Darstellung der Resultate einer fazialen Analyse. Der Effektivwert gibt den quadratischen Mittelwert einer veränderlichen Größe an.

2.3.2 Landmarks

Ein wichtiger Schritt, um die Gesichtsmaske, Ästhetische Einheiten und weitere Analysen in die Software implementieren zu können, ist die Selektion der Landmarks. Deren Vernetzung führt zur Festlegung von Strecken und weiteren berechenbaren Einheiten sowie Eingrenzung der Ästhetischen Einheiten. Die medianen Landmarks dienen der Festlegung der Spiegelebene.

Die Auswahl und Definition der verwendeten anatomischen Landmarks wurde anhand von Publikationen[21, 29-31, 44-48, 56, 57, 76, 83, 84, 96, 101, 104, 109, 115] und Literatur, etwa dem Standardwerk von Leslie G. Farkas „Anthropometry of the Head and Face“[39] sowie Papels et al. „Facial Plastic and Reconstructive Surgery“[93], jeweils sowohl aus zuverlässigen, wissenschaftlich bewährten Quellen als auch aus solchen aktuellen Datums (z.B.[31, 84, 109]) und respektive Reliabilität und Reproduzierbarkeit durchgeführt. Ein Schwerpunkt bei der endgültigen Selektion wurde auf die messtechnische Durchführung hinsichtlich des Weichteilprofils und auf den Rahmen der Laserscanmessung gelegt. So entfiel durch die üblicherweise geschlossenen Augen die Landmarks der Pupille (29pu). Des Weiteren wurden auf Grund ihrer knöchernen Struktur Sellion (30se), Submentale (35sm), Menton (36me), Vertex (44v) und Ophistocranion (45op) gestrichen. Nicht jeder Landmark bietet sich für die Vermessung an. So gibt es dreidimensionale Modelle, in denen der periaurale Bereich bei der Überführung in das dreidimensionale Computermodell entfernt wurde, um sich auf zentrale Gesichtsbereiche konzentrieren zu können. Innerhalb Ästhetischer Einheiten kann die Zahl der Landmarks zu Gunsten der Berechenbarkeit auf die bedeutendsten Feldpunkte reduziert werden. Bei Patienten können massive Weichteildefekte, Missbildungen oder Traumata fehlende Vermessungsbereiche verursachen.

Für die Programmierung und Messung erfolgte nicht nur eine Nummerierung, sondern auch die Aufteilung in Links und Rechts sowie eine Kennzeichnung in deutscher Sprache. An einem Beispiel sei im Folgenden erläutert:

12orre steht für Landmark Nummer 12, or für Orbitale und re für rechts. Auf diese Weise wird eine exakte Zuordnung der Einzelpunkte auch in komplexem Kontext gewährleistet. Um Übersichtlichkeit beizubehalten, wurden die Positionen der 64 ausgewählten Landmarks in die Bereiche Stirn- und perioculare Region, perinasale, Wangen-, periorale und periaurale Region unterteilt. Mediane Landmarks wurden in den zu Grunde liegenden Daten hervorgehoben.

Tabelle 2 Definition der Landmarks

1tr	Trichion	Haaransatzpunkt an der Stirn in der Mediansagittalebene
2ftre	Frontotemporale	beidseitig auf der Stirn,lateral der
2ftli	Frontotemporale	Erhebung der Linea temporalis; oberhalb,aber auf Niveau der Augenbrauenenden
3scire	Superciliare	höchster Punkt im Mittelbereich der
3scili	Superciliare	oberen Grenzlinie der Augenbraue
4g	Glabella	prominentester Punkt der Mittellinie zw. Den Augenbrauen, analog dem knöchernen Punkt im os frontale
5n	Nasion	der tiefste Punkt des Nasenrückens, der am Weitestens anterior gelegene Punkt der Sutura nasofrontalis; immer leicht oberhalb der Linie, die die inneren Augenwinkel verbindet,analog zum knöchernen Nasion
6enre	Endocanthion	die innere Kommissur der Augenspalte
6enli	Endocanthion	leicht lateral des knöchernen en
7psre	Palpebrale sup	der am höchsten liegende Punkt des
7psli	Palpebrale sup	Augenlidrandes in dessen Mittelbereich
8osre	Orbitale sup	höchster Punkt am Unterrand der Augenbraue nahe dem höchsten knöchernen
8osli	Orbitale sup	Punkt des Oberrandes der Orbita
9exre	Exocanthion	die äußere Kommissur der Augenspalte
9exli	Exocanthion	leicht medial des knöchernen ex
10zyre	Zygion	lateralster Punkt des os zygomaticum,
10zyli	Zygion	prominentester Punkt in der Wangenregion unterhalb des äußeren Augenwinkels, entspricht nicht dem knöchernen Zy
11pire	Palpebrale inf	der am tiefsten liegende Punkt des
11pili	Palpebrale inf	Augenlidrandes in dessen Mittelbereich
12orre	Orbitale	tiefster Punkt am Unterrand der Augenhöhle,identisch m.knöchernem Orbitale
12orli	Orbitale	
13prn	Pronasale	der am Meisten vorstehende Punkt der Nasenspitze (von lateral identifizierbar)
14cre	Columella	höchster Punkt am Weichteilsteg,liegt auf der Höhe des Oberrandes des Nasenloches
14cli	Columella	
15sn	Subnasale	Punkt an der Nasenwurzel in der Mediansagittalebene,in dem Nasensptum mit der Oberlippe verschmilzt, nicht identisch mit knöchernem Nasospinale
16sbalre	Subalare	an unterer Grenze der alaren Basis am
16sballi	Subalare	unteren Übergang in die Oberlippenhaut
17acre	Alare crest	lateralster Punkt der gekrümmten Alar-Basis, zeigt den Übergang des Nasenflügels zur Gesichtshaut an
17aclli	Alare crest	
18alre	Alare	lateralster Punkt des Nasenflügels
18alli	Alare	lateralster Punkt des Nasenflügels
19chkre	Cheek	Schnittpunkt zw.der Camper'schen Ebene (ac-t)und einer
19chkli	Cheek	Verbindungsline zwischen äußerem Augenwinkel u. Lippenkommissur (ex-ch)
20tre	Tragion	Einkerbung am oberen Rand des Tragus

20tli	Tragion	Einkerbung am oberen Rand des Tragus
21ls	Labiale superius	Mittelpunkt der oberen Vermillionlinie (oberer Lippensulcus: tiefster Punkt der Oberlippe auf der Hälfte von sn-ls)
22cphre	Crista philtri	der Punkt an den links/rechts erhabenen Rändern des Philtrums gerade oberhalb des Lippenrotes
22cphli	Crista philtri	
23chre	Cheilion	die beiden lateralsten Punkte der Lippenkommissur
23chli	Cheilion	
24li	Labiale inferius	Mittelpunkt der unteren Vermillionlinie
25sl	Sublabiale	unterer Lippensulcus: tiefster Mittellinienpunkt in der Labiomental- Falte, der die untere Lippen- bzw.obere Kinnngrenze determiniert
26pg	Pogonion	der am Weitesten anteriore Punkt des Kinns an der Weichteiloberfläche, analog dem knöchernen Mandibularpunkt
27gn	Gnathion	anteriorster und inferiorster Punkt des Weichteilkinns
28gore	Gonion	der am Meisten zur Seite, nach hinten u. unten ausgerichtetster Punkt des äußeren Manibularwinkels nahe dem knöchernen Gonion
28goli	Gonion	
31stnrre	Oberes Nasenloch	oberes Ende des Nasenloches
31stnrli	Oberes Nasenloch	oberes Ende des Nasenloches
32itnrre	Unteres Nasenloch	unteres Ende des Nasenloches
32itnrli	Unteres Nasenloch	unteres Ende des Nasenloches
33sto	Stomion	in der Schnittstelle der Mittellinie des Gesichtes u. der Horizontallinie der Lippenkommissur gelegener Punkt
34b	Weichteilpunkt B	in der Schnittstelle der Mittellinie des
38obire	Otobasion inf.	untere Insertion des Ohres, tiefster Punkt des Ohrläppchens, an dem das Ohr zur Gesichtshaut übergeht
38obili	Otobasion inf.	
39sare	Superaurale	der höchter Punkt am freien Rand der Ohrmuschel
39sali	Superaurale	
40sbare	Subaurale	der tiefste Punkt am freien Rand der Ohrmuschel
40sbali	Subaurale	
41prare	Praeaurale	der am Weitesten anteriore Punkt des Ohres
41prali	Praeaurale	
42pare	Postaurale	der am Weitesten posteriore Punkt des Ohres
42pali	Postaurale	
43pore	Porion	höchster Punkt des oberen Randes des Weichteil- Gehörganges
43poli	Porion	

Übersicht über hinterlegte Landmarks und Definition

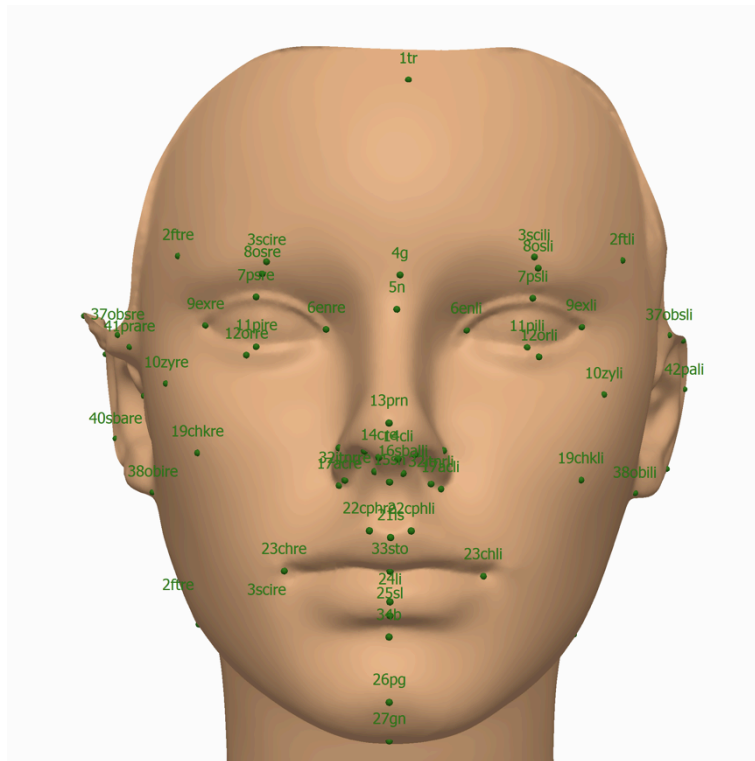


Abbildung 29: Landmarks am Puppenmodell: frontale Ansicht als Überblick

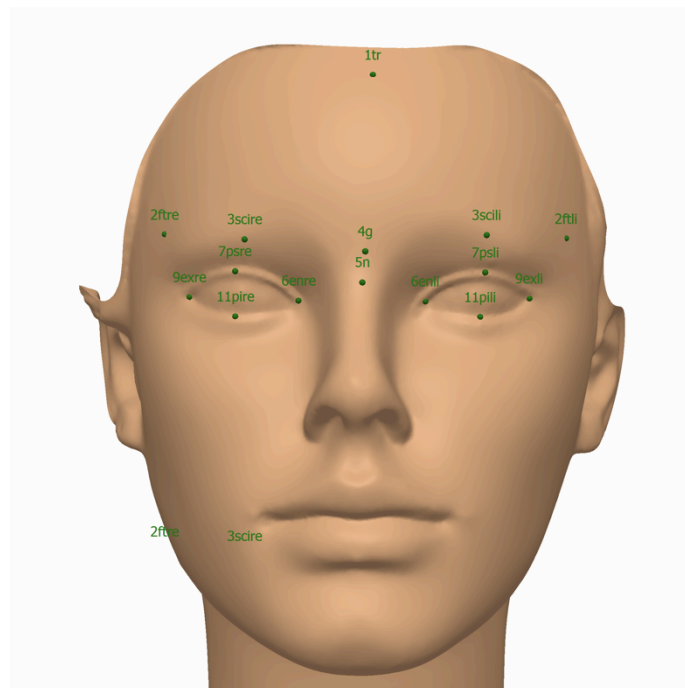


Abbildung 30: Ausgewählte Landmarks am Beispiel der Periocularregion

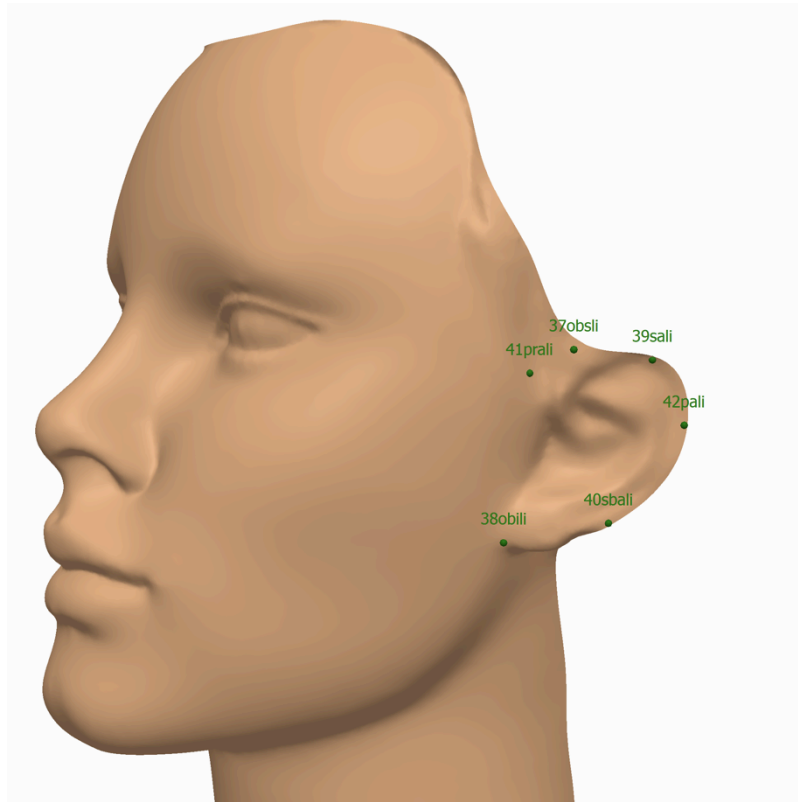


Abbildung 31: Ausgewählte Landmarks am Beispiel der Periauralregion

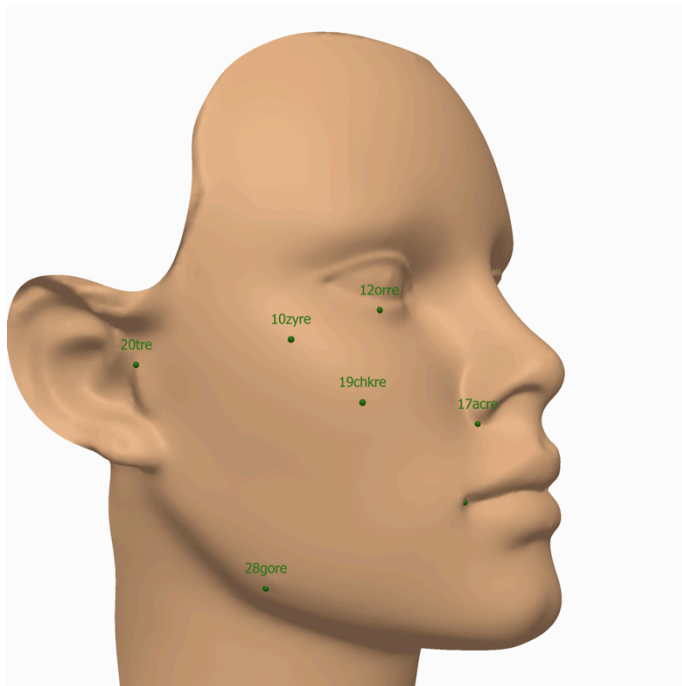


Abbildung 32: Ausgewählte Landmarks am Beispiel der Wange

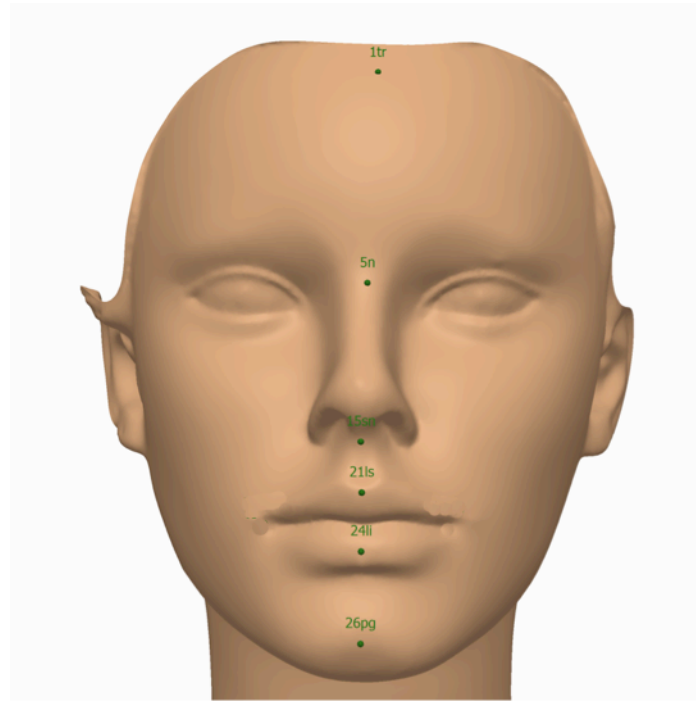


Abbildung 33: Mediane Landmarks, Grundlage der Spiegelebene

2.3.3 Ansatzpunkte für die Berechnungen

2.3.3.1 Vernetzung der Landmarks und Streckenmessung

Die Messungen wurden anhand der für die Gesichtsgeometrie bedeutsamen Distanzen in Anlehnung an Ludwig[82] und oben erwähnter Literaturauswahl selektiert. Zusätzlich mussten neue Definitionen in Hinblick auf die Rechts-Links-Symmetrie und den prä- sowie postoperativen Vergleich erstellt und die Resultate in cm notiert werden. Die Aufteilung erfolgte auch innerhalb einzelner ästhetischer Regionen. Darüber hinaus konnten die Distanzen linear (kürzeste Strecke zwischen zwei Landmarks) und als Oberflächenmessung bestimmt werden.

Die Rechts-Links-Differenzen wurden am dreidimensionalen virtuellen Modell bestimmt, sie berücksichtigen aber nur Veränderungen des Abstandes zum Symmetriepunkt (und nicht zur Symmetrieachse). Ergebnisse können in absoluten Zahlen oder prozentual ausgedrückt werden. Da keine Aussage über Gesichtsveränderungen getroffen wird, bei denen der Abstand der Landmarks zum Symmetriepunkt trotz Veränderungen des Gesichts gleich bleibt, wurde eine Umsetzung des theoretischen Gedanken in den praktisch-klinischen Bezug unterlassen.

Tabelle 3 Vernetzung der Landmarks

Von ...	Nach...	Strecke	Von ...	Nach...	Strecke
Trichion	Nasion	1tr-5n	CheilionR	Sublabiale	23chre-25sl
Trichion	Glabella	1tr-4g	CheilionL	Sublabiale	23chli-25sl
Trichion	FrontotemporaleR	1tr-2ftre	CheilionR	Pogonion	23chre-26pg
Trichion	FrontotemporaleL	1tr-2ftli	CheilionL	Pogonion	23chli-26pg
Trichion	SuperciliareR	1tr-3scire	CheilionR	GonionR	23chre-28gore
Trichion	SuperciliareL	1tr-3scili	CheilionL	GonionL	23chli-28goli
FrontoTemporaleR	FrontoTemporaleL	2ftre-2ftli	GonionR	Pogonion	28gore-26pg
FrontoTemporaleR	SuperciliareR	2ftre-3scire	GonionL	Pogonion	28goli-26pg
FrontoTemporaleL	SuperciliareL	2ftli-3scili	GonionR	Gnathion	28gore-27gn
Glabella	SuperciliareR	4g-3scire	GonionL	Gnathion	28goli-27gn
Glabella	SuperciliareL	4g-3scili	OrbitaleR	EndocanthionR	12orre-6enre
Glabella	OrbitaleSupR	4g-8osre	OrbitaleL	EndocanthionL	12orli-6enli
Glabella	OrbitaleSupL	4g-8osli	OrbitaleR	PalpebraleInfR	12orre-11pire
FrontoTemporaleR	OrbitaleSupR	2ftre-8osre	OrbitaleL	PalpebraleInfL	12orli-11pili
FrontoTemporaleL	OrbitaleSupL	2ftli-8osli	OrbitaleR	ExocanthionR	12orre-9exre
Nasion	Gnathion	5n-27gn	OrbitaleL	ExocanthionL	12orli-9exli
Nasion	Subnasale	5n-15sn	OrbitaleR	ZygionR	12orre-10zyre
FrontoTemporaleR	OrbitaleSupR	2ftre-8osre	OrbitaleL	ZygionL	12orli-10zyli
FrontotemporaleL	OrbitaleSupL	2ftli-8osli	OrbitaleR	AlareCreR	12orre-17acre
SuperciliareR	OrbitaleSupR	3scire-8osre	OrbitaleL	AlareCreL	12orli-17acli
SuperciliareL	OrbitaleSupL	3scire-osli	OrbitaleR	CheekR	12orre-19chkre
FrontoTemporaleR	ExocanthionR	2ftre-9exre	OrbitaleL	CheekL	12orli-19chli
FrontoTemporaleL	ExocanthionL	2ftli-9exli	CheekR	ZygionR	19chre-10zyre
FrontoTemporaleL	ZygionR	2ftre-10zyre	CheekL	ZygionL	19chli-10zyli
FrontoTemporaleL	ZygionL	2ftli-10zyli	CheekR	TragionR	19chre-20tre
FrontoTemporaleL	TragionR	2ftre-20tre	CheekL	TragionL	19chli-20tli
FrontoTemporaleL	TragionL	2ftli-20tli	CheekR	AlareCreR	19chre-17acre
OrbitaleSupR	ExocanthionR	8osre-9exre	CheekL	AlareCreL	19chli-17acli
OrbitaleSupL	ExoancanthionL	8osli-9exli	CheekR	CheilionR	19chre-23chre
OrbitaleSupR	PalpebraleSupR	8osre-7psre	CheekL	CheilionL	19chli-23chli
OrbitaleSupL	PalpebraleSupL	8osli-7psli	CheekR	GonionR	19chre-28gore
Glabella	PalpebraleSupR	4g-7psre	CheekL	GonionL	19chli-28goli
Glabella	PalpebraleSupL	4g-7psli	TragionR	GonionR	20tre-28gore
PalpebraleSupR	ExocanthionR	7psre-9exre	TragionL	GonionL	20tli-28goli
PalpebraleSupL	ExocanthionL	7psli-9exli	LabialeInf	Sublabiale	24li-25sl
PalpebraleSupL	ExocanthionL	7psli-9exli	Sublabiale	Pogonion	25sl-26pg
ExocanthionR	ZygionR	9exre-10zyre	Pogonion	Gnathion	26pg-27gn
ExocanthionL	Zygioln	9exli-10zyli	EndocanthionR	Sellion	5enre-se
ZygionR	TragionR	10zyre- 20tre	EndocanthionL	Sellion	6enli-se
ZygionL	TragionL	10zyli-20tli	ExocanthionR	TragionR	9exre-20tre
Glabella	EndocanthionR	4g-6enre	ExocanthionL	TragionL	9exli-20tli
Glabella	EndocanthionL	4g-6enli	ExocanthionR	GonionR	9exre-28gore
PalpebraleSupR	EndocanthionR	7psre-6enre	ExocanthionL	GonionL	9exli-28goli

PalpebraleSupL	EndocanthionL	7psli-6enli	EndocanthionR	ExocanthionR	6enre-9exre
ExocanthionR	PalpebraleInfR	9exre-11pire	EndocanthionL	ExocanthionL	6enli-9exli
ExocanthionL	PalpebraleInFL	9exli-11pili	EndocanthionR	EndocanthionL	6enre-6enli
PalpebraleInfR	EndocanthionR	11pire-6enre	ExocanthionR	ExocanthionL	9exre-9exli
PalpebraleInFL	EndocanthionL	11pili-6enli	PupilleR	PupilleL	17pure-puli
PalpebraleSupR	PalpebraleInfR	7psre-11pire	OrbitaleSupR	OrbitaleR	8osre-12orre
PalpebraleSupL	PalpebraleInFL	7psli-11pili	OrbitaleSupL	OrbitaleL	8osli-12orli
Nasion	EndocanthionR	5n-6enre	ZygionR	ZygionL	10zyre-1zyli
Nasion	EndocanthionL	5n-6enli	EndocanthionR	Sellion	21enre-se
Nasion	Gnathion	5n-27gn	EndocanthionL	Sellion	22enli-se
Glabella	Nasion	4g- n	AlareCreR	Pronasale	17acre-13prn
Nasion	Pronasale	5n-13prn	AlareCreL	Pronasale	17acli-13prn
Nasion	AlareR	5n-18alre	AlareR	AlareL	18alre-18alli
Nasion	AlareL	5n-18alli	Nasion	Pronasale	5n-13prn
AlareR	Pronasale	18alre-13prn	Subnasale	Pogonion	15sn-26pg
AlareL	Pronasale	18alli-13prn	Subnasale	Sublabiale	15sn- 25sl
EndocanthionR	AlareR	6enre-18alre	CheilionR	Stomion	23chre-33sto
EndocanthionL	AlareL	6enli-18alli	CheilionL	Stomion	23chli-33sto
EndocanthionR	AlareCreR	6enre-17acre	CheilionR	TragionR	23chre-20tre
EndocanthionL	AlareCreL	6enli-17acli	CheilionL	TragionL	23chli-20tli
AlareCreR	AlareR	17acre-18alre	CheilionR	Weichteilpunkt B	23chre-34b
AlareCreL	AlareL	17acli-18alli	CheilionL	Weichteilpunkt B	23chli-34b
AlareR	ColumellaR	18alre-14cre	Subnasale	Stomion	15sn-33stm
AlareL	ColumellaL	18alli-14cli	Stomion	LabialeInf	33stm- 24li
Pronasale	ColumellaR	13prn-14cre	Pogonion	Gnathion	26pg-27gn
Pronasale	ColumellaL	13prn-14cli	Tragion	Gonion	20tre-28gore
CollumellaR	ColumellaL	14cre-14cli	Tragion	Gonion	20tli-28goli
CollumellaR	SubalareR	14cre-16sbalre	GonionR	GonionL	28gore-28goli
CollumellaR	SubalareL	14cli-16sballi	GonionR	Menton	40gore-me
AlareR	SubalareR	18alre-16sbalre	GonionL	Menton	41goli-me
AlareL	SubalareL	18alli-16sballi	Gnathion	OtobasionSupR	43gn-obsre
AlareCreR	SubalareR	17acre-16sbalre	Gnathion	OtobasionSupL	44gn-obsli
AlareCreL	SubalareL	17acli-16sballi	Gnathion	OtobasionInfR	27gn-38obire
SubalareR	Subnasale	16sbalre-15sn	Gnathion	OtobasionInFL	27gn-38obili
SubalareL	Subnasale	16sballi-15sn	Subnasale	OtobasionInfR	15sn-38obire
Supernostril	Inferiornostril	31stnrre-32itnre	Subnasale	OtobasionInFL	15sn-38obili
Supernostril	Inferiornostril	31stnrli-32itnli	OtobasionSupR	OtobasionInfR	37obsre-38obire
Subnasale	ColumellaR	15sn-14cre	OtobasionSupL	OtobasionInFL	57obsli-38obili
Subnasale	ColumellaL	15sn-14cli	SuperauraleR	SubauraleR	39sare-40sbare
Subnasale	LabialeSup	15sn-21ls	SuperauraleL	SubauraleL	39sali-40sbali
Subnasale	CristaPhiltriR	15sn-22cphre	PraeauraleR	PostauraleR	41prare-42pare
Subnasale	CristaPhiltriL	15sn-22cphli	PraeauraleL	PostauraleL	41prali-42pali
SubalareR	SubalareL	16sbalre-16sballi	OtobasionSupR	Nasion	37obsre-5n
SubalareR	CristaPhiltriR	16sbalre-22cphre	OtobasionSupL	Nasion	37obsli-5n
SubalareL	CristaPhiltriL	16sballi-22cphli	OtobasionSupR	Subnasale	37obsre-15sn
LabialeSup	LabialeInf	21ls- 24li	OtobasionSupL	Subnasale	37obsli-15sn

ChristaPhiltriR	AlareCreR	22chpre-17acre	OtobasionInfR	Nasion	38obire-5n
ChristaPhiltriL	AlareCreL	22cphli-17acli	OtobasionInfl	Nasion	38obili-5n
ChristaPhiltriR	LabialeSup	22cphre-21ls	OtobasionInfR	Subnasale	38obire-15sn
ChristaPhiltriL	LabialeSup	22cphli-21ls	OtobasionInfl	Subnasale	38obili-15sn
ChristaPhiltriR	CheilionR	22cphre-23chre	PraeauraleR	GonionR	41prare-28gore
ChristaPhiltriL	CheilionL	22cphli-23chli	PraeauraleL	GonionL	41prali-28goli
AlareCreR	CheilionR	17acre-23chre	PraeauraleR	Pogonion	41prare-26pg
AlareCreL	CheilionL	17acli-23chli	PraeauraleL	Pogonion	41prali-26pg
CheilionR	CheilionL	23chre-23chli	OtobasionSupR	Nasion	37obsre-5n
CheilionL	LabialeSup	23chli-21ls	OtobasionSupL	Nasion	37obsli-5n
CheilionR	LabialeSup	23chre-21ls	OtobasionSupR	Subnasale	37obsre-15sn
CheilionR	LabialeInf	23chre-24li	OtobasionSupL	Subnasale	37obsli-15sn
CheilionL	LabialeInf	23chli-24li			

Folgende 66 Strecken wurden den einzelnen ästhetischen fazialen Einheiten zugeordnet:

Tabelle 4 Ästhetische Einheiten

Stirn u. Periocular		(13 Strecken)
Von	Nach	Strecke
Trichion	Nasion	1tr-5n
Trichion	FrontotemporaleR	1tr-2ftre
Trichion	FrontotemporaleL	1tr-2ftli
PalpebraleSupR	PalpebraleInfR	7psre-11pire
PalpebraleSupL	PalpebraleInfL	7psli-11pili
EndocanthionR	ExocanthionR	6enre-9exre
EndocanthionL	ExocanthionL	6enli-9exli
OrbitaleSupR	OrbitaleR	8osre-12orre
OrbitaleSupL	OrbitaleL	8osli-12orli
Glabella	SuperciliareR	4g-3scire
Glabella	SuperciliareL	4g-3scili
FrontoTemporaleR	SuperciliareR	2ftre-3scire
FrontoTemporaleL	SuperciliareL	2ftli-3scili
Perinasal		(8 Strecken)
Nasion	Pronasale	5n-13prn
Nasion	AlareR	5n-18alre
Nasion	AlareL	5n-18alli
Subnasale	ColumellaR	15sn-14cre
Subnasale	ColumellaL	15sn-14cli
CollumellaR	ColumellaL	14cre-14cli
Supernostril	Inferiornostril	31stnrre-32itnre
Supernostril	Inferiornostril	31stnrli-32itnli
Wange		(20 Strecken)
ZygionR	TragionR	10zyre-20tre

ZygionL	TragionL	10zyli-20tli
OrbitaleR	ZygionR	12orre-10zyre
OrbitaleL	ZygionL	12orli-10zyli
OrbitaleR	AlareCreR	12orre-17acre
OrbitaleL	AlareCreL	12orli-17acli
AlareCreR	CheilionR	17acre-23chre
AlareCreL	CheilionL	17acli-23chli
CheekR	ZygionR	19chre-10zyre
CheekL	ZygionL	19chli-10zyli
CheekR	CheilionR	19chre-23chre
CheekL	CheilionL	19chli-23chli
CheilionR	GonionR	23chre-28gore
CheilionL	GonionL	23chli-28goli
TragionR	GonionR	20tre-28gore
TragionL	GonionL	20tli-28goli
OrbitaleR	CheekR	12orre-19chkre
OrbitaleL	CheekL	12orli-19chli
CheekR	GonionR	19chre-28gore
CheekL	GonionL	19chli-28goli

Perioral (14 Strecken)

Subnasale	LabialeSup	15sn-21ls
Subnasale	Stomion	15sn-33stm
Stomion	LabialeInf	33stm- 24li
LabialeInf	Sublabiale	24li-25sl
Sublabiale	Pogonion	25sl-26pg
Pogonion	Gnathion	26pg-27gn
CheilionR	Stomion	23chre-33sto
CheilionL	Stomion	23chli-33sto
CheilionR	Weichteilpunkt B	23chre-34b
CheilionL	Weichteilpunkt B	23chli- 34b
CheilionR	Pogonion	23chre-26pg
CheilionL	Pogonion	23chli-26pg
GonionR	Pogonion	28gore-26pg
GonionL	Pogonion	28goli-26pg

Periaural (6 Strecken)

SuperauraleR	SubauraleR	39sare-40sbare
SuperauraleL	SubauraleL	39sali-40sbali
PraeauraleR	PostauraleR	41prare-42pare
PraeauraleL	PostauraleL	41prali-42pali
OtobasionSupR	OtobasionInfR	37obsre-38obire
OtobasionSupL	OtobasionInfL	37obsli-38obili

Median (5 Strecken)

Trichion	Nasion	1tr-5n
----------	--------	--------

Nasion	Subnasale	5n-15sn
Subnasale	Pogonion	15sn-26pg
LabialeSup	LabialeInf	21ls- 24li
CheilionR	CheilionL	23chre-23chli

2.3.3.2 Winkelmessung

Ein Großteil der in der Anthropometrie verwendeten Winkel haben bei der Einteilung von skelettalen Elementen eine besondere Bedeutung, entfallen aber bei der Betrachtung des Weichteilprofils aufgrund der Oberflächenanalyse. Ferner sind Winkel oder Projektionen in der Literatur oftmals uneinheitlich klassifiziert (etwa die Nasenspitzenprojektion nach Simons oder nach Goode.) Um eine Einheitlichkeit für manuell mögliche Berechnungen zu schaffen, wurden folgende Winkel (siehe Tabelle 5) festgelegt, die für die 3D-Symmetrieanalyse aber im Folgenden keine Rolle spielen. Die Ergebnisse werden in Grad (°) gemessen.

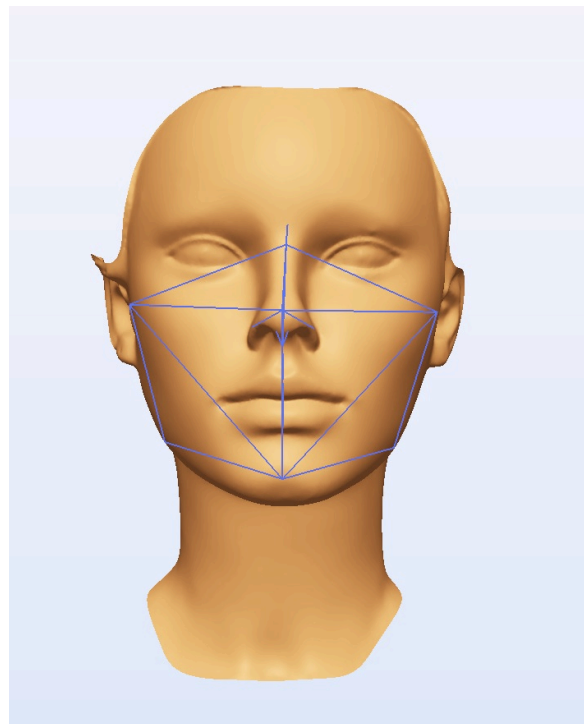


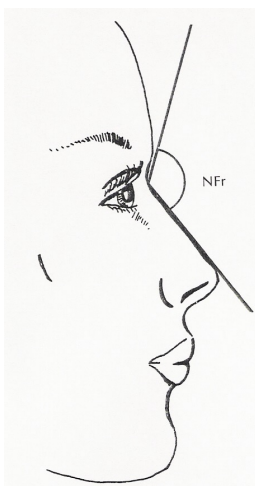
Abbildung 34: Winkel im Sinus-Modell

Tabelle 5 Winkel

Kennzeichnung	Name	Erläuterung	Notiz	
Winkel der Strecken von... nach			Ideal Frau (°)	Ideal Mann (°)
4g- 5n und 5n- 13prn	Nasofrontalwinkel Nfr		120 (115-135)	115(115-135)
15sn- 14cre und 15sn- 21ls	Nasolabialwinkel NL re	<i>empfänglich für Abnormalitäten</i>	100 (95-105)	90 (90-95)
15sn- 14cli und 15sn- 21ls	Nasolabialwinkel NL li			
5n-13prn und 13prn- 26pg	Nasomentalwinkel	Schnittpunkt Nasenrückenlinie u. Nasomental- linie	120-132	120-132
5n-15sn-26pg		Gesichtskonvexität längs exkl Nase		
5n-13prn-26pg		Gesichtskonvexität längs inkl Nase		
25sl-5n-15sn		Maxilla-Prominenz		
20tre-5n-20tli		obere Gesichtskonvexität quer		
20tre-13prn-20tli		Mittelgesichtskonvexität quer inkl Nase		
20tre-26pg-20tli		Untergesichtskonvexität quer		
28gore-26pg-28goli		Kieferkonvexität quer		
20tre-28gore-26pg		re Weichteil-Kieferwinkel		
20tli-28goli-26pg		li Weichteil-Kieferwinkel		
21ls-15sn-13prn		Nasolabialwinkel		
18alre-13prn-18alli		Nasenflügelsteigung		
5n-13prn-15sn		Nasenkonvexität		

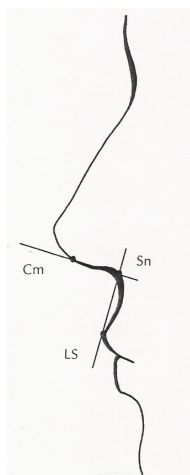
Übersicht Winkel

Zur Veranschaulichung bilden die folgenden Tabellen den Nasofrontal-, den Nasolabial-, und den Nasomentalwinkel ab:



**Abbildung 35:
Nasofrontalwinkel**

Powell und Humphreys ,1984, S.54
[62]



**Abbildung 36:
Nasolabialwinkel**

Powell und Humphreys, 1984, S.32
[62]



**Abbildung 37:
Nasomentalwinkel**

Powell und Humphreys, 1984, S.54
[62]

2.3.3.3 Flächenberechnung

Als Ansatz zur Quantifizierung der Weichteiloberfläche wurden als erster Ansatz zehn Dreiecke (von ursprünglich 83 angedachten) determiniert. Das Ergebnis für die Flächen wird in cm² festgelegt.

Tabelle 6 Flächenberechnung

Unterlippe	23chre-24li-23chli-33sto
Gesamtlippe	23chre21ls-23chli-21li
Oberlippe	23chre-21ls-23chli-33sto
re Nasenseite	5n-13prn-17acre
li Nasenseite	5n-13prn-17acli
re untere Nasenseite	13prn-15sn- 17acre
li untere Nasenseite	13prn-15sn- 17acli
Stirn	2ftre-1tr-2ftli
Wange re	20tre-9exre-23chre-28gore-20tre
Wange li	20tli-9exli-23chli-28goli-20tli

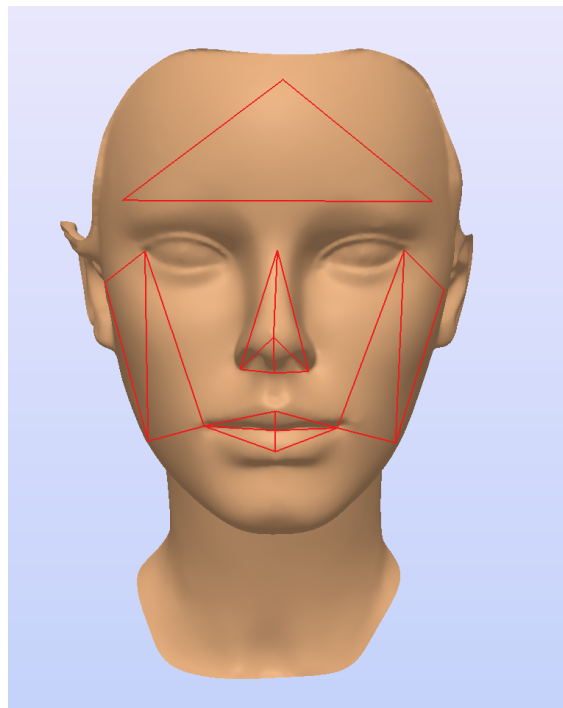


Abbildung 38: Flächen am Sinus-Modell

2.3.3.4 Volumenberechnung

Für die 29 Volumina wurden unten stehende Tetraeder bestimmt; das Ergebnis wird in cm³ angegeben.

Tabelle 7 Volumenberechnung

23chre-23chli-21ls-15sn	obere Oberlippe	chre	chli	ls	sn
23chre-23chli-21ls+33sto	Oberlippenrot	chre	chli	ls	sto
23chre-23chli-24li+25sl	untere Unterlippe	chre	chli	li	sl
23chre-23chli-24li+33sto	Unterlippenrot	chre	chli	li	sto
17acre-17acli-13prn-5n	obere Nase	acre	acli	prn	n
17acre-17acli-13prn-15sn	untere Nase	acre	acli	prn	sn
5n-9exre-20tre-1tr	Oberes Gesichtsdrittel rechts	n	exre	tre	tr
5n-9exli-20tre-1tr	Mitte	n	exli	tre	tr
5n-20tre-20tli-1tr	links	n	tre	tli	tr
5n-1tr-9exre-2ftre	re frontal	n	tre	exre	ftre
5n-1tr-9exli-2ftli	li frontal	n	tre	exli	ftli
1tr-9exre-20tre+2ftre	re lateral	tr	exre	tre	ftre
1tr-9exli-20tli+2ftli	li lateral	tr	exli	tli	ftli
5n-9exre-23chre-18alre	Mittleres Gesichtsdrittel re Wange	n	exre	chre	alre
5n-9exli-23chli-18alli	li Wange	n	exli	chli	alli
9exre-20tre-23chre-2ftre	re Wange Oberfläche	exre	tre	chre	ftre
9exli-20tli-23chli-2ftli	li Wange Oberfläche	exli	tli	chli	ftli
5n-18alre-23chre-33sn	re Prämaxilla	n	alre	chre	sn
5n-23chre-23chli-15sn	Mittl.Prämaxilla	n	chre	chli	sn
5n-18alli-23chli-15sn	li Prämaxilla	n	alli	chre	sn
5n-23chre-20tre+9exre	re Zyg Basis	n	chre	tre	exre
5n-23chli-20tli+9exli	li Zyg Basis	n	chli	tli	exli
9exre-18alre-23chre+19chkre	re Zyg Oberfläche	exre	alre	chre	chkre
9exli-18alli-23chli+19chkli	li Zyg Oberfläche	exli	alli	chli	chkli
15sn-23chre-23chli+21ls	Oberlippe	sn	chre	chli	ls
26pg-23chre-23chli+25sl	Kinn Oberfläche	pg	chre	chli	sl
25sl-23chre-23chli+24li	Unterlippe	sl	chre	chli	li
5n-13prn-15sn-18alre	Nase rechts	n	prn	sn	alre
5n-13prn-15sn-18alli	Nase links	n	prn	sn	alli

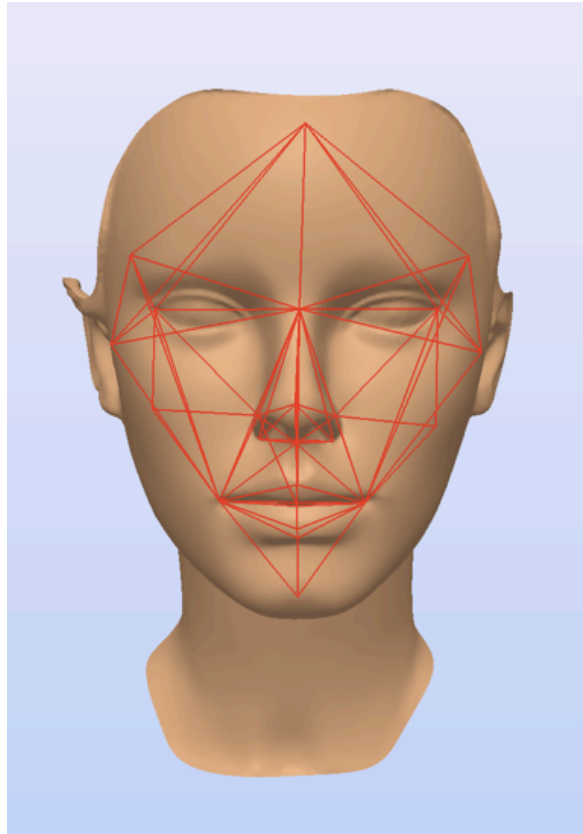


Abbildung 39: Volumina am Sinus-Modell

2.3.4 Ästhetische Regionen

Die Einteilung des Gesichtes in ästhetische Einheiten ist in der Plastischen Chirurgie ein hilfreiches Verfahren, eine Region besonderen Interesses hervorzuheben oder einzugrenzen. Die unterschiedlichen Gesichtsbereiche variieren hinsichtlich der knöchernen Strukturen, der Dicke der Hautschicht und des Fettgewebes, von daher ist eine präzise Erfassung des zu behandelnden oder wiederherzustellenden Areals unerlässlich. Die dieser Dissertation zu Grunde liegenden Kategorien sind an Larrabee et al.[81] und Fattahi[42] orientiert, die die „aesthetic face units“ für chirurgisch-operative Ansätze am Patienten definieren. Die Ästhetischen Einheiten wurden für die Implementierung in die Software definiert, um in späteren Evaluationsbögen direkt über eine Funktion ausgewählt und berechnet werden zu können.

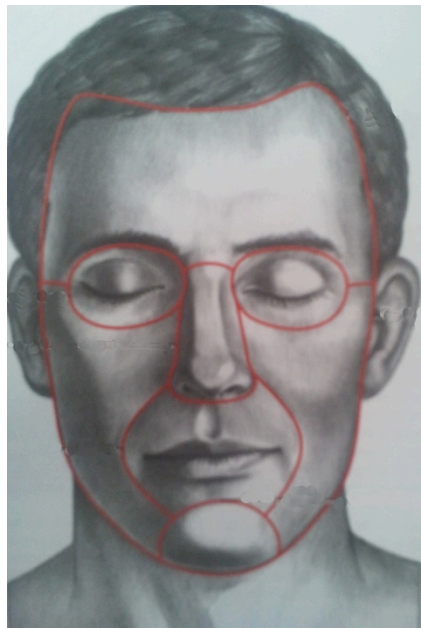


Abbildung 40: „Aesthetic Units of the face“,

Larrabee, Chapter 1, Soft Tissue Biomechanics and Physiology, S.9,

(mit freundlicher Genehmigung von Wolters Kluwer Rights and Permissions)

2.3.4.1 Die Stirnregion

Die Stirn wird durch den natürlichen Haaransatz, den Bogen des *os zygomaticum*, die unteren Grenzen der Augenbrauen und die Nasenwurzel definiert. Untergruppen sind als zentrale und laterale Sektion sowie Augenbraueneinheit beschrieben. Für die Messungen wurden Stirn- und Augenregion zusammengefasst.

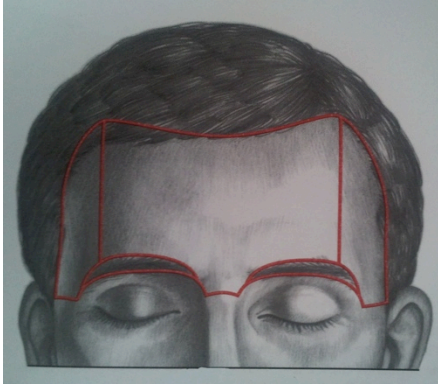


Abbildung 41: „Forehead subunits“, Larrabee, Chapter 3, Forehead, S.23

(mit freundlicher Genehmigung von Wolters Kluwer Rights and Permissions)

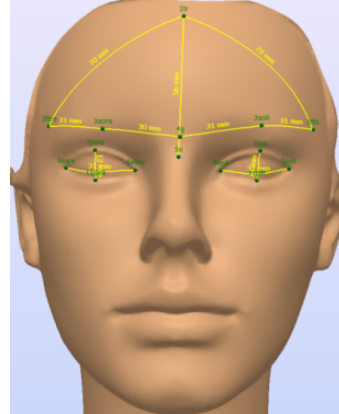


Abbildung 42: Stirn und Periocularregion

2.3.4.2 Die Periocularregion

Im Anschluss an die Stirn wird diese Region als periocular bezeichnet; sie umfasst das Gesicht ab der unteren Augenbrauengrenze, die laterale und die untere orbitale Kante sowie die Grube zwischen Nase und Jochbein. Bei detaillierten Beschreibungen kann eine obere und eine untere Lidregion von der medialen bzw. lateralen Kanthuseinheit unterschieden werden.

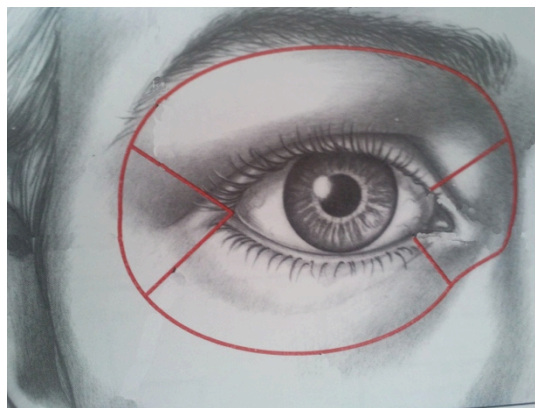


Abbildung 43: „Aesthetic subunits of the Periocular Region“, Larrabee, Chapter 4, Eye, S. 35

(mit freundlicher Genehmigung von Wolters Kluwer Rights and Permissions)

2.3.4.3 Die Perinasalregion

Die Unterteilung der Nase gliedert sich in neun Abschnitte: zwei Flanken (die sich an die mediale Kanthuseinheit des Auges anschließen), Nasenrücken (zwischen den Flanken liegend), zwei Flügel, die Nasenspitze, zwei Weichteildreiecke und die Columella (Nasensteg).

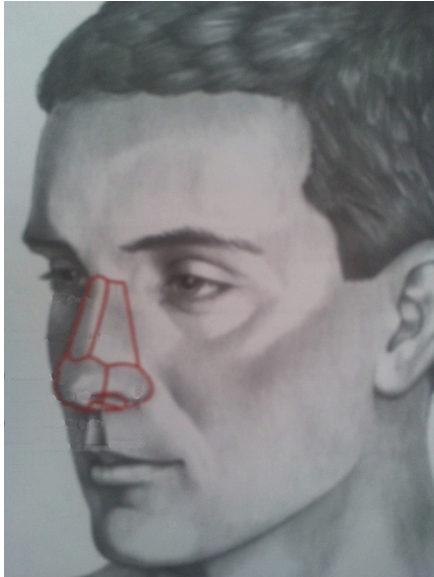


Abbildung 44: „Nasal Subunits“, Larrabee, Chapter 5, Nose, S.69

(mit freundlicher Genehmigung von Wolters Kluwer Rights and Permissions)

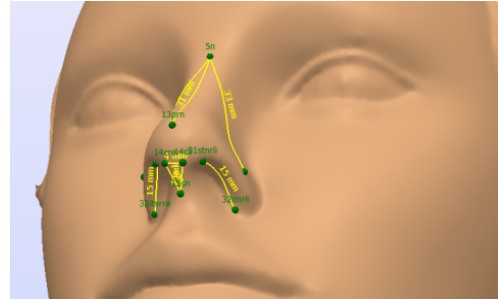
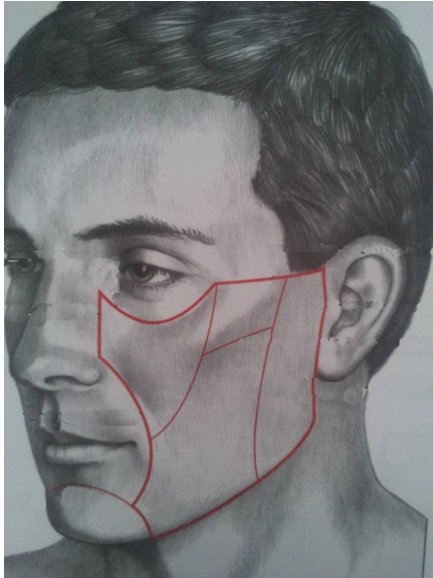


Abbildung 45: Perinasalregion

2.3.4.4 Die Wangenregion

Anatomische Leitlinien für die Wange sind die präaurikuläre Falte, die obere Erhebung des Wangenbeins sowie der Bogen des *os zygomaticum*. Des Weiteren wird als Begrenzung der untere Orbitalrand, der nasofaziale Übergang sowie der nasolabiale Winkel und letztlich der untere Rand der Mandibula erachtet. Spezifische anatomische Orientierungspunkte sind mit der Nomenklatur zygomaticum, medial, lateral und buccal versehen. Aus messtechnischen Gründen und Gründen der Vergleichbarkeit (rechts und links) wurden darüber hinaus als Bezugspunkte einheitsübergreifend Tragon, Orbitale, AlareCrest und Cheilion gesetzt.



**Abbildung 46: „Aesthetic Subunits, Cheek“,
Larrabee, Chapter 6, Cheek, S.121**

*(mit freundlicher Genehmigung von Wolters Kluwer
Rights and Permissions)*

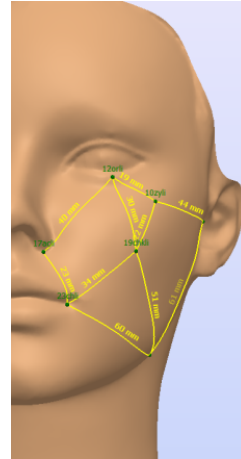


Abbildung 47: Wangenregion

2.3.4.5 Die Perioralregion

Diese Region - anatomisch gekennzeichnet durch Mund und Kinn - schließt den Gesichtsbereich innerhalb der nasolabialen und labiomentalen Falte ein. Hervorgehoben werden können hierbei noch die obere und untere Vermillionlinie, welche die Lippen unterteilen. Neben einer oberen und unteren Lippenregion, für welche wiederum eine mucosale und eine zentrale Untereinheit beschrieben sind, weist letztere noch den Bereich des Philtrums auf. Zum besseren rechts-links Vergleich der Kiefer-Symmetrie wurde der Landmark Gonion in die Definition mit eingeschlossen.

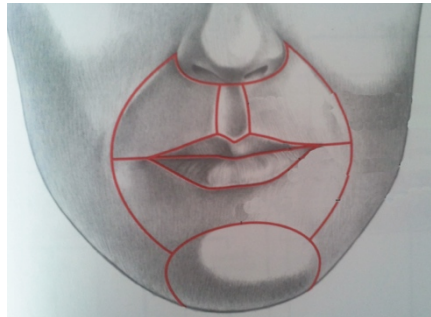


Abbildung 48: „Aesthetic Subunits of lip“, Larrabee, Chapter 8, Lips and Chin, S.171

(mit freundlicher Genehmigung von Wolters Kluwer Rights and Permissions)

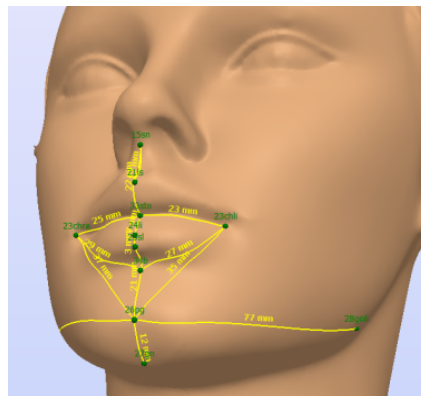


Abbildung 49: Perioralregion

2.3.4.6 Die Periauralregion

Die Periauralregion bezeichnet den zur präaurikularen Falte posterior gelegenen Gesichtabschnitt, das gesamte Ohr einschließend.



Abbildung 50: „Aesthetic units of the Ear“,
Larrabee, Chapter 7, Ear, S.151
*(mit freundlicher Genehmigung von Wolters
Kluwer Rights and Permissions)*

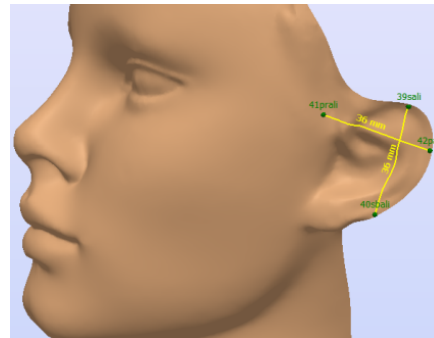


Abbildung 51: Periauralregion

2.3.5 Erstellung des Evaluationsbogens

2.3.5.1 Technische Aspekte

Der Evaluationsbogen soll derart angelegt sein, dass auf ihm die Gesichtsgeometrie zu standardisieren ist. Es ist des Weiteren vorgesehen, die Quantifizierung im klinischen Alltag einsetzbar und objektiv zu verwenden zu können sowie die relevanten Informationen und Daten in prägnanter Weise zusammenfassend darzustellen. Der Vorlagebogen wurde für das Puppenmodell, die Probanden und die Patienten in gleicher Form angelegt mit der Möglichkeit, einzelne Aspekte hervorzuheben oder zu modifizieren.

Es gilt, bis zu fünf Unterkategorien zu klassifizieren:

1. Allgemeine Angaben (Initialen bzw. Studien-/Patientennummer, Geschlecht, Alter)
2. Klinische Daten (Größe, Gewicht, BMI, Diagnose, Operation, Operationsdatum)
3. Fotoaufnahme (zweidimensional) und Scan (dreidimensional) präoperativ mit spezifischer Analyse, Fotoaufnahme (zweidimensional) und Scan (dreidimensional) postoperativ mit spezifischer Analyse, gegebenenfalls für mehrere postoperative Aufnahmen
4. Trendanalyse bei mehreren postoperativen Aufnahmen
5. Epikrise

2.3.5.2 Vorlage Evaluationsbogen

Evaluationsbogen Gesichtsgeometrie

1. Allgemeine Angaben

Initialen, Studien-/ Patientennummer	
Geschlecht	
Alter	

2. Klinische Daten

Größe	
Gewicht	
BMI (kg/m ²)	
Diagnose	
Operation	
Operationsdatum	
Selektierbare Ästhetische Einheiten	

3. Analyse

3.1 Präoperativ

3.1.1 Fotografie

<i>rechts laterale Ansicht</i>	<i>frontale Ansicht</i>	<i>links laterale Ansicht</i>

3.1.2 3D-Scan

<i>rechts laterale Ansicht</i>	<i>Frontale Ansicht</i>	<i>links laterale Ansicht</i>

3.1.3 Spezifische Analyse am 3D-Modell (Geomagic®)

<i>3D-Analyse in Geomagic®</i>

3D-Deviation	
<i>Max. Distance (mm):</i>	
positive	
negative	
<i>Average Distance (mm):</i>	
positive	
negative	
Standard Deviation (mm)	

3.1.4 Spezifische Analyse am 3D-Modell (Sinus® Software)

<i>3D-Analyse in der Sinus®</i>

3D-Deviation	
Diff. Min (mm)	
Diff. Mean (mm)	
Diff. Max. (mm)	

2D-Deviation		
Max +/- (mm)		
Durchschnitt +/-		
Standard Deviation (mm)		
	Diff. RMS (mm)	

3.1.5 Spezifische Analyse am 2D-Modell (Geomagic®)

<i>3D-Analyse in Geomagic®</i>

3.2 Postoperativ 3.1.1 -3.2.5 sind mit derselben Vorlage wie 3.1.1- 3.1.5 zu wiederholen; bei mehreren postoperativen Aufnahmen nach demselben Verfahren für jede Untersuchung

4. Trendanalyse

5. Epikrise

2.4 3D-Analyse am Beispiel des Puppenmodelles

Als Grundlage und zur Standardisierung der Evaluationsbögen wurden zunächst alle Messungen anhand des symmetrischen Puppenmodelles durchgeführt. Dies beinhaltet das manuelle Setzen der Landmarks in den zwei verschiedenen Computerprogrammen GeoMagic® und Sinus®, die Streckenberechnung inklusive Differenz der Rechts – Links – Symmetrie; Spiegelung des Modelles und die Exportierung der Daten für die einzelnen ästhetischen Einheiten. Für den Evaluationsbogen an sich wird der spezifische 2D- und 3D-Compare mit nachfolgender Trendanalyse durchgeführt; der Report an sich mittels Fotografien und snap shots des Modelles ausgestaltet.

2.4.1 Spiegelebene und Spiegelung

Für die 3D-Analyse muss eine Gesichtshälfte auf die andere gespiegelt werden. Die Spiegelebene, die dafür definiert werden muss, läuft durch die medianen Landmarks Trichion, Nasale, Pronasale, Labiale Superius et Inferius, Pogonion. Nach der Spiegelung ist somit eine rechts- auf links- beziehungsweise links- auf rechts-Übereinanderlagerung vollzogen worden.

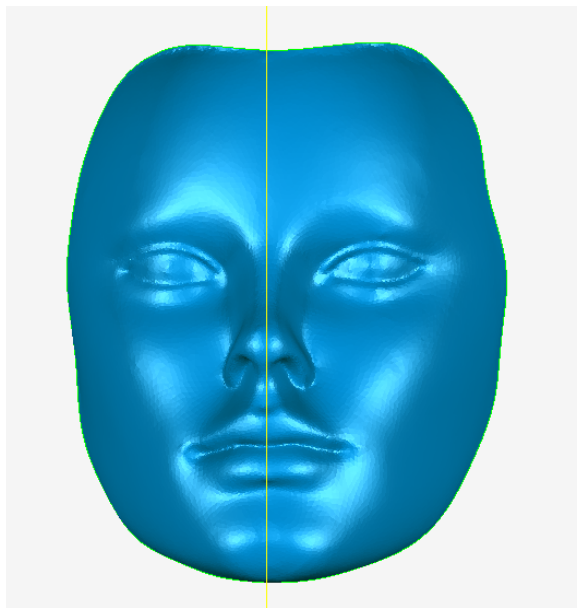


Abbildung 52: Spiegelebene durch die Medianebene am Beispiel des Sinus- Puppenmodelles

2.4.2 2D-Compare

Für die 2D-Analyse werden horizontale Schnittebenen benötigt. Um markante Gesichtsbereiche wie Augen-, Nasen- und Wangenbereich abzudecken, bieten sich Schnitte durch die beidseitigen Exocathion - Punkte im ersten Fall und für die zweite beschriebene Ebene durch Pronasale an. Für die Wange ist das Niveau durch Cheek links und rechts sinnvoll. Eine individuelle Festlegung der Schnittebene ober- oder unterhalb dieser definierten Vorschläge zur Darstellung der Abweichungen von der Kontur ist bei Patienten entsprechend der jeweiligen speziellen Fragestellung möglich und nötig.

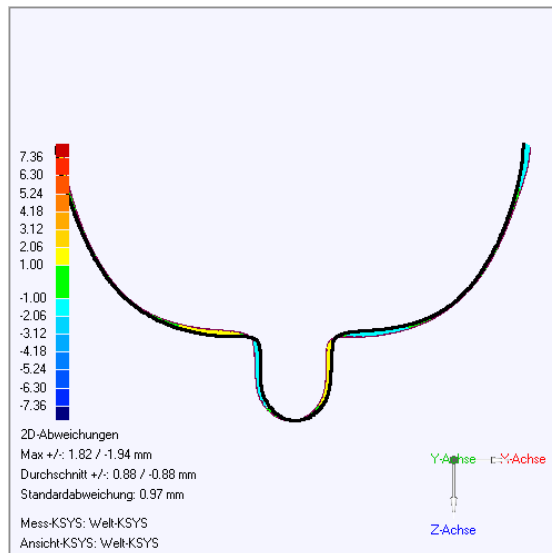


Abbildung 53: 2D-Compare am Puppenmodell, Geomagic®Studio11

2.4.3 3D-Compare

Der 3D-Compare ist eine Methode, durch farbliche Visualisierung eine Abweichung der Rechts-Links-Symmetrie darzustellen, wie Eder et al. 2011 [37](Objective breast symmetry evaluation using 3-D surface imaging, S. 153) bereits für die Brustquantifizierung beschrieb. Ähnlich wie Eder et al. es 2011 für die Brust beschrieben haben ("the breast-contour deviation between two 3-D models can be quantified using a colour-coded 3D-deviation map using specific software", in: Eder et al., 2011, [36]S.1154) ist diese Darstellung für das Gesicht möglich.

In einzelnen Schritten wird so präoperativ und für die jeweiligen postoperativen Zeitpunkte ein 3D-Compare erstellt. Durch Übereinanderlagerung der präoperativen und als Referenz der letzten postoperativen Aufnahme ist eine direkte prä-postop-Darstellung möglich.

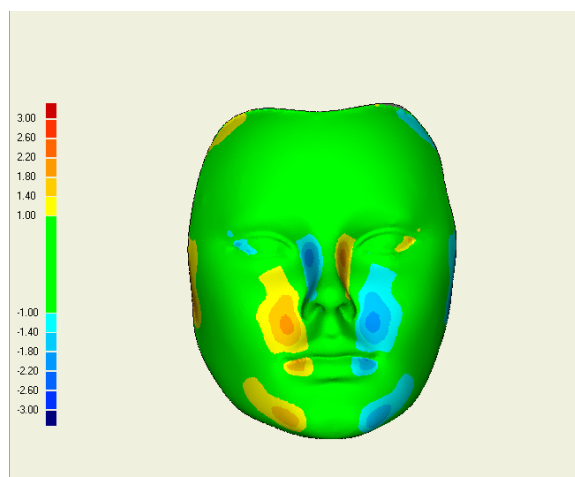


Abbildung 54: 3D-Compare am Puppenmodell, Geomagic®Studio11

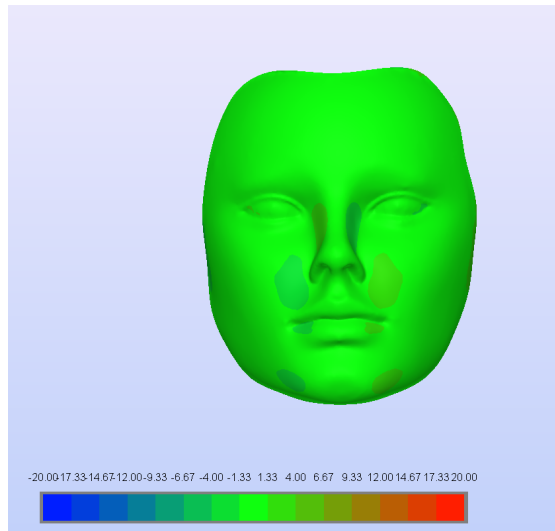


Abbildung 55: 3D-Compare am Puppenmodell, Sinus@Software

2.4.4 Trendanalyse

Die Beurteilung der Symmetrie eines Gesichtes kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Für die Trendanalyse sollen Abweichungen im zeitlichen Verlauf einer (operativen) Behandlung dargestellt und visualisiert werden. Eine einfache Methode für eine erste grobe objektive Einschätzung ist die Berechnung von Differenzen links zu rechts (ohne vorherige Spiegelung anhand definierter Strecken, Winkel, Flächen, Volumina) denkbar. Von Bedeutung für die symmetrischen Aspekte ist ein Rechts-Links-Vergleich, der erst durch Spiegelung in der Medianebene und Übereinanderlagerung der Gesichtshälften gewährleistet wird. Im fortschreitenden Behandlungsprozess können so Tendenzen der zu korrigierenden Weichteilveränderungen aufgezeigt werden. Die direkte Gegenüberstellung der Fotos, Scanaufnahmen und des 3D-Compare von prä- und postoperativen Zeitpunkten ermöglicht einen klaren Überblick.

2.5 Daten der Probandin

Nach dem in 2.4. beschriebenen Prinzip fand die Akquisition der Daten und das Procedere im messtechnischen Sinn auch im Falle der Probandin statt. Der *Deklaration von Helsinki* Folge leistend und verknüpft mit den Richtlinien der *Technischen Universität München*, gab die Probandin eine schriftliche Einverständniserklärung (siehe Anhang).

2.6 Daten der Patienten

Einschlusskriterium war eine für die Plastische Chirurgie relevante Fragestellung beziehungsweise Diagnose. Die Messungen wurden an freiwilligen Erwachsenen unter ärztlicher Aufsicht durchgeführt. Schriftliche Einverständniserklärungen, der *Deklaration von Helsinki* und Richtlinien der *Technischen Universität München* folgend, für die Durchführung der Aufnahmen und die Verwendung der Daten liegen vor (siehe Anhang).

Tabelle 8 Übersicht über die Patientinnen

Initialen	Geschlecht	Alter	Diagnose	Operation	Aufnahmen
SF	weiblich	41 Jahre	Cutis laxa faciei	endoskopisches Midfacelifting	präoperativ- postoperativ Trendanalyse
VR	weiblich	65 Jahre (OP 1 und 2), 67Jahre (OP3)	posttraumatische Gesichtsasymmetrie	OP1 : Lipofilling rechte Wange OP2: Lipofilling rechte Gesichtshälfte (3 Monate nach OP1) OP3: Liposuction Kinn links/ Lipofilling Kinn rechts (8cc)/Wange rechts (16cc)/ Orbitaaberrand medial rechts (6cc) (15 Monate nach OP1)	präoperativ- postoperativ I postoperativ II postoperativ III postoperativ IV postoperativ V Trendanalyse
LX	weiblich	14 Jahre	III- IV. gradige Verbrennungen im Gesichtsbereich mit knöcherner Beteiligung, Verlust des Auges/Nase, offener Sinus frontalis/maxillaris	plastische Rekonstruktion Gesicht+Nase bei Z.n. Latissimuslappen (China), Narbengewebsplastik - Präformierung einer Nase im Bereich eines VRAM-Lappens (vertikaler abdominaler myokutaner Rectus abdominis Lappen) Narbengewebsplastik mit VRAM	präoperativ- postoperativ I- III Trendanalyse

3. Ergebnisse

Im Folgenden werden für fünf verschiedene vollständige Evaluationsbögen präsentiert.

3.1 Evaluationsbogen Puppenmodell

Evaluationsbogen Gesichtsgeometrie Puppe

1. Allgemeine Angaben

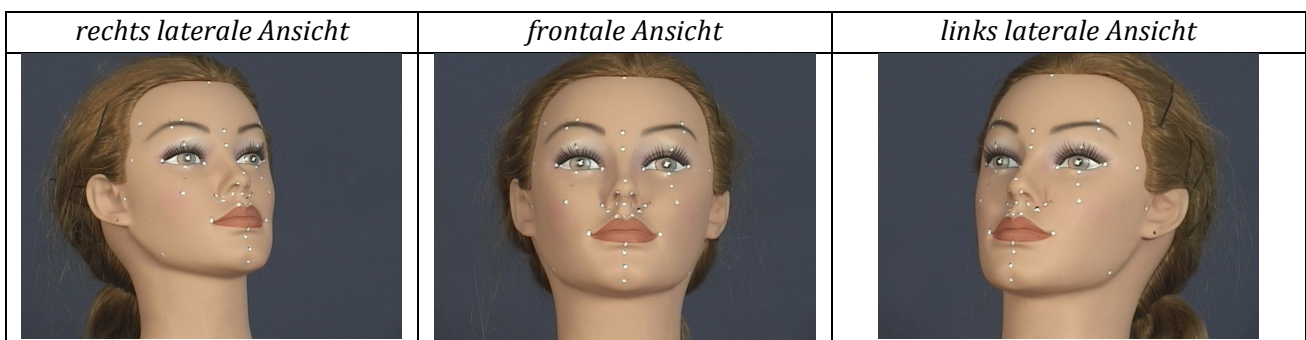
Initialen, Studien- /Patientennummer	Puppenmodell
Geschlecht	ohne Angaben
Alter	ohne Angaben

2. Klinische Daten

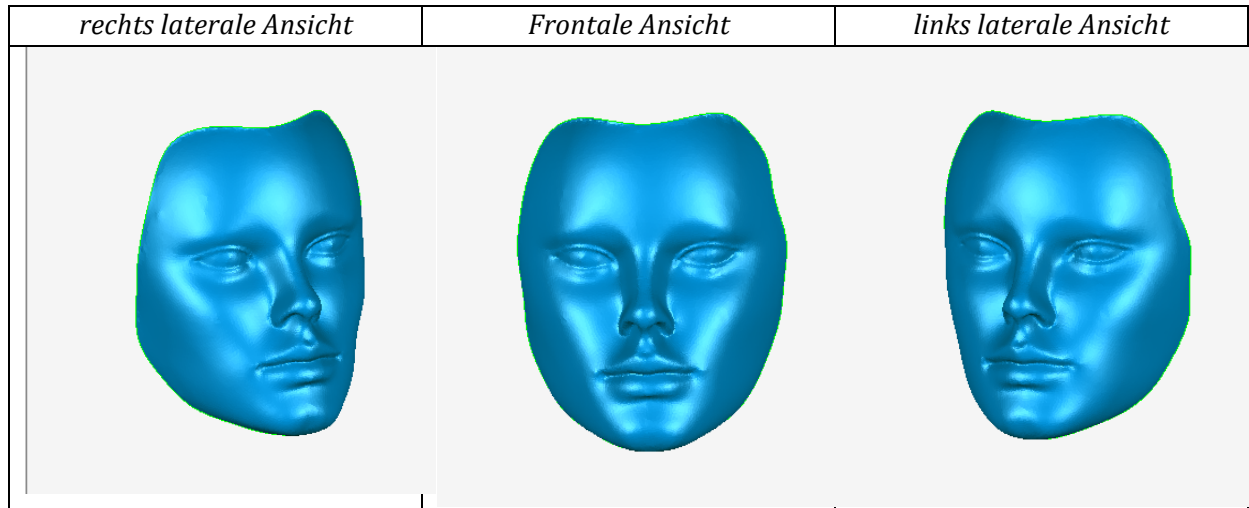
Größe	ohne Angaben
Gewicht	ohne Angaben
BMI (kg/m ²)	ohne Angaben
Diagnose	zur Überprüfung eines idealsymmetrischen Modelles
Operation	ohne Angaben
Operationsdatum	ohne Angaben

3. Analyse

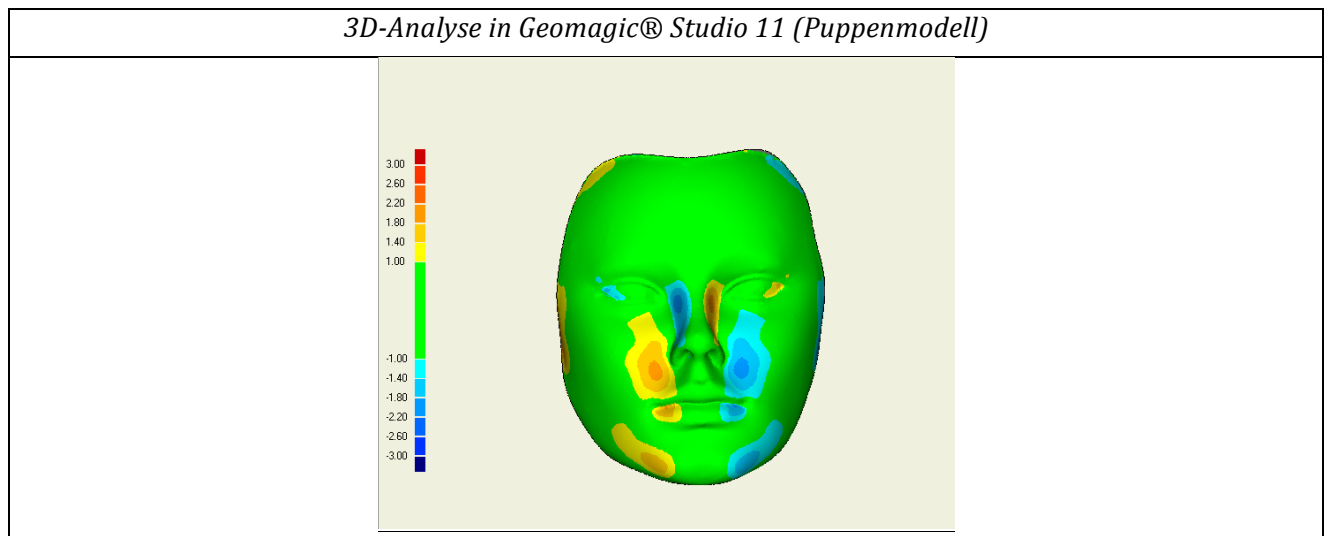
3.1 Fotografie präoperativ



3.2 3D-Scan

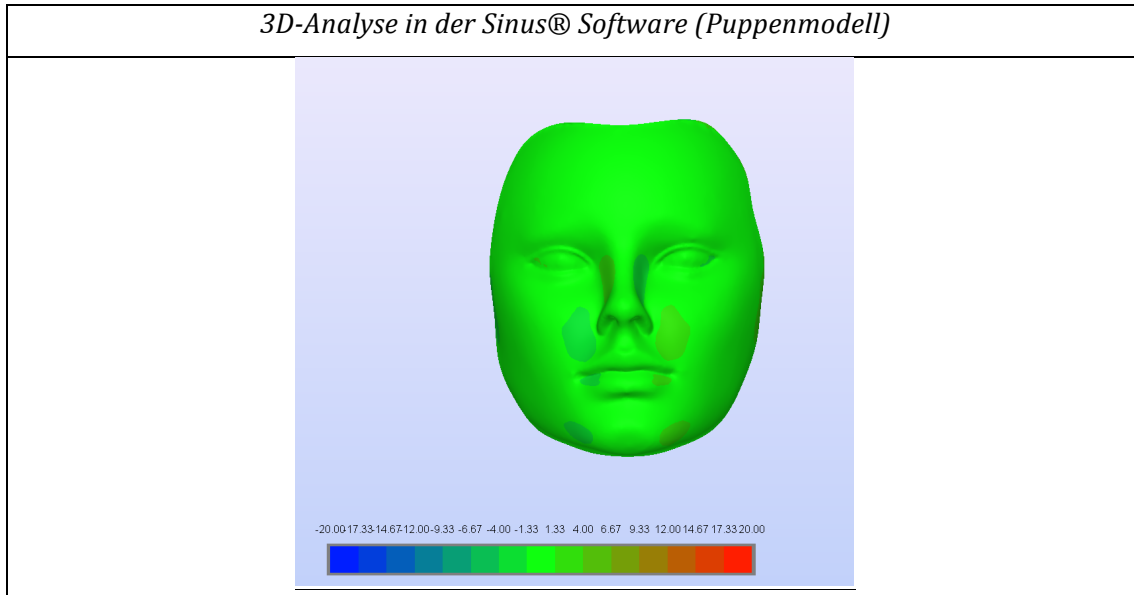


3.3 Spezifische Analyse am 3D-Modell (Geomagic®)



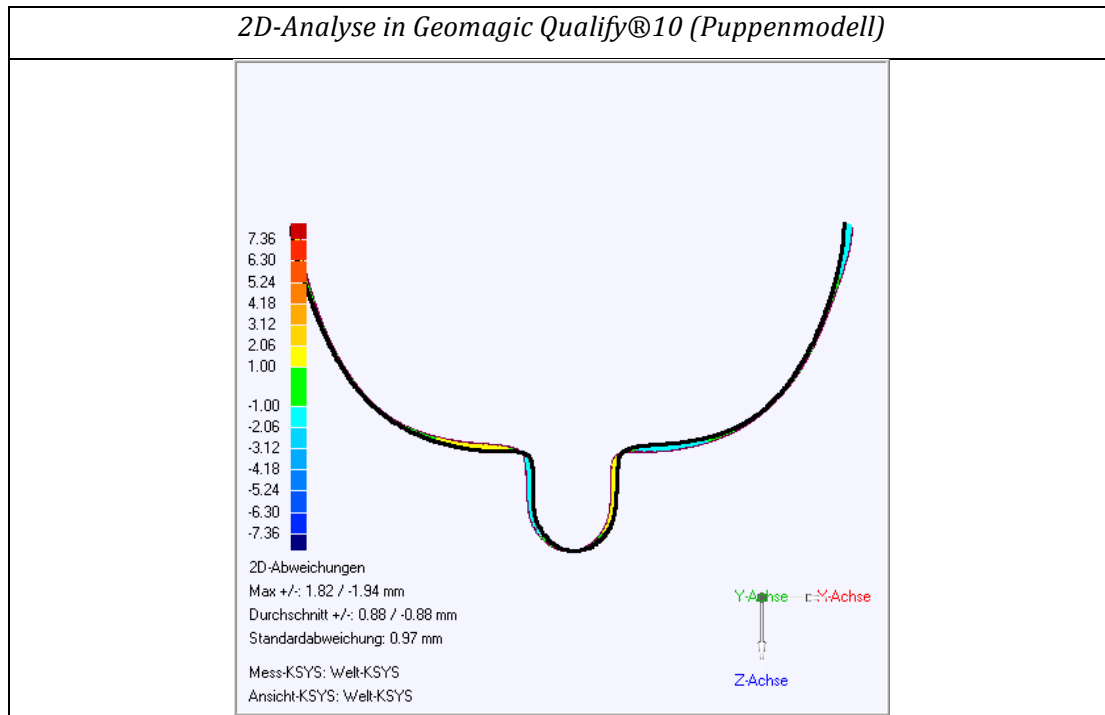
<i>3D-Deviation</i>	
<i>Max. Distance (mm):</i>	
positive	2.57
negative	-2.2
<i>Average Distance (mm):</i>	
positive	0.62
negative	-0.61
<i>Standard Deviation (mm)</i>	0.76

3.4 Spezifische Analyse am 3D-Modell (Sinus® Software)



3D-Deviation	
Diff. Min (mm)	-2.04
Diff. Mean (mm)	0.01
Diff. Max. (mm)	2.58
Diff. RMS (mm)	0.76

3.5 Spezifische Analyse am 2D-Modell (Geomagic®)



2D-Deviation		
Max +/- (mm)	1.82	-1.94
Durchschnitt +/-	0.88	-0.88
Standard Deviation (mm)	0.97	

4. Epikrise

Das Puppenmodell wurde als idealsymmetrisches Beispiel vermessen.

Die nahezu vollständige Symmetrie lässt sich erwartungsgemäß in der 3D-Analyse sowohl quantitativ (RMS in der Sinus® Software sowie Standardabweichung 0,76 mm in der Geomagic® Software 0,76 mm) erfassen als auch visualisieren.

Die zweidimensionale Analyse wurde auf Niveau der Nasenspitze nach der Spiegelung Rechts- auf- Links und Links- auf- Rechts durchgeführt. Dadurch werden Nasen- und Wangenpartie in die Symmetriepfung miteinbezogen. Neben einer Standardabweichung < 1mm lässt die Colorierung sofort Rückschluss auf die Spiegelbildlichkeit der Puppe zu.

Minimalste Abweichungen und eine Standardabweichung beziehungsweise ein RMS ungleich Null lassen sich durch Produktionsungenauigkeit und Fertigungsfehler erklären.

3.2 Evaluationsbogen Probandin

Evaluationsbogen Gesichtsgeometrie D0.

1. Allgemeine Angaben

Initialen, Studien-/Patientennummer	D.O.
Geschlecht	weiblich
Alter	28 Jahre

2. Klinische Daten

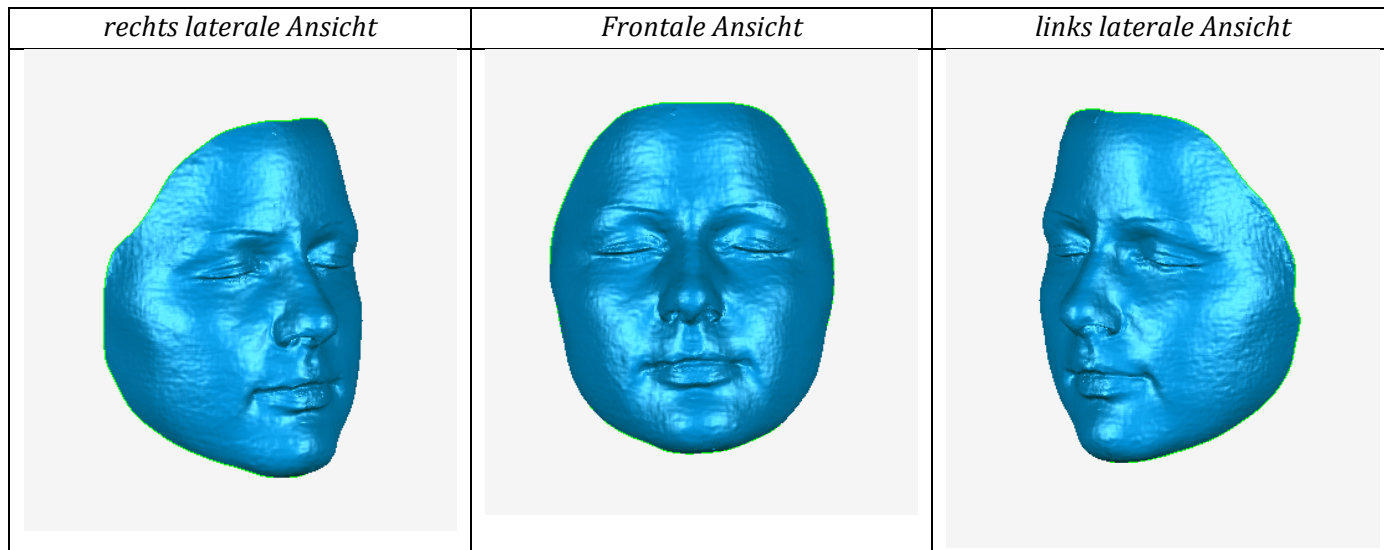
Größe	178 cm
Gewicht	72kg
BMI (kg/m ²)	22,7 kg/m ²
Diagnose	normalsymmetrische Probandin
Operation	-
Operationsdatum	-

3. Analyse

3.1 Fotografie präoperativ

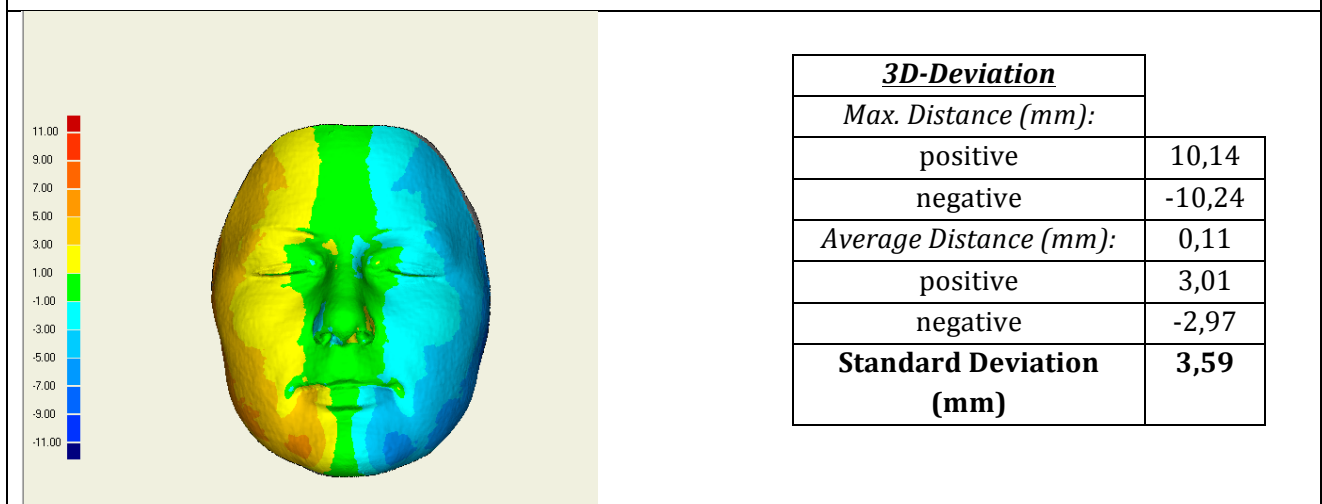


3.2 3D-Scan



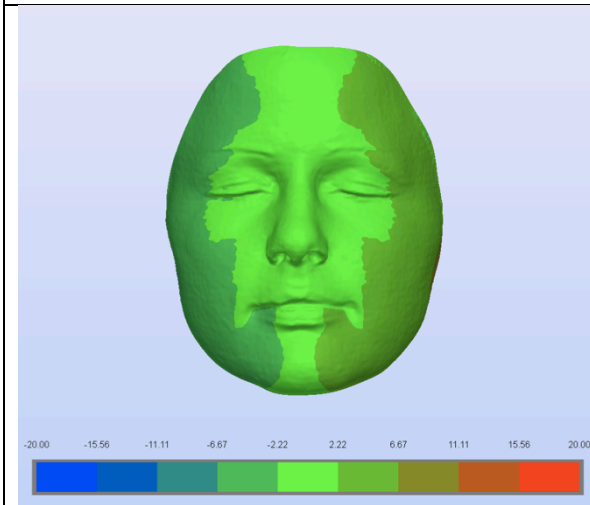
3.3 Spezifische Analyse am 3D-Modell (Geomagic®)

3D-Analyse in Geomagic® Studio 11 (Puppenmodell)



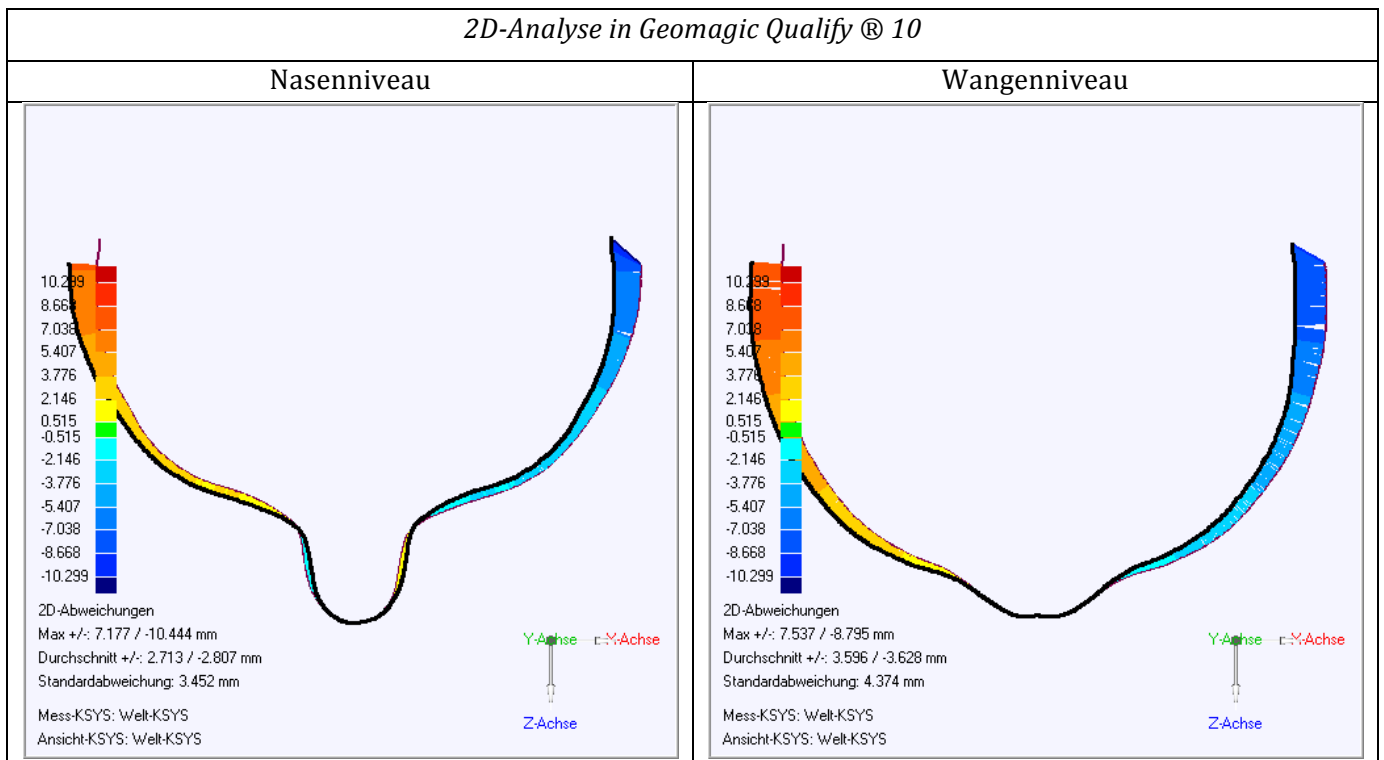
3.4 Spezifische Analyse am 3D-Modell (Sinus® Software)

3D-Analyse in der Sinus® Software (Puppenmodell)



3D-Deviation	
Diff. Min (mm)	-10,30
Diff. Mean (mm)	0,12
Diff. Max. (mm)	10,21
Diff. RMS (mm)	3,59

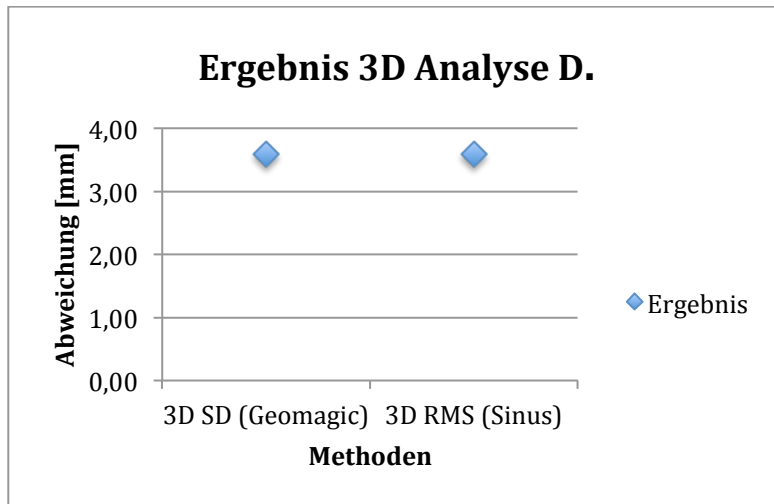
3.5 Spezifische Analyse am 2D-Modell (Geomagic®)



2D-Deviation		
Max +/- (mm)	7,18/-10,44	7,54/-8,80
Durchschnitt +/-	2,71/-2,81	3,60/-3,63
Standard Deviation (mm)	3,45	4,37

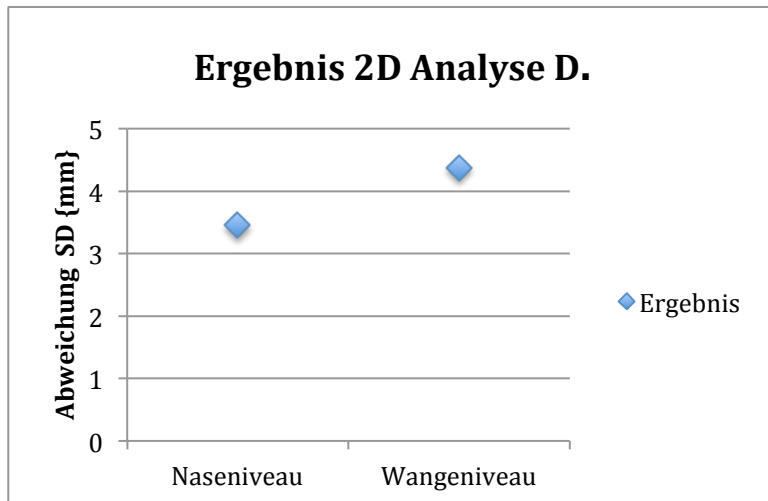
4. Analyse

4.1 Analyse 3D



3D SD (Geomagic)	3D RMS (Sinus)
3,59	3,59

4.2 Analyse 2D



Nasenniveau (SD)	Wangenniveau (SD)
3,45	4,37

5. Epikrise

Die Probandin wurde mit den verschiedenen Methoden vermessen und ein Evaluationsbogen erstellt, um die Anwendbarkeit zu überprüfen sowie die individuelle Gestaltungsmöglichkeit zu testen.

3.3 Evaluationsbogen Patientin S.F.

Evaluationsbogen Gesichtsgeometrie S.F.

1. Allgemeine Angaben

Initialen, Studien- /Patientennummer	S.F.
Geschlecht	weiblich
Alter (Jahren)	41

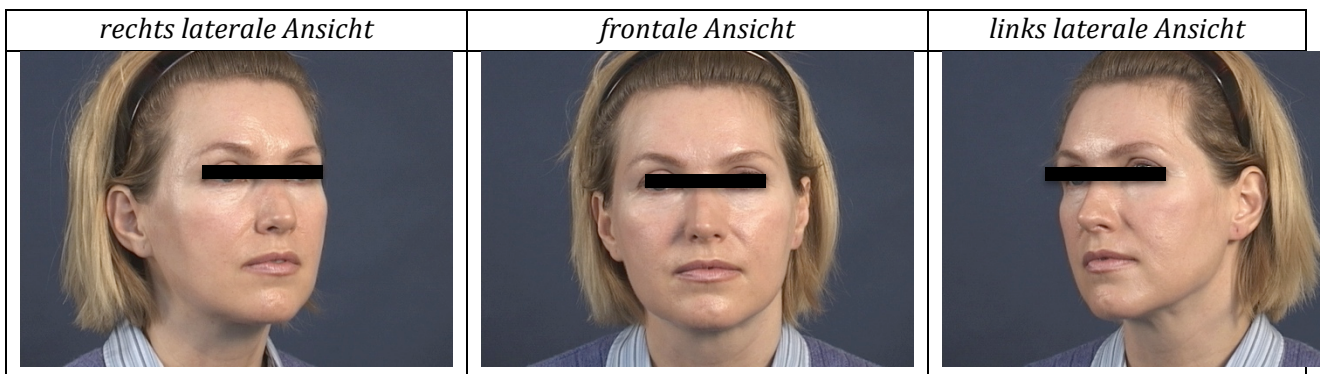
2. Klinische Daten

Größe	ohne Angaben
Gewicht	ohne Angaben
BMI (kg/m ²)	ohne Angaben
Diagnose	Cutis laxa faciei
Operation	endoskopisches Midface-Lifting
Operationsdatum	01/03
Operationverfahren	über zwei temporale und zwei bukkale Zugänge endoskopisch assistierte Präparation durch die temporoparietale Faszie – Präparation subperiostal entlang os zygomaticum Richtung Maxilla – Separation von Weichteilen und knöchernen Strukturen des Mittelgesichts – Remodellierung des Mittelgesichtes mit Suspensionsnähten
Selektierbare Ästhetische Einheiten	Periocularregion, Perinasalregion, Wangenregion, Perioralregion

3. Analyse

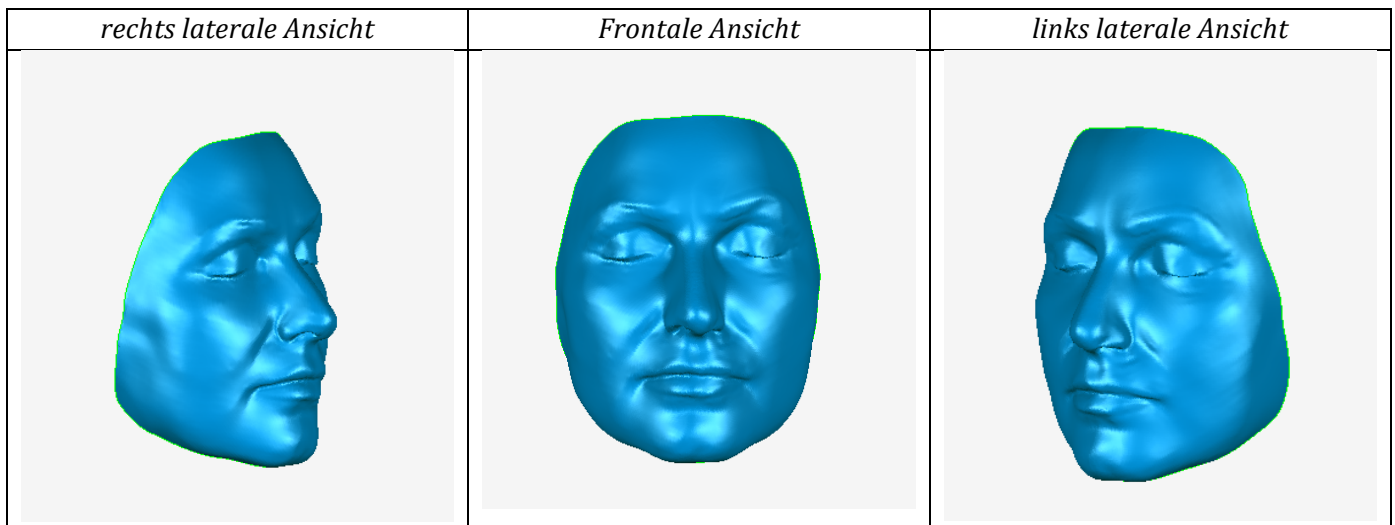
3.1 Präoperativ

3.1.1 Fotografie präoperativ

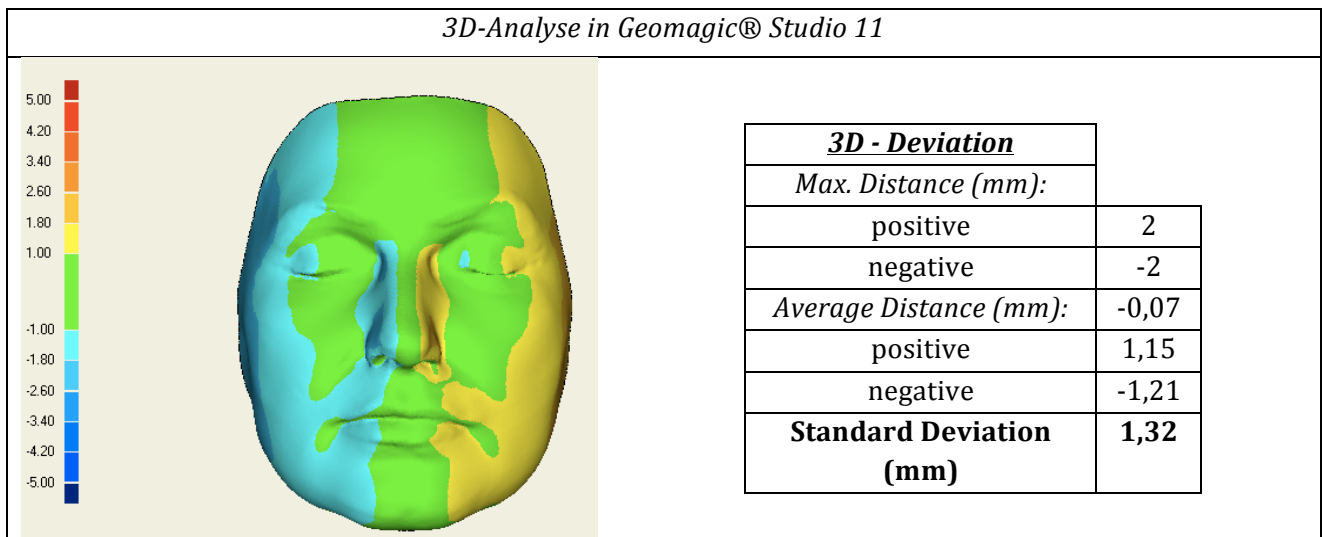


(Aus Gründen des Datenschutzes wurde für die Veröffentlichung eine Anonymisierung durchgeführt.)

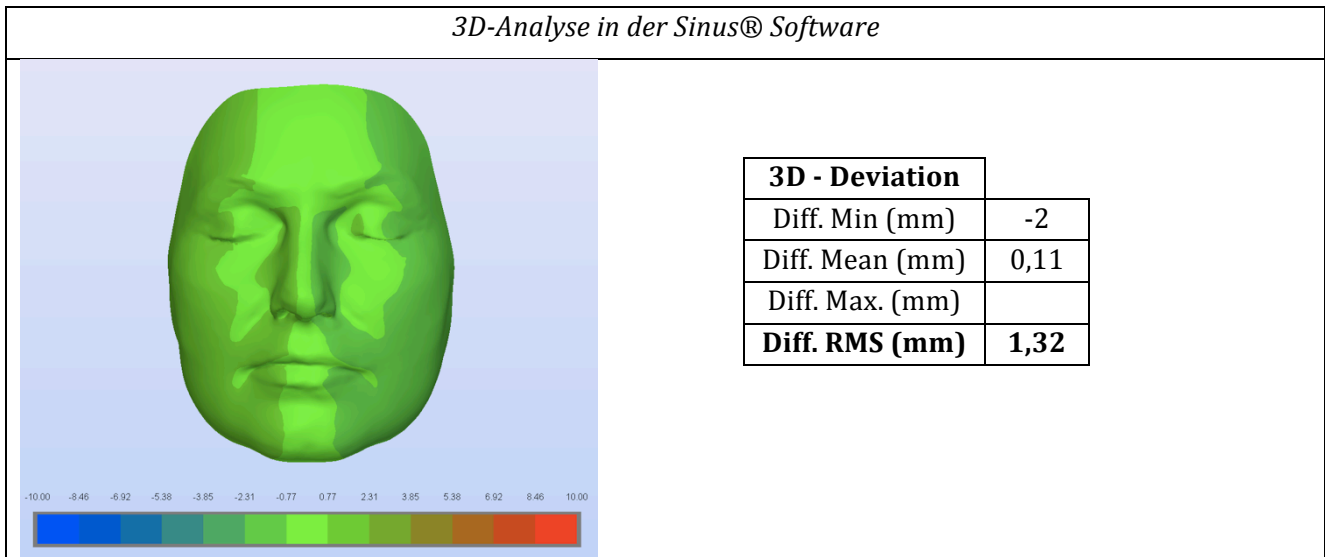
3.1.2 3D-Scan



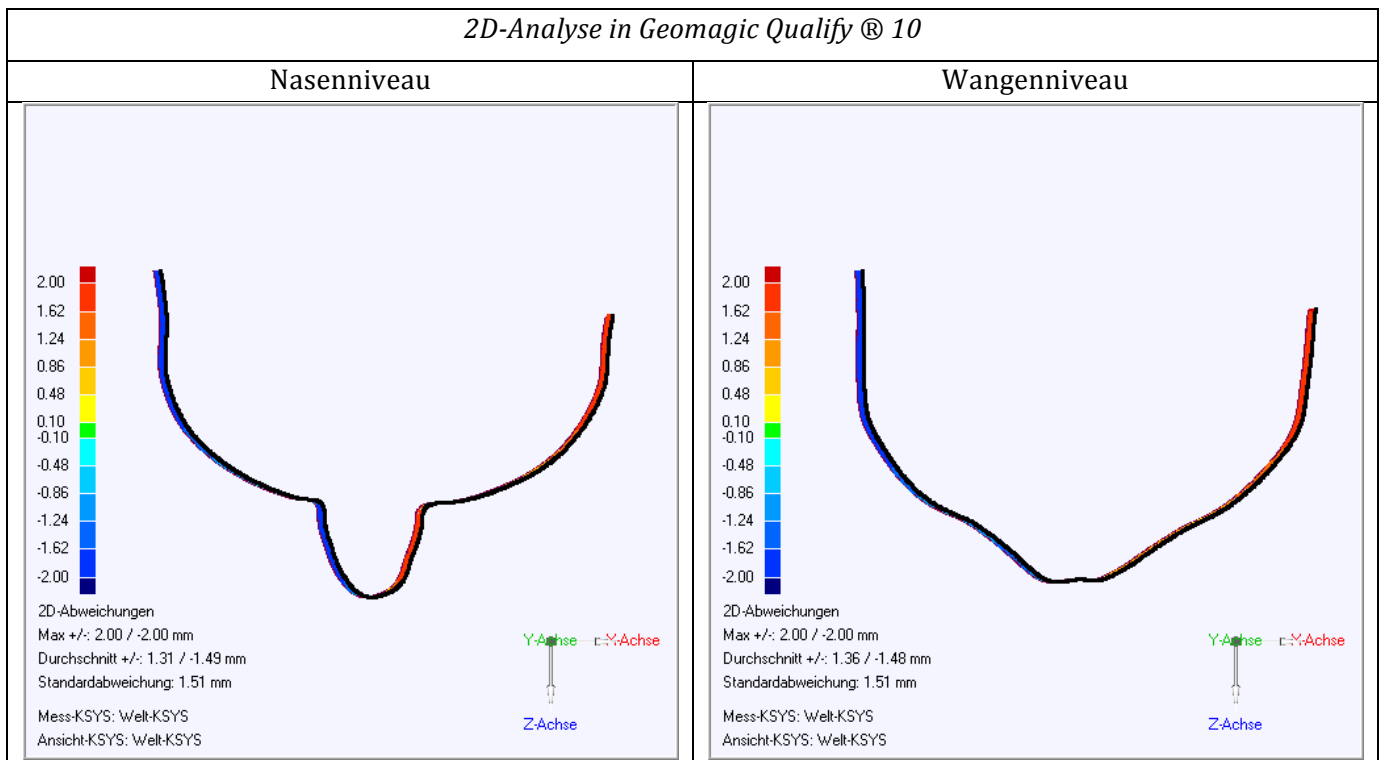
3.1.3 Spezifische Analyse am 3D-Modell (Geomagic®)



3.1.4 Spezifische Analyse am 3D-Modell (Sinus® Software)



3.1.5 Spezifische Analyse am 2D-Modell (Geomagic®)



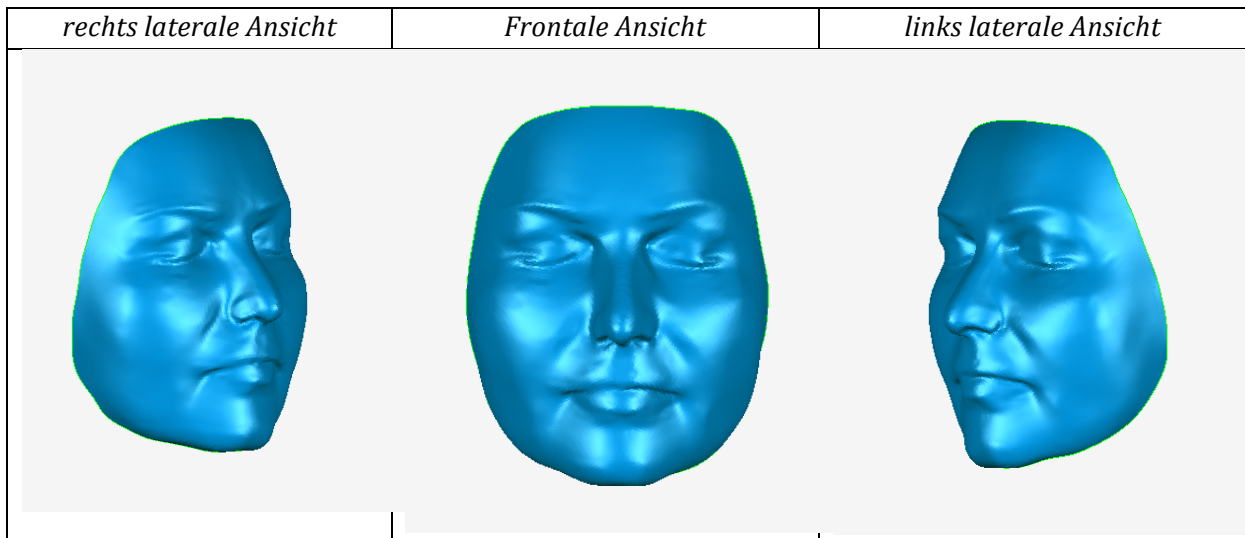
2D-Deviation	Nasenniveau	Wangenniveau
Max +/- (mm)	2/-2	2/-2
Durchschnitt +/-	1,31/-1,49	1,36/-1,48
Standard Deviation (mm)	1,51	1,51

3.2. Postoperativ

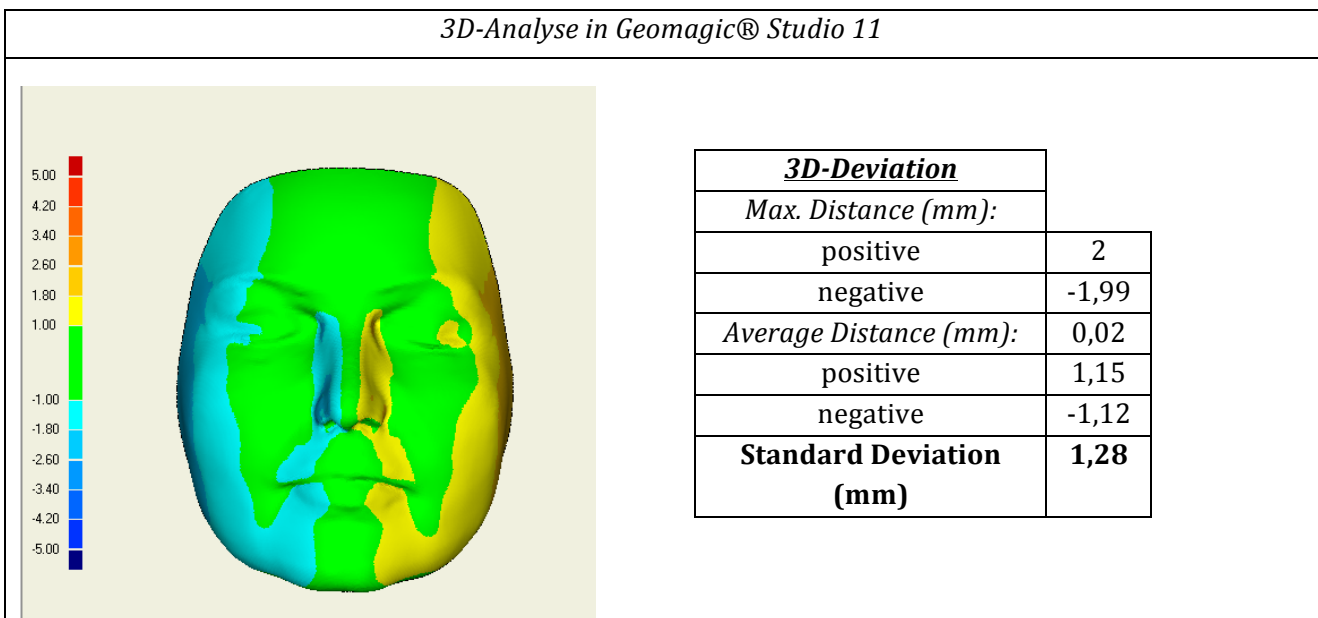
3.2.1 Fotografie postoperativ

<i>rechts laterale Ansicht</i>	<i>frontale Ansicht</i>	<i>links laterale Ansicht</i>
ohne Angabe	ohne Angabe	ohne Angabe

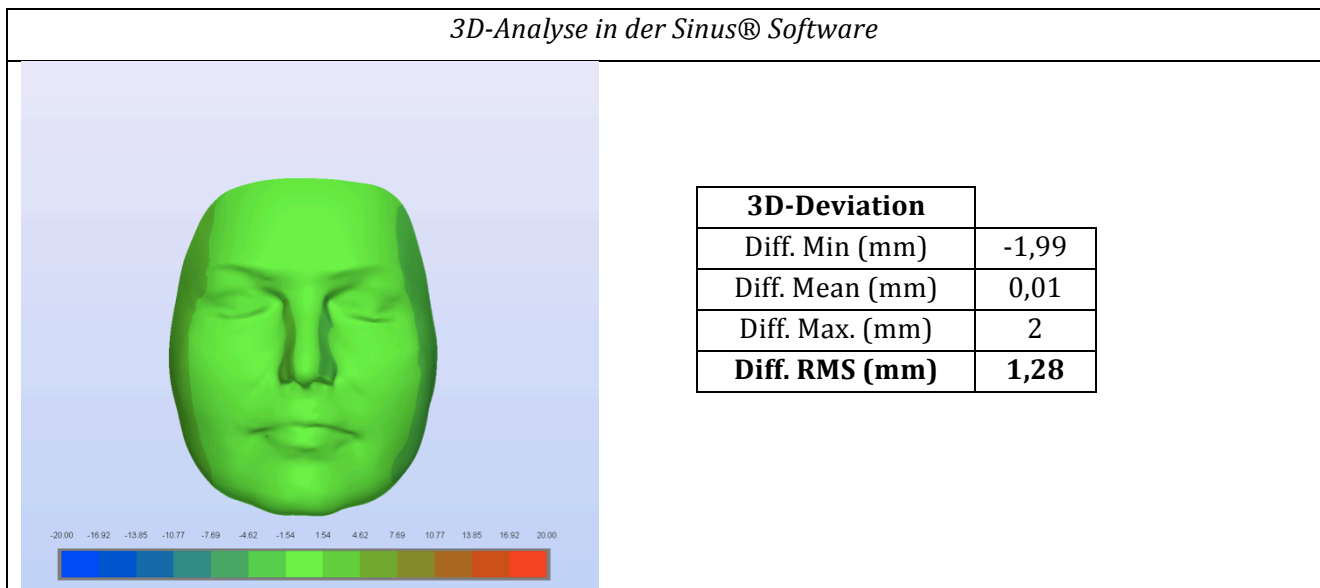
3.2.2 3D-Scan



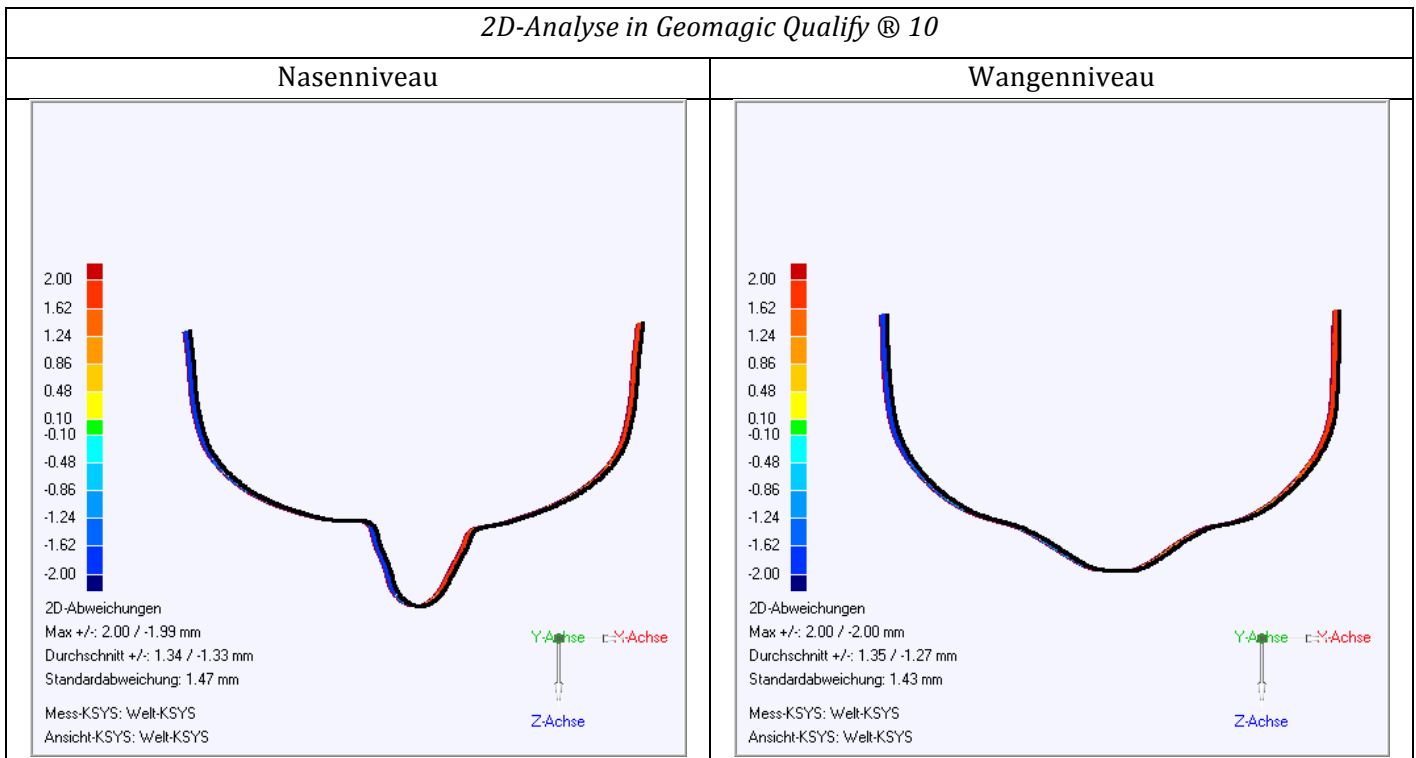
3.2.3 Spezifische Analyse am 3D-Modell (Geomagic®)



3.2.4 Spezifische Analyse am 3D-Modell (Sinus® Software)



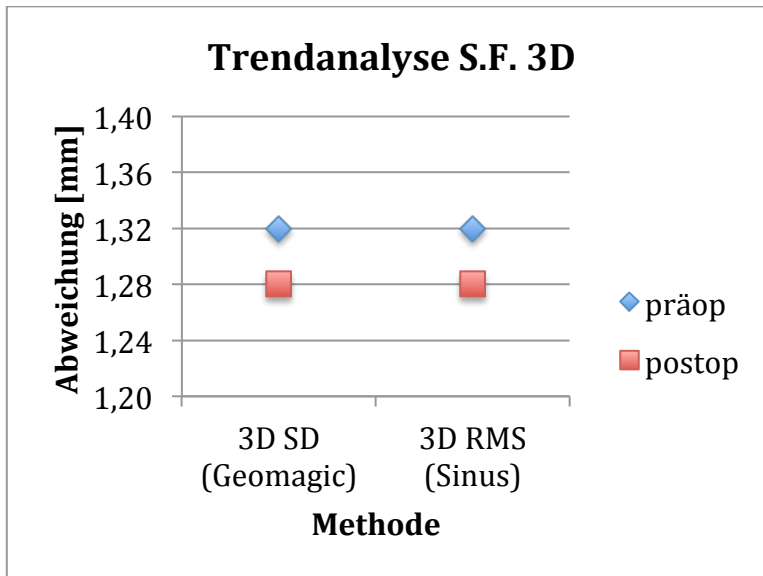
3.2.5 Spezifische Analyse am 2D-Modell (Geomagic®)



2D-Deviation	Nasenniveau	Wangenniveau
Max +/- (mm)	2/-1,99	2/-2
Durchschnitt +/-	1,34/-1,33	1,35/-1,27
Standard Deviation (mm)	1,47	1,43

4. Trendanalyse präoperativ-postoperativ

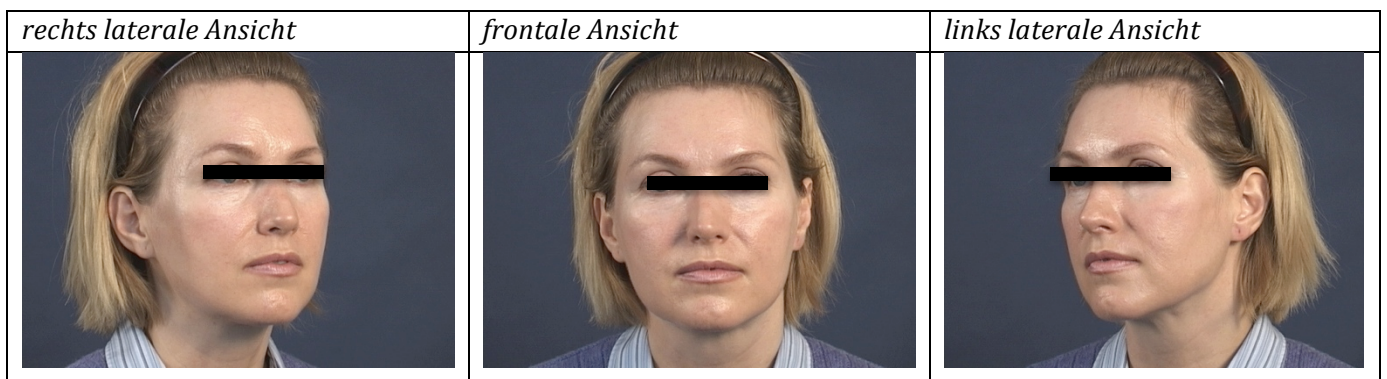
4.1 Trendanalyse 3D



	3D SD (Geomagic)	3D RMS (Sinus)
präop	1,32	1,32
postop	1,28	1,28

Fotografie und Computermodelle präop-postop

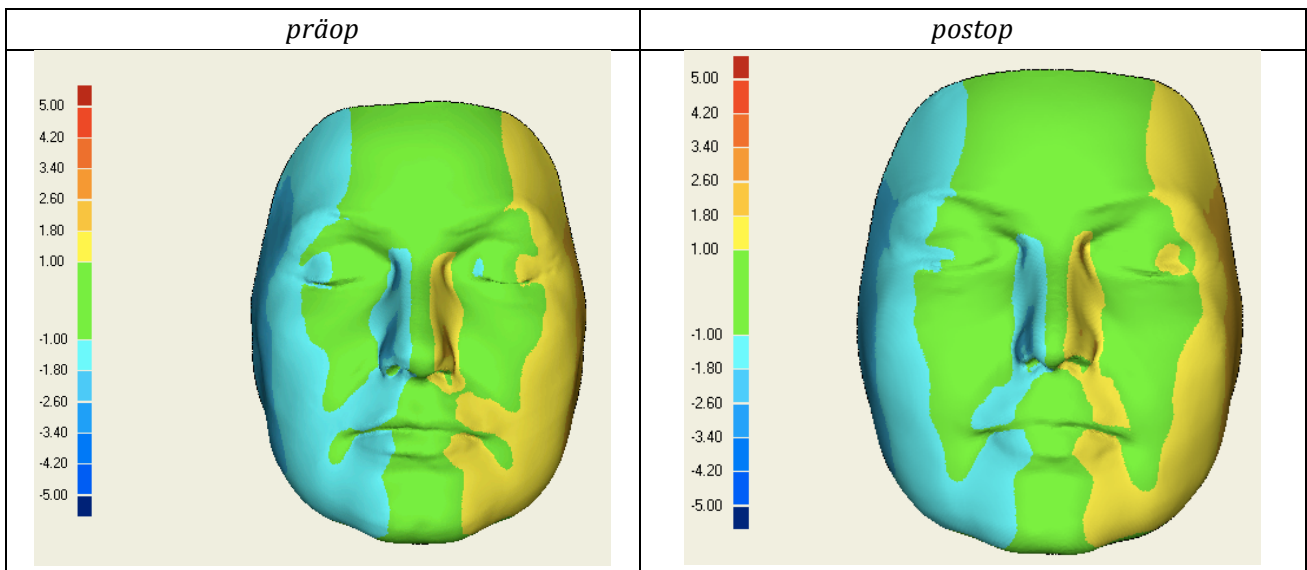
präoperativ



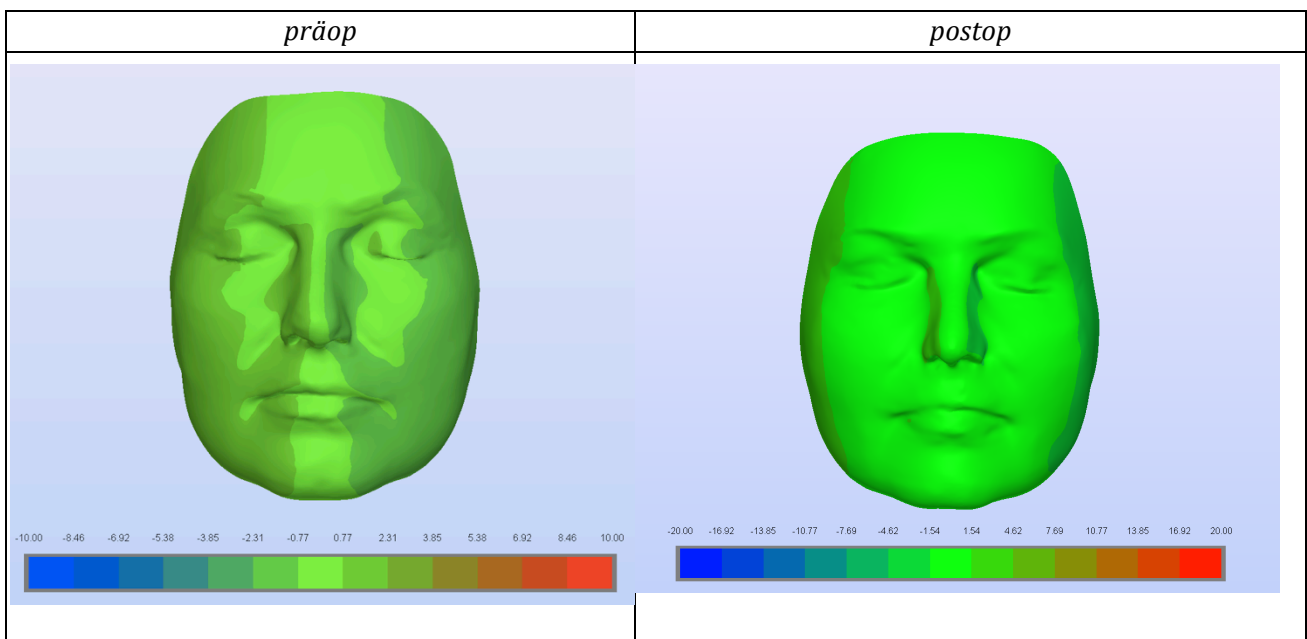
postoperativ

<i>rechts laterale Ansicht</i>	<i>frontale Ansicht</i>	<i>links laterale Ansicht</i>
ohne Angabe	ohne Angabe	ohne Angabe

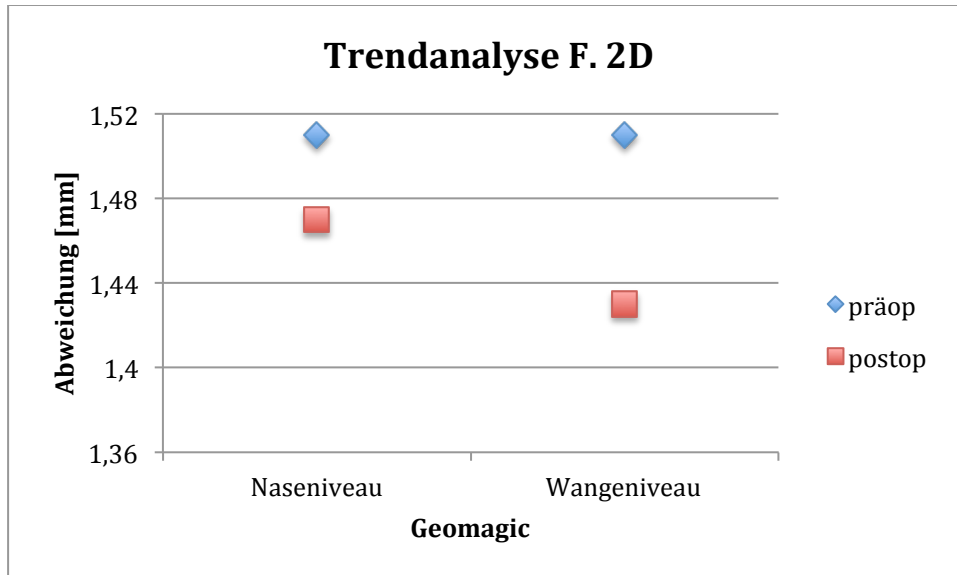
3D- Analyse in Geomagic® Studio 11



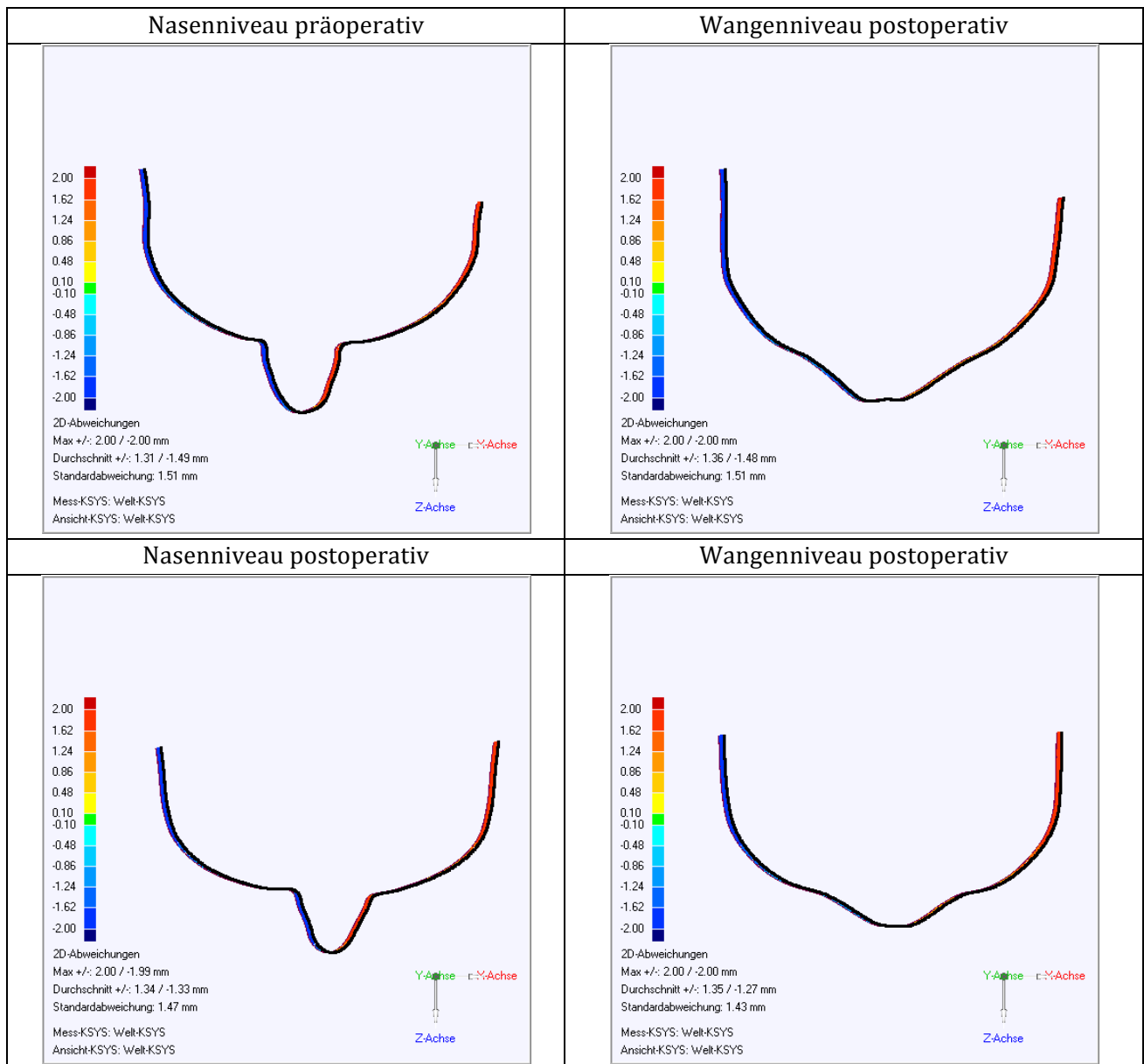
3D- Analyse Sinus Software



5.3 Trendanalyse 2D



	Naseniveau	Wangeniveau
präop	1,51	1,51
postop	1,47	1,43



6. Epikrise

Die Patientin bekam auf Grund einer cutis laxa faciei, Faltenhaut im Gesichtsbereich, ein Mittelgesichtslifting.

Im Trend sinken sowohl Standardabweichung als auch Root mean square; dies ist zahlenmäßig erfassbar und visuell darstellbar .

3.4 Evaluationsbogen Patientin V.R.

Evaluationsbogen Gesichtsgeometrie V.R.

1. Allgemeine Angaben

Initialen, Studien- /Patientennummer	V.R.
Geschlecht	weiblich
Alter (Jahren)	65 Jahre (OP 1 und 2) bzw. 67Jahre (OP3)

2. Klinische Daten

Größe	ohne Angaben, stark variierend
Gewicht	ohne Angaben, stark variierend
BMI (kg/m ²)	ohne Angaben, stark variierend
Diagnose	posttraumatische Gesichtsasymmetrie
Operation	OP1 : Lipofilling rechte Wange OP2: Lipofilling rechte Gesichtshälfte (3 Monate nach OP1) OP3: Liposuction Kinn links/ Lipofilling Kinn rechts (8cc)/Wange rechts (16cc)/ Orbitaoberrand medial rechts (6cc) (15 Monate nach OP1)
Operationsdatum	10/2003-01/2005
Operationverfahren	
Selektierbare Ästhetische Einheiten	Stirnregion, Periocularregion, Perinasalregion, Wangenregion, Perioralregion

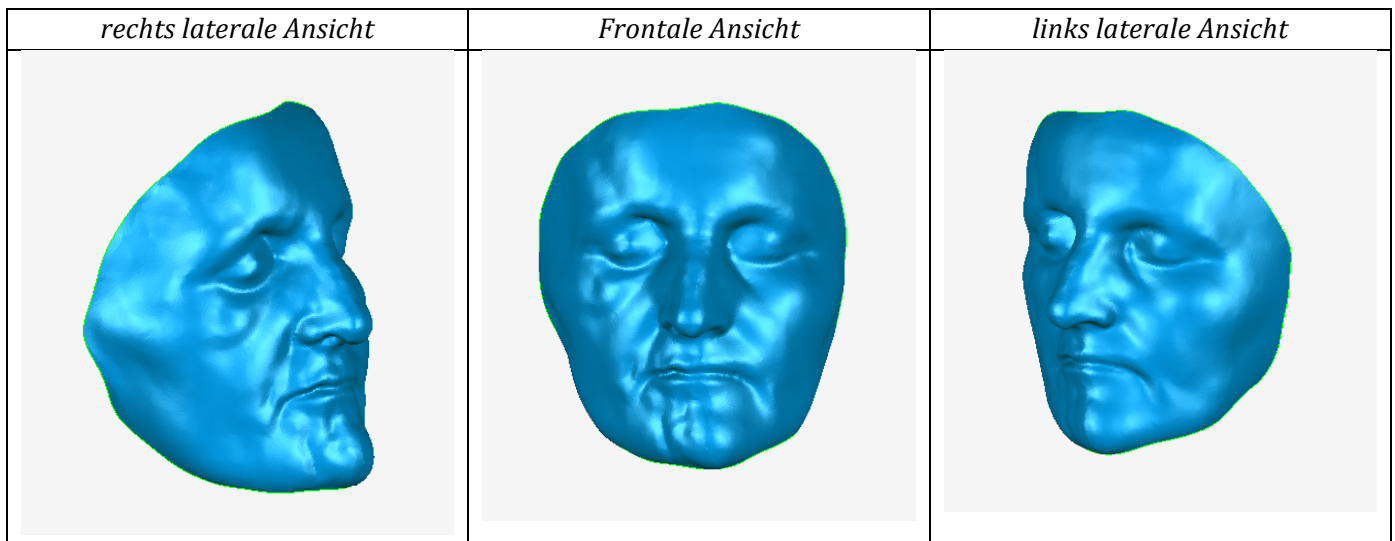
3. Analyse

3.1 Präoperativ

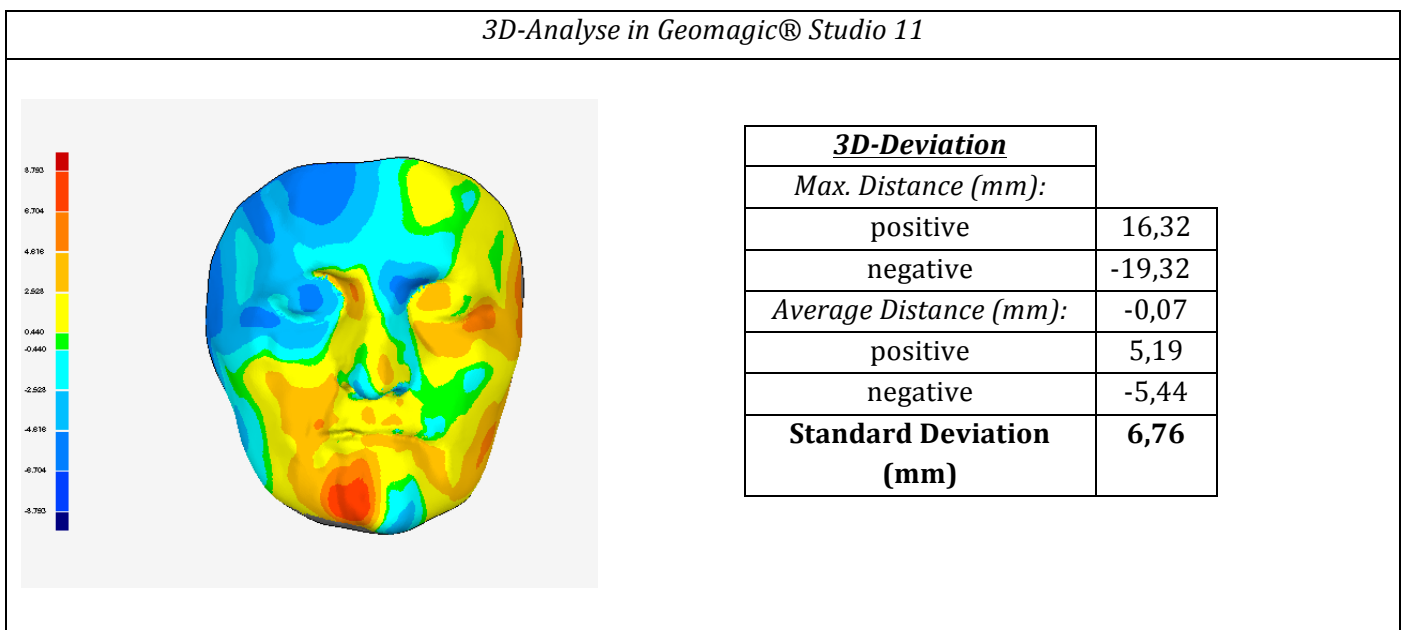
3.1.1 Fotografie präoperativ



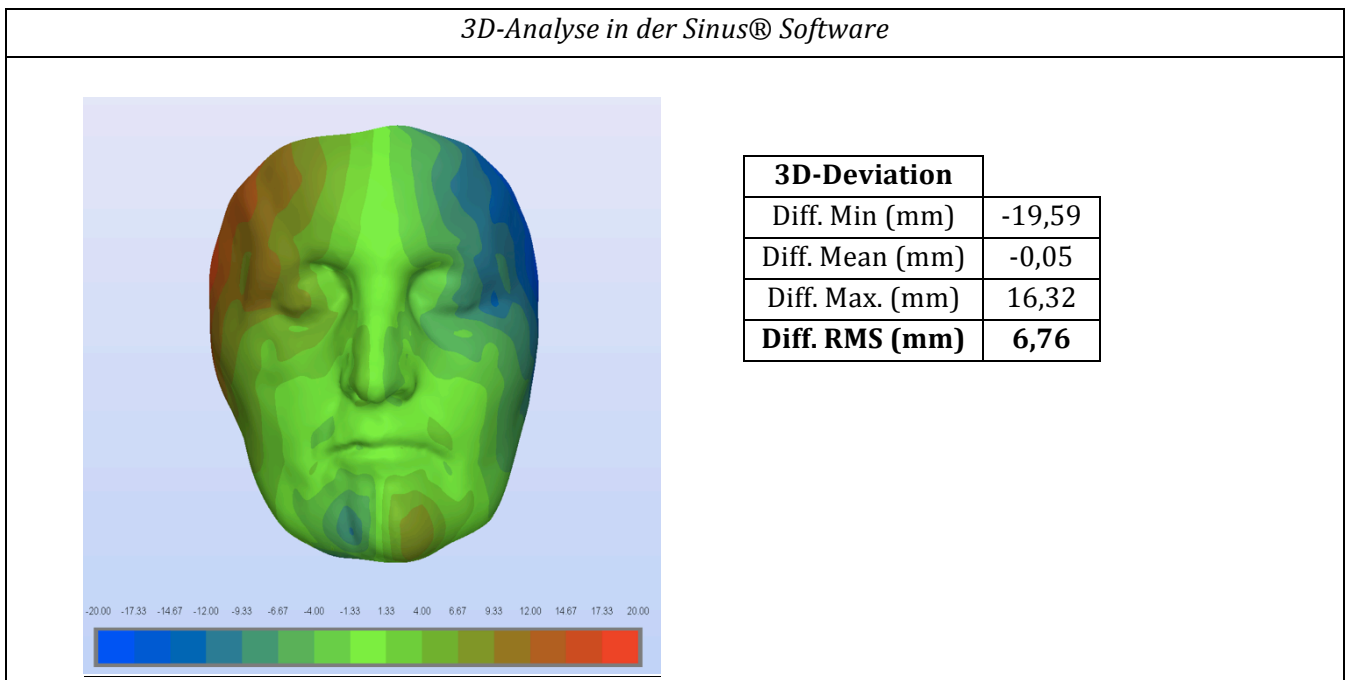
3.1.2 3D-Scan



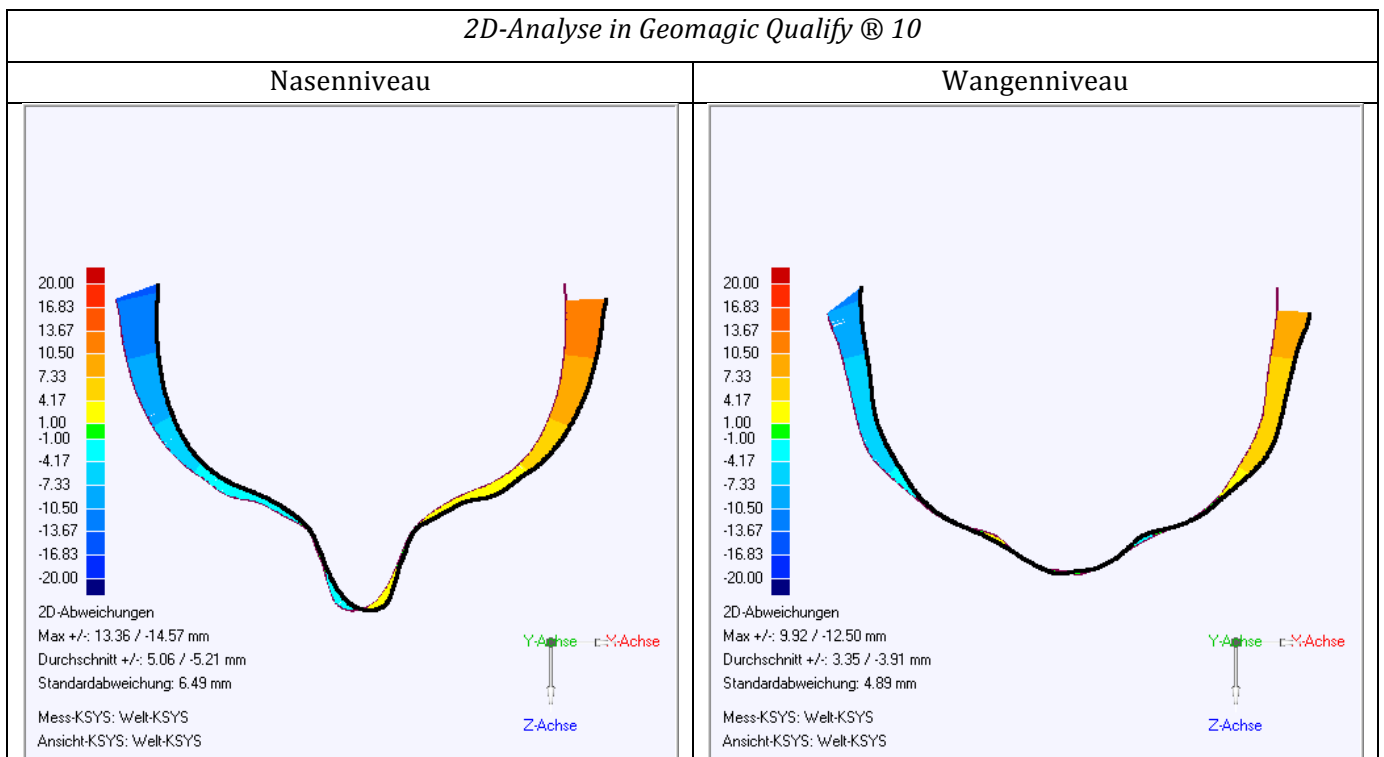
3.1.3 Spezifische Analyse am 3D-Modell (Geomagic®)



3.1.4 Spezifische Analyse am 3D-Modell (Sinus® Software)



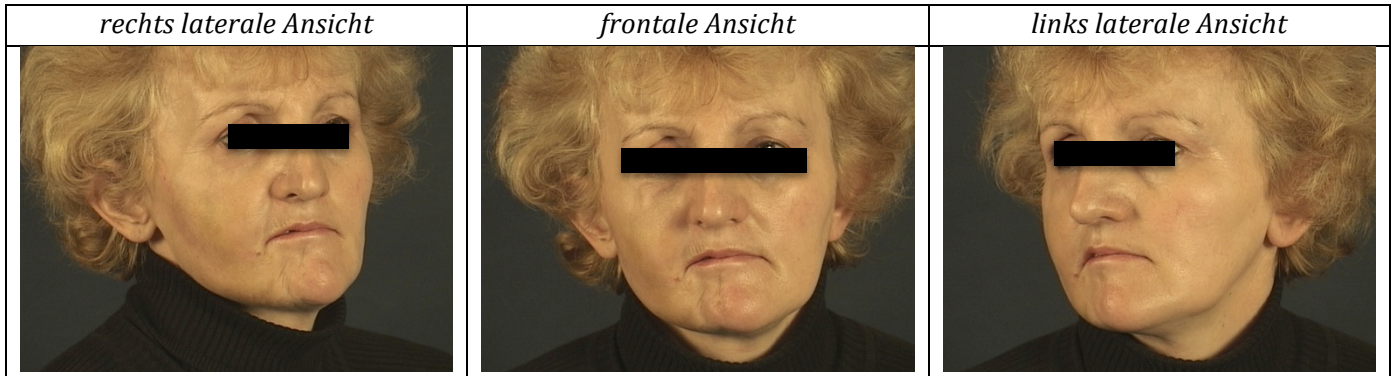
3.1.5 Spezifische Analyse am 2D-Modell (Geomagic®)



2D-Deviation	Nasenniveau	Wangenniveau
Max +/- (mm)	13,36/-14,57	9,92/- 12,50
Durchschnitt +/-	5,06/-5,21	3,35/-3,91
Standard Deviation (mm)	6,49	4,89

3.2 Postoperativ I (1 Woche nach der ersten Operation)

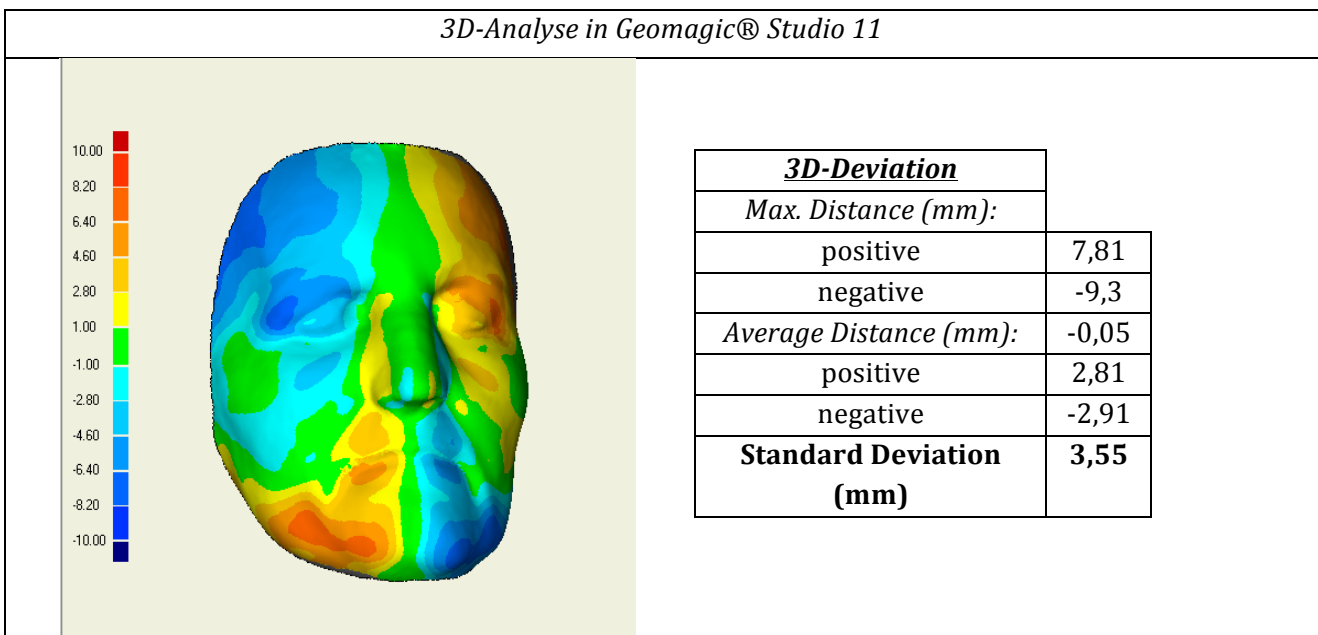
3.2.1 Fotografie postoperativ I



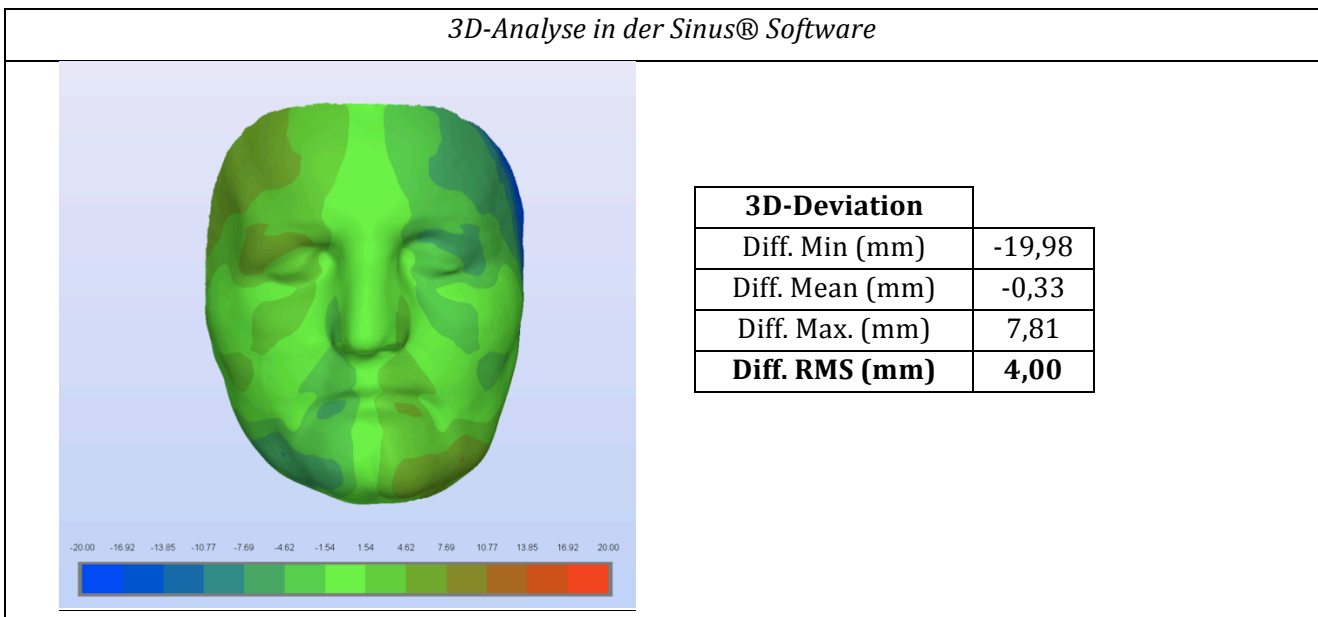
3.2.2 3D-Scan

<i>rechts laterale Ansicht</i>	<i>Frontale Ansicht</i>	<i>links laterale Ansicht</i>
ohne Angabe	ohne Angabe	ohne Angabe

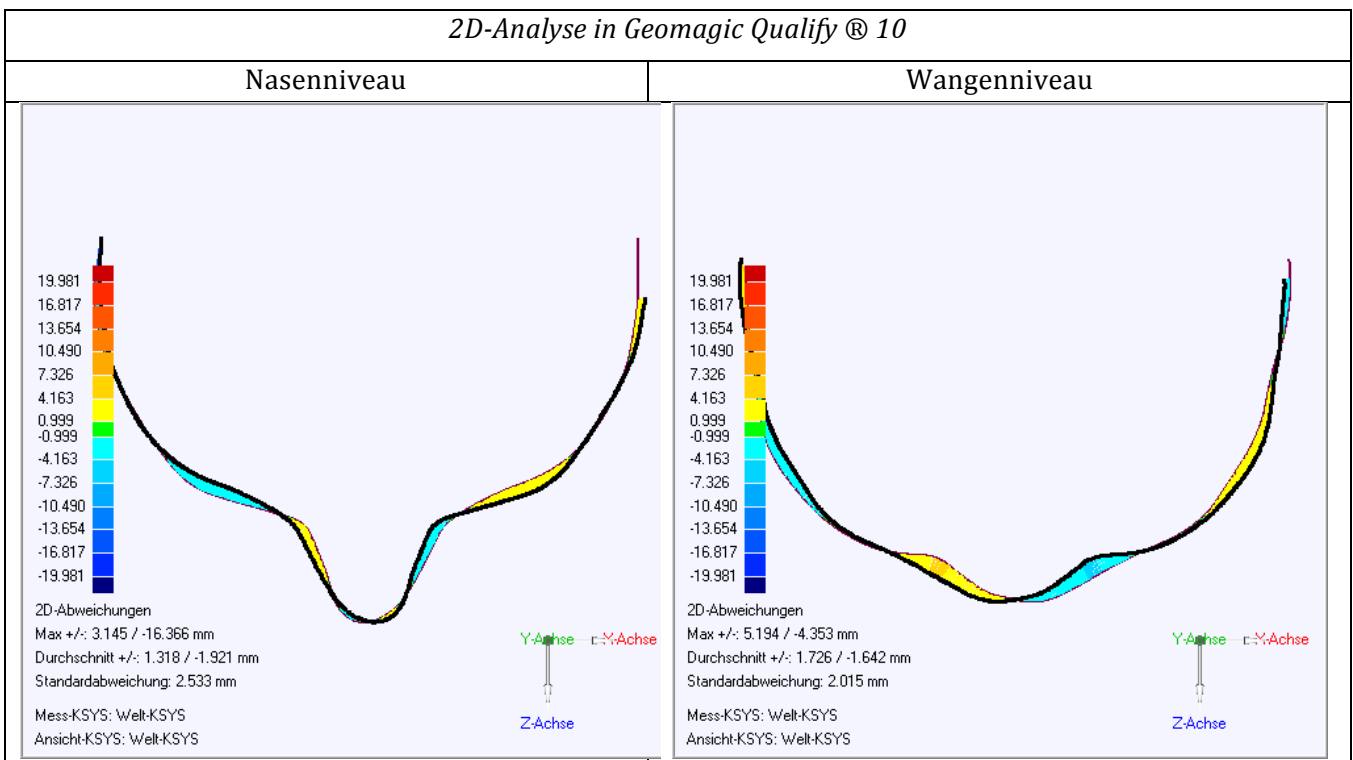
3.2.3 Spezifische Analyse am 3D-Modell (Geomagic®)



3.2.4 Spezifische Analyse am 3D-Modell (Sinus® Software)



3.2.5 Spezifische Analyse am 2D-Modell (Geomagic®)



2D-Deviation	Nasenniveau	Wangenniveau
Max +/- (mm)	3,15/-16,37	5,19/-4,35
Durchschnitt +/-	1,32/-1,92	1,73/-1,64
Standard Deviation (mm)	2,53	2,02

3.3 Postoperativ II (ein Monat nach der ersten Operation)

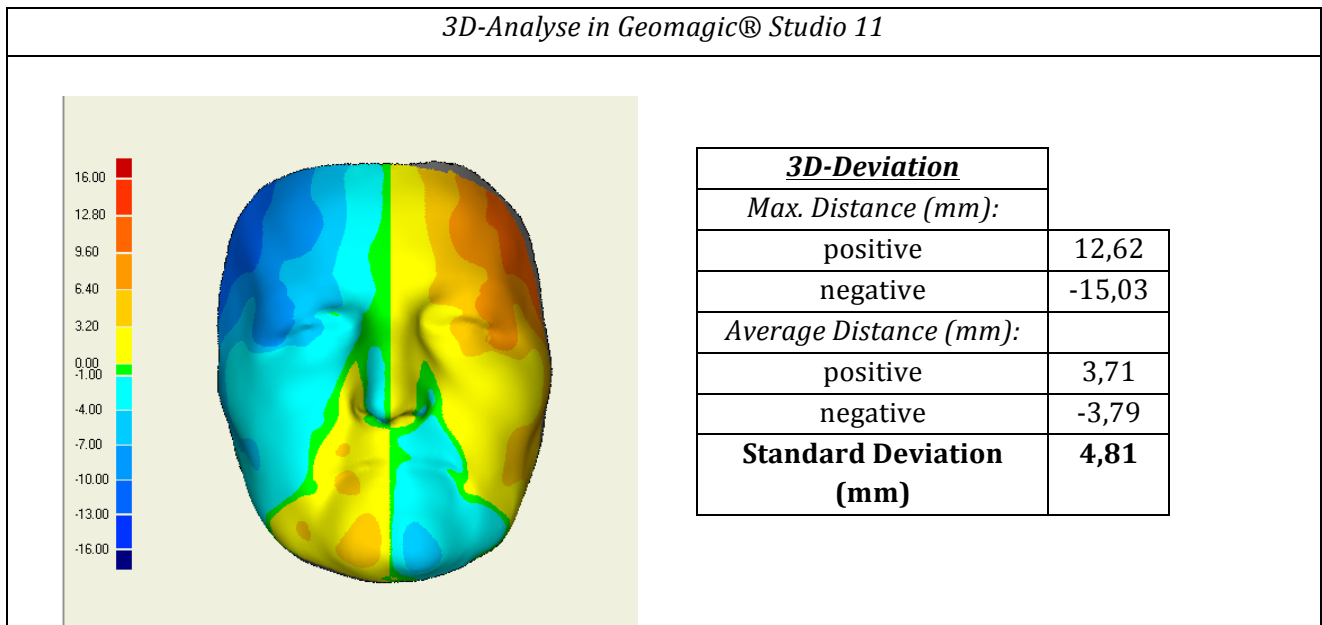
3.3.1 Fotografie postoperativ II



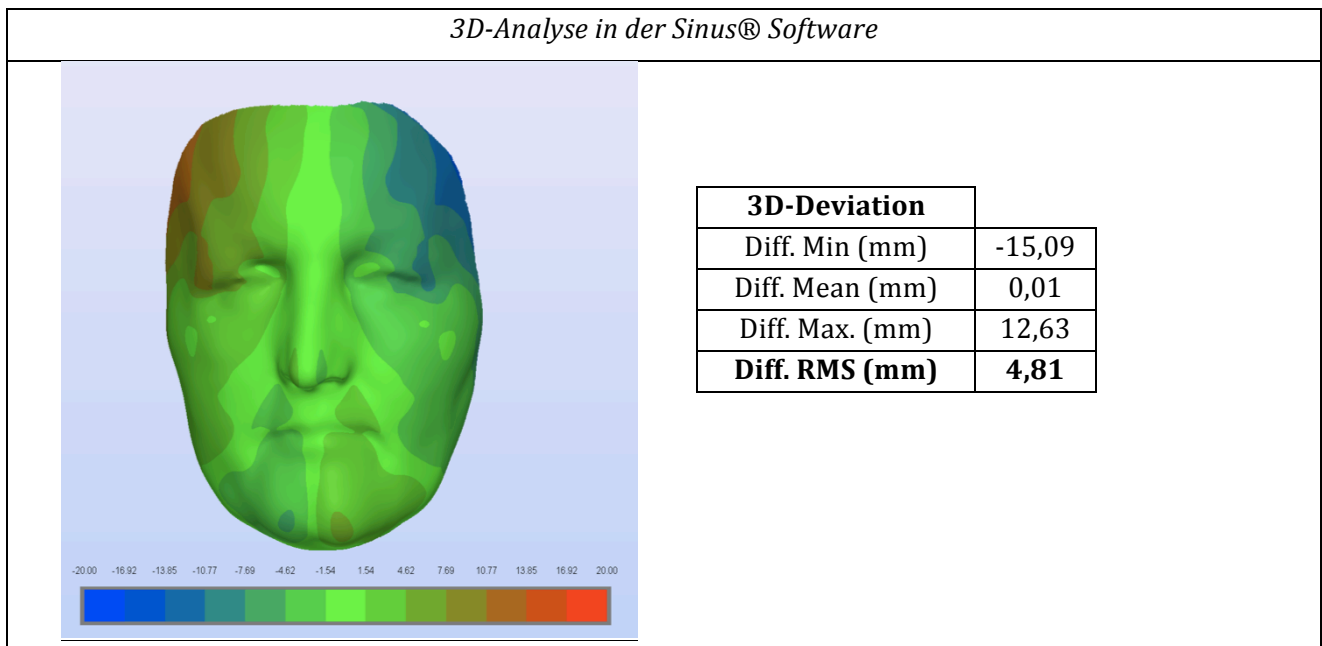
3.3.2 3D-Scan

<i>rechts laterale Ansicht</i>	<i>Frontale Ansicht</i>	<i>links laterale Ansicht</i>
ohne Angabe	ohne Angabe	ohne Angabe

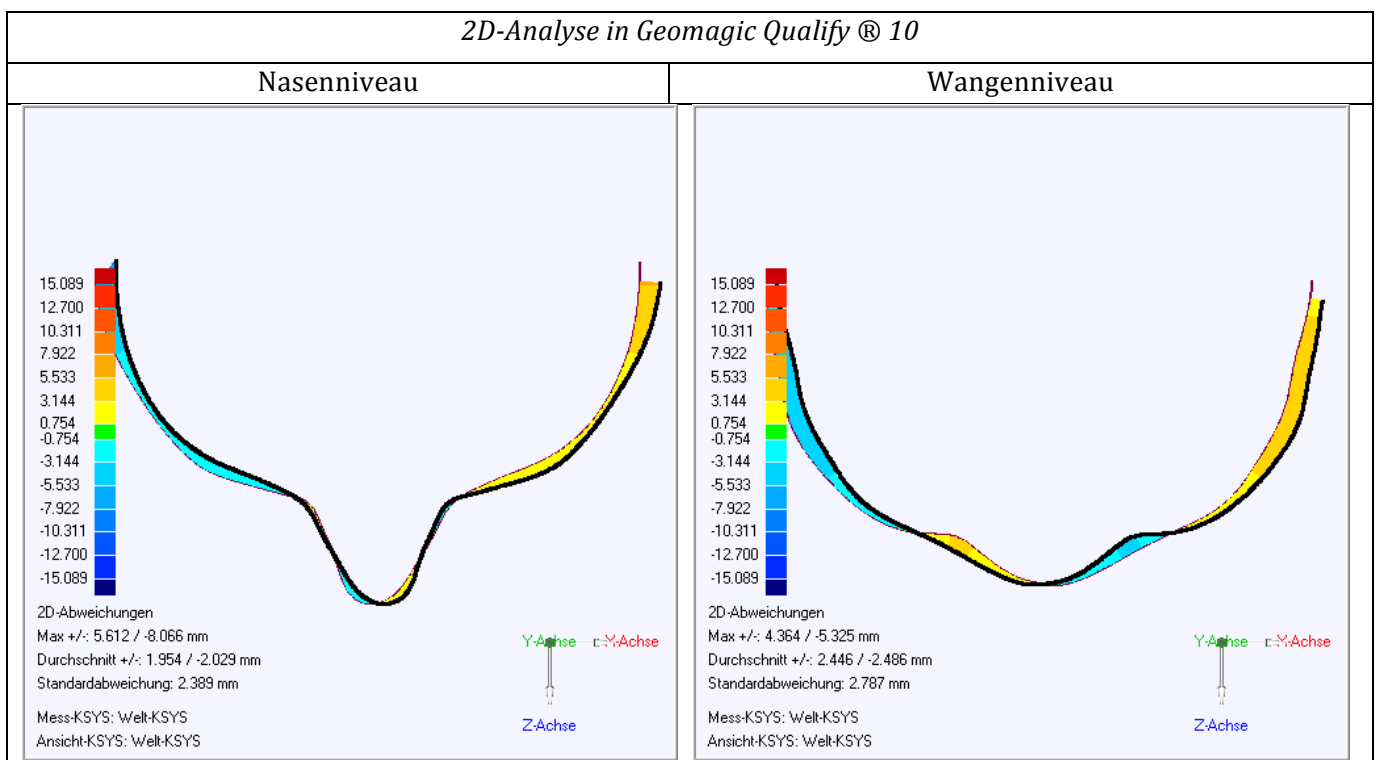
3.3.3 Spezifische Analyse am 3D-Modell (Geomagic®)



3.3.4 Spezifische Analyse am 3D-Modell (Sinus® Software)



3.3.5 Spezifische Analyse am 2D-Modell (Geomagic®)



2D-Deviation	Nasenniveau	Wangenniveau
Max +/- (mm)	5,61/-8,07	4,36/-5,33
Durchschnitt +/-	1,95/-2,03	2,45/-2,49
Standard Deviation (mm)	2,39	2,7

3.4 Postoperativ III (vier Monate nach der zweiten Operation)

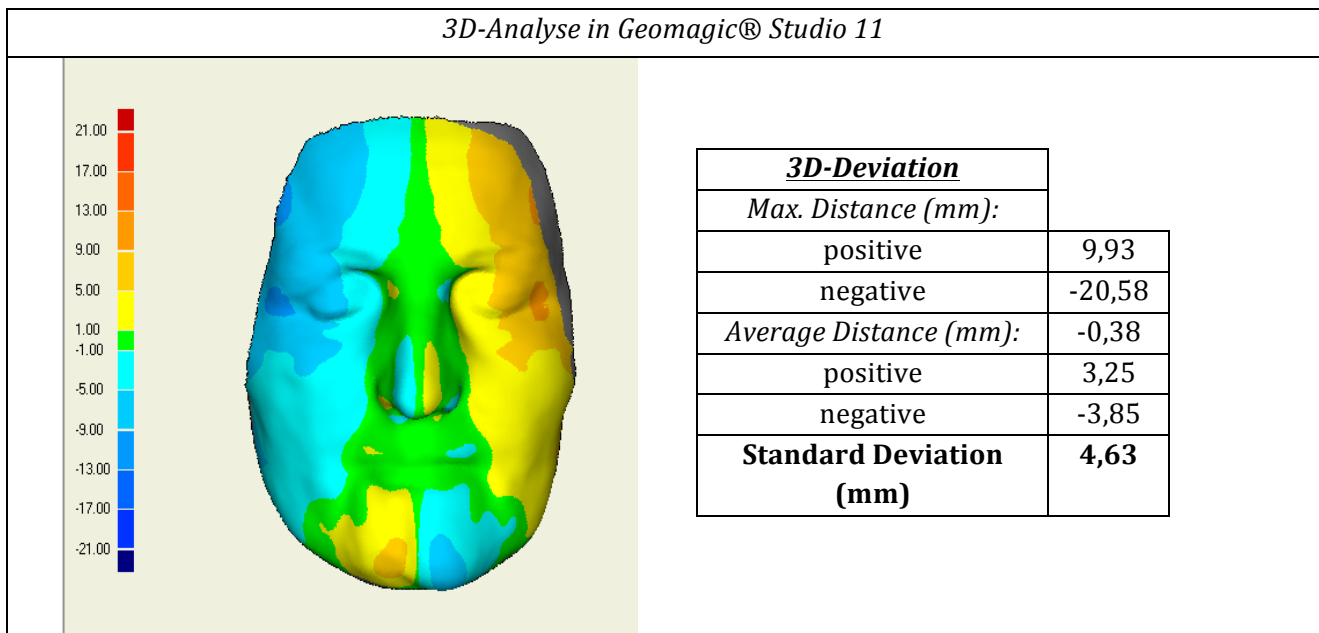
3.4.1 Fotografie postoperativ III (hier: direkt postoperativ)



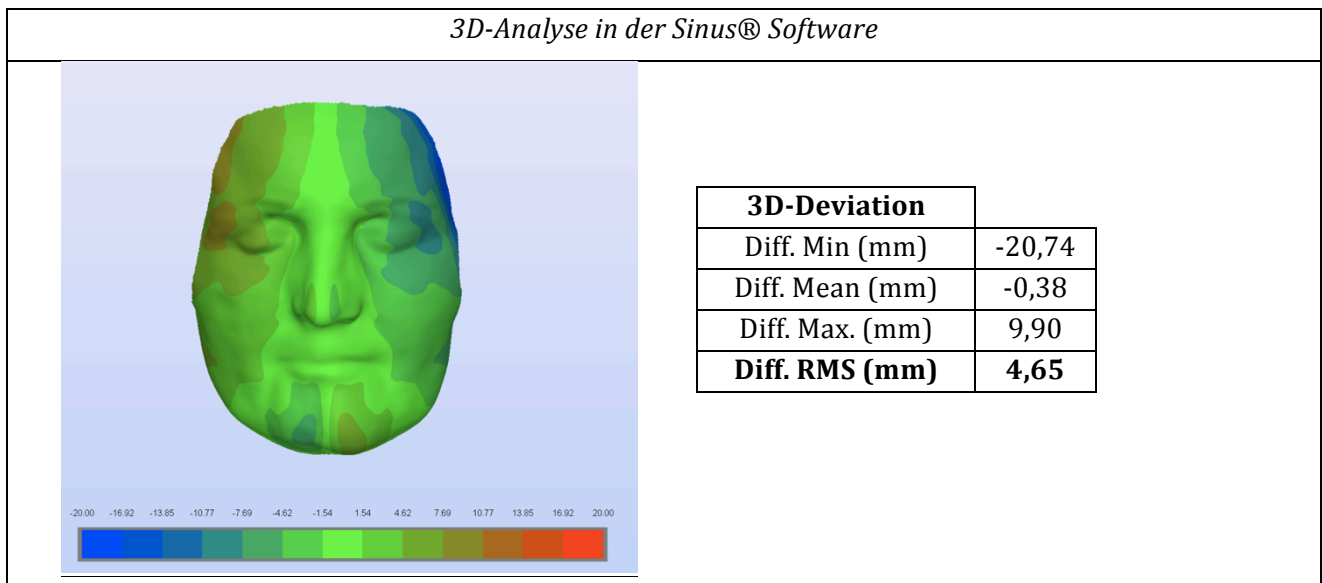
3.4.2 3D-Scan

<i>rechts laterale Ansicht</i>	<i>Frontale Ansicht</i>	<i>links laterale Ansicht</i>
ohne Angabe	ohne Angabe	ohne Angabe

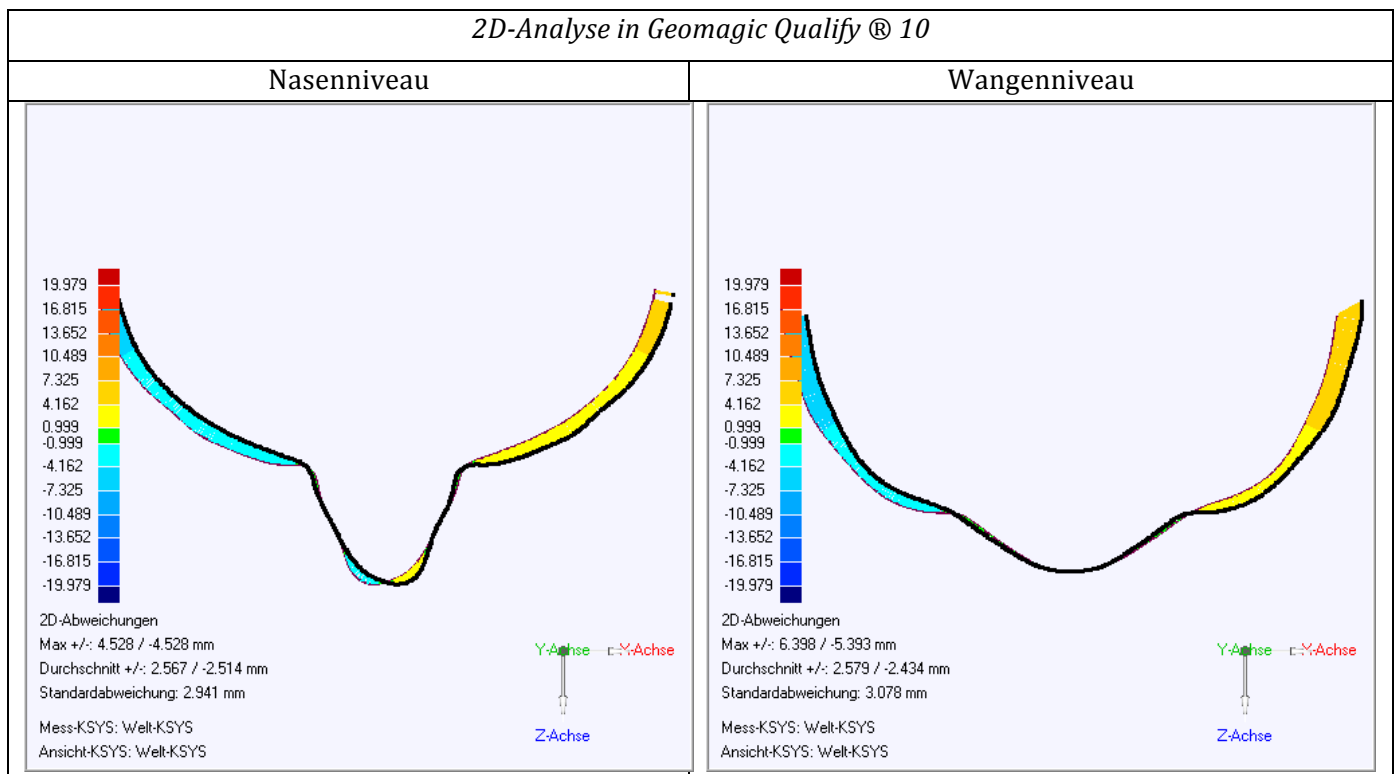
3.4.3 Spezifische Analyse am 3D-Modell (Geomagic®)



3.4.4 Spezifische Analyse am 3D-Modell (Sinus® Software)



3.4.5 Spezifische Analyse am 2D-Modell (Geomagic®)



2D-Deviation	Nasenniveau	Wangenniveau
Max +/- (mm)	4,53/-4,53	6,40/-5,39
Durchschnitt +/-	2,57/-2,51	2,58/-2,43
Standard Deviation (mm)	2,94	3,08

3.5 Postoperativ IV (zehn Monate nach der zweiten Operation)

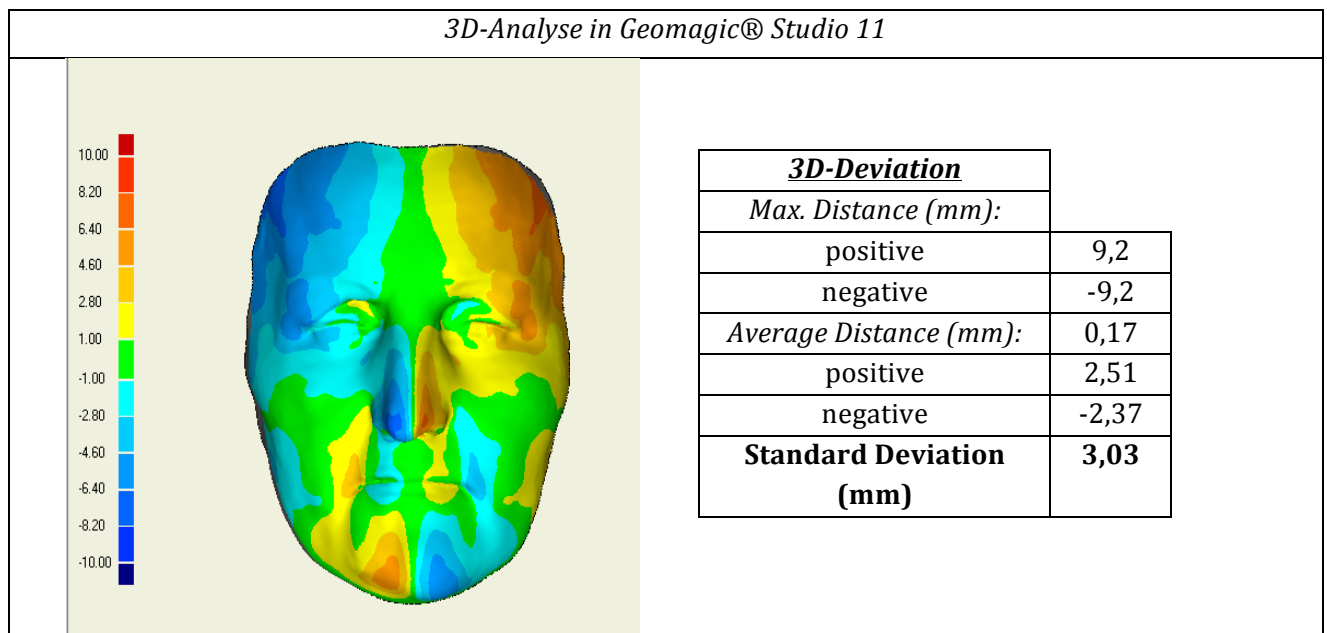
3.5.1 Fotografie postoperativ IV



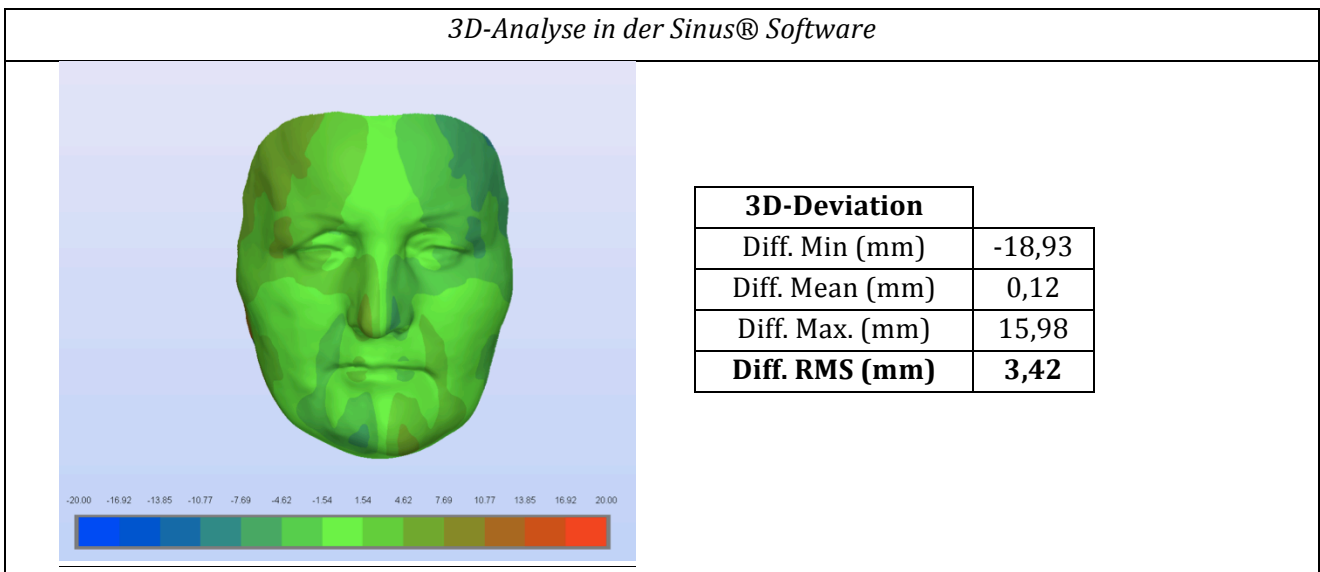
3.5.2 3D-Scan

rechts laterale Ansicht	Frontale Ansicht	links laterale Ansicht
ohne Angabe	ohne Angabe	ohne Angabe

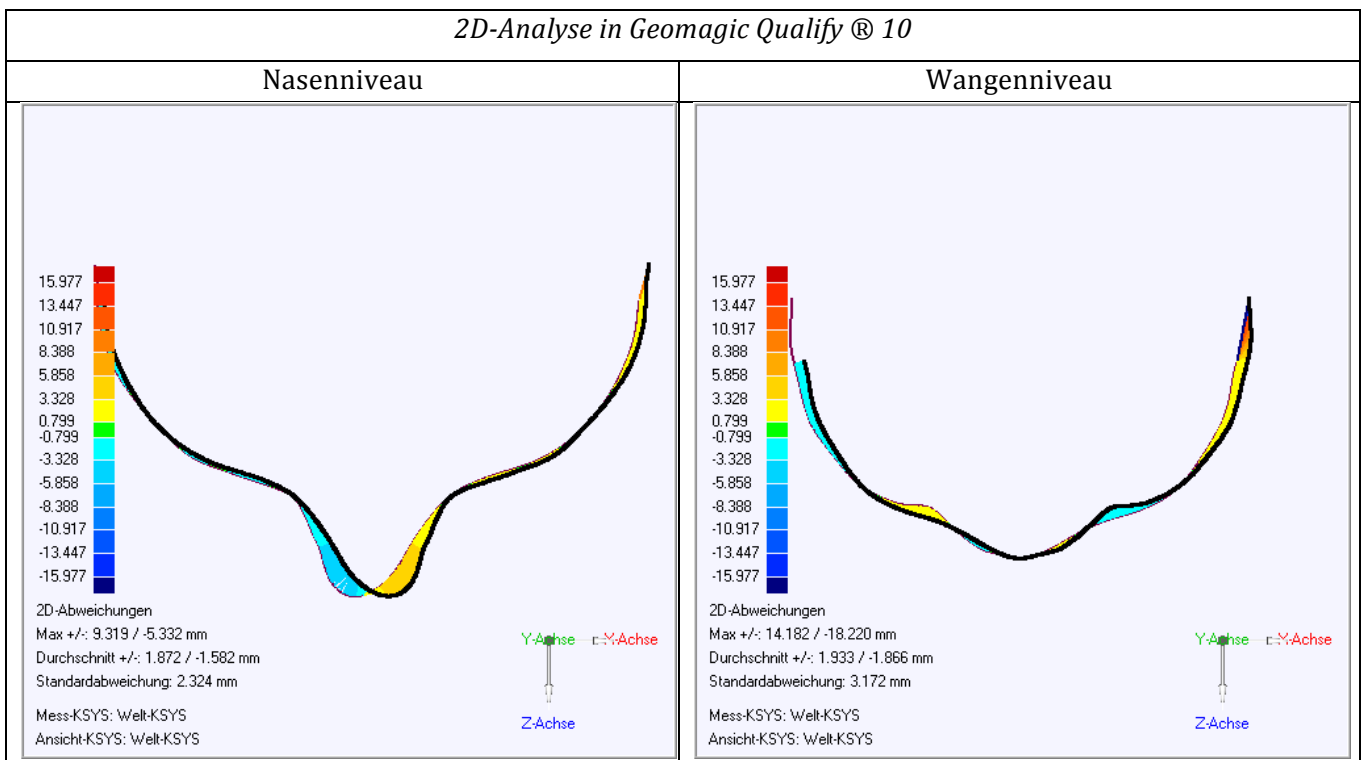
3.5.3 Spezifische Analyse am 3D-Modell (Geomagic®)



3.5.4 Spezifische Analyse am 3D-Modell (Sinus® Software)



3.5.5 Spezifische Analyse am 2D-Modell (Geomagic®)



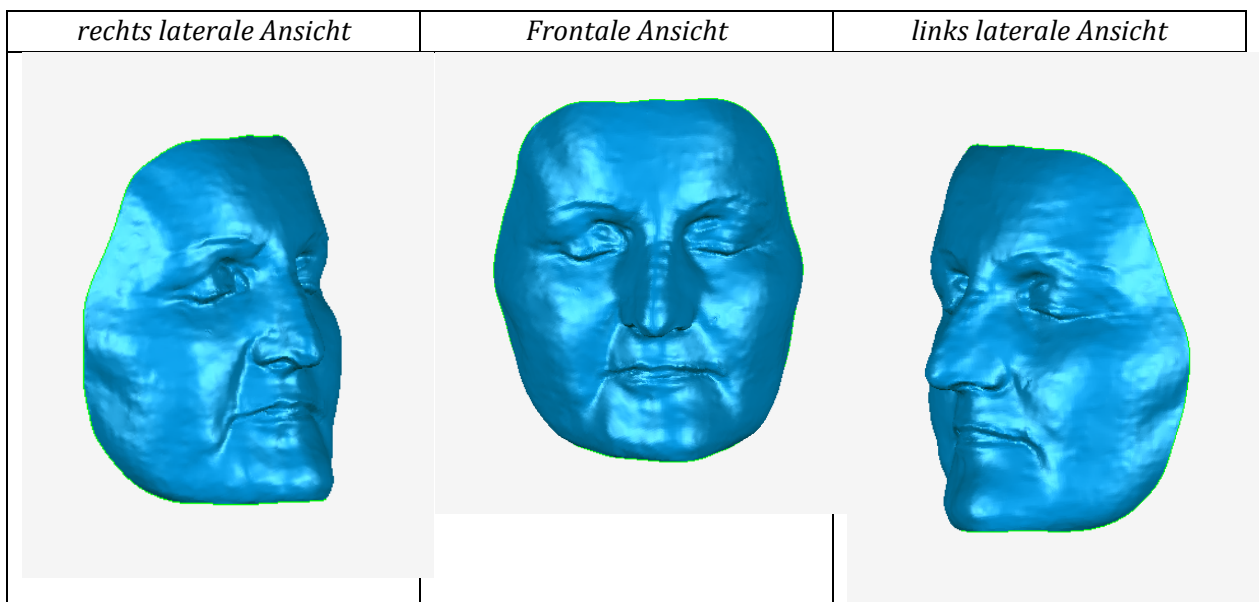
2D-Deviation	Nasenniveau	Wangenniveau
Max +/- (mm)	9,32/-5,33	14,18 /-18,22
Durchschnitt +/-	1,87/-1,58	1,93/-1,87
Standard Deviation (mm)	2,32	3,17

3.6 Postoperativ V (vier Monate nach der dritten Operation)

3.6.1 Fotografie postoperativ V

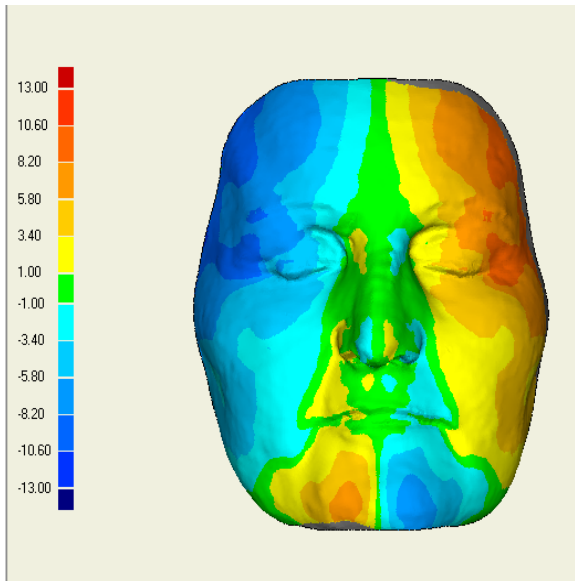


3.6.2 3D-Scan



3.6.3 Spezifische Analyse am 3D-Modell (Geomagic®)

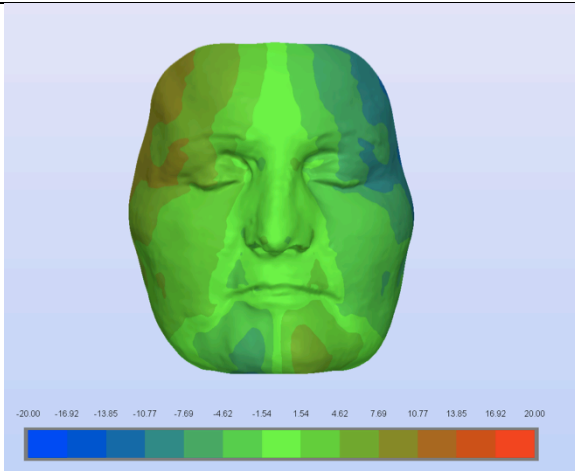
3D-Analyse in Geomagic® Studio 11



3D-Deviation	
<i>Max. Distance (mm):</i>	
positive	11,31
negative	-12,49
<i>Average Distance (mm):</i>	
positive	3,76
negative	-3,85
Standard Deviation (mm)	4,69

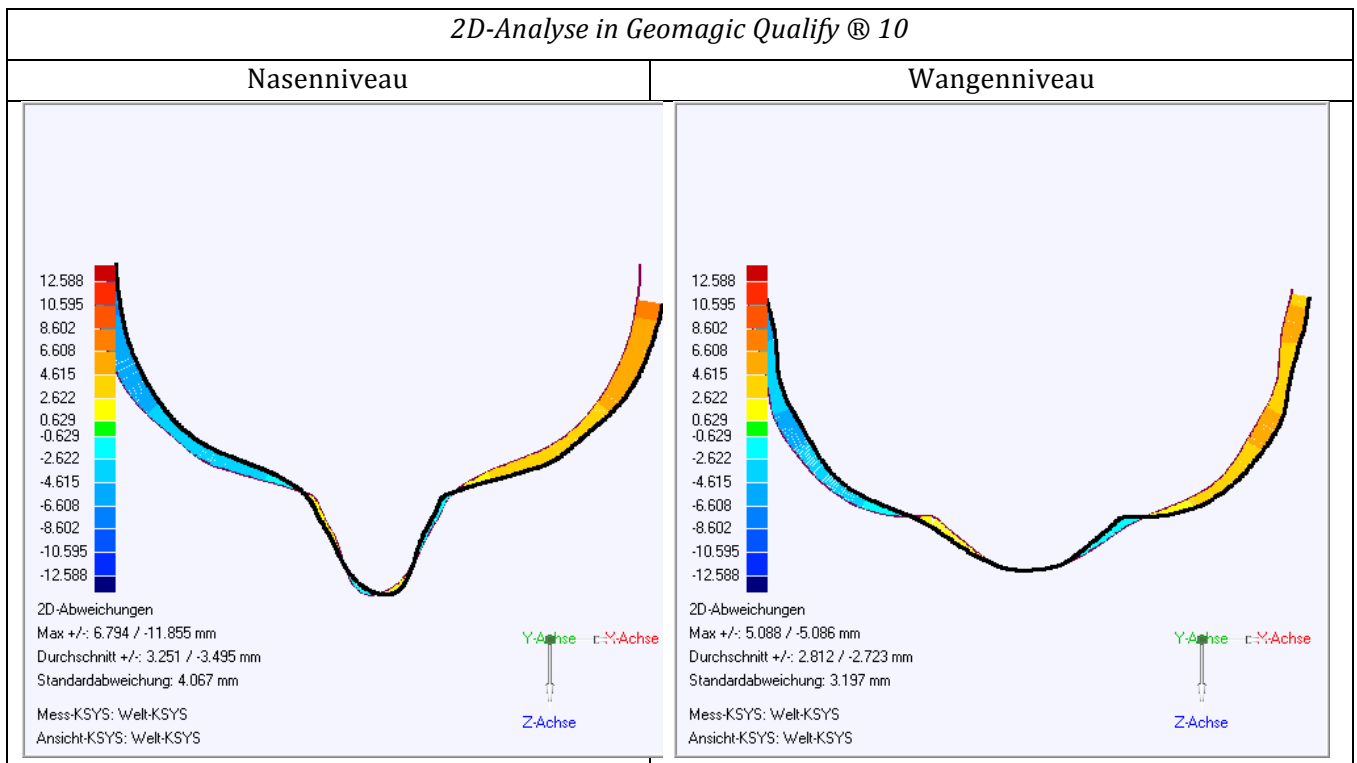
3.6.4 Spezifische Analyse am 3D-Modell (Sinus® Software)

3D-Analyse in der Sinus® Software



3D-Deviation	
Diff. Min (mm)	-12,47
Diff. Mean (mm)	-0,03
Diff. Max. (mm)	10,65
Diff. RMS (mm)	4,69

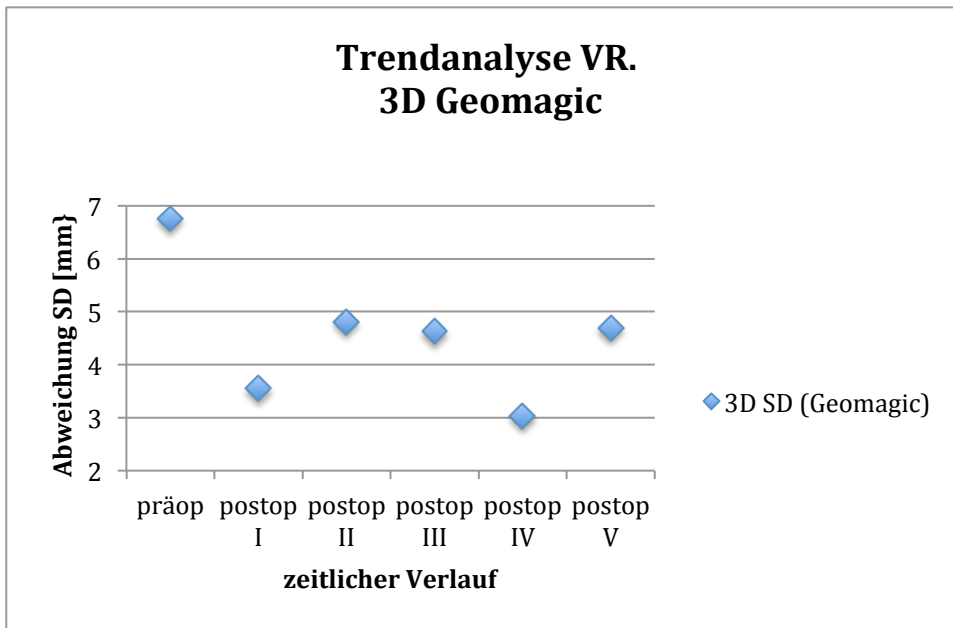
3.6.5 Spezifische Analyse am 2D-Modell (Geomagic®)



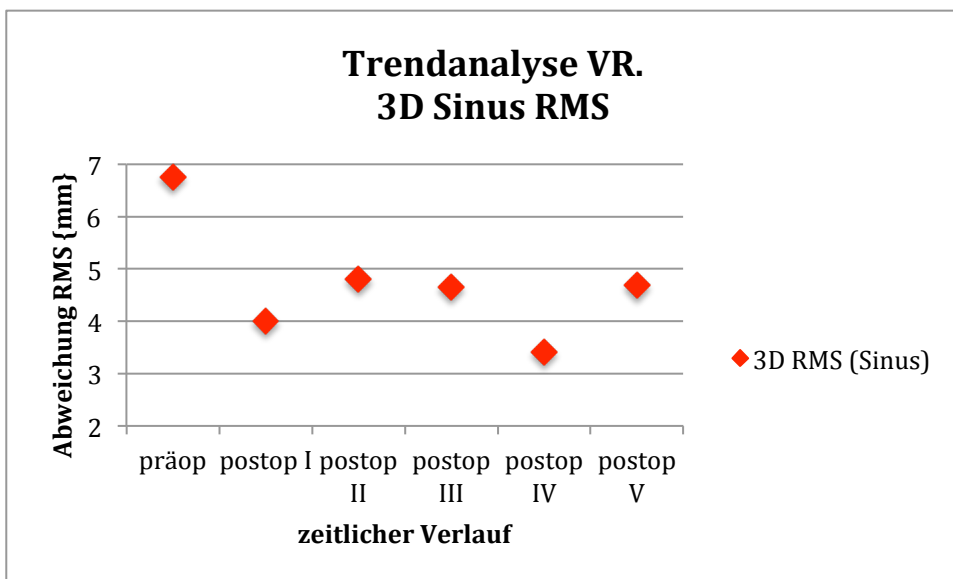
2D-Deviation	Nasenniveau	Wangenniveau
Max +/- (mm)	6,79/-11,86	5,09/-5,09
Durchschnitt +/-	3,25/-3,50	2,81/-2,72
Standard Deviation (mm)	4,07	3,2

4. Trendanalyse präoperativ-postoperativ

4.1 Trendanalyse 3D

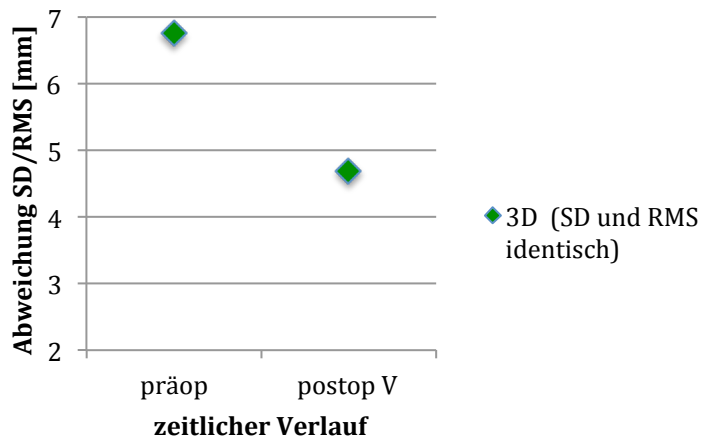


	3D SD (Geomagic)
präop	6,76
postop I	3,55
postop II	4,81
postop III	4,63
postop IV	3,03
postop V	4,69



	3D RMS (Sinus)
präop	6,76
postop I	4,00
postop II	4,81
postop III	4,65
postop IV	3,42
postop V	4,69

3D Prä-Post Vergleich

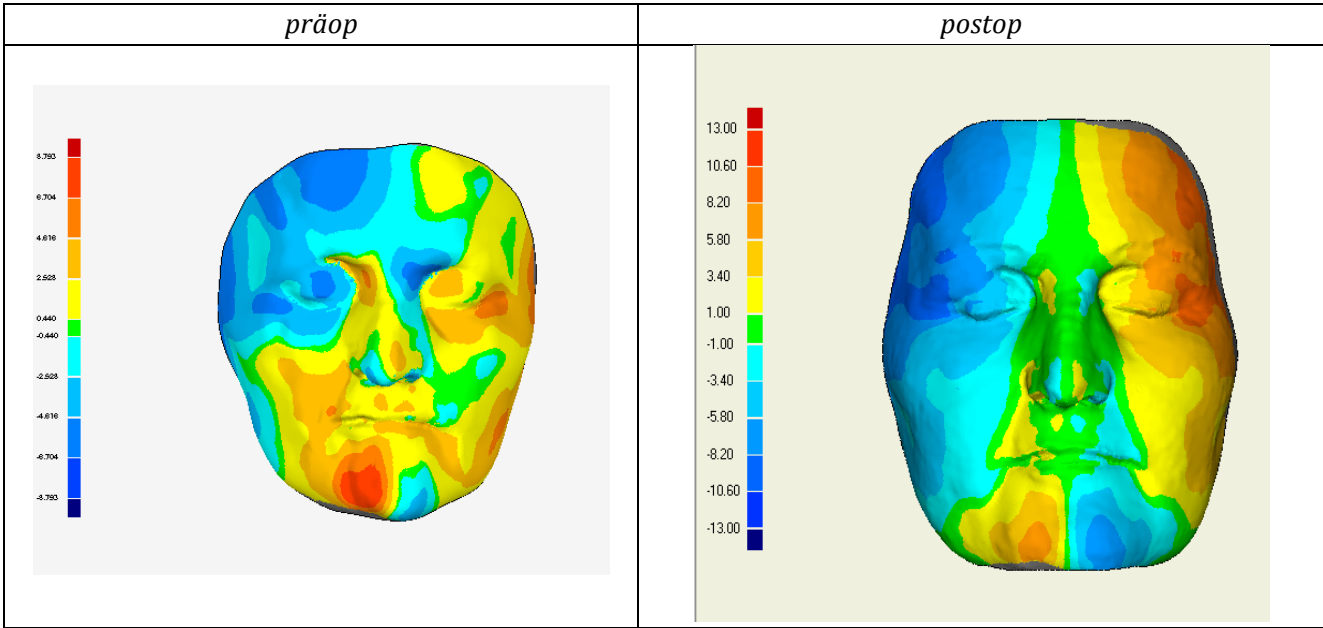


	3D SD (Geomagic)	3D RMS (Sinus)
präop	6,76	6,76
postop V	4,69	4,69

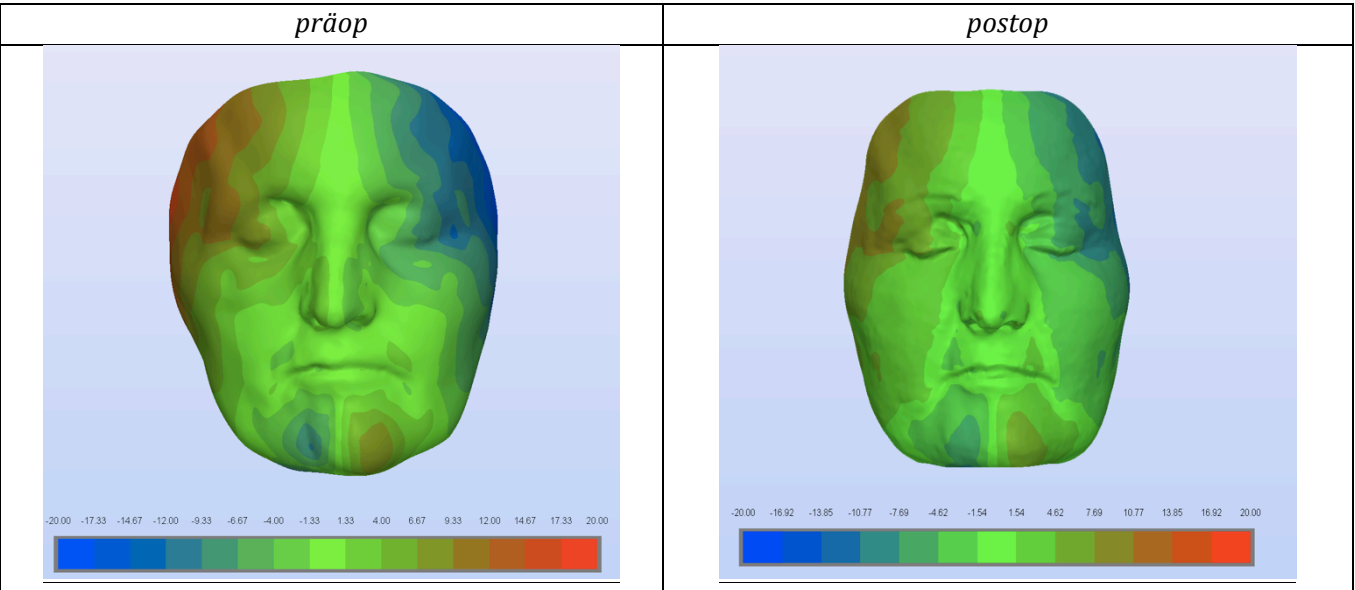
Fotografie und Computermodelle präop-postop



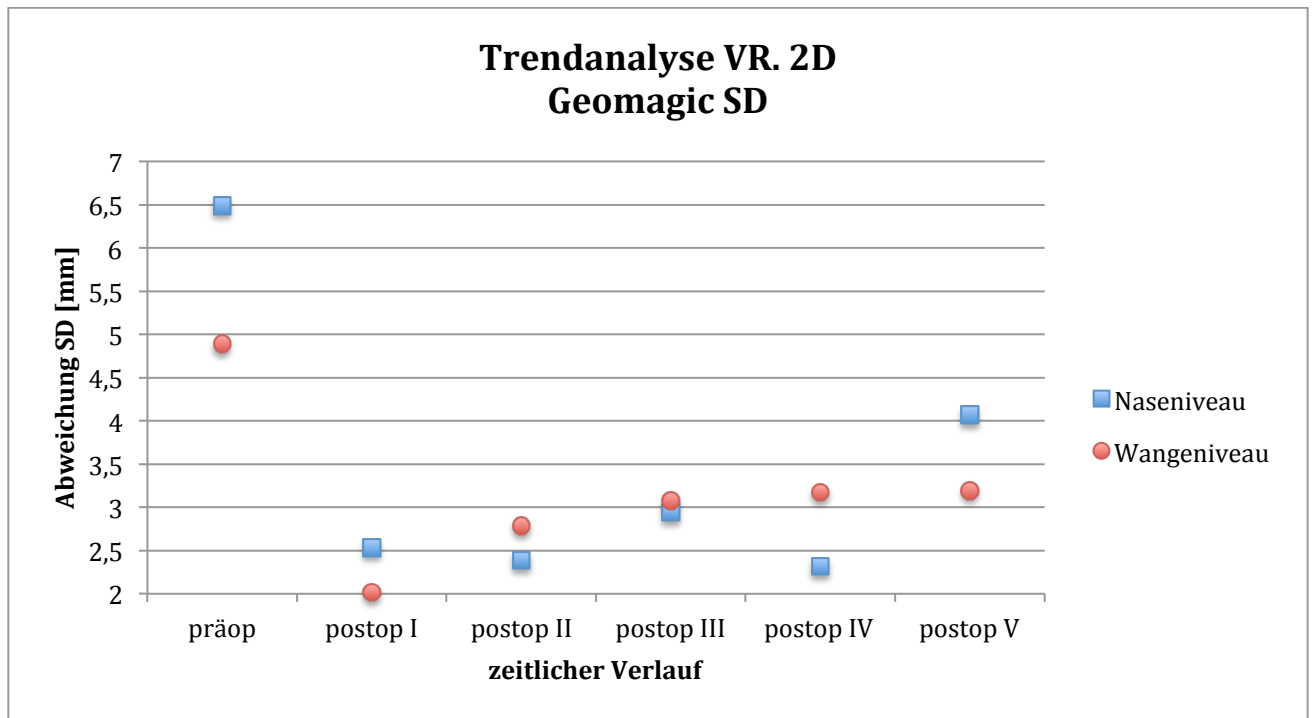
3D-Analyse in Geomagic® Studio 11



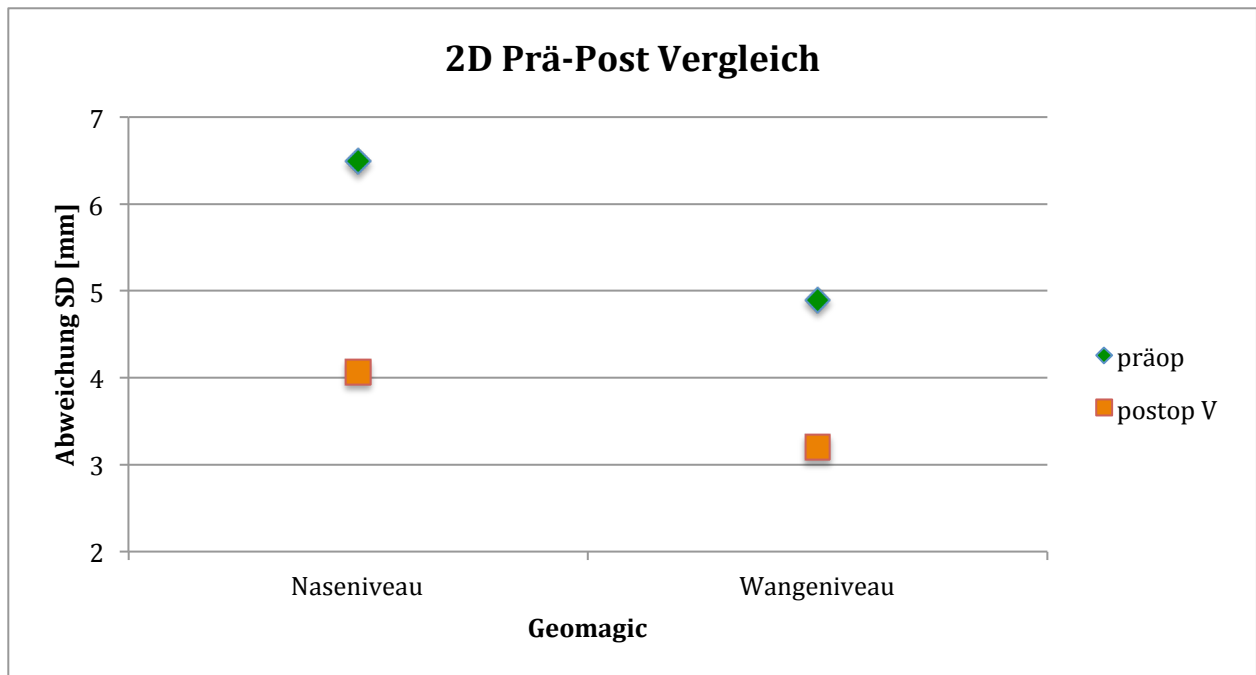
3D-Analyse Sinus Software



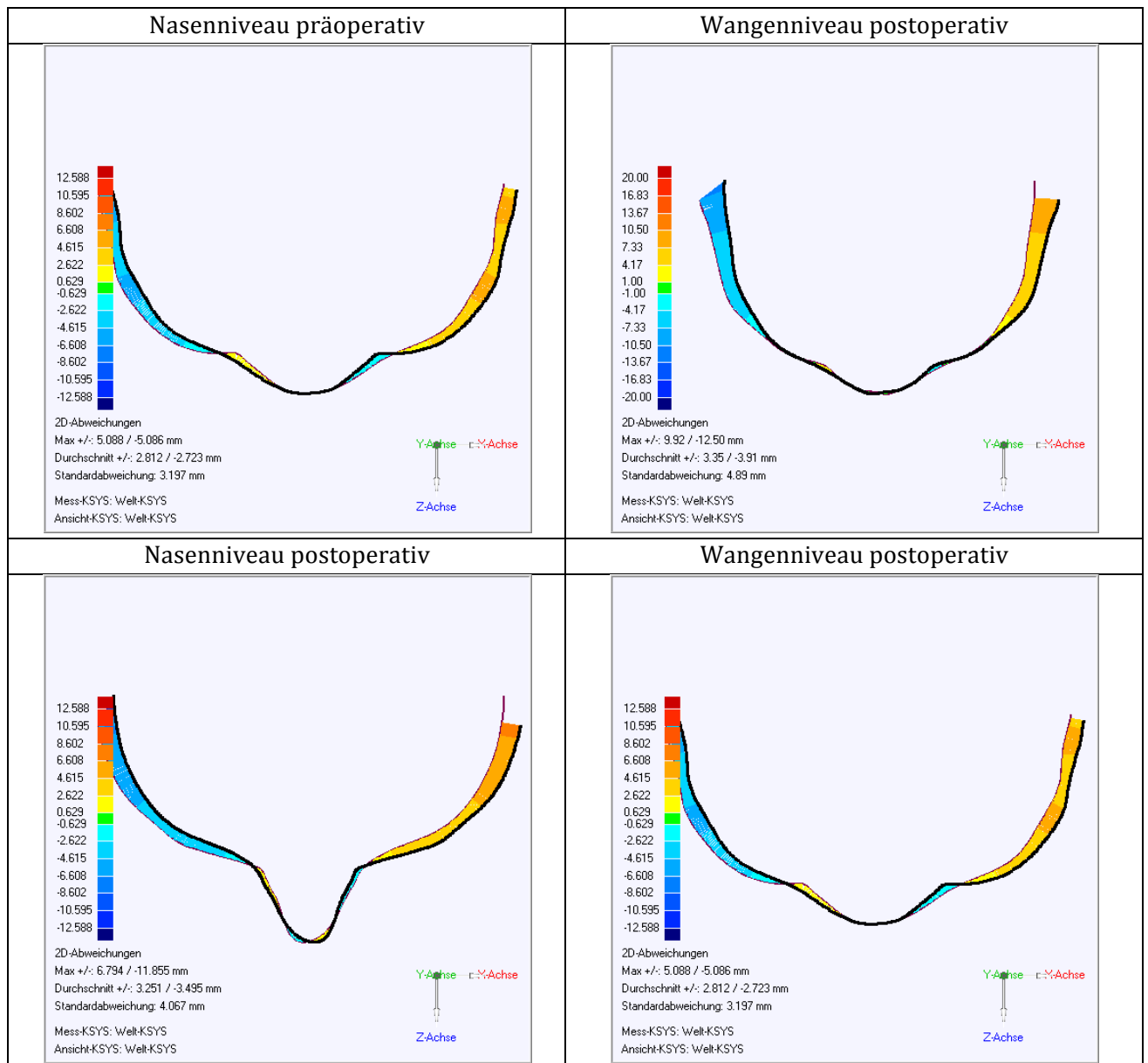
4.2 Trendanalyse 2D



	Naseniveau	Wangeniveau
präop	6,49	4,89
postop I	2,53	2,02
postop II	2,39	2,79
postop III	2,94	3,08
postop IV	2,32	3,17
postop V	4,07	3,20



	Naseniveau	Wangeniveau
präop	6,49	4,89
postop V	4,07	3,20



6. Epikrise

Bei dieser Patientin wurde eine traumatisch bedingte Gesichtsasymmetrie diagnostiziert. Nach Spiegelung des Gesichtsscans in der Mediansagittalebene ließen sich die Einheiten Stirnregion, Periocularregion, Perinasalregion, Wangenregion, Perioralregion im Rechts- Links- Vergleich darstellen.

Ein Lipofilling der rechten Wange mit Wiederholung, Lipofilling der rechten Kinnhälfte und der rechten Wange mit zeitgleicher Anpassung der linken Kinnseite durch Liposuction stellten die therapeutische Erwägung dar, die Symmetrie wiederherzustellen. Neben postoperativen Begleiterscheinungen (Hämatombildung, Schwellungen) stellten deutliche Gewichtsschwankungen der Patientin über den gesamten Behandlungszeitraum Behandlungszeitraum (19 Monate) einen verkomplizierenden Faktor dar (vergleiche Fotografien).

Das abschließende postoperative Ergebnis ist nicht nur optisch zufriedenstellend. Objektiv lässt sich durch die kontinuierliche Minimierung des Root Mean Square (RMS) von 6,76 (präoperativ) auf letztlich 4,69 zum Abschluss der Behandlungsabschluss präoperativ der therapeutische Erfolg direkt quantitativ erfassen.

3.5 Evaluationsbogen L.X.

siehe Anhang

4. Diskussion

Das Ziel meiner Doktorarbeit war die Erfassung der Gesichtsoberfläche mittels dreidimensionaler Lasertechnik sowie die Standardisierung deren Auswertung. Dies wurde durch Entwicklung eines strukturierten Evaluationsbogens erreicht. Voraussetzung für die Weichteiloberflächenerfassung waren Laserscanaufnahmen, die mit Hilfe spezieller Software am Computer zu Gesichtsmodellen weiterverarbeitet wurden, an denen die Auswertung vorgenommen werden konnte.

Vorausgehend sind zahllose unternommene Versuche und Experimente seit frühester Zeit, Schönheit zu quantifizieren^{[14],[35],[91]}. Das Gesicht hat in diesem Punkt durch seine "exponierte Position" eine Schlüsselstelle inne. Das Bestreben, der Subjektivität des Eindrucks "schön", welcher oft mit Symmetrie verknüpft wird, mit objektiven Richtlinien entgegentreten zu können, hat dabei nicht nur ein normatives Interesse. Ein Standard schafft Vergleichbarkeit: eine "allgemein gültige Aussage" beinhaltet auch stets die Möglichkeit, in diesem Zusammenhang Abweichungen definieren und aufzeigen zu können. Die unterschiedlichsten Methoden wurden über die Jahrhunderte hinweg entwickelt, schon früh spielten "Maßstäbe", zahlenmäßig erfassbare Verfahren, eine entscheidende Rolle^{[40],[18]}. Diese wurden insbesondere in den letzten Jahren zunehmend durch Vorgehensweise mit modernster Technik immer weiter präzisiert und verfeinert, sodass aktuell die Erfassung der Gesichtsoberfläche mittels moderner Bildgebung erfolgen kann.

Operationen im Gesichtsbereich sind in der Plastischen, Ästhetischen und Rekonstruktiven Chirurgie alltäglich. Daher ist gerade in dieser Disziplin gegenwärtig das Interesse groß, solche erhobenen Daten für spezielle Fragestellungen nutzen, verarbeiten und weiterentwickeln zu können. Für die faziale Geometrie bedeutend sind Asymmetrien, deren Ausgleich es zu erzielen gilt. Im Rahmen einer Operationsplanung und eines Behandlungskonzeptes ist es unabdingbar, den Verlauf - neben forschungsorientierten Ansätzen - anwenderfreundlich, klinisch praktikabel und für Patienten verständlich zur Darstellung zu bringen.

Letztere Aspekte waren ausschlaggebend für die Entscheidung, einen Evaluationsbogen, in diesem Fall speziell für die Erfassung der Gesichtsgeometrie, auszuarbeiten.

Grundlage dafür bilden Laserscanaufnahmen, die nach Zusammenfügung einzelner „shells“ im Computerprogramm Geomagic® Studio11 sowie der neu von der TUM in Kooperation mit CADFEM® entwickelten Sinus® Software bearbeitet werden konnten. Als erster Schritt wurden Landmarks definiert, die zu einer "Maske" vernetzt wurden, welche das Gesicht in berechenbare Gebiete unterteilten. Mittels der Messvorlage können Strecken, Winkel, Flächen und Volumina erfasst werden. Durch Differenz der Strecken von rechter zu linker Seite (definiert durch eine Halbierung des Gesichtes anhand von Medianen) könnten als erste Möglichkeit Asymmetrien quantitativ durch absolute oder prozentuale Abweichung hervorgehoben werden, sind auf Grund der diesem Verfahren überlegenen 3D-Symmetrieanalyse aber nicht weiter dargestellt. Eine Neuerung sind die gebildeten Ästhetischen Einheiten, welche die Fokussierung auf selektierte Gesichtsbereiche ermöglichen, die für eine spezielle Fragestellung oder individuelle Patientenbehandlung von Bedeutung sind.

Der entscheidende Fortschritt ist die Dreidimensionalität durch die Lasertechnik, Programmierung und Nutzung der Computersoftware. Asymmetrien im Gesicht können auf diese Weise auch in der Tiefendimension erfasst werden. Dies ist Grundlage für die

Verbesserung von präoperativer Planung, operativer Durchführung und postoperativer Erfolgskontrolle bei der Angleichung von Irregularitäten beider Gesichtshälften. So komplex die Erfassung der fazialen Gesichtsgeometrie ist: Der entstandene Evaluationsbogen vereinigt mehrere Standardisierungsmerkmale (visuell, quantitativ) in einem und ermöglicht durch die Trendanalyse eine übersichtliche Zusammenfassung des Behandlungsverlaufes. Es gibt einige Möglichkeiten, den Evaluationsbogen zu nutzen, drei wichtige Möglichkeiten seien genannt: nach Bedarf können die Ergebnisse unter Fachpersonal analysiert und diskutiert werden, für das an der Patientenversorgung beteiligte Personal als Qualitäts- und Verlaufskontrolle zur Verfügung gestellt und für den Patienten als Erklärungsmodell genutzt werden. Die Erhebung von Messdaten an einer idealsymmetrischen Puppe sowie Überprüfung der Anwendbarkeit der entwickelten Methodik an zwei Patientinnen mit unterschiedlicher Fragestellung aus dem Fachgebiet der Plastischen, Ästhetischen und Rekonstruktiven Chirurgie komplettierte die Entwicklung des Evaluationsbogens.

4.1 Mögliche Fehlerquellen

Der resultierende Evaluationsbogen ist eine für den Anwender praktikable Lösung, patientenabhängige Dokumentation und Verlaufskontrolle zu kombinieren. Standardisierte Laserscanaufnahmen und computertechnische Bearbeitungsprozesse liefern objektivierbare Ergebnisse. Darüber hinaus ist die Zeit, die der Patient "direkt" für die individuelle Datenerhebung aufwenden muss, sehr gering und wird wahrscheinlich in Zusammenhang mit dem Reportergebnis zu einem größeren Verständnis der ihn betreffenden Behandlung im Gesamtkonzept führen. Die Aufnahmen an sich dauern jeweils nur Minuten, der weitere Prozess bis zum fertigen Evaluationsbogen wird in jeder Hinsicht ohne weitere Beteiligung des Betroffenen durchgeführt.

Durch die vielschichtigen Phasen, die bis zum fertigen Bericht notwendig sind, kann es in der derzeitigen ersten Version zu Unzulänglichkeiten kommen, die es in der Zukunft weiter zu verbessern gilt. Dazu zählt die strikte Standardisierung bei Fotografie und Laserscan hinsichtlich Positionierung des Patienten (30° links lateral, 30° rechts lateral, frontal), eingegrenztem Aufnahmebereich (prinzipiell ist es wünschenswert, die Ohren mit abzubilden), Aufnahmehintergrund, Raumhelligkeit und Temperatur. Nur die rigorose Beachtung in diesem Schritt führt zu einer Reduktion von Aufnahme Fehlern, die später zu einer möglichen ungenauen Übereinanderlagerung der Gesichtsscans im Computermodell führen könnten. Leider werden kleinere Diskrepanzen auch zukünftig nicht eliminierbar sein: Einerseits ist Mimik an unterschiedlichen Tagen nicht vollkommen gleich reproduzierbar, andererseits müssen (postoperative) Schwellungen sowie Gewichtsveränderungen (Größe, Gewicht und BMI zu den Aufnahmetagen) dokumentiert werden.

Positiv betont werden sollte die Nutzung des Laserscangerätes. Wie unter anderem bei Kovacs et al.^{[75],[76]} und Ludwig^[82] festgestellt, können mittels dieser innovativen Methode faziale (A-) Symmetrien erfasst und dargestellt werden. Vorteile ergeben sich insbesondere im Vergleich zu anderen Messverfahren durch universelle Einsetzbarkeit, fehlende Strahlenbelastung und hohe Präzision der Aufnahme. Durch den nicht-invasiven, schmerzlosen Scan erhöht sich die Compliance der Patienten vor allem bei einer länger andauernden Behandlungszeit. Vorteile der an dieses Aufnahmeverfahren anschließenden Erstellung der Computermodelle ergeben sich in diesem Zusammenhang auch durch deren Rotationsmöglichkeiten, die es dem Untersucher ermöglichen, Regionen genau zu selektieren, die für eine individuelle Fragestellung von

Bedeutung sind. Bisher verhinderten lediglich die hohen Kosten der Erstanschaffung eine flächendeckendere Verfügbarkeit der Laserscangeräte.

Eine allgemein gültige Beschränkung der verwendeten Landmarks gibt es nicht; in der vorliegenden Arbeit wurden die "klassischen" Punkte^{[41],[40]} kombiniert mit den Erkenntnissen aus neueren Studien^{[52],[21, 48]}. Die Steigerung der Anzahl sollte eine engere Vernetzung der „Gesichtsmaske“ und höhere Genauigkeit der Messungen ermöglichen und damit eine Verbesserung erzielen. Die oben aufgeführten möglichen Schwierigkeiten, einzelne Gesichtsscans so exakt wie möglich übereinanderzulegen, kann Untersucher- abhängige Fehler hervorrufen. Das Setzen einzelner Landmarks wird manuell getätigt, so können Ungenauigkeiten entstehen (und konsekutiv für das daraus entstehende Streckennetz). Das ist ebenso der Fall für die Definition der Landmarks, an denen die Software die Gesichtsmodelle abgleichen soll, damit eine bestmögliche Übereinanderlagerung durchführbar ist, sowie es Ansatzpunkt der Funktion "Global registration" in Geomagic® Studio11 ist.

Ein Plus des entwickelten Reportes ist die farbliche Visualisierung der Abweichungen und symmetrischen Areale im Gesicht; Entwicklungspotential bietet die in Grüntönen abgestufte Skala der Sinus® Software.

4.2 Diskussion des Evaluationsbogens und der Ergebnisse

Eine neue Funktion des Evaluationsbogens ist die Epikrise. Ein Abriss der Krankengeschichte kann dem Anwender zur eigenen Übersichtlichkeit dienen, den Progress beschreiben oder weiterbehandelnde Kollegen informieren, sodass Verständnisprobleme zur Anamnese und Behandlung auf ein Minimum reduziert werden können. Die problemlose Speicherung des Evaluationsbogens schafft die Voraussetzung für eine beständige Archivierung. Die Zusammenfügung der einzelnen Methoden in den Evaluationsbogen ist komplikationslos. Die Auswahl von 3D- und 2D-Analysen mit der Geomagic® Studio11 und Sinus® Software anstelle von Streckenabweichungen bestimmt durch Differenzbildung erscheint im Sinne der Weiterentwicklung sinnvoller.

Es konnte gezeigt werden, dass sich sowohl die Standardabweichung als auch der Effektivwert in einer 2D- beziehungsweise 3D-Analyse verkleinern, je symmetrischer die Person ist. Für den Fall der "Idealsymmetrie" am industriell gefertigten Puppenmodell bedeutet dies, dass die Werte sowohl für die 3D-Analyse (SD und RMS 0.76) als auch 2D-Analyse (SD 0.97) kleiner sind. Dass eine vollkommene Symmetrie nicht einmal bei der Puppe erreicht werden kann, lässt sich durch industrielle Fertigungsfehler erklären. Bei der Probandin wurden im Vergleich bereits eine SD beziehungsweise ein RMS von 3.59 festgestellt. Die zweidimensionale Auswertung mit Schnitten auf Nasen- (SD 2.45) und Wangenniveau (SD 4.37) bestätigen den Trend, dass bei einer lebenden Person generell eine größere Ungenauigkeit- sprich Asymmetrie - zu erwarten ist. Die Gründe hierfür sind neben möglichen Pathologien und oben beschriebenen Limitationen bei der Aufnahme und Bearbeitung vordergründig auch in der Mimik zu suchen. Nicht zuletzt sollte bei der Erfassung von Körperoberflächen bedacht werden, dass im Alter Hautveränderungen im Sinne vermehrter Falten auftreten können. Die bei der Probandin erhobenen Werte bieten allerdings eine interessante Diskussionsgrundlage: Wenn man diese mit den präoperativen Werten der Patientinnen (S.F.: SD/RMS 1.32 für 3D, SD 1.51 für 2D beziehungsweise V.R.: SD/RMS 6.76 für 3D, 6.49 [Nase] bzw. 4.89 [Wange], vergleicht, lässt sich feststellen, dass das Ergebnis für die Probandin D.O. zwischen diesen Werten liegt, wobei bei der Probandin keine ästhetische Störung wahrgenommen wird oder Veranlassung für eine plastische Korrekturoperation besteht. Hier schließt sich der

Kreis zu der Fragestellung, ob sich Schönheit objektivieren lässt. Mit den in dieser Dissertationsschrift vorgestellten Verfahren lässt sich der Teilaspekt der Symmetrie prägnant und aussagekräftig untersuchen. Vergleichbare Messdaten lassen sich erheben und übersichtlich visualisieren. Letztlich lässt sich ein subjektives Empfinden des Individuums aber nicht ganz ausschalten, wie die Beschreibung der Personen mit Abweichungen alle im Bereich unter 7mm zeigt. Die Demonstration von zahlenmäßig erfassten "Abweichungen" im Sinne der Ergebnisse des eigenen Evaluationsbogens mag zusätzlich, neben der eklatanten wissenschaftlichen Objektivität, für die Einzelperson dazu beitragen, dem "Empfinden" mit sachlichen Informationen eine neutrale Richtung zu geben.

Neben den Patientenbeispielen aus dem ästhetischen Bereich können Möglichkeiten und Limitation auch anhand des rekonstruktiven Evaluationsbogens deutlich gemacht werden. Auch hier ist der positive Trend (L.X. SD 6.2; RMS 7.18 für 3D und SD 3.17 [Auge], 10.06 [Nase], 9.56 [Wange] für 2D präoperativ. Demgegenüber stehen postoperativ L.X. SD/RMS 5.82 für 3D und SD 2.71 [Auge], 6.22 [Nase], 9.42 [Wange] für 2D) ablesbar. Allerdings ist dies sicherlich als Sonderfall zu behandeln, da SD und RMS über das gesamte Gesicht ermittelt werden. Die offensichtlichen und rein optisch erkennbaren Deformierungen bzw. Defektdeckungen (Lappen in der oberen Gesichtshälfte), die zu erheblichen asymmetrischen Weichteilen führen, sollten für sich genommen zukünftig einzeln analysiert werden. Allein die Chance, die Patientin präoperativ zu scannen und an einem Computermodell Berechnungen durchzuführen, ist ein enorm bedeutender Schritt hin zu einer präzisen Operationsplanung mit Deklaration eines (temporären) Behandlungszieles und der postoperativen Evaluation dessen. Wünschenswert wäre zukünftig eine Konzentration und Präzision der Ästhetischen Einheiten, um (Behandlungs-) Schwerpunkte zu fokussieren.

4.3 Schlussfolgerung und Ausblick

Im Vergleich zu den anfangs ausgeführten Vorgehensweisen, eine objektive Methode für die dreidimensionale Analyse der Gesichtsgeometrie zu erzeugen, ist mit der Entwicklung des entstandenen Evaluationsbogens eine effektive Lösung gelungen. Die Kombination zahlreicher Methoden, sei es nur die Berechnung absoluter und prozentualer Abweichung als einfachstem Schritt oder aber die komplexe Analyse inklusive der Tiefendimension im weiterentwickelten Computerprogramm: Der anwenderfreundliche Report bietet die Chance, mehrere Auswertungen vorzunehmen. Forderung an zukünftige Forschung.

Fundamentale Bedeutung hat die individuell auf den Patienten abstimmbare Anpassung. Es besteht die Aussicht, für spezielle Fragestellungen in der Plastischen, Ästhetischen und Rekonstruktiven Chirurgie Schwerpunkte zu setzen oder ein bestimmtes Verfahren zu bevorzugen. Dem Patienten kann anschaulich das zu Grunde liegende Problem erklärt werden, der Behandlungserfolg dokumentiert sowie mit der Trendanalyse und dem Prä - Postoperativen Vergleich konkret der Behandlungserfolg demonstriert werden. Die leichte Handhabung ist der entscheidende Vorteil, der eine Durchsetzung im klinischen Alltag realisierbar - und wünschenswert - macht. Für die zukünftige Weiterentwicklung wäre die Einhaltung der standardisierten Aufnahmebedingungen erstrebenswert. Eine Automatisierung der Landmark - Setzung könnte die durch manuelle Praktiken entstehenden Fehler vermindern.

Eine Berechnung von Fläche und Volumen, wie sie für die Brust ([36]Eder et al., 2011, S. 1153) beschrieben ist, wäre eine sinnvolle und für die Zukunft essentielle Erweiterung des Reportes. Für die Voluminaberechnung müsste ein abgeschlossenes Modell (vergleiche Brustmodelle mit einer Thoraxhinterwand, Wacker[112], S.18 sowie Kovacs,

L. et. al., [74]) entwickelt werden. Die Bestimmung der Fläche (Volumina dazu analog) eines dreidimensionalen Körpers erfordert eine Vielzahl von Punkten, nicht nur einzelner Landmarks, die fest in der Software integriert werden sollten. Der hier vorgestellte erste Schritt mit einer Flächenbestimmung durch drei Landmarks ist zu abstrakt (vergleiche Abb.38), umfasst nicht die gesamte Gesichtsfläche und muss definitiv in dieser Hinsicht zukünftig weiterentwickelt werden. Bezüglich dieses Punktes konnten aber durch die Definition der sinnvoll verwendbaren Landmarks und Strecken sowie durch das Aufzeigen der notwendigen Weiterentwicklungen innerhalb der Software erste wertvolle Impulse gesetzt werden.

Ebenso kann eine „Best-fit“ - Funktion bei der Übereinanderlagerung zweier Computermodelle (zum Beispiel präoperativ-postoperativ-Vergleich) anhand definierter Punkte Messungenauigkeiten reduzieren. Eine selbsttätige standardisierte Farbskala würde den direkten visuellen Eindruck optimieren, hierbei sollte bei der Sinus® Software auch auf unterschiedliche Farben zurückgegriffen werden, damit zukünftig nicht durch Grüntöne eine Symmetrie suggeriert wird, die nicht besteht. Ein weiterer Fortschritt wäre das automatische Einfügen der Ästhetischen Einheiten von der Software in den Gesichtsreport sowie die grundlegende Vereinfachung der Erstellung: Ziel sollte sein, sich die Trendanalyse und den Compare durch Anklicken eines Buttons direkt ausgeben zu lassen. Diese Arbeit stellt überhaupt den ersten Ansatz zur fazialen Analyse dar. Für diesen Zeitpunkt ist - unabhängig der aufgezeigten Optimierungsmöglichkeiten - die hier präsentierte Entwicklung und Darstellung der Ergebnisse aus diesen Gründen sehr vielversprechend.

Als Anknüpfungspunkt für weitere Forschung ist als besonders interessante Frage hervorzuheben, ob Asymmetrien unterschiedlich „bewertet“ werden könnten. Damit ist gemeint, dass im Folgenden untersucht werden sollte, ob beispielsweise eine Abweichung im Bereich der Mundwinkel (relativ kleines Areal) durch die Vielfalt des mimischen Spiels einen größeren Einfluss auf den entstehenden „Schweregrad“ der Asymmetrie hat als vergleichsweise eine solche im Bereich der Stirn.

Neben dem möglichen Einzug des Evaluationsbogens in den klinischen Alltag ist dessen stete Weiterentwicklung und Erweiterung erwünscht, um der Komplexität der Thematik mit ihren Fortschritten - insbesondere der Software - gerecht zu werden. Die unkomplizierte Speicherung schafft die Voraussetzung, in der Zukunft Vergleichs- oder Präzedenzfälle in Form von Datenbanken klinikintern und darüber hinaus vernetzend zugänglich zu machen - ein gelungener Beitrag zur intra- und interdisziplinären Erweiterung des wissenschaftlichen und klinisch-praktisch-orientierten Horizontes. Auf Grund der vielen bereits im Vorfeld erläuterten Vorzüge des Laserscans und Evaluationsbogens ist eine Einhaltung der Standards für die Erzielung eines optimalen Ergebnisses wünschenswert.

5. Zusammenfassung

Relevanz:

Bis dato gibt es zwar zahlreiche und verschiedene Methoden, die Gesichtsoberfläche zu quantifizieren, aber noch keine Möglichkeit, Ergebnisse standardisiert zu erfassen. Damit fehlt eine Objektivierbarkeit von Behandlungsverläufen und bei Fragestellungen in der Plastischen, Ästhetischen und Rekonstruktiven Chirurgie insbesondere von Operationsresultaten. Neben einer durch Visualisierung besseren Verständigung zwischen Arzt und Patient sind insbesondere die Aspekte der reproduzierbaren aber auch ökonomischen Dokumentation, Archivierung und Bereitstellung zur Analyse für Chirurgen sowie zu Forschungszwecken zu betonen.

Forschungsfrage:

Die dreidimensionale Registrierung der Körperoberfläche im Gesichtsbereich mittels Laserscan ist eine nicht - invasive objektive Untersuchungsmethode, die mit Hilfe virtueller Weiterverarbeitung an Computermodellen und spezieller Software zu einer reproduzierbaren Quantifizierung verhilft. Die Entwicklung eines strukturierten Evaluationsbogen, der weiterführende Analysen erlaubt, ist abschließendes Ziel dieser Dissertation. Dieser soll in der Plastischen, Rekonstruktiven und Ästhetischen Chirurgie als geeignetes Instrument für die Beurteilung von Operationsverläufen, auch im Hinblick auf Qualitätskontrolle, eingesetzt werden.

Material und Methoden:

Es erfolgt der 3D-Gesichtsoberflächenscan, dessen Einzelbilder am Computer zu einem Modell zusammengefügt werden. Die Definition von anatomischen Punkten, Landmarks, ist Voraussetzung für erste Berechnungen von Strecken. Anhand medianer Landmarks und Differenzbildung von rechts zu links können absolute und prozentuale Abweichungen angegeben werden. Auf Grundlage von bestimmten Vernetzungen ist so auch zumindest eine abstrakte Flächen-, Volumen- und Winkelberechnung möglich. Optimiert wird der Ansatz durch entsprechende dreidimensionale Analysen mittels der Software Geomagic®Studio11 und Sinus®. Letztere wird für diese Zwecke weiterentwickelt, unter anderem für die Implementierung so genannter Ästhetischer Einheiten; die separat bei spezieller Fragestellung vermessen werden können. Mit Hilfe einer Spiegelung in der Medianebene wird letztlich eine Symmetrieanalyse ermöglicht, die darüber hinaus durch Kolorierung dargestellt wird.

Ein Evaluationsbogen wird entwickelt, der Patientendaten und klinische Daten (Größe, Gewicht, BMI, Diagnose, Operation) beinhaltet. Anhand der Analyse kann so für den Verlauf präoperativ - postoperativ eine Einzelaufstellung der Ergebnisse erfolgen. Als besondere Funktion stellt die Trendanalyse die Tendenz heraus. Die Zusammenfassung und ein Ausblick erfolgt in der Epikrise. Ergänzend wirken Fotografien.

Nach Akquisition von Patientendaten wurden strukturierte Evaluationsbögen am symmetrischen Puppenmodell, an einer gesunden Probandin sowie drei Patientinnen erstellt; zwei davon mit ästhetischer Fragestellung, eine mit rekonstruktivem Ziel.

Ergebnis:

Resultat der Arbeit ist ein entwickelter Evaluationsbogen, der objektiv, reproduzierbar und kostengünstig ist. Die Vorarbeiten, die für eine Analyse notwendig sind, belaufen sich auf wenige Minuten der Laserscanaufnahme für den Patienten; darüber hinaus sind diese nebenwirkungsfrei und schmerzlos. Eine individuelle Darstellung und Visualisierung sind somit schnell und effizient möglich.

Interpretation:

Der Evaluationsbogen bietet eine innovative, strukturierte Dokumentationsmöglichkeit von Behandlungs- und Operationsverläufen. Die Erstellung des virtuellen Modelles inklusive Bearbeitungsmöglichkeit bietet dem Patienten mit wenig Aufwand detaillierte Ergebnisse. Die dreidimensionale Methode bietet eine vielseitige Analysemöglichkeit und leistet Gewähr, prä- und postoperative Resultate präzise zu dokumentieren. Im Sinne einer stetigen Verbesserung von ärztlicher Arbeit leistet der Evaluationsbogen daran einen bedeutungsvollen Anteil für die Plastische, Rekonstruktive und Ästhetische Chirurgie.

6. Literaturverzeichnis

1. Bauvorhaben Bürogebäude "Das Auge" <http://www.alpha-ic.com/en/references/das-auge-darmstadt.html>, Stand: 15.03.2013
2. ©Geomagic, Applications of geomagic studio in orthopaedic trauma, Herstellerangaben.
3. ©Geomagic, eShell-Turnkey solution for custom manufacturing of hearing-aid shells, Herstellerangaben.
4. ©Geomagic, Medical engineering-projects TUM.
5. ©Geomagic, Plastic cuergeries- Breast analysis, Herstellerangaben. (2003)
6. ©Geomagic, Roscoe Cleft Surgeries - helping kids, Herstellerangaben. (2009)
7. ©Geomagic, Save billions- help billions Dr. House Project, Herstellerangaben. (2010)
8. ©Geomagic, Studio Hand Inspection, Herstellerangaben.
9. Konica Minolta, 3D Laserscanner- applications in medical science, Herstellerangaben. (2009)
10. Konica Minolta, Vivid 910 non contact 3-D digitizer, Herstellerangaben. (2002)
11. Physik Institut für Physik, FAU, Ultraschall (Sonographie) physikalische Grundlagen (2006)
12. **Adams, B.N.**, AgeMaps, http://www.bobbyneeladams.com/age_7.jpg, Stand: 13.03.2013
13. **Adams, B.N.**, FamilyTree, <http://www.bobbyneeladams.com/images/fam11.jpg>, Stand: 13.03.2013
14. **Adamson, P.A. and Doud Galli, S.K.**, Modern concepts of beauty. *Plast. Surg. Nurs.* 29 (2009) 5-9.
15. **Adamson, P.A. and Zavod, M.B.**, Changing perceptions of beauty: a surgeon's perspective. *Facial Plast. Surg.* 22 (2006) 188-193.
16. **Allianz-Fraunhofer**, Leitfaden zur optischen 3-D- Messtechnik. (2005)
17. **Anderl, H., Zur Nedden, D., Muhlbauer, W., Twerdy, K., Zanon, E., Wicke, K., and Knapp, R.**, CT-guided stereolithography as a new tool in craniofacial surgery. *Br. J. Plast. Surg.* 47 (1994) 60-64.
18. **Atiyeh, B.S. and Hayek, S.N.**, Numeric expression of aesthetics and beauty. *Aesthetic Plast. Surg.* 32 (2008) 209-216; discussion 217-219.
19. **Aung, S.C., Ngim, R.C., and Lee, S.T.**, Evaluation of the laser scanner as a surface measuring tool and its accuracy compared with direct facial anthropometric measurements. *Br. J. Plast. Surg.* 48 (1995) 551-558.
20. **Ayoub, A.F., Wray, D., Moos, K.F., Siebert, P., Jin, J., Niblett, T.B., Urquhart, C., and Mowforth, R.**, Three-dimensional modeling for modern diagnosis and planning in maxillofacial surgery. *Int. J. Adult Orthodon Orthognath. Surg.* 11 (1996) 225-233.
21. **Baik, H.S., Lee, H.J., and Lee, K.J.**, A proposal for soft tissue landmarks for craniofacial analysis using 3-dimensional laser scan imaging. *World J. Orthod.* 7 (2006) 7-14.
22. **Bashour, M.**, History and Current Concepts in the Analysis of Facial Attractiveness. *Plastic and Reconstructive Surgery* 118 (2006) 741-756.
23. **Beitin, A.F.**, Der Schrei. Kunst- und Kulturgeschichte eines Schlüsselmotivs in der deutschen Malerei und Grafik des 20. Jahrhunderts, Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, 2004

24. **Bill, M.**, Swiss Commemorative Coin 1987 CHF 5 obverse, <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Swiss-Commemorative-Coin-1987-CHF-5-obverse.png?uselang=de>, Stand: 14.03.2013
25. **Bongartz, J.**, Hochauflösende dreidimensionale Gesichtsprofilvermessung mit kurzgepulster Holographie, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, 2002
26. **Brandmüller, T.**, Prinzip der Kegelstrahl-Tomografie, http://commons.wikimedia.org/wiki/File:3D_Computed_Tomography.png, Stand: 15.03.2012
27. **Burke, P.H. and Beard, L.F.**, Stereo-photogrammetry of the face. Rep. Congr. Eur. Orthod. Soc. (1967) 279-293.
28. **Chan, H.L., Misch, K., and Wang, H.L.**, Dental imaging in implant treatment planning. Implant. Dent. 19 (2010) 288-298.
29. **Coward, T.J., Scott, B.J., Watson, R.M., and Richards, R.**, Identifying the position of an ear from a laser scan: the significance for planning rehabilitation. Int. J. Oral Maxillofac. Surg. 31 (2002) 244-251.
30. **Coward, T.J., Scott, B.J., Watson, R.M., and Richards, R.**, Laser scanning of the ear identifying the shape and position in subjects with normal facial symmetry. Int. J. Oral Maxillofac. Surg. 29 (2000) 18-23.
31. **Coward, T.J., Watson, R.M., and Scott, B.J.**, Laser scanning for the ID of repeatable landmarks - ears and face. Br. J. Plast. Surg. 50 (1997) 308-314.
32. **Cunningham, M.R., Barbee, A.P., and Pike, C.L.**, What do women want? Facialmetric assessment of multiple motives in the perception of male facial physical attractiveness. J. Pers. Soc. Psychol. 59 (1990) 61-72.
33. **Decr, J.**, Toronto City Hall from Sheraton hotel room, http://commons.wikimedia.org/wiki/File:City_Hall,_Toronto,_Ontario.jpg, Stand: 14.03.2013
34. **Dulnuan, D.J., Matsuoka, M., Uketa, E., Hayashi, K., Murotsuki, J., Nishimura, G., and Hata, T.**, Antenatal three-dimensional sonographic features of Roberts syndrome. Arch. Gynecol. Obstet. 284 (2011) 241-244.
35. **Eco, U.**, Die Geschichte der Schönheit DTV Deutscher Taschenbuch Verlag 2009,
36. **Eder, M., v. Waldenfels, F., Sichtermann, M., Schuster, T., Papadopoulos, N.A., Machens, H.-G., Biemer, E., and Kovacs, L.**, Three-dimensional evaluation of breast contour and volume changes following subpectoral augmentation mammoplasty over 6 months. JPRAS 64 (2011) 1152-1160.
37. **Eder, M., v. Waldenfels, F., Swobodnik, A., Klöppel, M., Pape, A.-K., Schuster, T., Raith, S., Kitzler, E., Papadopoulos, N.A., Machens, H.-G., and Kovacs, L.**, Objective breast symmetry evaluation using 3-D surface imaging. The Breast 21 (2011) 152-158.
38. **Europäische Zentralbank, B.d.I.**, 1-Euro-Münze Italien, [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:1_euro_coin_It_serie_1_\(1\).png&filetimestamp=20110526155712](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:1_euro_coin_It_serie_1_(1).png&filetimestamp=20110526155712), Stand: 14.03.2013
39. **Farkas, L.G.**, Anthropometry of the Head and Face, New Raven Press, 1994,
40. **Farkas, L.G.**, Anthropometry of the Head and Face. New Raven Press (1994)
41. **Farkas, L.G., Bryson, W., and Klotz, J.**, Is photogrammetry of the face reliable? Plastic and Reconstructive surgery 66 (1980) 346-355.
42. **Fattahi, T.T.**, An overview of facial aesthetic units. Journal of oral and maxillofacial surgery : official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons 61 (2003) 1207-1211.

43. **Fehling, H. and Gogel, D.,** Gesamthochschule Kassel, <http://www.fehlingundgogel.de/gesamthochschule-kassel/>, Stand: 19.03.2013
44. **Ferrario, V.F., Sforza, C., Colombo, A., Schmitz, J.H., and Serrao, G.,** Morphometry of the orbital region: a soft-tissue study from adolescence to mid-adulthood. *Plast.Reconstr. Surg.* 108 (2001) 285-293.
45. **Ferrario, V.F., Sforza, C., Miani, A., Jr., and Serrao, G.,** A three-dimensional evaluation of human facial asymmetry. *J. Anat.* 186 (Pt 1) (1995) 103-110.
46. **Ferrario, V.F., Sforza, C., Poggio, C.E., and Schmitz, J.H.,** Facial Volume Changes During Normal Human Growth and Development. *Anat. Rec.* 250 (1998) 480-487.
47. **Ferrario, V.F., Sforza, C., Serrao, G., Ciusa, V., and Dellavia, C.,** Growth and Aging of Facial Soft Tissues: A Computerized Three-Dimensional Mesh Diagram Analysis. *Clin. Anat.* 16 (2003) 420-433.
48. **Ferrario, V.F., Sforza, C., Serrao, G., and Miani, A., Jr.,** A computerized non-invasive method for the assessment of human facial volume. *J. Craniomaxillofac. Surg.* 23 (1995) 280-286.
49. **Frings, M.,** Mensch und Maß- Anthropomorphe Elemente in der Architekturtheorie des Quattrocento Verlag und Datenbank für Geisteswissenschaften, 1998,
50. **Galilea,** Goldener Schnitt am Beispiel eines Efeublattes, <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Efeublatt.jpg>

, Stand: 19.03.2013

51. **Geomagic,** ®Geomagic, Dental and medical approaches, Herstellerangaben. (2009)
52. **Germec-Cakan, D., Canter, H.I., Nur, B., and Arun, T.,** Comparison of facial soft tissue measurements on three-dimensional images and models obtained with different methods. *J. Craniofac. Surg.* 21 (2010) 1393-1399.
53. **Grayson, B., Cutting, C., Bookstein, F.L., Kim, H., and McCarthy, J.G.,** The three-dimensional cephalogram: theory, technique, and clinical application. *Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop.* 94 (1988) 327-337.
54. **Gropius, W.,** <http://de.wikipedia.org/wiki/Architektur>, Stand: 19.03.2013
55. **Gründl, M., Klein, S., Horczakiwskyj, R., Feser, D., Jung, M., Eisenmann-Klein, M., and Prantl, L.,** The "jaguar's eye" as a new beauty trend? Age-related effects in judging the attractiveness of oblique eye axis. *Aesthetic Plast. Surg.* 32 (2008) 915-919.
56. **Gwilliam, J.R., Cunningham, S.J., and Hutton, T.,** Reproducibility of soft tissue landmarks on three-dimensional facial scans. *Eur. J. Orthod.* 28 (2006) 408-415.
57. **Hajeer, M.Y., Ayoub, A.F., Millett, D.T., Bock, M., and Siebert, J.P.,** Three-dimensional imaging in orthognathic surgery: the clinical application of a new method. *Int. J. Adult Orthodon. Orthognath. Surg.* 17 (2002) 318-330.
58. **Hell, B., Walter, F.A., Schreiber, S., Blase, H., Bielke, G., Meindl, S., and Stein, G.,** Three-dimensional ultrasonography in maxillofacial surgery. A new diagnostic tool. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 22 (1993) 173-177.
59. **Hoehnke, C., Eder, M., Papadopulos, N.A., Zimmermann, A., Brockmann, G., Biemer, E., and Kovacs, L.,** Minimal invasive reconstruction of posttraumatic hemi facial atrophy by 3-D computer-assisted lipofilling. *J. Plast. Reconstr. Aesthet. Surg.* 60 (2007) 1138-1144.
60. **Holberg, C.,** Kephalmetrie- Quo vadis? *Bayrisches Zahnärztlblatt* 5 (2007) 33-35.
61. **Holberg, C., Schwenzler, K., Mahaini, L., and Rudzki-Janson, I.,** Accuracy of facial plaster casts. *Angle. Orthod.* 76 (2006) 605-611.

62. **Holland, F.M.**, Symmetrievergleich nach offener und geschlossener Nasenspitzen-, Nasenflügel- und Naseneingangskorrektur bei Spaltpatienten, Technische Universität München, Klinikum rechts der Isar, 2007
63. **Honn, M. and Goz, G.**, The ideal of facial beauty: a review. *J. Orofac. Orthop.* 68 (2007) 6-16.
64. **Honrado, C.P. and Larrabee, W.F.J.**, Update in three-dimensional imaging in facial plastic surgery. *Curr. Opin. Otolaryngol. Head Neck Surg.* 12 (2004) 327-331.
65. **Iglesias-Linares, A., Yanez-Vico, R.M., Moreno-Manteca, B., Moreno-Fernandez, A.M., Mendoza-Mendoza, A., and Solano-Reina, E.**, Common Standards in Facial Esthetics: Craniofacial Analysis of Most Attractive Black and White Subjects According to People Magazine During Previous 10 Years. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 69 (2011) 216-224.
66. **Jones, B.C., DeBruine, L.M., and Little, A.C.**, The role of symmetry in attraction to average faces. *Percept. Psychophys.* 69 (2007) 1273-1277.
67. **Jordan, P.-Y.**, *Le Modulor.* (2003)
68. **Katsumata, A., Fujishita, M., Maeda, M., Ariji, Y., Ariji, E., and Langlais, R.P.**, 3D-CT evaluation of facial asymmetry. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* 99 (2005) 212-220.
69. **Kau, C.H., Richmond, S., Zhurov, A.I., Knox, J., Chestnutt, I., Hartles, F., and Playle, R.**, Reliability of measuring facial morphology with a 3-dimensional laser scanning system. *Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop.* 128 (2005) 424- 430.
70. **Kau, C.H., Zhurov, A., Bibb, R., Hunter, L., and Richmond, S.**, The investigation of the changing facial appearance of identical twins employing a three-dimensional laser imaging system. *Orthod. Craniofac. Res.* 8 (2005) 85-90.
71. **Knell, H.**, *Vitruvs Architekturtheorie - eine Einführung* Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 2008, 3. Auflage,
72. **Komori, M., Kawamura, S., and Ishihara, S.**, Effect of averageness and sexual dimorphism on the judgment of facial attractiveness. *Vision Res.* 49 (2009) 862-869.
73. **Kovacs**, *Innovative Technologien für die dreidimensionale Erfassung und Darstellung der menschlichen Körperoberfläche und deren Bedeutung für die Plastische, Rekonstruktive und Ästhetische Chirurgie*, Chirurgische Klinik und Poliklinik Klinikum rechts der Isar Technische Universität München 2006
74. **Kovacs, L., Eder, M., Hollweck, R., Zimmermann, A., Settles, M., Schneider, A., Udosic, K., Schwenger-Zimmerer, K., Papadopoulos, N., and Biemer, E.**, New Aspects of Breast Volume Measurement Using 3-Dimensional Surface Imaging. *Ann. Plast. Surg.* (2006) 602-610.
75. **Kovacs, L., Zimmermann, A., Brockmann, G., Baurecht, H., Schwenger-Zimmerer, K., Papadopoulos, N.A., Papadopoulos, M.A., Sader, R., Biemer, E., and Zeilhofer, H.F.**, Accuracy and Precision of the Three-Dimensional Assessment of the Facial Surface Using a 3-D Laser Scanner. *IEEE Trans. Med. Imaging* 25 (2006)
76. **Kovacs, L., Zimmermann, A., Brockmann, G., Gühring, M., Baurecht, H., Papadopoulos, N.A., Schwenger-Zimmerer, K., Sader, R., Biemer, E., and Zeilhofer, H.F.**, Three-dimensional recording of the human face with a 3D laser scanner. *J. Plast. Reconstr. Aesthet. Surg.* 59 (2006) 1193-1202.
77. **Kovacs, L., Zimmermann, A., Wawrzyn, H., Schwenger, K., Seitz, H., Tille, C., Papadopoulos, N.A., Sader, R., Zeilhofer, H.F., and Biemer, E.**, Computer aided

- surgical reconstruction after complex facial burn injuries – opportunities and limitations. *Burns*. 31 (2004) 85-91.
78. **Kragstov, J., Bosch, C., Gyldensted, C., and Sindet-Pedersen, S.**, Comparison of the reliability of craniofacial anatomic landmarks based on cephalometric radiographs and three-dimensional CT scans. *Cleft Palate Craniofac. J.* 34 (1997) 111-116.
 79. **Landes, C.A., Goral, W.A., Sader, R., and Mack, M.G.**, Three-dimensional versus two-dimensional sonography of the temporomandibular joint in comparison to MRI. *Eur. J. Radiol.* 61 (2007) 235-244.
 80. **Langlois, J.H. and Roggman, L.A.**, Attractive faces are only average. *Psychological Science* 1 (1990) 115-121.
 81. **Larrabee, W.F., Jr.**, Principles of facial reconstruction, Lippincott- Raven Publishing House, 1995,
 82. **Ludwig**, Vermessung der Oberflächengeometrie und Quantifizierung der Asymmetrie des Gesichtes, Klinik und Poliklinik für Plastische Chirurgie und Handchirurgie Technische Universität München, 2005
 83. **Lundström, A. and Lundström, F.**, The Frankfort horizontal as a basis for cephalometric analysis. *Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop.* 107 (1995) 537- 540.
 84. **Malkoc, S., Demir, A., Uysal, T., and Canbuldu, N.**, Angular photogrammetric analysis of the soft tissue facial profile of Turkish adults. *Eur. J. Orthod.* 31 (2009) 174-179.
 85. **Marquardt, S.**, <http://www.femininebeauty.info/i/marq.masks.gif>, Stand: 13.03.2013
 86. **McCance, A.M., Moss, J.P., Fright, W.R., Linney, A.D., James, D.R., Coghlan, K., and Mars, M.**, Three-dimensional analysis techniques--Part 4: Three-dimensional analysis of bone and soft tissue to bone ratio of movements in 24 cleft palate patients following Le Fort I osteotomy: a preliminary report. *Cleft Palate Craniofac. J.* 34 (1997) 58-62.
 87. **Moss, J.P., Linney, A.D., and Lowey, M.N.**, The Use of Three-Dimensional Techniques in Facial Esthetics. *Semin. Orthod.* 1 (1995) 94-104.
 88. **N., N.**, Goldener Schnitt am Beispiel der klassischen Säule http://www.pagus.de/seminar/skript/img/goldener_schnitt_saeule.png, Stand: 13.03.2013
 89. **Nahredi- Rainer, P.**, Architektur und Harmonie- Zahl, Maß und Proportion in der abendländischen Baukunst, Dumont, 1999, 6. Auflage,
 90. **Nötzel, F., Schultz, C., and Hartung, M.**, Fernröntgenseitenbildanalyse, Fachbuch Dt. Zahnärzterverlag, 2007,
 91. **Oumeish, O.Y.**, The cultural and philosophical concepts of cosmetics in beauty and art through the medical history of mankind. *Clin. Dermatol.* 19 (2001) 375-386.
 92. **Pallett, P.M., Link, S., and Lee, K.**, New "golden" ratios for facial beauty. *Vision Res.* 50 (2010) 149-154.
 93. **Papel, I.D.**, Facial Plastic and Reconstructive Surgery, Thieme Verlag, 2002,
 94. **Pollard, J., Shepherd, J., and Shepherd, J.**, Average Faces are average faces *Current Psychology* 18 (1999) 98-103.
 95. **Pollio, M.V. and Ryff, W.H.**, Menschliche Proportionsfigur, http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fotothek_df_tg_0001128_Geometrie_%E_Zeichnung_%E_Mensch_%E_Proportion.jpg, Stand: 14.03.2013
 96. **Proff, P.C.**, Vertikale Gesichtsschädelanomalien – Bedeutung und Behandlungsansätze in der orthognathen Chirurgie, Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Universität Würzburg, 2004

97. **Rabey, G.**, Craniofacial morphanalysis. Proc. R. Soc. Med. 64 (1971) 103-111.
98. **Roland, Z.**, Centre Le Corbusier (Heidi Weber Museum) in Zürich-Seefeld (Switzerland), [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Z%C3%BCrich - Seefeld - Centre Le Courbusier IMG 1115 ShiftN.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Z%C3%BCrich_-_Seefeld_-_Centre_Le_Courbusier_IMG_1115_ShiftN.jpg), Stand: 19.03.2013
99. **Roth, F.**, Protagoras-Der Mensch ist das Maß aller Dinge. Vortrag von Dr. phil. Florian Roth an der Münchner Volkshochschule, 15.12.03 (2003)
100. **Ryff, W.H.**, Grundriss Mailänder Dom, [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fotothek df tg 0000071 Architektur %E5 Geometrie %E5 Grundriss %E5 Mail%C3%A4nder Dom.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fotothek_df_tg_0000071_Architektur_%E5%9C%80_Geometrie_%E5%9C%80_Grundriss_%E5%9C%80_Mail%C3%A4nder_Dom.jpg), Stand: 14.03.2013
101. **Sackeim, H.A.**, Morphologic Asymmetries of the Face: A Review. Brain Cogn. 4 (1985) 296-312.
102. **Safran, B.**, The Mathematics of Beauty: The Divine Proportion's Effect on Facial Attractiveness, <http://ebookbrowse.com/the-mathematics-of-beauty-ben-safran-pdf-d16303803> Stand: 05.03.2013
103. **Saito, N., Nishijima, T., Fujimura, T., Moriwaki, S., and Takema, Y.**, Development of a new evaluation method for cheek sagging using a Moire 3D analysis system. Skin Res. Technol. 14 (2008) 287-292.
104. **Sforza, C., Grandi, G., Catti, F., Tommasi, D.G., Ugolini, A., and Ferrario, V.F.**, Age- and sex-related changes in the soft tissues of the orbital region. Forensic Science International 185 (2009) 115.e1-115.e8.
105. **Sholts, S.B., Warmlander, S.K., Flores, L.M., Miller, K.W., and Walker, P.L.**, Variation in the measurement of cranial volume and surface area using 3D laser scanning technology. J. Forensic Sci. 55 (2010) 871-876.
106. **Strahlenschutzkommission**, Orientierungshilfe für bildgebende Untersuchungen - Empfehlung der Strahlenschutzkommission. (2008)
107. **Takasaki, H.**, Moire topography. Appl. Opt. 9 (1970) 1467-1472.
108. **Thiel, F., Kosch, O., and Seifert, F.**, Implementation of ultra-wideband sensors for biomedical applications. Sensors (Basel) 10 (2009) 10778-10802.
109. **Toma, A.M., Zhurov, A., Playle, R., Ong, E., and Richmond, S.**, Reproducibility of facial soft tissue landmarks on 3D laser-scanned facial images. Orthod. Craniofac. Res. 12 (2008) 33-42.
110. **Vegter, F. and Hage, J.J.**, Clinical anthropometry and canons of the face in historical perspective. Plast. Reconstr. Surg. 106 (2000) 1090-1106.
111. **Vinci, L.D.**, Homo Vitruvianus, [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Da Vinci Vitruve Luc Viatour.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Da_Vinci_Vitruve_Luc_Viatour.jpg) Stand: 14.03.2013
112. **Wacker, C.P.V.**, Development of a structured breast report generation for an objective three- dimensional analysis of plastic, aesthetic and reconstructive breast surgery usind 3D- surface imaging, Medizinische Privatuniversität Salzburg, 2012
113. **Weinberg, S.M., Naidoo, S., Govier, D.P., Martin, R.A., Kane, A.A., and Marazita, M.L.**, Anthropometric Precision and Accuracy of digital 3D Photogrammetry comparing the Genex and 3dMD imaging systems with one another and with direct anthropometry. 17 (2006) 477-483.
114. **Wettstein, R., Kalbermatten, D.F., Rieger, U.M., Schumacher, R., Daborov, P., and Pierer, G.**, Laser Surface Scanning Analysis in Reconstructive Rhytidectomy. Aesthetic Plastic Surgery 30 (2006) 637-640.
115. **Whitaker, L.A., Morales, L., Jr., and Farkas, L.G.**, Aesthetic surgery of the supraorbital ridge and forehead structures. Plast. Reconstr. Surg. 78 (1986) 23-32.

116. **Wikipedia**, Centre Le Corbusier, Zürich- Seefeld.
117. **Wiora, G.**, Prinzipdarstellung eines Lasertriangulationssensors, http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/24/Laserprofilometer_EN.svg, Stand: 14.03.2013
118. **Wladyslaw**, Notre-Dame-du-Haut de Ronchamp, http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/thumb/2/29/Notre_Dame_du_Haut%28ws%29.jpg/800px-Notre_Dame_du_Haut%28ws%29.jpg, Stand: 19.03.2013
119. **Xia, J., Samman, N., Yeung, R.W., Shen, S.G., Wang, D., Ip, H.H., and Tideman, H.**, Three-dimensional virtual reality surgical planning and simulation workbench for orthognathic surgery. Int. J. Adult Orthodon. Orthognath. Surg 15 (2000) 265-282.
120. **Xia, J., Wang, D., Samman, N., Yeung, R.W., and Tideman, H.**, Computer-assisted three-dimensional surgical planning and simulation: 3D color facial model generation. Int. J. Oral Maxillofac. Surg. 29 (2000) 2-10.
121. **Yang, F., Leung, K.Y., Lee, Y.P., Chan, H.Y., and Tang, M.H.**, Fetal biometry by an inexperienced operator using two- and three-dimensional ultrasound. Ultrasound Obstet. Gynecol. 35 (2010) 566-571.
122. **Yano, H., Arakaki, M., and Hirano, A.**, Standard CT guided 3D models. Br. J. Plast. Surg. 47 (1994) 388.

7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Bobby Neel Adams, "FamilyTree"[13]	9
Abbildung 2 Bobby Neel Adams, "AgeMaps"[12]	9
Abbildung 3 Goldener Schnitt am Beispiel der klassischen Säule[88]	10
Abbildung 4 Goldener Schnitt am Beispiel eines Efeublattes[50]	10
Abbildung 5 Stephen Marquardt, "Gesichtsmaske" für die Schönheitsanalyse[85]	11
Abbildung 6 Menschliche Proportionsfigur[95]	13
Abbildung 7 Leonardo Da Vinci „Homo Vitruvianus“[111]	13
Abbildung 9 Technorama Winterthur, Messfigur nach Vorlage des vitruvianischen Menschen für Besucher	14
Abbildung 12: Anthropomimetischer Kirchengrundriss[49], S.423	16
Abbildung 14 Schweizer Gedenkmünze für Le Corbusier CHF 5 (1987)[24]	19
Abbildung 15 Centre Le Corbusier in Zürich[98]	19
Abbildung 16 Notre-Dame-du-Haut de Ronchamp,	19
Abbildung 17 Architektonische Nachahmung des	20
Abbildung 18 Menschliche Züge: Grundriss der	20
Abbildung 19 Bauvorhaben Bürogebäude	20
Abbildung 20 Methoden zur Quantifizierung der Gesichtsgeometrie	21
Abbildung 21 3D- Messverfahren mit Beispielen in der Medizin, modifiziert und erweitert nach Kovacs[73] (Kovacs, 2006, S.8)	22
Abbildung 22 optische Verfahren, modifiziert nach Kovacs[73] (Kovacs, 2006, S.11)	23
Abbildung 23 Prinzip der Kegelstrahl-Tomografie[26]	30
Abbildung 24 Grundprinzip der Triangulation: Kennt man die Strecke AB sowie die Winkel α und β , so ist die relative Lage des Punktes C zu A und B eindeutig bestimmt.[25]	31
Abbildung 25 Prinzipdarstellung eines Lasertriangulationssensors. Der Laserstrahl wird auf das Messobjekt projiziert. Das Objektiv bildet den Lichtfleck auf den CCD- oder PSD-Sensor ab. Eine Verschiebung des Objekts führt auch zu einer Verschiebung des Bildes auf dem Sensor.[117]	31
Abbildung 26 KONICA MINOLTA 3D Laserscanner[9]	34
Abbildung 27 dreidimensionales Computermodell vor der Bearbeitung in Geomagic®Studio11	39
Abbildung 28 dreidimensionales Computermodell während der Bearbeitung in Geomagic®Studio11	39
Abbildung 29 Landmarks am Puppenmodell: frontale Ansicht als Überblick	44
Abbildung 30 Ausgewählte Landmarks am Beispiel der Periocularregion	44
Abbildung 31 Ausgewählte Landmarks am Beispiel der Periauralregion	45
Abbildung 32 Ausgewählte Landmarks am Beispiel der Wange	45
Abbildung 33: Mediane Landmarks, Grundlage der Spiegelebene	46
Abbildung 34 Winkel im Sinus-Modell	51
Abbildung 35 Nasofrontalwinkel	52
Abbildung 36 Nasolabialwinkel	52
Abbildung 37 Nasomentalwinkel	52
Abbildung 38 Flächen am Sinus-Modell	53
Abbildung 39 Volumina am Sinus-Modell	55
Abbildung 40 „Aesthetic Units of the face“ ,	56
Abbildung 41 „Forehead subunits“, Larrabee, Chapter 3, Forehead, S.23	57
Abbildung 42 Stirn und Periocularregion	57
Abbildung 43 „Aesthetic subunits of the Periocular Region“	57
Abbildung 44 „Nasal Subunits“,Larrabee, Chapter 5, Nose, S.69	58
Abbildung 45 Perinasalregion	58
Abbildung 46 „Aesthetic Subunits, Cheek“ ,	59
Abbildung 47 Wangenregion	59
Abbildung 48 „Aesthetic Subunits of lip“, Larrabee, Chapter 8, Lips and Chin, S.171	60

<i>Abbildung 49 Perioralregion</i>	<i>60</i>
<i>Abbildung 50 „Aesthetic units oft the Ear“,</i>	<i>61</i>
<i>Abbildung 51 Periauralregion.....</i>	<i>61</i>
<i>Abbildung 52 Spiegelebene durch die Medianebene am Beispiel des Sinus- Puppenmodelles</i>	<i>65</i>
<i>Abbildung 53 2D-Compare am Puppenmodell, Geomagic®Studio11</i>	<i>66</i>
<i>Abbildung 54 3D-Compare am Puppenmodell, Geomagic®Studio11</i>	<i>66</i>
<i>Abbildung 55 3D-Compare am Puppenmodell, Sinus®Software.....</i>	<i>67</i>

8. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Überblick über die technischen Daten des Laserscanners[10]	38
<i>Tabelle 2 Definition der Landmarks</i>	42
<i>Tabelle 3 Vernetzung der Landmarks</i>	47
<i>Tabelle 4 Ästhetische Einheiten</i>	49
<i>Tabelle 5 Winkel</i>	52
<i>Tabelle 6 Flächenberechnung</i>	53
<i>Tabelle 7 Volumenberechnung</i>	54
<i>Tabelle 8 Übersicht über die Patientinnen</i>	68

9. Anhang

9.1 Einverständniserklärung

Forschungsgruppe Computer Aided Plastic Surgery (CAPS)

Leitung: PD Dr. med. L. Kovacs

Klinik und Poliklinik für Plastische Chirurgie und Handchirurgie

Klinikum rechts der Isar

Technische Universität München

Ismaninger Str. 22

81675 München

Tel.: 089 - 4140 - 2073 (Klinikum rechts der Isar)

Tel.: 089 - 289 - 10855 (IMETUM)

Einverständniserklärung des Patienten zur Verwendung von Bildmaterial

Ich, _____
(Vor- und Zuname, Geburtsdatum) ,

stimme der Anfertigung, Bearbeitung und Verwendung von Fotos, Dias, Scanaufnahmen, Videos und anderer Bildgebung ("Imaging-records"- Bildmaterial) von PD Dr. Kovacs oder einer von ihm beauftragten Person von mir oder von meinem Konterfei zu. Dabei handelt es sich um Material, welches in Verbindung mit den folgenden Verfahren der Plastischen Chirurgie

_____ (Eingriff

, Datum) erhoben wurde und in der Klinik und Poliklinik für Plastische Chirurgie und Handchirurgie am Klinikum rechts der Isar archiviert wird.

Ich verstehe und willige ein, dass solche Aufzeichnungen zum Zwecke wissenschaftlicher Arbeit im Rahmen medizinischer Forschung auch veröffentlicht werden dürfen; dies vor allem zum Zweck der Information der Ärzteschaft über neue Methoden, Ergebnisse, Themen und Innovationen im Bereich der Plastischen Chirurgie.

Weder ich, noch ein Mitglied meiner Familie, wird anhand des Namens in allen Publikationen zu identifizieren sein, Personen bezogene Daten werden anonymisiert. Unter bestimmten Umständen können die Fotos Merkmale aufweisen, die meine Identität erkennbar machen. Diesem stimme ich ___ zu ___ nicht zu (Zutreffendes bitte ankreuzen). Für den Fall, dass ich nicht zustimme, kann mein Bildmaterial anonymisiert verwendet werden. Es entstehen keine zeitlichen oder finanziellen Nachteile für mich; ich erkenne an, dass meinerseits keine

Forderungen finanzieller Art gestellt werden können.

Ich verstehe, dass ich das Recht besitze, diese Genehmigung schriftlich jederzeit widerrufen zu können. Sofern ich die Autorisierung nicht widerrufe, gilt die Erlaubnis für zehn Jahre.

Ich verstehe, dass ich es ablehnen kann, diese Genehmigung zu unterzeichnen und diese Ablehnung wird keine Auswirkungen auf die medizinische Behandlung zu irgendeinem Zeitpunkt haben.

Ich erkenne an, dass diese Einwilligung als freiwilliger Beitrag im Interesse der öffentlichen Bildung und Wissenschaft ist und bestätige, dass ich die vorliegende Ermächtigung und ihre Bedingungen vollständig verstehe.

Unterschrift Patient _____ Datum/Ort _____

Unterschrift Zeugen / Arzt: _____ Datum/Ort _____

9.2 Evaluationsbogen L.X.

Evaluationsbogen Gesichtsgeometrie

1. Allgemeine Angaben

Initialen, Studien-/Patientennummer	L.X.
Geschlecht	weiblich
Alter	zwischen 15 (präoperativ) und 17 Jahren (postoperativ III)

2. Klinische Daten

Größe	ohne Angaben
Gewicht	ohne Angaben
BMI (kg/m ²)	ohne Angaben
Diagnose	III- IV. gradige Verbrennungen im Gesichtsbereich mit knöcherner Beteiligung, Verlust des Auges/Nase, offener Sinus frontalis/maxillaris
Operation	plastische Rekonstruktion Gesicht+Nase bei Z.n. Latissimuslappen (China), Narbengewebsplastik <ul style="list-style-type: none">- Präformierung einer Nase im Bereich eines VRAM-Lappens (vertikaler abdominaler myokutaner Rectus abdominis Lappen)- Narbengewebsplastik mit VRAM
Operationsdatum	03/2003- 03/2005

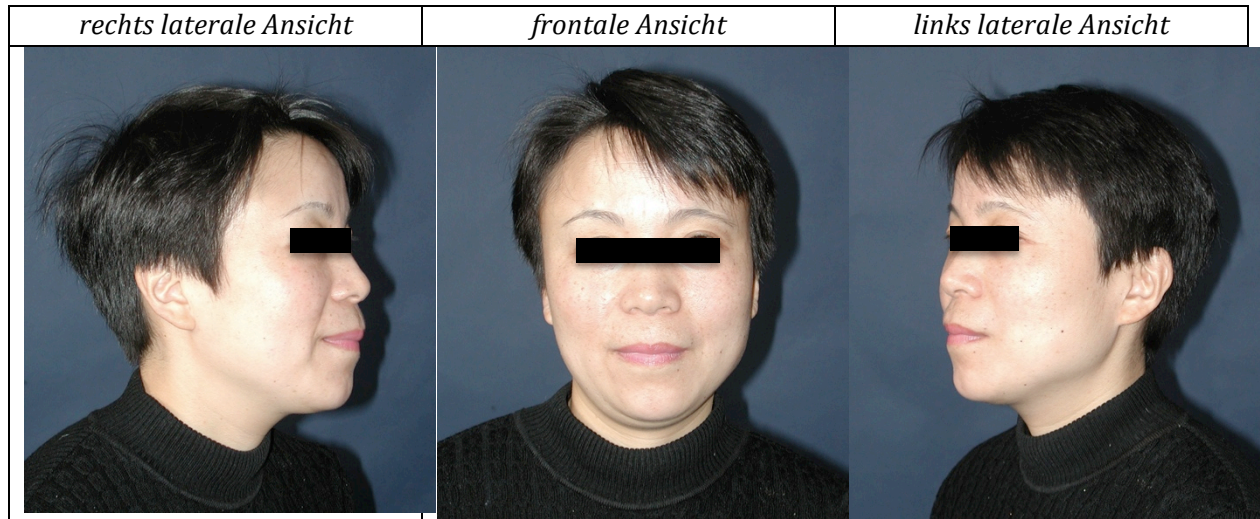
3. Analyse

3.1 Präoperativ

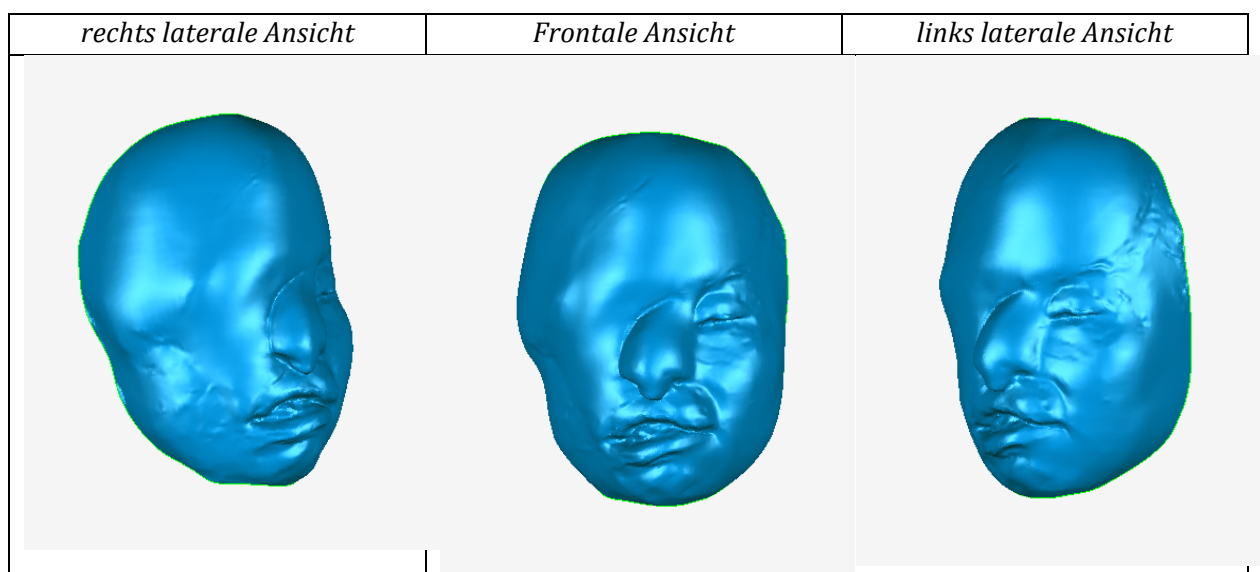
3.1.1 Fotografie präoperativ



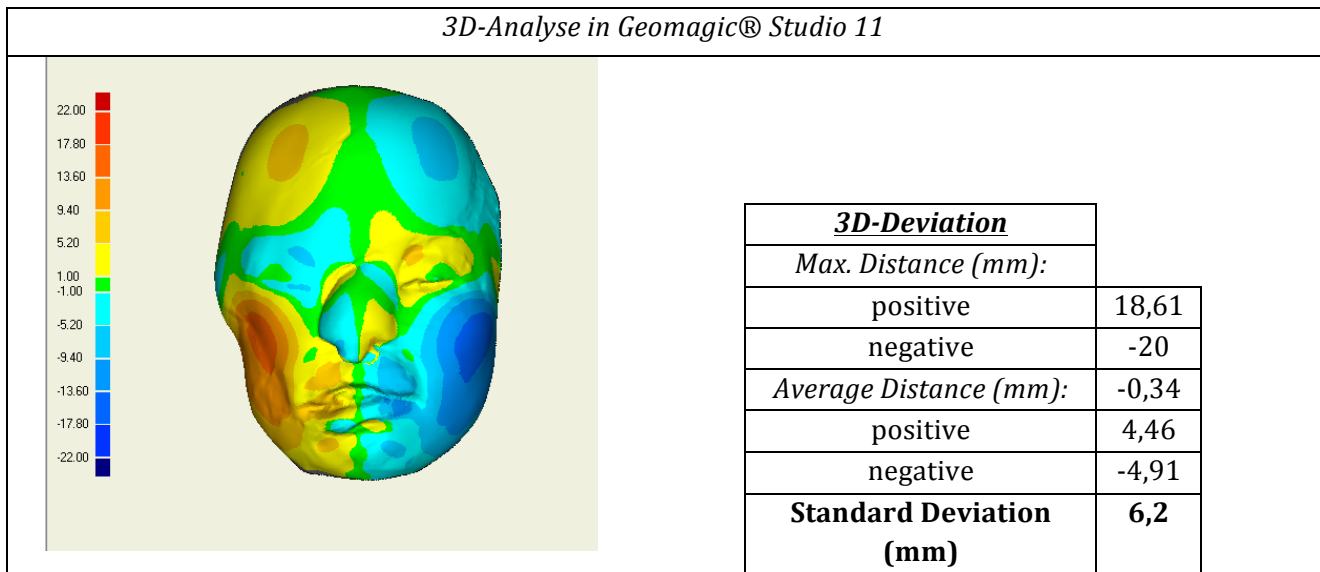
Fotografie Exkurs: Mutter



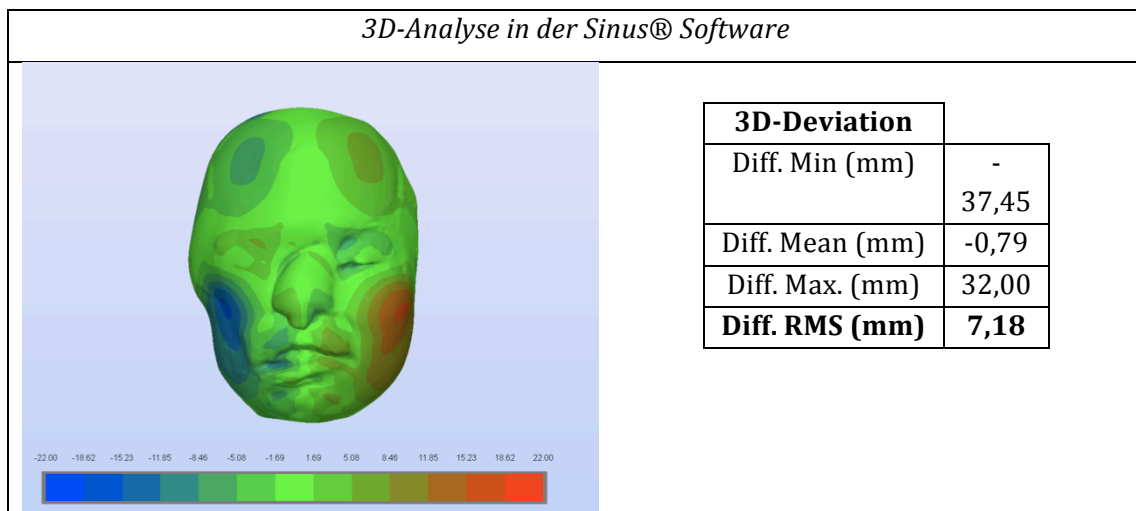
3.1.2 3D-Scan



3.1.3 Spezifische Analyse am 3D-Modell (Geomagic®)

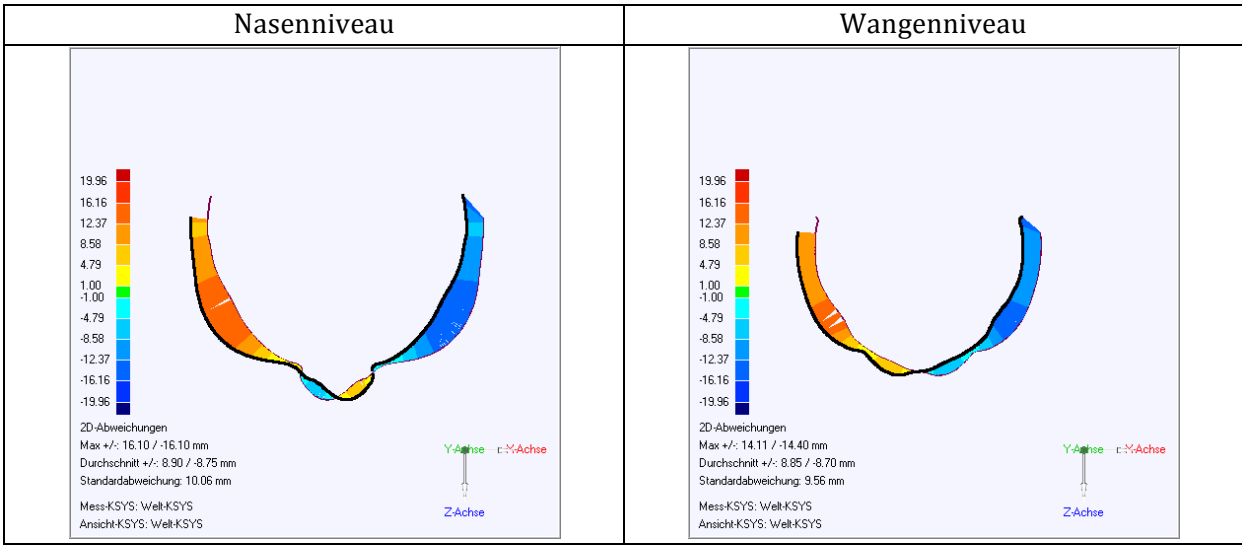
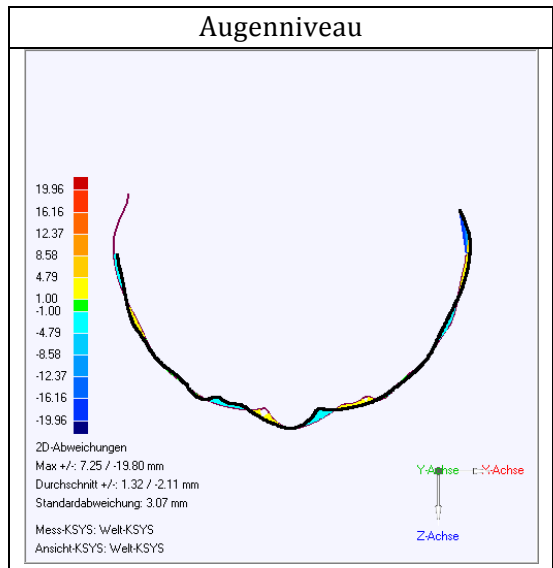


3.1.4 Spezifische Analyse am 3D-Modell (Sinus® Software)



3.1.5 Spezifische Analyse am 2D-Modell (Geomagic®)

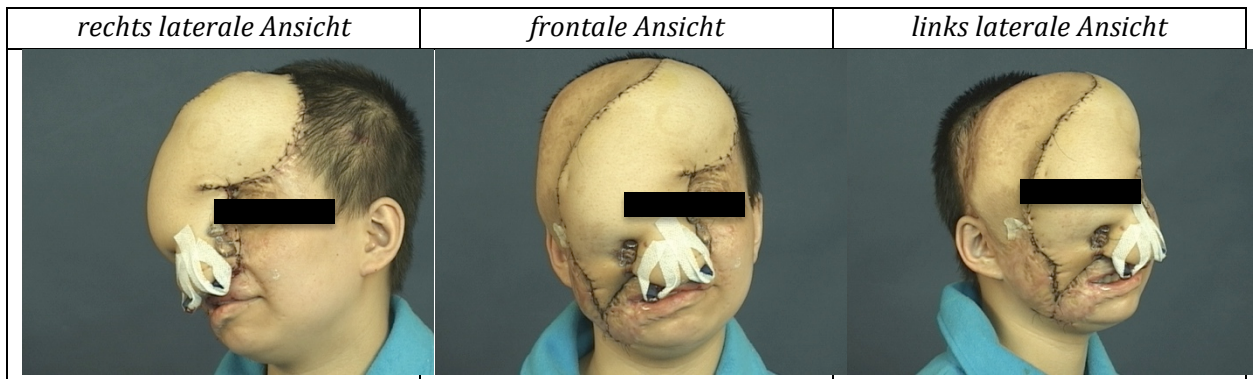
2D-Analyse in Geomagic Qualify® 11



2D Deviation	Augenniveau	Nasenniveau	Wangenniveau
Max +/- (mm)	7,25/-19,80	16,10/-16,10	14,11/-14,40
Durchschnitt +/-	1,32/-2,11	8,90/-8,75	8,85/-8,70
Standard Deviation (mm)	3,07	10,06	9,56

3.2 Postoperativ I

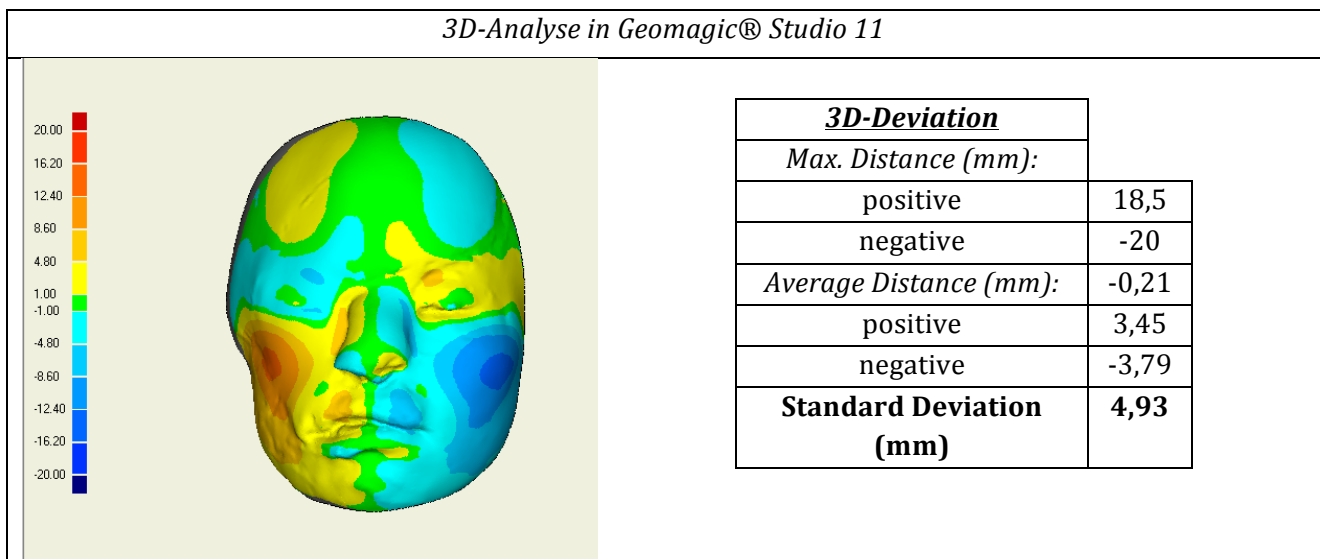
3.2.1 Fotografie postoperativ I



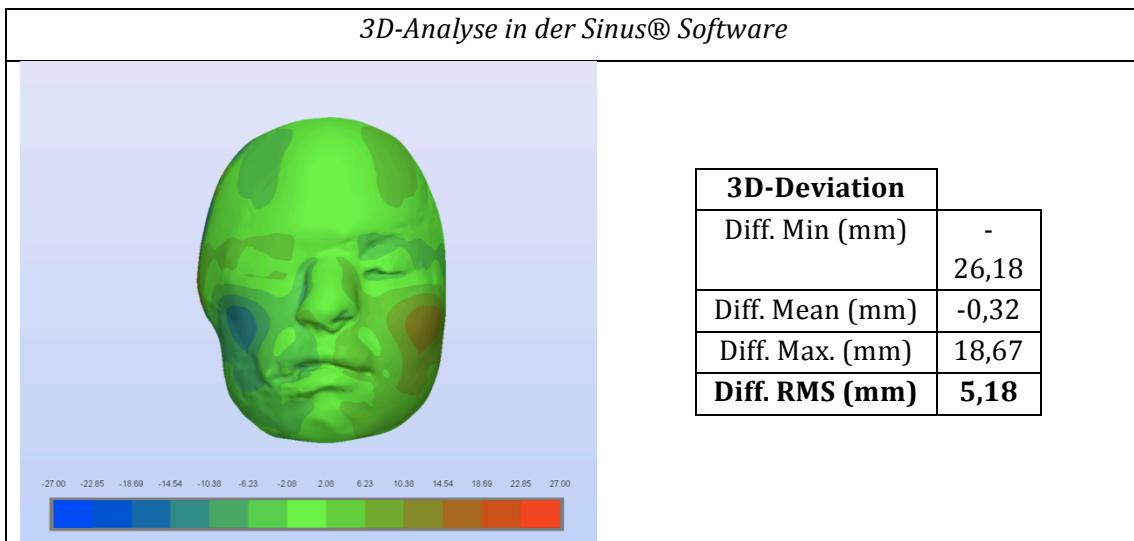
3.2.2 3D-Scan

<i>rechts laterale Ansicht</i>	<i>Frontale Ansicht</i>	<i>links laterale Ansicht</i>
ohne Angaben	ohne Angaben	ohne Angaben

3.2.3 Spezifische Analyse am 3D-Modell (Geomagic®)

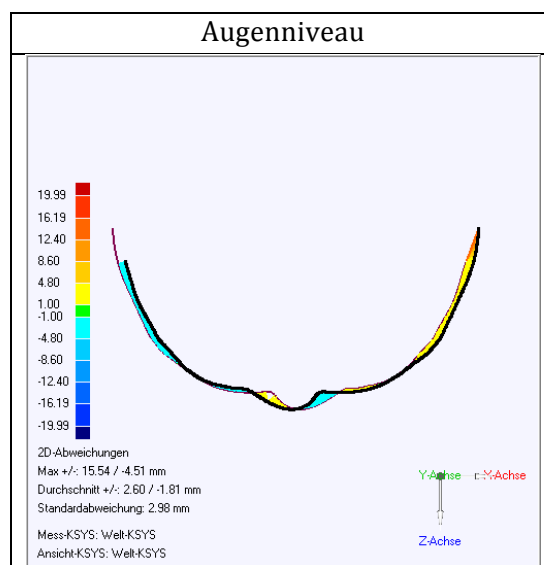


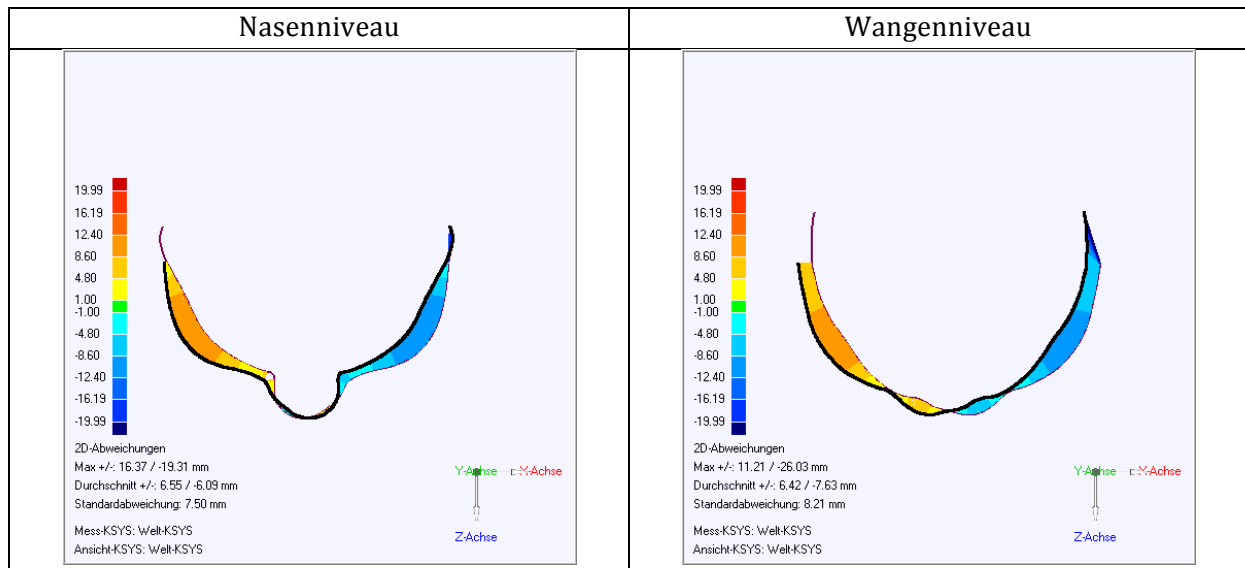
3.2.4 Spezifische Analyse am 3D-Modell (Sinus® Software)



3.2.5 Spezifische Analyse am 2D Modell (Geomagic®)

2D-Analyse in Geomagic Qualify® 11

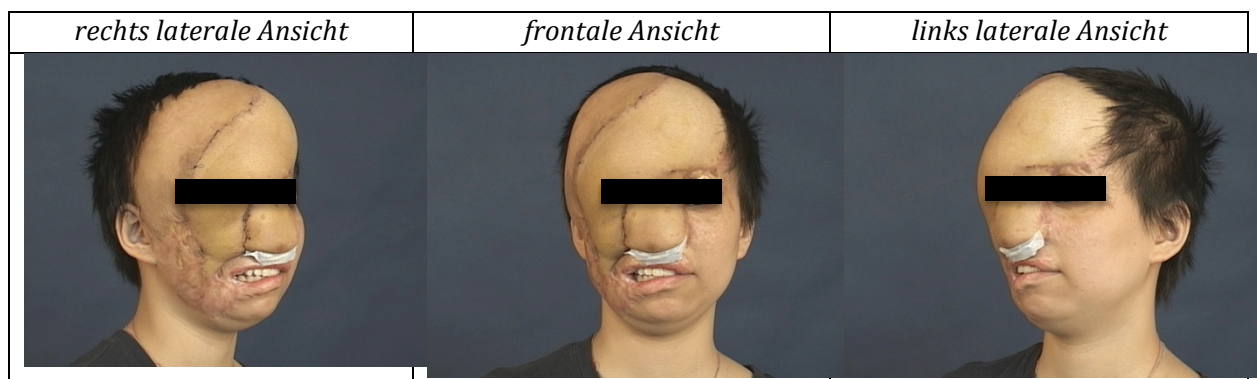




2D Deviation	Augenniveau	Nasenniveau	Wangenniveau
Max +/- (mm)	15.54/-4.51	16.37/19.31	11.21/26.03
Durchschnitt +/-	2.60/-1.81	6.55/-6.09	6.42/-7.63
Standard Deviation (mm)	2.98	7.50	8.21

3.3 Postoperativ II

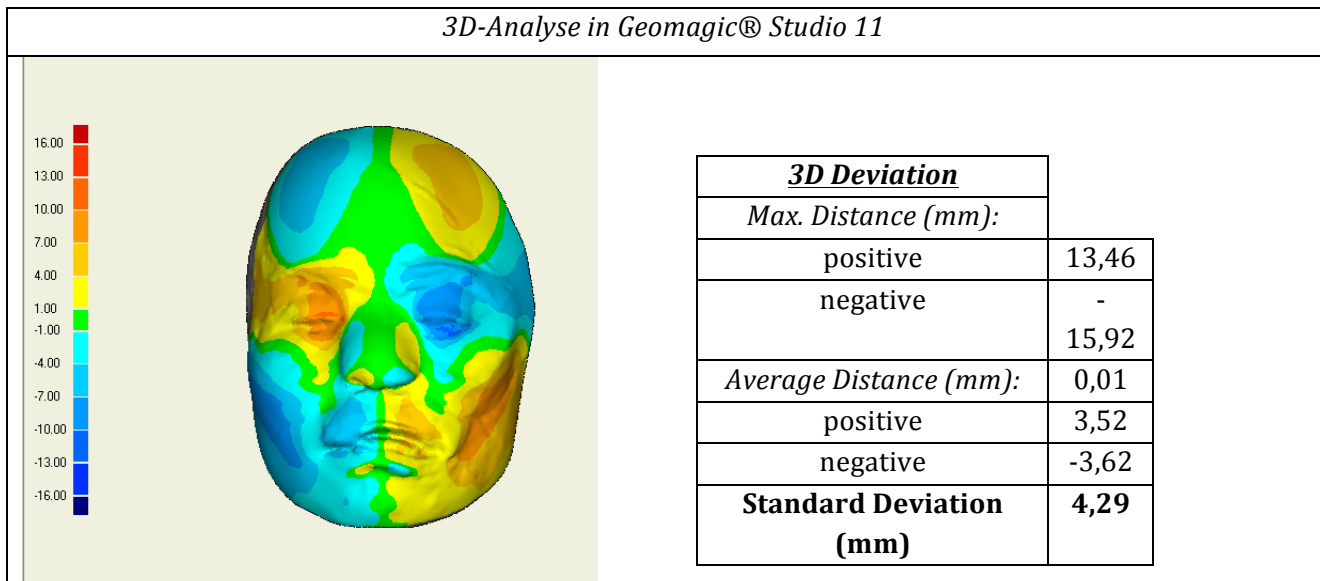
3.3.1 Fotografie postoperativ II



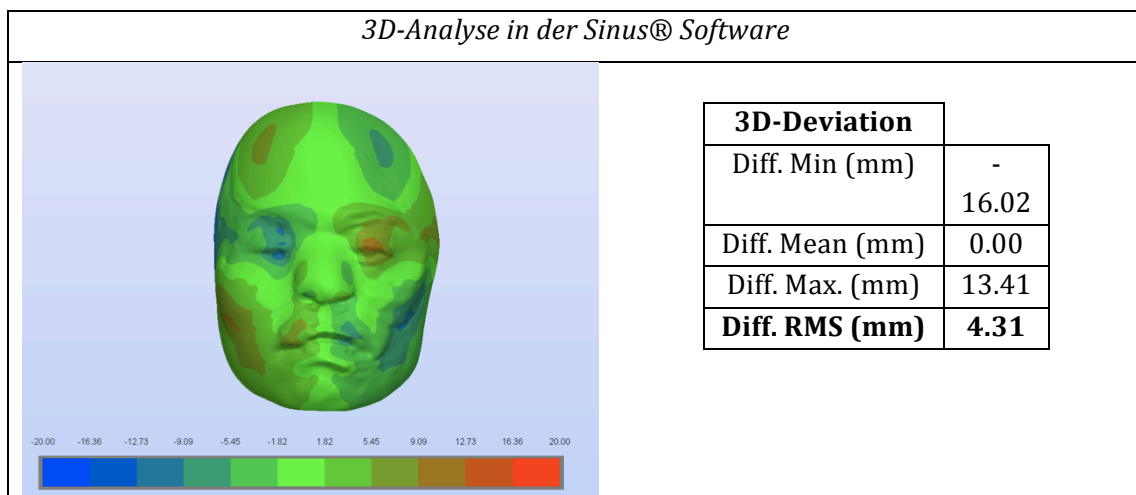
3.3.2 3D-Scan

<i>rechts laterale Ansicht</i>	<i>Frontale Ansicht</i>	<i>links laterale Ansicht</i>
ohne Angaben	ohne Angaben	ohne Angaben

3.3.3 Spezifische Analyse am 3D Modell (Geomagic®)

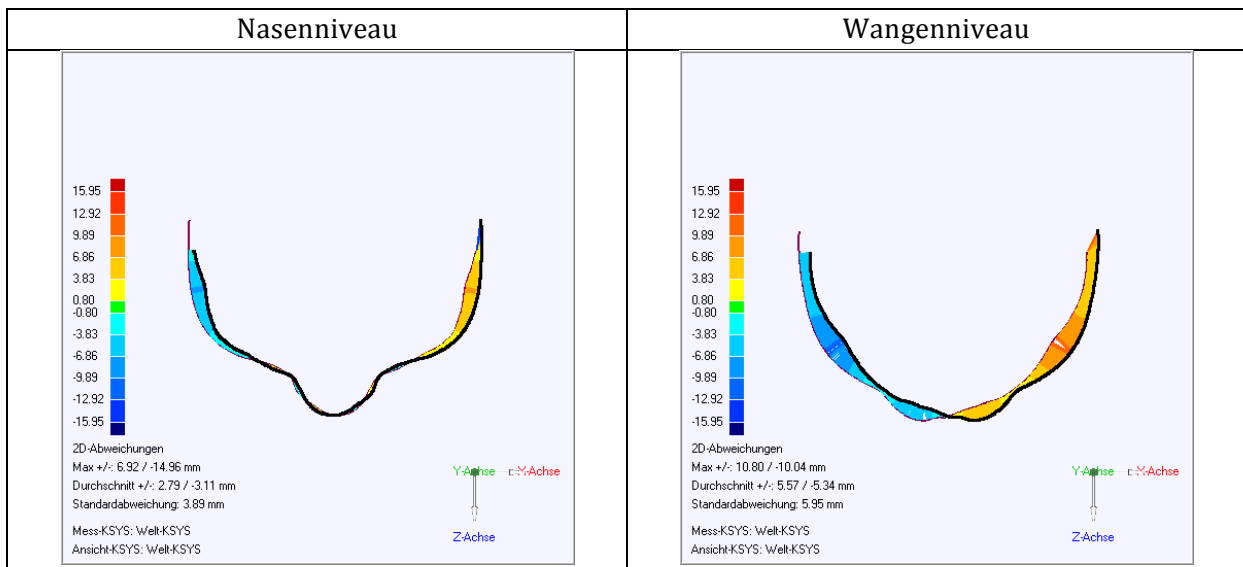
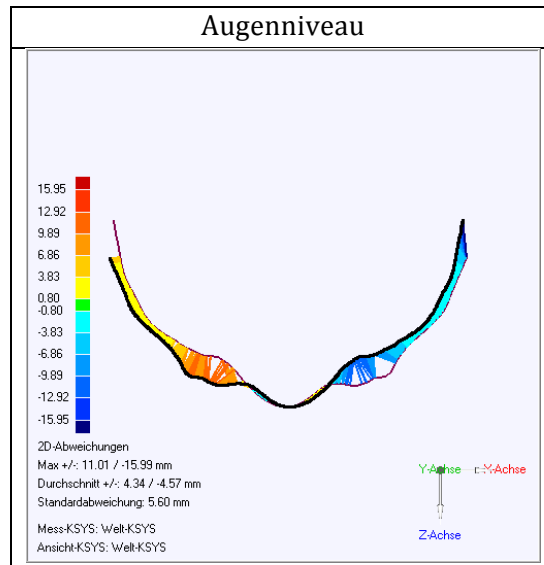


3.3.4 Spezifische Analyse am 3D-Modell (Sinus® Software)



3.3.5 Spezifische Analyse am 2D-Modell (Geomagic®)

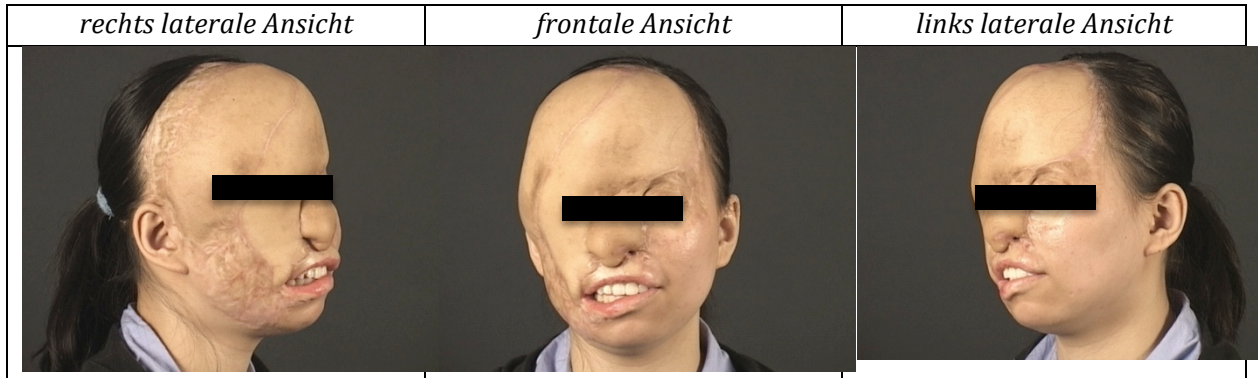
2D-Analyse in Geomagic Qualify® 11



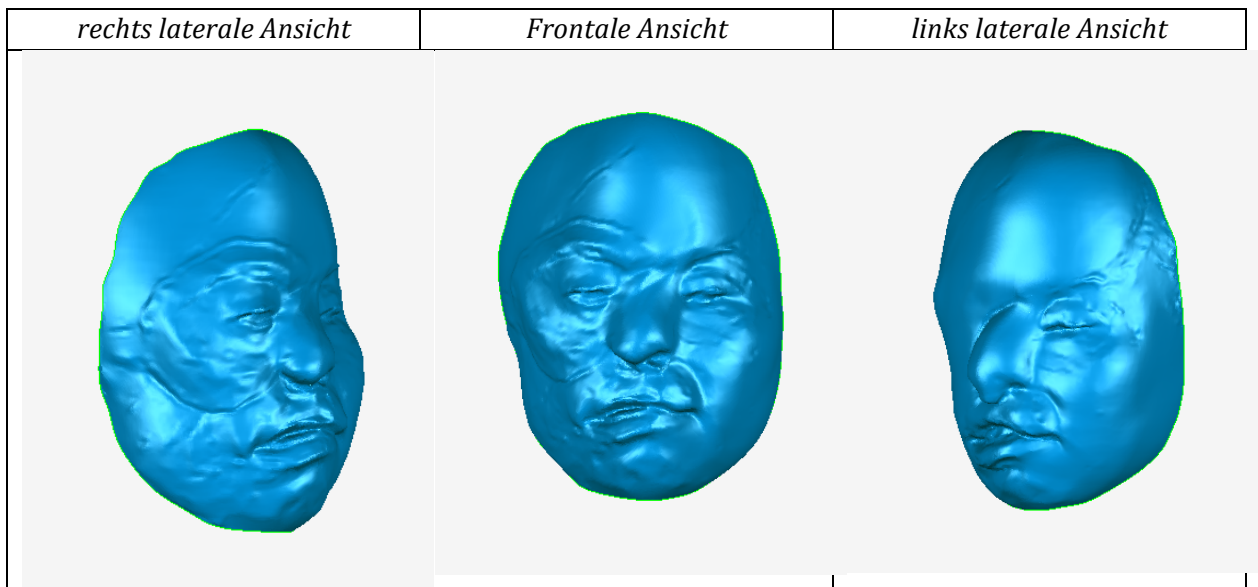
2D-Deviation	Augenniveau	Nasenniveau	Wangenniveau
Max +/- (mm)	11.01/-15.99	6.92/-14.96	10.80/-10.04
Durchschnitt +/-	4.34/-4.57	2.79/-3.11	5.57/-5.34
Standard Deviation (mm)	5.60	3.89	5.95

3.4 Postoperativ III

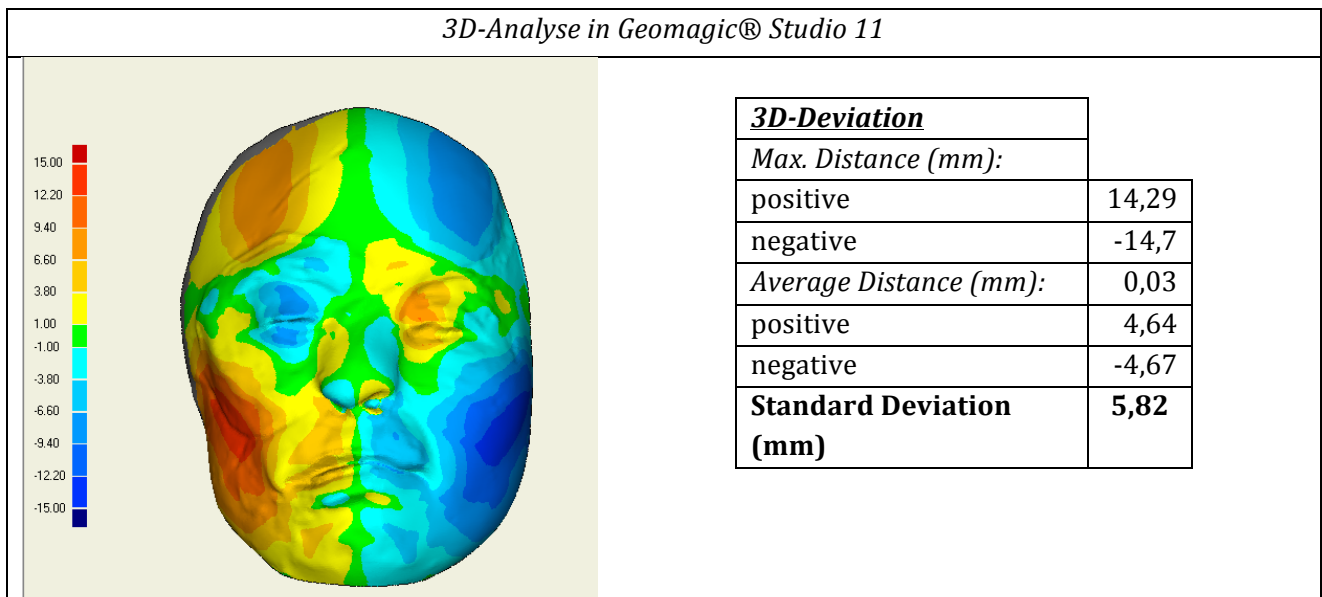
3.4.1 Fotografie postoperativ III



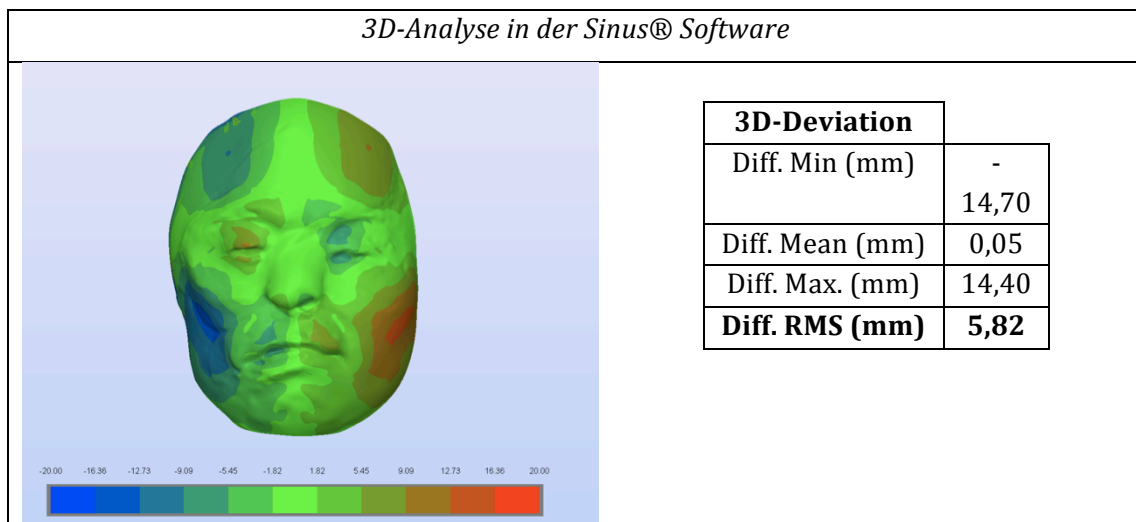
3.4.2 3D-Scan



3.4.3 Spezifische Analyse am 3D-Modell (Geomagic®)

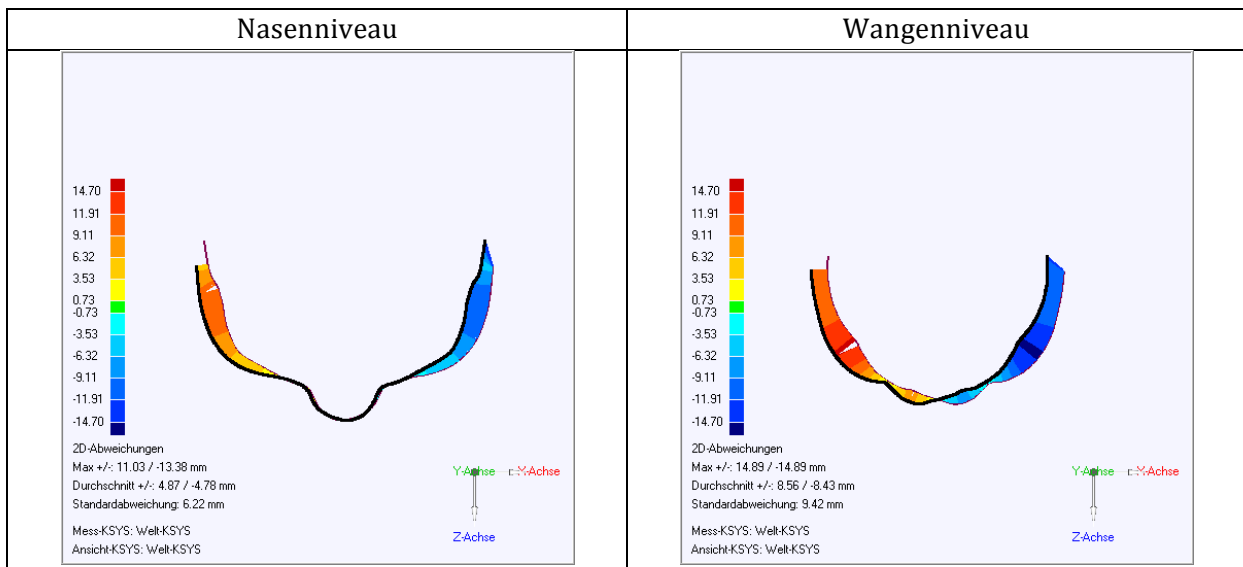
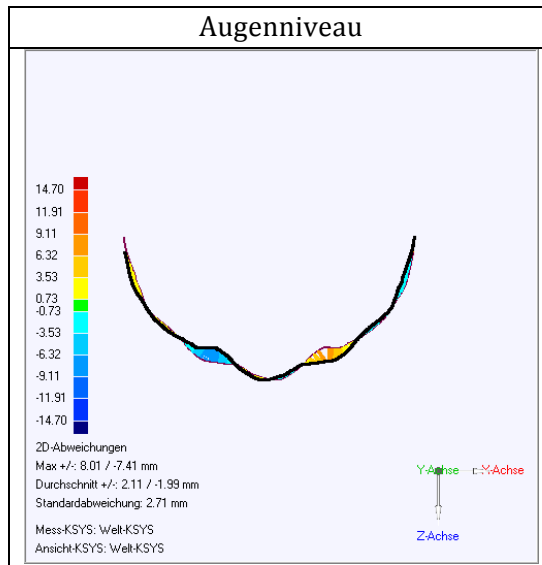


3.4.4 Spezifische Analyse am 3D-Modell (Sinus® Software)



3.4.5 Spezifische Analyse am 2D-Modell (Geomagic®)

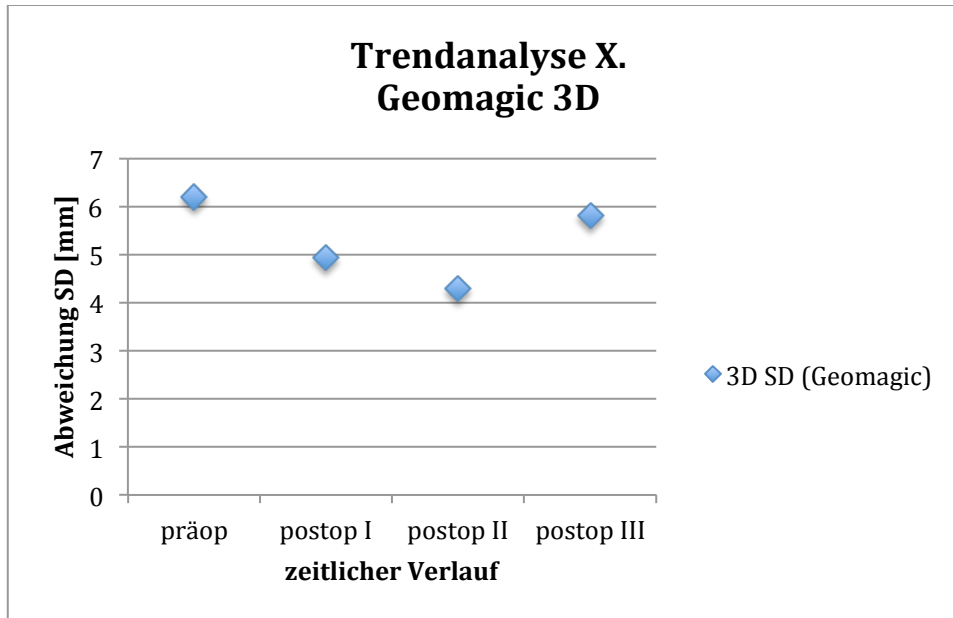
2D-Analyse in Geomagic Qualify® 11



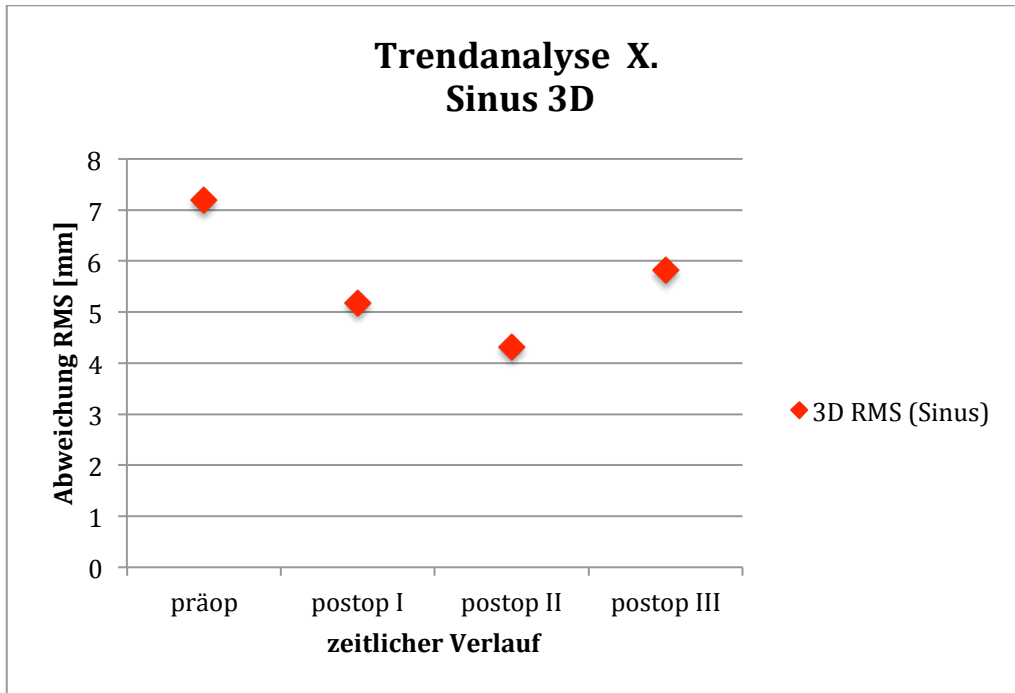
2D Deviation	Augenniveau	Nasenniveau	Wangenniveau
Max +/- (mm)	8.01/-7.41	11.03/-13.38	14.89/-14.89
Durchschnitt +/-	2.11/-1.99	4.87/-4.78	8.56/-8.43
Standard Deviation (mm)	2.71	6.22	9.42

4. Trendanalyse

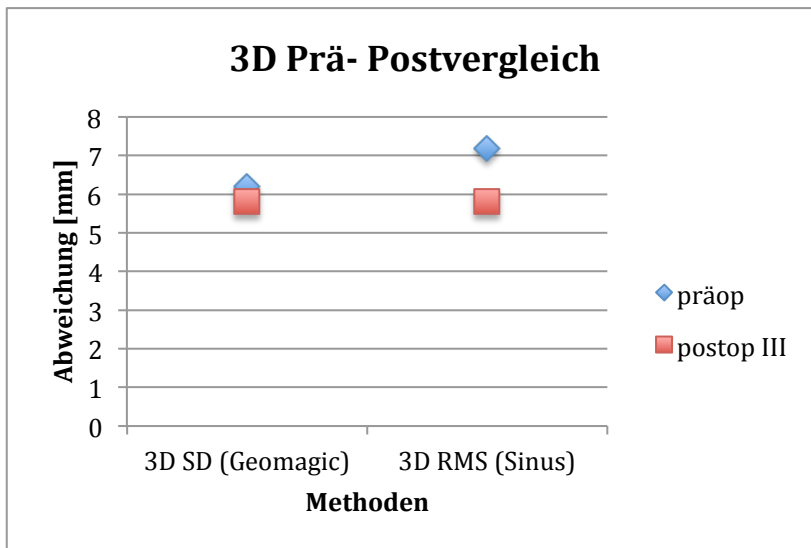
4.1 Trendanalyse 3D



3D Geomagic	3D SD (Geomagic)
präop	6,2
postop I	4,93
postop II	4,29
postop III	5,82

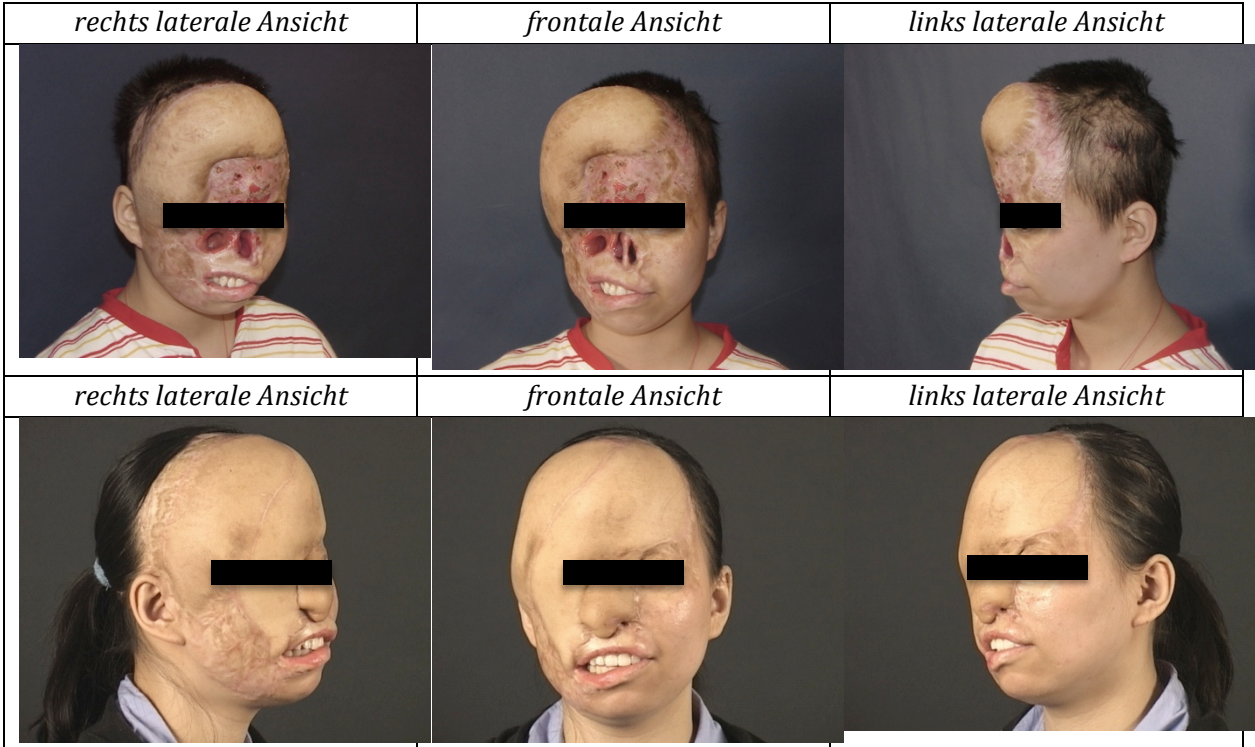


3D Sinus	3D RMS (Sinus)
präop	7,18
postop I	5,18
postop II	4,31
postop III	5,82

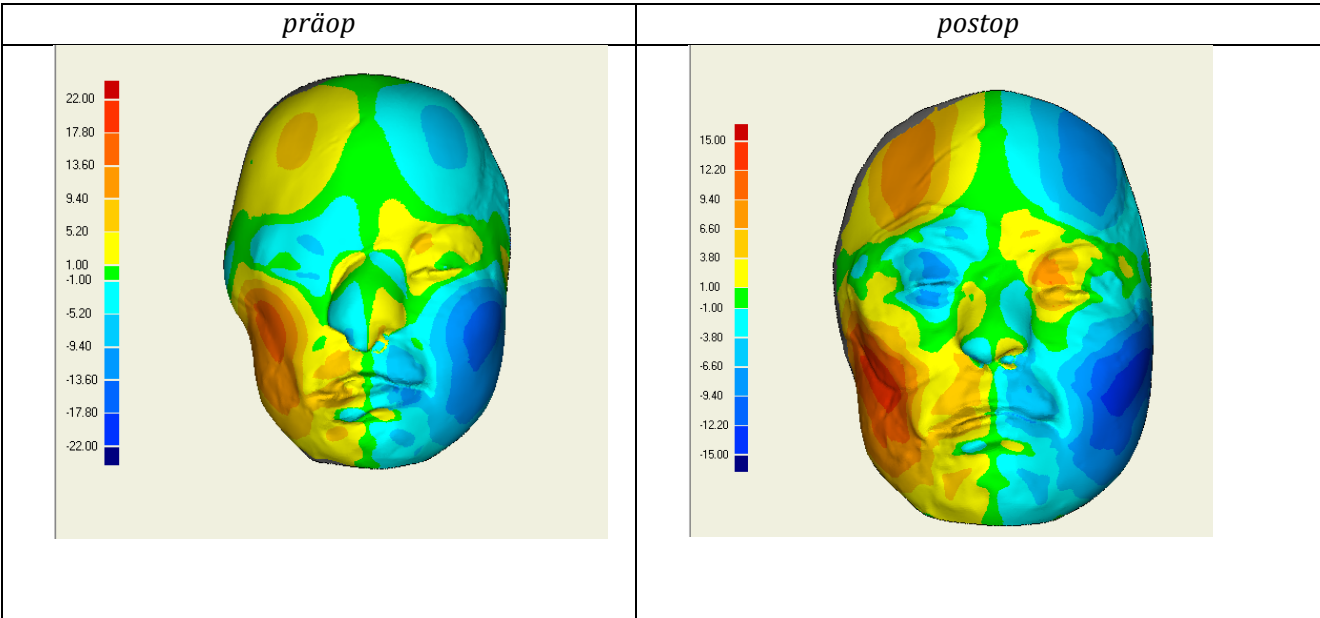


3D Prä-Post	3D SD (Geomagic)	3D RMS (Sinus)
präop	6,2	7,18
postop III	5,82	5,82

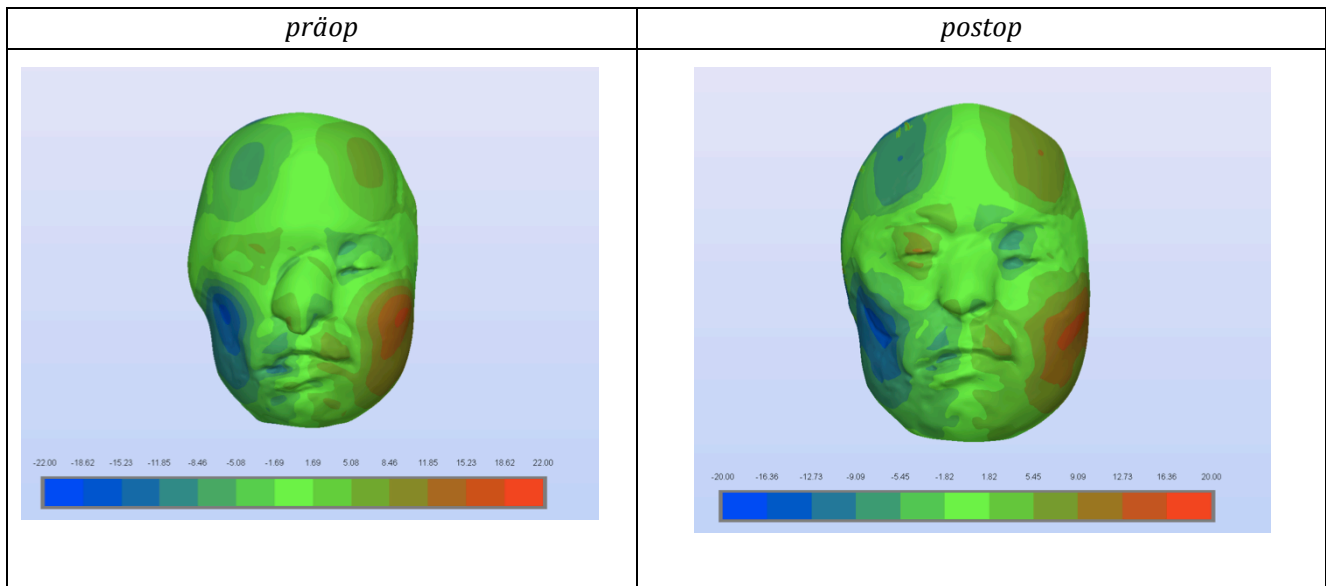
Fotografie und Computermodelle präop-postop



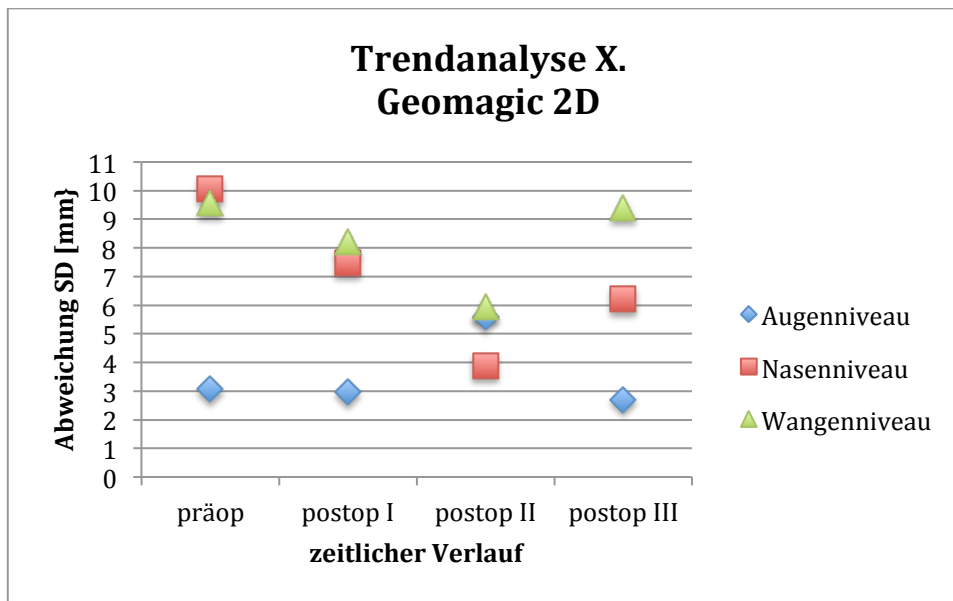
3D-Analyse in Geomagic® Studio 11



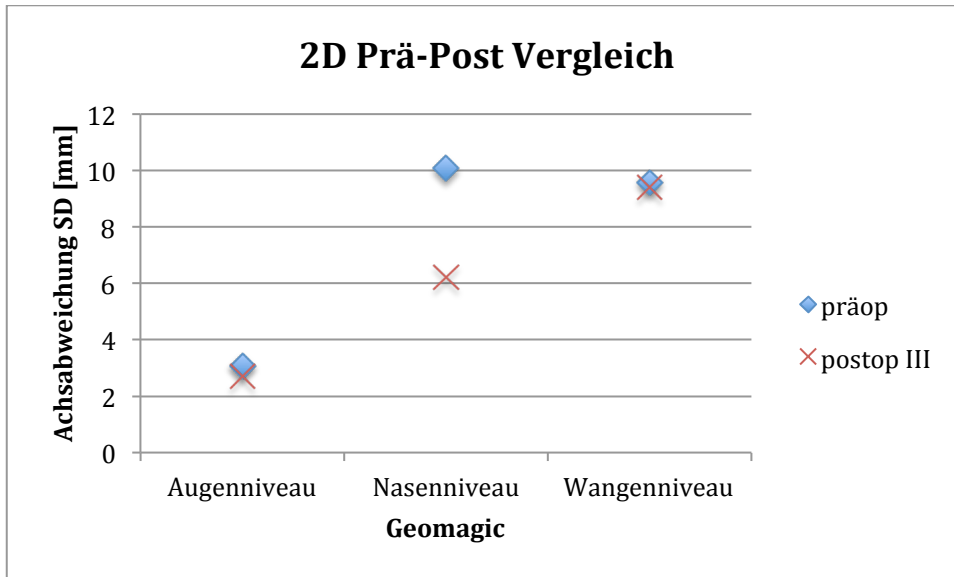
3D-Analyse Sinus Software



4.2 Trendanalyse 2D

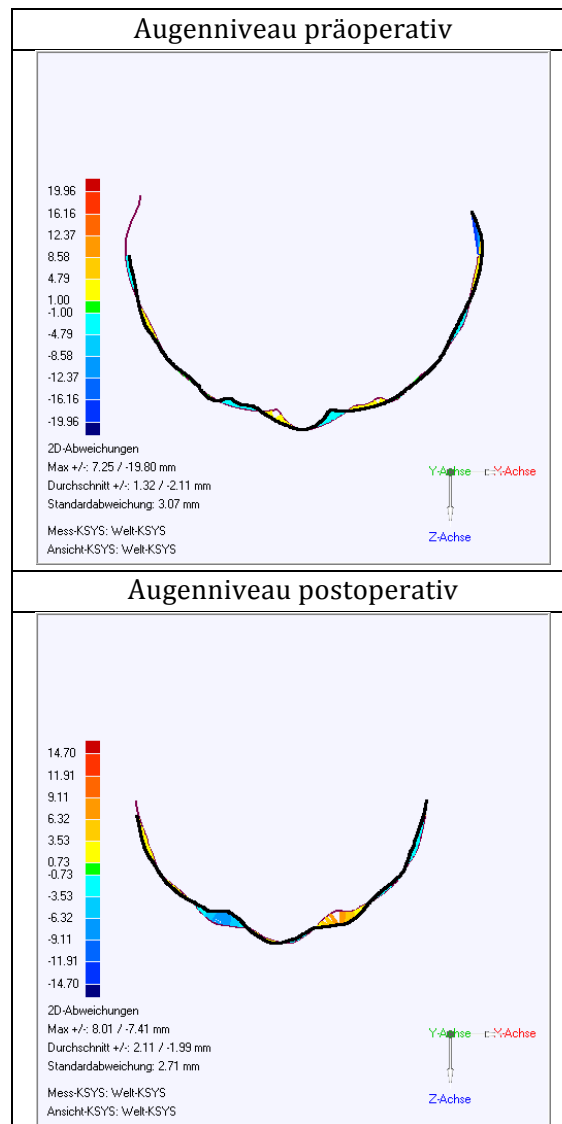


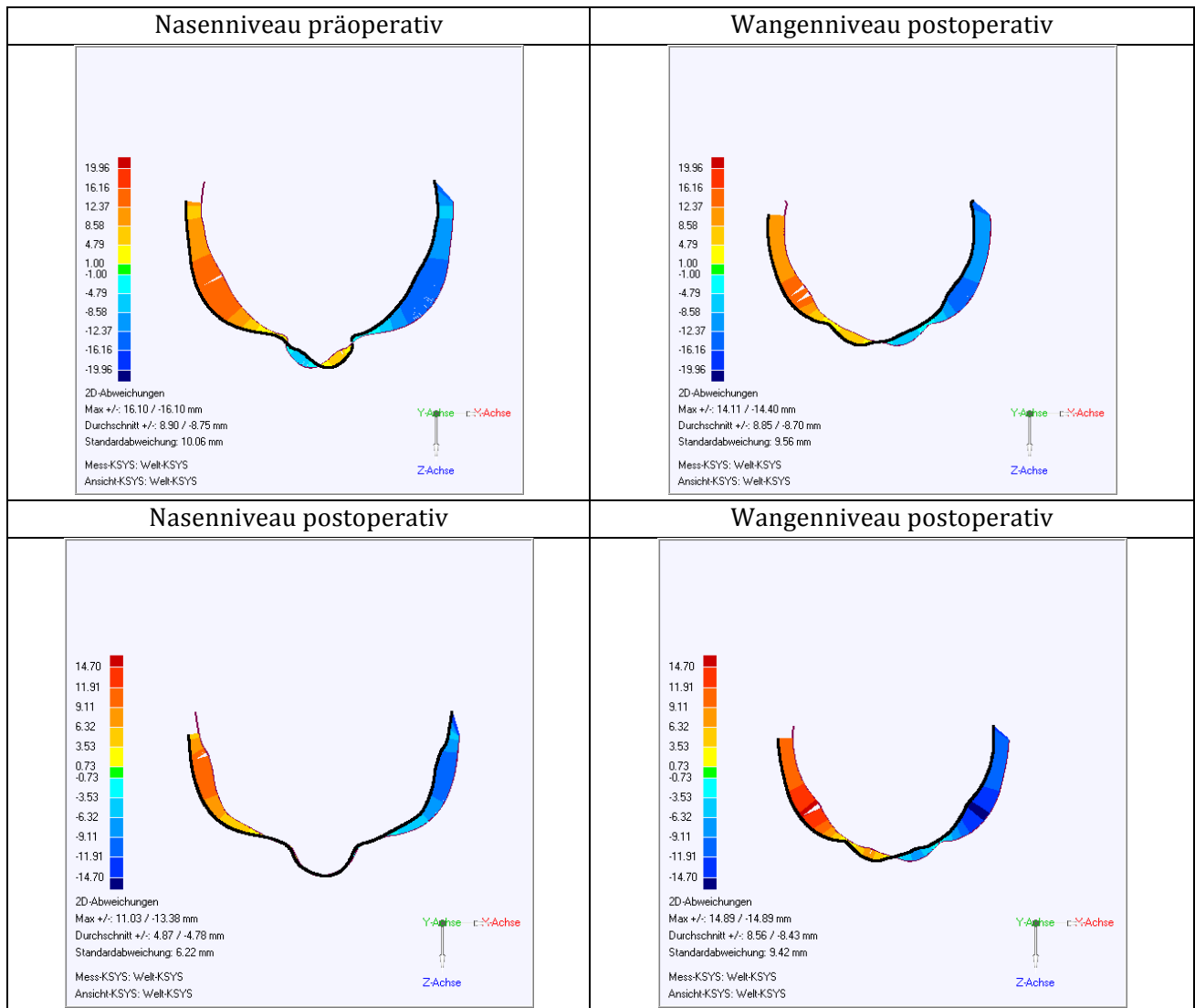
Trendanalyse	Augenniveau	Nasenniveau	Wangenniveau
präop	3,07	10,06	9,56
postop I	2,98	7,5	8,21
postop II	5,6	3,89	5,95
postop III	2,71	6,22	9,42



2D Prä-Post	Augenniveau	Nasenniveau	Wangenniveau
präop	3,07	10,06	9,56
postop III	2,71	6,22	9,42

2D- Analyse in Geomagic Qualify ® 10





5. Epikrise

Die 14-jährige Patientin wurde nach Erstversorgung und operativer Versorgung mittels Latissimus- Lappen in China nach dritt- und viertgradigen Verbrennungen im Gesichtsbereich nach Deutschland zur Weiterbehandlung überwiesen. Die zugezogenen Verletzungen waren im Ausmaß so groß, dass neben größerer knöcherner Beteiligung vor allem der rechten oberen Gesichtshälfte offene Sinus maxillaris beziehungsweise frontalis auch ein Verlust des rechten Auges und der Nase festzustellen war.

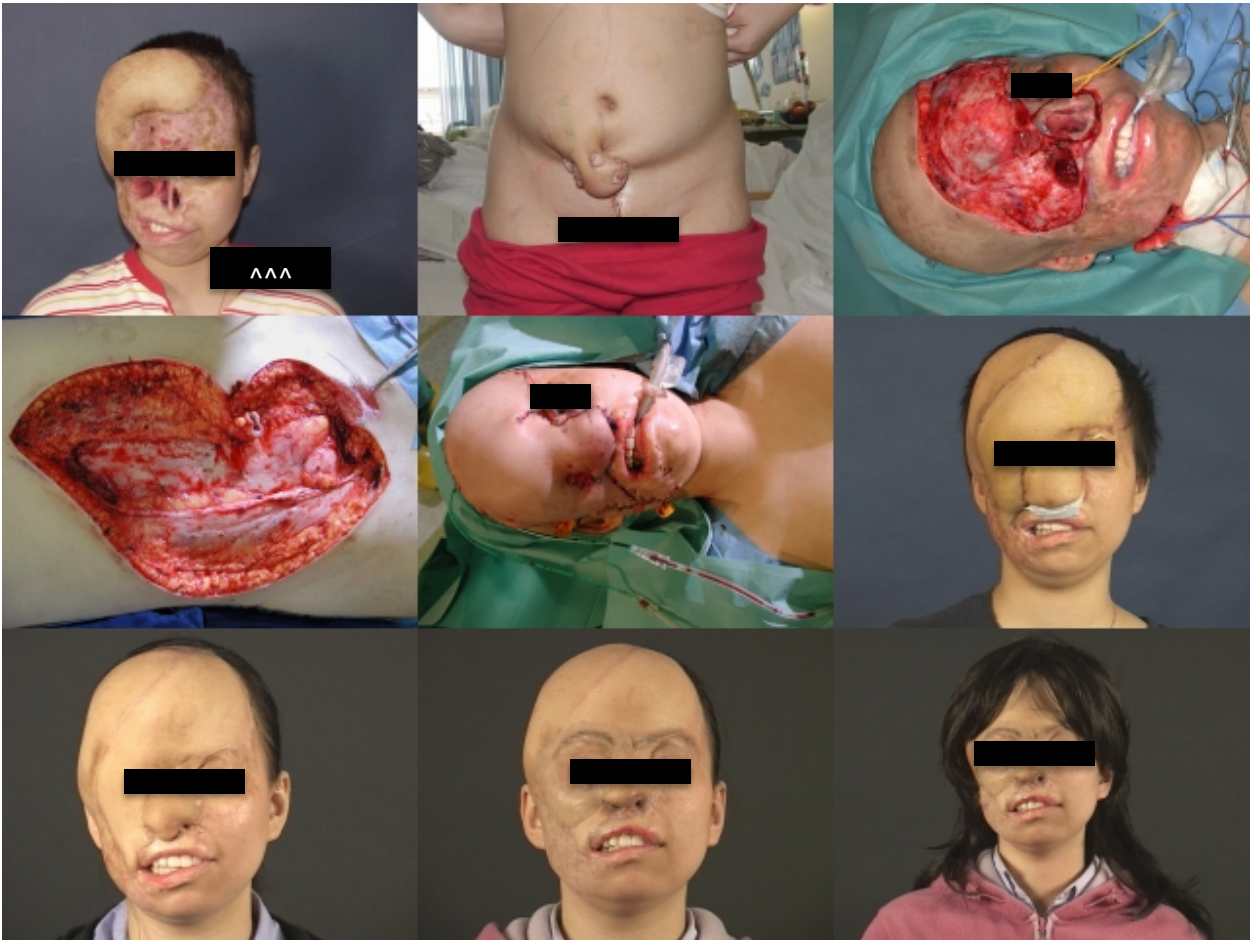
Ziel der Behandlung war die Rekonstruktion des Gesichtes zu bestmöglichstem Ergebnis. Dafür wurde unter anderem auch als Vergleichsmaterial Fotomaterial aus der Zeit vor der Verbrennung sowie Bilder und Vermessung der Mutter verwendet. Nach der Präformierung einer Nase wurden die Defekte mittels vertikalem abdominalen myokutanen Rectus - abdominis - Lappens gedeckt und in der Folge ausgedünnt und den Gesichtskonturen weiter angepasst.

Neben der rein medizinischen Rekonstruktion wurde darüber hinaus ein Gesichtsfeld mit künstlichem Auge konstruiert und anmodelliert sowie eine Perücke hergestellt.

Exkurs: Fotos nach Modellierung eines Kunstauges und Perücke



Übersicht über den Verlauf der Rekonstruktion



10. Danksagung

Für die Möglichkeit, meine Doktorarbeit in der Klinik für Plastische Chirurgie und Handchirurgie am Klinikum rechts der Isar anfertigen zu können, danke ich herzlich dem Direktor der Klinik, Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Hans-Günther Machens.

Mein außerordentlichster Dank gilt Herrn PD Dr.med. Laszlo Kovacs, stellvertretender Klinikdirektor an der Klinik für Plastische Chirurgie und Handchirurgie am Klinikum rechts der Isar, der mir das Thema der Doktorarbeit zur Verfügung stellte. Als Leiter der Forschungsgruppe „CAPS“ gab er mir somit die Gelegenheit, an einem fortschrittlichen Konzept innerhalb einer modernen Forschungsgruppe mitzuwirken. Seine fachkundige Unterstützung und Betreuung verdient meinen ganzen, ausdrücklichen Dank.

Ebenso herzlich richte ich mein Dankeswort an Herrn Dr.med. Maximilian Eder sowie Frau Dr. med. Fee von Waldenfels, Assistenzärzte an der Klinik für Plastische Chirurgie und Handchirurgie am Klinikum rechts der Isar und Mitarbeiter bei CAPS, für ihr konstantes Engagement. Die konstruktive Kritik, verbunden mit motivierenden Ratschlägen, trug maßgeblich zu der Fertigstellung dieser Arbeit bei.

Die technischen Fachkenntnisse und praktischen Hilfestellungen von Herrn Dipl.-Ing. Univ. Stefan Raith, Dipl.-Ing. Univ. Alexander Volf und Jalil Jalali, M. Sc. waren eine Bereicherung und für den Erfolg der Dissertation unentbehrlich. Mein ausdrücklichster Dank hierfür!

Für die Recherche und Bereitstellung der Fotografien danke ich Frau Katharina Haberland, Klinikum rechts der Isar.

Neben den Personen, die vor allem durch ihre Fachkenntnisse und Erfahrungsschatz zu dem Gelingen meiner Dissertation beigetragen haben, möchte ich hervorheben, dass die Doktorarbeit - das vorangehende Studium der Humanmedizin einschließlich - ohne den jahrelangen Beistand nahestehender Menschen nahezu unmöglich gewesen wäre.

Aus diesem Grund möchte ich meinem Onkel, Herrn Dr. med. Christhart Heering, von ganzem Herzen meine tiefe Dankbarkeit aussprechen. Seine kontinuierliche Anteilnahme, problemorientierten Empfehlungen und Unterstützung in jeglicher Hinsicht werde ich immer in Erinnerung behalten.

Desgleichen bedanke ich mich aufrichtig bei meiner Tante Marie-Luise Becker und ihrem Mann, Raimund Becker; vor allem für ihren unerschütterlichen Optimismus und geduldigen Zuspruch.

Ich hätte es mir sehr gewünscht, dass meine Tante, Silke Heering (†), den Abschluss meiner Arbeit hätte miterleben können.

In Gedanken und Worten habe ich mich von meinen Paten, Frau Elisabeth und Wilhelm (†) Altenschmidt sowie Ellen und Emil Fuchs stets begleitet gefühlt.

Meiner Schwester Annette Oestreicher und meinem Bruder Matthias Oestreicher verdanke ich die Fähigkeit, Situationen aus einer anderen Perspektive zu betrachten.

Für eine alles umfassende, liebevolle Zuwendung danke ich Franz Schilling.

Die uneingeschränkte, bedingungslose Liebe meiner Eltern zu mir zu jedem Zeitpunkt verdient einen Dank, den ich schwer in Worten auszudrücken vermag.

11. Lebenslauf

Dorothee Oestreicher

c/o Schilling, Gundelindenstr.3
80805 München
Mobil: 0160/3377956

Mail: dorothee_o@gmx.de

Curriculum Vitae

Persönliche Daten

Geburtsdatum: 22.07.1984
Geburtsort: Hamm in Westfalen
Nationalität: deutsch
Konfession: evangelisch

Studium

2011-2013 Fortsetzung des Studiums der Humanmedizin an der TU München,
2. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

2006-2011 Studium der Humanmedizin an der FAU Erlangen-Nürnberg,
1. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

1995-2004 Albrecht-Dürer-Gymnasium, Hagen in Westfalen,
Allgemeine Hochschulreife

Promotion

seit 2011- Promotion in der Klinik und Poliklinik für Plastische und Handchirurgie am Klinikum rechts der Isar, TU München, Forschungsgruppe Computer Aided Plastic Surgery (CAPS) bei PD Dr. Kovacs

PJ

03/12-07/12 Innere Medizin (Hämatologie und Onkologie), Klinikum Schwabing, München

12/11-03/12 Chirurgie, Rotkreuzklinikum, München

08/11-12/11 Wahlfach Orthopädie, Schulthessklinik, Zürich

Famulaturen

2010 Obstetrics & Gynaecology,
Singapore General Hospital (SGH)

Children's ENT Center (Ear, Nose, Throat Center),
KK Women's and Children's Hospital/ SGH, Singapur

2009 und 2010 Unfall- und Wiederherstellungschirurgie sowie
Plastische, Hand- und Rekonstruktive Mikrochirurgie,
BG-Klinik Murnau am Staffelsee

2009 Hämatologie und Internistische Onkologie, Hämostaseologie und
Palliativmedizin, St.Marien-Hospital, Hagen in Westfalen

Sportorthopädie,
Sporthopaedicum Straubing, orthopädisch-chirurgisch
Gemeinschaftspraxis

Anästhesie, Gemeinschaftspraxis für Anästhesiologie,
Nürnberg, Dres. Hauß et al.

Stipendien und Zertifikate

- 2012
Deutschen
- Stipendium "Die hellsten Köpfe für die Radiologie" zur Teilnahme am Röntgenkongress 2012 durch Prof. Rummeny, TU München (TUM)
- TUM Mentoring, Mentor Prof. T. Helmberger, Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie und Nuklearmedizin, Klinikum Bogenhausen
- DEGUM-Zertifikat: "Sonographie-Seminar nach §6 der Ultraschallvereinbarung der KBV und den DEGUM-Richtlinien der Ultraschallkurse, Interdisziplinärer Ultraschall- Grundkurs [...]"
- 2011
- SMP-Stipendium für das PJ-Tertial in Zürich, gefördert vom BMBF

Berufliche Ausbildung

- 2005-2006
- Anerkennungsjahr zur staatlich geprüften Rettungsassistentin
Johanniter-Unfall-Hilfe e.V. Nürnberg,
Ausbildung auf dem Baby-Notarztwagen/Neonataltransport
- 2004-2005
- Berufsfachschule für Rettungsassistenten, Lauf an der Pegnitz
- 2001-2002
- Ausbildung zur Rettungsassistentin
DRK-Landesschule Düsseldorf, Berufsfeuerwehr Hagen in Westfalen

Berufliche Tätigkeiten

seit 2012	Deutsche Röntgengesellschaft, Redakteurin der „FAQ zu Weiterbildungszeit“ für das Nachwuchsprogramm „Die hellsten Köpfe für die Radiologie“
2011	studentische Mitarbeiterin für Pharmakologie, IPT TU München
2009-2011	Tutorin für Pharmakologie, Universität Erlangen
2008-2012	Thieme-Verlag, Redakteurin "Viamedici online" für Erlangen
seit 2006	EASIE-Tutorin, Med. II, Uniklinik Erlangen (Erlanger Ausbildungssimulator für Interventionelle Endoskopie)
2005-2011	Rettungsassistentin, Johanniter-Unfall-Hilfe e.V., Nürnberg
2002-2004	Rettungssanitäterin, Berufsfeuerwehr Hagen i. W. / DRK Schwelm

Praktika

1998-2006	Berufsfeuerwehr Köln, ChristophSim Training Krankenhaus: Fachrichtungen Chirurgie, Gynäkologie, Notaufnahme, Schwerstbrandverletzentzentrum, Anästhesie und Intensivmedizin, toxikologische Intensivmedizin, Geriatrie
-----------	---

Besondere Kenntnisse

EDV	Endnote, Geomagic, Geomagic Qualify, Forschungsprojekt „Sinus“
-----	--

Publikationen

1. Barbara Zollner, Michael Sucha, Christoph Berg, Nicolas Gros, Nadine Muß, Peter Amann, Bernadette Amann-Neher, Dorothee Oestreicher, Stefan Engelhardt, Antonio Sarikas; *"Pharmacases.de – a student-centered e-learning project of clinical Pharmacology"*, *Med Teach.* 2013;35(3):251-3. doi: 10.3109/0142159X.2013.759642. Epub 2013 Jan 22

Sonstige Interessen

Sport (Ausdauersport, Tennis, Winter- und Bergsport), Literatur, Reisen

München, den 20.02.2014

Dorothee Oestreicher