

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Klinikum rechts der Isar

Klinik und Poliklinik für Plastische Chirurgie und Handchirurgie

(Direktor: Univ.-Prof. Dr. H.-G. Machens)

Standardisierung einer objektiven 3-D Evaluationsmethode und Entwicklung eines Symmetrieindex zur Beurteilung von Brustasymmetrien in der Plastischen, Rekonstruktiven und Ästhetischen Chirurgie

Alexandra Monika Johanna Swobodnik

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 09.01.2012 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 18.04.2012 angenommen.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	4
1.1	Bedeutung der Symmetrie	4
1.2	Definition der Brustasymmetrie	5
1.3	Methoden zur Quantifizierung der Brustasymmetrie	10
1.3.1	Visuelle Beurteilung	10
1.3.2	Lineare Messung	11
1.3.3	Volumenbestimmung	13
1.3.4	Hilfsapparaturen	19
1.3.5	Dreidimensionale Körperoberflächenerfassung	20
1.3.6	Symmetriequantifizierung	29
1.4	Vor- und Nachteile bestehender Methoden	30
1.5	Ziel der Arbeit	31
2	Material und Methoden	33
2.1	Entwicklung und Standardisierung des 3-D -Evaluationsprotokolls zur Brustsymmetrieanalyse	33
2.1.1	Symmetrieerfassung an Dummymodellen	33
2.1.2	Symmetrieerfassung an den Testpersonen	39
2.2	Entwicklung zweier Brustsymmetrieindizes anhand von objektiven 3-D – Brustmessungen	40
2.2.1	Objektive Brustmessungen bei den Probanden	41
2.2.2	Objektive Brustmessungen bei der Augmentationsgruppe	45
2.2.3	Objektive Brustmessungen bei der Reduktionsgruppe	45
2.2.4	Erstellung der Symmetrieindizes	46
2.7.	Statistische Auswertung	46
3	Ergebnisse	48
3.1	Entwicklung und Standardisierung des 3-D -Evaluationsprotokolls zur Brustsymmetrieanalyse	48
3.2	Entwicklung zweier Brustsymmetrieindizes anhand von objektiven Brustmessungen	50
3.2.1	Objektive Brustmessungen bei den Probanden	51
3.2.2	Objektive Brustmessungen bei der Augmentationsgruppe	53

3.2.3	Objektive Brustmessungen bei der Reduktionsgruppe	55
3.2.4	Erstellung der Symmetrieindizes	58
4	Diskussion	62
4.1	Grenzen der Methode	71
4.2	Möglichkeiten klinischer Anwendung und Ausblick	72
4.2.1	Klinische Anwendung: Brustrekonstruktion	72
4.2.2	Klinische Anwendung: Brustreduktion	76
4.2.3	Klinische Anwendung: Augmentation	78
4.2.4	Ausblick	81
5	Zusammenfassung	82
6	Literaturverzeichnis	85
7	Abbildungsverzeichnis	91
8	Tabellenverzeichnis	94
9	Danksagung	96
10	Curriculum Vitae	98

1 Einleitung

1.1 Bedeutung der Symmetrie

Symmetrie wird in Architektur, Kunst und sogar in der Wissenschaft häufig als ästhetisch empfunden und mit Schönheit in Verbindung gebracht. Seit der Antike hat die Symmetriellehre Einfluss auf das Schaffen in diesen Bereichen [86]. So schreibt beispielsweise der theoretische Physiker Anthony Zee: „Laßt uns vor allem darauf achten, daß das Ganze schön ist, dann wird sich die Wahrheit von selbst ergeben! [...] Wie die Griechen des Altertums [...] werde aber auch ich dabei bleiben, Symmetrie und Schönheit gleichzusetzen“ [102].

Beim Menschen ergaben Untersuchungen, dass Symmetrie in der Physiognomie und im gesamten Körperbau mit Attraktivität korrelieren [35, 57].

Auch im Selbstbild der Frau nimmt die Erscheinung und Form ihrer sichtbaren Organe eine zentrale Bedeutung ein. Unter körperpsychologischem Aspekt beeinflusst die Auffassung der eigenen Ästhetik das Selbstverständnis und die Wirkung des Einzelnen auf seine Mitmenschen im sozialen Gefüge [83]. Eine besondere Rolle in der ästhetischen Wahrnehmung der Frau spielt dabei die weibliche Brust in ihrer Form, Größe und Symmetrie [40, 52]. Sie ist Symbol für Fruchtbarkeit, Weiblichkeit, Sinnesfreude, Sexualität und Attraktivität [71].

Auffällige, sowohl angeborene als auch erworbene Brustasymmetrie kann individuell als sozial ästhetisches Handicap aufgefasst werden und psychologische Konsequenzen zur Folge haben [18, 21, 33, 78]. Vor allem bei sehr ausgeprägter Asymmetrie berichten Frauen über Scham und vermindertes Selbstwertgefühl. Die

Ungleichheit der Brüste bietet Menschen in ihrem Umfeld wiederholt Anlass zu Kritik und Spott. Oft besteht Angst vor sexueller Nähe wegen der gefürchteten Reaktion des Partners. Im Extremfall wird einer Partnerschaften bewusst aus dem Weg gegangen oder diese abgebrochen [18].

Mit einer plastisch chirurgischen Operation besteht die Möglichkeit, diese störenden Asymmetrien zu korrigieren und das psychische Wohlbefinden und die Lebensqualität der Patientinnen erheblich zu verbessern [89]. Auf Grund der komplexen Struktur der Brust ist eine genaue Operationsplanung jedoch kompliziert. Die Erfassung diverser Parameter zur Objektivierung der Symmetrie gestaltet sich meist schwierig und weist oft eine hohe Ungenauigkeit auf. Gründe hierfür sind unter anderem eine ungenau festgelegte Brustbegrenzung, die Ptosis der Brust, besonders bei größeren Mammae oder Fehlerquellen aufgrund der Ungenauigkeit des angewendeten Messverfahrens. Daher existieren bisher wenige in der Praxis etablierten Analysemethoden zur Erfassung der Symmetrie der Mammae. Eine standardisierte, präzise und objektive Quantifizierung der individuellen Brustasymmetrie ist daher anzustreben. Im nächsten Abschnitt folgt zunächst eine genaue Beschreibung der Brust hinsichtlich ihrer Symmetrieaspekte.

1.2 Definition der Brustasymmetrie

Bisher gibt es in der Literatur keine einheitliche Klassifikation und Nomenklatur in Bezug auf die Brustasymmetrie. Auch die Methodik zur Beurteilung der weiblichen Brust und des Asymmetriegrads ist derzeit noch nicht standardisiert [58, 75, 91, 98]. In der Plastischen Chirurgie existieren jedoch eine Reihe von verschiedenen Beschreibungen der ästhetisch perfekten Brust. Häufig wird in diesem

Zusammenhang Westreich zitiert: „*Aesthetically perfect* was defined as a nonptotic breast in which no common aesthetic procedure would be considered as appropriate (excluding augmentation) to enhance the breast’s form” [100]. Er führt allgemein anerkannte Kriterien zur Beschreibung einer als ästhetisch ansprechend bezeichneten Brust auf. Sie sollte eine minimale Ptosis aufweisen und in ihrer Größe proportional zum Körper sein. Die Mamille befindet sich mittig an der am weitesten anterioren Stelle der Brust. In ihrer Form ist sie konisch, tränen- oder tropfenförmig [100]. Außerdem liegt Symmetrie vor. Diese Beschreibung geht auf spezielle Punkte bezüglich der Brustform ein, die jedoch sehr unterschiedlich aufgefasst werden können. Vor allem die konische, tränen- oder tropfenförmige Ausprägung lässt viel Spielraum in der individuellen Interpretation. Eine exaktere Beschreibung wäre daher zur besseren Vergleichbarkeit wünschenswert. Bezüglich der Symmetrie der weiblichen Brust wurde bei gesunden Probanden in der Mehrheit der Fälle eine gewisse Asymmetrie als natürliche Abweichung der Norm festgestellt. Diese Abweichung wird sowohl von den Frauen selbst als auch von unabhängigen Expertenurteilen in vielen Fällen nicht als störend, unästhetisch oder operationswürdig empfunden. Eine leichte Asymmetrie der weiblichen Brust wird somit also akzeptiert und ist eher Regel als Ausnahme [9, 18, 33, 58, 82]. Ursachen für stärkere Abweichungen in der Symmetrie sind neben anatomischen Normvarianten unter anderem eine Reihe von Erkrankungen. Diese gehen mit einer mehr oder minder schweren angeborenen Brust- und Brustwandasymmetrie einher. Dazu gehören zum Beispiel das Poland Syndrom, unilaterale Hypo- oder Hyperplasie und tuberöse Brustdeformierung [18, 36, 81, 98]. Außerdem kann Brustasymmetrie iatrogen entstehen, beispielsweise nach mehrfachen Biopsien oder onkologischen brustchirurgischen Maßnahmen [42].

Im Allgemeinen spielen bei der Beurteilung der Asymmetrie verschiedene Aspekte eine Rolle. Zunächst sollte die Brustwand bezüglich Form und Asymmetrie untersucht werden. Dabei werden auffällige Befunde wie beispielsweise Skoliose, starke Fehlstellung der Rippen oder Trichterbrust dokumentiert [64, 82]. Als nächstes werden Unterschiede in Volumen und Grunddurchmesser sowie Mamille- und Brusthügelasymmetrie betrachtet. Ebenfalls vergleicht man die Position des Mamille – Areola – Komplexes und der Inframammarfalte der beiden Brüste [82]. Außerdem wird der Ptosisgrad festgestellt und die Ergebnisse der rechten und linken Brust verglichen. Nach Verbos (1976) wird die Ptosis in 3 Typen unterteilt. Bei Typ 1 befindet sich die Mamille in der korrekten Position, es besteht nur ein geringer Hautüberschuss. Der Drüsenkörper ist verhältnismäßig fest. Mäßiger Hautüberschuss, mäßige Drüsenatrophie, aber korrekte Lage der Mamille kennzeichnen Typ 2 der Ptosis. Erheblich Drüsenatrophie, großer Hautüberschuss und eine Position der Mamille unterhalb der Submammarfalte liegen bei Typ 3 vor. Weiterhin können inflammatorische Prozesse, Teleangiektasien und Narben oder andere Veränderungen im Hautkolorit einen Einfluss auf das symmetrische Bild der Brust haben. Wie bereits oben schon erwähnt, existiert in fast 90% der Fälle eine gewisse Asymmetrie in zumindest einem der beschriebenen Aspekte. 2/3 der Frauen weisen mehr als eine Komponente der Asymmetrie auf [58, 82].

In der folgenden Tabelle sind bestehende Ansätze zur Einteilung der Brustasymmetrie anhand morphologischer Kriterien zusammengefasst:

Elsahy	Schurter	Malata	Juri	Scuderi
Bilaterale asymmetrische Hypertrophie	Asymmetrische Hypermastie	Bilaterale symmetrische Hyperplasie	Asymmetrie mit Ptosis und/oder Hypertrophie beider Mammae	Bilaterale asymmetrische Hyperplasie oder Hypoplasie
Bilaterale asymmetrische Hypomastie	Asymmetrische Hypomastie	Bilaterale asymmetrische Hypoplasie	Asymmetrie mit Ptosis und/oder Hypertrophie einer Mamma, die andere ist normal	Hyperplasie oder Hypoplasie
Unilaterale Hypertrophie und kontralaterale Mikromastie	Hypermastie und Hypomastie	Hypertrophie und Hypoplasie	Asymmetrie mit Ptosis und/oder Hypertrophie einer Mamma, die andere ist hypoplastisch	Unilaterale Hyperplasie oder Hypoplasie
Unilaterale Hypertrophie	Unilaterale Hypermastie	Unilaterale Hyperplasie		Hypoplasie mit thorakaler Deformität
Unilaterale Hypomastie oder Amastie	Unilaterale Hypomastie	Unilaterale Hypoplasie		Unilaterale oder asymmetrische Ptosis

Tabelle 1: Einteilung der Brustasymmetrie nach morphologischen Kriterien, Zusammenfassung bestehender Klassifikationen [24, 42, 56, 64, 66, 72]

Die Autoren unterscheiden jeweils ein- oder beidseitig vergrößert oder verkleinerte Brüste, wobei in manchen Fällen die Ptosis berücksichtigt wird, bei anderen Einteilungen dagegen nicht. Alle Einteilungsversuche sind rein deskriptiv morphologisch, die schwer miteinander vergleichbar sind. Der Grad der Abweichung wird in keiner der aufgeführten Klassifikationen mit einer Maßeinheit quantifiziert.

Einen anderen Ansatz zur Beschreibung der Brustasymmetrie unternehmen Vandebussche und von Heimburg. Sie gehen im Vergleich zu den in der Tabelle aufgeführten deskriptiv morphologischen Einteilungen mehr auf die Ätiologie der Asymmetrie ein, beziehungsweise beziehen sich bei der Beschreibung auf ein einzelnes Krankheitsbild.

Vandebussche beschreibt vier verschiedene Formen der Asymmetrie hinsichtlich ihrer Entstehung [96].

1. angeborene Malformation mit Asymmetrie (z.B. Poland Syndrom)
2. frühzeitig erworbene Asymmetrie (bereits in der Pubertät auftretend)
3. spät erworbene Asymmetrie (z.B. post partum oder tumorös bedingt)
4. tertiäre oder iatrogene Asymmetrie (z.B. durch Verbrennung oder Biopsie)

Diese Einteilung berücksichtigt weder spezifisch morphologische Kriterien noch wird das Maß der Asymmetrie quantifiziert. Insofern ist sie zwar wichtig in der Dokumentation der Krankheitsgeschichte des Patienten, spielt jedoch in Bezug auf Operationsplanung und postoperative Evaluation eine untergeordnete Rolle.

Beim Krankheitsbild der tuberösen Brustdeformierung beschreibt von Heimburg in seinem Artikel die auftretenden Veränderung der Brustmorphologie unter Berücksichtigung der einzelnen Quadranten und teilt sie in die folgenden 4 Typen ein:

Typ I - Hypoplasie des unteren medialen Quadranten

Typ II - Hypoplasie des unteren medialen und lateralen Quadranten, mit ausreichend

Haut im subareolaren Bereich

Typ III - Hypoplasie des unteren medialen und lateralen Quadranten, ohne

ausreichend Haut im subareolaren Bereich

Typ IV - schwere Brustkonstriktion auf minimaler Basis

Die Asymmetrie kann bei der tuberösen Brustdeformierung sowohl uni – als auch bilateral auftreten. Die in den verschiedenen Quadranten unterschiedlich ausgeprägte Hypoplasie stellt an den Chirurg den Anspruch, zufriedenstellende ganzheitliche Symmetrie zu erzielen. Je nach Einteilung in die oben genannten Gruppen sollte nicht einfach eine Augmentation durchgeführt, sondern eine, dem jeweiligen Typ gerecht werdende, spezielle chirurgische Methode angewandt werden [98]. Vorteil dieser Methode ist, dass bereits eine Einteilung in Quadranten vorgenommen wird und die Asymmetrie somit genauer beschrieben und lokalisiert werden kann. Jedoch fehlt auch hier eine Messung, die das Ausmaß der Asymmetrie genauer beschreibt und quantifiziert.

1.3 Methoden zur Quantifizierung der Brustasymmetrie

1.3.1 Visuelle Beurteilung

Hierzu gehören die Bewertung der Brustasymmetrie anhand von zweidimensionalen Photographien und die subjektive Beurteilung direkt am Patienten. Dabei unterliegt die visuelle Evaluation des Arztes einer hohen Ungenauigkeit und Subjektivität und wird als ungenügend in der Operationsplanung eingestuft [17, 64]. Die Bewertung ergibt hauptsächlich qualitative Ergebnisse. Edstrom et al. benutzen zweidimensionale Photographien zur Beurteilung der Asymmetrie und verfeinern die Methode durch Herstellung von halbseitigen Negativen der Brustaufnahme. Die gespiegelte linke Brust in ihrer Negativdarstellung wird dann zum genaueren

Vergleich über die rechte Brust gelegt, um Unterschiede besser erkennen zu können [21, 34]. Dies ermöglicht zwar eine genauere Beurteilung der Asymmetrie, da sonst schwer zu erfassende Unterschiede durch das Übereinanderlegen besser erkennbar sind [23]. Jedoch fehlen konkrete Werte und genaue Messungen. Es werden keine objektiven Daten erhoben, die Standardisierung und Vergleich mit anderen Befunden ermöglichen.

1.3.2 Lineare Messung

Mehrere Autoren haben bereits versucht, durch diverse Streckenmessungen an der weiblichen Brust, allgemein gültige Referenzwerte zu erarbeiten [9, 17, 75-77, 90, 91, 93, 100]. Durch Vergleich der Streckenmesswerte von rechter und linker Brust können Rückschlüsse auf die Symmetrie gezogen werden. Meist werden bei dieser Methode manuelle Messungen direkt am Körper zwischen verschiedenen anatomischen Fixpunkten, sogenannten Landmarks, erhoben. Brown hingegen setzt in seiner Studie mehrere Landmarks an der weiblichen Brust und definiert deren Position in zwei Ebenen. Jeder Punkt wird so anhand seiner horizontalen und vertikalen Messung beschrieben. Zur Berechnung der Asymmetrie werden die Ergebnisse der jeweiligen Punkte an den beiden Brüsten voneinander subtrahiert [9]. Bisher gibt es noch keine einheitlich festgelegten Strecken, die bei der linearen Vermessung der Brust erhoben werden. Alle Autoren legen für sie selbst sinnvoll erscheinende Linien fest. Der Einzelvergleich zweier Strecken an jeweils rechter und linker Brust stellt zwar Unterschiede in bestimmten Bereichen der Mammæ dar, erfasst jedoch nur ungenügend die Symmetrie der Brust in ihrer Gesamtheit. Generell stellt die lineare Streckenmessung die am weitesten verbreitete Methode

zur Symmetriequantifizierung im klinischen Alltag dar. Aufgrund der einfachen und schnellen Durchführbarkeit hat sich das kostengünstige, auch intraoperativ anwendbare Verfahren bisher gegenüber anderen weitgehend durchgesetzt.

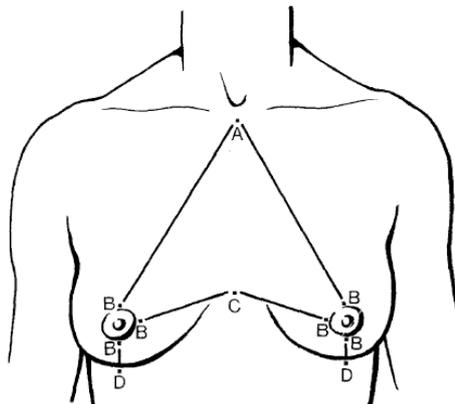


Abbildung 1: Beispiel für erhobene Streckenmessungen an der Brust aus der Arbeit von Stark et al. [93]

A-B: oberer Sternumrand – oberer Mamillenrand;
 B-C: medialer Mamillenrand – Mitte des Sternum;
 B-D: unterer Mamillenrand – Submammarfalte

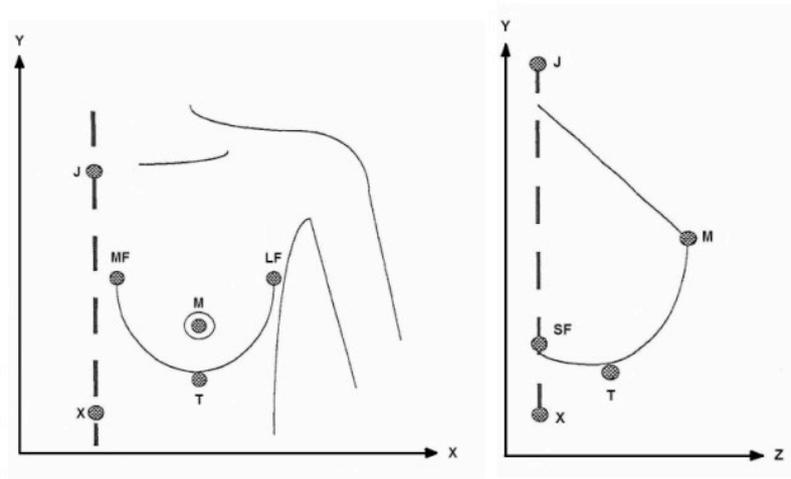


Abbildung 2: Anthropomorphe Messungen der Brustregion nach Brown et al. [9]

J – Jugulum, X – Xiphoid, M – Mamille, T – tiefster Punkt der Brust, MF – medialer Ausläufer der Brust, LF – lateraler Ausläufer der Brust, SF – Submammarfalte

1.3.3 Volumenbestimmung

Ein weiterer Versuch, die Symmetrie der Brust zu quantifizieren, erfolgte in den letzten Jahrzehnten häufig mithilfe von Volumenmessungen [40, 47, 52]. Eine Vielzahl verschiedener Methoden zur Volumenerfassung der weiblichen Brust ist bereits in der Literatur beschrieben. Zur Erfassung der Symmetrie werden die Ergebnisse der Volumenmessungen der linken und rechten Brust miteinander verglichen. Wichtig ist hierbei jedoch die Tatsache, dass gleiches Volumen nicht unbedingt Symmetrie bedeutet. Die Position der Mamma kann trotz gleichen Volumens variieren, außerdem spielen Position und Größe des Mamillen –Areola – Komplexes eine Rolle. Zudem können trotz gleicher Volumina unterschiedliche Ptoisgrade vorliegen. Im folgenden Abschnitt wird eine Übersicht verschiedener Volumenerfassungsverfahren gegeben und die einzelnen Methoden beschrieben und vorgestellt.

1.3.3.1 Anthropomorphische Methode

Grundlage dieser Methode ist die bereits oben beschriebene manuelle Messung von standardisierten Strecken an der Brustoberfläche. Diese gemessenen Streckenwerte werden dann in mathematische Formeln zur Volumenberechnung eingesetzt. [9, 75, 91, 92, 97, 100]. Ein Nachteil dieses Verfahrens besteht in der Übernahme von Messungenauigkeiten aus der Volumenerfassung. Die Berechnung des Volumens mit der erarbeiteten Formel ist letztendlich immer abhängig von der Genauigkeit der Volumenmessung im Vorfeld. Ein weiterer Ansatz besteht im Vergleich der Brustform mit einem Halbellipsoid. Anhand der mathematischen Berechnungsformel für diese geometrische Figur werden an der Brust das Halbellipsoid definierende Messungen

erhoben und so das Volumen berechnet [8, 76, 77]. Die Methode weist wegen ihrer einfachen Durchführbarkeit eine hohe Akzeptanz seitens der Patientinnen auf [10]. Problematisch ist jedoch die teilweise unpräzise Erhebung der Strecken, da bestimmte Anfangs- und Endpunkte nicht an anatomischen Korrelaten festgemacht werden können. Die Messung wird daher ungenau und subjektiv. Außerdem sind die Formeln zur Volumenberechnung zum Teil nur grobe Annäherungen an das exakte Volumen und meist sehr komplex. Aus diesen Fehlerquellen resultiert eine verhältnismäßig große Ungenauigkeit. Beim Vergleich der Ergebnisse mit validierten Verfahren schneidet die anthropomorphe Methode zur Volumenerfassung daher mit am schlechtesten ab [10, 48]

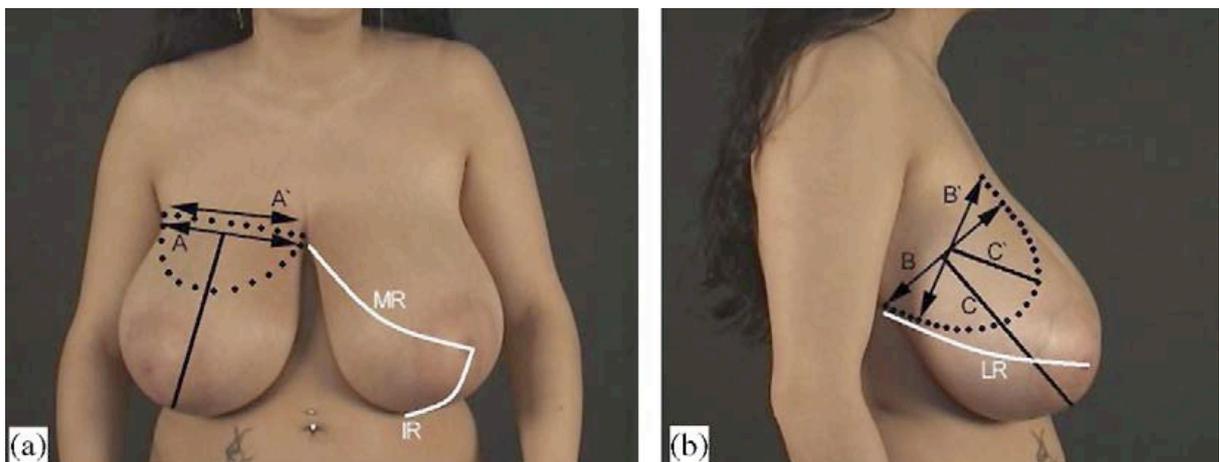


Abbildung 3: Brustvolumenerfassung mithilfe der anthropomorphen Methode (weiße Linien) und 2-D Photographien (schwarze Linien); (a) MR = Abstand zwischen Mamille und medialer Brustfalte, IR = Abstand zwischen Mamille und Submammarfalte, (b) LR = Abstand zwischen Mamille und lateraler Brustfalte, (a) A = Breite des Ellipsoids, (b) B = Höhe des Ellipsoids, C = ellipsoidale Halbachse; A', B', C' sind die korrespondierenden Messungen, prädiktiv für die postoperative Brust [47]

1.3.3.2 Mammographie und Ultraschall

Ähnlich wie bei der anthropomorphischen Methode werden bei diesen Verfahren zweidimensionale Bilder der weiblichen Brust angefertigt. Sowohl in der Mammographie [43] als auch beim Ultraschall [65] wird das Gewebe zunächst linear vermessen. Die Werte dienen dann zur Berechnung des Volumens anhand algebraischer Formeln. Grundlage der Berechnung sind geometrische Figuren wie beispielsweise Kegel oder Halbellipsoide, die annäherungsweise der Form der Brust entsprechen [43]. In der Ultraschalldiagnostik findet diese Methode bereits weite Verbreitung in der annähernden Berechnung von Volumina der inneren Organe wie beispielsweise von Milz, Leber und Nieren [65]. Jedoch ist hier ein ungefähre Volumenangabe vollkommen ausreichend, andere nichtinvasive Möglichkeiten stehen außerdem kaum zur Verfügung. Bei der Brustvolumenerfassung hingegen ist eine präzisere Angabe erwünscht und möglich. Die Fehlerquellen dieser Art der Volumenberechnung entsprechen den bei der anthropomorphen Methode bereits beschriebenen. Die Mammographie stellt zudem eine sehr unangenehme Prozedur mit hoher Strahlenbelastung dar [70].

1.3.3.3 MRT und CT

Mithilfe dieser modernen radiologischen Bildgebungsverfahren kann der Thoraxbereich mit dem Brustgewebe in Form von Schnittbildern erfasst werden. Diese ermöglichen eine dreidimensionale Darstellung anhand derer das Volumen der Brust durch Summierung segmentaler Einzelschichten mit hoher Genauigkeit bestimmbar ist [1, 29, 45, 67, 69]. Nachteilig ist jedoch der hohe Kosten – und Zeitaufwand der MRT und CT Untersuchung. Weiterhin können Patientinnen mit

Klaustrophobie (MRT und CT), Herzschrittmachern, Kochleaimplantaten (MRT) und Schwangere (CT) mit diesen Verfahren nur eingeschränkt untersucht werden. Die Strahlenbelastung beim CT ist ein starkes Argument gegen den Routineeinsatz dieser Methode. Zusätzlich kommt es in den für diese Bildgebung notwendigen Rücken- oder Bauchlagen zu nicht unbeträchtlichen Deformationen des Brustgewebes.

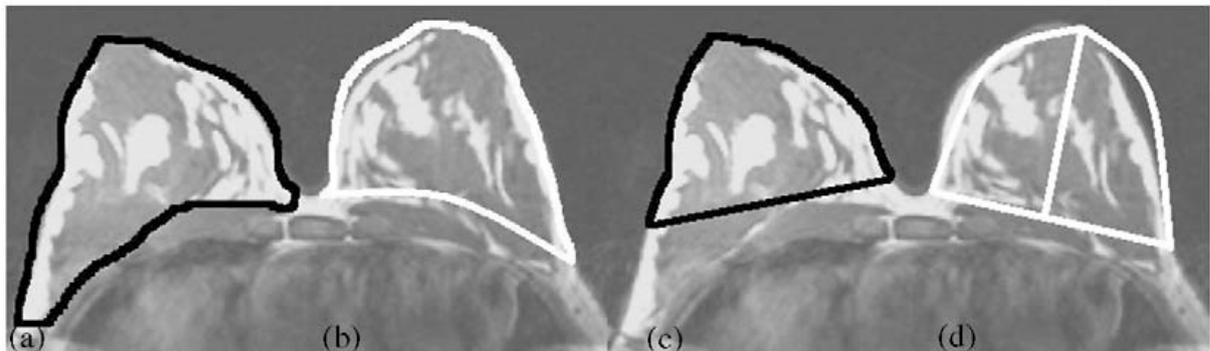


Abbildung 4: Darstellung der Volumenbegrenzung der Brust bei 4 verschiedenen Methoden an einem MRT Bild, Darstellung der Begrenzung mit weißen und schwarzen Linien (a) MRT (b) 3-DScan (c) Thermoplastabdruck (d) modifizierte anthropomorphe Methode mit Halbellipsoid nach Kovacs et al. [45]

1.3.3.4 Thermoplast- und Gipsabdruckverfahren

Mithilfe von Gips- oder Thermoplastabdrücken werden Negativrepliken der Brust erstellt. Dazu wird eines dieser Materialien auf die Brust gedrückt, geformt und getrocknet. Durch Füllung des entstandenen Negativ – Modells mit Wasser oder Sand bekannter Dichte kann so das Volumen ermittelt werden [11, 20, 70]. Bei der Erstellung des Abdruckes kann es jedoch durch mechanischen Kompression zur Verformung der Brust und somit zur ungenauen Volumenerfassung kommen [47].

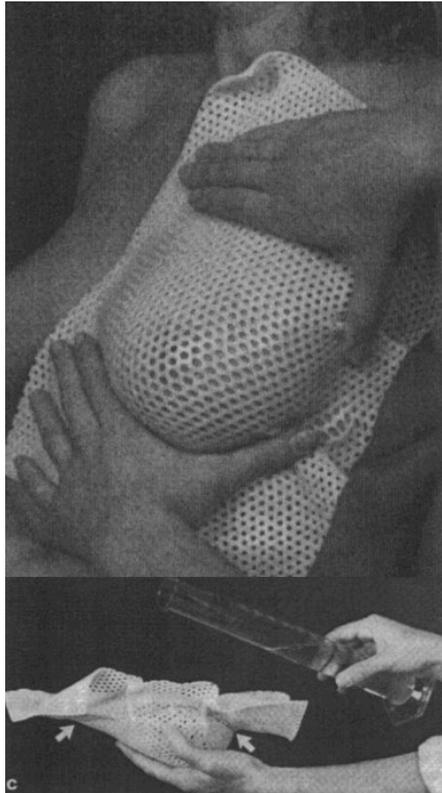


Abbildung 5: Anfertigung des Thermoplastabdrucks (oben) und Auffüllen der entstandenen Negativreplik mit Wasser (unten) nach Edsander-Nord et al. [20]

1.3.3.5 Archimedische Methode

Die durch einen festen Körper verdrängte Menge Flüssigkeit entspricht dem Archimedischen Prinzip nach seinem Volumen [2, 6, 85]. Daraufhin sind verschiedene Methoden entwickelt worden, um sich dieses Prinzips bei der Volumenbestimmung der weiblichen Brust zunutze zu machen [6, 44, 85, 99, 101]. Die Patientin beugt sich dazu beispielsweise über einen mit körpertemperierten Wasser gefüllten Behälter und taucht ihre Brust hinein. Hierbei ist es wichtig, dass Brustwand und Behälterrand in einer Ebene liegen und miteinander abschließen. Die

verdrängte Menge an Wasser wird hintereinander an den beiden Brüsten gemessen und somit das Volumen erfasst [6, 85]. Modifizierte Anwendung findet dieses Prinzip in Form von Wasser- oder auch Luftverdrängung zum Beispiel durch auf die Brust aufgedrückte kalibrierte Trichter, die dann mit Flüssigkeit gefüllt werden [44, 99, 101]. Alle Methoden sind unter anderem auf Grund von Ungenauigkeit bei der Eintauchtiefe der Brust und Veränderungen des Volumens beim Aufdrücken der Trichter auf die Thoraxwand relativ ungenau. Außerdem haben manche Patientinnen Schwierigkeiten, das Eintauchen der Brust in einen Behälter adäquat durchzuführen [10]. Zudem stellt die Archimedische Methode eine verhältnismäßig aufwendige und mühsame Prozedur für die Patientinnen dar [99].

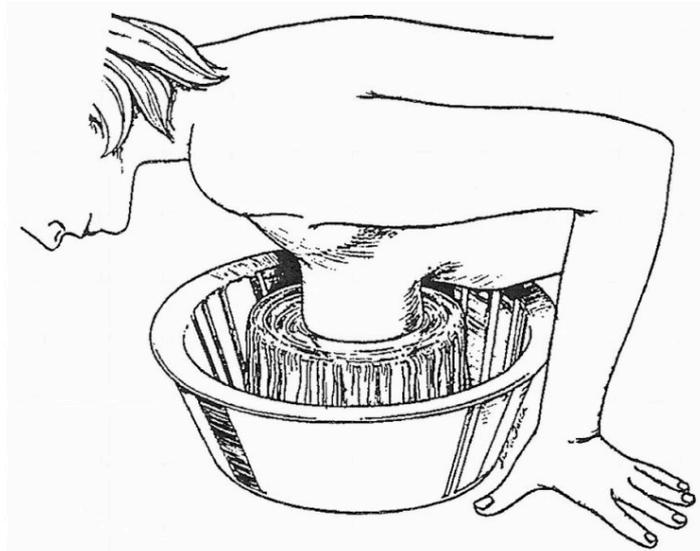


Abbildung 6: Archimedisches Prinzip der Wasserverdrängung zur Brustvolumenbestimmung nach Schultz et al.[85]

1.3.4 Hilfsapparaturen

Eine Reihe von Autoren verwendet zur Erfassung der Volumina diverse Hilfskonstruktionen. Hierzu zählen in der Größe verstellbare Schablonen und Expander, die postoperative Ergebnisse simulieren, und transparente Behälter unterschiedlicher Größe, die auf die Brust aufgesetzt werden können. Strömbeck et al. verwendet transparente Schalen zur Volumenbestimmung. Daraus berechnet er die Asymmetrie durch Multiplikation der Volumendifferenz mit vier. Das Ergebnis wird durch das Volumen der größeren Brust dividiert. So können sehr große Unterschiede erfasst werden [94]. Das Prinzip der Volumenerfassung von Grossman et al. basiert auf der Verwendung von verstellbaren konischen Formen, die auf die Brust gesetzt und angepasst werden können. Das Volumen wird dann an einer Skala auf der Schablone abgelesen. Diese sind wiederverwendbar und sterilisierbar. So wird eine intraoperative Nutzung ermöglicht [37]. Nachteile des Verfahrens wurden jedoch in einer Untersuchung von Palin et al. dargelegt. Die Anwendung des „Grossman - Roudner Device“ weist Einschränkungen für bestimmte Brustformen auf. Gerade bei sehr großen Volumina können keine akkuraten Ergebnisse mehr geliefert werden [73]. Mit Wasser auffüllbare Expander und verschieden große Implantate sollen zur Vorhersage des Operationsergebnisses dienen. Sie werden präoperativ in den Büstenhalter der Patientin gelegt, um einen Eindruck des Ergebnisses zu vermitteln [22, 39, 44]. Asymmetrien könnten so durch Einlage verschiedener Größen auf beiden Seiten ausgeglichen werden. Jedoch sind Operationsvorhersagen immer problematisch, da sie nicht erfüllbare Erwartungen wecken können. Komponenten wie Schwellung und Gewebedeformierung werden nicht berücksichtigt. Die Vorhersagen können nur bei komplikationslosem Verlauf erfüllt werden. Deshalb

können sie bis hin zu rechtlichen Konsequenzen für den Operateur führen. Bei allen Methoden zur Volumenerfassung, bei denen Hilfsapparaturen angewendet werden, besteht die Problematik der Brustgewebedeformierung durch das Aufsetzen der Schalen und Schablonen.

1.3.5 Dreidimensionale Körperoberflächenerfassung

Neben den bereits beschriebenen mechanischen Verfahren zur Erfassung der Brustasymmetrie zeigt sich in der Literatur eine Entwicklung hin zu verschiedenen dreidimensionalen Symmetrieanalyseverfahren [16, 41, 58, 59]. Wie bereits bei einigen vorgestellten Methoden beschrieben, dient häufig die Volumenerfassung der Brust als Grundlage zur Symmetriequantifizierung. So begann auch bei der 3-D Körperoberflächenerfassung die Symmetriebeurteilung zunächst mit der Bestimmung von Volumina, da das Volumen ein einfaches und nachvollziehbares Maß für die Symmetrie schien [30, 32, 49, 50, 53, 55, 64, 72, 80]. Weil jedoch noch viele weitere Aspekte wie Position der Brust an der Thoraxwand, Mamillen – Areola – Komplex und Ptosisgrad eine entscheidende Rolle spielen, wurden zusätzlich separate Verfahren zur besseren Erfassung der Symmetrie entwickelt.

1.3.5.1 Biostereometrische Methode

Bei diesem Verfahren wird eine anatomische Struktur mit mehreren Messbildern aus verschiedenen Perspektiven aufgenommen und so in ihrer Lage und Form rekonstruiert [60-63, 87]. Zur Erfassung der Brust werden die Patientinnen sowohl im Sitzen als auch mit nach vorne gebeugtem Oberkörper aus vier verschiedenen Positionen aufgenommen. Die Gravitationskraft, die auf das Gewebe wirkt, zieht die

Mammae nach unten und separiert sie auf diese Weise von der Thoraxwand [61, 63]. Dieses Verfahren stellt eine relativ einfache, nicht invasive und akkurate Methode zur Erfassung des Brustvolumens dar [87, 88].

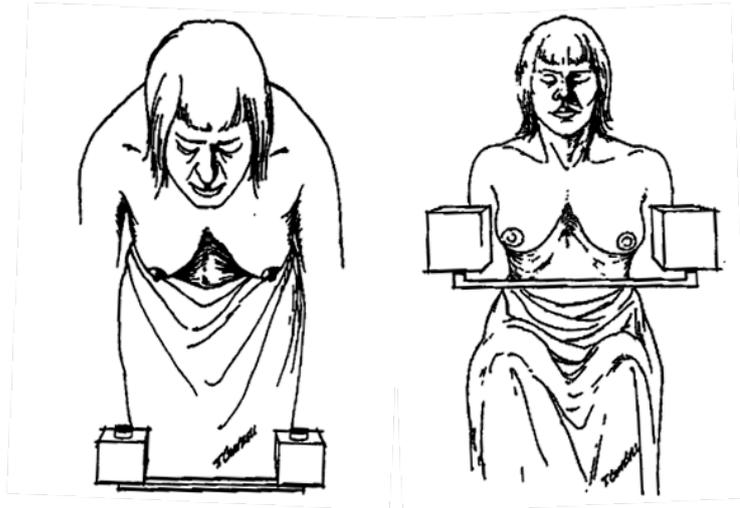


Abbildung 7: nach vorne gebeugte (links) und sitzende Position (rechts) zur stereometrischen Aufnahme [60]

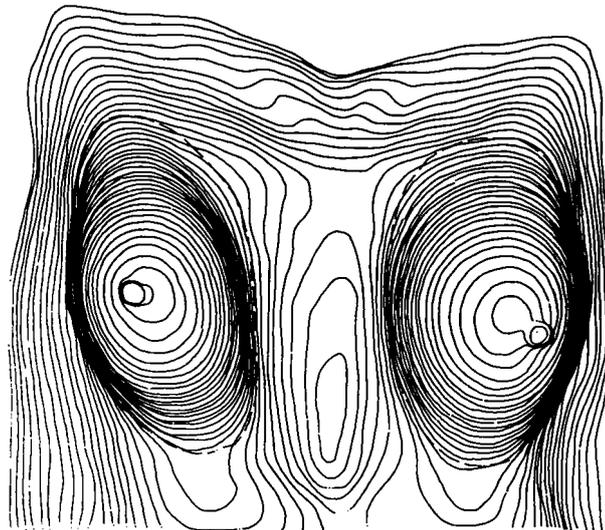


Abbildung 8: Konturmammogramm mit Brustbegrenzung (gestrichelte Linie) nach Loughry et al. [62, 63]

1.3.5.2 Erfassung mit dem Laserscanner

Das am häufigsten zur dreidimensionalen Körperoberflächenerfassung verwendete Prinzip liefert durch Reflexion von Licht Informationen über die Raumstruktur des Objekts. Das Grundprinzip dieser Oberflächenerfassung mit dem Laserscanner ist die Triangulation. Das von einem Objekt reflektierte Lichtmuster nimmt eine Kamera auf und speichert die Information auf einem CCD Chip (Charged – Couple – Device). Mithilfe einer geeigneten Software werden dann virtuelle dreidimensionale Bilder ohne Berührung und Durchdringung des zu erfassenden Objekts erstellt [7].

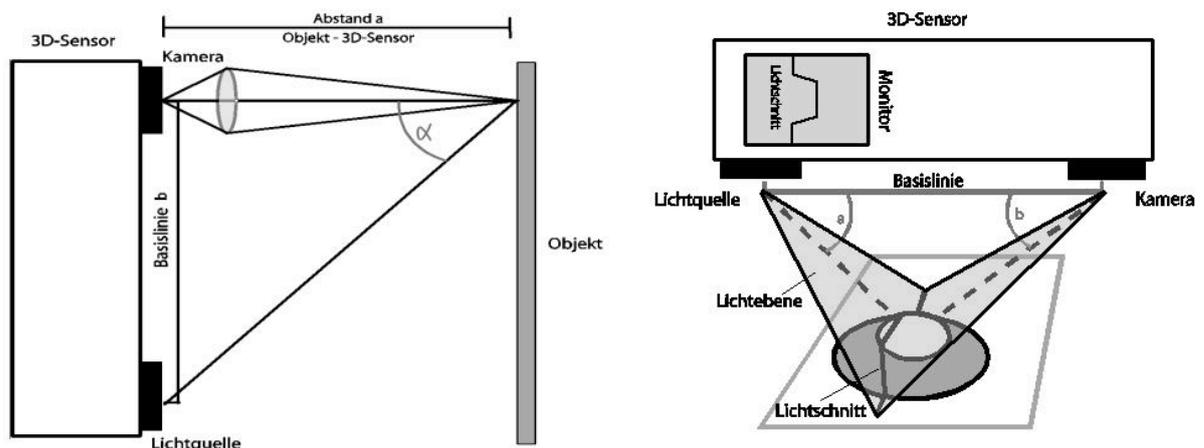


Abbildung 9: Das Prinzip der Triangulation (links) und des Lichtschnittverfahrens (rechts), modifiziert nach B. Breuckmann (1993)[7]

Auf der Grundlage dieser optischen Erfassungssysteme haben bereits einige Autoren versucht, die Symmetrie und andere Brustmerkmale zu erfassen. Losken et al. analysieren die weibliche Brust mithilfe dreidimensionaler Bilderfassung aus mehreren Perspektiven in einer Kohorte von gesunden Probanden und stellen die

Ergebnisse der Überlagerung der rechten auf die linke Brust in Farbhistogrammen dar. Der Abstand der Flächen zueinander wird in Millimetern gemessen, und ein Mittelwert berechnet. Unterschiedlich große Abweichungen in verschiedenen Bereichen der Brust beschreibt er grob mithilfe der Bezeichnungen lateral, medial, inferior, superior und zentral. Genauere Begrenzungen und Einteilungen werden nicht vorgenommen. Er versucht erstmals, die Symmetrie mithilfe eines „rootmeansquare“ (RMS) zu quantifizieren. Dazu quadriert er alle Werte, zieht die Wurzel aus dem arithmetischen Mittel und eliminiert so positive und negative Variablen. Die Ergebnisse der objektiven Messungen vergleicht er mit subjektiven Einschätzungen [58, 59].

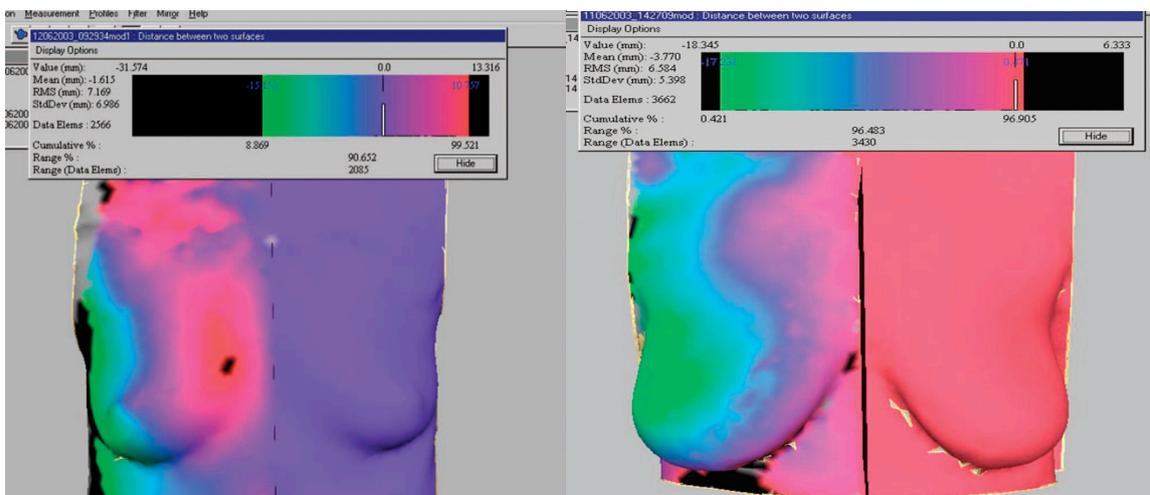
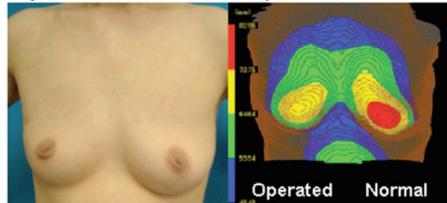


Abbildung 10: Farbhistogramm der Brustregion nach Losken et al. Nach Spiegelung und Überlagerung der linken auf die rechte Brust zeigen sich Unterschiede der Oberflächenabstände zueinander. Die rechte Brust stellt sich lateral größer und medial kleiner als die linke Brust dar [58].

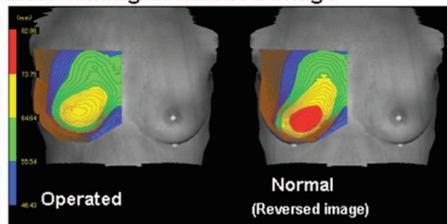
Isogai et al. verfeinern die Methode noch. Sie erfassen die Symmetrie der Brust ebenfalls mit dreidimensionalen Körperoberflächenmessungen und erstellen Bilder

mit einem Laserscanner. Die erstellten Bilder sind in Abbildung 11 wiedergegeben. Hier erfolgt die Einteilung in vier verschiedene farbcodierte Bereiche.

Step 1: Adjustment of standard plane and 4 zones



Step 2: Determining of masked image



Step 3: Analysis of surface area ratio

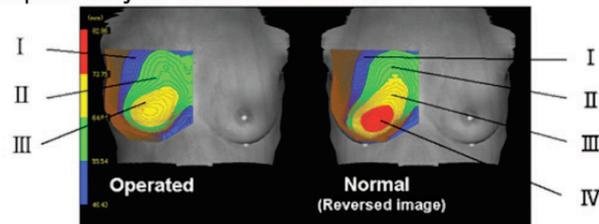


Abbildung 11: Quantitative Analyse der rekonstruierten Brust nach Isogai et al. Schritt 1: Erfassung von 4 Zonen der Brust je nach Abstand zur Brustwand Schritt 2: Spiegelung der linken Brust auf die rechte Brust Schritt 3: Generierung der Oberflächenratio; Zone I (blau) der Thoraxwand am nächsten, Zone II (grün), Zone III (gelb), Zone IV (rot) am weitesten von der Thoraxwand entfernt [41]

Oberflächen und Volumina der farbcodierten Areale werden nach Spiegelung der gesunden auf die operierte Seite dividiert. Es ergibt sich eine Oberflächenratio. $(\text{Oberfläche der rekonstruierten Brust} / \text{Oberfläche der normalen Brust}) \times 100 = \text{Oberflächenratio}$. Die Symmetrie wird in zwei Ebenen A und B erfasst.

Ebene A verläuft horizontal durch die beiden Mamillen, Ebene B zieht vertikal durch die Brustwarze parallel zum Sternum. Die horizontale und vertikale Abweichung errechnet sich mithilfe folgender Formel: [Flächendifferenz (positive Abweichung + negative Abweichung)] / [Gesamtfläche (positive Abweichung + negative Abweichung + Summe der Flächen)] Das Ergebnis aus beiden Ebenen wird gemittelt. Der Grad der Asymmetrie wird in Prozent der positiven und negativen Abweichung relativ zur Gesamtfläche angegeben [41]. Die Symmetrieanalyse stellt hier jedoch keine separate Methode dar, sondern erfasst lediglich die Oberflächenabweichungen zueinander und errechnet eine Ratio. Eine exakte Einteilung der Brust erfolgt nur bedingt. Die verschiedenen Zonen werden nach ihrem Abstand zur Brustwand eingeteilt und ergeben so bei jeder Patientin ein anderes Muster.

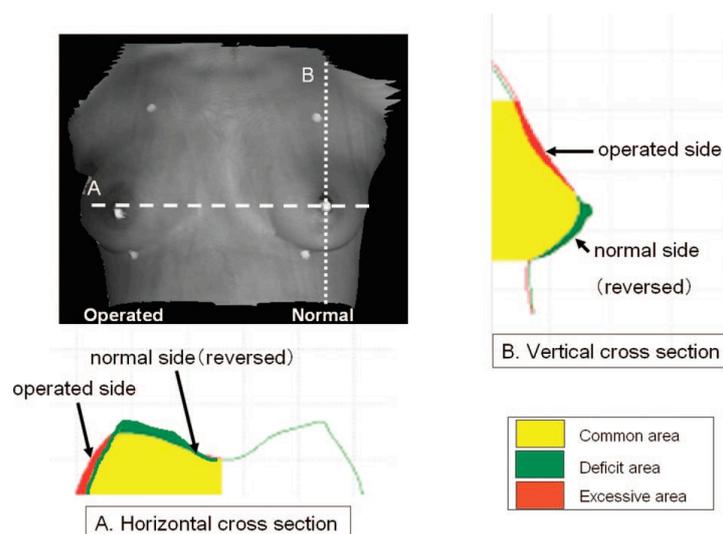


Abbildung 12: Der Grad der Asymmetrie wird anhand zweier Ebenen berechnet. An der vertikalen und horizontalen „crosssection“ jeweils Berechnung des Überschuss- und Defizitareals nach Isogai et al. [41]

Catanuto et al. erfassen die weibliche Brust ebenfalls mit einem 3-D Laser Scanner. Analysiert werden die dreidimensionalen Modelle dann mit einer geeigneten Software („Breast Shape Analyser“). Die auf der Brust gesetzten Landmarks orientieren sich an anatomischen Korrelaten, dienen zur Orientierung und ermöglichen eine Einteilung der Brust in Areale. Sich an den gesetzten Punkten orientierend, werden Ebenen in die virtuellen Bilder eingezeichnet und es ergibt sich eine Quadranteneinteilung (Abbildung 13, links) Außerdem werden Strecken zwischen den gesetzten Punkten gemessen (Abbildung 13, rechts), sowie Oberfläche und Volumen berechnet. Die Winkel zwischen den Strecken zu gezogenen Ebenen ergeben Auskunft über die Symmetrie der Mamillenposition und den Ptosisgrad (Abbildung 14).

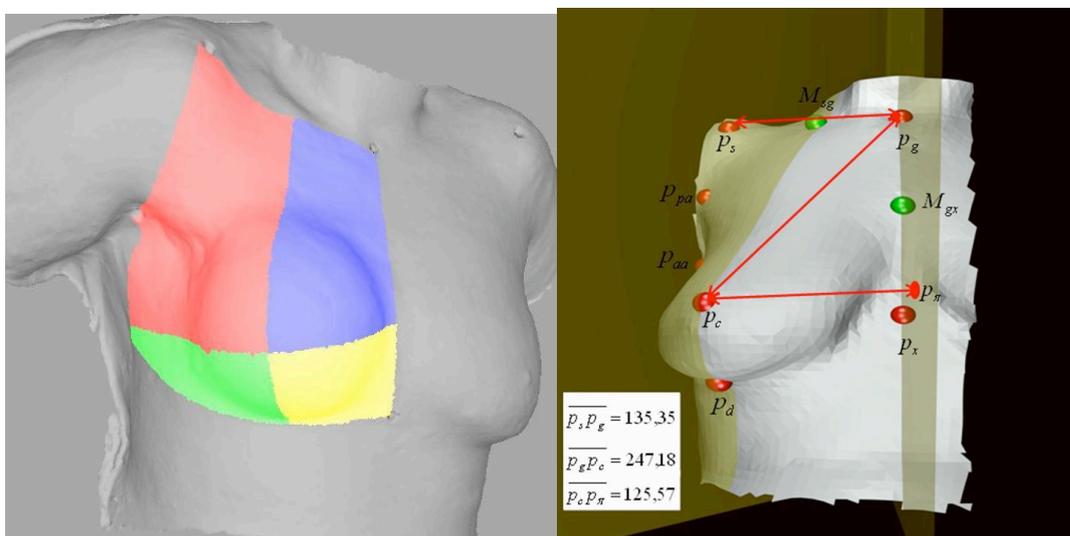


Abbildung 13: Einteilung der Brust in 4 Quadranten (links) Festlegung der Landmarks und Streckenmessung (rechts) nach Catanuto et al. [16]

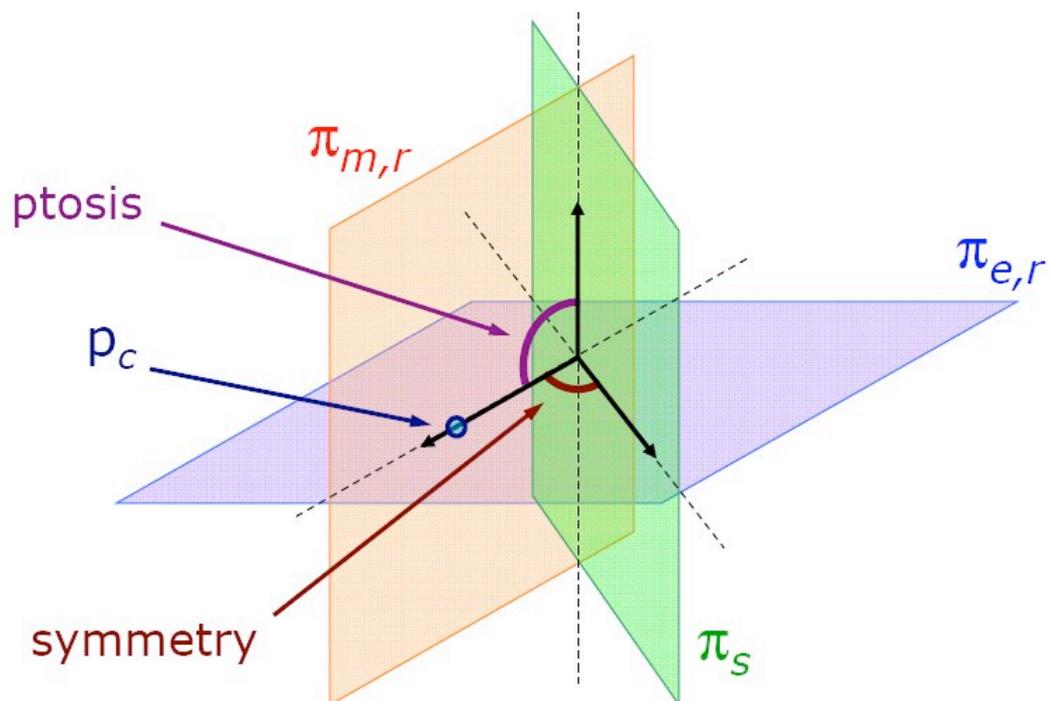


Abbildung 14: Winkelmessung zur Erfassung von Symmetrie und Ptosis nach Catanuto et al. [16]

Die Brustform soll anhand farbcodierter Bilder genauer quantifiziert werden. Die Darstellung von Krümmung und Konvexität veranschaulicht die Form und soll eine bessere postoperative Evaluierung ermöglichen. Wie Catanuto et al. jedoch selbst feststellen, ist diese Methodik noch nicht ausreichend entwickelt. Sie liefert zwar farbcodierte Informationen, diese sind jedoch nicht konkret quantifizierbar.

Die erste intraoperative Nutzung wird von Tanabe et al. durchgeführt. Anhand zweier Brustrekonstruktionen (Implantat und Lappenplastik) wird die Anwendung exemplarisch dargestellt. Der Laserscanner nimmt die Brustregion während der Operation auf, und innerhalb von 20 Minuten kann ein virtuelles Bild erstellt werden.

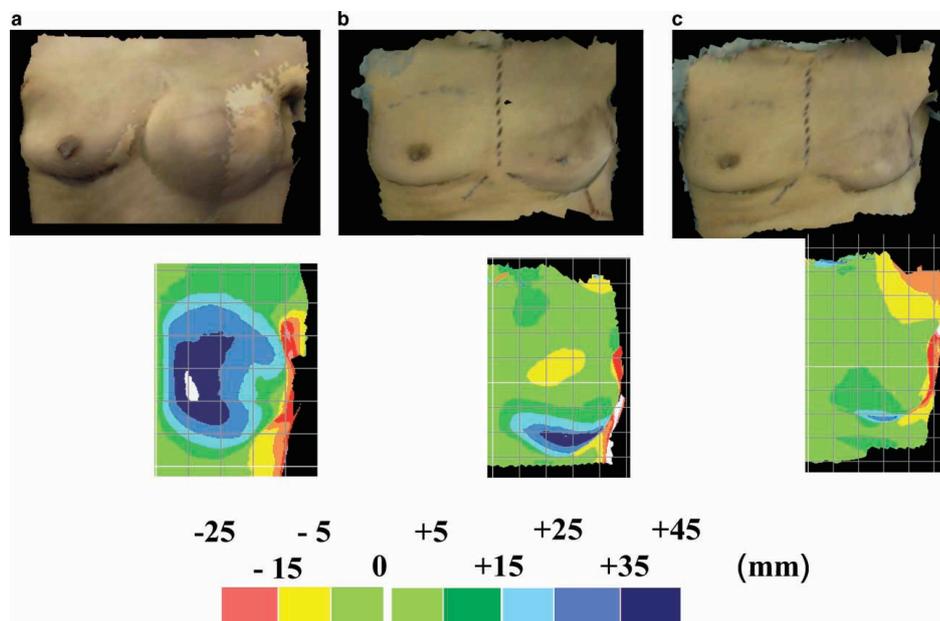


Abbildung 15: Dreidimensionale Brustdarstellung nach Tanabe et al. (a) Gewebeexpander mit 680 ml Salzlösung gefüllt, Brustregion überwiegend blau, d.h. kaum Übereinstimmung mit dem Volumen der rechten Brust; (b) Gewebeexpander mit 315 ml Salzlösung gefüllt, inferiorer Pol bleibt asymmetrisch; (c) Gewebeexpander mit 245 ml Salzlösung gefüllt, Brustvolumen weitgehend symmetrisch [95]

Die anschließend durchgeführten Volumenberechnungen ermöglichen in der gleichen Sitzung eine eventuell nötige Anpassung und somit ein besseres Resultat in Bezug auf die postoperative Symmetrie. Zudem nutzen sie das System zur Positionsfindung für die Mamille durch Streckenmessung. Nicht berücksichtigt werden jedoch postoperative Gewebedeformierungen und Schwellung des weiblichen Brustgewebes [95]. Die Methode wird nur exemplarisch dargestellt und nicht anhand größerer Fallzahlen validiert. Die intraoperative Bildverarbeitung nimmt relativ viel Zeit in Anspruch und verlängert so die Narkosezeit für die Patienten.

1.3.6 Symmetriequantifizierung

Einige Autoren haben bereits versucht, die Brustasymmetrie mit einem geeigneten Maß zu quantifizieren. Cardoso et al. und Fitzal et al. versuchen die limitierten Möglichkeiten und mangelhafte Reproduzierbarkeit subjektiver Evaluation mithilfe eines Computerprogramms zu objektivieren. Zwei Softwaresysteme, „Breast Cancer Conservative Treatment“ (BCCT.core) [13] und „Breast Analysing Tool“ (BAT©) [28] werden zur Erfassung verschiedener Parameter zur Beurteilung von Operationsergebnissen bei konservativer Brustkrebstherapie genutzt. Die Softwareanalysen werden mit Ergebnissen aus subjektiver Beurteilung anhand der Harris Skala verglichen, die das Resultat einer Brustoperation in vier Kategorien einteilt: schlecht, annehmbar, gut und sehr gut. Es wurden nur Patientinnen untersucht, bei denen eine brusterhaltende Operation bei Brustkrebs durchgeführt wurde. Zur Beurteilung der Asymmetrie werden mithilfe des BAT© Unterschiede in der Position des Mamillen – Areola - Komplexes und zwischen linker und rechter Brustkontur sowie Oberflächendifferenzen gemessen. Die BCCT.core analysiert zusätzlich Farbdifferenzen und Narben. Alle Parameter werden anhand zweidimensionaler Photographien erfasst. Durch unterschiedliche Gewichtungen der einzelnen Komponenten und eine Korrelationsanalyse erfolgt die Erstellung eines Koeffizienten. Es zeigte sich eine sehr gute Reproduzierbarkeit der Ergebnisse, wenn diese mit der subjektiven Beurteilung der Harris Skala in den Kategorien gut und schlecht verglichen werden. Keine Korrelation ergaben die Ergebnisse der Symmetriequantifizierung mit dem subjektiven Urteil der Patientinnen [12-15]. Eine Verbesserung der Methode mit dreidimensionaler Bilderfassung wird von Cardoso et al. bereits selbst vorgeschlagen, auch Zgajnar weist in seinem Artikel darauf hin. Er

empfiehlt außerdem eine größer angelegte Studie, bei der auch das genaue Therapieschema und die präoperative Tumorgöße berücksichtigt werden [103].

Moyer et al. versuchen ebenfalls, einen Symmetrie – Score zur Evaluation von Operationsergebnissen bei konservativer Brustkrebstherapie zu erstellen. Hier dienen dreidimensionale Bilder der Brustregion als Grundlage für die Analyse. Eine Spiegelung der einen auf die andere Mamma erlaubt die Berechnung der Oberflächen- und Volumendifferenzen zwischen linker und rechter Brust. Zur Kalkulation der Brustasymmetrie wird ein „root mean square“ (RMS) berechnet. Zur besseren Veranschaulichung der Ergebnisse wird ein Symmetriespektrum erstellt, das Werte von 0 bis 20 annehmen kann, wobei 0 symmetrische Brüste bedeutet und 20 eine sehr starke Asymmetrie darstellt [68].

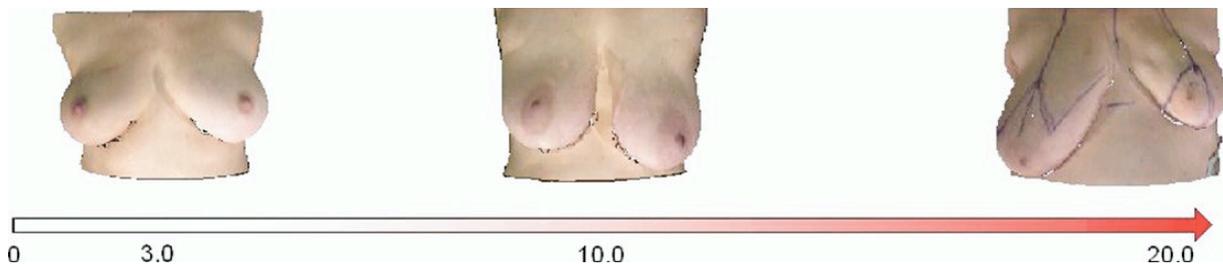


Abbildung 16: Symmetriespektrum zur Veranschaulichung der Brustasymmetrie aus Moyer et al. [68]

1.4 Vor- und Nachteile bestehender Methoden

Obwohl eine Vielzahl von Methoden zur Erfassung der Asymmetrie in der Literatur existiert, hat sich bisher keine zufriedenstellend im klinischen Alltag durchgesetzt und als Standardverfahren etabliert. Gründe hierfür sind unter anderem schwierige Praktikabilität, hohe Kosten, Strahlenbelastung, niedrige Akzeptanz seitens der

Patientinnen und mangelnde Reproduzierbarkeit und Genauigkeit der Untersuchungsergebnisse [10, 20, 30, 31, 47, 58, 67]. Schwierigkeiten entstehen zudem immer wieder, da die genaue Begrenzung der Brust nicht eindeutig definiert ist [63]. In einer vergleichenden Studie wurden MRT Verfahren, 3-D Erfassung, anthropomorphe Messungen und Thermoplastabdruck untersucht. Es zeigte sich, dass die Volumenbestimmung bei allen Verfahren unterschiedliche Resultate lieferte, da die Begrenzung des in die Messung einfließenden Gewebes jeweils differierte (Abbildung 4). Die größte Korrelation besteht jedoch zwischen dreidimensionaler Erfassung und der MRT Untersuchung, wobei die MRT Volumenerfassung das präziseste Verfahren zur Volumenbestimmung darstellt. Somit wird deutlich, dass als Alternative zu der aufwendigen und kostspieligen Magnetresonanztomographie, die dreidimensionale Körperoberflächenerfassung das präziseste Verfahren darstellt [47] und sich deshalb für die Symmetrienerfassung am besten eignet.

1.5 Ziel der Arbeit

Bisher hat sich keines der beschriebenen objektiven Verfahren in der klinischen Praxis durchgesetzt, um Brustsymmetrie, Größe und Form zu erfassen. Oft dienen subjektive Erfahrungswerte, Urteilsvermögen und visuelle Eindrücke des Chirurgen zur Beurteilung der Brust und des Operationserfolgs. In dieser Arbeit wird eine Methode zur dreidimensionalen Beurteilung der Oberflächengeometrie der Brust entwickelt und deren klinische Anwendbarkeit überprüft. Es hat sich gezeigt, dass die Nutzung eines Linearlaserscanners eine präzise Methode zur Erfassung von Volumen, Strecken und Oberflächen an der Brust darstellt. Zur Erfassung der

Brustasymmetrie werden diese Parameter evaluiert. Zusätzlich findet die Standardisierung eines eigenen Symmetrievergleichs statt. Dieser 3-D – Vergleich dient zur Evaluation der Oberflächengeometriedifferenzen zwischen linker und rechter Brust, wobei hierfür die linke Brust gespiegelt und mit der rechten überlagert wird. Da als Ergebnis einer Brustoperation die Symmetrie einen hohen Stellenwert besitzt [6, 90, 91], wird zur besseren Evaluation von prä- und postoperativen Befunden, ein Symmetrieindex erstellt. Außerdem wird ein Symmetrieveränderungsindikator berechnet, der Aussagen über die Veränderung der Symmetrieverhältnisse, die bei der Operation entstehen, erlaubt und so als vergleichbare Größe zur Beurteilung von Operationsergebnissen wichtig für das Qualitätsmanagement ist. So soll die exakte Quantifizierung der Symmetrie mithilfe dreidimensionaler Körperoberflächenerfassung ermöglicht werden und mit den Symmetrieindizes ein anschauliches Maß zur Beurteilung der Symmetrie geschaffen werden, die aufwendige Einzelanalysen obsolet machen.

2 Material und Methoden

2.1 Entwicklung und Standardisierung des 3-D - Evaluationsprotokolls zur Brustsymmetrieanalyse

2.1.1 Symmetrieerfassung an Dummymodellen

Mithilfe dreidimensionaler Körperoberflächenerfassung wird die Brustasymmetrie zunächst an zwei symmetrischen, industriell hergestellten Puppen, sogenannten Dummymodellen, erfasst. Diese werden mithilfe eines dreidimensionalen (3-D) Linearlaserscanners, Typ Minolta Vivid 910[®] (Konica Minolta Co, Ltd., Osaka, Japan) aufgenommen und computerunterstützt (Raindrop Geomagic Studio10[®], RaindropGeomagicQualify9[®], Inc., NC, U.S.A) zu virtuellen 3-D Modellen verarbeitet. Die Methodik zur Erfassung wurde bereits von Kovacs et al. etabliert und standardisiert [50]. Der Scanner befindet sich zum Zeitpunkt der Aufnahme 1,5 m von der Puppe entfernt. Die Linse erfasst den Bereich zwischen Bauchnabel und Jugulum in einem Winkel von 10° in ansteigender Position innerhalb von 1,5 Sekunden. Insgesamt werden drei einzelne Aufnahmen von den Dummys gemacht, zuerst von frontal (0°), dann nach Drehung des Modells um 30° nach rechts und aus der Perspektive -30° von links relativ zur Linse. Alle Aufnahmen werden unter standardisierten Lichtverhältnissen durchgeführt, die Lichtintensität variiert zwischen 350 und 400 Lux. Die Bilder werden dann mithilfe der Software Raindrop Geomagic Studio10[®] zusammen gefügt. Das Programm erkennt korrespondierende Areale in überlappenden Regionen, so ergeben die drei Einzelbilder ein virtuelles dreidimensionales Modell. Durch die Verwendung von Puppen werden zunächst

potentielle Bewegungsartefakte z.B. durch Atmung, plötzliche Positionsveränderungen und ungewöhnliche anatomische Gegebenheiten seitens der Modelle ausgeschlossen. Auf der Oberfläche der virtuellen Modelle werden dann nach einem von Kovacs et al. standardisierten Vorgehen verschiedene Landmarks in der Brustregion gesetzt [49, 50]. Diese werden mithilfe des Cursors entsprechend anatomischer Strukturen auf der Oberfläche der erstellten virtuellen Modelle festgelegt. Die Festlegung der Landmarks erfolgt nach obigem standardisiertem Protokoll durch drei verschiedene Personen mit unterschiedlichem medizinischem Ausbildungsgrad und Erfahrung im Bereich der Brustchirurgie. So sollen Auswirkungen auf die Präzision und auftretende Unterschiede in der Bearbeitung durch verschieden geübte Anwender erkannt werden. Jede der Personen erhält die gleiche Anleitung und führt die Messungen zehnmal pro Dummymodell wie folgt durch (n=60):

Die Festsetzung der Landmarks (LM) erfolgt wie in Abbildung 17 dargestellt auf beiden Brustarealen. LM 1 am Jugulum, LM 3 auf halber Strecke zwischen Jugulum und Xyphoid und LM 8 auf dem Xyphoid definieren die Symmetrieachse. Alle anderen Punkte sind jeweils spiegelbildlich gesetzt. Die Punkte in der Mitte der Clavicula (LM 2r und LM 2l), der Ansatz der lateralen (LM 6r und LM 6l) und medialen (LM 4r und LM 4l) Brustfalte, sowie der kaudalste Punkt in der Submammarfalte (LM 7r und LM 7l) dienen als Richtwerte für die Brustbegrenzung. LM 5r und LM 5l bilden jeweils den Knotenpunkt für die Quadranteneinteilung auf dem Mamillen-Areola Komplex. Diese werden, wie in Abbildung 17(rechts) dargestellt, durch Verbindung von LM 2, LM 4, LM 6 und LM 7 mit LM 5 definiert und nummeriert. Die Quadranteneinteilung Q I - Q IV ermöglicht die Erfassung

spezifischerer Informationen und Aussagen über einzelne Regionen. Die Einteilung der Quadranten erfolgt von medial oben (Quadrant I) im Uhrzeigersinn nach medial unten (Quadrant II), lateral unten (Quadrant III) nach lateral oben (Quadrant IV), wie in Abbildung 17 rechts dargestellt.

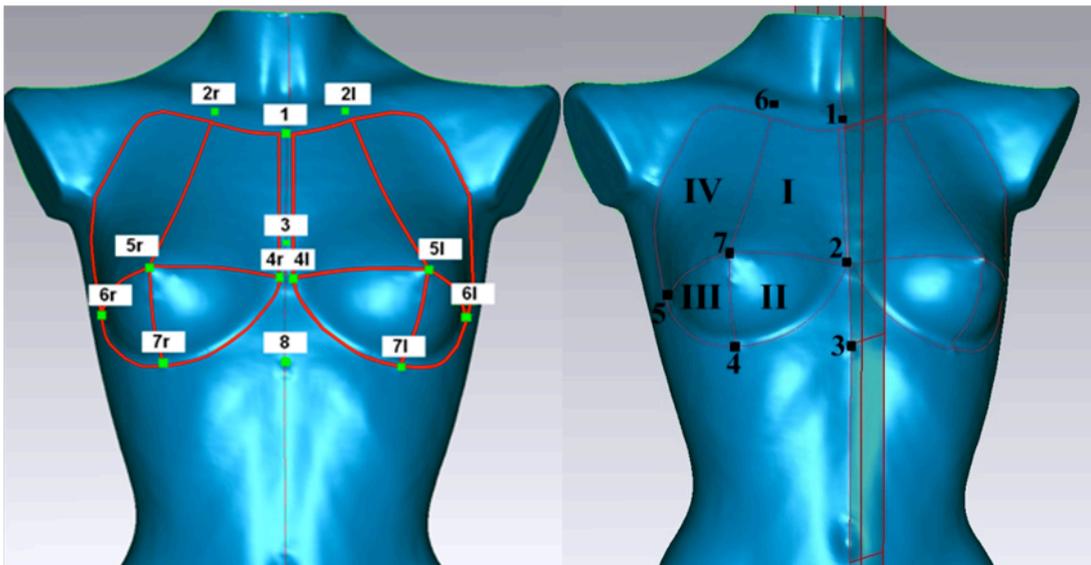


Abbildung 17: Links - Dummymodell mit Landmarks und eingezogener Brustbegrenzung, Rechts – Dummymodell mit Brustbegrenzung und Benennung der einzelnen Quadranten und Erstellung der Spiegel-bzw. Symmetrieebene.

Die Brustbegrenzung nach der von Kovacs et al. standardisierten Methode [49, 50] richtet sich nach den oben beschriebenen Punkten und läuft 1cm unterhalb der Clavicula parallel zu dieser bis 1cm vor das Jugulum LM 1, von dort ebenfalls mit 1cm Abstand parallel zur Symmetrieachse hin zur medialen Brustfalte LM 4. Von der medialen Brustfalte LM 4 zum kaudalsten Punkt in der Submammarfalte LM 7 zieht die Linie hoch zur lateralen Brustfalte LM 6 und von dort entlang der vorderen Axillarlinie am Außenrand des M. pectoralis bis zur Clavicula.

Die Punkte LM 1, LM 3 und LM 8 bilden die Symmetrieebene- und Achse, die den Oberkörper in der Mitte vertikal teilen. Die Punkte LM 4, LM 5 und LM 6 dienen als Referenzpunkte für die Äquatorialebene und den Brustäquator, die die horizontale Grenze bei der Einteilung der Brust in 4 Quadranten darstellen. Die bereits definierte Symmetrieebene wird dann parallel auf dem Bildschirm nach links durch die rechte Mamille (LM 5) verschoben und stellt von dort, als Halbgerade nach unten ziehend, die Grenze zwischen den beiden unteren Quadranten dar. Für die Konstruktion der Boundary zwischen den oberen Quadranten dienen die Punkte LM 5 und LM 2, zwischen denen eine Grenzlinie auf der Oberfläche des Modells eingezeichnet wird. So entsteht ein für den Symmetrievergleich vorbereitetes Modell mit einer in 4

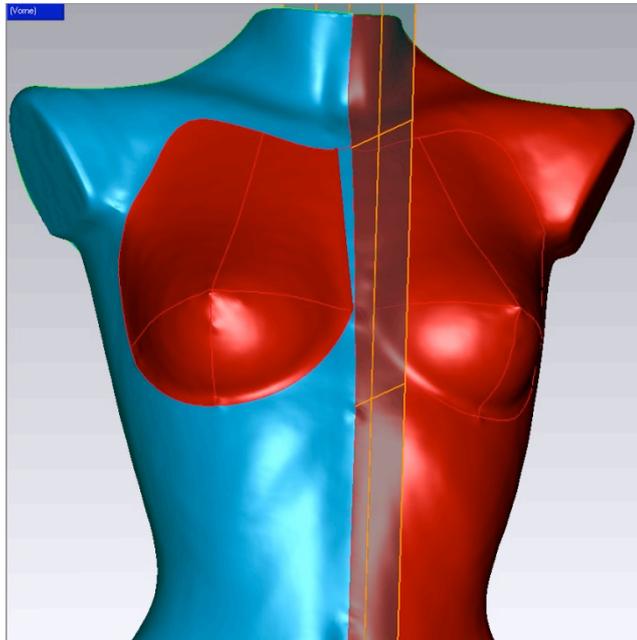


Abbildung 18: Puppenmodell A - Die linke Körperhälfte (rot markiert) wird an der in der Mitte eingezeichneten Ebene gespiegelt. Das Brustareal auf der rechten Körperhälfte (blau mit rot markiertem Brustareal) wird dann mit der gespiegelten linken Brust verglichen.

Quadranten eingeteilten und nach außen begrenzten Brust, sowie einer vorhandenen Spiegelachse (Abbildung 18). Nun kann die linke Körperhälfte gespiegelt und über die rechte gelegt werden. Dazu muss die fertig vorbereitete Shell mit Landmarks und Boundaries in Raindrop Geomagic Qualify 9[®] geladen werden. In drei Schritten wird der Symmetrievergleich vorbereitet. Die linke Körperhälfte wird an der zuvor festgelegten Symmetrieachse gespiegelt und als Testshell festgelegt. Die bereits vorhandene Schale mit der rechten in Quadranten eingeteilten und markierten Brust dient als Referenzobjekt. Dann wird das gesamte rechte Brustareal markiert. Mithilfe des „Best Fit Tools“ wird die linke gespiegelte Körperhälfte über die rechte gelegt und bestmöglich angepasst. Von den nun übereinander gelagerten Körperhälften vergleicht die 3-D - Compare Funktion das markierte rechte Brustareal mit dem darüber liegenden gespiegelten linken. Als Ergebnis erscheint ein farbcodiertes Modell entsprechend dem Symmetrieverhältnis der Brüste (Abbildung 19). Neben den anschaulichen Modellen berechnet der Computer eine mittlere Standardabweichung der Modelle zueinander in mm und gibt sowohl eine maximale als auch eine minimale Abweichung und einen Mittelwert an. Die Abweichungen zwischen den gespiegelten Modellen werden in mm angegeben.

Um die Reproduzierbarkeit des Verfahrens zu überprüfen und den Einfluss der einzelnen Untersucher hinsichtlich der Messpräzision zu erfassen, erfolgt die Erstellung des Variationskoeffizienten (VK). So kann die Genauigkeit des Brustsymmetrieverfahrens hinsichtlich inter- und intra- Untersucher Variabilität quantifiziert werden.

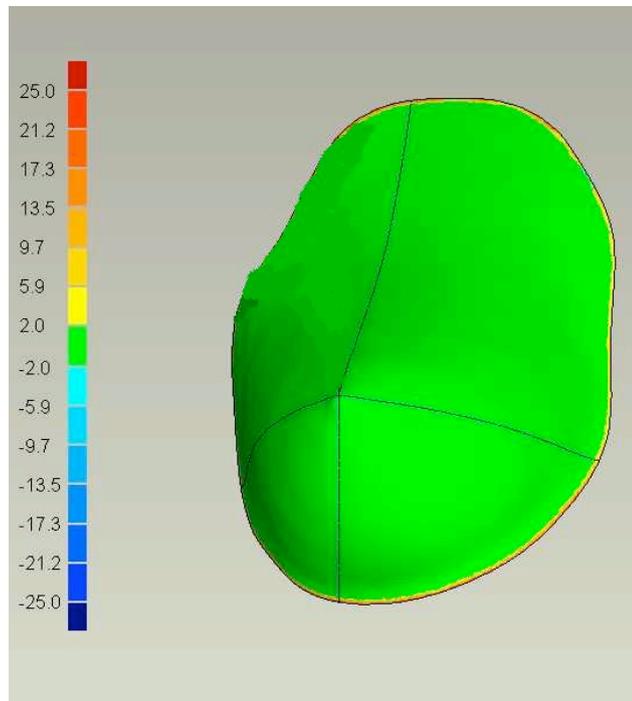


Abbildung 19: Dreidimensionale Darstellung des Vergleichs der beiden Brustareale am Puppenmodell. Es zeigen sich keine Abweichungen im Rahmen des festgelegten Messbereichs von +/- 2mm

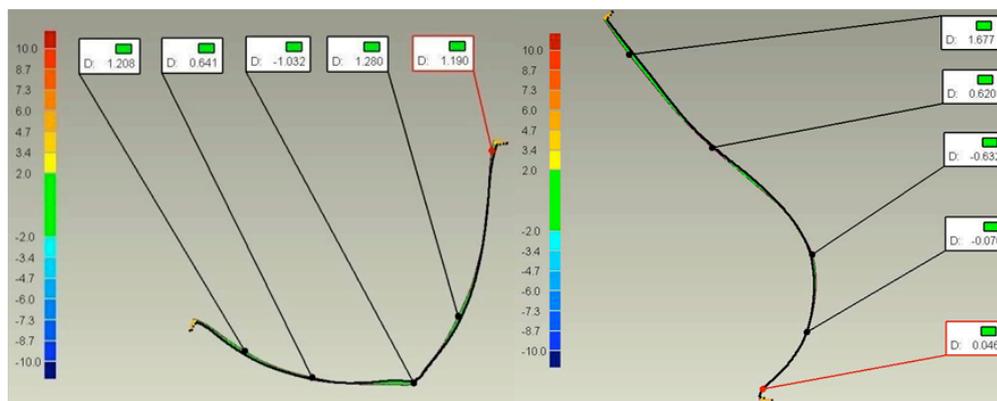


Abbildung 20: Zweidimensionale Darstellung des Vergleichs der beiden Brustareale am Puppenmodell

2.1.2 Symmetrieerfassung an den Testpersonen

Das bereits an den Puppen durchgeführte Verfahren wird nun an zehn Testpersonen angewandt. Dazu werden zehn gesunde Frauen (Durchschnittsalter 23 +/- 1,27Jahre, Durchschnittsgewicht 62,7 +/- 6,07kg, durchschnittlicher BMI 21,6 +/- 1,0kg/m²) mit symmetrischen Brüsten untersucht. Die Brustgröße variiert (mittleres Volumen 452,7 +/- 146,35 cm² rechts und 437,68 +/- 116,27 cm² links; mittlerer Abstand Jugulum - Mamille 20,09 +/- 2,44 cm rechts und 20,43 +/- 2,71 cm links). Jeder der drei Untersucher führt den Symmetrievergleich nach dem standardisierten Protokoll zehn Mal durch (n = 300). Der Oberflächenkonturunterschied wird in mm berechnet und die Präzision der Analysemethode diesmal an lebenden Testpersonen überprüft. Die Messvariabilität innerhalb der von einem Untersucher (intra- observer variability) durchgeführten Messungen sowie auch die Unterschiede zwischen den Messungen der 3 Untersucher (inter- observer variability) wird verglichen, und der Variationskoeffizient (VK) als Richtwert für die Messpräzision berechnet.

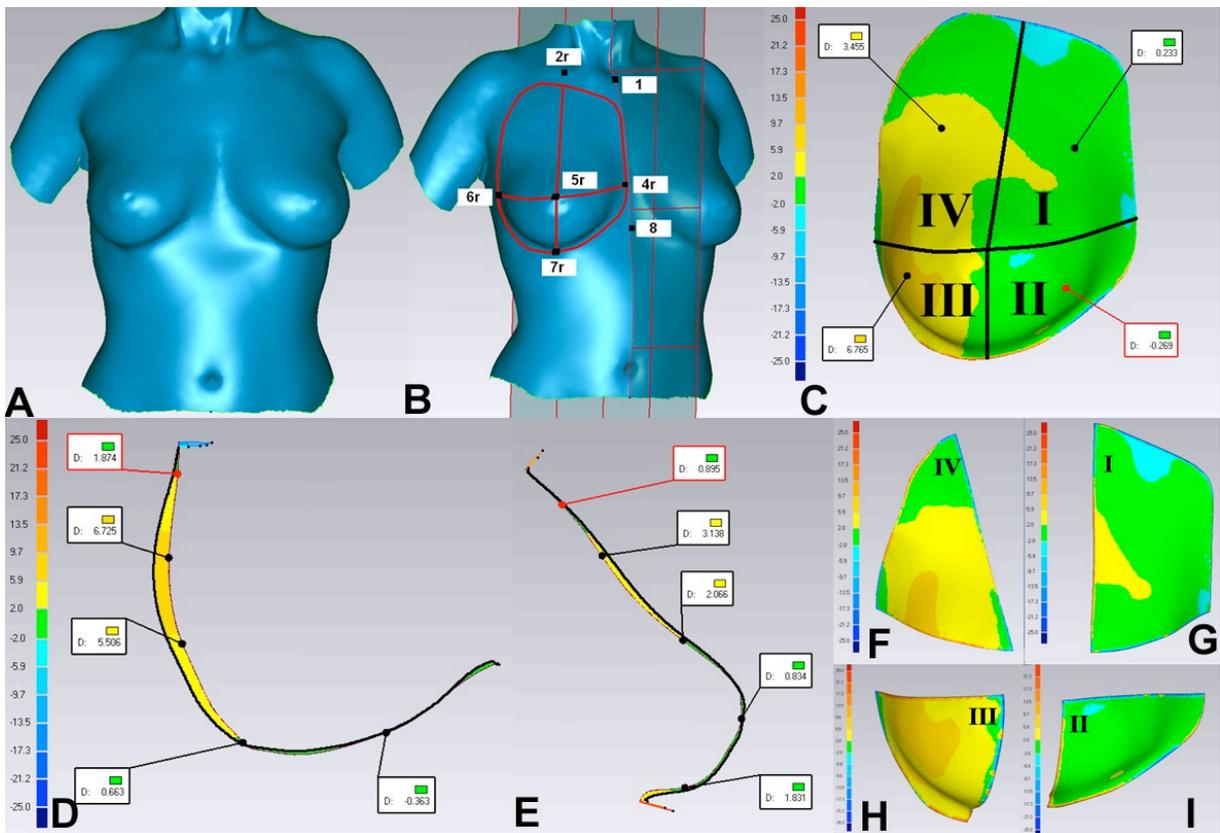


Abbildung 21: Darstellung des Symmetrievergleichs an einer Testperson; A: virtuelles Modell der Testperson; B: Landmarks, Brustbegrenzung und Spiegelebene sind am virtuellen Modell konstruiert worden; C: 3-D-Compare der gesamten Brust mit Beschriftung der einzelnen Quadranten; D: zweidimensionale Darstellung der Abweichungen in horizontaler (D) und vertikaler (E) Ebene; F-I: 3D-Compare der einzelnen Quadranten

2.2 Entwicklung zweier Brustsymmetrieindizes anhand von objektiven 3-D – Brustmessungen

Mithilfe des bereits erwähnten Linearscanners wird nun die Brustregion nach dem oben beschriebenen Protokoll bei 40 Patientinnen und 20 Probanden

dreidimensional erfasst (Abbildung 22). An allen erstellten virtuellen Modellen werden daraufhin die im Folgenden beschriebenen Messungen durchgeführt.

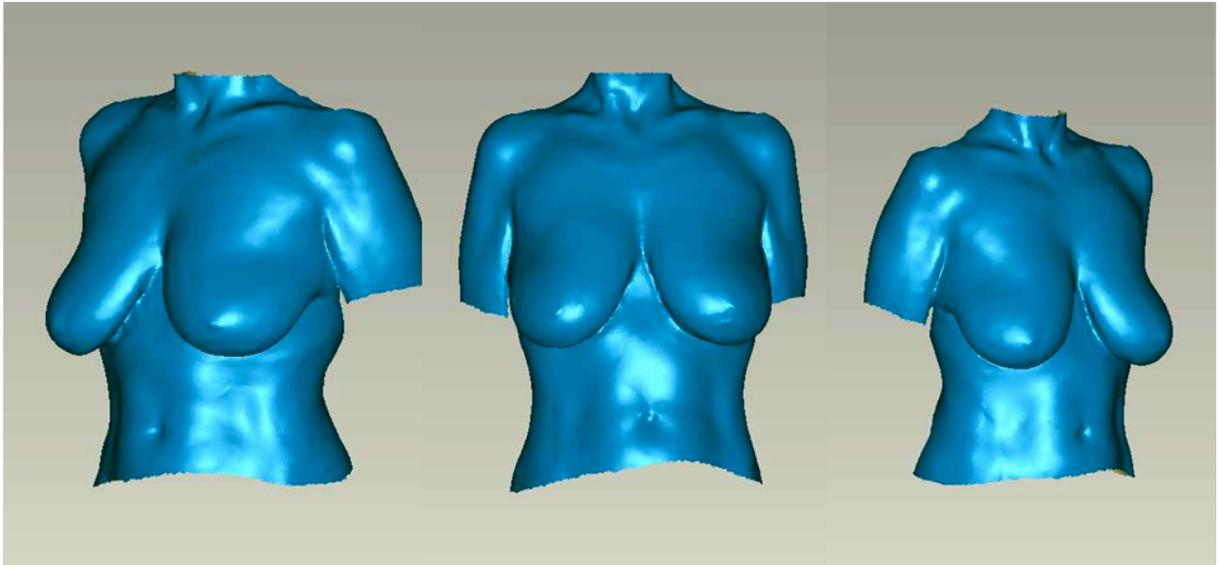


Abbildung 22: Aufnahmeposition der Brustregion aus drei verschiedenen Perspektiven: Oberkörper 30° nach rechts gedreht (rechts), frontal (Mitte), Oberkörper 30° nach links gedreht (links), geplante Operation: Reduktion

2.2.1 Objektive Brustmessungen bei den Probanden

Bei allen untersuchten Probanden handelt es sich um gesunde Frauen, bei denen keine Brustoperation durchgeführt werden soll. Die Brüste weisen auf den ersten Blick keine subjektiv auffälligen Asymmetrien auf. Bei allen Probanden werden lineare Streckenmessungen, Oberflächen- und Volumenerfassung sowie der dreidimensionale Symmetrievergleich wie folgt durchgeführt:

2.2.1.1 Lineare Streckenmessungen

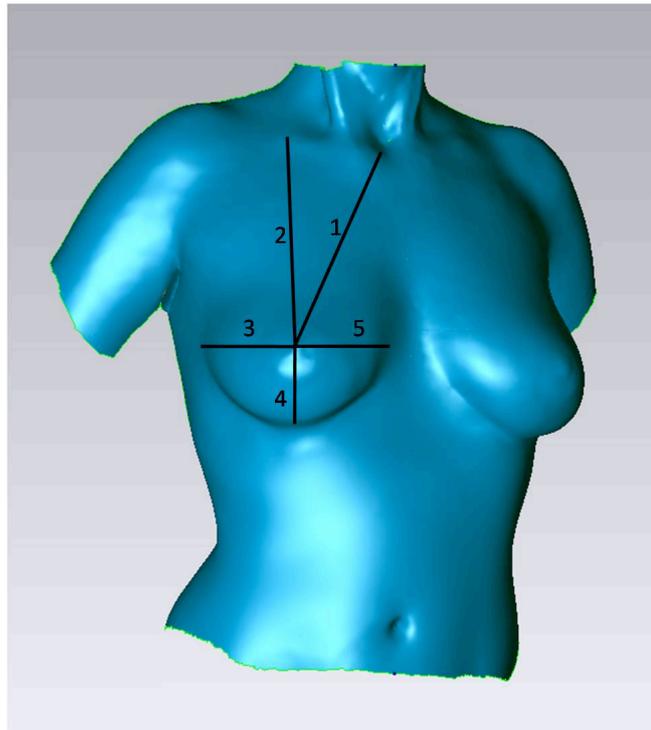


Abbildung 23: Lineare Streckenmessungen an der Brust, beispielhaft an der rechten Brust angezeigt

Zunächst werden mithilfe des Softwareprogrammes Raindrop Geomagic Studio10[®], Inc., NC, U.S.A bei allen Probanden fünf Strecken sowohl an der linken als auch an der rechten Brust gemessen. Die Strecken beginnen und enden jeweils an einer der oben beschriebenen Landmarks. Strecke 1 liegt zwischen Jugulum und Mamille, Strecke 2 zwischen Claviculamitte und Mamille, Strecke 3 beginnt an der Mamille und führt zur lateralen Brustfalte, Strecke 4 geht vom kaudalsten Punkt in der Submammarfalte zur Mamille und Strecke 5 von der medialen Brustfalte zur Mamille (Abbildung 23). Die Längenangabe erfolgt in Zentimeter. Zur Erfassung der Symmetrie werden die korrelierenden Strecken von linker und rechter Brust auf signifikante Unterschiede überprüft.

2.2.1.2 Oberflächenerfassung der Brust

Zur Bestimmung der Brustoberfläche von linker und rechter Mamma wird zunächst die Brustbegrenzung nach der von Kovacs et al. standardisierten Methode in Raindrop Geomagic Studio 10[®] festgelegt [45, 47, 49]. Das Brustareal wird markiert und die virtuelle Oberflächenshell kann so mithilfe der Software berechnet werden. Um einen weiteren Parameter der Symmetrie zu erfassen, werden wieder linke und rechte Oberfläche bei den Probanden verglichen und auf statistisch signifikante Unterschiede nach dem gleichen Prinzip wie bei den Strecken überprüft.

2.2.1.3 Volumenbestimmung der Brust

Die gleiche Brustbegrenzung wie bei der Oberflächenerfassung wird auch bei der Volumenbestimmung verwendet. Nach standardisiertem Vorgehen [45] wird hier das Volumen links und rechts bei allen Probanden erfasst. Die Interpolierung der Thoraxwand erfolgt zur Erstellung eines abgeschlossenen Körpers (Abbildung 24). Volumenunterschiede werden auf statistisch signifikante Abweichungen zwischen linker und rechter Mamma untersucht.

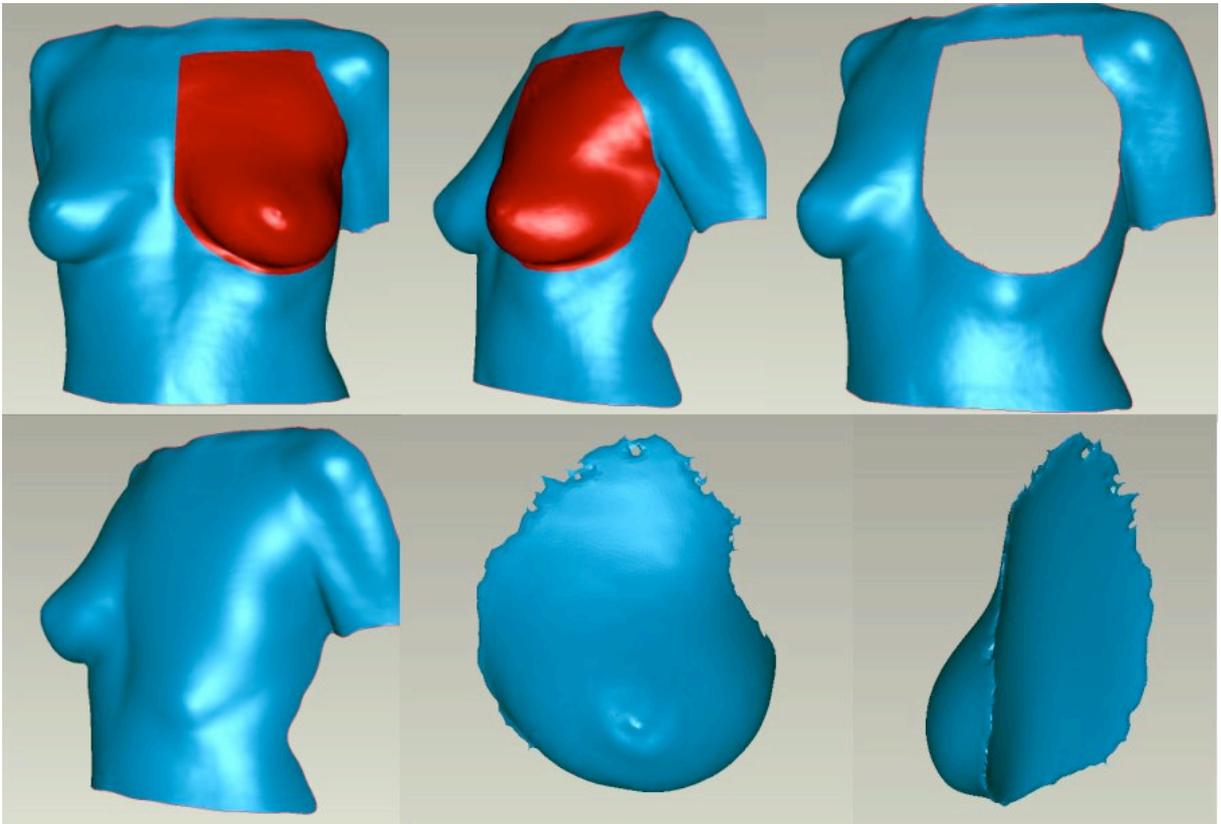


Abbildung 24: von links oben nach rechts unten: Auswahl des Brustareals (rot), Ausschneiden der rot markierten Fläche, Interpolierung der Thoraxwand als hintere Abgrenzung des Brustvolumens, Erstellen eines gefüllten Körpers zur Volumenerfassung [46]

2.2.1.4 Symmetrieerfassung : 3-D - Compare

Die Erfassung der Brustasymmetrie erfolgt wie bereits unter 2.1 beschrieben mithilfe der Softwareprogramme Raindrop Geomagic Studio 10[®] und Raindrop Geomagic Qualify 9[®] nun bei allen 20 Probanden.

2.2.2 Objektive Brustmessungen bei der Augmentationsgruppe

20 Patientinnen, die im Rahmen dieser Arbeit untersucht werden, unterziehen sich eine Brustaugmentation. Die Mammæ der untersuchten Frauen weisen sowohl vor als auch nach der Operation subjektiv keine ausgeprägte Asymmetrie auf. Die Brustregion der Patientinnen wird einmal vor der Operation (präoperative Aufnahme) und einmal danach (postoperative Aufnahme) mit dem Laserscanner erfasst und zu einem virtuellen dreidimensionalen Modell verarbeitet. Streckenmessungen, Oberflächen- und Volumenerfassung sowie Symmetrievergleich, wie in Kapitel 2.2.1 bei den Probanden beschrieben, werden nun auch bei den Patientinnen, die sich einer Brustvergrößerung unterziehen, analog sowohl prä- als auch postoperativ durchgeführt. Die Ergebnisse werden auf statistisch signifikante Unterschiede zwischen linker und rechter Brust untersucht. Außerdem wird analysiert, wie sich die Brustmessungen bei prä- und postoperativer Erhebung unterscheiden. Bei den Strecken wird außerdem untersucht, ob sich einzelne Strecken stärker als andere im Rahmen einer Operation verändern. Die Ergebnisse des Symmetrievergleichs werden hinsichtlich statistischer Unterschiede vor und nach der Operation verglichen.

2.2.3 Objektive Brustmessungen bei der Reduktionsgruppe

Bei weiteren 20 Patientinnen wird eine Mammareduktionsplastik durchgeführt. Auch hier besteht sowohl prä- als auch postoperativ keine subjektiv erkennbare Asymmetrie. Äquivalente Messungen von Strecken, Volumina und Oberflächen sowie der Symmetrievergleich werden bei allen dreidimensionalen Modellen prä- und postoperativ durchgeführt. Die Ergebnisse werden wie auch bei der Augmentationsgruppe auf statistisch signifikante Unterschiede zwischen linker und

rechter Brust hin untersucht. Die Streckenänderungen im Rahmen einer Operation werden auf statistische Unterschiede zwischen den einzelnen Strecken analysiert. Auch prä- und postoperative Befunde werden statistisch untersucht und verglichen.

2.2.4 Erstellung der Symmetrieindizes

Die Erstellung zweier Symmetriemaße erfolgt auf Grundlage der bisher durchgeführten Analysen. Zur Berechnung werden sowohl bereits etablierte 3-D – Brustmessungen wie Strecken, Oberflächen und Volumenerfassung, sowie die Ergebnisse des entwickelten 3-D – Vergleichs aus dem Evaluationsprotokoll der Brustsymmetrieanalyse verwendet. So werden auf der Grundlage der erhobenen Daten sowohl ein Symmetrieindex als auch ein Symmetrieveränderungsindikator erstellt und berechnet. Diese beiden objektiven Maße sollen anschaulich zeigen, wie sich die Symmetrieverhältnisse bei der Brust darstellen. Der Symmetrieveränderungsindikator wird auf Grundlage der Ergebnisse des 3-D – Compares berechnet und erfasst die Veränderung der Symmetrie, die bei Durchführung einer Operation entsteht. Der durchschnittliche Symmetrieindex wird dann für alle Patienten und Probanden berechnet. Für die Patienten folgt nun noch die Ermittlung des Symmetrieveränderungsindikators.

2.7. Statistische Auswertung

Bei der Standardisierung der Methode zur Erstellung des Evaluationsprotokolls zur Brustasymmetrieanalyse werden die Messwerte zunächst gemittelt und die Standardabweichung bestimmt. Dann wird ein Variationskoeffizient anhand der

Oberflächenabweichungen der 3-D Modelle zueinander wie folgt berechnet: $VK = (100 \times \text{Standardabweichung in mm} / \text{Gesamtabweichung in mm})$. Unter Anwendung des Kruskal – Wallis Tests und des post-hoc Mann – Whitney U Tests wurden unabhängige Stichproben statistisch analysiert. Bei Mehrfachtest neutralisiert die Bonferroni Methode die Alphafehler – Kumulierung. Für gepaarte Stichproben wurden der Friedman Test sowie der post – hoc Wilcoxon Test benutzt. Wegen der Anzahl der Stichproben $n < 30$ sind nicht parametrische Tests verwendet worden, da sie nicht repräsentativ für die Normalitätsannahme waren. Das statistische Signifikanzniveau liegt bei allen zweiseitigen t-Testungen bei einem p-Wert von $p < 0,05$. Für alle Analysen wurde das Statistikprogramm SPSS® Version 13 für Windows (SPSS Inc., Chicago IL, USA) verwendet.

Die statistische Auswertung der objektiven Brustmessungen an Patientinnen und Probanden zur Erstellung der Symmetrieindizes erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Max-Planck Institut (Dr. A. Yassouridis). Alle mehrfach durchgeführten Messergebnisse wurden zunächst gemittelt und die Standardabweichung bestimmt. Um die Beziehung der verschiedenen Variablen zueinander festzustellen und wichtige Größen, die zur Erstellung eines Symmetriekoeffizienten nötig sind, herauszuarbeiten, wurden zunächst statistische Testungen mithilfe des Wilks multivariaten Signifikanztests zur Erfassung der Unterschiede zwischen linker und rechter Brust, sowie prä- und postoperativen Symmetrieverhältnissen durchgeführt. Der p – Wert liegt bei den zweiseitig durchgeführten Analysen kleiner 5% ($p < 0,05$), um die statistische Signifikanz zu zeigen. Bei Mehrfachtest neutralisiert die Bonferroni Methode die Alphafehler – Kumulierung.

3 Ergebnisse

3.1 Entwicklung und Standardisierung des 3-D - Evaluationsprotokolls zur Brustsymmetrieanalyse

Die Standardisierung des Symmetrievergleichs erfolgt wie oben beschrieben zunächst anhand der beiden Dummymodelle A und B. Der mittlere Variationskoeffizient für die Brustsymmetrieanalyse beträgt für alle Untersucher an Puppe A (n = 30) 1,66 +/- 0,14 und an Puppe B (n = 30) 1,91 +/- 0,11. Die mittlere Abweichung des Variationskoeffizienten beider Puppen von 1,70 +/- 0,12 für alle Untersucher differiert nicht statistisch signifikant ($p > 0,995$). Es ergaben sich weder signifikante Unterschiede bei der Ergebnisstreuung innerhalb der von einer Person durchgeführten Messungen noch bei den Unterschieden zwischen den 3 Untersuchern. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Analyse sehr präzise und unabhängig von der Person ist, die den Vergleich durchführt und spricht so für eine exzellente inter- und intra- Untersucher Reliabilität.

	Untersucher 1		Untersucher 2		Untersucher 3		Alle Untersucher
Dummy Model	Mittelwert +/- StAbw	VK	Mittelwert +/- StAbw	VK	Mittelwert +/- StAbw	VK	Mittelwert +/- StAbw
A	1.07 +/- 0.018	1,68	0.84 +/- 0.015	1,79	0.86 +/- 0.013	1,51	1.66 +/- 0.14
B	1.29 +/- 0.025	1,94	1.12 +/- 0.02	1,79	0.95 +/- 0.019	2,00	1.91 +/- 0.11
Dummys VK	1.81 +/- 0.18		1.79 +/- 0.0		1.76 +/- 0.35		1.79 +/- 0.12

Tabelle 2: Variationskoeffizient mit Mittelwert und Standardabweichung für Untersucher 1-3 und Dummymodell A und B

Bei den zehn Testpersonen ergab sich ein mittlerer Variationskoeffizient von 3,33 +/- 0,13 für die drei Untersucher (n = 300). Der Variationskoeffizient bei den Testpersonen unterschied sich durchschnittlich nicht signifikant, was für ausgezeichnete Reproduzierbarkeit spricht ($p > 0,986$). Insgesamt ist der VK bei den Testpersonen signifikant größer als bei den Dummymodellen ($p < 0,001$). Es zeigte sich keine Ergebnisstreuung bei der Anwendung der Methodik innerhalb der von einem Untersucher durchgeführten Analysen und zwischen den verschiedenen Anwendern ($p > 0,05$). Die Symmetrieanalyse ist so auch bei der Erfassung von zehn Testpersonen sehr präzise und untersucherunabhängig. Es zeigte sich jedoch eine geringere Präzision als bei den Dummymodellen.

Die Abbildung 21 C zeigt die Unterschiede in der Oberflächengeometrie im Farbhistogramm. Eine objektive Quantifizierung der individuellen Symmetrieverhältnisse erfolgt durch separate Darstellung der einzelnen Brustquadranten (Abbildung 21 F – I).

Testperson	Untersucher 1		Untersucher 2		Untersucher 3	
	Mittelwert +/- StAbw	VK	Mittelwert +/- StAbw	VK	Mittelwert +/- StAbw	VK
1	7.77 +/- 0.20	2.57	7.04 +/- 0.15	2.13	7.54 +/- 0.22	2.91
2	5.79 +/- 0,15	2.59	5.89 +/- 0.16	2.71	5.69 +/- 0.16	2.81
3	7.35 +/- 0,25	3.40	7.23 +/- 0.26	3.59	7.63 +/- 0.28	3.66
4	7.45 +/- 0,30	4.02	7.67 +/- 0.34	4.43	7.22 +/- 0.30	4.15
5	7.33 +/- 0,29	3.95	7.21 +/- 0.24	3.32	7.28 +/- 0.26	3.57
6	6.96 +/- 0,25	3.59	6.87 +/- 0.21	3.10	6.75 +/- 0.22	3.26
7	6.59 +/- 0,22	3.17	6.55 +/- 0.21	3.21	7.10 +/- 0.24	3.38
8	7.50 +/- 0,21	2.80	7.22 +/- 0.20	2.77	7.45 +/- 0.25	3.35
9	7.12 +/- 0,29	4.07	7.31 +/- 0.20	4.38	6.97 +/- 0.32	4.59
10	6.36 +/- 0,15	2.36	6.25 +/- 0.18	2.88	6.48 +/- 0.20	3.08
Mittelwert VK	3.25 +/- 0.65		3.25 +/- 0.72		3.48 +/- 0.55	
Total VK	3.33 +/- 0.13					

Tabelle 3: Variationskoeffizient für Untersucher 1-3 für die Testpersonen 1-10 mit Angabe von Standardabweichung und Mittelwert.

3.2 Entwicklung zweier Brustsymmetrieindizes anhand von objektiven Brustmessungen

Die rein deskriptive Auswertung der erhobenen klinischen Ausgangsdaten ist für Patienten und Probanden in tabellarischer Form im folgenden Abschnitt aufgeführt. Bei allen Messergebnissen sind zunächst sowohl minimaler und maximaler Wert als auch Mittelwert und Standardabweichung (StAbw) angegeben. Die Daten werden mithilfe des Wilks multivariaten Signifikanztests analysiert und auf statistische Signifikanz überprüft. Liegt dabei der p-Wert $< 0,05$, so ist das Ergebnis statistisch signifikant.

3.2.1 Objektive Brustmessungen bei den Probanden

Bei der Analyse der gemessenen Strecken, Oberflächen und Volumina bei den Probanden ergeben sich nach Mittelung der Daten minimal größere Werte bei der linken Brust, jedoch meist ohne statistische Signifikanz ($p > 0,05$). Ein signifikanter links-rechts Unterschied zeigt sich bei der Strecke zwischen Jugulum und Mamille ($p = 0,02$), bei der Strecke zwischen Mamille und medialer Brustfalte ($p = 0,042$), sowie bei den Oberflächen ($p = 0,006$). Alle berechneten Werte sind in den folgenden Tabellen aufgeführt. Die Abkürzung SMF steht für Submammarfalte, MBF bedeutet mediale Brustfalte und LBF laterale Brustfalte. Für rechts und links wurde kurz re und li verwendet.

Probanden (Strecken)					
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	StAbw
Jugulum-Mamille re	20	18,49	24,14	21,50	1,42
Jugulum-Mamille li	20	17,80	24,79	21,89	1,65
Clavicula-Mamille re	20	17,78	24,37	20,66	1,62
Clavicula-Mamille li	20	17,08	24,20	20,79	1,66
SMF-Mamille re	20	5,92	10,11	8,20	1,07
SMF-Mamille li	20	6,50	9,89	8,29	0,93
Mamille-MBF re	20	7,20	12,50	9,80	1,24
Mamille-MBF li	20	7,20	13,50	10,42	1,40
Mamille-LBF re	20	7,90	11,90	10,20	1,14
Mamille-LBF li	20	8,10	13,50	10,44	1,37

Tabelle 4: Streckenmessung bei den Probanden, Mittelwert, maximale und minimale Abweichung und Standardabweichung, es ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen links und rechts bei den rot markierten Strecken

Probanden (Oberfläche)					
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	StAbw
Oberfläche rechts	20	320,11	527,89	402,94	56,52
Oberfläche links	20	315,221	567,510	419,99	58,71

Tabelle 5: Oberflächenmessung bei den Probanden, Mittelwert, maximale und minimale Abweichung und Standardabweichung. Es ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen links und rechts beim Oberflächenvergleich zwischen den beiden Mammae

Probanden (Volumen)					
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	StAbw
Volumen rechts	20	291,81	646,46	447,70	99,69
Volumen links	20	255,56	695,74	471,48	109,39

Tabelle 6: Volumenmessung bei den Probanden, Mittelwert, maximale und minimale Abweichung und Standardabweichung. Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen linker und rechter Brust.

Probanden (Symmetrie)					
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	StAbw
Brust gesamt	20	6,88	9,27	7,68	0,62
I Quadrant	20	8,12	10,73	9,26	0,70
II Quadrant	20	10,39	13,47	11,57	0,84
III Quadrant	19	7,96	13,58	11,72	1,34
IV Quadrant	20	8,84	12,09	10,42	0,94

Tabelle 7: 3-D - Compare: mittlere Abweichung im dreidimensionalen Vergleich bei den Probanden, Mittelwert, maximale und minimale Abweichung und Standardabweichung

3.2.2 Objektive Brustmessungen bei der Augmentationsgruppe

Der Vergleich der Strecken, Oberflächen- und Volumendaten zwischen linker und rechter Brust soll erste Anhaltspunkte für die Symmetrie geben. Er fällt für alle gemessenen Werte ohne signifikante Unterschiede aus ($p > 0,05$) und das sowohl beim prä- als auch beim postoperativen links-rechts Vergleich. Somit ist bei allen Patienten von einem weitgehend symmetrischen Zustand auszugehen. Die Analyse der Daten bei der Augmentationsgruppe ergab eine zu erwartende Veränderung der Werte prä- zu postoperativ, das heißt, eine Vergrößerung aller gemessenen Daten mit statistischer Signifikanz ($p < 0,0001$). Die Unterschiede sind am stärksten und im Vergleich zu den übrigen signifikant größer ($p = 0,035$) bei den Strecken zwischen Submammarfalte und Mamille sowohl links als auch rechts, sowie zwischen Mamille zur medialen und zur lateralen Brustfalte links und rechts zu verzeichnen. Hier zeigt sich, dass bei der Brustvergrößerung vor allem im unteren Brustpol Veränderungen bei der Operation vorgenommen werden. Die oberen Strecken ändern sich zwar auch von prä- zu postoperativ signifikant ($p < 0,0001$), die unteren im Vergleich der Streckenänderungen untereinander aber stärker als die oberen. Beim Vergleich der Symmetriewerte gibt es im prä- zu postoperativen Vergleich keine signifikanten Unterschiede bei der Augmentation ($p > 0,05$). Die Symmetrie bleibt somit im Rahmen des Eingriffes erhalten. Dies zeigt sich sowohl bei der statistischen Analyse der Daten bei den objektiven Brustmessungen (Strecken, Oberfläche, Volumen) als auch beim 3-D – Compare.

Augmentation (Strecken)					
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	StAbw
Jug-Mamre_prae	20	15,10	25,00	19,91	2,06
Jug-Mamli_prae	20	14,80	23,70	19,89	1,94
Jug-Mamre_post	20	16,50	23,30	20,81	1,82
Jug-Mamli_post	20	16,50	23,30	20,84	1,87
Clav-Mamre_prae	20	12,50	25,00	18,79	2,85
Clav-Mamli_prae	20	12,50	22,50	18,92	2,33
Clav-Mamre_post	20	15,50	21,90	19,21	2,05
Clav-Mamli_post	20	14,00	21,90	19,48	2,15
SMF-Mamre_prae	20	3,80	10,00	5,84	1,33
SMF-Mamli_prae	20	3,50	7,90	5,61	1,13
SMF-Mamre_post	20	4,70	9,00	7,32	1,14
SMF-Mamli_post	20	4,40	9,50	7,27	1,38
Mam-MBF re_prae	20	7,80	12,00	9,92	1,27
Mam-MBF li_prae	20	7,50	11,80	9,91	1,29
Mam-MBF re_post	20	7,70	13,20	10,70	1,34
Mam-MBF li_post	20	8,30	13,20	11,13	1,51
Mam-LBF re_prae	20	6,30	14,50	9,67	2,24
Mam-LBF li_prae	20	7,00	13,30	9,87	1,66
Mam-LBF re_post	20	8,90	14,80	11,66	1,73
Mam-LBF li_post	20	7,30	14,90	11,24	1,66

Tabelle 8: Streckenmessung bei der Augmentationsgruppe, Mittelwert, maximale und minimale Abweichung und Standardabweichung. Es zeigten sich sowohl prä- als auch postoperativ keine signifikanten Unterschiede zwischen links und rechts.

Augmentation (Oberfläche)					
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	StAbw
Oberfläche re_prae	20	195,20	388,00	281,28	50,59
Oberfläche li_prae	20	212,00	351,00	279,07	43,11
Oberfläche re_post	20	257,00	413,30	334,97	56,67
Oberfläche li_post	20	255,00	428,00	336,25	54,01

Tabelle 9: Oberflächenmessung bei der Augmentationsgruppe, Mittelwert, maximale und minimale Abweichung und Standardabweichung. Es zeigten sich sowohl prä- als auch postoperativ keine signifikanten Unterschiede zwischen links und rechts.

Augmentation (Volumen)					
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	StAbw
Volumen re_prae	20	104,10	383,10	227,77	86,06
Volumen li_prae	20	104,60	353,90	211,40	84,88
Volumen re_post	20	255,40	600,90	437,40	110,75
Volumen li_post	20	231,00	667,80	421,92	122,78

Tabelle 10: Volumenmessung bei der Augmentationsgruppe, Mittelwert, maximale und minimale Abweichung und Standardabweichung. Es zeigten sich sowohl prä- als auch postoperativ keine signifikanten Unterschiede zwischen links und rechts.

Augmentation (Symmetrie)					
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	StAbw
Brust gesamt (prae)	20	5,20	9,21	7,32	0,90
Brust gesamt (post)	20	4,95	9,65	7,32	1,16
I Quadrant (prae)	20	5,86	10,25	8,47	1,07
I Quadrant (post)	20	6,36	11,72	8,91	1,52
II Quadrant (prae)	20	7,05	13,15	10,41	1,48
II Quadrant (post)	20	7,47	12,91	10,50	1,50
III Quadrant (prae)	20	7,99	14,71	11,19	1,69
III Quadrant (post)	20	6,98	13,23	10,66	1,50
IV Quadrant (prae)	20	7,27	11,39	9,43	1,05
IV Quadrant (post)	20	6,07	12,92	9,44	1,70

Tabelle 11: 3-D-Compare: mittlere Abweichung im dreidimensionalen Vergleich bei der Augmentationsgruppe, Mittelwert, maximale und minimale Abweichung und Standardabweichung

3.2.3 Objektive Brustmessungen bei der Reduktionsgruppe

Der Vergleich der Strecken, Oberflächen- und Volumendaten zwischen linker und rechter Brust fällt für alle gemessenen Werte sowohl prä- als auch postoperativ ohne statistisch signifikante Unterschiede aus ($p > 0,05$). Somit ist bei allen Patienten von einem weitgehend symmetrischen Zustand auszugehen. Die Analyse der Daten bei

der Reduktionsgruppe ergab eine zu erwartende Veränderung der Werte prä- zu postoperativ, d.h. eine Verkleinerung aller gemessenen Daten mit statistischer Signifikanz ($p < 0,0001$). Es zeigt sich im Gegensatz zu der Augmentationsgruppe kein Unterschied zwischen den einzelnen Strecken, es wurden also im Rahmen der Reduktion alle Strecken in gleichem Maße verkleinert. Der Symmetriewert aus dem 3D-Compare zeigt keine signifikante Änderung ($p > 0,05$) von prä- zu postoperativ.

Reduktion (Strecken)					
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	StAbw
Jug-Mamre_prae	20	19,70	33,50	28,93	3,73
Jug-Mamli_prae	20	22,70	33,00	28,82	3,26
Jug-Mamre_post	20	18,00	25,00	20,58	1,79
Jug-Mamli_post	20	18,00	24,00	20,32	1,61
Clav-Mamre_prae	20	21,70	34,30	28,80	3,65
Clav-Mamli_prae	20	23,10	34,40	28,88	3,17
Clav-Mamre_post	20	17,20	24,50	20,44	1,50
Clav-Mamli_post	20	17,20	24,50	20,58	1,63
SMF-Mamre_prae	20	6,50	18,00	14,05	2,70
SMF-Mamli_prae	20	7,20	18,00	13,89	2,69
SMF-Mamre_post	20	6,10	11,50	9,58	1,27
SMF-Mamli_post	20	6,70	12,00	9,69	1,31
Mam-MBF re_prae	20	9,00	14,50	12,43	1,53
Mam-MBF li_prae	20	10,00	15,00	12,37	1,54
Mam-MBF re_post	20	8,00	13,50	10,86	1,34
Mam-MBF li_post	20	8,00	13,50	10,69	1,32
Mam-LBF re_prae	20	8,50	13,50	11,59	1,37
Mam-LBF li_prae	20	9,00	13,00	11,34	1,13
Mam-LBF re_post	20	8,00	13,00	10,96	1,21
Mam-LBF li_post	20	9,00	12,00	10,75	0,95

Tabelle 12: Streckenmessung bei der Reduktionsgruppe, Mittelwert, maximale und minimale Abweichung und Standardabweichung. Es zeigten sich sowohl prä- als auch postoperativ keine signifikanten Unterschiede zwischen links und rechts.

Reduktion (Oberfläche)					
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	StAbw
Oberflächere_prae	20	430,00	1602,00	769,65	367,98
Oberflächeli_prae	20	418,00	1537,00	782,55	362,51
Oberflächere_post	20	338,00	735,00	468,30	148,45
Oberflächeli_post	20	314,00	702,00	467,75	145,55

Tabelle 13: Oberflächenmessung bei der Reduktionsgruppe, Mittelwert, maximale und minimale Abweichung und Standardabweichung

Reduktion (Volumen)					
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	StAbw
Volumenre_prae	20	702,00	2410,00	1213,22	549,60
Volumenli_prae	20	703,00	2432,00	1232,74	553,77
Volumenre_post	20	433,00	1192,00	739,15	243,73
Volumenli_post	20	434,00	1112,00	731,35	227,97

Tabelle 14: Volumenmessung bei der Reduktionsgruppe, Mittelwert, maximale und minimale Abweichung und Standardabweichung. Es zeigten sich sowohl prä- als auch postoperativ keine signifikanten Unterschiede zwischen links und rechts

Reduktion (Symmetrie)					
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	StAbw
Brust gesamt (prae)	20	5,97	9,88	7,67	1,12
Brust gesamt (post)	20	6,17	9,33	7,62	0,72
I Quadrant (prae)	20	6,45	11,35	9,20	1,27
I Quadrant (post)	20	5,86	10,81	9,89	1,18
II Quadrant (prae)	20	5,76	11,35	8,88	1,31
II Quadrant (post)	20	7,30	10,69	9,44	0,74
III Quadrant (prae)	20	9,46	14,01	11,64	1,04
III Quadrant (post)	20	10,16	13,25	11,33	0,89
IV Quadrant (prae)	20	9,88	14,81	12,06	1,30
IV Quadrant (post)	20	7,29	13,49	10,97	1,46

Tabelle 15: 3-D - Compare: mittlere Abweichung im dreidimensionalen Vergleich bei der Augmentationsgruppe, Mittelwert, maximale und minimale Abweichung und Standardabweichung

3.2.4 Erstellung der Symmetrieindizes

3.2.4.1 Erstellung des Symmetrieindex und des Symmetrieveränderungsindikators

Um zum einen die Symmetrie der Brüste zu erfassen und zum anderen die Symmetrieveränderung bei einer Operation adäquat zu quantifizieren, werden zwei Maße wie folgt definiert.

Der *Symmetrieindex (SI)* stellt die Abweichung der Strecken-, Oberflächen- oder Volumenwerte der rechten Brust im Vergleich zu den Werten der linken Brust dar. Die entsprechenden Werte werden sowohl prä- als auch postoperativ erfasst. Der Symmetrieindex erlaubt so die Quantifizierung der Abweichungen zwischen linker und rechter Brust. Generell können in die Formel jegliche Art von Variablen, die sowohl links als auch rechts gemessen werden können, eingesetzt werden. Je größer die rechte Seite ist, desto mehr geht der Symmetrieindex gegen 0. Ist dagegen die linke Seite größer, gehen die Werte des Index gegen 1. Ergebnisse um 0,5 signalisieren einen symmetrischen Zustand der beiden Seiten. Der Symmetrieindex für eine Variable Y, wird nach folgender Formel prä- und postoperativ gesondert ermittelt:

$$\mathbf{SI_Y = (Y_links)^2 / [(Y_links)^2 + (Y_rechts)^2]}$$

Der *Symmetrieveränderungsindikator (SVI)* vergleicht Veränderungen der Symmetriegröße postoperativ mit den Werten präoperativ. Der Definition zufolge ist somit der Symmetrieveränderungsindikator nur bei Patienten zu ermitteln, die sich einer Operation unterziehen, während der Symmetrieindex auch bei der Kontrollgruppe berechnet werden kann. Mithilfe des SVI kann eine Aussage über Erhalt, Verbesserung oder Verschlechterung der Symmetrie in einer Operation

getroffen werden. Der Symmetrieveränderungsindikator für eine Symmetriegröße X, die sowohl prä- als auch postoperativ ermittelt wurde, lässt sich nach folgender Formel berechnen:

$$\text{SVI}_X = \frac{(X_{\text{prä}})^2}{[(X_{\text{prä}})^2 + (X_{\text{post}})^2]}$$

Werte um 0,5 bestätigen den Erhalt der Symmetrie in einer Operation. Nähert sich das Ergebnis der null, so wurde eine schlechtere postoperative Symmetrie erzielt, geht es dagegen gegen eins, so hat die Operation eine Verbesserung der Symmetrie mit sich gebracht.

Beide Größen nehmen folglich ausschließlich Werte zwischen 0 und 1 an. So zeigt ein Symmetrieveränderungsindikator von 0,5 einen Erhalt der Symmetrie im Rahmen der Operation an, geht der Wert des SVI gegen 1, so verbesserte sich die Symmetrie, geht der Wert jedoch gegen 0, wurde die Symmetrie mit dem Eingriff verschlechtert.

Bei der Berechnung beider Indizes fallen große Abweichungen zwischen links, rechts oder zwischen prä- und postoperativ durch das Quadrieren der Terme in den oben angegebenen Formeln stärker ins Gewicht als kleine Abweichungen.

3.2.4.2 Berechnung der Symmetrieindizes bei Patienten und Probanden

Zunächst werden die aus den Symmetrieeformeln berechneten Ergebnisse für alle Patientinnen und Probanden in den folgenden Tabellen zusammengefasst. Für jede Gruppe sind Mittelwert und Standardabweichung angegeben.

Symmetrieindex (SI) bei Patienten und Probanden									
Strecken	Augmentation			Reduktion			Probanden		
	Mittelwert	StAbw	N	Mittelwert	StAbw	N	Mittelwert	StAbw	N
SI (Jug – Mamprae)	0,50	0,044	20	0,50	0,044	20	0,51	0,001	20
SI (Clav – Mamprae)	0,51	0,045	20	0,50	0,004	20	0,50	0,005	20
SI (SMF-Mamprae)	0,48	0,089	20	0,49	0,045	20	0,51	0,045	20
SI (Mam – MBFprae)	0,50	0,046	20	0,50	0,046	20	0,53	0,002	20
SI (Mam – LBFprae)	0,52	0,045	20	0,49	0,045	20	0,49	0,046	20
SI (Jug - Mampost)	0,50	0,004	20	0,49	0,004	20			
SI (Clac – Mampost)	0,51	0,045	20	0,50	0,004	20			
SI (SMF - Mampost)	0,49	0,044	20	0,51	0,043	20			
SI (Mam - MBF post)	0,52	0,046	20	0,49	0,044	20			
SI (Mam - LBFpost)	0,48	0,043	20	0,49	0,044	20			
Oberflächen									
SI (Oberfläche prae)	0,50	0,043	20	0,51	0,046	20	0,52	0,002	20
SI (Oberfläche post)	0,50	0,044	20	0,50	0,043	20			
Volumen									
SI (Volumen prae)	0,46	0,089	20	0,51	0,044	20	0,52	0,044	20
SI (Volumen post)	0,48	0,044	20	0,50	0,046	20			

Tabelle 16: Der Symmetrieindex wird von allen erhobenen Variablen prä- und postoperativ berechnet, bei den Probanden nur einmalig. Bei den rot markierten Werten zeigt sich eine statistische Signifikanz.

Symmetrieveränderungsindikator (SVI) bei Patienten						
Variablen	Augmentation			Reduktion		
	Mittelwert	StAbw	N	Mittelwert	StAbw	N
SVI_Brust gesamt	0,50	0,089	20	0,50	0,084	20
SVI_Quadrant I	0,48	0,088	20	0,46	0,089	20
SVI_Quadrant II	0,50	0,089	20	0,47	0,088	20
SVI_Quadrant III	0,52	0,085	20	0,51	0,044	20
SVI_Quadrant IV	0,50	0,086	20	0,55	0,085	20

Tabelle 17: Der Symmetrieveränderungsindikator für alle Patientinnen der Augmentations- und Reduktionsgruppe zeigt mit Werten um 0,5 fast immer einen Symmetriehalt für beide Operationsarten. Eine statistisch signifikante Abweichung zeigte sich bei der Reduktionsgruppe im Quadrant IV (rot markiert).

Der Symmetrieindex zeigt Werte um 0,5. Dieses Ergebnis kann als symmetrischer Zustand zwischen linker und rechter Brust gewertet werden. Bis auf drei Ausnahmen

bei den Oberflächen ($p = 0,005$), der Strecke zwischen Jugulum und Mamille ($p = 0,25$) und der Strecke zwischen Mamille und medialer Brustfalte ($p = 0,42$) aus der Probandengruppe zeigen die Symmetrieindizes der betrachteten Variablen keine signifikante Abweichung vom symmetrischen Zustand ($p > 0,05$). Die Werte für die Patienten ergaben keine signifikanten Abweichungen ($p > 0,05$). Diese Ergebnisse stimmen mit den zuvor durchgeführten objektiven Brustmessungen von Strecken, Oberflächen und Volumina überein und bestätigen somit statistisch die Gültigkeit des Symmetrieindex.

In der statistischen Auswertung wiesen die Patienten präoperativ keine signifikante Asymmetrie auf. Daher stand bei der Durchführung der Operationen der Symmetrieerhalt im Vordergrund. Wie die Ergebnisse der Analyse mithilfe des Symmetrieveränderungsindikators zeigen, ist dies auch gelungen. Die Werte des SVI ergeben alle nahezu 0,5. Es zeigt sich keine signifikante Veränderung zwischen prä- und postoperativem Zustand und das Ergebnis belegt einen Symmetrieerhalt bei der durchgeführten Operation ($p < 0,05$). Um eine noch akkuratere Analyse der Symmetrie der Brust zu ermöglichen, wurden im Rahmen dieser Arbeit zusätzlich zum Gesamtsymmetrievergleich der beiden Mammae, die vier einzelnen Quadranten der Brust separat untersucht und verglichen. Der Einzelvergleich ergab insgesamt ebenfalls einen Erhalt der Symmetrie durch die Operation, eine Abweichung ergab sich lediglich bei Quadrant IV ($p = 0,013$). Hier zeigt sich bei der Reduktionsgruppe eine Verbesserung der Symmetrieverhältnisse durch die OP.

Die Ergebnisse der objektiven Brustmessungen stimmen mit denen des Symmetrieindex überein. Bei Augmentations- und Reduktionsgruppe ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen linker und rechter Brust ($p > 0,05$). Eine

Abweichung bildet auch hier die Probandengruppe und zwar im Bereich der Oberflächen ($p = 0,005$) und bei der Strecke zwischen Jugulum und Mamille ($p = 0,25$) und zwischen medialer Brustfalte und Mamille ($p = 0,42$). Die Auswertung des Symmetrieveränderungsindikators ergab keine Verbesserung oder Verschlechterung der Symmetrie durch die Operation. Die Übereinstimmung der Ergebnisse bestätigt somit erneut die Aussagekraft des Symmetrievergleichs.

4 Diskussion

Zur Erfassung der weiblichen Brust hinsichtlich ihrer Symmetrie wurde bisher eine Vielzahl unterschiedlicher Methoden angewandt. Zum einen dienen mathematische und physikalische Prinzipien als Grundlage für eine Reihe von Berechnungen, die Rückschlüsse auf die Symmetrie erlauben. So wird mithilfe anthropomorphischer Messungen oder der archimedischen Methode das Brustvolumen berechnet [9, 75-77, 85, 92, 97, 100]. Die visuelle Erfassung, zunächst anhand der 2-D Photographie, wird beispielsweise durch Spiegelung erweitert und eine bessere Darstellung der Brust in Lage und Form ermöglicht [21, 60-63, 87]. Zudem werden verschiedene Hilfsapparaturen und Abdruckverfahren eingesetzt sowie etablierte Bildgebungsverfahren in der Medizin wie Ultraschall, Mammographie, MRT und CT, um die Volumina der Mammæ zu erfassen [11, 20, 37,43, 47, 65]. Insgesamt haben sich diese Verfahren in der klinischen Praxis allerdings nicht etablieren können. Viele sind nicht präzise genug, mit hohem Zeit- und Kostenaufwand, Unannehmlichkeiten oder gar Strahlenbelastung für die Patientinnen verbunden [10, 20, 30, 31, 47, 58, 67]. Eine immer größere und wichtigere Rolle spielt jedoch die dreidimensionale Erfassung der Körperoberfläche, die präzise Information bezüglich der

Oberflächengeometrie der Brust liefern kann [16, 45, 49, 50, 58, 64, 68, 95]. Die in der Industrie bereits vielfach genutzten optischen Scansysteme zur Erfassung von Oberflächen etablieren sich nun auch immer mehr in verschiedenen Teilbereichen der Medizin, so beispielsweise in Orthopädie, Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie, der plastisch- rekonstruktiven Chirurgie und vielen mehr [3, 19, 26, 27, 74, 84]. Das Spektrum an durchführbaren Messungen wird so um ein Vielfaches erweitert und ermöglicht eine sehr präzise Evaluation [4, 5, 55]. Die Bildgebung mit dem Laserscanner und die folgende Verarbeitung zu dreidimensionalen Modellen mit geeigneter Software bietet die Grundlage für die Analysen. Die Patientinnen werden innerhalb weniger Sekunden mit der Kamera aufgenommen. Es besteht keine Strahlenbelastung, die Aufnahme ist leicht und schnell durchführbar und stellt so eine Methode mit sehr hoher Akzeptanz seitens der Patientinnen dar. Außerdem kommt es bei der Aufnahme weder durch Druck und Berührung noch durch Lageänderung zu Gewebsdeformierungen der Brust. Moderne Programme ermöglichen dann die Durchführung detaillierter Messungen an den erstellten virtuellen Modellen in Abwesenheit der Patientin. Es besteht die Möglichkeit, viele Parameter zu erheben, prä- und postoperative Werte zu vergleichen und Unterschiede zu visualisieren und zu quantifizieren. So wird die Oberflächengeometrie der Brust sehr präzise abgebildet. Wie sich bei der Standardisierung der Methode in dieser Arbeit zeigte (3.1), lässt sich das Verfahren einfach durchführen. Die Anwendung des Symmetrievergleichs ist leicht zu erlernen. Anhand des errechneten Variationskoeffizienten zeigt sich zudem eine sehr hohe Präzision der Methode. Mehrfachdurchführung der einzelnen Messungen von ein und demselben Untersucher ergaben kaum Schwankungen. Auch die Streuung der Messergebnisse zwischen den einzelnen Untersuchern war minimal ($p < 0,05$), obwohl es sich um

unterschiedlich geschultes Fachpersonal handelte. Insgesamt zeigte sich zwar eine höhere Präzision bei der Erfassung der industriell hergestellten Puppen, doch auch bei den Testpersonen konnte eine sehr präzise Messung mit niedrigem Variationskoeffizienten erfolgen. Die etwas weniger präzisen Ergebnisse bei den Testpersonen lassen sich dadurch erklären, dass die Brustgrenzen im Vergleich zu den Dummymodellen unregelmäßiger sind. Insbesondere im Bereich der lateralen Brustfalte, aber auch medial, ist die Brust nicht so klar abzugrenzen. Zudem beeinflussen beispielsweise Adipositas im Bauchbereich, ein stark ausgeprägter M. pectoralis, eine anatomisch unregelmäßig Axillarregion, ptotische Brüste und laterale Fettareale die Messungen und bewirken eine etwas geringere Präzision. Insgesamt zeigte sich bei der Verwendung dieses Verfahrens jedoch sowohl bei den Puppenmodellen als auch bei den Testpersonen eine hochpräzise, auch für nicht medizinisches Fachpersonal leicht erlernbare, Untersucher unabhängige Methode. Der errechnete Variationskoeffizient zeigt eine ausgezeichnete inter- und intra-Untersucher Reliabilität ($p < 0,05$).

Mehrere andere Autoren im Bereich der Brustchirurgie haben bereits mit ähnlichen Verfahren zur dreidimensionalen Erfassung der Körperoberfläche gearbeitet. In diesen Studien wurden zwar mehrere Messungen an den 3-D Modellen durchgeführt, die Genauigkeit, Reproduzierbarkeit und Präzision der Methodik wurde bisher jedoch nicht validiert [16, 30, 32, 50, 51, 53-55, 58, 59, 64, 72, 79]. Im Gegensatz zu den bisherigen Methoden zur Erfassung der Brustasymmetrie birgt die Vorgehensweise der Arbeitsgruppe Kovacs et al. im Rahmen dieser Studie noch weitere Vorteile. Sie erfasst die Brustasymmetrie mithilfe einer großen Auswahl an Parametern. Die herkömmlichen Strecken-, Oberflächen- und Volumenmessungen sowie die Ergebnisse des Symmetrievergleichs werden separat erfasst, gemittelt,

verglichen und zusammengefasst. So ergeben sie in ihrer Fülle eine sehr detaillierte Information über die Symmetrie der Mammae. Um mithilfe einer anschaulichen Zahl das Maß der Symmetrie zu quantifizieren und in Zukunft aufwändige statistische Analysen der Einzelparameter zu vermeiden, wurden anhand all der erhobenen Messwerte zwei Koeffizienten erstellt. Bisherige Studien beschränken sich größtenteils auf die Erfassung einzelner Parameter, eine exakte Quantifizierung blieb bisher jedoch weitgehend aus. Oft werden nur Volumen oder Oberfläche anhand der dreidimensionalen Modelle erfasst und miteinander verglichen, um Aussagen über die Symmetrie zu treffen [30, 32, 41, 53, 55, 64, 72, 79, 95]. Einen Ansatz in Richtung Quantifizierung der Asymmetrie liefert Losken et al. mit der Erstellung eines „rootmeansquares“ (RMS) [58, 59]. Catanuto et al. versucht die Symmetrie separat zu evaluieren, indem er Winkelmessungen verschiedener Ebenen zueinander durchführt, die diese erfassen sollen. Es erfolgt auch eine Einteilung der Brust in Quadranten, eingeschränkte Anwendbarkeit zeigt sich jedoch bei der Analyse von stark ptotischer oder lateralisierter Mamma [16]. Andere Autoren haben die Brust hauptsächlich in ihrer Ganzheit erfasst oder wie Isogai et al., eine Brusterteilung nach Unterschieden bei der Oberfläche durchgeführt, die jedoch individuell sehr unterschiedlich und somit kaum vergleichbar ist [41].

Die in dieser Arbeit verwendete Analyseverfahren des 3-D Brustevaluationsprotokolls bietet neben der Erfassung und dem Vergleich konventioneller Parameter wie Strecken, Oberflächen und Volumina eine objektive dreidimensionale Oberflächengeometrieanalyse mit zusätzlicher individuell angepasster Brustquadranteinteilung. Mithilfe dieser Methode wird eine detailliertere Darstellung ermöglicht und eine genauere Evaluation der Operation schafft eine sehr gute Qualitätskontrolle. Die Operationsplanung kann somit anhand der

Einteilung sehr viel exakter erfolgen. Außerdem gibt es noch weitere Einsatzgebiete für das entwickelte Verfahren. So können beispielsweise kompetitive Operationsmethoden für Reduktion und Augmentation verglichen werden, oder Veränderungen des Hautmantels durch Expander zur Vorbereitung auf Brustrekonstruktion mithilfe von Implantaten genau erfasst werden.

Um die Ergebnisse der durchgeführten Analysen leichter beurteilen zu können und exakt zu quantifizieren, wurden auf Grundlage der mit dreidimensionaler Körperoberflächenanalyse erfassten Daten zwei Koeffizienten erstellt. Der Symmetrieindex (SI) ermöglicht eine genaue Quantifizierung der Brustasymmetrie bei den Patientinnen und schafft ein anschauliches, vergleichbares Maß. Abbildung 25 und 26 zeigen eine erstellte Symmetrieskala zur Veranschaulichung, bei der dem Symmetrieindex die entsprechenden 3-D Bilder (25) beziehungsweise die 2-D Photographien (26) zugeordnet sind.

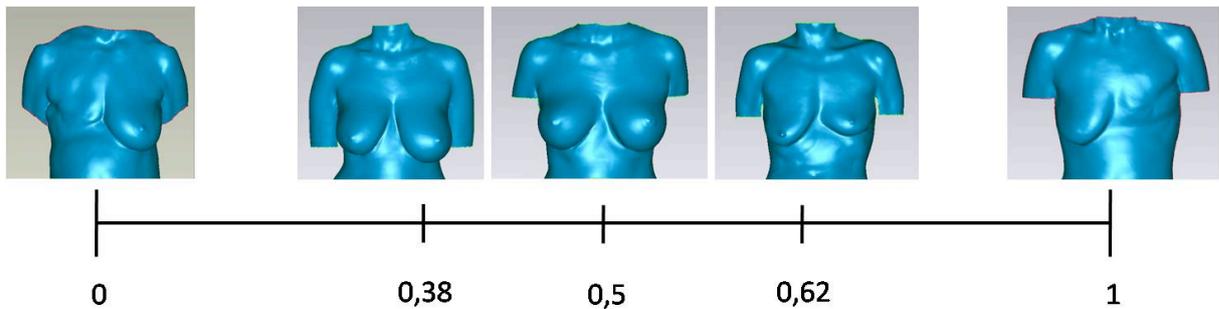


Abbildung 25: Symmetrieskala; Die Legende zeigt den Wert für den Symmetrieindex, hier beispielhaft für das Volumen berechnet mit den dazugehörigen 3-D Modellen

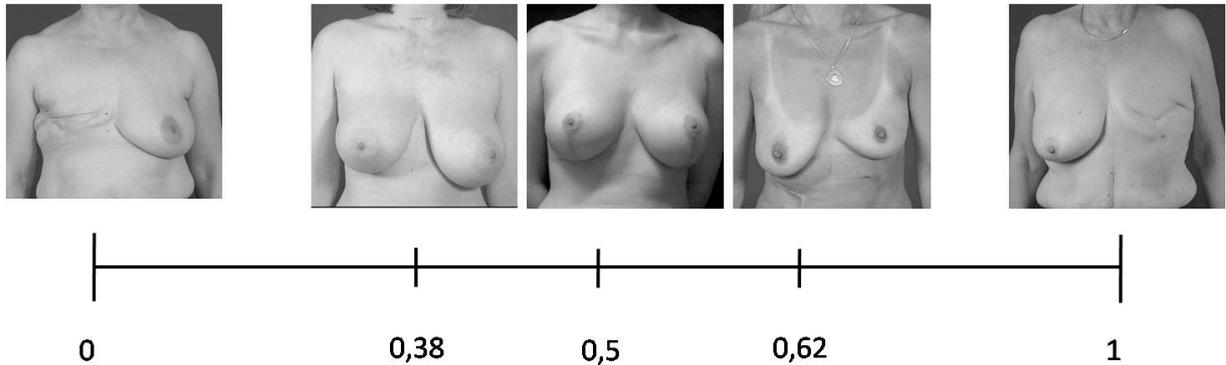


Abbildung 26: Symmetrieskala; Die Legende zeigt den Symmetrieindex hier beispielhaft für das Volumen berechnet mit den dazugehörigen zweidimensionalen Photographien der Patientinnen.

Aufwendige Evaluationen der Einzelparameter, deren Vergleich oft zeitintensiv und wenig anschaulich ist, werden somit umgangen. Der Symmetrieveränderungsindikator (SVI) beurteilt, in welchem Maße sich die Symmetrie bei der Durchführung einer Operation verändert und dient so der Qualitätskontrolle in der klinischen Praxis. Einen Versuch, die Symmetrie zu quantifizieren, führte Cardoso et al. bereits wie oben beschrieben mithilfe der BAT[©] oder BCCT.core Software durch (Kapitel 1.3.6). Die Erfassung der Brust erfolgt hier allerdings nur anhand zweidimensionaler Photographien. So kann nur das frontale Areal als Oberfläche erfasst werden. Laterale, nicht sichtbare Bereiche, fließen nicht in die Analyse mit ein. Hingegen kann bei der dreidimensionalen Körperoberflächenerfassung das virtuelle Modell rotiert werden und die ganze, dem realen Körper viel mehr entsprechende Brustregion markiert und verglichen werden. Außerdem wird bei der 2-D Analyse nur eine laterale und eine frontale Ansicht berücksichtigt, und die sichtbare Fläche dazwischen berechnet. Hier spielt die Platzierung der Landmarks eine entscheidende Rolle. Sie variiert und beeinflusst so das Ergebnis der Messungen. Im Gegensatz dazu hat sich bei der Validierung der

Methodik bei der dreidimensionalen Evaluation der Brustasymmetrie eine exzellente inter- und intra- Untersucher Reliabilität gezeigt.

Zusätzlich zu den Ergebnissen der Berechnungen zeigen die Bilder des 3-D - Compares eine farbcodierte Darstellung der Abweichungen und visualisieren so den Bereich der Asymmetrie sowohl in drei - als auch in zweidimensionalen Darstellungen. Diese Visualisierung spielt besonders bei der Operationsplanung eine große Rolle, da die Chirurgen so präoperativ sehr genau beurteilen können, in welchen Bereichen Asymmetrie besteht. Aber auch das Ergebnis der Operation kann so mithilfe von Farbhistogrammen genau dargestellt werden. Unter anderem anhand der Streckenmessungen können konkrete Unterschiede erkannt werden und bei der Durchführung der Operation berücksichtigt werden. Auch Volumenunterschiede sind so nicht nur an einzelnen Zahlen festzumachen, sondern in den Bildern genau zu lokalisieren. Hier dient auch die Quadranteneinteilung zur genauen Detektion von Abweichungen und ermöglicht eine exaktere individuelle Operationsplanung.

Bei der Beurteilung der Ergebnisse, die eine signifikante Abweichung zeigen, fällt zunächst eine Korrelation zwischen der Analyse der herkömmlichen Daten mit den Ergebnissen bei der Berechnung des Symmetrieindex auf. Hier zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen linker und rechter Brust bei den Probanden bei der Strecke zwischen Jugulum und Mamille und zwischen Jugulum und medialer Brustfalte, sowie bei den Oberflächen. Äquivalente Ergebnisse zeigen sich auch beim Symmetrieindex in den gleichen Variablen. Somit wird statistisch die Gültigkeit des Symmetrieindex bestätigt. Betrachtet man die Werte in den Tabellen, die einen statistisch signifikanten Unterschied zeigen, fällt auf, dass die Mittelwerte der jeweils erhobenen Parameter nicht so stark voneinander abweichen. Beispielsweise bei dem

Symmetrieindex der Probanden zeigt sich eine Signifikanz bei den Strecken, obwohl der Symmetriewert zum Beispiel bei 0,51 oder 0,52 liegt. Dies ist statistisch dadurch zu erklären, dass die Patienten nicht separat analysiert wurden, sondern jeweils die Mittelwerte der Variablen verwendet wurden. Bei den analysierten Daten, die eine statistische Signifikanz aufweisen, liegt eine sehr geringe Varianz vor. So zeigt sich trotzdem eine Abweichung, obwohl die Werte im Mittel nicht so sehr von dem symmetrischen Zustand 0,5 abweichen. Insgesamt sind jedoch fast alle Werte größer als 0,5, daher lässt sich statistisch eine marginale linksseitige Dominanz nachweisen. Bei der Auswertung der Strecken und Oberflächendaten handelt es sich um parallele Stichproben. Obwohl der Unterschied zwischen links und rechts nicht so groß ist, zeigt sich trotzdem eine Signifikanz. Die meisten der Werte weisen die gleiche Richtung auf. So lässt sich eine etwas größere linke Brust feststellen. Insgesamt handelt es sich bei allen Ergebnissen jedoch um marginale Unterschiede, die p-Werte liegen nur knapp unterhalb des Signifikanzniveaus.

Die Brustgrößendifferenz in der weiblichen Bevölkerung, das heißt eine leichte, „normale“ Asymmetrie, wird in der Literatur kontrovers diskutiert [61-63, 76]. Je nach Größe der untersuchten Fallzahlen resultieren verschiedene Ergebnisse. Zunächst ging man von einer linksseitigen Dominanz bei den weiblichen Brüsten aus. Diese Tendenz konnte dann aber nicht in allen Studien bestätigt werden. Insgesamt sind die Studienergebnisse schwer miteinander zu vergleichen, da es sich immer um unterschiedliches Patientenkollektiv in Bezug auf Alter, BMI und Rassenzugehörigkeit handelt. In dieser Arbeit wurde ein sehr junges, sportlich aktives, kaukasisches Patientengut mit weder besonders großen noch kleinen Brüsten untersucht. Die sportliche Aktivität und überwiegende Nutzung der rechten Hand führt möglicherweise zu einem Fett- zu Muskelumbau vor allem an der rechten

oberen Thoraxhälfte, was eine etwas größere linke Brust zur Folge haben kann. Bei sehr großen Brüsten fällt dies wegen des hohen Fettgehalts nicht mehr so sehr ins Gewicht.

Im Rahmen der Reduktion zeigte sich bei der Berechnung des Symmetrieveränderungsindikators eine Verbesserung der Symmetrie im äußeren unteren Quadranten. Die Veränderung der Brust im Rahmen einer Operation vor allem im lateralen und inferioren Bereich der Brust wurde bereits in einer Studie von Hall-Findlay beschrieben. Die oberen Begrenzungen der Brust sind generell nicht besonders verschieblich und operativ wenig zu beeinflussen. Frühe postoperative Befunde, die eine Änderung der Brust am oberen Pol hervorrufen, sinken bei der Verlaufskontrolle meist auf Grund der Gewebestruktur nach ein paar Monaten wieder ab. Die mediale Brustbegrenzung ist ebenfalls relativ immobil auf Grund ihrer Verbindung zur knöchernen Struktur des Brustbeins. Die laterale Brustbegrenzung ist leichter verschieblich als die mediale und superiore. Bei größeren Mammae findet sich hier meist Fettakkumulation. Der untere Brustpol verändert sich bei operativen Eingriffen oft am stärksten. Das Brustgewebe ist mit der Haut, nicht jedoch mit den tiefen Faszien verbunden und die Cooper Ligamente haben keine Verbindung zur Brustwand. So kommt es auf Grund des Eigengewichts bei größeren Brüsten, bei Drüsenkörperveränderungen in der Gravität und beim normalen Alterungsprozess mit Verlust der Bandelastizität zu einem Absinken des untern Pols. In diesem Bereich kann also im Rahmen des operativen Eingriffs viel bewirkt werden [38].

4.1 Grenzen der Methode

Der große Vorteil der entwickelten Symmetrieevaluation mithilfe von BAT© und BCCT.core Software besteht in der Möglichkeit, die Ergebnisse zu bewerten. Der Vergleich der Ergebnisse der Softwareanalyse mit der Harris Skala, subjektive Expertenmeinungen zu den Resultaten der Brustoperationsergebnisse, ergab ein Bewertungssystem von schlecht bis hervorragend [12-15, 28]. Ein solcher Vergleich von objektiven und subjektiven Bewertungsparametern hat bei der Analyse der im Rahmen dieser Arbeit erhobenen Messparameter noch nicht stattgefunden.

Die Positionierung der Landmarks zur Anwendung des 3-D Evaluationsprotokolls ist mit den derzeitigen Softwaresystemen (Raindrop Geomagic Studio 10[®], Raindrop Geomagic Qualify 9[®], Inc., NC, U.S.A) nur manuell möglich. Es dauerte im Vergleich zu der 2-D Landmark Setzung (2,5 +/- 1,2 Minuten) 3,7 +/- 0,35 Minuten etwas länger bei der 3-D Analysemethode. Bisher ist der Großteil der erhältlichen Softwarelösungen nur für industrielle Nutzung ausgelegt und muss noch an die klinische Anwendung angepasst werden. Eine halbautomatische Positionierung der Landmarks beispielsweise wäre eine sinnvolle Erweiterung, um eine zeitaufwändige manuelle Positionierung abzukürzen.

Ein weiterer Nachteil der 3-D Analysemethode ist der relativ hohe Kostenpunkt. Die Anschaffung einer geeigneten Software und Hardware, um eine suffiziente Analyse durchführen zu können, beliefen sich vor eine paar Jahren noch auf 80.000 – 100.000 Euro. So ist eine breite Anwendung dieser Technik nicht immer möglich und mit den aktuellen Sparmaßnahmen im Gesundheitssystem nur schwer zu vereinbaren. Die Apparate sind zudem sperrig, unhandlich und schwer. So wurden in der letzten Zeit kleinere, schnellere und kostengünstigere Systeme entwickelt, die

zum Teil sogar eine intraoperative Anwendung ermöglichen und nur noch 20.000 bis 50.000 Euro kosten.

4.2 Möglichkeiten klinischer Anwendung und Ausblick

Die in dieser Arbeit untersuchten Patienten und Probanden weisen in der statistischen Auswertung allenfalls geringgradig asymmetrische Brüste auf. Die Anwendungsmöglichkeit der Methode und die genaue Quantifizierung der Asymmetrie lassen sich jedoch auch auf starke Abweichungen hinsichtlich der Symmetrie ausweiten. Vor allem die Bewertung der Symmetrieverbesserung durch die Operation kann so bei angleichenden Augmentationen und Reduktionen, bei angeborenen Asymmetrien, Poland Syndrom oder bei Brustrekonstruktionen genau quantifiziert und visualisiert werden. Im Folgenden werden anhand dreier Beispiele einige Anwendungsmöglichkeiten der entwickelten Methode dargelegt.

4.2.1 Klinische Anwendung: Brustrekonstruktion

Zunächst wird anhand eines klinischen Beispiels eine einseitige Brustrekonstruktion dargestellt. Es besteht die Möglichkeit, die vorhandene Brust zu spiegeln. So erhält man ein Sollergebnis, an dem sich die Chirurgen präoperativ orientieren können. Die Übereinanderlagerung der postoperativen Aufnahme mit dem Sollergebnis erlaubt eine exzellente Qualitätskontrolle und visualisiert genau, in welchen Bereichen Symmetrie herrscht. Die folgenden Abbildungen (26 - 33) zeigen, wie die Befunde in Farbhistogrammen dargestellt werden und Operationsergebnisse anschaulich evaluiert werden können.

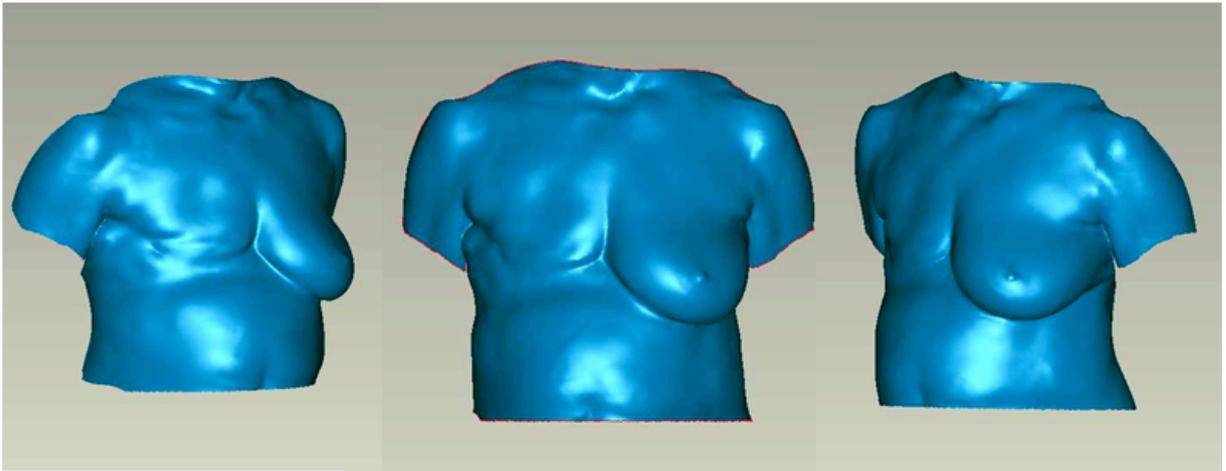


Abbildung 27: Darstellung des präoperativen Befundes bei Brustrekonstruktion als virtuelles 3-D Modell

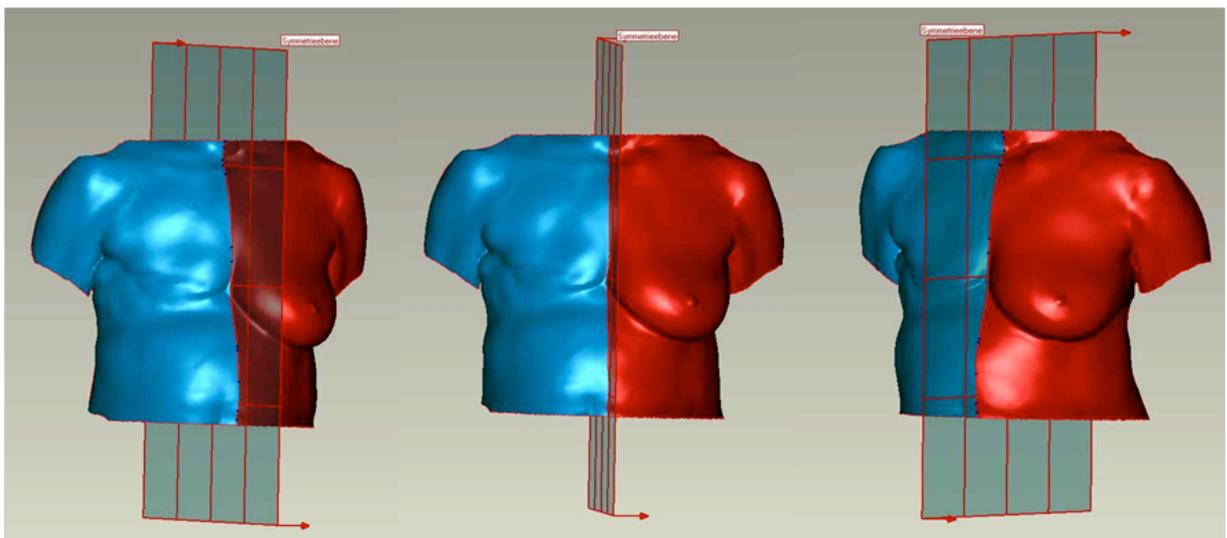


Abbildung 28: Vorbereitung des Modells präoperativ – die linke Körperhälfte (rot) soll an der eingezogenen Ebene gespiegelt werden

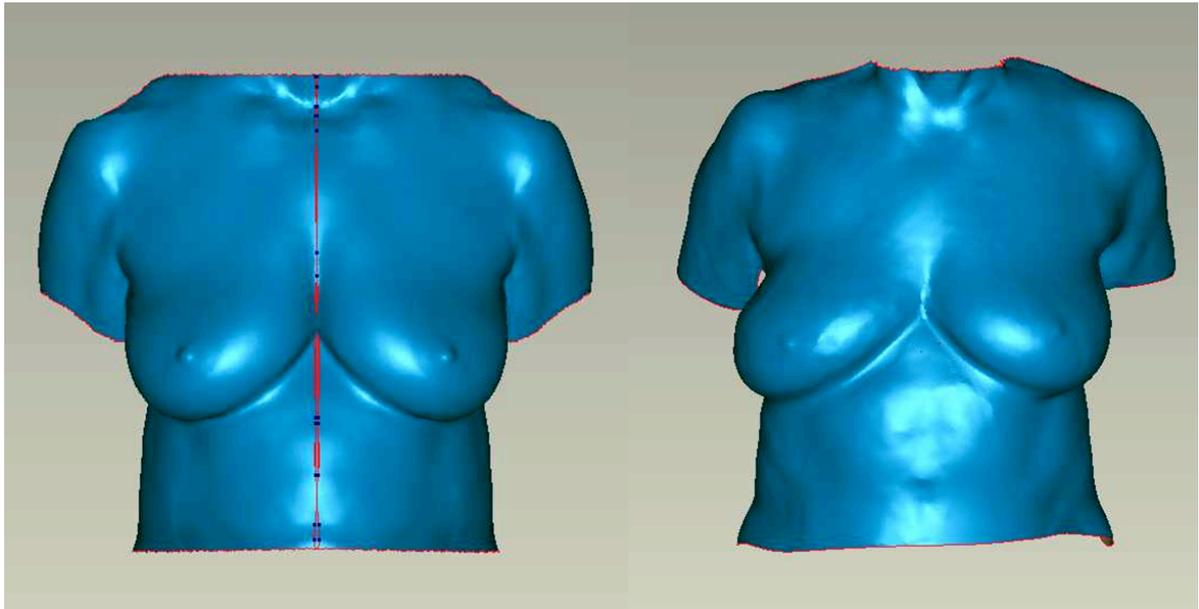


Abbildung 29: Links: Spiegelung der gesunden linken Brust auf die rechte Seite: Soll-Ergebnis; Rechts: postoperatives Ergebnis als 3-D Modell

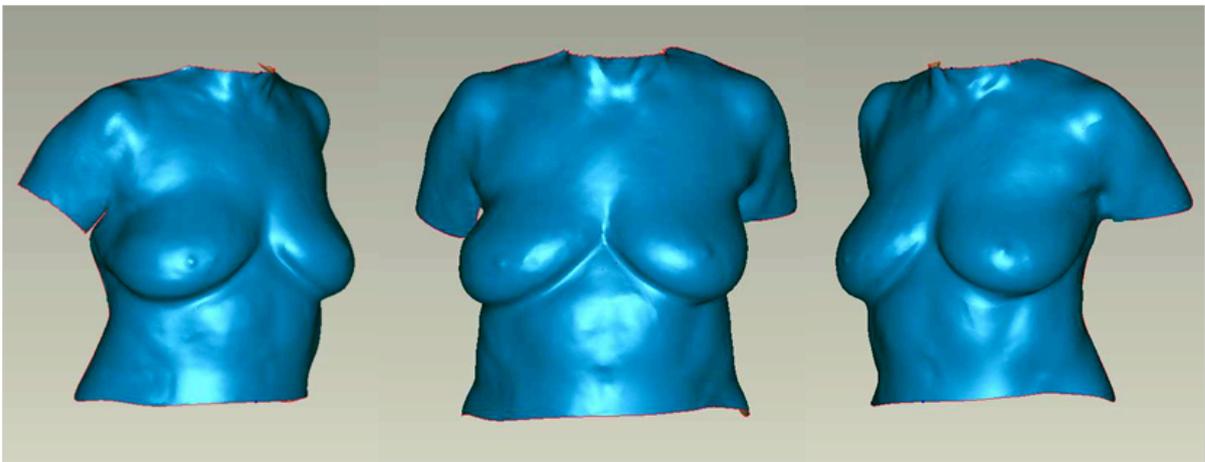


Abbildung 30: Darstellung des postoperativen Ergebnisses als virtuelles 3-D Modell

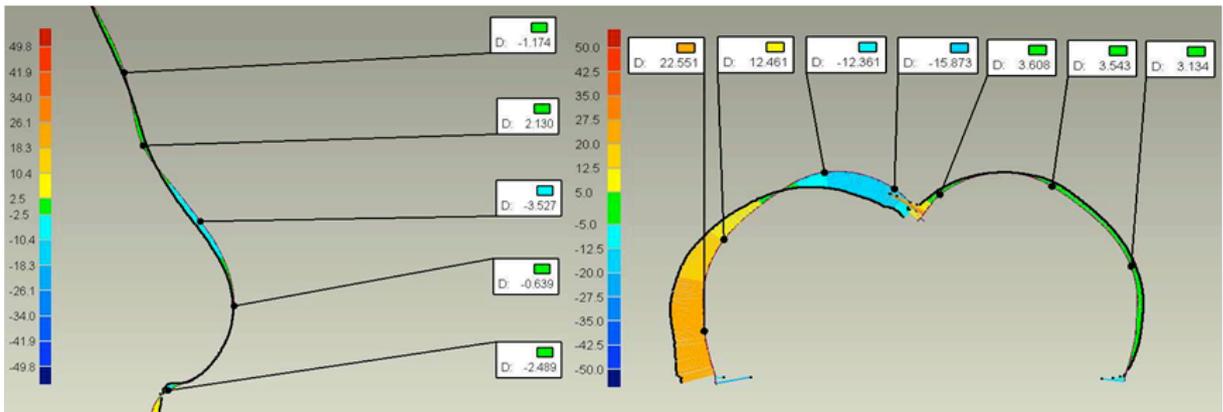


Abbildung 31: Vergleich des Soll – Ergebnisses mit dem tatsächlichen postoperativem Ergebnis. Es zeigt sich eine Abweichung in der horizontalen Vergleichsebene, besonders lateral, die vertikale Ebene zeigt kaum Abweichungen.

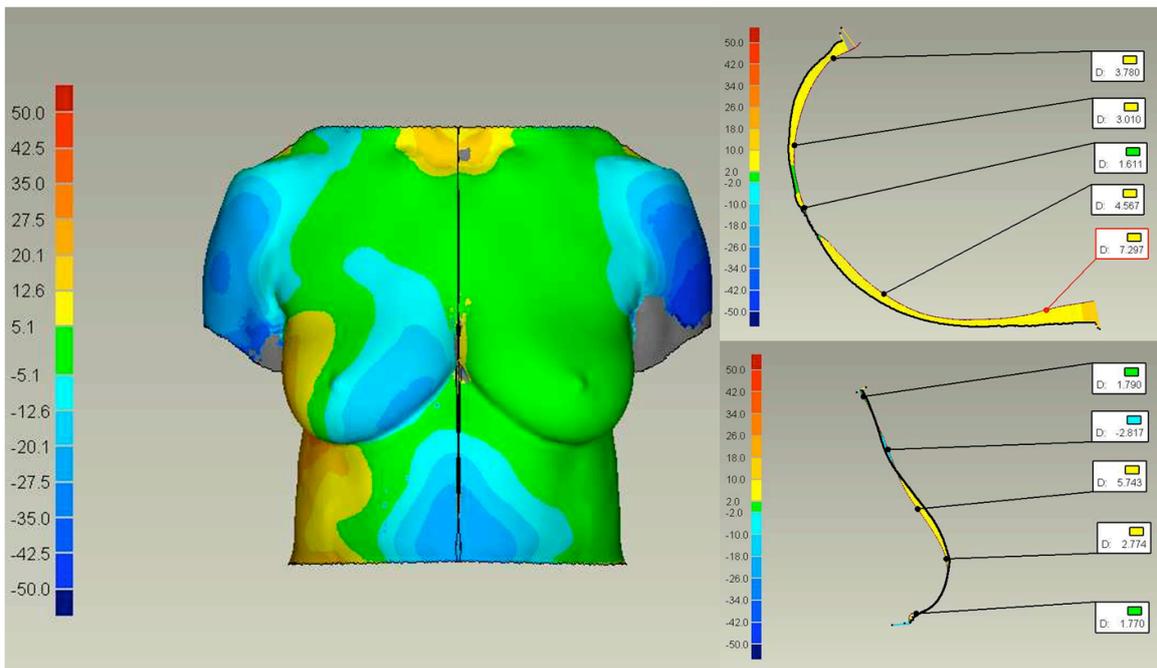


Abbildung 32: Vergleich des postoperativem Befunds mit dem Soll – Ergebnis. Links: 3-D Compare des gesamten Thorax; Rechts: 2-D Schnitte in horizontaler (oben) und vertikaler Richtung durch die rechte Brust

Die Auswertung der Daten bei diesem Beispiel der Brustrekonstruktion ergab eine Verbesserung des Symmetrieindex von 1,0 auf 0,51 bezüglich der Volumina und bei der Oberfläche von 0,82 auf 0,47. Der Symmetrieveränderungsindikator ergab einen Wert von 0,96. Die Ergebnisse zeigen also eine sehr starke Verbesserung der Symmetrie im Rahmen der Operation, die auch in den Bildern eindeutig zu sehen ist.

4.2.2 Klinische Anwendung: Brustreduktion

Bei der Durchführung einer Mammareduktionsplastik bei einer Patientin mit präoperativ asymmetrischen Brüsten wurde eine angleichende Brustverkleinerung durchgeführt. Die Bilder der prä- und postoperativen Befunde werden im Folgenden dargestellt. Sie sollen anschaulich zeigen, wie sich die Symmetrieverhältnisse der Mammae darstellen. Zusätzlich erfolgt beispielhaft die Berechnung der Symmetrieindizes.

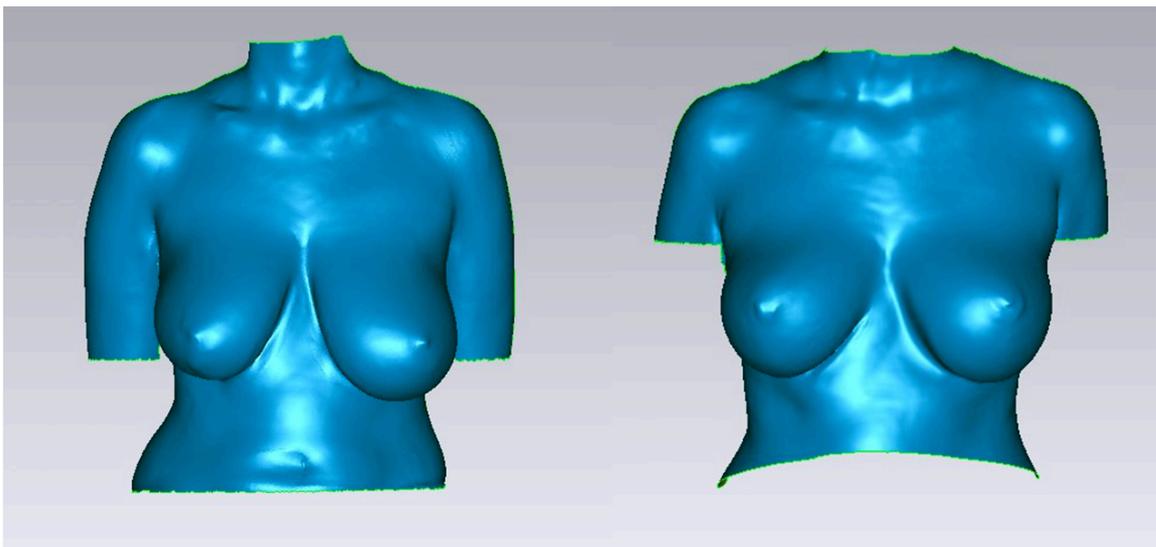


Abbildung 33: Darstellung des prä- und postoperativen Befundes als 3-D Modell. Links: präoperativ; Rechts: postoperativ

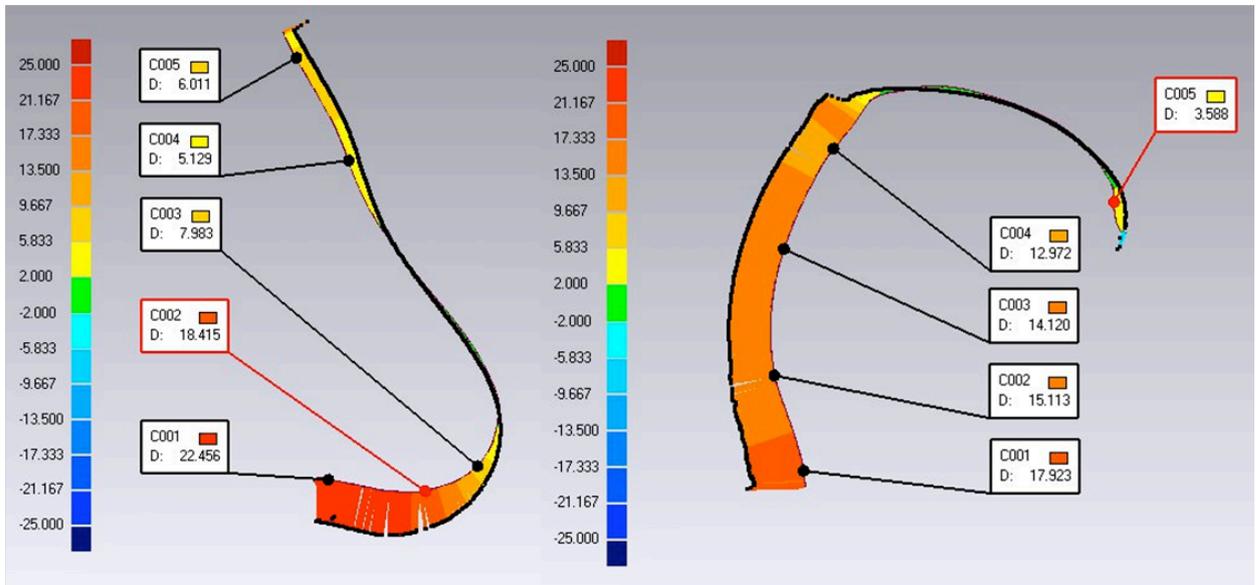


Abbildung 34: Darstellung des präoperativen Befundes in 2-D Ansicht. Die linke Brust wurde gespiegelt und mit der rechten überlagert. Es zeigt sich eine Asymmetrie zwischen linker und rechter Brust; Links: vertikaler Schnitt auf Höhe der Mamille, Rechts: horizontaler Schnitt auf Höhe der Mamille

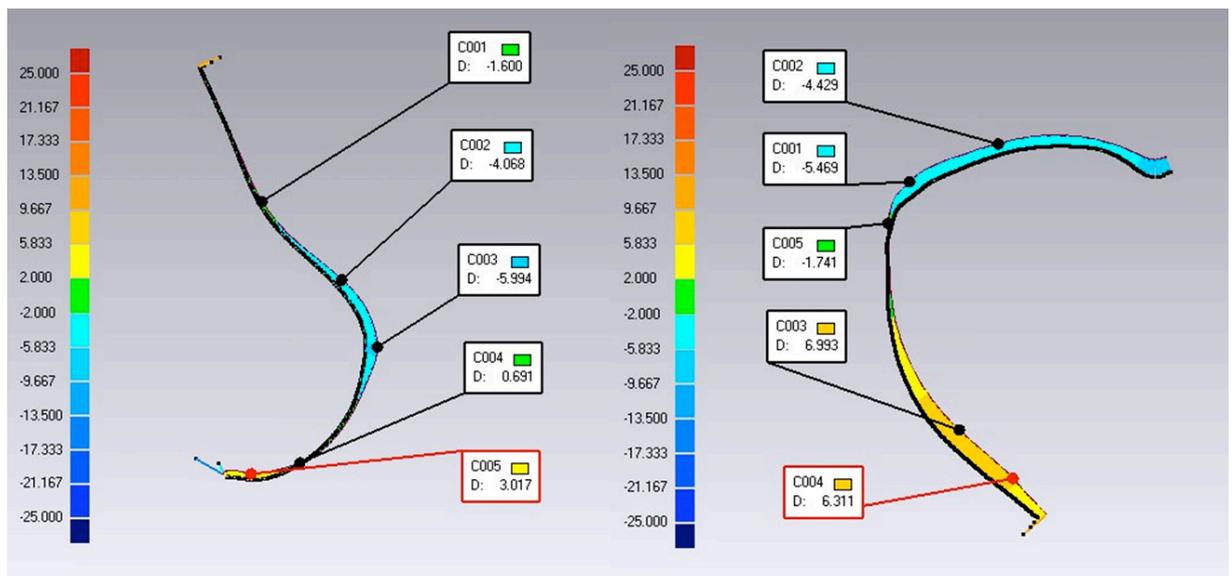


Abbildung 35: Darstellung des postoperativen Befundes in 2-D Ansicht. Die linke Brust wurde gespiegelt und mit der rechten überlagert. Es zeigen sich kaum mehr Abweichungen zwischen linker und rechter Brust. Links: vertikaler Schnitt auf Höhe der Mamille; Rechts: horizontaler Schnitt auf Höhe der Mamille

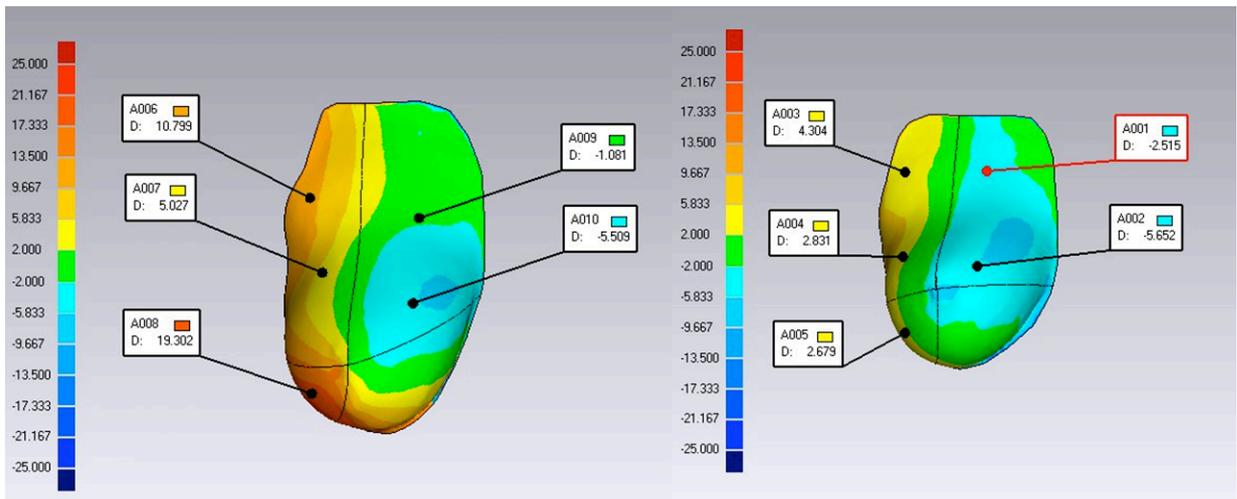


Abbildung 36: Darstellung des 3-D - Compares. Es zeigen sich die Abweichungen der Oberflächengeometrie. Die linke Brust wurde gespiegelt und mit der rechten überlagert. Links: präoperativer Befund, rechts: postoperativer Befund.

Die Auswertung der erhobenen Symmetriedaten ergab eine Verbesserung des Symmetrieindex von 0,43 auf 0,53 für das Volumen. Der SI für die Oberfläche verbesserte sich von 0,39 auf 0,55. Der SVI ergab einen Wert von 0,71. Die Symmetrie der Brust wurde also im Rahmen der Operation eindeutig verbessert, wie auch anschaulich auf den Bildern zu sehen ist.

4.2.3 Klinische Anwendung: Augmentation

Bei einer Patientin mit präoperativ leicht asymmetrischen kleinen Brüsten wurde eine angleichende Augmentation vorgenommen, um eine Brustvergrößerung und gleichzeitig einen Ausgleich der Asymmetrie zu bewirken. Die folgenden Bilder zeigen die prä- und postoperativen Befunde im Farbhistogramm.

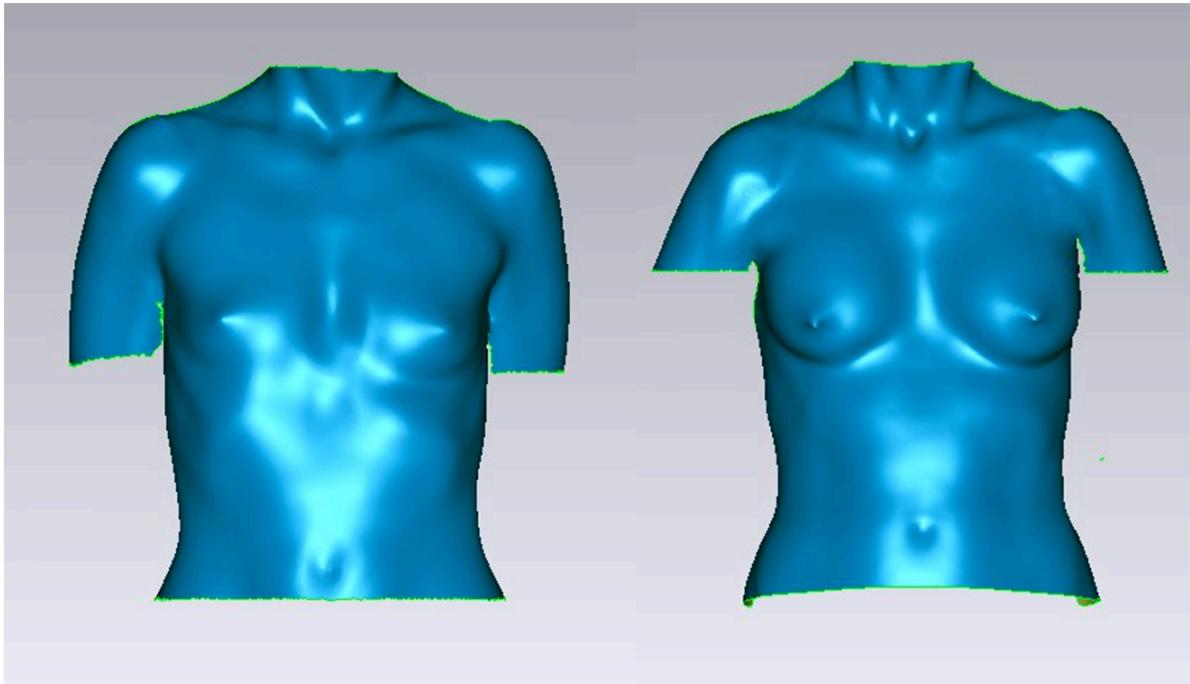


Abbildung 37: Darstellung des prä- und postoperativen Befundes als 3-D Modell bei der Durchführung einer angleichenden Augmentation

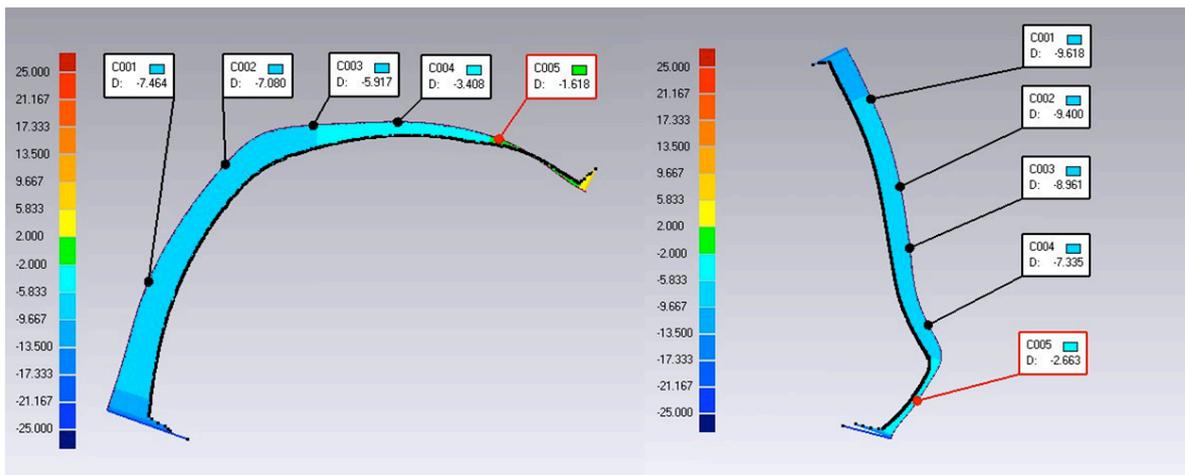


Abbildung 38: Darstellung des präoperativen Befundes in 2-D Ansicht. Die linke Brust wurde gespiegelt und mit der rechten überlagert. Es zeigt sich eine Asymmetrie zwischen linker und rechter Brust

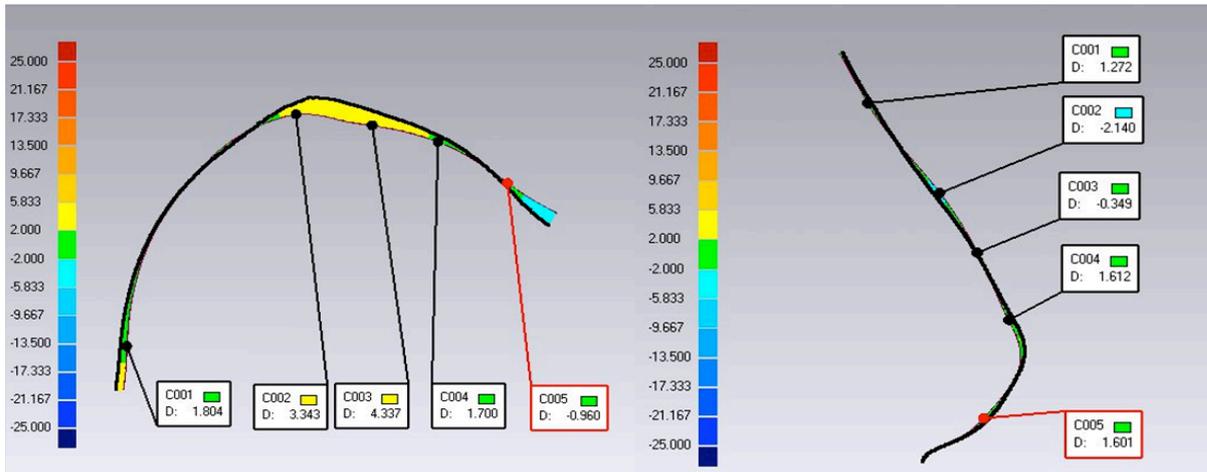


Abbildung 39: Darstellung des postoperativen Ergebnisses in zweidimensionaler Ansicht, horizontal und vertikal. Die linke Brust wurde gespiegelt und über die rechte projiziert. Es zeigen sich kaum Abweichungen zwischen linker und rechter Brust nach der Operation. Links: horizontaler Schnitt; Rechts: vertikaler Schnitt

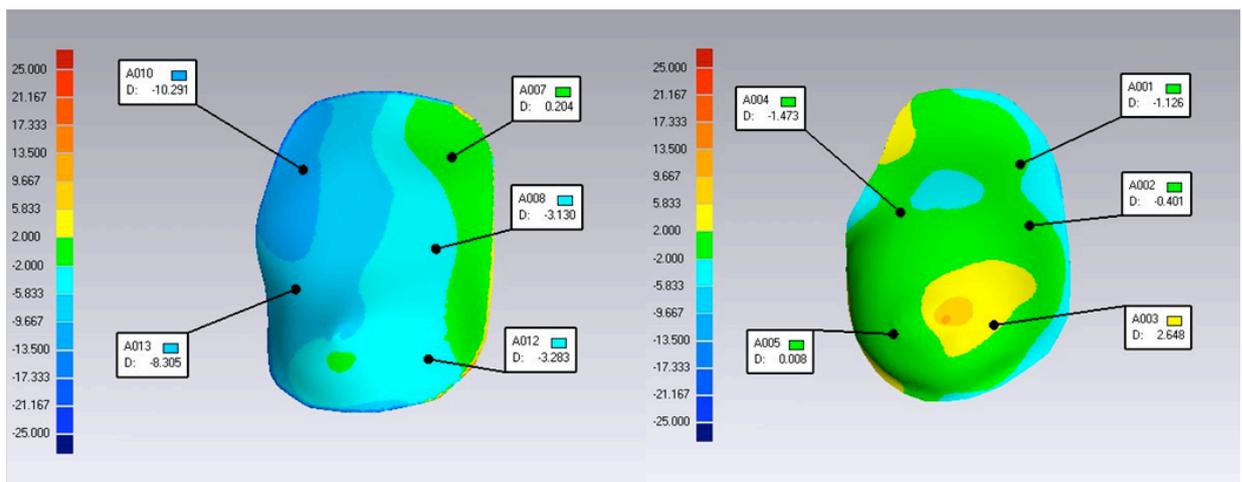


Abbildung 40: Darstellung des 3-D - Compares. Es zeigen sich die Abweichungen der Oberflächengeometrie. Die linke Brust wurde gespiegelt und mit der rechten überlagert. Links: präoperativer Befund; Rechts: postoperativer Befund.

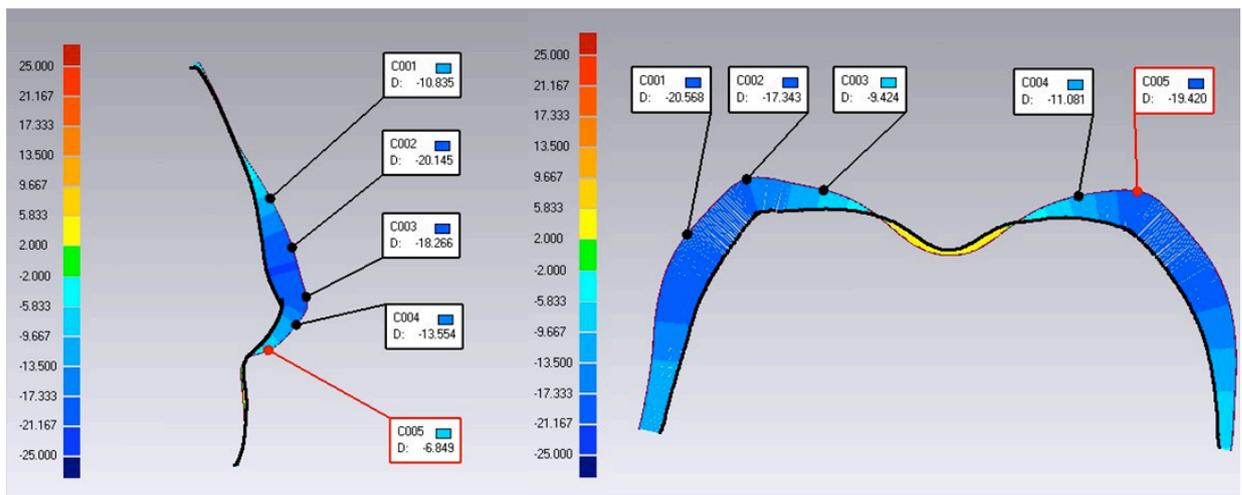


Abbildung 41: Vergleich des präoperativen Befundes mit dem postoperativen Ergebnis. Links: vertikaler 2-D Schnitt durch die rechte Brust; Rechts: Horizontaler 2-D Schnitt auf Höhe der Mamillen

Die Berechnung des Symmetrieindex ergab für dieses klinische Beispiel der angleichenden Augmentation eine Veränderung des SI von präoperativ 0,74 auf 0,54 postoperativ für das Volumen, für die Oberfläche ergab sich eine Verbesserung von 0,59 auf 0,49. Der SVI im Rahmen der Operation beträgt 0,56. Auch hier zeigt sich erneut, dass durch die Operation eine Verbesserung der Symmetrie erzielt wurde. Die Bilder der dreidimensionalen Modelle veranschaulichen dies eindrucksvoll. Zudem zeigen die Werte der in dieser Arbeit entwickelten Symmetriemaße jeweils eine eindeutige Verbesserung der Symmetrie der Mammae, die postoperativen Werte nähern sich jeweils dem Symmetriezustand 0,5 an. Der SVI zeigt mit Werten > 0,5 eine Verbesserung der Symmetrie im Rahmen der Operation.

4.2.4 Ausblick

Obwohl die Symmetrie mithilfe der entwickelten Indizes in dieser Arbeit nun schon sehr genau quantifiziert werden kann, erhält man trotzdem mehrere Ergebnisse bei

der Analyse eines einzelnen Patienten. So wird beispielsweise bei einem Patienten der Symmetrieindex jeweils separat für Strecken, Oberflächen und Volumina ermittelt, sowohl prä- als auch postoperativ. Außerdem kommt noch die Ermittlung des Symmetrieveränderungsindikators hinzu. Auf der Grundlage der erarbeiteten Daten dieser Studie wäre die Erstellung eines Maßes, das mit nur einem einzigen Wert die Symmetrie der Mammae erfasst, wünschenswert und möglich. Dazu bedarf es einer Gewichtung der erhobenen Parameter: Strecken, Volumina, Oberflächen und Ergebnisse des Symmetrievergleichs. Ziel ist es, eine Formel zu erstellen, in der alle erfassten Werte vorkommen und als Ergebnis ein einziges Symmetriemaß entsteht.

5 Zusammenfassung

Kaum eine der in der Einleitung vorgestellten Methoden zur Erfassung der Brustsymmetrie hat sich bisher in der klinischen Praxis durchgesetzt. Viele der beschriebenen Verfahren sind sehr aufwendig, mit Unannehmlichkeiten für die Patientinnen verbunden und lassen sich wegen Zeit-, Material-, Kosten- und Personalaufwand nicht so einfach in den klinischen Alltag integrieren [10, 20, 30, 31, 47, 58, 67]. Daher sind Operationsplanung und Ergebnisevaluation heute meist von der subjektiven Einschätzung des Operationsteams und den Patientinnen selbst geprägt [40, 49, 64]. In der Literatur existiert zudem keine einheitliche Definition, Klassifikation oder Nomenklatur in Bezug auf die Brustsymmetrie. Auch wird die Symmetrie der Mammae jeweils mit sehr unterschiedlichen Methoden evaluiert, die meist nicht sehr gut vergleichbar, reproduzierbar oder validiert sind [24, 42, 56, 58, 64, 72, 75, 91, 98]. Insgesamt zeigt sich jedoch eine Entwicklung hin zu

dreidimensionalen Verfahren. Wie in vielen anderen Fachrichtungen auch, haben sich ebenso in der plastisch - rekonstruktiven Chirurgie optische Scanverfahren zur Oberflächenerfassung etabliert und dienen in diesem Bereich unter anderem zur Symmetrieerfassung der Brust [3, 19, 25, 74, 84]. Bisher wurde die Methodik jedoch noch nicht ausreichend validiert und standardisiert. In dieser Arbeit zeigte sich jedoch, dass die Erfassung der Symmetrie sehr gut reproduzierbar und präzise ist, zudem ist sie untersucherunabhängig. Es handelt sich um eine sehr einfach zu erlernende Methode unabhängig davon, ob es sich bei der durchführenden Person um medizinisches Fachpersonal handelt oder nicht.

Die dreidimensionale Erfassung ermöglicht eine sehr viel umfangreichere Beurteilung und erweitert das Spektrum an durchführbaren Messungen enorm [4, 5, 55]. Im Gegensatz zur zweidimensionalen Photographie sind Aussagen bezüglich Volumina möglich, Tiefeninformationen enthalten und Projektionen und Analysen der Oberflächengeometrie durchführbar. Die virtuellen 3-D Modelle erlauben zudem mithilfe geeigneter Computerprogramme eine genaue Berechnung von Abweichungen. Aus konkreten Zahlenwerten erstellte Koeffizienten und Referenzwerte ermöglichen so eine objektive Evaluation [30, 41, 45, 51, 58, 59]. Die Erfassung der Brust zur Erstellung der Modelle erfolgt bei unseren Messungen einfach und schnell. Die Patientinnen werden im Stehen mit hinter dem Rücken gekreuzten Armen aufgenommen. Innerhalb von wenigen Minuten sind die Aufnahmen abgeschlossen. Die Prozedur beinhaltet kaum Unannehmlichkeiten für die Patientinnen, keine Strahlenbelastung und wird sehr gut angenommen. Die berührungsfreie Aufnahme erfolgt in aufrechtem Stand. Somit sind Deformierungen des Gewebes durch Gravitation und Lageänderung, die beispielsweise bei CT und

MRT Aufnahmen oder der biostereometrischen Methode auftreten, weitgehend ausgeschlossen [45, 47, 61, 63, 88].

Die erarbeiteten Symmetrieindizes stellen ein anschauliches, präzises und objektives Maß zur Erfassung der Symmetrie dar. Die beiden Koeffizienten dienen zum einen der Quantifizierung von Brustsymmetrie in einem Probandenkollektiv, das als Referenzgruppe gewertet werden kann und Aufschluss über die anatomische Norm geben soll. Hier gilt es, die als subjektiv und objektiv normal angesehenen Varianten der Natur zu erfassen, dies zu dokumentieren und geeignete Referenzwerte festzulegen. Zum anderen besteht die Möglichkeit, subjektive Standpunkte bezüglich der Symmetrie seitens der Ärzte und Patientinnen zu objektivieren. Außerdem kann mithilfe des Koeffizienten eine Brustoperation hinsichtlich des Symmetrieerhalts beziehungsweise der Symmetrieerlangung eindeutig beurteilt werden. Denn die Symmetrie gilt als Merkmal von Ästhetik und ist unabhängig davon, welche Operation der Mammae durchgeführt wird, immer als eines der obersten Ziele anzustreben [6, 90, 91].

6 Literaturverzeichnis

1. Akbas, H., Sahin, B., Eroglu, L., Odaci, E., Bilgic, S., Kaplan, S., Uzun, A., Ergur, H. and Bek, Y., *Estimation of breast prosthesis volume by the Cavalieri principle using magnetic resonance images*. *Aesthetic Plast Surg.* 28 (2004) 275-280
2. Amir, A., Silfen, R. and Hauben, D.J., *Use of Archimedes' law for measuring the volume of the TRAM flap in immediate breast reconstruction*. *Plast Reconstr Surg.* 103 (1999) 1329
3. Asamoah, V., Mellerowicz, H., Venus, J. and Klockner, C., *[Measuring the surface of the back. Value in diagnosis of spinal diseases]*. *Orthopade.* 29 (2000) 480-489
4. Beattie, S.S., J.P. Stevenson, J.H. Yap, L.H., *Assessment Tools for Breast Surgery Based on 3D Surface Anatomy Imaging*. Proc 6th Int. Workshop on Digital mammography, Bremen, Germany (2002)
5. Borghese N.A., F.G., Baroni G., Savarè R., Ferrari S. and Pedotti A., *Autoscan: A flexible and portable 3D scanner*. *IEEE Computer Graphics & Applications.* May/June (1998) 38-41.
6. Bouman, F.G., *Volumetric measurement of the human breast and breast tissue before and during mammoplasty*. *Br J Plast Surg.* 23 (1970) 263-264
7. Breuckmann, B., *Grundlagen der 3D-Messtechnik, Farbanalyse, Holografie und Interferometrie mit zahlreichen praktischen Applikationen, in Bildverarbeitung und optische Messtechnik in der industriellen Praxis*. Franzis-Verlag GmbH, München, 1993.
8. Brown, R.W., Cheng, Y.C. and Kurtay, M., *A formula for surgical modifications of the breast*. *Plast Reconstr Surg.* 106 (2000) 1342-1345
9. Brown, T.P., Ringrose, C., Hyland, R.E., Cole, A.A. and Brotherston, T.M., *A method of assessing female breast morphometry and its clinical application*. *Br J Plast Surg.* 52 (1999) 355-359
10. Bulstrode, N., Bellamy, E. and Shrotria, S., *Breast volume assessment: comparing five different techniques*. *Breast.* 10 (2001) 117-123
11. Campaigne, B.N., Katch, V.L., Freedson, P., Sady, S. and Katch, F.I., *Measurement of breast volume in females: description of a reliable method*. *Ann Hum Biol.* 6 (1979) 363-367
12. Cardoso, J.S. and Cardoso, M.J., *Towards an intelligent medical system for the aesthetic evaluation of breast cancer conservative treatment*. *Artif Intell Med.* 40 (2007) 115-126
13. Cardoso, M.J., Cardoso, J., Amaral, N., Azevedo, I., Barreau, L., Bernardo, M., Christie, D., Costa, S., Fitzal, F., Fougó, J.L., Johansen, J., Macmillan, D., Mano, M.P., Regolo, L., Rosa, J., Teixeira, L. and Vrieling, C., *Turning subjective into objective: the BCCT.core software for evaluation of cosmetic results in breast cancer conservative treatment*. *Breast.* 16 (2007) 456-461
14. Cardoso, M.J., Cardoso, J., Santos, A.C., Vrieling, C., Christie, D., Liljegren, G., Azevedo, I., Johansen, J., Rosa, J., Amaral, N., Saaristo, R., Sacchini, V., Barros, H. and Oliveira, M.C., *Factors determining esthetic outcome after breast cancer conservative treatment*. *Breast J.* 13 (2007) 140-146
15. Cardoso, M.J., Cardoso, J.S., Wild, T., Krois, W. and Fitzal, F., *Comparing two objective methods for the aesthetic evaluation of breast cancer conservative treatment*. *Breast Cancer Res Treat.* 116 (2009) 149-152

16. Catanuto, G., Spano, A., Pennati, A., Riggio, E., Farinella, G.M., Impoco, G., Spoto, S., Gallo, G. and Nava, M.B., *Experimental methodology for digital breast shape analysis and objective surgical outcome evaluation*. Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery. (2007) Epub 31 January 2007
17. Chavoïn, J.P., Teyseyre, A. and Grolleau, J.L., [*"Morphobreast": patient's data bank management for objective selection of implant's volume in hypotrophic breasts*]. Ann Chir Plast Esthet. 50 (2005) 487-493
18. Corso, P.F., *Plastic surgery for the unilateral hypoplastic breast. A report of eight cases*. Plast Reconstr Surg. 50 (1972) 134-141
19. Deng, J., Newton, N.M., Hall-Craggs, M.A., Shirley, R.A., Linney, A.D., Lees, W.R., Rodeck, C.H. and McGrouther, D.A., *Novel technique for three-dimensional visualisation and quantification of deformable, moving soft-tissue body parts*. Lancet. 356 (2000) 127-131
20. Edsander-Nord, A., Wickman, M. and Jurell, G., *Measurement of breast volume with thermoplastic casts*. Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg. 30 (1996) 129-132
21. Edstrom, L.E., Robson, M.C. and Wright, J.K., *A method for the evaluation of minor degrees of breast asymmetry*. Plast Reconstr Surg. 60 (1977) 812-814
22. Ellenbogen, R., *A new device to assist in sizing breasts*. Ann Plast Surg. 1 (1978) 333-335
23. Elliot, R.A., Jr., Hoehn, J.G. and Greminger, R.F., *Correction of asymmetrical breasts*. Plast Reconstr Surg. 56 (1975) 260-265
24. Elshahy, N.I., *Correction of asymmetries of the breasts*. Plast Reconstr Surg. 57 (1976) 700-703
25. Ferrario, V.F., Dellavia, C., Colombo, A. and Sforza, C., *Three-dimensional assessment of nose and lip morphology in subjects with down syndrome*. Ann Plast Surg. 53 (2004) 577-583
26. Ferrario, V.F., Sforza, C., Dellavia, C., Tartaglia, G.M., Colombo, A. and Caru, A., *A quantitative three-dimensional assessment of soft tissue facial asymmetry of cleft lip and palate adult patients*. J Craniofac Surg. 14 (2003) 739-746
27. Ferrario, V.F., Sforza, C., Dellavia, C., Vizzotto, L. and Caru, A., *Three-dimensional nasal morphology in cleft lip and palate operated adult patients*. Ann Plast Surg. 51 (2003) 390-397
28. Fitzal, F., Krois, W., Trischler, H., Wutzel, L., Riedl, O., Kuhbelbock, U., Wintersteiner, B., Cardoso, M.J., Dubsky, P., Gnant, M., Jakesz, R. and Wild, T., *The use of a breast symmetry index for objective evaluation of breast cosmesis*. Breast. 16 (2007) 429-435
29. Fowler, P.A., Casey, C.E., Cameron, G.G., Foster, M.A. and Knight, C.H., *Cyclic changes in composition and volume of the breast during the menstrual cycle, measured by magnetic resonance imaging*. Br J Obstet Gynaecol. 97 (1990) 595-602
30. Galdino, G.M., Nahabedian, M., Chiaramonte, M., Geng, J.Z., Klatsky, S. and Manson, P., *Clinical applications of three-dimensional photography in breast surgery*. Plast Reconstr Surg. 110 (2002) 58-70
31. Galdino, G.M., Vogel, J.E. and Vander Kolk, C.A., *Standardizing digital photography: it's not all in the eye of the beholder*. Plast Reconstr Surg. 108 (2001) 1334-1344

32. Garson, S., Delay, E., Sinna, R., Carton, S., Delaporte, T. and Chekaroua, K., [*3 D evaluation and breast plastic surgery: preliminary study*]. *Ann Chir Plast Esthet.* 50 (2005) 296-308
33. Gliosci, A. and Presutti, F., *Asymmetry of the breast: some uncommon cases.* *Aesthetic Plast Surg.* 18 (1994) 399-403
34. Gorney, M. and Harries, T., *The preoperative and postoperative consideration of natural facial asymmetry.* *Plast Reconstr Surg.* 54 (1974) 187-191
35. Grammer, K. and Thornhill, R., *Human (Homo sapiens) facial attractiveness and sexual selection: the role of symmetry and averageness.* *J Comp Psychol.* 108 (1994) 233-242
36. Grolleau, J.L., Lanfrey, E., Lavigne, B., Chavoïn, J.P. and Costagliola, M., *Breast base anomalies: treatment strategy for tuberous breasts, minor deformities, and asymmetry.* *Plast Reconstr Surg.* 104 (1999) 2040-2048
37. Grossman, A.J. and Roudner, L.A., *A simple means for accurate breast volume determination.* *Plast Reconstr Surg.* 66 (1980) 851-852
38. Hall-Findlay, E.J., *The three breast dimensions: analysis and effecting change.* *Plast Reconstr Surg.* 125 (2010) 1632-1642
39. Herson, M.R. and Wexler, M.R., *Volume calculation for breast augmentation and reconstruction with a soft-tissue expander.* *Plast Reconstr Surg.* 81 (1988) 992-993
40. Hudson, D.A., *Factors determining shape and symmetry in immediate breast reconstruction.* *Ann Plast Surg.* 52 (2004) 15-21
41. Isogai, N., Sai, K., Kamiishi, H., Watatani, M., Inui, H. and Shiozaki, H., *Quantitative Analysis of the Reconstructed Breast Using a 3-Dimensional Laser Light Scanner.* *Ann Plast Surg.* 56 (2006) 237-242
42. Juri, J., *Mammary asymmetry: a brief classification.* *Aesthetic Plast Surg.* 13 (1989) 47-53
43. Kalbhen, C.L., McGill, J.J., Fendley, P.M., Corrigan, K.W. and Angelats, J., *Mammographic determination of breast volume: comparing different methods.* *AJR Am J Roentgenol.* 173 (1999) 1643-1649
44. Kirianoff, T.G., *Volume measurements of unequal breasts.* *Plast Reconstr Surg.* 54 (1974) 616
45. Kovacs, L., Eder, M., Hollweck, R., Hollweck, R., Zimmermann, A., Settles, M., Schneider, A., Brockmann, G., Schwenger-Zimmerer, K., Papadopulos, N.A. and Biemer, E., *New Aspects of Breast Volume Measurement Using 3D Surface Imaging.* *Ann. Plast. Surg.* 57 (2006) 602-610
46. Kovacs, L., Eder, M., Hollweck, R., Zimmermann, A., Settles, M., Schneider, A., Brockmann, G., Schwenger-Zimmerer, K., Papadopulos, N.A. and Biemer, E., *New Aspects of Breast Volume Measurement Using 3D Surface Imaging.* *Ann. Plast. Surg.* 57 (2006) 602-610
47. Kovacs, L., Eder, M., Hollweck, R., Zimmermann, A., Settles, M., Schneider, A., Endlich, M., Mueller, A., Schwenger-Zimmerer, K., Papadopulos, N.A. and Biemer, E., *Comparison between breast volume measurement using 3D surface imaging and classical techniques.* *Breast.* 16 (2007) 137-145
48. Kovacs, L., Eder, M., Hollweck, R., Zimmermann, A., Settles, M., Schneider, A., Endlich, M., Mueller, A., Schwenger-Zimmerer, K., Papadopulos, N.A. and Biemer, E., *Comparison between breast volume measurement using 3D surface imaging and classical techniques.* *Breast.* (2006)

49. Kovacs, L., Eder, M., Nikolaos Papadopoulos, P. and Edgar Biemer, P., *Re: Validating Three-Dimensional Imaging of the Breast*. Ann Plast Surg. 55 (2005) 695-696
50. Kovacs, L., Yassouridis, A., Zimmermann, A., Brockmann, G., Wohnl, A., Blaschke, M., Eder, M., Schwenzler-Zimmerer, K., Rosenberg, R., Papadopoulos, N.A. and Biemer, E., *Optimization of 3-Dimensional Imaging of the Breast Region With 3-Dimensional Laser Scanners*. Ann Plast Surg. 56 (2006) 229-236
51. Kovacs, L., Zimmermann, A., Brockmann, G., Guhring, M., Baurecht, H., Papadopoulos, N.A., Schwenzler-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
52. Kovacs, L., Zimmermann, A., Papadopoulos, N.A. and Biemer, E., *Re: factors determining shape and symmetry in immediate breast reconstruction*. Ann Plast Surg. 53 (2004) 192-194
53. Kurokawa, M., Yamada, N., Fu, I. and Tsutsumi, S., *Reconstruction of breast using a laser lithographic model: a case report*. Breast Cancer. 8 (2001) 162-165
54. Lee, H.Y. and Hong, K., *Optimal brassiere wire based on the 3D anthropometric measurements of under breast curve*. Appl Ergon. (2006)
55. Lee, H.Y., Hong, K. and Kim, E.A., *Measurement protocol of women's nude breasts using a 3D scanning technique*. Appl Ergon. 35 (2004) 353-359
56. Letterman, G. and Schurter, M., *Suggested nomenclature for aesthetic and reconstructive surgery of the breast. Part II: Augmentation mammoplasty and mastopexy*. Aesthetic Plast Surg. 9 (1985) 293-296
57. Livio, M., *The equation that couldn't be solved: how mathematical genius discovered the language of symmetry*. Simon & Schuster New York, 2005
58. Losken, A., Fishman, I., Denson, D.D., Moyer, H.R. and Carlson, G.W., *An objective evaluation of breast symmetry and shape differences using 3-dimensional images*. Ann Plast Surg. 55 (2005) 571-575
59. Losken, A., Seify, H., Denson, D.D., Paredes, A.A., Jr. and Carlson, G.W., *Validating three-dimensional imaging of the breast*. Ann Plast Surg. 54 (2005) 471-476
60. Loughry, C.W., Sheffer, D.B., Hamor, R.H., Herron, R.E., Liebelt, R.A., Proietti-Orlandi, F. and Varga, R.S., *Breast cancer detection utilizing biostereometric analysis*. Cancer Detect Prev. 4 (1981) 589-594
61. Loughry, C.W., Sheffer, D.B., Price, T.E., Einsporn, R.L., Bartfai, R.G., Morek, W.M. and Meli, N.M., *Breast volume measurement of 598 women using biostereometric analysis*. Ann Plast Surg. 22 (1989) 380-385
62. Loughry, C.W., Sheffer, D.B., Price, T.E., Jr., Bartfai, R.G., Morek, W.M., Lackney, M.J. and Bolyard, B.R., *Right and left breast volume and volume distribution comparisons in normal and tumor-containing breasts*. Cancer Detect Prev. 10 (1987) 215-221
63. Loughry, C.W., Sheffer, D.B., Price, T.E., Jr., Lackney, M.J., Bartfai, R.G. and Morek, W.M., *Breast volume measurement of 248 women using biostereometric analysis*. Plast Reconstr Surg. 80 (1987) 553-558
64. Malata, C.M., Boot, J.C., Bradbury, E.T., Ramli, A.R. and Sharpe, D.T., *Congenital breast asymmetry: subjective and objective assessment*. Br J Plast Surg. 47 (1994) 95-102

65. Malini, S., Smith, E.O. and Goldzieher, J.W., *Measurement of breast volume by ultrasound during normal menstrual cycles and with oral contraceptive use.* Obstet Gynecol. 66 (1985) 538-541
66. Maliniac, J.W., ed. *Breast Deformities and Their Repair.* 1956, Grune & Stratton: New York. Page 126.
67. Mineyev, M., Kramer, D., Kaufman, L., Carlson, J. and Frankel, S., *Measurement of breast implant volume with magnetic resonance imaging.* Ann Plast Surg. 34 (1995) 348-351
68. Moyer, H.R., Carlson, G.W., Styblo, T.M. and Losken, A., *Three-dimensional digital evaluation of breast symmetry after breast conservation therapy.* J Am Coll Surg. 207 (2008) 227-232
69. Neal, A.J., Torr, M., Helyer, S. and Yarnold, J.R., *Correlation of breast dose heterogeneity with breast size using 3D CT planning and dose-volume histograms.* Radiother Oncol. 34 (1995) 210-218
70. Nekolla, E.A., Griebel, J. and Brix, G., *[Introduction of a mammography screening program in Germany. Consideration of benefits and risks].* Radiologe. 45 (2005) 245-254
71. Olbricht, I., *Die Brust. Organ und Symbol weiblicher Identität.* Rowohlt: Reinbek bei Hamburg, 1989
72. Onesti, M.G., Mezzana, P., Martano, A. and Scuderi, N., *Breast asymmetry: a new vision of this malformation.* Acta Chir Plast. 46 (2004) 8-11
73. Palin, W.E., Jr., von Fraunhofer, J.A. and Smith, D.J., Jr., *Measurement of breast volume: comparison of techniques.* Plast Reconstr Surg. 77 (1986) 253-255
74. Patete, P.V., Bulgrin, J.P., Shabani, M.M. and Smith, D.J., *A non-invasive, three dimensional, diagnostic laser imaging system for accurate wound analysis.* Physiol Meas. 17 (1996) 71-79
75. Penn, J., *Breast reduction.* Br J Plast Surg. 7 (1955) 357-371
76. Qiao, Q., Ling, Y., Zhou, G. and Song, R., *Breast volume measurement in 125 young Chinese women.* Chin Med Sci J. 7 (1992) 44-48
77. Qiao, Q., Zhou, G. and Ling, Y., *Breast volume measurement in young Chinese women and clinical applications.* Aesthetic Plast Surg. 21 (1997) 362-368
78. Rees, T.D. and Dupuis, C.C., *Unilateral mammary hypoplasia.* Plast Reconstr Surg. 41 (1968) 307-310
79. Rigotti C., B.A., Ferrari S., Baroni G. and Ferrigno G., *Portable and accurate 3D scanner for breast implants design and reconstructive plastic surgery.* Proc. SPIE on Image Processing. 3338 (1998) 1558-1567
80. Rigotti C., F.G., Aliverti A., Pedotti A., *Surface Scanning: An Application to Mammary Surgery.* J. of Biomedical Optics. 3 (1998) 161-170
81. Rintala, A.E. and Nordstrom, R.E., *Treatment of severe developmental asymmetry of the female breast.* Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg. 23 (1989) 231-235
82. Rohrich, R.J., Hartley, W. and Brown, S., *Incidence of breast and chest wall asymmetry in breast augmentation: a retrospective analysis of 100 patients.* Plast Reconstr Surg. 111 (2003) 1513-1519
83. Schmidt-Tintemann, U., *[Indications for and technic of the mammoplasty].* Chirurg. 42 (1971) 53-60

84. Schmitz, A., Gabel, H., Weiss, H.R. and Schmitt, O., [*Anthropometric 3D-body scanning in idiopathic scoliosis*]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb.* 140 (2002) 632-636
85. Schultz, R.C., Dolezal, R.F. and Nolan, J., *Further applications of Archimedes' principle in the correction of asymmetrical breasts*. *Ann Plast Surg.* 16 (1986) 98-101
86. Schummer, J., *Symmetrie und Schönheit in Kunst und Wissenschaft*. *Zeitschrift für Ästhetik und Allgemeine Kunstwissenschaft.* (2006) 59-78
87. Sen Savara, B., Miller, S.H., Demuth, R.J. and Kawamoto, H.K., *Biostereometrics and computergraphics for patients with craniofacial malformations: diagnosis and treatment planning*. *Plast Reconstr Surg.* 75 (1985) 495-501
88. Sheffer, D.B., Price, T.E., Loughry, C.W., Bolyard, B.L., Morek, W.M. and Varga, R.S., *Validity and reliability of biostereometric measurement of the human female breast*. *Ann Biomed Eng.* 14 (1986) 1-14
89. Simis, K.J., Hovius, S.E., de Beaufort, I.D., Verhulst, F.C. and Koot, H.M., *After plastic surgery: adolescent-reported appearance ratings and appearance-related burdens in patient and general population groups*. *Plast Reconstr Surg.* 109 (2002) 9-17
90. Smith, D.J., Jr., Palin, W.E., Jr., Katch, V. and Bennett, J.E., *Surgical treatment of congenital breast asymmetry*. *Ann Plast Surg.* 17 (1986) 92-101
91. Smith, D.J., Jr., Palin, W.E., Jr., Katch, V.L. and Bennett, J.E., *Breast volume and anthropomorphic measurements: normal values*. *Plast Reconstr Surg.* 78 (1986) 331-335
92. Sommer, N.Z., Zook, E.G. and Verhulst, S.J., *The prediction of breast reduction weight*. *Plast Reconstr Surg.* 109 (2002) 506-511
93. Stark, B. and Olivari, N., *Breast asymmetry: an objective analysis of postoperative results*. *European Journal of Plastic Surgery.* 14 (1991) 173-176
94. Strombeck, J.O. and Malm, M., *Priority grouping in a waiting list of patients for reduction mammoplasty*. *Ann Plast Surg.* 17 (1986) 498-502
95. Tanabe, Y.N., Honda, T., Nakajima, Y., Sakurai, H. and Nozaki, M., *Intraoperative application of three-dimensional imaging for breast surgery*. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg.* 39 (2005) 349-352
96. Vandenbussche, F., *Asymmetries of the breast: a classification system*. *Aesthetic Plast Surg.* 8 (1984) 27-36
97. Vandeput, J.J. and Nelissen, M., *Considerations on anthropometric measurements of the female breast*. *Aesthetic Plast Surg.* 26 (2002) 348-355
98. von Heimburg, D., Exner, K., Krufft, S. and Lemperle, G., *The tuberous breast deformity: classification and treatment*. *Br J Plast Surg.* 49 (1996) 339-345
99. Ward, C. and Harrison, B., *The search for volumetric symmetry in reconstruction of the breast after mastectomy*. *Br J Plast Surg.* 39 (1986) 379-385
100. Westreich, M., *Anthropomorphic breast measurement: protocol and results in 50 women with aesthetically perfect breasts and clinical application*. *Plast Reconstr Surg.* 100 (1997) 468-479
101. Wilkie, T., *Volumetric Breast Measurement during Surgery*. *Aesthetic Plast Surg.* 1 (1977) 301-305
102. Zee, A., ed. *Magische Symmetrie. Die Ästhetik in der modernen Physik.:* (i.O: *Fearful Symmetry: the Search for Beauty in Modern Physics*, Macmillan, New York, 1986). Birkhäuser: Basel-Boston-Berlin, 1990

103. Zgajnar, J., *Digital evaluation of breast cosmesis after breast-conserving treatment: end of the beginning*. Breast. 16 (2007) 441-442

7 Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Beispiel für erhobene Streckenmessungen an der Brust aus der Arbeit von Stark et al.[93]12
- Abbildung 2: Anthropomorphe Messungen der Brustregion nach Brown et al. [9] J – Jugulum, X – Xiphoid, M – Mamille, T – tiefster Punkt der Brust, MF – medialer Ausläufer der Brust, LF – lateraler Ausläufer der Brust, SF - Submammarfalte 12
- Abbildung 3: Brustvolumenerfassung mithilfe der anthropomorphen Methode (weiße Linien) und 2-D Photographien (schwarze Linien); (a) MR = Abstand zwischen Mamille und medialer Brustfalte, IR = Abstand zwischen Mamille und Submammarfalte, (b) LR = Abstand zwischen Mamille und lateraler Brustfalte, (a) A = Breite des Ellipsoids, (b) B = Höhe des Ellipsoids, C = ellipsoide Halbachse; A', B', C' sind die korrespondierenden Messungen, prädiktiv für die postoperative Brust [47]14
- Abbildung 4: Darstellung der Volumenbegrenzung der Brust bei 4 verschiedenen Methoden an einem MRT Bild, Darstellung der Begrenzung mit weißen und schwarzen Linien (a) MRT (b) 3-DScan (c) Thermoplastabdruck (d) modifizierte anthropomorphe Methode mit Halbellipsoid nach Kovacs et al. [45].....16
- Abbildung 5: Anfertigung des Thermoplastabrucks (oben) und Auffüllen der entstandenen Negativreplik mit Wasser (unten) nach Edsander-Nord et al. [20]17
- Abbildung 6: Archimedisches Prinzip der Wasserverdrängung zur Brustvolumenbestimmung nach Schultz et al.[85]18
- Abbildung 7: nach vorne gebeugte (links) und sitzende Position (rechts) zur stereometrischen Aufnahme [60]21
- Abbildung 8: Konturmammogramm mit Brustbegrenzung (gestrichelte Linie) nach Loughry et al. [62, 63]21
- Abbildung 9: Das Prinzip der Triangulation (links) und des Lichtschnittverfahrens (rechts), modifiziert nach B.Breuckmann (1993)[7].....22
- Abbildung 10: Farbhistogramm der Brustregion nach Losken et al. Nach Spiegelung und Überlagerung der linken auf die rechte Brust zeigen sich Unterschiede der Oberflächenabstände zueinander. Die rechte Brust stellt sich lateral größer und medial kleiner als die linke Brust dar[58].....23
- Abbildung 11: Quantitative Analyse der rekonstruierten Brust nach Isogai et al. Schritt 1: Erfassung von 4 Zonen der Brust je nach Abstand zur Brustwand Schritt 2:

Spiegelung der linken Brust auf die rechte Brust Schritt 3: Generierung der Oberflächenratio; Zone I(blau) der Thoraxwand am nächsten, Zone II(grün), Zone III(gelb), Zone IV(rot) am weitesten von der Thoraxwand entfernt[41].....	24
Abbildung 12: Der Grad der Asymmetrie wird anhand zweier Ebenen berechnet. An der vertikalen und horizontalen „crosssection“ jeweils Berechnung des Überschuss- und Defizitareals nach Isogai et al.[41]	25
Abbildung 13: Einteilung der Brust in 4 Quadranten (links) Festlegung der Landmarks und Streckenmessung (rechts) nach Catanuto et al.[16]	26
Abbildung 14: Winkelmessung zur Erfassung von Symmetrie und Ptosis nach Catanuto et al. [16]	27
Abbildung 15: Dreidimensionale Brustdarstellung nach Tanabe et al. (a) Gewebeexpander mit 680 ml Salzlösung gefüllt, Brustregion überwiegend blau, d.h. kaum Übereinstimmung mit dem Volumen der rechten Brust; (b)Gewebeexpander mit 315 ml Salzlösung gefüllt, inferiorer Pol bleibt asymmetrisch; (c) Gewebeexpander mit 245 ml Salzlösung gefüllt, Brustvolumen weitgehend symmetrisch [95]	28
Abbildung 16: Symmetriespektrum zur Veranschaulichung der Brustasymmetrie aus Moyer et al. [68]	30
Abbildung 17: Links - Dummymodell mit Landmarks und eingezogener Brustbegrenzung, Rechts – Dummymodell mit Brustbegrenzung und Benennung der einzelnen Quadranten und Erstellung der Spiegel-bzw. Symmetrieebene.....	35
Abbildung 18: Puppenmodell A - Die linke Körperhälfte (rot markiert) wird an der in der Mitte eingezogenen Ebene gespiegelt. Das Brustareal auf der rechten Körperhälfte (blau mit rot markiertem Brustareal) wird dann mit der gespiegelten linken Brust verglichen.	36
Abbildung 19: Dreidimensionale Darstellung des Vergleichs der beiden Brustareale am Puppenmodell. Es zeigen sich keine Abweichungen im Rahmen des festgelegten Messbereichs von +/-2mm	38
Abbildung 20: Zweidimensionale Darstellung des Vergleichs der beiden Brustareale am Puppenmodell	38
Abbildung 21: Darstellung des Symmetrievergleichs an einer Testperson; A: virtuelles Modell der Testperson; B: Landmarks, Brustbegrenzung und Spiegelebene sind am virtuellen Modell konstruiert worden; C: 3-D- Compare der gesamten Brust mit Beschriftung der einzelnen Quadranten; D: zweidimensionale Darstellung der Abweichungen in horizontaler (D) und vertikaler (E) Ebende; F-I: 3D-Compare der einzelnen Quadranten	40
Abbildung 22: Aufnahmeposition der Brustregion aus drei verschiedenen Perspektiven: Oberkörper 30° nach rechts gedreht (rechts), frontal (Mitte), Oberkörper 30° nach links gedreht (links), geplante Operation: Reduktion	41

Abbildung 23: Lineare Streckenmessungen an der Brust, beispielhaft an der rechten Brust angezeigt	42
Abbildung 24: von links oben nach rechts unten: Auswahl des Brustareals (rot), Ausschneiden der rot markierten Fläche, Interpolierung der Thoraxwand als hintere Abgrenzung des Brustvolumens, Erstellen eines gefüllten Körpers zur Volumenerfassung [46]	44
Abbildung 25: Symmetrieskala; Die Legende zeigt den Wert für den Symmetrieindex, hier beispielhaft für das Volumen berechnet mit den dazugehörigen 3-D Modellen..	66
Abbildung 26: Symmetrieskala; Die Legende zeigt den Symmetrieindex hier beispielhaft für das Volumen berechnet mit den dazugehörigen zweidimensionalen Photographien der Patientinnen.....	67
Abbildung 27: Darstellung des präoperativen Befundes bei Brustrekonstruktion als virtuelles 3-D Modell.....	73
Abbildung 28: Vorbereitung des Modelles präoperativ – die linke Körperhälfte (rot) soll an der eingezogenen Ebene gespiegelt werden	73
Abbildung 29: Links: Spiegelung der gesunden linken Brust auf die rechte Seite: Soll-Ergebnis; Rechts: postoperatives Ergebnis als 3-D Modell	74
Abbildung 30: Darstellung des postoperativen Ergebnisses als virtuelles 3-D Modell	74
Abbildung 31: Vergleich des Soll – Ergebnisses mit dem tatsächlichen postoperativem Ergebnis. Es zeigt sich eine Abweichung in der horizontalen Vergleichsebene, besonders lateral, die vertikale Ebene zeigt kaum Abweichungen.	75
Abbildung 32: Vergleich des postoperativem Befunds mit dem Soll – Ergebnis. Links: 3-D Compare des gesamten Thorax; Rechts: 2-D Schnitte in horizontaler (oben) und vertikaler Richtung durch die rechte Brust	75
Abbildung 33: Darstellung des prä- und postoperativen Befundes als 3-D Modell. Links: präoperativ; Rechts: postoperativ	76
Abbildung 34: Darstellung des präoperativen Befundes in 2-D Ansicht. Die linke Brust wurde gespiegelt und mit der rechten überlagert. Es zeigt sich eine Asymmetrie zwischen linker und rechter Brust; Links: vertikaler Schnitt auf Höhe der Mamille, Rechts: horizontaler Schnitt auf Höhe der Mamille	77
Abbildung 35: Darstellung des postoperativen Befundes in 2-D Ansicht. Die linke Brust wurde gespiegelt und mit der rechten überlagert. Es zeigen sich kaum mehr Abweichungen zwischen linker und rechter Brust. Links: vertikaler Schnitt auf Höhe der Mamille; Rechts: horizontaler Schnitt auf Höhe der Mamille	77
Abbildung 36: Darstellung des 3-D - Compares Es zeigen sich die Abweichungen der Oberflächengeometrie. Die linke Brust wurde gespiegelt und mit der rechten überlagert. Links: präoperativer Befund, rechts: postoperativer Befund.	78

Abbildung 37: Darstellung des prä- und postoperativen Befundes als 3-D Modell bei der Durchführung einer angleichenden Augmentation.....	80
Abbildung 38: Darstellung des präoperativen Befundes in 2-D Ansicht. Die linke Brust wurde gespiegelt und mit der rechten überlagert. Es zeigt sich eine Asymmetrie zwischen linker und rechter Brust	80
Abbildung 39: Darstellung des 3-D - Compares Es zeigen sich die Abweichungen der Oberflächengeometrie. Die linke Brust wurde gespiegelt und mit der rechten überlagert. Links: präoperativer Befund; Rechts: postoperativer Befund.....	81
Abbildung 40: Darstellung des postoperativen Ergebnisses in zweidimensionaler Ansicht, horizontal und vertikal. Die linke Brust wurde gespiegelt und über die rechte projiziert. Es zeigen sich kaum Abweichungen zwischen linker und rechter Brust nach der Operation. Links: horizontaler Schnitt; Rechts: vertikaler Schnitt	80
Abbildung 41: Vergleich des präoperativen Befundes mit dem postoperativen Ergebnis. Links: vertikaler 2-D Schnitt durch die rechte Brust; Rechts: Horizontaler 2-D Schnitt auf Höhe der Mamillen	81

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einteilung der Brustasymmetrie nach morphologischen Kriterien, Zusammenfassung bestehender Klassifikationen[24, 42, 56, 64, 66, 72].....	8
Tabelle 2: Variationskoeffizient mit Mittelwert und Standardabweichung für Untersucher 1-3 und Dummymodell A und B.....	48
Tabelle 3: Variationskoeffizient für Untersucher 1-3 für die Testpersonen 1-10 mit Angabe von Standardabweichung und Mittelwert.....	50
Tabelle 4: Streckenmessung bei den Probanden, Mittelwert, maximale und minimale Abweichung und Standardabweichung, es ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen links und rechts bei den rot markierten Strecken	51
Tabelle 5: Oberflächenmessung bei den Probanden, Mittelwert, maximale und minimale Abweichung und Standardabweichung. Es ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen links und rechts beim Oberflächenvergleich zwischen den beiden Mammae	52
Tabelle 6: Volumenmessung bei den Probanden, Mittelwert, maximale und minimale Abweichung und Standardabweichung. Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen linker und rechter Brust.	52

Tabelle 7: 3-D - Compare: mittlere Abweichung im dreidimensionalen Vergleich bei den Probanden, Mittelwert, maximale und minimale Abweichung und Standardabweichung	52
Tabelle 8: Streckenmessung bei der Augmentationsgruppe, Mittelwert, maximale und minimale Abweichung und Standardabweichung. Es zeigten sich sowohl prä- als auch postoperativ keine signifikanten Unterschiede zwischen links und rechts.	54
Tabelle 9: Oberflächenmessung bei der Augmentationsgruppe, Mittelwert, maximale und minimale Abweichung und Standardabweichung. Es zeigten sich sowohl prä- als auch postoperativ keine signifikanten Unterschiede zwischen links und rechts.	54
Tabelle 10: Volumenmessung bei der Augmentationsgruppe, Mittelwert, maximale und minimale Abweichung und Standardabweichung. Es zeigten sich sowohl prä- als auch postoperativ keine signifikanten Unterschiede zwischen links und rechts.	55
Tabelle 11: 3-D-Compare: mittlere Abweichung im dreidimensionalen Vergleich bei der Augmentationsgruppe, Mittelwert, maximale und minimale Abweichung und Standardabweichung	55
Tabelle 12: Streckenmessung bei der Reduktionsgruppe, Mittelwert, maximale und minimale Abweichung und Standardabweichung. Es zeigten sich sowohl prä- als auch postoperativ keine signifikanten Unterschiede zwischen links und rechts.	56
Tabelle 13: Oberflächenmessung bei der Reduktionsgruppe, Mittelwert, maximale und minimale Abweichung und Standardabweichung	57
Tabelle 14: Volumenmessung bei der Reduktionsgruppe, Mittelwert, maximale und minimale Abweichung und Standardabweichung. Es zeigten sich sowohl prä- als auch postoperativ keine signifikanten Unterschiede zwischen links und rechts	57
Tabelle 15: 3-D - Compare: mittlere Abweichung im dreidimensionalen Vergleich bei der Augmentationsgruppe, Mittelwert, maximale und minimale Abweichung und Standardabweichung	57
Tabelle 16: Der Symmetrieindex wird von allen erhobenen Variablen prä- und postoperativ berechnet, bei den Probanden nur einmalig. Bei den rot markierten Werten zeigt sich eine statistische Signifikanz.....	60
Tabelle 17: Der Symmetrieveränderungsindikator für alle Patientinnen der Augmentations- und Reduktionsgruppe zeigt mit Werten um 0,5 fast immer einen Symmetrieerhalt für beide Operationsarten. Eine statistisch signifikante Abweichung zeigte sich bei der Reduktionsgruppe im Quadrant IV (rot markiert).	60

9 Danksagung

Vielen Dank zunächst an Herrn Prof. Dr. med. H.-G. Machens, Leiter der Klinik und Poliklinik für Plastische Chirurgie und Handchirurgie am Klinikum Rechts der Isar der Technischen Universität München, der mir die Möglichkeit gab, meine Dissertation in seiner Klinik zu erstellen.

Besonders bedanken möchte ich mich bei Herrn PD Dr. med. L. Kovacs, leitender Oberarzt der Klinik und Poliklinik für Plastische Chirurgie und Handchirurgie am Klinikum rechts der Isar der Technischen Universität München und Leiter der Forschungsgruppe CAPS (Computer Aided Plastic Surgery) an der Technischen Universität München für die Anleitung, unermüdliche Unterstützung und fachliche Betreuung meiner Arbeit.

Mein besonderer Dank gilt meinem Betreuer, Herrn Dr. med. M. Eder, Assistenzarzt in der Klinik und Poliklinik für Plastische Chirurgie und Handchirurgie am Klinikum rechts der Isar und Mitglied der Forschungsgruppe CAPS (Computer Aided Plastic Surgery) an der Technischen Universität München, der mir sowohl während der Datenauswertung als auch beim späteren Niederschreiben der Studienergebnisse immer und jederzeit mit Rat und Tat zur Seite gestanden hat.

Herzlichen Dank auch an Dr. A. Yassouridis, Leiter der Arbeitsgruppe "Biostatistik" des Max-Planck Instituts für Psychiatrie München, für die statistische Auswertung der Daten.

Danken möchte ich außerdem allen Studienteilnehmern, den Mitdoktoranden und allen Mitarbeitern der Forschungsgruppe CAPS und der Klinik und Poliklinik für Plastische Chirurgie und Handchirurgie am Klinikum rechts der Isar der TU München.

Insbesondere möchte ich auf diesem Wege meinen Eltern danken. Sie haben mir diese Universitätsausbildung ermöglicht und sind mir jederzeit zur Seite gestanden.

10 Curriculum Vitae

Persönliche Daten

Name	Alexandra Monika Johanna Swobodnik
Anschrift	Rumfordstraße 39 80469 München
Telefon	0160/97915771
E-mail	alex.swo@gmx.de
Geburtsdatum	24.11.1984
Geburtsort	Ulm
Nationalität	deutsch

Ausbildung

06/2011	Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
10/2006 – 06/2011	Klinischer Studienabschnitt an der TU München
08/2006	Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
10/2004 – 10/2006	Vorklinischer Studienabschnitt an der LMU/TU München
09/1999 – 06/2004	Gymnasium Vilshofen
09/1995 – 09/1999	Carl-Maria-von-Weber Gymnasium, Eutin

Praktische Tätigkeiten

Praktisches Jahr

03/2010 – 07/2010	Innere Medizin: Abteilung für Hämatologie, Onkologie, Immunologie, Palliativmedizin, Infektiologie und Tropenmedizin am Klinikum Schwabing, München
12/2009 – 03/2010	Chirurgie: Abteilung für Chirurgie am Hospital Regional Docente de Trujillo, Universitätsklinikum der Universidad Nacional de Trujillo, Peru
08/2009 – 12/2009	Anästhesie: Abteilung für Anästhesiologie und Intensivmedizin am Rotkreuzklinikum München

Famulaturen

08/2008 - 09/2008	Abteilung für Plastische und Wiederherstellungschirurgie, Klinikum Rechts der Isar, München
09/2007	Praxis für Allgemeinmedizin und Naturheilverfahren; Dr. med. M. Swobodnik

08/2007 Praxis für Innere Medizin, Gastroenterologie und Proktologie;
Prof. Dr. med. Dr. med. habil W. Swobodnik

03/2007 Klinik am Steigerwald für Traditionelle Chinesische Medizin

Pflegepraktika

08/2005 Abteilung für Allgemeinchirurgie, Kreiskrankenhaus Vilshofen

03/2005 Abteilung für Mund- Kiefer- und Gesichtschirurgie, Klinikum
Rechts der Isar, München

06/2004 Abteilung für Unfallchirurgie, Kreiskrankenhaus Vilshofen

Soziales Engagement

seit 11/2008 freie Mitarbeiterin der Online Ausgabe des Studentenmagazins
„Via Medici“ des Thieme Verlags

10/2006 – 12/2009 Mitarbeit beim bvmd (Bundesvertretung der Medizinstudierenden
in Deutschland), Organisation von Famulaturen, Forschung und
Entwicklungshilfe im Ausland

Auslandserfahrungen

08/2010 Aufenthalt in den USA, Dallas, Texas; Praktikum im Fach
Neurologie im Universitätsklinikum der UT Southwestern Medical
School

02/2009 – 08/2009 ERASMUS Aufenthalt in San Sebastián, Spanien; Besuch der
Universität Pais Vasco zum Studium der Medizin

07/2007 – 09/2007 Aufenthalt in Zentralamerika (Mexiko, Guatemala, Belize):
Sprachkurs, ehrenamtliche Tätigkeit in einem Waisenhaus

03/2002 – 06/2002 Schüleraustausch in Brisbane, Australien

Sprachkenntnisse

Deutsch (Muttersprache)

Englisch (fließend in Wort und Schrift)

Spanisch (fließend in Wort und Schrift)

Französisch (Grundkenntnisse)