

Aus der Poliklinik für Kieferorthopädie
Ludwig-Maximilians-Universität
München
Direktorin: Prof. Dr. Ingrid Rudzki-Janson

**Faziale Ästhetik und der Einfluss
der interindividuellen Variabilität
mimischer Expression**

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnheilkunde
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Cathrin Maier
aus München
2006

Aus der Poliklinik für Kieferorthopädie
Ludwig-Maximilians-Universität
München
Direktorin: Prof. Dr. Ingrid Rudzki-Janson

**Faziale Ästhetik und der Einfluss
der interindividuellen Variabilität
mimischer Expression**

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnheilkunde

an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Cathrin Maier
aus München
2006

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. dent. I. Rudzki-Janson

Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. U. Welsch

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: Dr. med. Dr. med. dent. C. Holberg

Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h. c. K. Peter

Tag der mündlichen Prüfung: 03.04.2006

**Meinem lieben Ehemann und meiner Tochter
in Dankbarkeit gewidmet**

Inhaltsverzeichnis

| | Seite |
|---|-------------|
| 1 Einleitung | 1-1 |
| 2 Historie und Literaturübersicht | 2-4 |
| 2.1 Prinzipien der Gesichtsästhetik | 2-4 |
| 2.1.1 Symmetrie | 2-5 |
| 2.1.2 Harmonie..... | 2-6 |
| 2.1.3 Mimik..... | 2-7 |
| 2.1.4 Proportion und „Goldener Schnitt“ | 2-8 |
| 2.2 Proportionslehre in Kunst und Medizin | 2-9 |
| 2.2.1 Proportionskanon der ägyptischen Kunst..... | 2-10 |
| 2.2.2 Polykletischer Kanon der klassisch-antiken Kunst der Griechen..... | 2-11 |
| 2.2.3 Proportion im Mittelalter | 2-13 |
| 2.2.4 Proportion in der Renaissance..... | 2-14 |
| 2.2.5 Proportion in der Moderne | 2-17 |
| 2.3 Faziale Morphometrie in der Medizin..... | 2-17 |
| 2.3.1 Fotodokumentation..... | 2-18 |
| 2.3.2 Stereophotogrammetrie | 2-18 |
| 2.3.3 Röntgenaufnahmetechnik..... | 2-20 |
| 2.3.4 Videoimaging..... | 2-21 |
| 2.3.5 Dentofacial Planner | 2-22 |
| 2.4 Bedeutung der Mimik..... | 2-23 |
| 2.5 Wissenschaftliche Fragestellung | 2-25 |
| 3 Material und Methode | 3-27 |
| 3.1 Probanden..... | 3-27 |
| 3.1.1 Geschlechtsverteilung | 3-27 |
| 3.1.2 Kieferorthopädie | 3-27 |
| 3.1.3 Altersverteilung..... | 3-28 |
| 3.2 Versuchsaufbau | 3-28 |
| 3.2.1 Messpunkte | 3-28 |
| 3.2.2 Aufbau der digitalen Fotokamera und Positionierung des Probanden..... | 3-30 |
| 3.2.3 Gesichtsausdrücke | 3-31 |
| 3.3 Akquisition und Auswertung der Daten..... | 3-32 |
| 3.3.1 Bearbeitung der digitalen Fotografien | 3-32 |
| 3.3.2 Durchführung der Messungen | 3-32 |

| | | |
|----------|--|-------------|
| 3.3.3 | Datenauswertung | 3-33 |
| 3.4 | Mimische Muskulatur..... | 3-33 |
| 3.4.1 | Musculus orbicularis oculi..... | 3-34 |
| 3.4.2 | Musculus buccinator..... | 3-34 |
| 3.4.3 | Musculus orbicularis oris | 3-34 |
| 3.4.4 | Musculus zygomaticus major..... | 3-34 |
| 3.4.5 | Musculus levator anguli oris | 3-35 |
| 3.4.6 | Musculus risorius..... | 3-35 |
| 3.4.7 | Musculus procerus | 3-35 |
| 3.4.8 | Musculus corrugator supercilii | 3-35 |
| 3.4.9 | Musculus levator labii superioris alaeque nasi | 3-35 |
| 3.4.10 | Musculus nasalis | 3-36 |
| 3.4.11 | Musculus depressor anguli oris | 3-36 |
| 3.4.12 | Musculus depressor labii inferioris..... | 3-36 |
| 3.4.13 | Musculus mentalis..... | 3-36 |
| 4 | Ergebnisse..... | 4-38 |
| 4.1 | Interindividuelle Variabilität | 4-38 |
| 4.1.1 | Gesichtsausdruck „Augenbrauen zusammenziehen“ | 4-38 |
| 4.1.2 | Gesichtsausdruck „Nase rümpfen“ | 4-42 |
| 4.1.3 | Gesichtsausdruck „Lachen“ | 4-46 |
| 4.1.4 | Gesichtsausdruck „Lippen spitzen“ | 4-50 |
| 4.1.5 | Gesichtsausdruck „Augen weit öffnen“ | 4-54 |
| 4.1.6 | Gesichtsausdruck „Augen zusammenkneifen“ | 4-58 |
| 4.1.7 | Gesichtsausdruck „Wangen aufblasen“ | 4-62 |
| 4.1.8 | Gesichtsausdruck „Ärgerlich schauen“ | 4-66 |
| 4.2 | Intraindividuelle Variabilität | 4-70 |
| 4.2.1 | Gesichtsausdruck „Lachen“ | 4-70 |
| 5 | Diskussion | 5-72 |
| 5.1 | Reproduzierbarkeit und Fehlerquellen des Versuchsaufbaus und der Messungen..... | 5-72 |
| 5.2 | Verfahren im Vergleich und Motivation für die Anwendung des vorliegenden Verfahrens..... | 5-73 |
| 5.3 | Erörterung der Ergebnisse und deren Bedeutung für den klinischen Einsatz..... | 5-77 |
| 5.4 | Der generierte Datenpool als Grundlage für fortführende Untersuchungen | 5-78 |
| 5.5 | Ausblick..... | 5-79 |
| 6 | Zusammenfassung..... | 6-81 |
| 7 | Literaturverzeichnis | 7-84 |

1 Einleitung

In Deutschland unterziehen sich jährlich über 400.000 Personen einer ästhetisch-chirurgischen Behandlung (Hönig, 2003). Während sich die plastische Chirurgie auf die wiederherstellende Korrektur von Substanzdefekten und Funktionen konzentriert, ist die ästhetische Chirurgie bestrebt, altersbedingte Veränderungen zu reduzieren und, wenn möglich, sogar zu beseitigen.

Innerhalb des Fachgebiets der Kieferorthopädie ist bei bis zu 90% der erwachsenen Patienten eine Verbesserung der dentofazialen Ästhetik das entscheidende Motiv, sich einer kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Behandlung zu unterziehen (Holtkamp, 1999). Ein weiteres Ziel solcher Operationen sind stabile, kaufunktionelle Okklusionsverhältnisse (Watted et al., 2002).

Schön zu sein und jung zu bleiben, spielt in unserer Gesellschaft eine immer entscheidendere Rolle. Nicht zuletzt verursacht durch die Werbung und die Massenmedien legt unsere zeitgenössische Gesellschaft größten Wert auf das äußere Erscheinungsbild (Bänninger-Huber, 1996). Dadurch bedingt definieren sich viele Menschen verstärkt über ihr Äußeres. Der Zwang schön zu sein, häufig aus der Angst geboren gesellschaftlich nicht anerkannt zu sein, spiegelt sich wieder in zahlreichen Schönheitsoperationen. Jugendliches Aussehen wird mit den Privilegien der körperlichen Unversehrtheit und des vollkommenen Äußeren in Verbindung gebracht und dies erklärt, warum die Menschen den Erhalt, die Verlängerung und Wiederherstellung der Jugendlichkeit wünschen (Rufenacht, 1990).

Sinn und Zweck von Schönheitsoperationen kann man zweifellos konträr beurteilen, denn Schönheit ist primär etwas rein Subjektives und von dem individuellen Schönheitsempfinden abhängig (Strub et al., 1994). Auch ein Mensch, der unserem Schönheitsideal, nämlich im Sinne einer gewissen Regelmäßigkeit von Merkmalsausprägungen, nicht entspricht, kann über seine Ausstrahlung und sein Charisma an Sympathie gewinnen.

Der Wunsch nach äußerer Schönheit und Attraktivität ist nicht nur ein Phänomen unserer gegenwärtigen Gesellschaft, sondern hat die Kulturen der Menschheit seit jeher geprägt (Strub et al., 1994). Schon in frühester Zeit hat man sich in Kunst und Naturwissenschaft bemüht, die Proportionen des menschlichen Körpers zu beschreiben, um den Idealtyp festzulegen und damit den Begriff der Schönheit zu definieren (Bahr, 1991). Den entscheidenden Grundstein legten die alten Ägypter, die die zwei-

dimensionale Umrisszeichnung eines Objektes entwickelten (Panowsky, 1974). Die Fortführung vom ägyptischen symbolhaften Charakter zur dreidimensionalen Darstellung der Körperstruktur ging von den alten Griechen aus. In der Antike beschäftigten sich viele Philosophen, unter ihnen Heraklit (um 550 - 480 v. Chr.), Platon (428 - 347 v. Chr.) und Aristoteles (383 - 322 v. Chr.), intensiv mit dem Thema der Ästhetik (Panowsky, 1974). Bedeutende Beiträge, menschliche Maße in geometrische Proportionen zu bringen, lieferten in der Hochrenaissance der vielseitige italienische Meister Leonardo da Vinci (1452 - 1519) und der deutsche Maler und Autor über Perspektive und Proportionen Albrecht Dürer (1471 - 1528). Dabei gingen die Vorreiter der Proportionslehre und Genies der bildenden Kunst von rein statischen Bedingungen aus. Ihre festgefahrene und einseitige Weltanschauung spiegelte sich in ihren Kunstwerken wieder und ist mit ein Grund für das bewegungslose, starre Kunstverständnis jener frühzeitlichen Epoche. Erst Albrecht Dürer setzte sich ansatzweise mit dynamischen Körpern auseinander. Der Aspekt der Mimik blieb in diesen Epochen aber gänzlich unberührt (Giesen, 1930).

In der heutigen Medizin nimmt die dynamische Ästhetik und somit auch die individuelle faziale Mimik einen neuen Stellenwert ein.

Besonders im Fachgebiet der Kieferorthopädie spielt bei der Behandlungsplanung die Analyse und Prognose der fazialen Weichteilästhetik eine wichtige Rolle. Dabei sollte berücksichtigt werden, dass das menschliche Antlitz keine statische Oberfläche darstellt, sondern Form und Aussehen aufgrund der Aktivität zahlreicher mimischer Muskeln ständig einer Veränderung unterliegen. Das Gesicht ähnelt vielmehr einer „bewegten Landschaft“ als einer „starrten Maske“. Ablauf und Umfang mimischer Bewegungen beeinflussen die ästhetische Gesamtwirkung eines Gesichts. Eine Berücksichtigung dieser Gesichtsdynamik kann zu einer Optimierung gängiger Analyse- und Prognoseverfahren in der Kieferorthopädie beitragen. Bisher verfügbare Mimik-Simulationsverfahren basieren auf stereotypen Bewegungsmustern, welche die Individualität der Mimik kaum berücksichtigen.

Die gestiegenen Möglichkeiten im Bereich der modernen computergestützten Datenverarbeitung ermöglichen es, die unterschiedlichen Expressionen der Mimik im virtuellen Raum zu simulieren. Schon immer war es der Traum vieler Wissenschaftler, aufwendige Experimente durch virtuelle Simulationen zu ersetzen. Nachdem im letzten Jahrzehnt die computergestützte 3D-Darstellung von Objekten zum Standard geworden ist, gehen Zukunftsforscher wie Kevin Kelly davon aus, dass wir an der

Schwelle zu einem „Zeitalter der Simulation“ stehen, das unser Handeln und Denken besonders im Bereich von Forschung und Wissenschaft stark beeinflussen wird (Holberg, 2003).

Ziel dieser Studie ist es, die intra- und interindividuelle Variabilität der Mimik zu untersuchen und die Frage zu beantworten, ob mimische Funktionen mit Durchschnittswerten ausreichend genau beschrieben werden können.

2 Historie und Literaturübersicht

Mit der Frage nach dem heutigen Stand innerhalb des Fachgebiets der kieferorthopädischen Chirurgie und der plastisch-ästhetischen Chirurgie ist der Aspekt der Mimik eng verbunden. Für viele Patienten, die sich einer Dysgnathie-Operation unterziehen, ist neben der funktionellen Verbesserung vor allem die Harmonisierung ihres Gesichtsprofils von großer Bedeutung (Holtkamp, 1999). Das postoperative ästhetische Ergebnis ist dabei entscheidend vom Verhalten der Weichteile, also der Mimik, abhängig, das im Gegensatz zu den skelettalen Veränderungen bisher nur schwer vorhergesagt werden kann, da die Prognoseverfahren in aller Regel auf den Ergebnissen einer statischen Analyse beruhen (Holtkamp, 1999). Da Schönheit und Ästhetik für den Patienten einen hohen Stellenwert einnehmen, aber nur schwer objektivierbar sind (Kapitel 2.1) soll im Kapitel 2.2 der Begriff der fazialen Harmonie, der seine Wurzeln in der bildenden Kunst hat, historisch untersucht werden. Die bisher zur Vermessung des Gesichts angewandten morphometrischen Verfahren orientieren sich vorwiegend an einem statischen Bild. Einen Überblick über diese morphometrischen Methoden gibt Kapitel 2.3.

2.1 Prinzipien der Gesichtsästhetik

Nach Walter Rathenau (1867 – 1922) ist die Schönheit Gesetzmäßigkeit. Schönheit erscheint, solange die Gesetzmäßigkeit empfunden wird (Strub et al., 1994).

Der aus dem Griechischen stammende Begriff der Ästhetik (aisthesis = Wahrnehmung) lässt sich heute am besten als die Lehre von den wertenden, erlebnisbezogenen Sinnesempfindungen (Sütterlin, 1993) definieren. Ein optischer Reiz wird demnach nicht bloß als einfacher Reiz wahrgenommen, sondern er wird als angenehm oder unangenehm, als schön oder hässlich gewertet. Dabei ist das Schwierige an der Ästhetik, dass sie nicht messbar ist. Vielmehr ist sie vom meist unbewussten, subjektiven gefühlsmäßigen Empfinden und der Interpretation des Betrachters abhängig, wobei kulturelle Faktoren eine nicht unbedeutende Rolle spielen. Dies ist der Grund dafür, dass es zum Teil große Unterschiede dahingehend gibt, was als ästhetisch empfunden und bezeichnet wird und was nicht. Dieses betrifft sowohl Personen, die aus verschiedenen Kulturkreisen stammen, als auch Individuen innerhalb ein- und desselben kulturellen Umfeldes (Strub et al., 1994).

Wie stark bei einer Person das Streben nach Ästhetik ausgeprägt ist, ist ebenfalls individuell verschieden. Der amerikanische Psychologe Maslow (1962) vertritt beispielsweise den Standpunkt, dass bei einigen Personen auch ein grundlegendes ästhetisches Bedürfnis vorhanden ist. Diese Menschen sind nach Maslow (1977) dadurch gekennzeichnet, dass sie ein aktives Verlangen nach Ästhetik haben, welches nur durch Schönheit befriedigt werden kann.

Nach Canut (1995) hängt die Schönheit eines menschlichen Gesichts davon ab, ob die drei hervortretenden Profilvermerkmale (Nase, Lippen, Kinn) weitgehend ausgewogen sind. Sie bilden zusammen die faziale Ästhetiktriade (Watted und Reuther, 2001).

Wurden früher vielfach statische Drittelteilungen als ideales Maß für ästhetische Proportionen angesehen (Panowsky, 1974), orientieren sich moderne analytische Profilstudien zunehmend an den Charakteristika der fazialen Ästhetiktriade und begründen damit eine dynamische Profilanalyse des Gesichts, bei der die Nase eine Schlüsselrolle einnimmt (Rudzki-Janson und Thedens, 2000). Dieser neuzeitliche Ansatz gestattet es uns, objektive Kriterien für Schönheit aufzustellen.

2.1.1 Symmetrie

Ein sehr wichtiger Gesichtspunkt bei der Ästhetik ist die Symmetrie. Generell versteht man unter dem Begriff „Symmetrie“ eine harmonische Anordnung mehrerer Elemente zueinander, die bei einer gedachten Mittelachse ein jeweils spiegelgleiches Bild ergeben (Strub et al., 1994).

Im Gegensatz zu einer streng statischen Symmetrie steht die dynamische Symmetrie, bei der sich zwei sehr ähnliche, aber nicht identische Hälften gegenüberstehen, wie dies bei den beiden Gesichtshälften der Fall ist. Beim menschlichen Körper kommt statische Symmetrie nicht vor. Dies mag eine Erklärung für das aus der täglichen Erfahrung bekannte Phänomen sein, dass ein zu symmetrischer Aufbau eines Objektes auf den Betrachter häufig „langweilig“ wirkt.

Leichte Abweichungen von einer idealen symmetrischen Anordnung bzw. leichte Unregelmäßigkeiten im Sinne einer dynamischen Symmetrie haben demgegenüber in der Regel einen lebendigen und natürlichen Effekt. Daher kann man ganz allgemein feststellen, dass nicht die strenge, sondern die leicht gestörte Symmetrie als „schön“ empfunden wird (Strub et al., 1994).

Die Tatsache, dass beim Menschen keine statische, sondern eine dynamische Symmetrie vorliegt, sollte bei kieferorthopädischen Analyse- und Prognoseverfahren Berücksichtigung finden.

2.1.2 Harmonie

Ist in einer Komposition eine symmetrische, gesetzmäßige Anordnung vorhanden, dann herrscht Harmonie und visuelles Gleichgewicht. Diese sind nicht an das Vorhandensein einer statischen Symmetrie gebunden. So kann ein auffälliges Element einer Seite durch ein anderes Element auf der gegenüberliegenden Seite ausgeglichen werden, so dass der Gesamteindruck ein harmonisches und visuell ausgeglichenes Bild vermittelt, obwohl objektiv gesehen eine nicht zu übersehende Asymmetrie vorliegt (Strub et al., 1994).

Bis heute wird sowohl in der Kunst als auch in der Kieferorthopädie und Gesichtschirurgie die vertikale Gliederung des Gesichts in drei Abschnitte nach zwei Methoden vorgenommen. Zum einen charakterisiert eine gleichmäßige Dreiteilung das harmonisch ideale Gesicht.

Der obere Gesichtsanteil (Stirndrittel) vom Trichion bis zur Glabella entspricht

- der Größe des mittleren Gesichtsanteils (Nasendrittel) von der Glabella bis zum Subnasalpunkt

sowie

- der Größe des unteren Gesichtsanteils (Kieferdrittel) vom Subnasalpunkt bis zum Hautgnathion (Rudzki-Janson und Thedens, 2000).

Zum anderen erfolgt eine Gegenüberstellung des mittleren und des unteren Gesichtsanteils, ausgehend vom Hautnasion über das Subnasale bis zum Hautgnathion (Rudzki-Janson und Thedens, 2000).

Eine detaillierte Klassifikation der unterschiedlichen Gesichtsprofile in der Sagittalen geht auf A.M. Schwarz zurück. Zur Analyse des Profilverlaufs entwickelte er das Kieferprofilfeld (1958). Dabei werden am Gesichtsprofil sagittale und vertikale Messungen vorgenommen um eine Harmonie oder eine Disharmonie festzustellen (Abb. 1).

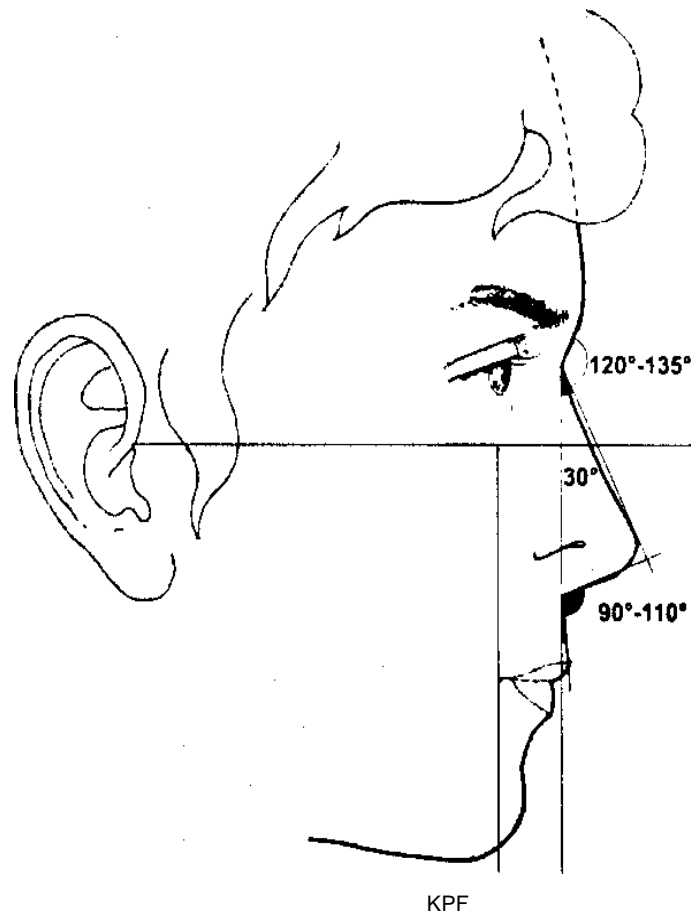


Abb. 1 Kieferprofilfeld nach A. M. Schwarz, 1958

2.1.3 Mimik

Mimik ist das Mienenspiel, der Wechsel in der Expression des Gesichts und der Gebärden, als Ausdruck eigenen oder als Nachahmung fremden seelischen Erlebens (Roche Lexikon, 1993). Ablauf und Umfang mimischer Bewegungen beeinflussen die ästhetische Gesamtwirkung eines Gesichts, welche für den Betrachter als angenehm oder unangenehm wahrgenommen werden kann. Eine wichtige Rolle übernimmt die Mimik bei der nonverbalen Kommunikation zwischen Individuen. Emotionen werden mit Hilfe der individuellen Mimik unmissverständlich übermittelt.

Nach Batinic (2003) kommt ihr gegenüber anderen Ausdrucksorganen eine besondere Bedeutung zu. Ein wesentlicher Grund hierfür ist, dass die hochdifferenzierte und komplexe Muskulatur des Gesichts die Darstellung einer großen Zahl unterscheidbarer Gesichtsausdrücke zulässt. Dabei setzt sich die Gesichtsmimik einer Person aus einer Vielzahl von interagierenden Systemen (z.B. Blickbewegungen, Lidschlag und Mundbewegungen) zusammen (Batinic, 2003). Im Vergleich zur Gestik und Sprache

vermag die Mimik auf äußere und innere Reize zeitlich schneller zu reagieren. Bewusst oder unbewusst spiegelt sich im Gesicht mit Hilfe der Mimik das Gedachte wieder, wodurch sie zu einem Kommunikationsmittel wird und verbale Informationen überflüssig macht.

Mimik kann man bei allen tierischen Spezies, die ein Gesicht besitzen, beobachten und ist genetisch festgelegt, wobei es eine artspezifisch fixe und eine variable genetische Grundlage für das Merkmal Mimik gibt. Die fixe artspezifische Genetik wird jedoch ergänzt durch die variable Codierung, wodurch jede Mimik eines Individuums einmalig ist (Hirsch-Kauffmann und Schweiger, 1996). Die Spezies Mensch verfügt über eine besonders große Varianz an mimischer Expression. Diese steht in kausalem Zusammenhang mit der Entwicklung eines vielfältigen menschlichen Bewusstseins, angeregt durch zivilisatorische und kulturelle Veränderungen.

Durch die Maßnahmen innerhalb des Fachgebiets der Kieferorthopädie, Kieferchirurgie und ästhetischen Chirurgie wird das Ziel der Erhaltung oder Steigerung der körperlichen Attraktivität verfolgt. Dabei kann das Mienenspiel grundsätzlich verändert werden. Das kann, individuell gesehen, gewollt oder ungewollt, natürlich oder unnatürlich, vorteilhaft oder unvorteilhaft sein.

2.1.4 Proportion und „Goldener Schnitt“

Fast immer entspricht dem Konzept des Schönen eine harmonische Proportion. Es geht dabei „um eine zahlenmäßige Darstellung von zueinander gehörenden Größen.“ (zitiert nach Rufenacht, 1990)

In Natur und Kunst wird häufig im Zusammenhang mit dem Begriff der Proportion der „Goldene Schnitt“ erwähnt. Dabei handelt es sich um das harmonische Größenverhältnis zwischen zwei Teilen (Rufenacht, 1990), welches ein Gleichgewicht bewirkt. „Entdecker“ des Goldenen Schnitts war etwa 500 v. Chr. Hippasos, einer der Anhänger des Pythagoras, bei der Studie eines Pentagrammes.

Teilt man eine Strecke im Verhältnis des „Goldenen Schnittes“, so verhält sich der kleinere Teil (MINOR) einer Strecke zum größeren Teil (MAJOR) wie der größere zur Gesamtstrecke (Hagenmeier, 1977).



also

$$AB : AC = AC : CB$$

C teilt eine Strecke im „Goldenen Schnitt“, wenn $AB : AC = \frac{1}{2}(\sqrt{5} + 1)$ und somit ungefähr 1,683 ergibt.

Der „Goldene Schnitt“ wurde in Kunst und Architektur häufig als Maßverhältnis angewendet. Mit Hilfe dieses Verhältnisses versuchten Leonardo da Vinci und Albrecht Dürer den idealen Menschen zu charakterisieren (Strub et al., 1994). In der Geschichte der Menschheit wurden bestimmten Proportionen eine besonders harmonische und schöne Wirkung zugesprochen. Auch wenn in jedem Zeitalter unterschiedliche Ideale propagiert wurden, so wurden dennoch Proportionen, die dem „Goldenen Schnitt“ entsprachen oder diesem nahe kamen, als besonders schön empfunden.

Ebenso findet sich der „Goldene Schnitt“ sehr häufig in der Natur wieder, zum Beispiel bei Wachstumsknoten von Ästen, deren Teilstrecken untereinander im Verhältnis des „Goldenen Schnittes“ stehen, oder bei Blättern, Seesternen, Sonnenblumen und vielem mehr.

2.2 Proportionslehre in Kunst und Medizin

Nach Panowsky (1974) versteht man unter der Proportionslehre die Lehre von den Größenverhältnissen der lebendigen Naturwesen. Die Ermittlung dieser Verhältnisse war beeinflusst vom Streben nach dem Schönen, aber auch geprägt vom Wunsch, eine Norm oder ein traditionelles Maß festzulegen (Bahr, 1991).

Dabei bediente man sich zweier unterschiedlicher Methoden. Zum einen ließen sich die Größenverhältnisse durch Zerlegung eines Ganzen, zum anderen durch Vervielfältigung einer Einheit ausdrücken. Das künstlerische Schrifttum bezeichnet das zahlenmäßige Verhältnis der einzelnen Teile einer Normal- oder Idealgestalt untereinander als Kanon. Schon vom klassischen Altertum an findet man den Versuch, die Ide-

algestalt des Menschen nach solch einem Kanon zu konstruieren (Dausch-Neumann, 1964).

In den folgenden Unterkapiteln werden die unterschiedlichen Schwerpunkte der Proportionslehre, angefangen bei den alten Ägyptern bis in die Moderne, kurz ausgeführt.

2.2.1 Proportionskanon der ägyptischen Kunst

In der ägyptischen Kunst der Malerei und der Skulpturen wird auf eine Reliefhaftigkeit verzichtet. Der Gegenstand wird in einer Ansicht dargestellt, die eigentlich gar keine Ansicht ist, sondern eine Art geometrischer Riss. Die altägyptische Kunst bleibt stets einer zweidimensionalen flächenhaften Darstellung treu, in der Kopf und Beine im reinen Profil und Brust und Arme in reiner Frontansicht gezeigt werden (Abb. 2).



Abb. 2 Gottheit Thot auf Papyros (homepage im world wide web)

Nicht eine möglichst naturgetreue Nachahmung des lebenden Menschen stand im Mittelpunkt des künstlerischen Schaffens, vielmehr sollte die Abbildung oder Plastik einem transzendenten Wesen (z. B. Seelenwesen „Ka“) als materieller Träger dienen (Panowsky, 1974). Dieser Symbolcharakter findet seine Entsprechung in der starren und schematisierten Wirkung, die altägyptische Wandmalereien beim Betrachter hinterlassen. Man weiß aus vielen erhaltenen Beispielen, dass sich die Ägypter bei der Einteilung der Block- oder Wandflächen eines engmaschigen Quadratnetzes bedienten, das auch bei den in ihrer Kunst so stark hervortretenden Tierdarstellungen zur Anwendung gelangte, wobei das koordinatenähnliche Prinzip konstruktive Bedeutung hatte (Panowsky, 1974). Dieses zweidimensionale Gitternetz wurde durch Einführung von Unterquadraten weiter perfektioniert und ist bis heute noch fundamentale Grundlage moderner Mess- und Kopierverfahren. Auf der von den alten Ägyptern geschaffenen Grundlage basiert auch die moderne zweidimensionale Kephalometrie (Hasund, 1973) in der Kieferorthopädie.

2.2.2 Polykletischer Kanon der klassisch-antiken Kunst der Griechen

Die ältesten Versuche den menschlichen Körper zu vermessen stehen bei den Griechen mit dem Namen des Polyklet von Argos (480 - 410 v. Chr.) in Verbindung, einem der bedeutendsten Bildhauer seiner Zeit (Hiller, 1973). Er gilt als Vater der klassisch-griechischen Anthropometrie, was die Lehre von den Maßverhältnissen und der Vermessung des menschlichen Körpers ist (Roche Lexikon, 1993).

Die klassische Kunst der Griechen hat sich von dem Proportionierungssystem der Ägypter vollständig losgesagt. Der Künstler sah seine Aufgabe nicht in der kompositorischen Bewältigung von Steinblöcken oder Wandflächen, sondern in der Ermittlung der objektiven menschlichen Maße. Die Griechen gingen nicht von einem mechanisch konstruierten Quadratnetz aus, um dann zu fragen, in welcher Weise die menschliche Gestalt in diesem Netz unterzubringen sei, sondern sie stellten auf die organisch in Rumpf, Glieder und Teilglieder differenzierte Gestalt ab, um dann zu hinterfragen, wie diese Teile sich zueinander und zum Ganzen der Größe nach verhalten (Panowsky, 1974). Es kommt nicht das Prinzip mechanischer Gleichheit zum Tragen, sondern dem Polykletischen Kanon liegt das Prinzip organischer dreidimensionaler – und nicht wie bisher zweidimensionaler – Differenzierung zugrunde.

Der antiken Proportionslehre ist ein ausgesprochen ästhetischer Charakter zueigen, der die Schönheit als zentrales Thema aufgreift. Ein Novum für die damalige Epoche war, dass dieser Kanon zum ersten Mal ein ästhetisches Gesetz verwirklichte. Für die antike Denkweise durchaus bezeichnend ist, dass man sich den Ausdruck dieses Gesetzes nur in der Gestalt von Relationen, nämlich in Form von aliquoten Bruchteilen, vorzustellen vermochte (Panowsky, 1974). Damit ergibt sich die körperliche Schönheit aus den richtigen Maßverhältnissen der Körperteile zueinander. Bemerkenswert ist, dass der Aspekt der Dynamik, die für die menschliche Mimik unverzichtbar ist, bereits in der Antike – wenn auch in minimaler Ausprägung – in die Kunstwerke mit einfluss.

Der römische Schriftsteller Vitruv, von dem die, von Leonardo da Vinci zeichnerisch umgesetzte, Einschreibung des Körpers in Kreis und Quadrat stammt (Abb. 3), machte konkrete Angaben über die menschliche Proportion. Die Proportionslehre der Antike beeinflusste viele bedeutende Künstler der Renaissance und Wissenschaftler der Neuzeit.

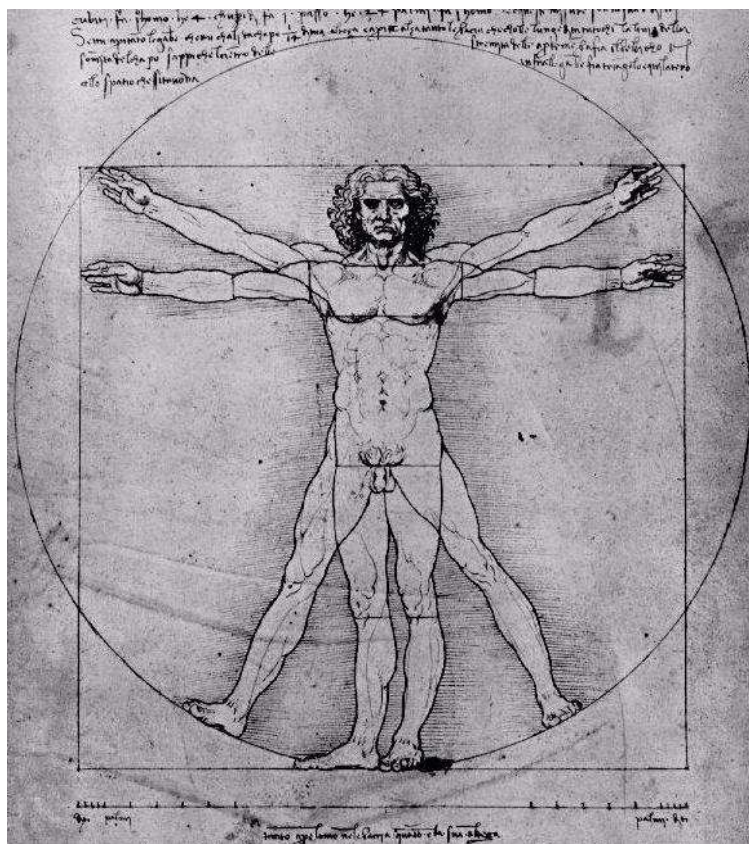


Abb. 3 Mensch in Kreis und Quadrat von Leonardo da Vinci (1452 - 1519)

2.2.3 Proportion im Mittelalter

Diese Epoche wurde durch die Gotik, die Byzantinik und südlich der Alpen durch die Renaissance geprägt. Die Gotik und die Byzantinik stimmen insofern überein, dass beide eine planimetrische Schematisierung der Gestalt zum Ziel haben. Sie weichen insofern voneinander ab, als sie dieses Ziel auf ganz verschiedenen Wegen erreichen.

2.2.3.1 Die byzantinische Proportionslehre

In der Byzantinik, die stark durch arabische und indische Einflüsse geprägt war, erfolgte die maßstäbliche Bestimmung des menschlichen Körpers nicht mehr, wie in der Antike, nach dem System der aliquoten Bruchteile, sondern nach dem System eines „Modulus“ als grundlegende Einheit und wich damit stark von den Relationsprinzipien der Antike ab.

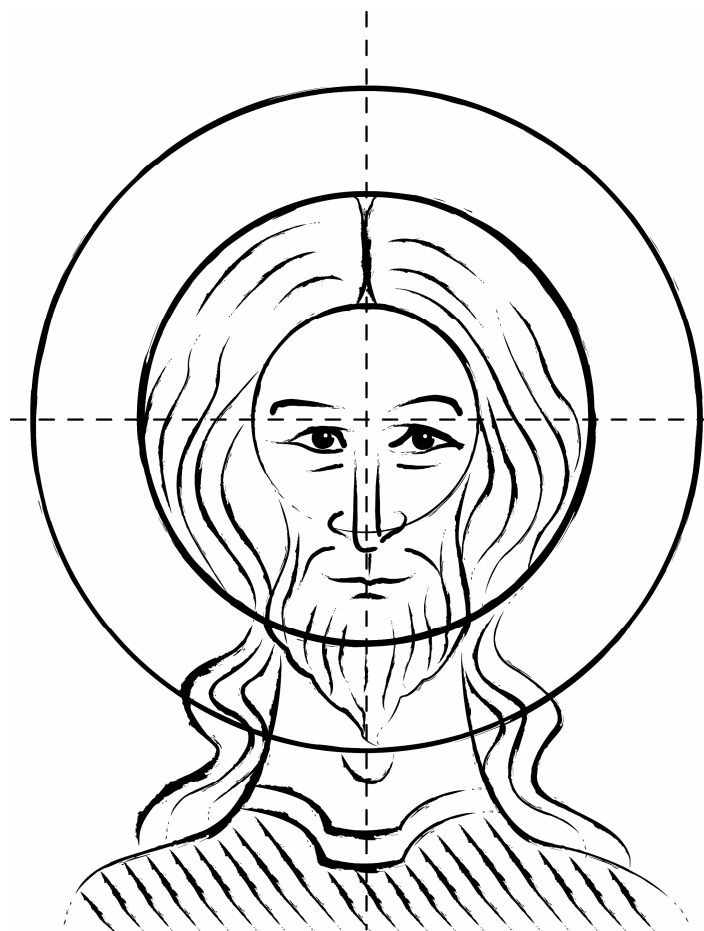


Abb. 4 Das „Dreikreiseschema“ der byzantinischen Kunst nach Panowsky, 1974

Die Tendenz zur planimetrischen Schematisierung zeigt sich deutlich am „Dreikreischema“ (Abb. 4) und der Darstellung des Gesichts im Dreiviertelprofil (Panowsky, 1974).

2.2.3.2 Die gotische Proportionslehre

Die gotische Proportionslehre diente fast ausschließlich der Bestimmung der menschlichen Bewegungsrichtung. Der Körper wurde überhaupt nicht mehr gemessen, auch nicht nach Kopf-, oder Gesichtslängen, sondern es wurde ein Liniensystem – vielfach nach rein ornamentalen Gesichtspunkten erfunden – entwickelt, das keinen Zusammenhang mit der Körperstruktur hatte, sondern eher einem Drahtgestell glich (Panowsky, 1974). Die Köpfe wurden bei Menschen wie bei Tieren nicht nur aus dem Viereck oder aus dem Kreis, sondern auch aus dem Dreieck in völlig unorganischer Weise konstruiert.

2.2.4 Proportion in der Renaissance

Im Gegensatz zur Byzantinik und Gotik entdeckte die Proportionslehre in der Renaissance das antike Denken und die antike Kunst wieder. Berühmte Vertreter dieser Epoche wie da Vinci und Dürer ersetzten die Tradition durch genaue Naturbeobachtung. Die Proportionslehre wurde nun zum Ausdruck einer kosmischen Harmonie zwischen Mikro- und Makrokosmos, die man weiterhin als die rationale Grundlage der Schönheit verstand (Bahr, 1991). Die Gelehrten, Literaten und Künstler tauchten nicht nur in das Metaphysische, Mythologische, Astrologische und Kosmologische, sondern erneuerten außerdem den klassisch-antiken Gedanken, nämlich dass die Symmetrie das Grundprinzip der ästhetischen Vollkommenheit sei. Die geistigen Bedürfnisse öffneten sich dem „neuen Denken“ der Renaissance und die Künstler fühlten sich beflügelt. Der italienische Meister Leonardo da Vinci hat entscheidende Schritte getan, um die Proportionslehre auch in sachlich-methodischer Hinsicht über den mittelalterlichen Standpunkt hinauszuhoben. Er wagte den Griff in die Natur und erforschte den lebenden Körper um die menschlichen Proportionen nach Länge, Breite und Tiefe mit der größten Genauigkeit metrisch zu definieren (Bahr, 1991). Erstmals stellte ein Künstler die normale Menschengestalt in ihrer organischen Gliederung und in voller Dreidimensionalität bildlich dar. Vor allem aber hat er die eigent-

liche Anthropometrie nach einer völlig neuen Seite hin ergänzt: da Vinci untersuchte systematisch die anatomischen Größenverhältnisse (Abb. 5). Er hat sich unablässig bemüht nicht nur den ruhenden Körper zu vermessen, sondern die Körperbewegung in seine Studien mit einfließen zu lassen. Diese Kunstperiode wird der physiologischen Bewegung und der perspektivischen Verkürzung gerecht (Moorrees, 1998). Obwohl der Kopf in bestimmte Größenverhältnisse unterteilt und das menschliche Profil untersucht wurde, blieb der Aspekt der Mimik gänzlich unbeachtet.

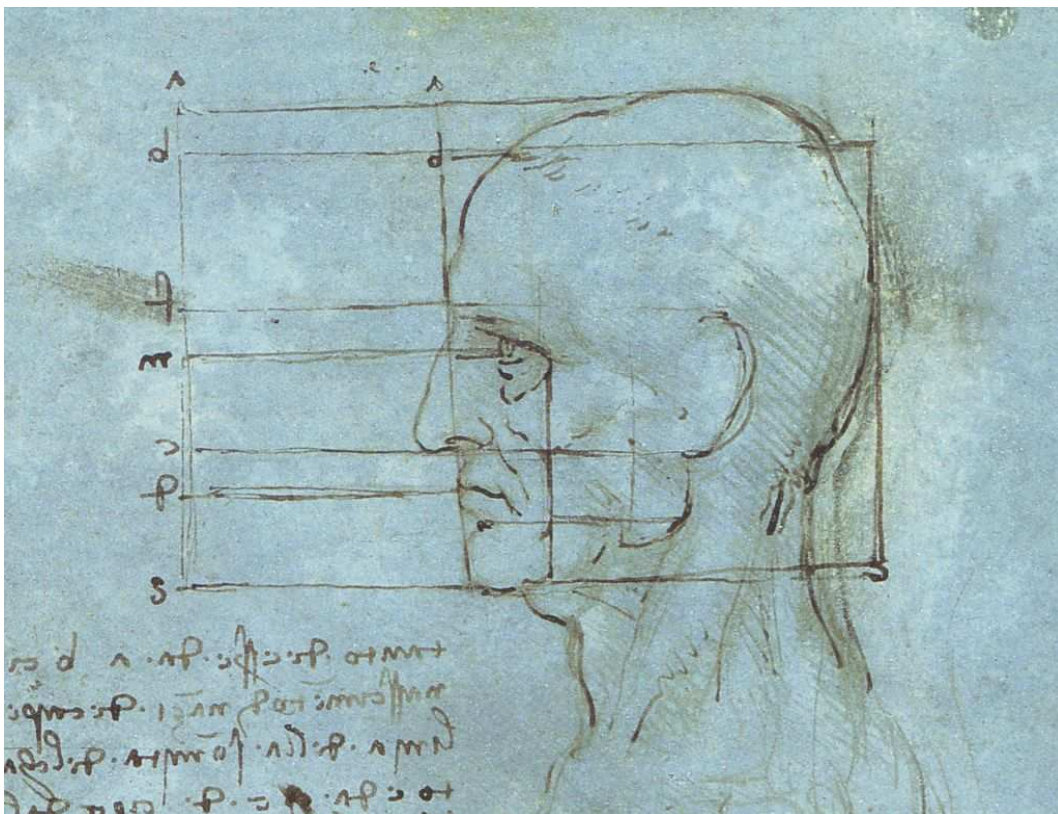


Abb. 5 Größenverhältnisse des Kopfes von Leonardo da Vinci, um 1488

Aus der ganzen Entwicklung der Proportionstheorie des Mittelalters und der Renaissance ziehen die theoretischen Werke Albrecht Dürers das Fazit. Im Gegensatz zu da Vinci suchte er nicht die alles bestimmende Norm, sondern entwickelte eine Typenlehre, die grobe Disharmonien vermeiden sollte. Dürers vier Bücher über die menschliche Proportion (1528), die eine differenzierte Typenlehre beschreiben, stellen nach Panowsky (1974) den Höhepunkt der Proportionslehre der ganzen Renaissance dar. In seinem vierten Buch ließ er, die erst aufgestellten Figuren sich bewegen und somit war er bei der Darstellung der Dynamik angelangt.

Er löste die menschliche Gestalt in der Statik und in der Dynamik in Kuben auf, wobei jeder einzelne Kubus etwa die Form einer abgestumpften Pyramide oder eines Quaders hatte. Sein Ziel war, das Proportionsproblem rein geometrisch mit regelmäßigen Figuren zu lösen (Abb. 6).

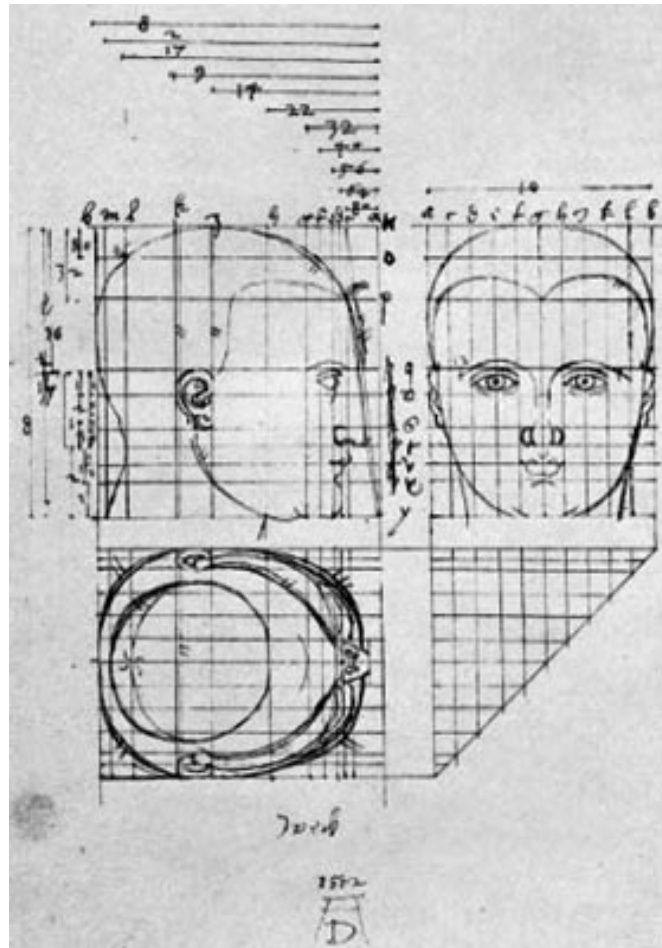


Abb. 6 Mittelalterliche Studie zum Aufbau des Kopfes im Grundriss, Aufriss und Seitenriss von Albrecht Dürer, 1512

Es fand eine Einteilung des Gesichts in Gesichtsdrittel statt, wie sie auch in der modernen Kephalometrie beschrieben wird (Giesen, 1930). Seine Typen erhielt Dürer durch systematische Veränderung aller Parameter, die die Gesichtsstrukturen beschreiben, so dass die Typendarstellung manchmal im Bereich der grotesken fratzenhaften Karikatur landete (Panowsky, 1974). Dadurch wurde erstmals eine bildhafte Darstellung der mimischen Varianz der Gesichtszüge umgesetzt.

Dürer hat sich zum völligen Verzicht auf die Entdeckung eines idealen oder auch nur normalen Schönheitskanons entschlossen (Panowsky, 1974), was sich dann auch

1526 in der Aussage festmachen ließ: „Die Schönheit, was das ist, das weiß ich nit, wiewohl sie vielen Dingen anhangt.“ (zitiert nach Bahr, 1991)

2.2.5 Proportion in der Moderne

Im Laufe des 17. und 18. Jahrhunderts wurden die konventionellen Proportionsgesetze abgelehnt und ein Festhalten an bewährten Proportionen, Regeln und Gesetzen wurde als eine Einengung der schöpferischen Kraft empfunden. Man lehnte die Unterwerfung der Kunst unter feste Regeln ab (Hiller, 1973). Mit der Einführung von Maßeinheiten findet nun eine objektive, quantifizierbare Vermessung von Körperteilen und anderen Gegenständen statt. Die Beurteilung der Messwerte berücksichtigt die individuellen Gegebenheiten des Individuums, wodurch seine individuelle Norm und Harmonie (Segner und Hasund, 1994) ermittelt wird. Die Proportionslehre der bildenden Kunst geht endgültig in der naturwissenschaftlichen Analyse auf. Die gegenwärtige Medizin beschäftigt sich intensiv mit der objektiven naturwissenschaftlichen Morphometrie. Durch die Einführung des Röntgens, welches das moderne kieferorthopädische Analyseverfahren der Kephalmetrie ermöglicht, erhält die Morphometrie eine neue Dimension. Bei diesem Verfahren stehen das Weichteil- und Lippenprofil bei der Planung einer kieferorthopädischen oder kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Behandlung im Mittelpunkt. Sowohl ein zu konvexes als auch ein zu konkaves Profil wird vom Patienten als unangenehm empfunden (Segner und Hasund, 1994). Die möglichen Auswirkungen der Behandlung auf die Mimik des Patienten finden bei dem etablierten Verfahren jedoch keine Beachtung. Eine Übersicht über die moderne Morphometrie, bei der sich eine Entwicklung von einem zweidimensionalen zu einem dreidimensionalen Verfahren abzeichnet, gibt das folgende Kapitel.

2.3 Faziale Morphometrie in der Medizin

Innerhalb der Fachgebiete der Kieferorthopädie, der Mund- Kiefer- Gesichtschirurgie und der plastisch-ästhetischen Chirurgie werden zur Diagnostik, Therapieplanung und Prognose der fazialen Hart- und Weichgewebe bestimmte Verfahren zur Hilfe genommen.

Die folgenden Unterkapitel verschaffen einen Überblick über den aktuellen Stand der Erfassungs- und Vermessungstechniken des menschlichen Gesichts nach unterschiedlichen Kriterien zur individuellen Gesichtsbeurteilung.

2.3.1 Fotodokumentation

Das zweidimensionale Foto hält neben dem klinischen extraoralen und intraoralen Befund den persönlichen Gesichtsausdruck – und damit auch die individuelle Mimik – des Patienten in der Statik fest. Sie dient der Weichteilanalyse des Gesichts, wobei zunächst verschiedenste Referenzpunkte und -strecken bestimmt und sodann vermessen werden (Dausch-Neumann, 1964). Die Aufnahmerichtungen, die in der Kieferorthopädie Anwendung finden, können

- von vorne (Enface) zur Bewertung von Symmetrie und Asymmetrie,
- von der Seite (Profil) zur Bewertung von Harmonie und Disharmonie

und

- schräg von der Seite (Halbprofil),

bei ernstem und lachendem Gesichtsausdruck, erfolgen (Rudzki-Janson und Thedens, 2000).

Nach Rudzki-Janson und Thedens (2000) steht die Bedeutung der Lachlinie für die Ästhetik des Gesichts bei der Bewertung der psychischen Verfassung des Patienten, die mit seinem Wohlbefinden korreliert, ebenso zur Diskussion wie der zunehmende Einfluss auf die kieferorthopädische und ästhetische Behandlungsplanung. Vorwiegend die Gesichts- und Schönheitschirurgie bedient sich der Ansicht im Halbprofil, da diese dem Patienten eher vertraut ist als sein Profilverlauf oder seine Frontalan-sicht (Holtkamp, 1999).

Nach Steinhäuser und Janson (1988) vermittelt das Profilfoto einen unverzichtbaren Eindruck von ästhetisch akzeptablen oder nicht akzeptablen Gesichtsproportionen, auch wenn es lediglich eine generelle Orientierung für Diagnose und Therapie zulässt.

2.3.2 Stereophotogrammetrie

Die Stereophotogrammetrie ist eine dreidimensionale Weiterentwicklung der zweidimensionalen Fotoanalyse. Das Patientengesicht, auf dem die Referenzpunkte mit

Farbstift markiert werden (Kobayashi et al., 1990), wird dabei gleichzeitig von zwei Fotokameras, die in unterschiedlichen Winkeln zum Messobjekt aufgebaut sind, aufgenommen. Nun werden die Referenzpunkte, die vor allem auf der Mitt-Sagittalen und auf der Frankfurter Horizontalen liegen sollen (Rasse et al., 1991), auf den beiden Fotos identifiziert und ihre dreidimensionalen Koordinaten über das Verfahren der optischen Triangulation im Computer berechnet. Das entstandene Gitternetz (Abb. 7) kann nun für dreidimensionale Diagnose- und Analysezwecke eingesetzt werden, wobei neben angulären und planaren Messungen auch Volumenänderungen berechnet werden können (Kobayashi et al., 1990).

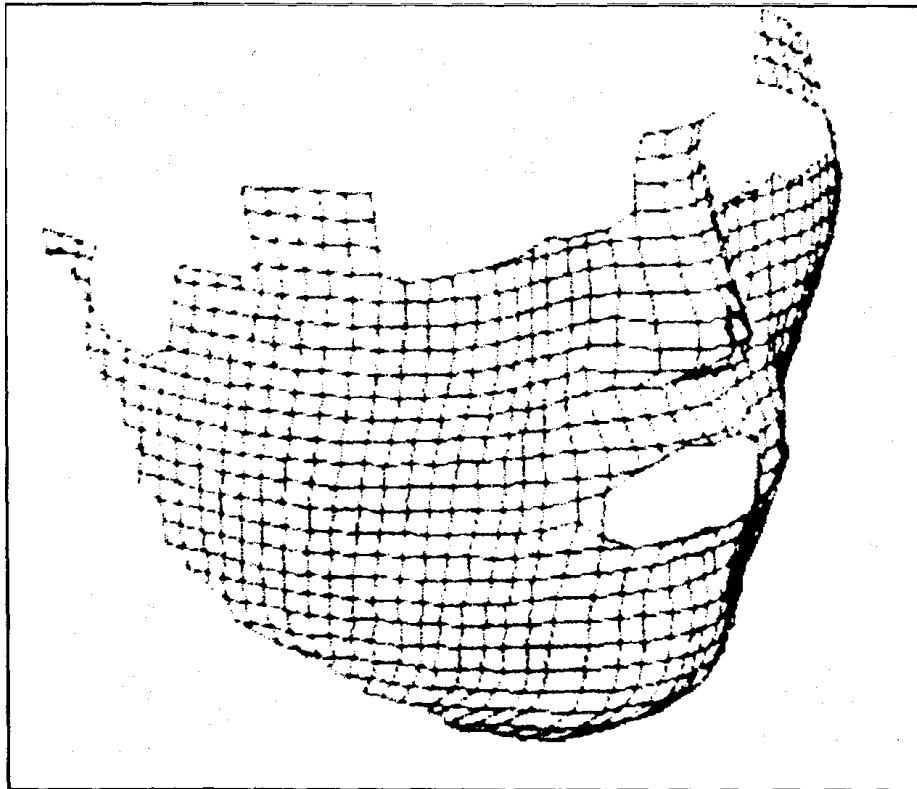


Abb. 7 Dreidimensionale Tiefendatenerfassung durch Stereophotogrammetrie nach Kobayashi et al.

Das Verfahren der Stereophotogrammetrie, das auf Thalmann Degen (1957) zurückgeht, und von Burke und Beard (1971) weiter verbessert wurde, ist heute ein etabliertes Verfahren zur dreidimensionalen Vermessung von Referenzpunkten. Da es kostengünstig ist, eine kurze Messzeit hat und ohne Strahlung auskommt, wird es von vielen Autoren verwendet (Rasse et al., 1991).

2.3.3 Röntgenaufnahmetechnik

Am Röntgenbild sind planare, morphometrische Messungen in der Lateralansicht (FRS) und in der Frontalsicht (FRF) des Schädels üblich. Grundlage jeder kephalometrischen Analyse ist ein reproduzierbares zweidimensionales Fernröntgenseitenbild (FRS), wobei es ausschließlich die sagittale und vertikale Ebene erfasst. Neben skelettalen Strecken- und Winkelmessungen sind Weichteilmessungen möglich, vorausgesetzt, dass die Weichteilkontur auf dem Röntgenbild erkennbar ist. Dies wird durch einen Kupferfilter, der nur den Weichteilbereich abdeckt, sichergestellt (Segner und Hasund, 1994). Um bei der Projektion des dreidimensionalen Schädels auf den zweidimensionalen Röntgenfilm die entstehende Verzerrung möglichst gering zu halten, wird idealerweise ein großer Fokus- Film- Abstand von 4 Metern gewählt (Steinhäuser und Janson, 1988).

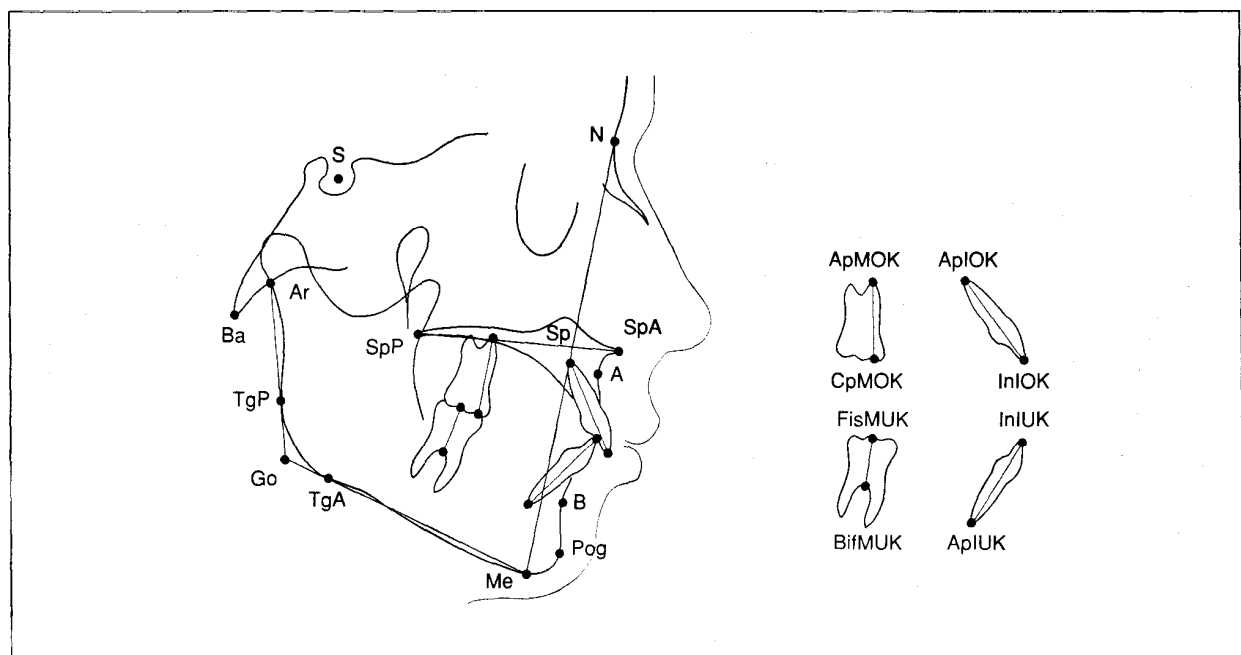


Abb. 8 Kephalmetrische Messpunkte im Fernröntgenseitenbild nach Drescher

Nach manueller Festlegung definierter Referenzpunkte (Abb. 8) im Röntgenbild werden, um das FRS metrisch auszuwerten und damit Aussagen über individuelle Form und Größe des Gesichtsschädels und der Weichteile machen zu können, verschiedenste Strecken, Winkel und Relationen berechnet (Segner und Hasund, 1994). Die metrische Auswertung dient der ästhetischen, harmonischen und der „Norm“ entsprechenden Bewertung des Gesichts (Watted et al., 2002).

Den Fotografien und Röntgenaufnahmen ist gemein, dass sowohl Hart- (beim Foto nur skelettale Konturen) als auch Weichgewebe in einem gewissen Umfang durch entsprechende Messungen qualitativ und quantitativ beurteilt werden können. Nach Watted et al. (2002) ist für die Erstellung einer korrekten Gesichts- und Ästhetikanalyse eine gründliche klinische Untersuchung entscheidend, da die Dynamik - und somit die Mimik eines Gesichts - fotografisch nur schlecht festzuhalten sind.

Messungen im FRS sind, auch wenn diese nur zweidimensional möglich sind, heute der Standard bei der Analyse und Prognose von fazialen Hart- und Weichgeweben (Steinhäuser und Palluk, 1995).

2.3.4 Videoimaging

Die Erstellung einer zuverlässigen Profilprognose im Rahmen einer chirurgischen Planung ist für ein optimales ästhetisches Ergebnis von entscheidender Bedeutung (Holtkamp et al., 1999). Das Videoimaging vermag, die über den Computer generierten Daten von der ursprünglich statischen Aufnahme in bewegliche Bilder umzusetzen. Mit Hilfe dieses Verfahrens sind therapeutische und wachstumsbedingte Veränderungen als "prediction" im Bild darstellbar (Rudzki-Janson und Thedens, 2000). Die Integration von kephalometrischen Variablen in die Gesichtsfotografie ermöglicht es, skelettale und dentoalveoläre Veränderungen in ihrer Auswirkung auf den Weichgewebeverlauf anschaulicher und plastischer darzustellen als nur mit dem FRS allein.

Die von der Software vorgegebenen Größen stützen sich auf Mittelwerte und können die operativ vorgenommenen Gesichtsveränderungen, in welcher Fachrichtung auch immer, individuell nur annähernd prognostizieren. Auch wenn Computerberechnungen die besseren Ergebnisse liefern können, betonen Harradine und Burnie (1985), dass die Prognose nur einer Erwartung aus durchschnittlichen Daten entspricht (Holtkamp et al., 1999). Dem Verfahren bleibt somit nur eine eingeschränkte Möglichkeit faziale Weichteilveränderungen darzustellen und dem Patienten wird fälschlicherweise präoperativ ein idealisiertes Operationsresultat visualisiert (Rudzki-Janson und Thedens, 2000). Wegen der aufgeführten Einschränkungen des Verfahrens und der unzureichenden zweidimensionalen Darstellung des Gesichts mit der individuellen Mimik wird der Aufklärung des Patienten nicht im vollen Umfang Rechnung getragen.

2.3.5 Dentofacial Planner

Der Dentofacial Planner wurde von dem kanadischen Kieferorthopäden Walker als computergestütztes Diagnose- und Planungsmittel zunächst nur für die orthodontische Behandlungsplanung entwickelt. Mit der Weiterentwicklung des Systems wurde eine videokephalometrische Behandlungsplanung mit Simulation der Weichteile nach skelettverlagernden Eingriffen möglich (Seeholzer und Walker, 1992). Ähnlich dem Verfahren des Videoimaging erfolgt auf der Grundlage von gemessenen Referenzpunkten des Hart- und Weichgewebes aus dem FRS eine Computerprofilsimulation. Das grundlegende Prinzip, auf dem die Dentofacial Planner Software basiert, beruht auf der imaginären Berechnung der skelettalen Verschiebungseffekte nach den gewünschten Werten und einer Prognose des Weichteilverhaltens, basierend auf Quotienten, die durch viele retrospektive Studien gewonnen wurden (Birr und Bewersdorff, 1993; Dann et al., 1976; Lines und Steinhäuser, 1974; Mansour et al., 1983; Konstantos et al., 1994; Radney und Jacobs, 1981; Schendel et al., 1976; Steinhäuser und Paulus, 1979; Steinhäuser und Palluk, 1995).

Nach Eales et al. (1994) ermöglicht die Software, die von der Firma Dentofacial Software Inc. aus Toronto entwickelt wurde, eine überraschend gute Weichteilvorhersage im Profilbereich. Während die Vorhersagekraft im Bereich des Kinns von Eales et al. (1994) als gut bezeichnet wird, ist sie im Bereich der Nase und der Lippen eher unzureichend. Andere Autoren (Konstantos et al., 1994), die an mehreren Patienten die Diskrepanz zwischen Prognose und tatsächlicher Weichteilentwicklung gemessen haben, bestätigen diese Aussagen im Wesentlichen.

Vor allem der postoperative „remodelling-Effekt“ an der skelettalen Struktur vermindert die Vorhersagekraft des Dentofacial Planner erheblich (Eales et al., 1994). Nach Csaszar und Brücker-Csaszar (2000) ist die Profilprognose zufrieden stellend. Eine Weiterentwicklung der Software ist jedoch notwendig, da dem Patienten kein realistisches Prognosebild, besonders bei umfangreichen Weichteilprofilveränderungen, visualisiert werden kann.

Insgesamt betrachtet ist der Dentofacial Planner ein eingeschränkt nutzbares Hilfsmittel für die Weichteilvorhersage, bei dem man sich auf die Exaktheit seiner Prognose nicht allein verlassen kann.

2.4 Bedeutung der Mimik

Die Mimik stellt das Hauptinstrument der nonverbalen Kommunikation dar und befähigt die Menschen, ihre Emotionen zu vermitteln. Die uns eigene individuelle Mimik ist das Spiegelbild unseres inneren Gefühlslebens, denn der Mensch kann bereits mit Hilfe seiner Gesichtszüge über sein Lächeln oder Weinen seine Gefühle zum Ausdruck bringen. Demnach kommt der Mimik gegenüber anderen Ausdrucksorganen im Bereich der Emotionserkennung (Decodierung) und Emotionsdarstellung (Encodierung) eine besondere Bedeutung zu (Batinic, 2003). Dem Betrachter ist es durch Decodierung der individuellen Gesichtszüge und -bewegungen möglich, auf den tatsächlichen oder auch vermeintlichen emotionalen Zustand seines Gegenüber zu schließen. Diese face-to-face-Interaktion läuft unbewusst in Bruchteilen von Sekunden ab und moduliert die gegenseitige, ästhetische Wahrnehmung über Sympathie- oder Antipathie-Effekte (Batinic, 2003). Das bedeutet, dass sich die Interaktionspartner durch die mimischen Ausdrucksreaktionen – oft auch unbewusst – aneinander anpassen und gegenseitig regulieren (Bänninger-Huber, 1996). Bereits 1903 stellte Lipps hierzu die Hypothese auf, dass Emotionen durch einen angeborenen Nachahmungstrieb decodiert werden. Dabei wird der mimische Ausdruck vom Betrachter imitiert und über Feedback-Mechanismen selbst übernommen. Neuere Untersuchungen (Wallbott et al., 1991) bestätigen teilweise die Annahmen von Lipps. Honkavaara et al. (1961) hingegen postuliert, dass die Fähigkeit, Emotionen richtig zu decodieren, eine erlernte Leistung ist, die mit zunehmenden Alter aufgrund der Lebenserfahrung ansteigt. Von Anbeginn des Lebens wird ein Zusammenhang zwischen bestimmten emotionsauslösenden Reizen mit den entsprechenden Gesichtsausdrücken erlernt.

Birbauer und Schmidt (2005) wiederum betrachten die Rolle der Mimik bei der Encodierung von Gefühlen von einem genetisch orientierten Standpunkt aus. Die Annahme, dass Mimik als Ausdruck eigenen oder Nachahmung fremden Erlebens angeboren sei, stützt sich hauptsächlich auf Untersuchungen an taub und blind geborenen Kindern, die nicht die Möglichkeit hatten, zu lernen, wie ein bestimmter Gesichtsausdruck „aussieht“, oder welche Emotion er signalisiert. Dabei konnte in verschiedenen Untersuchungen (z. B. Freedman, 1986; Eibl-Eibesfeld, 1973) nachgewiesen werden, dass zumindest einige Ausdrücke von diesen Kindern spontan gezeigt werden.

Fraglich ist nur, wie zuverlässig die emotionale Stimmung einer Person anhand des Gesichtsausdruckes decodiert werden kann. Das Alltagsleben zeigt uns, dass wir selten vor der Aufgabe stehen, allein anhand der Mimik einer Person Rückschlüsse auf die emotionale Befindlichkeit ziehen zu müssen. Vielmehr sind für die Decodierleistung des Betrachters vielfältige Informationsquellen von Bedeutung. Dazu gehören auch verbale Äußerungen, worunter man den reinen Sprachinhalt, den Sprachstil, die Tonlage, sowie die Sprechgeschwindigkeit versteht. Unter das nonverbale Verhalten fallen Körperhaltung und -bewegung. Verbale wie nonverbale Ausdrucksmedien haben – neben der Mimik – einen Informationswert über den emotionalen Zustand des Senders (Batinic, 2003). Sind verbale Äußerungen bzw. nonverbale Verhaltensweisen mit dem Gesichtsausdruck nicht widersprüchlich, kann angenommen werden, dass die Decodierung dem tatsächlichen Gemütszustand entspricht. Mit Hilfe der verbalen oder nonverbalen Manipulation des emotionalen Zustandes können aber auch vorhandene Gefühle verändert ausgedrückt werden, die im Gegensatz zu der Gesichtsmimik stehen. In solchen Situationen wertet der Empfänger automatisch die vom Gesicht ausgehende Information auf (Batinic, 2003).

Eine große Rolle für die Zuverlässigkeit der Decodierung spielt der Gesundheitszustand des Senders. So ist seit langem erwiesen, dass der Gesichtsausdruck durch Krankheiten beeinflusst werden kann. Hertl beschreibt 1962 eindrucksvoll in seinem Werk „Das Gesicht des kranken Kindes“, wie verschiedene Krankheiten zu Ausdrucksformen führen, die per se in keinem Zusammenhang mit dem augenblicklichen Gemütszustand des Kindes stehen. So führt beispielsweise das Nephrotische Syndrom unter anderem zu einem Gesichtsoedem vorwiegend an den Augenlidern, welches einen schüchternen Gesichtsausdruck vermittelt. Bei dem Syndrom der Hemifazialen Mikrosomie stellt die Laterognathie eine „Begleiterscheinung“ dar. Das Krankheitsbild ist gekennzeichnet durch eine Asymmetrie im unteren Gesichtsdrittel, die zu einer krankheitsbedingten atypischen Mimik führt. Das einseitige hypertrophe bzw. hypotrophe Wachstum des corpus mandibulae oder ramus ascendens hat Auswirkungen auf die Gesichtszüge aufgrund der asymmetrischen anatomischen Verhältnisse.

Wie bei Krankheiten des Senders kann es auch bei Krankheiten des Empfängers zu erheblichen Verzerrungen in der Emotionsdecodierung kommen. So zeigen Berndt et al. (1986), dass schizophrene Patienten, im Vergleich zu einer Kontrollgruppe, Mimikinformationen weitaus schlechter decodieren können. Es ist auch vorstellbar,

dass Menschen, die an Krankheiten leiden, die das Wahrnehmungsfeld verzerren (z. B. Depression), in ihrer Fähigkeit, Emotionen zu decodieren, beeinträchtigt sind. Die Verarbeitung und Einschätzung der Information, die uns mit Hilfe der Mimik vermittelt wird, ist demnach von den individuellen Gegebenheiten des Senders, sowie des Empfängers abhängig und in keiner Weise objektivierbar oder allgemein gültig. Zudem ist die Mimik kein statischer, sondern ein dynamischer Vorgang, der sich schwer in ein allgemein gültiges Schema bringen lässt. Als repräsentatives Beispiel sei das „Lächeln“ erwähnt. Unter allen Gesichtsausdrücken nimmt das „Lächeln“ in der Kieferorthopädie eine Sonderstellung ein, da es hier neben den Weichteilveränderungen zusätzlich zu einer Entblößung der Frontzähne kommt. Da es sich um einen dynamischen Vorgang handelt, ist es schwierig eine Grenze zu ziehen zwischen einem „Lächeln“ und einem „Lachen“. Es existiert keine Maßeinheit dafür wie viel Zahn man zeigen darf, damit es sich um ein „Lächeln“ oder schon um ein „Lachen“ handelt. Die Übergänge sind fließend und allein von der Situation und der Sichtweise des Betrachters abhängig.

Ob es sich bei einem gefühlsneutralen „Lachen on command“ anders verhält, wird in dieser Studie untersucht. Wenn ein Gesichtsausdruck auf Kommando eingenommen wird, ist zu klären, ob es sich nach einer Wiederholung um die gleiche Ausprägung der Mimik handelt und somit eine Reproduzierbarkeit vorliegt.

2.5 Wissenschaftliche Fragestellung

Die Mimik hat einen großen Einfluss auf die Gesichtsästhetik und erfordert zur Charakterisierung und Analyse der fazialen Weichteile ein modernes Verfahren in allen vier Dimensionen, da sie eine komplexe, dreidimensionale Veränderung der Gesichtsoberfläche über die Zeit ist. In der vorliegenden Studie geht es nicht um die Untersuchung der individuellen mimischen Dynamik, sondern um die Beantwortung folgender Fragen:

- (1) Wie groß ist die interindividuelle Variabilität von 23 Messpunkten unter Einnahme acht unterschiedlicher Gesichtsausdrücke?
- (2) Wie groß ist die intraindividuelle Variabilität von 23 Messpunkten unter Einnahme des Gesichtsausdruckes „Lachen“ als repräsentatives Beispiel?

- (3) Lässt die Individualität die Anwendung stereotyper Bewegungsmuster bei der virtuellen Simulation zu, ohne inakzeptable Fehler zu generieren?
- (4) Sind die Ergebnisse von klinischer Relevanz?

3 Material und Methode

3.1 Probanden

3.1.1 Geschlechtsverteilung

An der Studie waren 50 gesunde Probanden aus der gleichen ethnischen Gruppe, von denen 26 (= 52%) weiblich und 24 (= 48%) männlich waren (Abb. 9), rein subjektiv keine funktionellen Probleme aufwiesen und weder eine Schönheitsoperation noch eine Dysgnathieoperation hatten, beteiligt.

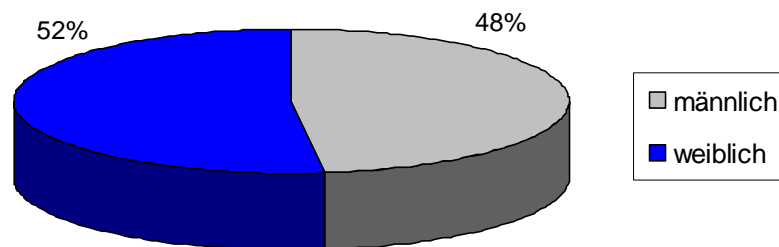


Abb. 9 Geschlechtsverteilung der teilnehmenden Probanden

3.1.2 Kieferorthopädie

32 (= 64%) Probanden hatten von den 50 Probanden eine kieferorthopädische Behandlung, 18 (= 36%) Probanden hatten keine kieferorthopädische Behandlung (Abb. 10).

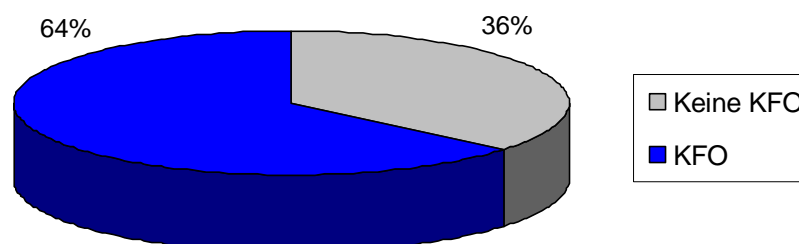


Abb. 10 Verteilung der kieferorthopädisch behandelten Probanden

3.1.3 Altersverteilung

Das Durchschnittsalter der Probanden betrug 26,8 Jahre. Der jüngste Proband war 21 und der älteste 37 Jahre alt (Abb. 11).

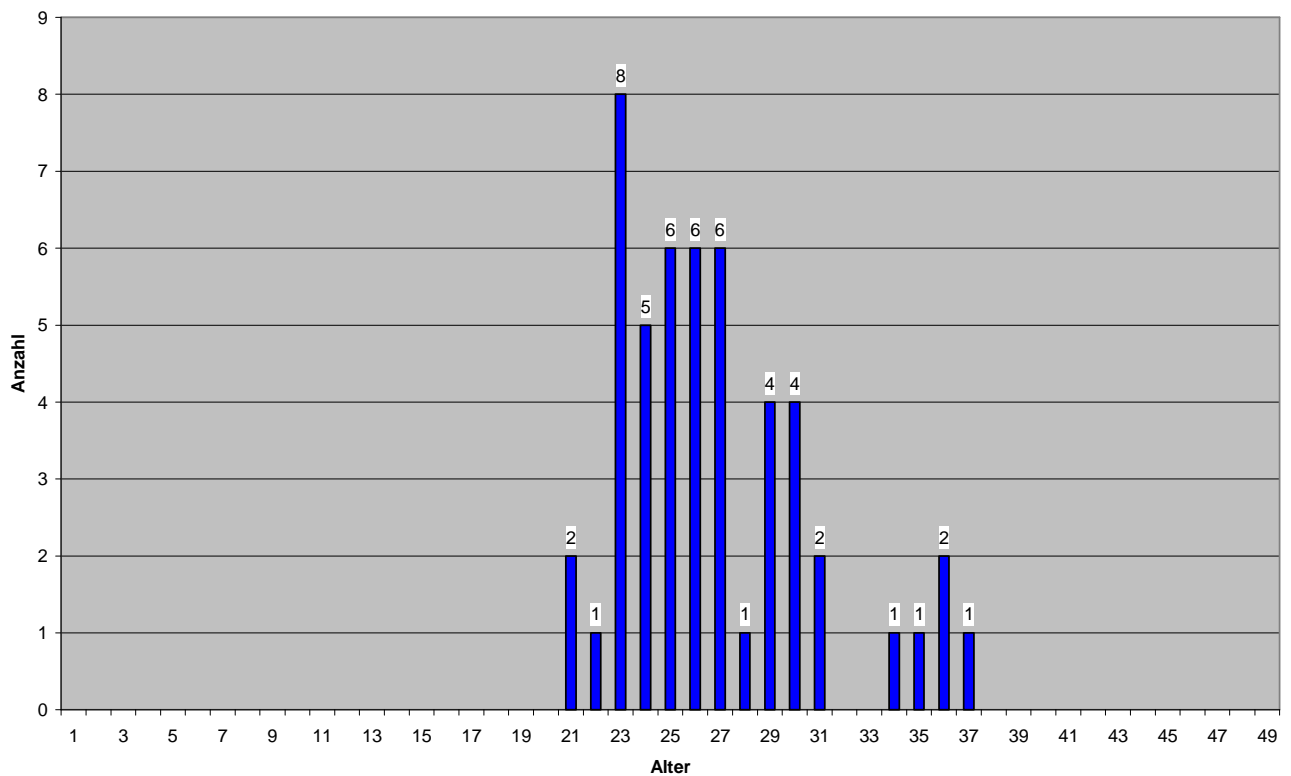


Abb. 11 Altersverteilung der teilnehmenden Probanden

3.2 Versuchsaufbau

3.2.1 Messpunkte

Vor Beginn der Fotoaufnahmen wurden bei jedem Probanden 23 anatomische Messpunkte im Gesicht mit einem wasserlöslichen, schwarzen Stift markiert, die nach den Empfehlungen von Trotman et al. (1998) ausgewählt worden waren (Abb. 12).

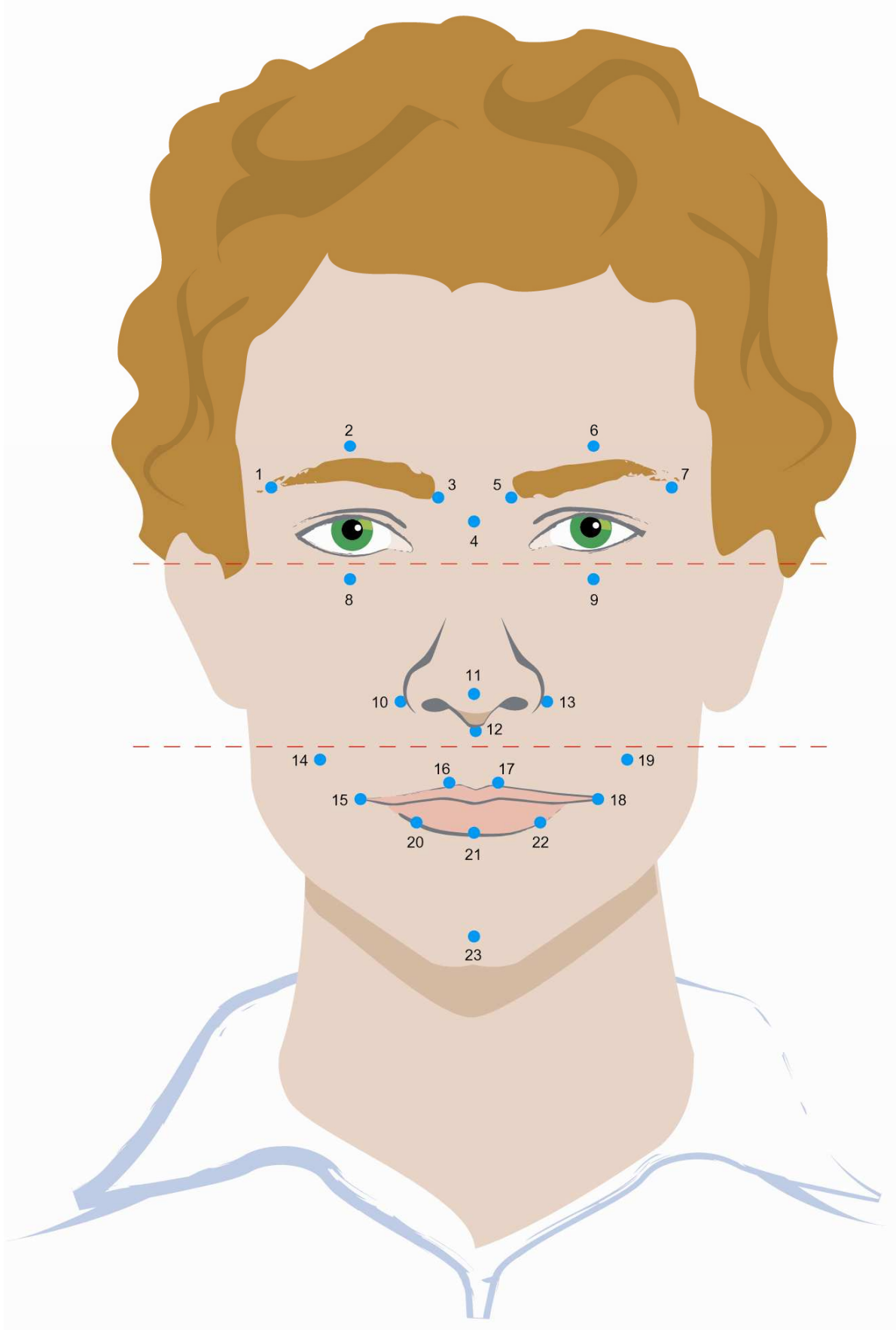


Abb. 12 Lokalisation der 23 faziellen Messpunkte und die Gesichtsdrittelleung

| Gesichts- punkt | | Gesichts- punkt | |
|--------------------|----------------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | rechte äußere Augenbraue | 13 | linker Nasenflügel |
| 2 | rechte zentrale Augenbraue | 14 | rechte Wange |
| 3 | rechte innere Augenbraue | 15 | rechter Mundwinkel |
| 4 | Weichteilnasion | 16 | rechtes Philtrum |
| 5 | linke innere Augenbraue | 17 | linkes Philtrum |
| 6 | linke zentrale Augenbraue | 18 | linker Mundwinkel |
| 7 | linke äußere Augenbraue | 19 | linke Wange |
| 8 | rechter Infraorbitalpunkt | 20 | Unterlippe rechts |
| 9 | linker Infraorbitalpunkt | 21 | Unterlippe mittig |
| 10 | rechter Nasenflügel | 22 | Unterlippe links |
| 11 | Nasenspitze | 23 | Weichteilpogonion |
| 12 | Subnasale | | |

3.2.2 Aufbau der digitalen Fotokamera und Positionierung des Probanden

Eine digitale Kamera des Typs Canon EOS 10D (Canon Inc., Tokio, Japan) wurde für die Fotoaufnahmen der fünfzig Probanden verwendet. Die Kamera befand sich auf einem Stativ mit einem Abstand von 110 cm zu einem drehbaren mit einer konventionellen Kopfstütze versehenen Stuhl vor einem schwarzen Hintergrund. Für die Untersuchung der interindividuellen Variabilität wurden von allen fünfzig Probanden unter standardisierten Bedingungen neun Enface-Fotografien angefertigt. Um die intraindividuelle Variabilität zu analysieren, wurden ebenfalls unter standardisierten Bedingungen von fünf Probanden insgesamt sechs Enface-Fotografien mit dem Gesichtsausdruck „Lachen“ aufgenommen. Dabei nahmen die Probanden stets die Kopfhaltung entsprechend der Frankfurter Horizontalen (Verbindung von Porion zum Orbitalpunkt) ein.

Bei gleich bleibender Kopfhaltung blickte der aufrecht sitzende Proband mit von Haaren befreiter Ohrmuschel beim Fotografieren der unterschiedlichen Gesichtsausdrücke geradeaus. Die Aufnahmen erfassten den gesamte Probandenkopf mit dem Ansatz der Clavicula.

Der Proband hatte dabei die Anweisung, sich im Zeitraum zwischen den einzelnen Aufnahmen (ca. 2 sec.) nicht zu bewegen. Nach einem Probelauf wurden die einzelnen Gesichtsausdrücke auf Kommando in rascher Folge standardisiert aufgenommen. Es handelte sich um Momentaufnahmen „on command“, bei der die maximalen Grenzbewegungen fotografisch festgehalten wurden und die individuelle Verlaufsdy-
namik des Gesichts nicht zum Tragen kam.

3.2.3 Gesichtsausdrücke

Die kurz nacheinander fotografisch festgehaltenen mimischen Expressionen von fünfzig Probanden für die Untersuchung der interindividuellen Variabilität waren wie folgt:

1. Mimik: Neutraler Gesichtsausdruck
2. Mimik: Augenbrauen zusammenziehen
3. Mimik: Nase rümpfen
4. Mimik: Lachen
5. Mimik: Lippen spitzen
6. Mimik: Augen weit öffnen
7. Mimik: Augen zusammenkneifen
8. Mimik: Wangen aufblasen
9. Mimik: Ärgerlich schauen

Zusätzlich wurde für die Untersuchung der intraindividuellen Variabilität bei fünf Probanden am Beispiel des Gesichtsausdruckes „Lachen“ eine Serie von sechs Fotografien aufgenommen, die wie folgt war:

1. Mimik: Neutraler Gesichtsausdruck
2. Mimik: Lachen
3. Mimik: Lachen
4. Mimik: Lachen
5. Mimik: Lachen
6. Mimik: Lachen

Bei allen Gesichtsausdrücken handelte es sich um eine Mimik „on command“ und somit konnten andere Ausdrucksformen der Mimik in der Studie keine Berücksichtigung finden.

3.3 Akquisition und Auswertung der Daten

3.3.1 Bearbeitung der digitalen Fotografien

Die akquirierten digitalen Fotografien wurden anschließend in das Softwareprogramm Corel Draw 11.0 (Corel Corporation, Ottawa, Canada) importiert.

Zunächst wurden die einzelnen Aufnahmen der unterschiedlichen Gesichtsausdrücke auf den gleichen Bildausschnitt gebracht. Nach Einstellung der Transparenz auf halbtransparent (50% Transparenz) für die Fotoaufnahmen der Gesichtsausdrücke zweitens bis neuntens (für die Untersuchung der interindividuellen Variabilität) bzw. für die Fotoaufnahmen der Gesichtsausdrücke zweitens bis sechstens (für die Untersuchung der intraindividuellen Variabilität) wurden die Aufnahmen auf den neutralen Gesichtsausdruck (1. Mimik) so überlagert, dass die Kopf- und Gesichtskonturen, die nicht bewegt wurden, deckungsgleich übereinander lagen (insbesondere Haaranatz, Kontur der Ohren und der Orbitae).

3.3.2 Durchführung der Messungen

Nun konnte die Verschiebung der einzelnen Messpunkte (Mitte des Punkts) bei den Gesichtsausdrücken „on command“ mit Hilfe eines interaktiven Tools horizontal und vertikal vermessen und die Länge (in Millimeter) des individuellen Verschiebungsvektors in der Frontalebene bestimmt werden. Die vertikale Komponente des Vektors war positiv, wenn sie nach kranial und negativ, wenn sie nach kaudal zeigte. Die horizontale Komponente des Vektors war positiv, wenn sie nach rechts und negativ, wenn sie nach links zeigte. Die Vermessungen dienten der Untersuchung der interindividuellen Variabilität der acht unterschiedlichen Gesichtsausdrücke und der Analyse der intraindividuellen Unterschiede am Beispiel des Gesichtsausdruckes „Lachen“. Die inter- und intraindividuellen Differenzen an den einzelnen Messpunkten wurden nach der gleichen Methode vermessen und analysiert.

3.3.3 Datenauswertung

Alle individuell bei den Probanden gemessenen Werte wurden normalisiert, also mit einem Korrekturfaktor multipliziert, der die unterschiedlichen Gesichtsgrößen ausglich. Dieser Korrekturfaktor wurde anhand der individuellen Abstände Trichion-Weichteilnathion für jeden Probanden individuell festgelegt, so dass sich alle gemessenen Ergebniswerte auf ein Normgesicht mit einem Trichion-Weichteilnathion-Abstand von 190 mm beziehen.

Die statistische Bearbeitung aller Daten erfolgte in der Statistiksoftware SPSS 10.0 (SPSS Inc., Chicago, USA). Für die vorliegende Studie bildeten die sich aus der Statistik ergebenden Mittelwerte (in Millimeter) und die Standardabweichungen (in Millimeter) für die vertikale und horizontale Ebene aller 23 Messpunkte die Grundlage.

3.4 Mimische Muskulatur

Der Weichteilmantel des Gesichts besteht hauptsächlich aus funktionsmäßig eng miteinander verwobener Muskulatur und Haut. Die unter der Gesichtshaut ausgebreitete Muskulatur ist nicht durch Muskelfaszien gegliedert. Sie ist an vielen Stellen mit der Haut durch kurze elastische Sehnen verwachsen, aber nur an wenigen Punkten des Gesichtsskelett angeheftet (Frick et al., 1992). Kontraktionen der Gesichtsmuskeln erzeugen deshalb Bewegungen der Gesichtshaut. Dies erklärt die große Bandbreite der möglichen Kombinationen und Aktivitätsänderungen, die bei den unterschiedlichen, individuellen Gesichtsausdrücken zu beobachten sind (Rufenacht, 1990).

Die mimische Muskulatur (= Mm. faciales) ist embryonal gesehen ein Abkömmling des 2. Kiemenbogens und wird vom N. facialis (VII. Hirnnerv) innerviert (Frick et al., 1992). Diese Muskeln sind überwiegend um die Öffnungen des Gesichts (Mund, Nase, Augen, Ohren) herum angeordnet (Abb. 13). Sie bilden einen flach ausgebreiteten, ringförmigen Schließmuskel. Dieser ist in sich verformbar und kann durch Muskelzüge, die an ihm ansetzen, gemeinsam mit der anhaftenden Haut, verzogen werden. An Nasenöffnung und Ohrmuschel ist die mimische Muskulatur nur rudimentär ausgebildet und daher funktionell unbedeutend.

Die mimische Muskulatur setzt zumeist nicht an einem Knochen an und betätigt somit auch kein Gelenk (Frick et al., 1992).

3.4.1 Musculus orbicularis oculi

Der M. orbicularis oculi (Abb. 13 / 1) besteht aus drei Teilen. Die Pars orbitalis sorgt für einen festen Lidschluss während die Pars palpebralis primär dem Lidschlagreflex dient. Die Funktion der Pars lacrimalis ist nicht vollständig geklärt, einerseits soll sie erweiternd auf den Tränensack wirken, andererseits soll sie seinen Inhalt auspressen.

Durch die engen Beziehung des Muskels zur Haut kommt es zu dem Auftreten von radiären Falten im Bereich des äußeren Lidwinkels. Diese Falten werden als Krähenfüße bezeichnet. Gedeutet wird die Funktion des M. orbicularis oculi im Gesichtsausdruck als besorgt sein und als zukunftsdenkend (Frick et al., 1992).

3.4.2 Musculus buccinator

Der M. buccinator (Abb. 13 / 2) zieht zum Mundwinkel und ermöglicht das Ausblasen der Luft, zieht die Mundwinkel nach außen und sorgt für die faltenlose Ausbreitung der Wangenschleimhaut. Er wirkt beim Lachen und Weinen mit, der Gesichtsausdruck zeigt Genugtuung. Er wird auch Trompetermuskel genannt (Frick et al., 1992).

3.4.3 Musculus orbicularis oris

Der M. orbicularis oris (Abb. 13 / 3) ist nur scheinbar ein Ringmuskel und besteht in Wirklichkeit aus vier Teilen. Bei schwacher Kontraktion werden die Lippen aneinandergelegt, während sie bei starker Kontraktion nach vorn geschoben und dadurch rüsselförmig vorgewölbt werden. Die Hauptwirkung dieses Muskels zeigt sich beim Essen und Trinken. In der Mimik entsteht bei seiner Kontraktion der Eindruck von Verslossenheit (Frick et al., 1992).

3.4.4 Musculus zygomaticus major

Der M. zygomaticus major (Abb. 13 / 4) hebt den Mundwinkel nach oben und lateral. In der Mimik drückt seine Kontraktion Lachen oder Vergnügen aus (Frick et al., 1992).

3.4.5 Musculus levator anguli oris

Der M. levator anguli oris (Abb. 13 / 5) hebt den Mundwinkel, und bei seiner Kontraktion drückt sich in der Mimik Selbstgefühl aus (Frick et al., 1992).

3.4.6 Musculus risorius

Der M. risorius (Abb. 13 / 6) erzeugt gemeinsam mit dem M. zygomaticus major die Nasolabialfalten. Er wird wie dieser als Lachmuskel bezeichnet. In der Mimik drückt sich seine Kontraktion so aus, dass ein Gesichtsausdruck des Handelns entsteht (Frick et al., 1992).

3.4.7 Musculus procerus

Der M. procerus (Abb. 13 / 7) entspringt vom Nasenrücken und strahlt in die Stirnhaut ein. Als relativ dünne Muskelplatte ruft er bei Kontraktion eine quere Falte über der Nasenwurzel hervor. In der Mimik des Gesichts drückt er eine Drohung aus. Im Alter kann diese Falte häufig erhalten bleiben (Frick et al., 1992).

3.4.8 Musculus corrugator supercilii

Der M. corrugator supercilii (Abb. 13 / 8) zieht die Haut der Augenbraue nach unten und medial und erzeugt eine längsverlaufende Furche. Er hat eine Schutzfunktion bei grellem Sonnenlicht und wird auch als der Muskel des pathetischen Schmerzes bezeichnet. Seine Kontraktion wird auch als Ausdruck einer Denkerstirn angesprochen (Frick et al., 1992).

3.4.9 Musculus levator labii superioris alaeque nasi

Der M. levator labii superioris alaeque nasi (Abb. 13 / 9) zieht nicht nur die Haut des Nasenflügels, sondern auch die der Oberlippe nach oben. Bei gleichzeitiger Kontraktion des rechten wie des linken Muskels wird die Nasenspitze etwas angehoben. Er wirkt als Heber der Nasenflügel und erweitert die Nasenlöcher. Bei stärkerer Kon-

traktion bildet er in der Haut eine Falte. Der Gesichtsausdruck, der dabei entsteht, drückt Missvergnügen und Unzufriedenheit aus (Frick et al., 1992).

3.4.10 Musculus nasalis

Der M. nasalis (Abb. 13 / 10) besteht aus einer Pars transversa und einer Pars alaris. Die Kontraktion dieses Muskels zieht den Nasenflügel nach abwärts und hinten und verkleinert das Nasenloch. In der Mimik ruft die Kontraktion dieses Muskels einen fröhlich erstaunten Gesichtsausdruck hervor und erweckt den Eindruck von Verlangen, Begehren und Lüsterheit (Frick et al., 1992).

3.4.11 Musculus depressor anguli oris

Der dreieckige M. depressor anguli oris (Abb. 13 / 11) zieht den Mundwinkel nach abwärts und wird als Muskel der Traurigkeit bezeichnet (Frick et al., 1992).

3.4.12 Musculus depressor labii inferioris

Der M. depressor labii inferioris (Abb. 13 / 12) senkt die Unterlippe und drückt Beständigkeit aus (Frick et al., 1992).

3.4.13 Musculus mentalis

Der M. mentalis (Abb. 13 / 13) erzeugt die Kinn-Lippen-Furche und drückt Zweifel und Unentschlossenheit aus (Frick et al., 1992).

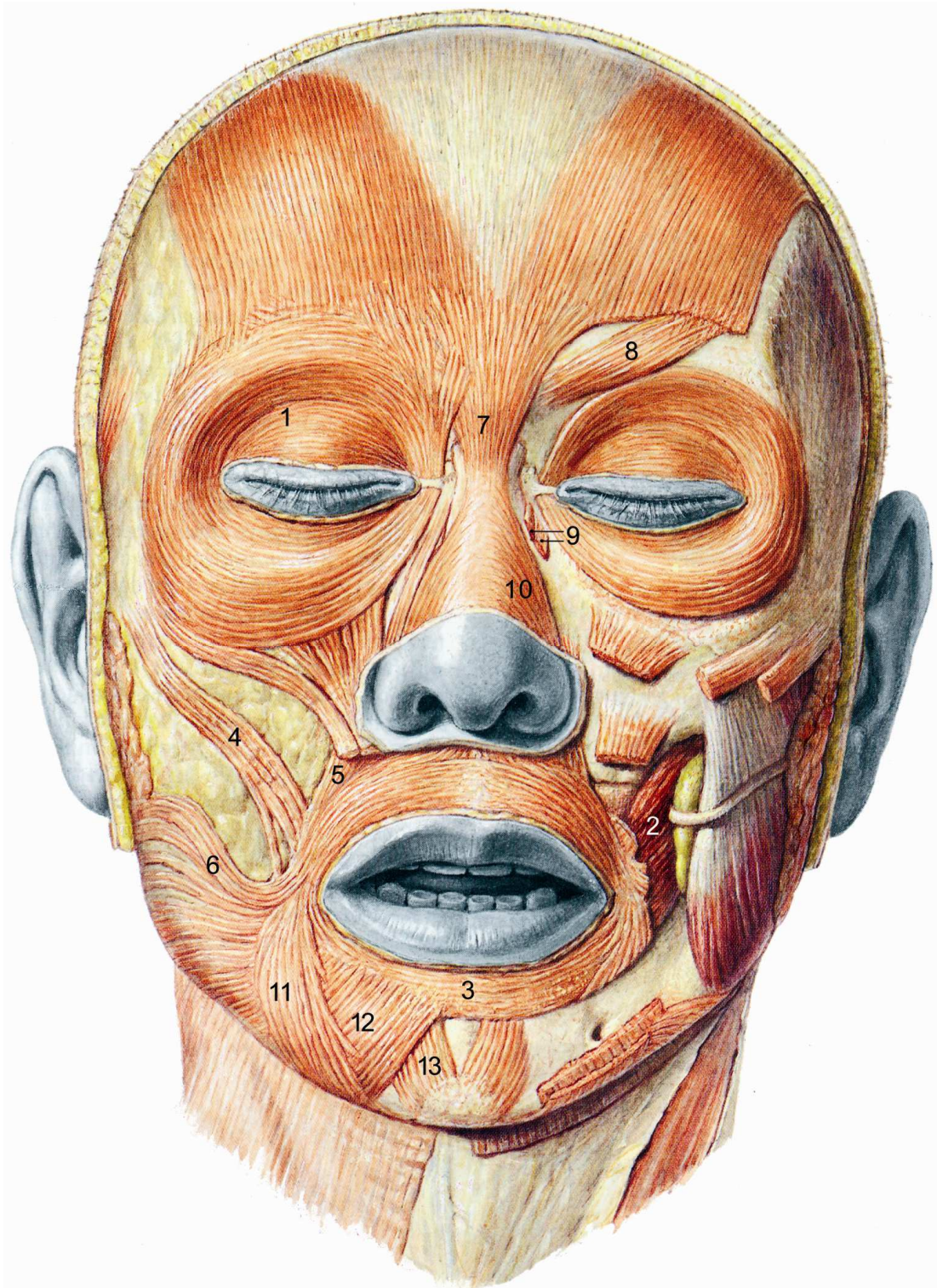


Abb. 13 Mimische Muskulatur des Gesichts nach Lippert

4 Ergebnisse

4.1 Interindividuelle Variabilität

Die Ergebnisse der acht unterschiedlichen Gesichtsausdrücke beziehen sich auf den durchschnittlichen Betrag des Verschiebungsvektors an den 23 Messpunkten der jeweiligen mimischen Expression „on command“ bei fünfzig Probanden. Die Richtung des Verschiebungsvektors wird durch seine horizontale und vertikale Komponente definiert. Die einzelnen Probandengesichter sind in das obere, mittlere und untere Gesichtsdrittel unterteilt, um darstellen zu können in welchem Drittel die Dynamik der mimischen Expression am deutlichsten zu Tage tritt (Abb. 12).

Die Mittelwerte und die Standardabweichungen (in Millimeter) in den beiden Ebenen sind die Grundlage der folgenden Ausführungen. Ob es sich um eine positive oder negative Abweichung in der vertikalen und horizontalen Ebene handelt, ist den Abbildungen 14 bis 21 mit den einzelnen Gesichtsausdrücken zu entnehmen.

4.1.1 Gesichtsausdruck „Augenbrauen zusammenziehen“

Bei dem Gesichtsausdruck „Augenbrauen zusammenziehen“ (Abb. 14) belief sich der Betrag des Verschiebungsvektors bei den 50 Probanden über alle 23 Messpunkte in der vertikalen Ebene auf durchschnittlich 0,94 mm ($n = 1150$) und in der horizontalen Ebene auf durchschnittlich 0,95 mm ($n = 1150$), wobei große regionale Unterschiede bestanden.

Die durchschnittliche Abweichung der Messpunkte betrug im oberen Gesichtsdrittel in der Vertikalen 2,31 mm ($n = 350$) und in der Horizontalen 2,54 mm ($n = 350$). Dabei wurden die größten Werte mit 4,66 mm (vertikal) und 5,32 mm (horizontal) an der rechten zentralen Augenbraue und mit 4,46 mm (vertikal) und 5,14 mm (horizontal) an der linken zentralen Augenbraue verzeichnet. Die geringste durchschnittliche Diskrepanz befand sich mit 0,82 mm (vertikal) an der rechten äußeren Augenbraue und mit 0,23 mm (horizontal) am Weichteilnasion. Die restlichen Messpunkte im oberen Gesichtsdrittel sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

Hingegen lagen die Durchschnittswerte im mittleren und unteren Gesichtsdrittel in beiden Ebenen deutlich niedriger. Für das mittlere Drittel wurde in der Vertikalen eine durchschnittliche Abweichung von 0,52 mm ($n = 300$) und in der Horizontalen von

0,48 mm (n = 300) gemessen. Für das untere Drittel ergab sich in der Vertikalen eine durchschnittliche Abweichung von 0,24 mm (n = 500) und in der Horizontalen von 0,12 mm (n = 500). Die Durchschnittswerte des mittleren Gesichtsdrittels lagen in der vertikalen Ebene zwischen 0,21 mm (n = 50) am Subnasalpunkt und 0,83 mm (n = 50) am linken Infraorbitalpunkt und in der horizontalen Ebene zwischen 0,12 mm (n = 50) ebenfalls am Subnasalpunkt und 1,09 mm (n = 50) ebenfalls am linken Infraorbitalpunkt. Für das untere Gesichtsdrittel ergaben sich Durchschnittswerte, die in der vertikalen Ebene zwischen 0,16 mm (n = 50) am rechten Mundwinkel und 0,33 mm (n = 50) an der rechten Wange und in der horizontalen Ebene zwischen 0,03 mm (n = 100) am rechten Mundwinkel und Philtrum und 0,30 mm (n = 50) an der linken Wange lagen. Die Mittelwerte, inklusive der jeweiligen Standardabweichungen, aller einzelnen Messpunkte sind in der Tabelle 1 zusammengefasst.

Tab. 1 Durchschnittliches Integral des Verschiebungsvektors an den einzelnen Messpunkten (in mm) beim Gesichtsausdruck „Augenbrauen zusammenziehen“

| Messpunkt | Durchschnittliche Abweichung in mm (Mittelwert und Standardabweichung) | | | | | |
|----------------------------|--|----|----------|------|------------|------|
| | Nr. | n | vertikal | | horizontal | |
| | | | MW | SD | MW | SD |
| rechte äußere Augenbraue | 1 | 50 | -0,82 | 0,72 | +1,71 | 1,00 |
| linke äußere Augenbraue | 7 | 50 | -0,92 | 0,80 | -1,81 | 1,08 |
| rechte zentrale Augenbraue | 2 | 50 | -4,66 | 1,89 | +5,32 | 1,65 |
| linke zentrale Augenbraue | 6 | 50 | -4,46 | 1,87 | -5,14 | 1,58 |
| rechte innere Augenbraue | 3 | 50 | -2,20 | 1,50 | +1,86 | 0,97 |
| linke innere Augenbraue | 5 | 50 | -2,17 | 1,40 | -1,74 | 1,07 |
| Weichteilnasion | 4 | 50 | -0,94 | 0,92 | -0,23 | 0,40 |
| | | | | | | |
| rechter Infraorbitalpunkt | 8 | 50 | +0,76 | 0,80 | +1,01 | 0,89 |
| linker Infraorbitalpunkt | 9 | 50 | +0,83 | 0,83 | -1,09 | 1,24 |
| rechter Nasenflügel | 10 | 50 | -0,62 | 1,00 | +0,31 | 0,56 |
| linker Nasenflügel | 13 | 50 | -0,40 | 0,74 | -0,21 | 0,43 |
| Nasenspitze | 11 | 50 | -0,33 | 0,84 | -0,17 | 0,43 |
| Subnasale | 12 | 50 | -0,21 | 0,50 | +0,12 | 0,37 |
| | | | | | | |
| rechte Wange | 14 | 50 | +0,33 | 0,54 | +0,25 | 0,48 |
| linke Wange | 19 | 50 | +0,31 | 0,51 | -0,30 | 0,54 |
| rechter Mundwinkel | 15 | 50 | +0,16 | 0,47 | -0,03 | 0,14 |
| linker Mundwinkel | 18 | 50 | +0,22 | 0,56 | -0,12 | 0,34 |
| rechtes Philtrum | 16 | 50 | +0,21 | 0,60 | -0,03 | 0,14 |
| linkes Philtrum | 17 | 50 | +0,17 | 0,53 | -0,05 | 0,22 |
| Unterlippe rechts | 20 | 50 | +0,26 | 0,55 | +0,09 | 0,26 |
| Unterlippe mittig | 21 | 50 | +0,28 | 0,57 | -0,12 | 0,33 |
| Unterlippe links | 22 | 50 | +0,27 | 0,63 | -0,14 | 0,39 |
| Weichteilpogonion | 23 | 50 | +0,18 | 0,61 | +0,07 | 0,33 |

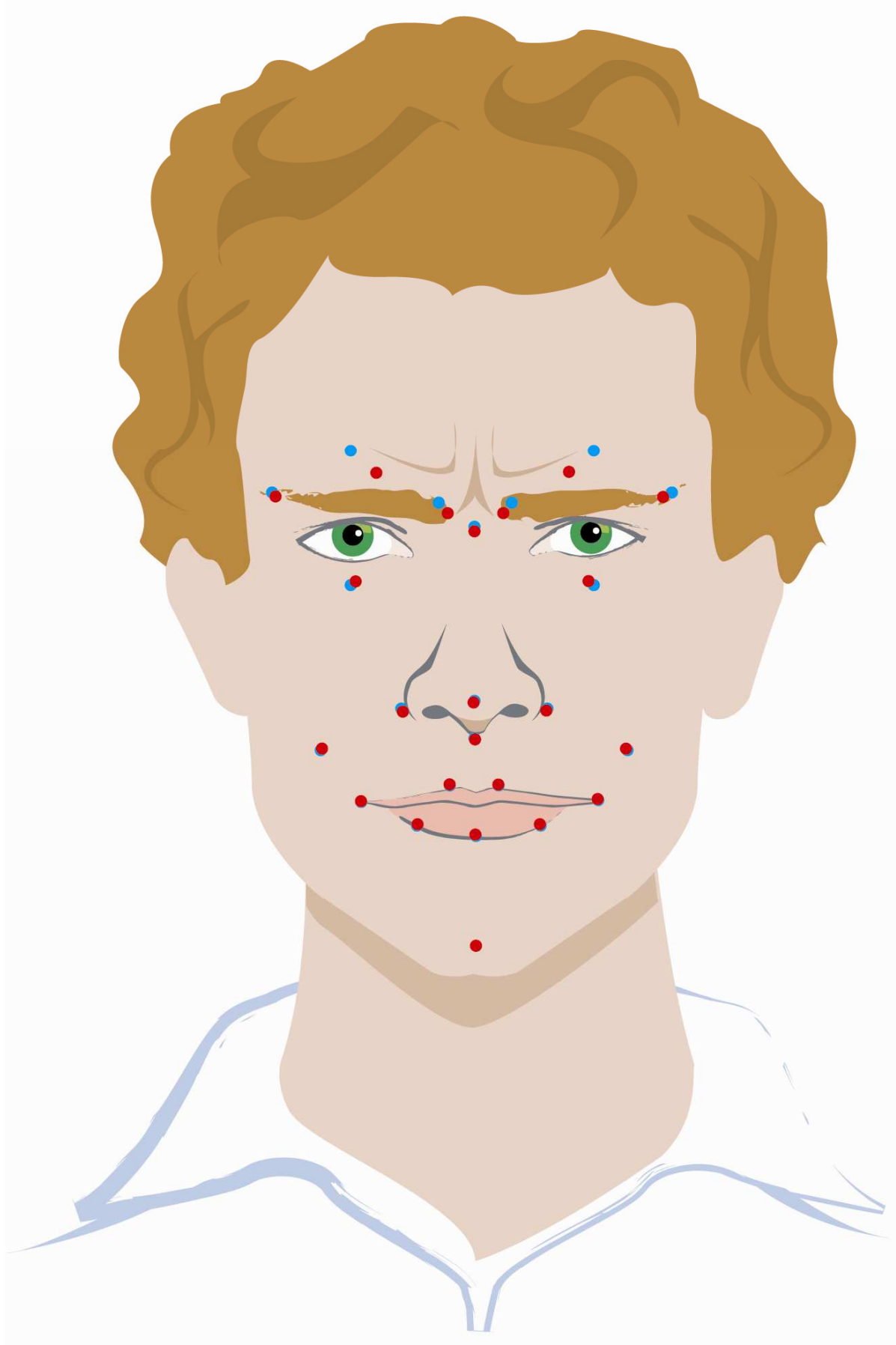


Abb. 14 Gesichtsausdruck „Augenbrauen zusammenziehen“

4.1.2 Gesichtsausdruck „Nase rümpfen“

Bei dem Gesichtsausdruck „Nase rümpfen“ (Abb. 15) belief sich der Betrag des Verschiebungsvektors bei den 50 Probanden über alle 23 Messpunkte in der vertikalen Ebene auf durchschnittlich 3,45 mm ($n = 1150$) und in der horizontalen Ebene auf durchschnittlich 1,14 mm ($n = 1150$), wobei große Unterschiede in den beiden Ebenen bestanden.

Die durchschnittliche Abweichung der Messpunkte in der Vertikalen war mit 2,52 mm ($n = 350$) im oberen Gesichtsdrittel, mit 2,95 mm ($n = 300$) im mittleren Gesichtsdrittel und mit 4,40 mm ($n = 500$) im unteren Gesichtsdrittel signifikant höher als in der Horizontalen. In der horizontalen Ebene kam es zu einer durchschnittlichen Diskrepanz von 1,19 mm ($n = 350$) im oberen Drittel, von 0,96 mm ($n = 300$) im mittleren Drittel und von 1,20 mm ($n = 500$) im unteren Drittel.

Im oberen Gesichtsdrittel lag der Betrag des Verschiebungsvektors in der vertikalen Ebene durchschnittlich zwischen 1,05 mm ($n = 50$) an der rechten äußere Augenbraue und 3,48 mm ($n = 100$) an der rechten zentralen Augenbraue und der linken inneren Augenbraue. Für die horizontale Ebene wurden Durchschnittswerte zwischen 0,41 mm ($n = 50$) am Weichteilnasion und 2,50 mm ($n = 50$) an der linken zentralen Augenbraue gemessen. Auffällig war, dass in der vertikalen Richtung besonders die Werte der rechten, sowie linken inneren und zentralen Augenbraue mit durchschnittlich über 3,00 mm beobachtet wurden. Hingegen wurden in der horizontalen Richtung Durchschnittswerte von über 2,00 mm für die rechte und linke zentrale Augenbraue und um 0,7 mm für die rechte und linke innere Augenbraue registriert. Im mittleren Gesichtsdrittel war der Betrag des Verschiebungsvektors in der vertikalen Ebene durchschnittlich zwischen 1,74 mm ($n = 50$) an der Nasenspitze und 4,47 mm ($n = 50$) am rechten Nasenflügel. Für die horizontale Ebene ergaben sich Durchschnittswerte zwischen 0,54 mm ($n = 100$) an der Nasenspitze und am Subnasale und 1,73 mm ($n = 50$) am linken Infraorbitalpunkt.

Im unteren Gesichtsdrittel wurden für den Betrag des Verschiebungsvektors in der vertikalen Ebene durchschnittlich Werte zwischen 2,66 mm ($n = 50$) am Weichteilpogonion und 5,49 mm ($n = 50$) am linken Mundwinkel verzeichnet. Für die horizontale Ebene ergaben sich Durchschnittswerte zwischen 0,57 mm ($n = 50$) am Weichteilpogonion und 1,72 mm ($n = 50$) an der rechten Unterlippe.

Neben den Wangen-, Philtrum- und Unterlippenpunkten, die eine durchschnittliche Abweichung von 4,35 mm (n = 350) zeigten, wurden im unteren Gesichtsdrittel die größten Werte an beiden Mundwinkeln mit durchschnittlich 5,48 mm (n = 100) beobachtet.

Signifikant war, dass bei der vertikalen Abweichung aller 23 Messpunkte die Werte am rechten und linken Mundwinkel mit über 5,00 mm und bei der horizontalen Abweichung die Werte an der rechten und linken zentralen Augenbraue mit über 2,00 mm insgesamt am höchsten waren.

Die Mittelwerte, inklusive der jeweiligen Standardabweichungen, aller einzelnen Messpunkte sind in der Tabelle 2 zusammengefasst.

Tab. 2 Durchschnittliches Integral des Verschiebungsvektors an den einzelnen Messpunkten (in mm) beim Gesichtsausdruck „Nase rümpfen“

| Messpunkt | Durchschnittliche Abweichung in mm (Mittelwert und Standardabweichung) | | | | | |
|----------------------------|--|----|----------|------|------------|------|
| | Nr. | n | vertikal | | horizontal | |
| | | | MW | SD | MW | SD |
| rechte äußere Augenbraue | 1 | 50 | -1,05 | 1,15 | +0,80 | 1,12 |
| linke äußere Augenbraue | 7 | 50 | -1,23 | 1,30 | -0,95 | 1,24 |
| rechte zentrale Augenbraue | 2 | 50 | -3,48 | 2,40 | +2,26 | 2,33 |
| linke zentrale Augenbraue | 6 | 50 | -3,42 | 2,29 | -2,50 | 2,22 |
| rechte innere Augenbraue | 3 | 50 | -3,33 | 2,14 | +0,74 | 0,74 |
| linke innere Augenbraue | 5 | 50 | -3,48 | 2,33 | -0,71 | 0,71 |
| Weichteilnasion | 4 | 50 | -1,62 | 1,54 | -0,41 | 0,52 |
| | | | | | | |
| rechter Infraorbitalpunkt | 8 | 50 | +3,41 | 1,84 | +1,72 | 1,52 |
| linker Infraorbitalpunkt | 9 | 50 | +3,33 | 1,78 | -1,73 | 1,46 |
| rechter Nasenflügel | 10 | 50 | +4,47 | 4,45 | +0,70 | 0,85 |
| linker Nasenflügel | 13 | 50 | +3,00 | 3,80 | -0,56 | 0,98 |
| Nasenspitze | 11 | 50 | +1,74 | 1,90 | +0,54 | 0,62 |
| Subnasale | 12 | 50 | +1,76 | 1,59 | +0,54 | 0,53 |
| | | | | | | |
| rechte Wange | 14 | 50 | +4,40 | 2,47 | +1,44 | 1,17 |
| linke Wange | 19 | 50 | +4,45 | 2,63 | -1,47 | 1,45 |
| rechter Mundwinkel | 15 | 50 | +5,47 | 2,90 | +1,34 | 1,45 |
| linker Mundwinkel | 18 | 50 | +5,49 | 2,91 | -1,09 | 0,97 |
| rechtes Philtrum | 16 | 50 | +4,79 | 3,02 | +1,12 | 0,98 |
| linkes Philtrum | 17 | 50 | +4,85 | 3,02 | +0,91 | 0,72 |
| Unterlippe rechts | 20 | 50 | +3,90 | 2,79 | +1,72 | 1,58 |
| Unterlippe mittig | 21 | 50 | +4,24 | 3,29 | +0,84 | 0,86 |
| Unterlippe links | 22 | 50 | +3,80 | 2,75 | -1,49 | 1,33 |
| Weichteilpogonion | 23 | 50 | +2,66 | 2,75 | -0,57 | 0,65 |

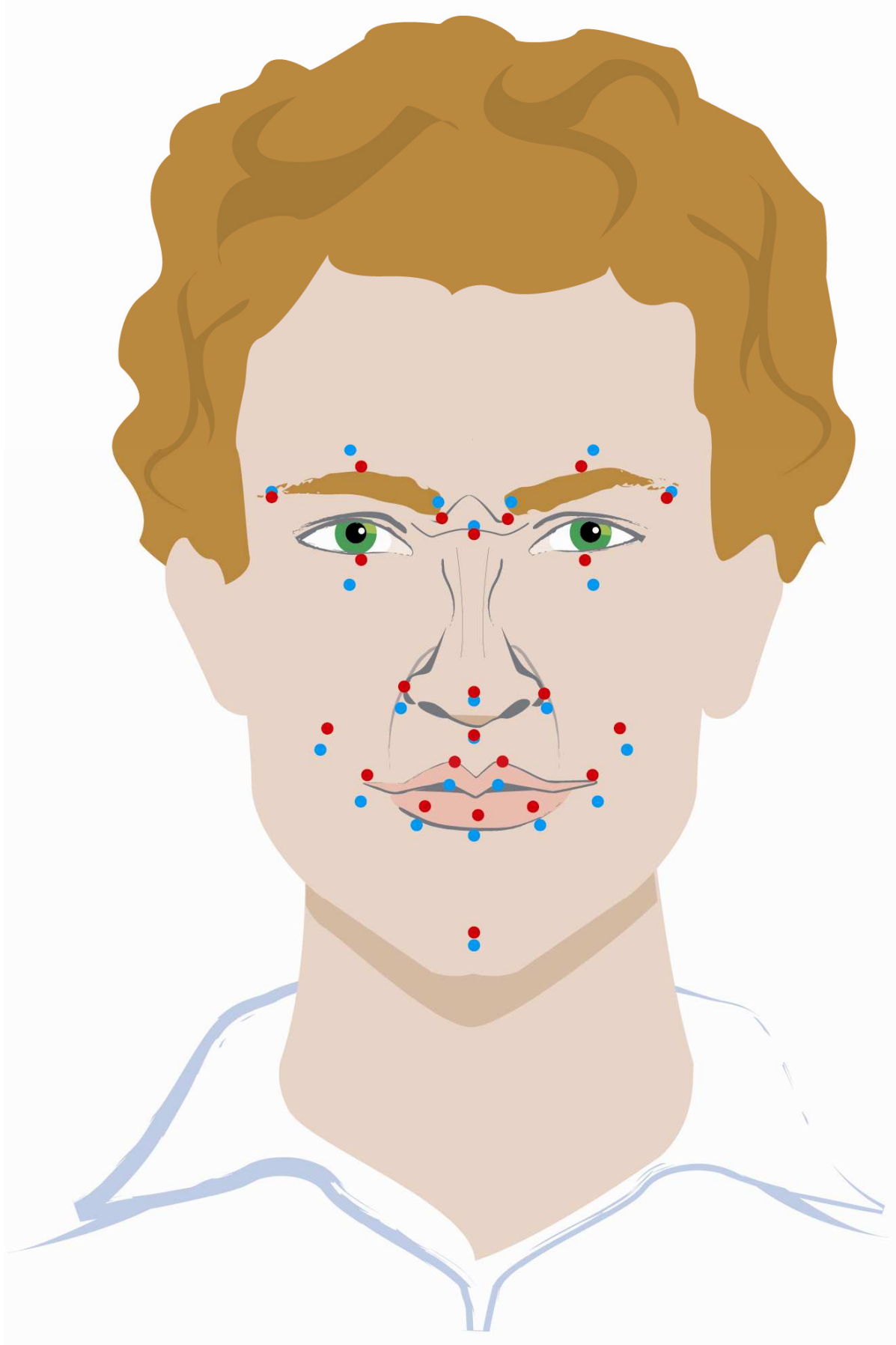


Abb. 15 Gesichtsausdruck „Nase rümpfen“

4.1.3 Gesichtsausdruck „Lachen“

Bei dem Gesichtsausdruck „Lachen“ (Abb. 16) belief sich der Betrag des Verschiebungsvektors bei den 50 Probanden über alle 23 Messpunkte in der vertikalen Ebene auf durchschnittlich 3,05 mm ($n = 1150$) und in der horizontalen Ebene auf durchschnittlich 1,74 mm ($n = 1150$), wobei große regionale Unterschiede bestanden.

Während die Abweichung der Messpunkte beim Lachen im oberen Gesichtsdrittel in der Vertikalen durchschnittlich 0,52 mm ($n = 350$) und in der Horizontalen 0,15 mm ($n = 350$) betrug, lagen die Durchschnittswerte im mittleren Gesichtsdrittel vertikal mit 3,37 mm ($n = 300$) und horizontal mit 1,56 mm ($n = 300$), und im unteren Gesichtsdrittel vertikal mit 4,63 mm ($n = 500$) und horizontal mit 2,97 mm ($n = 500$) deutlich höher.

Im oberen Gesichtsdrittel lag der Betrag des Verschiebungsvektors für die vertikale Abweichung durchschnittlich zwischen 0,25 mm ($n = 50$) am Weichteilnasion und 0,86 mm ($n = 50$) an der linken zentralen Augenbraue. Für die horizontale Abweichung ergaben sich Durchschnittswerte zwischen 0,06 mm ($n = 50$) an der linken inneren Augenbraue und 0,33 mm ($n = 50$) an der linken zentralen Augenbraue. Die Durchschnittswerte für die restlichen Messpunkte im oberen Gesichtsdrittel sind der Tabelle 3 zu entnehmen.

Im mittleren Gesichtsdrittel waren die Werte in der Vertikalen durchschnittlich zwischen 0,71 mm ($n = 50$) an der Nasenspitze und 5,77 mm ($n = 50$) am rechten Nasenflügelansatz. Für die horizontale Abweichung ergaben sich Durchschnittswerte zwischen 0,46 mm ($n = 50$) ebenfalls an der Nasenspitze und 3,29 mm ($n = 50$) ebenfalls am rechten Nasenflügelansatz. Neben den beiden infraorbital gelegenen Messpunkten, die eine durchschnittliche vertikale Abweichung von 3,41 mm ($n = 100$) zeigten, wurden die größten vertikalen Werte an beiden Nasenflügelansätzen mit durchschnittlich 5,65 mm ($n = 100$) beobachtet. Die höchsten Werte für die horizontale Abweichung wurden mit durchschnittlich 3,28 mm ($n = 100$) ebenfalls an diesen Gesichtspunkten registriert.

Im unteren Gesichtsdrittel wurden für den durchschnittlichen vertikalen Betrag des Verschiebungsvektors Werte zwischen 1,83 mm ($n = 50$) an der rechten Unterlippe und 8,23 mm ($n = 50$) am rechten Mundwinkel verzeichnet. Große Durchschnittswerte wurden dabei an beiden Mundwinkeln mit durchschnittlich 7,99 mm ($n = 100$), an den Wangen mit durchschnittlich 5,70 mm ($n = 100$) und im Philtrumbereich der

Oberlippe mit durchschnittlich 4,92 mm (n = 100) gemessen. Für die horizontale Ebene ergaben sich Durchschnittswerte zwischen 0,01 mm (n = 50) am Weichteilposition und 5,46 mm (n = 50) am linken Mundwinkel. Neben den beiden Wangenpunkten, die eine durchschnittliche horizontale Abweichung von 4,95 mm (n = 100) zeigten, wurden im unteren Gesichtsdrittel in der Horizontalen die größten Werte mit durchschnittlich über 5,00 mm an beiden Mundwinkeln beobachtet. Die Mittelwerte, inklusive der jeweiligen Standardabweichungen, aller einzelnen Messpunkte sind in der Tabelle 3 zusammengefasst.

Tab. 3 Durchschnittliches Integral des Verschiebungsvektors an den einzelnen Messpunkten (in mm) beim Gesichtsausdruck „Lachen“

| Messpunkt | Durchschnittliche Abweichung in mm (Mittelwert und Standardabweichung) | | | | | |
|----------------------------|--|----|----------|------|------------|------|
| | Nr. | n | vertikal | | horizontal | |
| | | | MW | SD | MW | SD |
| rechte äußere Augenbraue | 1 | 50 | -0,49 | 0,80 | -0,15 | 0,34 |
| linke äußere Augenbraue | 7 | 50 | -0,63 | 0,94 | +0,13 | 0,29 |
| rechte zentrale Augenbraue | 2 | 50 | -0,70 | 1,00 | -0,18 | 0,35 |
| linke zentrale Augenbraue | 6 | 50 | -0,86 | 1,00 | +0,33 | 0,63 |
| rechte innere Augenbraue | 3 | 50 | -0,37 | 0,69 | -0,13 | 0,35 |
| linke innere Augenbraue | 5 | 50 | -0,36 | 0,68 | 0,06 | 0,18 |
| Weichteilnasion | 4 | 50 | -0,25 | 0,56 | 0,07 | 0,23 |
| | | | | | | |
| rechter Infraorbitalpunkt | 8 | 50 | +3,53 | 1,63 | -0,81 | 0,67 |
| linker Infraorbitalpunkt | 9 | 50 | +3,29 | 1,37 | +0,90 | 0,70 |
| rechter Nasenflügel | 10 | 50 | +5,77 | 2,19 | -3,29 | 1,45 |
| linker Nasenflügel | 13 | 50 | +5,53 | 2,02 | +3,27 | 1,12 |
| Nasenspitze | 11 | 50 | -0,71 | 0,81 | -0,46 | 0,57 |
| Subnasale | 12 | 50 | +1,42 | 1,13 | -0,67 | 0,78 |
| | | | | | | |
| rechte Wange | 14 | 50 | +5,97 | 2,34 | -4,91 | 1,76 |
| linke Wange | 19 | 50 | +5,44 | 2,04 | +4,99 | 1,70 |
| rechter Mundwinkel | 15 | 50 | +8,23 | 3,04 | -5,31 | 2,30 |
| linker Mundwinkel | 18 | 50 | +7,75 | 2,91 | +5,46 | 2,33 |
| rechtes Philtrum | 16 | 50 | +4,96 | 1,78 | -2,03 | 1,51 |
| linkes Philtrum | 17 | 50 | +4,88 | 1,87 | +1,79 | 1,48 |
| Unterlippe rechts | 20 | 50 | -1,83 | 1,48 | -2,46 | 1,31 |
| Unterlippe mittig | 21 | 50 | -2,47 | 2,12 | -0,05 | 0,94 |
| Unterlippe links | 22 | 50 | -1,96 | 1,45 | +2,67 | 1,45 |
| Weichteilpogonion | 23 | 50 | -2,82 | 2,31 | 0,01 | 0,86 |

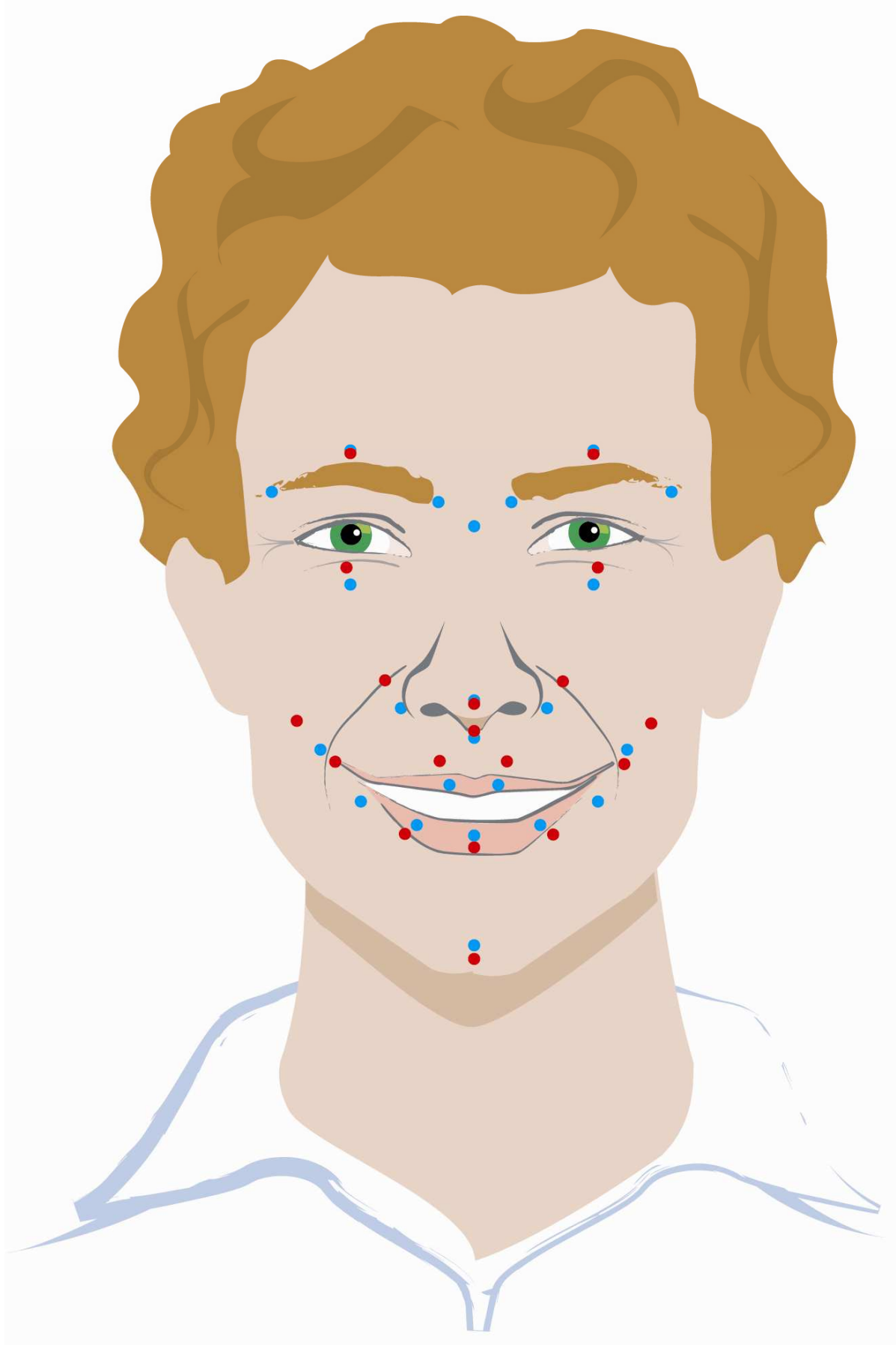


Abb. 16 Gesichtsausdruck „Lachen“

4.1.4 Gesichtsausdruck „Lippen spitzen“

Bei dem Gesichtsausdruck „Lippen spitzen“ (Abb. 17) belief sich der Betrag des Verschiebungsvektors bei den 50 Probanden über alle 23 Messpunkte in der vertikalen Ebene auf durchschnittlich 1,65 mm ($n = 1150$) und in der horizontalen Ebene auf durchschnittlich 1,68 mm ($n = 1150$), wobei große regionale Unterschiede bestanden.

Während die Abweichung der Messpunkte beim Lippen spitzen im oberen Gesichtsdrittel in der Vertikalen durchschnittlich 0,24 mm ($n = 350$) und in der Horizontalen 0,10 mm ($n = 350$) und die Durchschnittswerte im mittleren Gesichtsdrittel vertikal 1,04 mm ($n = 300$) und horizontal 0,98 mm ($n = 300$) betrug, lagen die Durchschnittswerte im unteren Gesichtsdrittel vertikal mit 3,00 mm ($n = 500$) und horizontal mit 3,20 mm ($n = 500$) deutlich höher.

Im oberen Gesichtsdrittel lag der Betrag des Verschiebungsvektors für die vertikale Abweichung durchschnittlich zwischen 0,15 mm ($n = 50$) an der linken äußeren Augenbraue und 0,37 mm ($n = 50$) an der linken zentralen Augenbraue. Für die horizontale Abweichung wurden Durchschnittswerte zwischen 0,05 mm ($n = 50$) ebenfalls an der linken äußeren Augenbraue und 0,20 mm ($n = 50$) ebenfalls an der linken zentralen Augenbraue gemessen. Die Durchschnittswerte für die restlichen Messpunkte im oberen Gesichtsdrittel sind der Tabelle 4 zu entnehmen.

Im mittleren Gesichtsdrittel lagen die Werte in der Vertikalen durchschnittlich zwischen 0,75 mm ($n = 50$) am Subnasale und 1,67 mm ($n = 50$) an der Nasenspitze. Für die horizontale Abweichung ergaben sich Durchschnittswerte zwischen 0,38 mm ($n = 50$) am Subnasale und 1,50 mm ($n = 50$) am linken Nasenflügelansatz.

Im unteren Gesichtsdrittel wurden für den durchschnittlichen Betrag des Verschiebungsvektors in der vertikalen Ebene Werte zwischen 1,04 mm ($n = 50$) an der rechten Wange und 6,21 mm ($n = 50$) an der mittigen Unterlippe verzeichnet. Große Durchschnittswerte waren dabei an den drei Unterlippen-Messpunkten mit durchschnittlich 5,56 mm ($n = 150$), am Weichteilpogonion mit durchschnittlich 3,00 mm ($n = 50$) und im Philtrumbereich der Oberlippe mit durchschnittlich 2,13 mm ($n = 100$). Für die horizontale Ebene ergaben sich Durchschnittswerte zwischen 0,84 mm ($n = 50$) am Weichteilpogonion und 5,43 mm ($n = 50$) am linken Mundwinkel. Neben den beiden Wangenpunkten, die eine durchschnittliche horizontale Abweichung von 4,06 mm ($n = 100$), und der rechten und linken Unterlippe, die eine

durchschnittliche Abweichung von 4,01 mm (n = 100) zeigten, wurden im unteren Gesichtsdrittel in der Horizontalen die größten Werte mit durchschnittlich über 5,00 mm an beiden Mundwinkeln beobachtet. Die Mittelwerte, (n = 50) inklusive der jeweiligen Standardabweichungen, aller einzelnen Messpunkte sind in der Tabelle 4 zusammengefasst.

Tab. 4 Durchschnittliches Integral des Verschiebungsvektors an den einzelnen Messpunkten (in mm) beim Gesichtsausdruck „Lippen spitzen“

| Messpunkt | Durchschnittliche Abweichung in mm (Mittelwert und Standardabweichung) | | | | | |
|----------------------------|--|----|----------|------|------------|------|
| | Nr. | n | vertikal | | horizontal | |
| | | | MW | SD | MW | SD |
| rechte äußere Augenbraue | 1 | 50 | -0,25 | 0,59 | +0,12 | 0,40 |
| linke äußere Augenbraue | 7 | 50 | -0,15 | 0,50 | 0,05 | 0,18 |
| rechte zentrale Augenbraue | 2 | 50 | -0,33 | 0,99 | 0,09 | 0,26 |
| linke zentrale Augenbraue | 6 | 50 | -0,37 | 0,98 | -0,20 | 0,53 |
| rechte innere Augenbraue | 3 | 50 | -0,22 | 0,65 | 0,06 | 0,22 |
| linke innere Augenbraue | 5 | 50 | -0,20 | 0,61 | -0,11 | 0,32 |
| Weichteilnasion | 4 | 50 | -0,20 | 0,46 | 0,09 | 0,28 |
| | | | | | | |
| rechter Infraorbitalpunkt | 8 | 50 | +0,94 | 0,98 | +1,06 | 0,84 |
| linker Infraorbitalpunkt | 9 | 50 | +0,85 | 0,85 | -0,98 | 0,79 |
| rechter Nasenflügel | 10 | 50 | -1,09 | 1,25 | +1,30 | 1,20 |
| linker Nasenflügel | 13 | 50 | -0,95 | 1,08 | -1,50 | 1,06 |
| Nasenspitze | 11 | 50 | -1,67 | 1,21 | -0,68 | 0,89 |
| Subnasale | 12 | 50 | -0,75 | 0,79 | -0,38 | 0,64 |
| | | | | | | |
| rechte Wange | 14 | 50 | -1,04 | 0,96 | +4,13 | 1,73 |
| linke Wange | 19 | 50 | -1,11 | 1,03 | -4,00 | 1,61 |
| rechter Mundwinkel | 15 | 50 | -1,96 | 1,57 | +5,26 | 2,06 |
| linker Mundwinkel | 18 | 50 | -1,96 | 1,98 | -5,43 | 1,97 |
| rechtes Philtrum | 16 | 50 | +2,11 | 1,82 | +1,29 | 1,22 |
| linkes Philtrum | 17 | 50 | +2,16 | 1,77 | -1,45 | 1,01 |
| Unterlippe rechts | 20 | 50 | -5,37 | 2,07 | +3,85 | 1,81 |
| Unterlippe mittig | 21 | 50 | -6,21 | 2,83 | -1,55 | 3,79 |
| Unterlippe links | 22 | 50 | -5,12 | 2,06 | -4,18 | 1,71 |
| Weichteilpogonion | 23 | 50 | -3,00 | 2,21 | -0,84 | 0,70 |

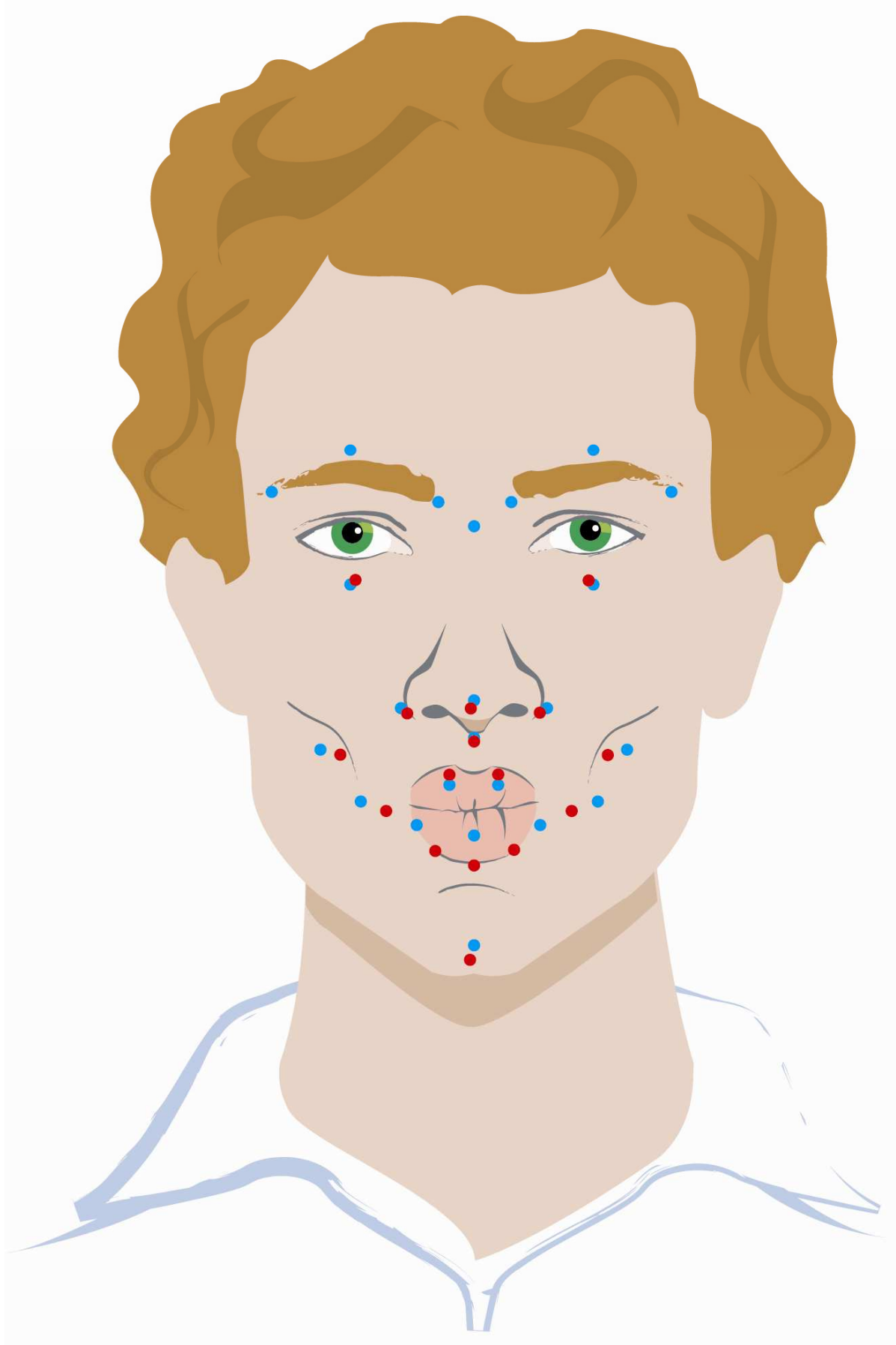


Abb. 17 Gesichtsausdruck „Lippen spitzen“

4.1.5 Gesichtsausdruck „Augen weit öffnen“

Bei dem Gesichtsausdruck „Augen weit öffnen“ (Abb. 18) belief sich der Betrag des Verschiebungsvektors bei den 50 Probanden über alle 23 Messpunkte in der vertikalen Ebene auf durchschnittlich 2,18 mm ($n = 1150$) und in der horizontalen Ebene auf durchschnittlich 0,58 mm ($n = 1150$), wobei große regionale Unterschiede bestanden.

Während die Abweichung der Messpunkte beim weiten Öffnen der Augen im mittleren Gesichtsdrittel in der Vertikalen durchschnittlich 0,67 mm ($n = 300$) und in der Horizontalen 0,41 mm ($n = 300$) und die Durchschnittswerte im unteren Gesichtsdrittel vertikal 0,66 mm ($n = 500$) und horizontal 0,47 mm ($n = 500$) betrug, lagen die Durchschnittswerte im oberen Gesichtsdrittel mit 5,66 mm ($n = 350$) in der vertikalen Ebene deutlich höher. Die durchschnittliche horizontale Komponente war in diesem Gesichtsdrittel nur bei 0,89 mm ($n = 350$).

Im oberen Gesichtsdrittel lag der Betrag des Verschiebungsvektors für die vertikale Abweichung durchschnittlich zwischen 3,56 mm ($n = 50$) am Weichteilnasion und 8,23 mm ($n = 50$) an der rechten zentralen Augenbraue. Für die horizontale Abweichung wurden Durchschnittswerte zwischen 0,40 mm ($n = 50$) ebenfalls am Weichteilnasion und 1,55 mm ($n = 50$) erneut an der rechten zentralen Augenbraue gemessen.

Die höchsten durchschnittlichen Werte in der vertikalen Ebene zeigten sich an der rechten zentralen Augenbraue mit 8,23 mm ($n = 50$) und an der linken zentralen Augenbraue mit 7,85 mm ($n = 50$). Danach folgte die rechte innere Augenbraue mit einem durchschnittlichen Wert von 6,18 mm ($n = 50$) und die linke innere Augenbraue mit einem Wert von 6,14 mm ($n = 50$). In der horizontalen Ebene ließen sich ebenfalls die höchsten Durchschnittswerte an der rechten und linken zentralen Augenbraue mit durchschnittlich über 1,00 mm ($n = 100$) verzeichnen. Die Durchschnittswerte für die restlichen Messpunkte im oberen Gesichtsdrittel sind der Tabelle 5 zu entnehmen.

Im mittleren Gesichtsdrittel lagen die Werte in der Vertikalen durchschnittlich zwischen 0,44 mm ($n = 50$) am Subnasale und 1,09 mm ($n = 50$) an der Nasenspitze. Für die horizontale Abweichung ließen sich Durchschnittswerte zwischen 0,17 mm ($n = 50$) ebenfalls am Subnasale und 0,63 mm ($n = 50$) am linken Infraorbitalpunkt feststellen.

Im unteren Gesichtsdrittel lag der durchschnittliche Betrag des Verschiebungsvektors in der vertikalen Ebene zwischen 0,43 mm (n = 50) am rechten Philtrum und 0,85 mm (n = 50) an der linken Unterlippe. Für die horizontale Ebene ergaben sich Durchschnittswerte zwischen 0,27 mm (n = 50) an der Unterlippenmitte und 0,87 mm (n = 50) an der linken Wange. Die Mittelwerte, inklusive der jeweiligen Standardabweichungen, aller einzelnen Messpunkte sind in der Tabelle 5 zusammengefasst.

Tab. 5 Durchschnittliches Integral des Verschiebungsvektors an den einzelnen Messpunkten (in mm) beim Gesichtsausdruck „Augen weit öffnen“

| Messpunkt | Durchschnittliche Abweichung in mm (Mittelwert und Standardabweichung) | | | | | |
|----------------------------|--|----|----------|------|------------|------|
| | Nr. | n | vertikal | | horizontal | |
| | | | MW | SD | MW | SD |
| rechte äußere Augenbraue | 1 | 50 | +3,81 | 1,79 | -0,58 | 0,68 |
| linke äußere Augenbraue | 7 | 50 | +3,86 | 1,71 | +0,55 | 0,53 |
| rechte zentrale Augenbraue | 2 | 50 | +8,23 | 3,34 | -1,55 | 1,00 |
| linke zentrale Augenbraue | 6 | 50 | +7,85 | 3,40 | +1,41 | 1,06 |
| rechte innere Augenbraue | 3 | 50 | +6,18 | 2,77 | -0,90 | 0,65 |
| linke innere Augenbraue | 5 | 50 | +6,14 | 2,99 | +0,82 | 0,70 |
| Weichteilnasion | 4 | 50 | +3,56 | 1,81 | -0,40 | 0,36 |
| | | | | | | |
| rechter Infraorbitalpunkt | 8 | 50 | +0,75 | 0,97 | +0,55 | 0,67 |
| linker Infraorbitalpunkt | 9 | 50 | +0,55 | 0,80 | -0,63 | 0,77 |
| rechter Nasenflügel | 10 | 50 | +0,64 | 0,87 | -0,39 | 0,66 |
| linker Nasenflügel | 13 | 50 | +0,56 | 0,84 | -0,44 | 0,70 |
| Nasenspitze | 11 | 50 | +1,09 | 1,24 | -0,28 | 0,40 |
| Subnasale | 12 | 50 | +0,44 | 0,65 | -0,17 | 0,36 |
| | | | | | | |
| rechte Wange | 14 | 50 | +0,68 | 0,87 | +0,79 | 1,03 |
| linke Wange | 19 | 50 | +0,64 | 0,89 | -0,87 | 1,11 |
| rechter Mundwinkel | 15 | 50 | +0,75 | 1,26 | +0,41 | 0,76 |
| linker Mundwinkel | 18 | 50 | +0,81 | 1,46 | -0,56 | 0,98 |
| rechtes Philtrum | 16 | 50 | +0,43 | 0,67 | +0,30 | 0,51 |
| linkes Philtrum | 17 | 50 | +0,46 | 0,76 | -0,32 | 0,55 |
| Unterlippe rechts | 20 | 50 | -0,79 | 1,11 | +0,41 | 0,71 |
| Unterlippe mittig | 21 | 50 | -0,63 | 1,02 | -0,27 | 0,53 |
| Unterlippe links | 22 | 50 | -0,85 | 1,17 | -0,48 | 0,86 |
| Weichteilpogonion | 23 | 50 | -0,59 | 1,01 | -0,32 | 0,69 |

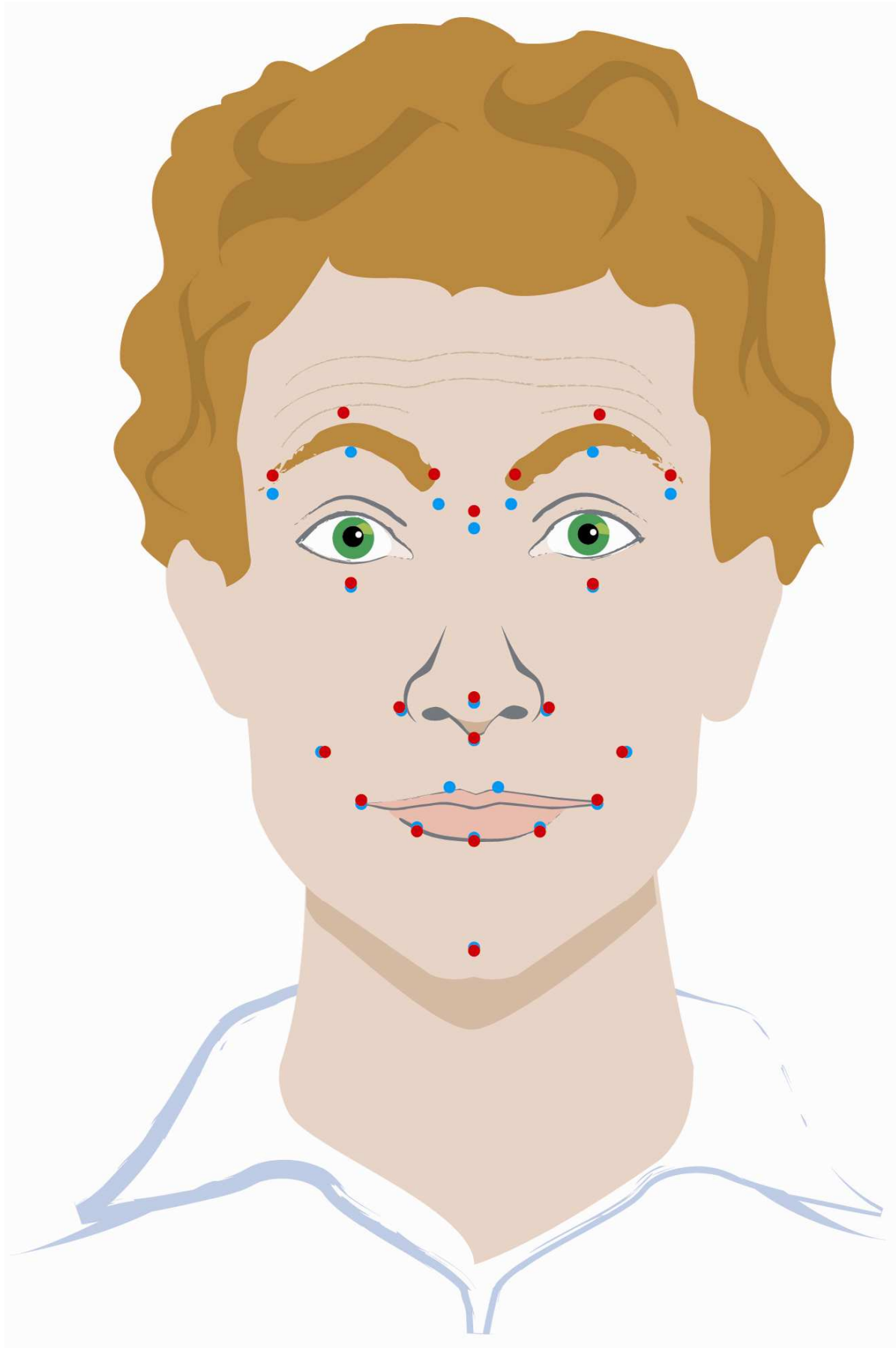


Abb. 18 Gesichtsausdruck „Augen weit öffnen“

4.1.6 Gesichtsausdruck „Augen zusammenkneifen“

Bei dem Gesichtsausdruck „Augen zusammenkneifen“ (Abb. 19) belief sich der Betrag des Verschiebungsvektors bei den 50 Probanden über alle 23 Messpunkte in der vertikalen Ebene auf durchschnittlich 2,49 mm (n = 1150) und in der horizontalen Ebene auf durchschnittlich 1,75 mm (n = 1150), wobei große regionale Unterschiede bestanden.

Während die Abweichung der Messpunkte beim Augen zusammenkneifen im unteren Gesichtsdrittel in der Vertikalen durchschnittlich 1,46 mm (n = 500) und in der Horizontalen 0,64 mm (n = 500) betrug, lagen die Durchschnittswerte im oberen und mittleren Gesichtsdrittel deutlich höher. Im oberen Gesichtsdrittel verzeichneten die Durchschnittswerte vertikal 4,20 mm (n = 350) und horizontal 2,87 mm (n = 350) und im mittleren Gesichtsdrittel lagen die Durchschnittswerte bei 2,20 mm (n = 300) in der vertikalen Ebene und bei 2,28 mm (n = 300) in der horizontalen Ebene.

Im oberen Gesichtsdrittel war der Betrag des Verschiebungsvektors für die vertikale Abweichung durchschnittlich zwischen 1,92 mm (n = 50) am Weichteilnasion und 6,96 mm (n = 50) an der rechten zentralen Augenbraue. Für die horizontale Abweichung ergaben sich Durchschnittswerte zwischen 0,53 mm (n = 50) ebenfalls am Weichteilnasion und 5,01 mm (n = 50) ebenfalls an der rechten zentralen Augenbraue.

Die höchsten durchschnittlichen Werte in der vertikalen Ebene wurden an der rechten zentralen Augenbraue mit 6,96 mm (n = 50) und an der linken zentralen Augenbraue mit 6,87 mm (n = 50) registriert. Neben den beiden äußeren Augenbrauenpunkten, die eine durchschnittliche Abweichung von 2,69 mm (n = 100) zeigten, und den beiden inneren Augenbrauenpunkten, die eine durchschnittliche Abweichung von 4,14 mm (n = 100) aufwiesen, wurden die größten Werte – wie bereits erwähnt – an beiden zentralen Augenbrauenpunkten mit durchschnittlich über 6,00 mm beobachtet. In der horizontalen Ebene ließen sich ebenfalls die höchsten Durchschnittswerte an der rechten und linken zentralen Augenbraue mit durchschnittlich 4,88 mm (n = 100) verzeichnen. Die Durchschnittswerte für die restlichen Messpunkte im oberen Gesichtsdrittel sind der Tabelle 6 entnehmen.

Im mittleren Gesichtsdrittel lagen die Werte in der Vertikalen durchschnittlich zwischen 0,53 mm (n = 50) am Subnasale und 4,01 mm (n = 50) am linken Infraorbitalpunkt. Für die horizontale Abweichung wurden Durchschnittswerte zwischen

0,19 mm (n = 50) ebenfalls am Subnasale und 5,80 mm (n = 50) am rechten Infraorbitalpunkt gemessen. Die höchsten Werte im mittleren Gesichtsdrittel ließen sich an beiden Infraorbitalpunkten durchschnittlich mit über 4,00 mm in der Vertikalen und über 5,00 mm in der Horizontalen beobachten.

Im unteren Gesichtsdrittel lag der durchschnittliche Betrag des Verschiebungsvektors in der vertikalen Ebene zwischen 0,75 mm (n = 50) am rechten Mundwinkel und 3,02 mm (n = 50) an der rechten Wange. Für die horizontale Ebene ergaben sich Durchschnittswerte zwischen 0,18 mm (n = 50) an der Unterlippenmitte und 1,56 mm (n = 50) an der rechten Wange. Die höchsten Werte im unteren Gesichtsdrittel waren an beiden Wangenpunkten mit über 3,00 mm in der Vertikalen und über 1,00 mm in der Horizontalen zu verzeichnen. Die Mittelwerte, inklusive der jeweiligen Standardabweichungen, aller einzelnen Messpunkte sind in der Tabelle 6 zusammengefasst.

Tab. 6 Durchschnittliches Integral des Verschiebungsvektors an den einzelnen Messpunkten (in mm) beim Gesichtsausdruck „Augen zusammenkneifen“

| Messpunkt | Durchschnittliche Abweichung in mm (Mittelwert und Standardabweichung) | | | | | |
|----------------------------|--|----|----------|------|------------|------|
| | Nr. | n | vertikal | | horizontal | |
| | | | MW | SD | MW | SD |
| rechte äußere Augenbraue | 1 | 50 | -2,54 | 1,46 | +3,93 | 1,72 |
| linke äußere Augenbraue | 7 | 50 | -2,84 | 1,55 | -3,75 | 1,99 |
| rechte zentrale Augenbraue | 2 | 50 | -6,96 | 2,74 | +5,01 | 2,36 |
| linke zentrale Augenbraue | 6 | 50 | -6,87 | 2,60 | -4,75 | 2,42 |
| rechte innere Augenbraue | 3 | 50 | -3,97 | 2,29 | +1,06 | 0,87 |
| linke innere Augenbraue | 5 | 50 | -4,32 | 2,43 | -1,08 | 0,97 |
| Weichteilnasion | 4 | 50 | -1,92 | 1,38 | +0,53 | 0,66 |
| | | | | | | |
| rechter Infraorbitalpunkt | 8 | 50 | +3,92 | 1,70 | +5,80 | 1,71 |
| linker Infraorbitalpunkt | 9 | 50 | +4,01 | 1,86 | -5,75 | 1,79 |
| rechter Nasenflügel | 10 | 50 | +1,96 | 2,52 | +0,77 | 1,07 |
| linker Nasenflügel | 13 | 50 | +1,96 | 2,49 | -0,84 | 0,95 |
| Nasenspitze | 11 | 50 | +0,86 | 1,41 | -,036 | 0,63 |
| Subnasale | 12 | 50 | +0,53 | 0,89 | +0,19 | 0,37 |
| | | | | | | |
| rechte Wange | 14 | 50 | +3,02 | 2,34 | +1,56 | 1,66 |
| linke Wange | 19 | 50 | +2,59 | 2,00 | -1,40 | 1,35 |
| rechter Mundwinkel | 15 | 50 | +0,75 | 1,26 | -0,41 | 0,76 |
| linker Mundwinkel | 18 | 50 | +1,91 | 2,61 | +0,77 | 1,02 |
| rechtes Philtrum | 16 | 50 | +0,94 | 1,84 | -0,43 | 0,77 |
| linkes Philtrum | 17 | 50 | +0,97 | 1,93 | +0,39 | 0,58 |
| Unterlippe rechts | 20 | 50 | +1,27 | 2,04 | +0,57 | 0,74 |
| Unterlippe mittig | 21 | 50 | +1,15 | 2,25 | -0,18 | 0,44 |
| Unterlippe links | 22 | 50 | +1,26 | 1,99 | -0,36 | 0,54 |
| Weichteilpogonion | 23 | 50 | +0,78 | 1,57 | -0,34 | 0,53 |

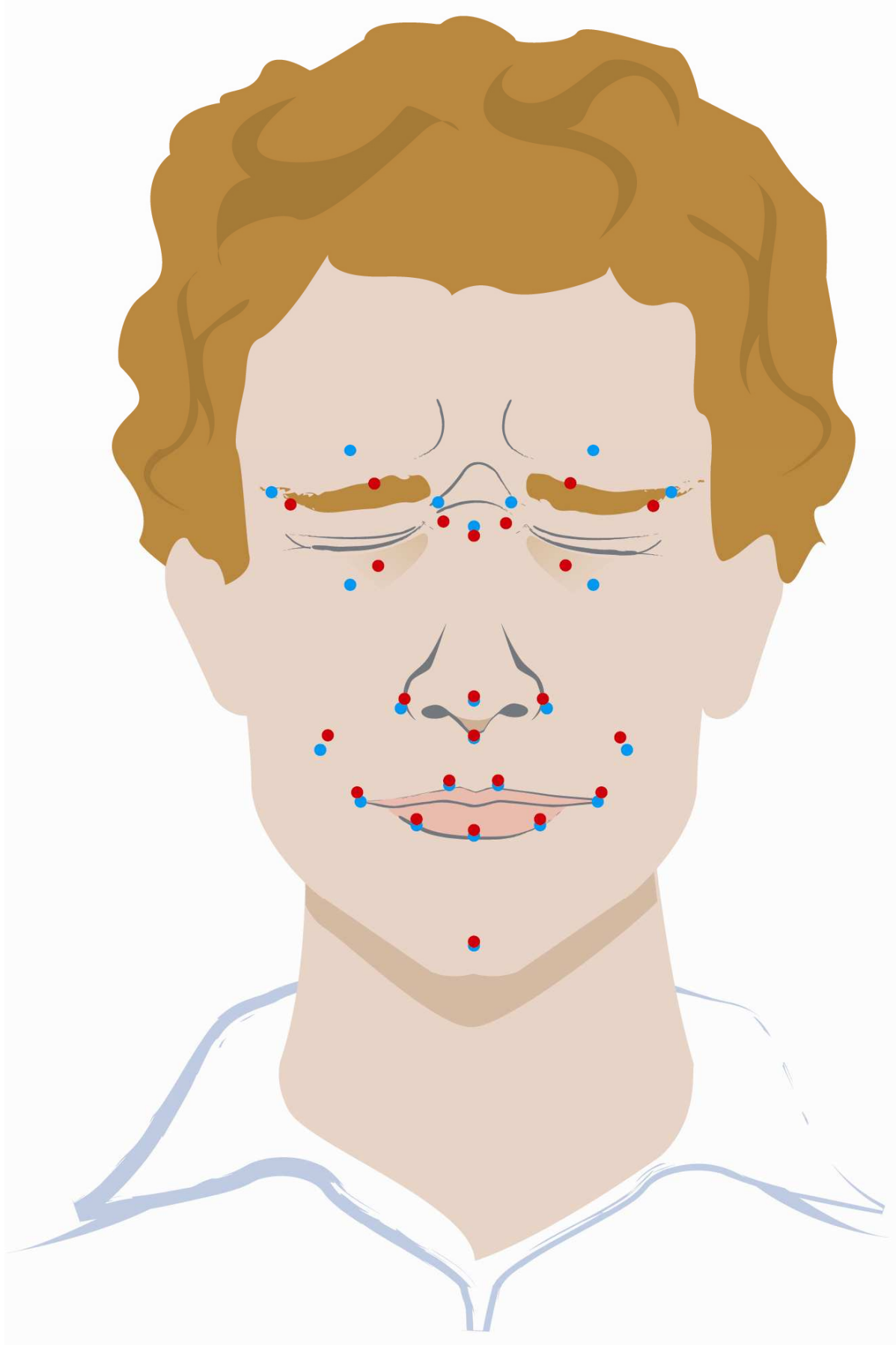


Abb. 19 Gesichtsausdruck „Augen zusammenkneifen“

4.1.7 Gesichtsausdruck „Wangen aufblasen“

Bei dem Gesichtsausdruck „Wangen aufblasen“ (Abb. 20) belief sich der Betrag des Verschiebungsvektors bei den 50 Probanden über alle 23 Messpunkte in der vertikalen Ebene auf durchschnittlich 1,52 mm ($n = 1150$) und in der horizontalen Ebene auf durchschnittlich 1,20 mm ($n = 1150$), wobei große regionale Unterschiede bestanden.

Während die Abweichung der Messpunkte beim Wangen aufblasen im oberen Gesichtsdrittel in der Vertikalen durchschnittlich 0,37 mm ($n = 350$) und in der Horizontalen 0,12 mm ($n = 350$) und die Durchschnittswerte im mittleren Gesichtsdrittel vertikal 1,41 mm ($n = 300$) und horizontal 0,82 mm ($n = 300$) betrug, lagen die Durchschnittswerte im unteren Gesichtsdrittel vertikal mit 2,38 mm ($n = 500$) und horizontal mit 2,18 mm ($n = 500$) deutlich höher.

Im oberen Gesichtsdrittel wurden für den durchschnittlichen Betrag des Verschiebungsvektors für die vertikale Abweichung Werte zwischen 0,19 mm ($n = 50$) an der linken äußeren Augenbraue und 0,64 mm ($n = 50$) an der rechten zentralen Augenbraue verzeichnet. Für die horizontale Abweichung ergaben sich Durchschnittswerte zwischen 0,04 mm ($n = 50$) an der linken inneren Augenbraue und 0,25 mm ($n = 50$) an der rechten zentralen Augenbraue. Die Durchschnittswerte für die restlichen Messpunkte im oberen Gesichtsdrittel sind der Tabelle 7 zu entnehmen.

Im mittleren Gesichtsdrittel lagen die Werte in der Vertikalen durchschnittlich zwischen 1,20 mm ($n = 50$) am linken Infraorbitalpunkt und 1,62 mm ($n = 50$) am linken Nasenflügelansatz. Für die horizontale Abweichung ergaben sich Durchschnittswerte zwischen 0,50 mm ($n = 50$) an der Nasenspitze und 1,06 mm ($n = 50$) am linken Nasenflügelansatz.

Im unteren Gesichtsdrittel war der durchschnittliche Betrag des Verschiebungsvektors in der vertikalen Ebene zwischen 1,53 mm ($n = 50$) am rechten Philtrum und 3,05 mm ($n = 50$) am Weichteilpogonion. Für die horizontale Ebene wurden Durchschnittswerte zwischen 1,12 mm ($n = 50$) an der Unterlippenmitte und 3,90 mm ($n = 50$) an der rechten Unterlippe registriert.

Signifikant für das untere Gesichtsdrittel ist, dass sich alle durchschnittlichen Werte, sowohl in der vertikalen als auch in der horizontalen Ebene um die 2,00 mm bewegten. Das Weichteilpogonion bildete in der Vertikalen und der rechte Unterlippenpunkt

in der Horizontalen mit einem Wert von über 3,00 mm eine Ausnahme innerhalb diesen Drittels.

Die Mittelwerte, inklusive der jeweiligen Standardabweichungen, aller einzelnen Messpunkte sind in der Tabelle 7 zusammengefasst.

Tab. 7 Durchschnittliches Integral des Verschiebungsvektors an den einzelnen Messpunkten (in mm) beim Gesichtsausdruck „Wangen aufblasen“

| Messpunkt | Durchschnittliche Abweichung in mm (Mittelwert und Standardabweichung) | | | | | |
|----------------------------|--|----|----------|------|------------|------|
| | Nr. | n | vertikal | | horizontal | |
| | | | MW | SD | MW | SD |
| rechte äußere Augenbraue | 1 | 50 | +0,39 | 0,74 | 0,05 | 0,14 |
| linke äußere Augenbraue | 7 | 50 | +0,19 | 0,43 | 0,06 | 0,20 |
| rechte zentrale Augenbraue | 2 | 50 | -0,64 | 0,95 | +0,25 | 0,43 |
| linke zentrale Augenbraue | 6 | 50 | -0,54 | 0,84 | -0,20 | 0,43 |
| rechte innere Augenbraue | 3 | 50 | -0,27 | 0,63 | -0,14 | 0,32 |
| linke innere Augenbraue | 5 | 50 | -0,29 | 0,64 | 0,04 | 0,18 |
| Weichteilnasion | 4 | 50 | -0,28 | 0,58 | 0,08 | 0,24 |
| | | | | | | |
| rechter Infraorbitalpunkt | 8 | 50 | +1,24 | 1,00 | +0,98 | 0,66 |
| linker Infraorbitalpunkt | 9 | 50 | +1,20 | 0,99 | -0,90 | 0,69 |
| rechter Nasenflügel | 10 | 50 | +1,50 | 1,40 | +1,00 | 0,91 |
| linker Nasenflügel | 13 | 50 | +1,62 | 1,53 | -1,06 | 0,97 |
| Nasenspitze | 11 | 50 | +1,54 | 1,56 | -0,50 | 0,61 |
| Subnasale | 12 | 50 | +1,40 | 1,62 | -0,52 | 0,69 |
| | | | | | | |
| rechte Wange | 14 | 50 | +2,65 | 1,88 | -2,22 | 1,63 |
| linke Wange | 19 | 50 | +2,63 | 2,00 | +2,33 | 1,71 |
| rechter Mundwinkel | 15 | 50 | +2,13 | 1,56 | +2,14 | 1,49 |
| linker Mundwinkel | 18 | 50 | +2,45 | 1,85 | -2,20 | 1,80 |
| rechtes Philtrum | 16 | 50 | +1,53 | 1,48 | +1,55 | 1,26 |
| linkes Philtrum | 17 | 50 | +1,70 | 1,64 | -1,52 | 1,09 |
| Unterlippe rechts | 20 | 50 | -2,78 | 5,25 | +3,90 | 1,50 |
| Unterlippe mittig | 21 | 50 | -2,40 | 2,83 | -1,12 | 0,75 |
| Unterlippe links | 22 | 50 | -2,47 | 2,30 | -3,72 | 1,60 |
| Weichteilpogonion | 23 | 50 | +3,05 | 2,08 | -1,14 | 1,27 |

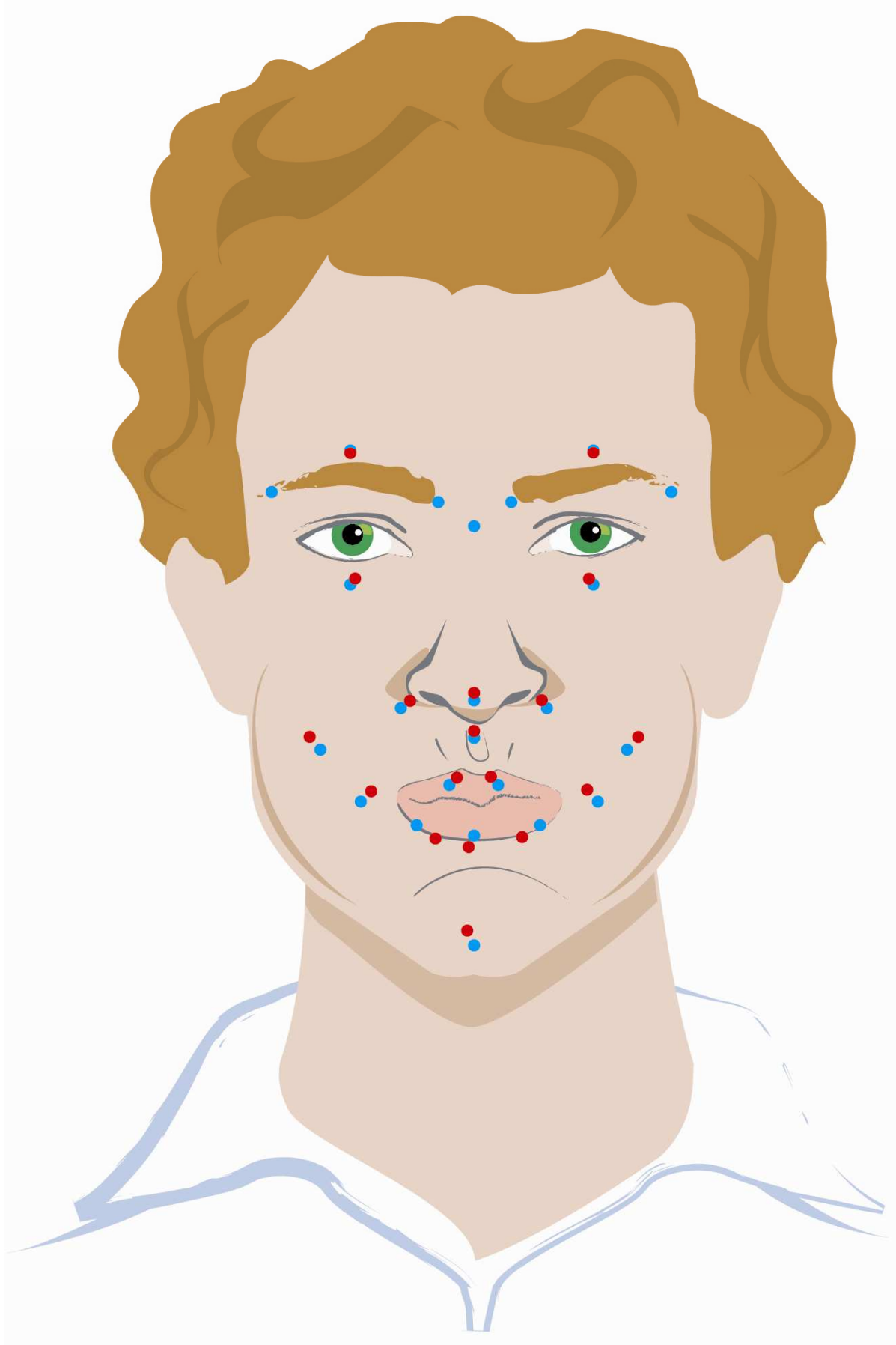


Abb. 20 Gesichtsausdruck „Wangen aufblasen“

4.1.8 Gesichtsausdruck „Ärgerlich schauen“

Bei dem Gesichtsausdruck „Ärgerlich schauen“ (Abb. 21) belief sich der Betrag des Verschiebungsvektors bei den 50 Probanden über alle 23 Messpunkte in der vertikalen Ebene auf durchschnittlich 1,63 mm ($n = 1150$) und in der horizontalen Ebene auf durchschnittlich 1,18 mm ($n = 1150$), wobei große Unterschiede in den beiden Ebenen bestanden.

Die durchschnittliche Abweichung der Messpunkte in der Vertikalen war mit 2,14 mm ($n = 350$) im oberen Gesichtsdrittel, mit 1,32 mm ($n = 300$) im mittleren Gesichtsdrittel und mit 1,46 mm ($n = 500$) im unteren Gesichtsdrittel signifikant höher als in der Horizontalen. In der horizontalen Ebene kam es zu einer durchschnittlichen Diskrepanz von 1,81 mm ($n = 350$) im oberen Drittel, von 0,89 mm ($n = 300$) im mittleren Drittel und von 0,91 mm ($n = 500$) im unteren Drittel.

Im oberen Gesichtsdrittel lag der Betrag des Verschiebungsvektors in der vertikalen Ebene durchschnittlich zwischen 0,95 mm ($n = 50$) am Weichteilnasion und 3,86 mm ($n = 50$) an der linken zentralen Augenbraue. Für die horizontale Ebene wurden Durchschnittswerte zwischen 0,33 mm ($n = 50$) ebenfalls am Weichteilnasion und 3,74 mm ($n = 50$) an der linken zentralen Augenbraue registriert. Auffällig war, dass in der vertikalen und horizontalen Richtung die Werte der rechten und linken zentralen Augenbraue mit durchschnittlich über 3,00 mm am höchsten waren.

Im mittleren Gesichtsdrittel wurden für den Betrag des Verschiebungsvektors in der vertikalen Ebene durchschnittlich Werte zwischen 0,91 mm ($n = 50$) am Subnasale und 1,67 mm ($n = 50$) am rechten Infraorbitalpunkt verzeichnet. Für die horizontale Ebene wurden Durchschnittswerte zwischen 0,53 mm ($n = 50$) am rechten Nasenflügelansatz und 1,64 mm ($n = 50$) am linken Infraorbitalpunkt gemessen.

Im unteren Gesichtsdrittel lag der Betrag des Verschiebungsvektors in der vertikalen Ebene durchschnittlich zwischen 1,25 mm ($n = 50$) am linken Philtrum und 1,67 mm ($n = 50$) am linken Mundwinkel. Für die horizontale Ebene ergaben sich Durchschnittswerte zwischen 0,65 mm ($n = 50$) an der Unterlippenmitte und 1,39 mm ($n = 50$) an der linken Wange.

Im mittleren und unteren Gesichtsdrittel wurden keine signifikanten Abweichungen von den Durchschnittswerten beobachtet, da sich alle Werte um die 1,00 mm bewegten.

Die Mittelwerte, inklusive der jeweiligen Standardabweichungen, aller einzelnen Messpunkte sind in der Tabelle 8 zusammengefasst.

Tab. 8 Durchschnittliches Integral des Verschiebungsvektors an den einzelnen Messpunkten (in mm) beim Gesichtsausdruck „Ärgerlich schauen“

| Messpunkt | Durchschnittliche Abweichung in mm (Mittelwert und Standardabweichung) | | | | | |
|----------------------------|--|----|----------|------|------------|------|
| | Nr. | n | vertikal | | horizontal | |
| | | | MW | SD | MW | SD |
| rechte äußere Augenbraue | 1 | 50 | -1,09 | 1,06 | +1,12 | 1,09 |
| linke äußere Augenbraue | 7 | 50 | -1,22 | 1,30 | -1,42 | 1,36 |
| rechte zentrale Augenbraue | 2 | 50 | -3,85 | 2,38 | +3,69 | 2,26 |
| linke zentrale Augenbraue | 6 | 50 | -3,86 | 2,40 | -3,74 | 2,58 |
| rechte innere Augenbraue | 3 | 50 | -2,04 | 1,64 | +1,07 | 0,90 |
| linke innere Augenbraue | 5 | 50 | -1,98 | 1,61 | -1,29 | 1,35 |
| Weichteilnasion | 4 | 50 | -0,95 | 1,17 | -0,33 | 0,45 |
| | | | | | | |
| rechter Infraorbitalpunkt | 8 | 50 | +1,67 | 1,41 | +1,61 | 1,31 |
| linker Infraorbitalpunkt | 9 | 50 | +1,64 | 1,64 | -1,64 | 1,24 |
| rechter Nasenflügel | 10 | 50 | +1,19 | 1,32 | +0,53 | 0,60 |
| linker Nasenflügel | 13 | 50 | +1,23 | 1,54 | -0,63 | 0,79 |
| Nasenspitze | 11 | 50 | -1,28 | 1,18 | -0,54 | 0,59 |
| Subnasale | 12 | 50 | -0,91 | 1,18 | +0,43 | 0,54 |
| | | | | | | |
| rechte Wange | 14 | 50 | +1,37 | 1,44 | +1,00 | 0,98 |
| linke Wange | 19 | 50 | +1,38 | 1,79 | -1,39 | 1,15 |
| rechter Mundwinkel | 15 | 50 | +1,59 | 1,60 | +0,90 | 1,05 |
| linker Mundwinkel | 18 | 50 | +1,67 | 1,92 | -1,13 | 1,09 |
| rechtes Philtrum | 16 | 50 | +1,28 | 1,94 | +0,66 | 0,75 |
| linkes Philtrum | 17 | 50 | +1,25 | 1,86 | -0,70 | 1,00 |
| Unterlippe rechts | 20 | 50 | +1,29 | 1,64 | +0,84 | 1,07 |
| Unterlippe mittig | 21 | 50 | +1,47 | 1,84 | +0,65 | 0,93 |
| Unterlippe links | 22 | 50 | +1,60 | 1,87 | -1,04 | 1,13 |
| Weichteilpogonion | 23 | 50 | +1,74 | 1,83 | -0,79 | 0,92 |

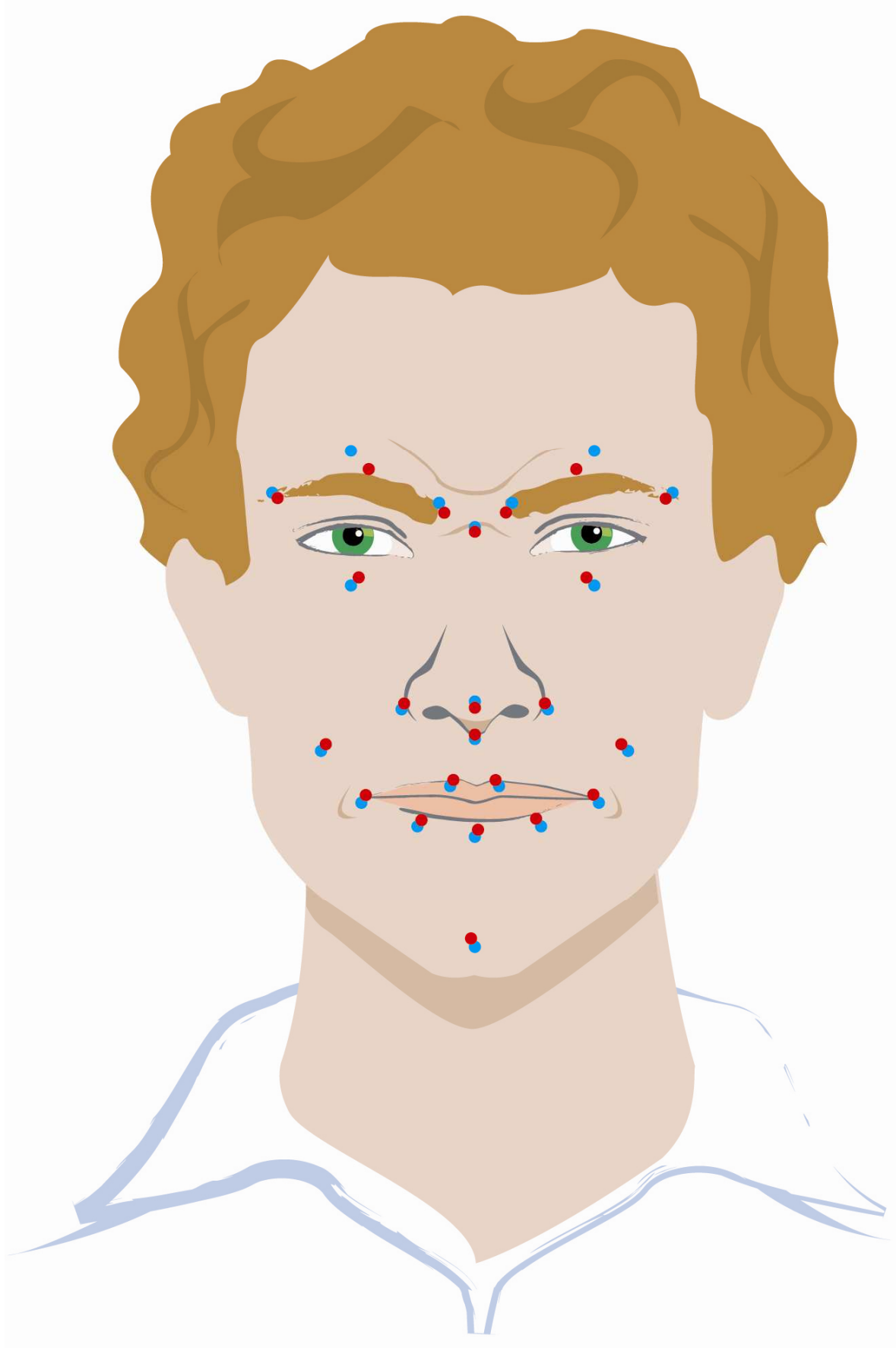


Abb. 21 Gesichtsausdruck „Ärgerlich schauen“

4.2 Intraindividuelle Variabilität

Zur Beschreibung der intraindividuellen Variabilität werden die Ergebnisse von fünf Probanden herangezogen, die in einer fünfmaligen Serie die Mimik „Lachen on command“ als repräsentatives Beispiel für andere Gesichtsausdrücke einnahmen. Die Ausführungen der vorliegenden Ergebnisse beziehen sich wie bei der Untersuchung zur interindividuellen Variabilität auf den durchschnittlichen Betrag des Verschiebungsvektors an den 23 Messpunkten. Die Richtung des Verschiebungsvektors wird nicht in seine horizontale und vertikale Komponente unterteilt, sondern zur Beschreibung der intraindividuellen Variabilität bedient man sich der absoluten Diskrepanz der einzelnen Messpunkte.

Die Probandengesichter sind ebenfalls in das obere, mittlere und untere Gesichtsdrittel eingeteilt, um zu veranschaulichen, in welchem Drittel die mimische Dynamik am deutlichsten zu Tage tritt. Die Mittelwerte und die Standardabweichungen bilden die Grundlage der folgenden Ausführungen.

4.2.1 Gesichtsausdruck „Lachen“

Der Betrag des Verschiebungsvektors lag bei dem Gesichtsausdruck „Lachen on command“ bei den 5 Probanden über alle 23 Messpunkte durchschnittlich zwischen 0,00 mm ($n = 100$) an der rechten und linken äußeren Augenbraue, der linken inneren Augenbraue und dem Weichteilnasion und 1,04 mm ($n = 25$) am rechten Mundwinkel. Die höchsten intraindividuellen Abweichungen zeigten sich im unteren Gesichtsdrittel im Bereich der Mundwinkel mit durchschnittlich 1,04 mm ($n = 25$) und 0,99 mm ($n = 25$), der Philtren mit durchschnittlich 0,58 mm ($n = 25$) und 0,54 mm ($n = 25$) und im Bereich der Unterlippe mit durchschnittlich 0,48 mm ($n = 25$), 0,43 mm ($n = 25$) und 0,41 mm ($n = 25$).

Im oberen Gesichtsdrittel lagen die Werte durchschnittlich am niedrigsten. Sie bewegten sich durchschnittlich zwischen 0,00 mm ($n = 100$) an der rechten und linken äußeren Augenbraue, der linken inneren Augenbraue und dem Weichteilnasion und 0,06 mm ($n = 25$) an der rechten zentralen Augenbraue. Die Durchschnittswerte, inklusive der entsprechenden Standardabweichungen, aller einzelnen Messpunkte sind in der Tabelle 9 zusammengefasst.

Tab. 9 Ergebnisse der Reliabilitätsmessungen (n = 25) zu intraindividuellen Abweichungen bei 5 Patienten mit jeweils 5 Wiederholungsmessungen

| Messpunkt | Durchschnittliche Abweichung in mm (Mittelwert und Standardabweichung) | | | | | |
|----------------------------|--|------|------|----|------|------|
| | Nr. | Pat. | Wdh. | n | MW | SD |
| rechte äußere Augenbraue | 1 | 5 | 5 | 25 | 0,00 | 0,00 |
| linke äußere Augenbraue | 7 | 5 | 5 | 25 | 0,00 | 0,00 |
| rechte zentrale Augenbraue | 2 | 5 | 5 | 25 | 0,06 | 0,20 |
| linke zentrale Augenbraue | 6 | 5 | 5 | 25 | 0,04 | 0,14 |
| rechte innere Augenbraue | 3 | 5 | 5 | 25 | 0,02 | 0,08 |
| linke innere Augenbraue | 5 | 5 | 5 | 25 | 0,00 | 0,00 |
| Weichteilnasion | 4 | 5 | 5 | 25 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | |
| rechter Infraorbitalpunkt | 8 | 5 | 5 | 25 | 0,18 | 0,33 |
| linker Infraorbitalpunkt | 9 | 5 | 5 | 25 | 0,17 | 0,31 |
| rechter Nasenflügel | 10 | 5 | 5 | 25 | 0,38 | 0,55 |
| linker Nasenflügel | 13 | 5 | 5 | 25 | 0,14 | 0,29 |
| Nasenspitze | 11 | 5 | 5 | 25 | 0,11 | 0,18 |
| Subnasale | 12 | 5 | 5 | 25 | 0,11 | 0,19 |
| | | | | | | |
| rechte Wange | 14 | 5 | 5 | 25 | 0,41 | 0,62 |
| linke Wange | 19 | 5 | 5 | 25 | 0,34 | 0,52 |
| rechter Mundwinkel | 15 | 5 | 5 | 25 | 1,04 | 0,72 |
| linker Mundwinkel | 18 | 5 | 5 | 25 | 0,99 | 0,73 |
| rechtes Philtrum | 16 | 5 | 5 | 25 | 0,54 | 0,46 |
| linkes Philtrum | 17 | 5 | 5 | 25 | 0,58 | 0,50 |
| Unterlippe rechts | 20 | 5 | 5 | 25 | 0,48 | 0,27 |
| Unterlippe mittig | 21 | 5 | 5 | 25 | 0,43 | 0,31 |
| Unterlippe links | 22 | 5 | 5 | 25 | 0,41 | 0,32 |
| Weichteilpogonion | 23 | 5 | 5 | 25 | 0,22 | 0,29 |

5 Diskussion

5.1 Reproduzierbarkeit und Fehlerquellen des Versuchsaufbaus und der Messungen

Die Erstellung von kurz aufeinander folgenden, digital aufgenommenen Gesichtsausdrücken ist im Hinblick auf die Reproduzierbarkeit kritisch zu bewerten. Die Ursache für mögliche Fehlerquellen bei dem „fotoshooting“ der Probanden lag in einer minimalen Veränderung der Kopfposition zwischen den einzelnen Aufnahmen. Dies wurde versucht auszuschließen, indem der Proband angewiesen wurde, während der Aufnahmeserie den Kopf nicht zu bewegen. Außerdem betrug die absolute Dauer der Fotoaufnahmen nach einem zügigen Probelauf ca. 15 Sekunden. Um weiterhin eine Reproduzierbarkeit gewährleisten zu können, wurden die Gesichtsausdrücke „on command“ (auf Kommando) aufgenommen.

Eine weitere mögliche Ursache für Fehler ist die nicht vermeidbare Projektionsungenauigkeit bei Fotoaufnahmen. Ein Projektionsfehler ist bereits durch die Tatsache bedingt, dass sich ein dreidimensionales Objekt auf einer Fotoaufnahme nur zweidimensional darstellen lässt. Des Weiteren spielt der Aufnahmeabstand eine wesentliche Rolle. Beträgt die Fokus-Objekt-Entfernung 4 Meter, entstehen nicht vergrößerte Aufnahmen. In der täglichen Praxis ist dies aus Platzgründen oft nicht zu verwirklichen und dadurch ist eine Bildvergrößerung und -verzerrung mit dem meist üblichen Fokus-Objekt-Abstand von 1,50 Meter in gewissem Maße immer vorhanden. Dieser Aspekt konnte nahezu vernachlässigt werden, da alle Fotoaufnahmen unter Einhaltung des gleichen Abstandes von 1,10 Meter gemacht wurden und sich somit ein möglicher Projektionsfehler bei allen Aufnahmen in gleicher Weise manifestierte. Mit Hilfe des individuell errechneten Korrekturfaktors wurde der projektionsbedingten Bildvergrößerung und -verzerrung Rechnung getragen.

Bei allen Messungen, die im Rahmen dieser Studie durchgeführt worden waren, sollte das Ausmaß des methodischen Fehlers beachtet werden. Kritisch zu bewerten ist dabei bei allen 2D- und 3D-Messverfahren die Überlagerung der Strukturen vor dem Vermessen der Differenzen. Die Überlagerung orientierte sich in der vorliegenden Studie an Konturen, wie Kopf-, Ohr- und Gesichtskontur, die bei den einzelnen Gesichtsausdrücken nicht verändert werden. Das eingesetzte Messverfahren war zweidimensional (Enface-Fotografie) und verzichtete auf eine Analyse des sagittalen

Fehlers. Ziel der Studie war die Bestimmung der intra- und interindividuellen Variabilität der unterschiedlichen Gesichtsausdrücke „on command“ in der Frontalebene. Da hierfür eine hohe interindividuelle Variabilität im 2D-Verfahren nachgewiesen werden konnte, kann man davon ausgehen, dass auch mit einem 3D-Scanner ähnliche Messwerte für die Frontalebene erzielt worden wären.

Neben den möglichen aufnahmebedingten und überlagerungstechnischen Fehlerquellen war auffällig, dass es unter Einnahme der unterschiedlichen mimischen Expressionen, den männlichen Probanden im Allgemeinen schwer fiel, den Gesichtsausdruck „Nase rümpfen“ einzunehmen, und die Männer teilweise keine konkrete Vorstellung von dieser Mimik hatten. Erst nach einer Unterweisung bzw. Demonstration derselben waren sie in der Lage die Nase zu rümpfen. Mit dem Gesichtsausdruck „ärgerlich schauen“ verbanden viele Probanden ebenfalls keine definierte Mimik, welches – wie bei dem Gesichtsausdruck „Nase rümpfen“ – durch die verhältnismäßig hohe Standardabweichung der einzelnen Messpunkte deutlich zum Ausdruck kam. Hierfür sei auf die Tabelle 2 und die Tabelle 8 verwiesen.

5.2 Verfahren im Vergleich und Motivation für die Anwendung des vorliegenden Verfahrens

Wie in der Literaturübersicht beschrieben, wurden bislang verschiedenste Verfahren zur Weichteilvermessung und -analyse des menschlichen Gesichts entwickelt. Neben den etablierten zweidimensionalen Verfahren, die auf der Auswertung von Fotos (Fotostat-Verfahren) und seitlichen Röntgenbildern (FRS-Kephalometrie) beruhen, stellt die Weiterentwicklung dieser bekannten Verfahren im wesentlichen die dreidimensionale Interpolierung (Stereophotogrammetrie, dreidimensionale Berechnungen aus FRS und FRF) dar (Kobayashi et al., 1990).

Bei der Verwendung eines modernen Verfahrens zur fazialen Weichteilanalyse sollten alle vier Dimensionen Berücksichtigung finden, da die unterschiedlichen mimischen Gesichtsausdrücke zu einer komplexen, dreidimensionalen Veränderung der Gesichtsoberfläche über die Zeit führen.

Im Bereich der modernen Kardiologie sind 4D-Verfahren bereits im Einsatz, die neben einer dreidimensionalen morphologischen Erfassung des Herzens auch die kardialen Veränderungen über die Zeit, nämlich den Herzschlag, visualisieren und analysieren (Suzuki et al., 1998).

Verfahren zur 4D-Analyse mimischer Bewegungen werden immer wieder beschrieben, sind jedoch meist aufwendig und ungenau (Cacou et al., 1997; Okada, 2001). Die dynamische Veränderung der Gesichtsoberfläche über die Zeit (vierdimensional) wird bei den meisten in der Literatur vorgestellten Verfahren durch Video erfasst, wobei eine zweidimensionale Abbildung der fazialen Strukturen erfolgt (Ackerman und Ackerman, 2002; Trotman et al., 1998; Weeden et al., 2001).

So benutzte Wood et al. (1994) beispielsweise Videobilder um die Gesichtsdynamik während des Lachens und des Hochhebens der Augenbrauen zu quantifizieren. Neely und Pomerantz (2002) entwickelten ein computergestütztes „dynamic analysis system“, das während der Dynamik die Unterschiede in der Intensität von reflektierten Licht auf der Gesichtsoberfläche beschreibt. Dreidimensionale Verfahren wurden in vielen Studien verwendet, um Asymmetrien der fazialen Weichteile zu beschreiben, aber nur sehr wenige Publikationen analysierten die dreidimensionale mimische Expression. Das 3D-Verfahren, das bei den Untersuchungen der fazialen Asymmetrie Anwendung fand, beinhaltete die Stereophotogrammetrie (Rasse et al., 1995), das Video (Ferrario und Sforza, 1996) und das Laserscanning (Moss et al., 1991).

Caruso et al. (1989) demonstrierte mit Hilfe eines videobasierten Systems die dreidimensionale Generierung von Lippen- und Kiefernspitzen während der Kaubewegung. Unter Verwendung einer ähnlichen Methode dokumentierte Frey et al. (1994) zehn unterschiedliche Gesichtsausdrücke. Beide Studien bestätigten, dass es während der fazialen Bewegung in den verschiedenen Gesichtsregionen zu unterschiedlichen Veränderungen in Abhängigkeit von der eingenommenen Mimik kommt. Dabei beschränken sich fast alle Verfahren bei der Auswertung und Analyse mimischer Bewegungen auf die maximalen Grenzbewegungen und erfassen diese in einer Ebene (Gross et al., 1996; Paletz et al., 1994; Trotman et al., 1998).

Nach Trotman et al. (1998) sind, wie bereits erwähnt, Studien über faziale Weichteile in der Dynamik sehr limitiert. Eine Quantifizierung der Gesichtsbewegungen während der Mimik kann als Maß für einen operativen Erfolg dienen. Mehrere Wissenschaftler, die auf anderen Gebieten ihren Wirkungskreis haben, analysierten dahingehend faziale Bewegungen (Le Resche et al., 1988; Neely und Pomerantz, 2002; Johnson und Smith, 1995; Jousif et al., 1994; Paletz et al., 1994; Wood et al., 1994; Marrant et al., 1996) und einige bedienten sich Verfahren, die auf der Grundlage von dreidimensionalen Messungen der individuellen Mimik viel versprechende Ergebnisse lieferten (Frey et al., 1994; Gross et al., 1996; Trotman et al., 1997; Cacou et al., 1997).

Hingegen waren die Ergebnisse von Sergl et al. (1998) weniger aussagekräftig. Auch wenn sich die experimentelle Untersuchung auf die ästhetische Wirkung von Gesichtprofilen bezog, kann man dennoch Rückschlüsse ausgehend von den Profildaten auf die individuelle frontale Mimik ziehen. In der Studie wurde geprüft, inwieweit die Durchschnittswerte aus Profilen, die von Laien als besonders schön eingestuft wurden, mit Normwerten, die nach ästhetischen Gesichtspunkten als Idealnorm zu verstehen sind, übereinstimmten. Die Übereinstimmung war ziemlich gering.

Neben videobasierten Verfahren finden sich in der Literatur auch zahlreiche Publikationen, die auf eine dynamische Erfassung der Mimik komplett verzichten und sich auf die fotografische standardisierte Darstellung maximaler Grenzbewegungen in der Frontalebene beschränken (Garber und Salama, 1996; Johnson und Smith, 1995; Kessel, 2003; Mackley, 1993). Ein wichtiger Vorteil dieser zweidimensionalen, foto-basierten Verfahren, die auch im klinischen Alltag eingesetzt werden, liegt in ihrer einfachen, preisgünstigen und schnellen Handhabung, auch wenn sie nicht die Wiedergabegenauigkeit von drei- oder vierdimensionalen Verfahren erreichen (Gross et al., 1996).

Dennoch sind aus der Literatur auch fotografische Methoden zur dreidimensionalen Weichteilerfassung bekannt. Schwarz führte die Spiegelfotografie zur gleichzeitigen Wiedergabe der Gesichtsfrent und der beiden Lateralansichten ein (Beckmann-van der Ven et al., 1985). Sassouni (1955) hat erstmals eine Methode beschrieben, mit der sich das Gesicht dreidimensional erfassen ließ. Er projizierte ein bestimmtes Muster auf das Gesicht und fotografierte aus einem Winkel von 90 Grad dazu. Weiterentwickelt wurde diese Methode von Cobb (1971) sowie von Robertson (1976) und von Leivesley (1983). Sie projizierten mit zwei Projektoren bilateral ein Muster auf den Patienten und fotografierten von frontal.

Von Burke und Beard (1971) wurde ein stereofotografisches Verfahren vorgestellt, bei dem zwei Aufnahmen aus unterschiedlichen Blickwinkel gemacht wurden. Diese betrachtete man anschließend unter einem speziellen Gerät, um eine Tiefeninformation zu erzielen.

Die beschriebenen fotografischen Methoden zur dreidimensionalen Weichteilanalyse erlauben nur die Erfassung der Weichteilkonturen des Gesichts, sind aber mit großem zeitlichen und bei der Stereofotografie auch mit einem großen instrumentellem Aufwand verbunden. Daher werden sie in der Klinik kaum verwendet.

Die von Beckman-van der Ven et al. (1985) vorgestellte Studie beschäftigte sich ebenfalls mit der Erfassung der Gesichtsweichteiloberfläche in drei Dimensionen, die man als Basis für die Analyse der Mimik heranziehen könnte. Es wurde eine klinisch anwendbare Methode vorgestellt, die es ermöglichte, die Weichteiloberfläche des Gesichts computerunterstützt in drei Dimensionen zu erfassen und sie in Form beliebiger sagittaler und horizontaler Schnitte in zeichnerischer Form darzustellen. Die Anwendung der Konturfotografie in Verbindung mit einem Kleinrechnersystem ermöglichte es, auf teure Spezialinstrumente zu verzichten. Die Darstellung in zeichnerischer Form erlaubte sowohl Symmetrievergleiche, als auch die Analyse zeitlicher Veränderungen.

Geht es vornehmlich um die möglichst exakte Visualisierung der mimischen Dynamik (Sarver und Ackerman, 2003), ist der Einsatz eines videobasierten Analyseverfahrens am sinnvollsten (Trotman et al., 1998). Da die Mimik kein statischer Zustand ist, sondern in verschiedenen, aufeinander aufbauenden Phasen zum Ausdruck kommt, und wir sehr selten vor der Aufgabe stehen, den emotionalen Zustand einer Person anhand von Momentaufnahmen (Ausnahmen sind Fotografien) zu beurteilen, erscheint es in wissenschaftlichen Untersuchungen sinnvoll, weitestgehend dynamischen Untersuchungsmaterial den Vorzug zu geben. Diese These wird durch eine Reihe von früheren Untersuchungen bestätigt, die einheitlich zu dem Schluss kommen, dass dynamisches Material aussagekräftiger ist als statisches Untersuchungsmaterial (Gottschaldt, 1926; Frijda, 1993).

Dabei sollte man, sowohl bei dynamischen als auch bei statischen Untersuchungsmaterial bedenken, dass die Bildqualität einen Einfluss auf die späteren Ergebnisse nimmt. Wichtige Faktoren sind hier die räumliche Auflösung und die Bildwiederholungsrate der Übertragungsmedien. Die Werte sollten oberhalb der Wahrnehmungsgrenze des Menschen liegen, so dass ein sich bewegendes Bild entsteht. Die Bildqualität bekommt daher ein besonderes Gewicht in Medien, die diese Werte unterschreiten.

Welches dieser vorgestellten Verfahren in einer Studie sinnvoll eingesetzt werden kann, hängt von der Fragestellung ab, die beantwortet werden soll. Für den Nachweis der vorliegenden Studie war es ausreichend, eine zweidimensionale Analyse der maximalen Grenzbewegungen in der Frontalebene vorzunehmen, da sich hieraus entsprechenden Rückschlüsse für die restlichen Dimensionen ziehen lassen (Johnson und Smith, 1995; Mackley, 1993; Spahl, 2003; Zachrisson, 2003).

Um eine Vermessung in der vertikalen und horizontalen Ebene vornehmen zu können, bietet es sich an einem zweidimensionalen Verfahren den Vorzug zu geben, da ein dreidimensionales Verfahren die gewählte Vorgehensweise erschweren würde.

Das zweidimensionale, fotobasierte Verfahren kam in der vorliegenden Untersuchung zur Anwendung, da es um die Beantwortung folgender Fragen ging:

- (1) Wie groß ist die interindividuelle Variabilität der einzelnen Messpunkte unter Einnahme der unterschiedlichen Gesichtsausdrücke?
- (2) Wie groß ist die intraindividuelle Variabilität der einzelnen Messpunkte unter Einnahme der Mimik „Lachen“ als repräsentatives Beispiel?
- (3) Lässt die Individualität die Anwendung stereotyper Bewegungsmuster bei der virtuellen Simulation zu, ohne inakzeptable Fehler zu generieren?

5.3 Erörterung der Ergebnisse und deren Bedeutung für den klinischen Einsatz

Die in der vorliegenden Studie ermittelten durchschnittlichen Beträge der Verschiebungsvektoren wiesen im Gegensatz zur intraindividuellen Variabilität beim „Lachen on command“ für die einzelnen Messpunkte interindividuell relativ große Unterschiede auf, welches durch die Standardabweichungen deutlich zum Ausdruck kam. Die Ergebnisse sprechen für eine hohe interindividuelle Variabilität der fazialen Oberflächenveränderungen, was die Ergebnisse früherer Studien bestätigen (Trotman et al., 1997, 1998; Weeden et al., 2001).

Diese bemerkenswerte interindividuelle Schwankungsbreite war bei allen acht unterschiedlichen Gesichtsausdrücken zu verzeichnen. Sie war auffällig hoch (Standardabweichungen) in den Gesichtsdritteln, in denen die durchschnittlichen Mittelwerte in der vertikalen und horizontalen Ebene besonders hoch ausfielen.

Im Gegensatz dazu war die durchschnittliche Schwankungsbreite der intraindividuellen Variabilität für den Gesichtsausdruck „Lachen“ relativ gering, welches eindeutige Rückschlüsse auf die anderen Mimik-Expressionen zulässt. Somit sind die vorliegenden Ergebnisse zur intraindividuellen Variabilität repräsentativ für weitere Gesichtsausdrücke und belegen, dass unter standardisierten Bedingungen und „on command“ reproduzierbare Gesichtsausdrücke eingenommen werden.

Es konnte gezeigt werden, dass die interindividuellen Durchschnittswerte nicht geeignet sind, mimische Bewegungen zu charakterisieren oder zu definieren. Somit lässt die in der Studie belegte, hohe interindividuelle Variabilität, die Anwendung ste-

reotyper und konfektionierter Bewegungsmuster zur virtuellen Mimik-Simulation für den klinischen Einsatz als ungeeignet erscheinen, da hier das patientenindividuelle Bewegungsmuster keine adäquate Berücksichtigung findet. Daher sollten im Bereich der Mimik entsprechende Analysen und Simulationen auf patientenindividuellen Daten und nicht auf Durchschnittswerten basieren.

5.4 Der generierte Datenpool als Grundlage für fortführende Untersuchungen

Da die gewonnenen Erkenntnisse zur Individualität mimischer Bewegungen auf der Untersuchung fünfzig gesunder, junger Erwachsener beruhen, kann der ermittelte Datenpool als Kontrollgruppe für weitere Untersuchungen zur Mimik dienen. Gerade bei pathologischen Veränderungen des mimischen Bewegungsmusters wäre ein Vergleich mit einer gesunden Kontrollgruppe wünschenswert. So haben Earnst et al. (1996) den spezifischen Gesichtsausdruck bei schizophrenen Patienten, Gehricke und Shapiro (2000) den reduzierten Bewegungsumfang bei depressiven Patienten, Linstrom et al. (2002) die Überaktivierung der gesunden Seite bei Patienten mit einer Fazialisparese und Zuker et al. (2000) die faziale Ausdrucksfähigkeit beim Möbius-Syndrom beschrieben, ohne ihre Ergebnisse mit gesunden Probanden zu vergleichen.

Neben diesen Fragestellungen wäre auch im Bereich der Kieferorthopädie ein Vergleich der speziellen mimischen Besonderheiten ausgeprägter Dysgnathien mit einer Kontrollgruppe aus gesunden, jungen Probanden interessant.

Um dem klinischen Einsatz der erhobenen Daten eher gerecht werden zu können, wäre es empfehlenswert, die geschlechtsspezifischen und seitenspezifischen Faktoren für eine weiterführende Mimik-Prognose miteinfließen zu lassen. Bereits die Ergebnisse von Weeden et al. (2001) zeigten deutliche Unterschiede zwischen den Geschlechtern auf. Bezüglich möglicher Asymmetrien zwischen der rechten und linken Gesichtshälfte konnten Borod et al. (1998) und Burres et al. (1985) nachweisen, dass Unterschiede beim Vektorintegral vorliegen.

Weitere individuelle Faktoren wie Muskelaktivität, Weichteilkonsistenz und -dicke, ethnische Gruppe und Alter sind ebenfalls interessante Aspekte, die bei fortführenden Studien Berücksichtigung finden könnten.

5.5 Ausblick

Die dreidimensionale Erfassung und Analyse des Gesichts und die Möglichkeit der virtuellen Simulation steht noch am Anfang. Zwar wurden etliche aufwendige Analyse-Verfahren der fazialen Weichteile beschrieben, die aber zum einen kostenintensiv und zum anderen invasiv sind. Mit der neuesten Entwicklung des mobilen multi-view 3D-Messsystems (G-Scan) der Friedrich-Schiller-Universität Jena (2004) wurde ein neues Verfahren zur dreidimensionalen Analyse des Gesichts vorgestellt, das kostengünstig mit einem geringen Zeitaufwand und non-invasiv arbeitet. Bei diesem Verfahren beruht das Messprinzip auf einer sequentiellen Objektbeleuchtung mit jeweils um 90° gedrehten Streifenstrukturen aus unterschiedlichen Richtungen. Die Streifenstrukturen werden von einem Projektor auf einen Zentralspiegel projiziert. Durch schnelles Umschalten der Beleuchtungsrichtung – durch den drehbaren Zentralspiegel – werden die Streifenstrukturen auf das Objekt projiziert. Das jeweils projizierte Streifenmuster wird simultan mit mehreren Kameras aus unterschiedlichen Richtungen beobachtet.

Von Interesse ist, wie sich die Weichteile des Gesichts unter bestimmten Bedingungen ändern. Um solche Änderungen beschreiben zu können, wurden zunächst aus mehreren zweidimensionalen Weichteilanalysen klinisch relevante Punkte zu einer dreidimensionalen Analyse zusammengefügt.

Das Konrad-Zuse-Institut in Berlin schlägt bei der Simulation und der Prognose mimischer Bewegungen (Gladilin, 2003) folgenden Weg ein. Statt konfektionierte Bewegungsmuster zur Vorhersage der dynamischen Oberflächenveränderung zu verwenden, wird mit einem numerischen mathematischen Modell (Finite Elemente Methode) die individuelle Morphologie und Funktion der mimischen Muskulatur nachgebildet (Gladilin, 2003). Hierfür werden die morphologischen Eigenschaften (Form und Dichte) der Gesichtsmuskeln aus CT- und NMR-Datensätzen übernommen und ein entsprechendes Finite-Elemente-Modell generiert, das aus tetraederförmigen Einzel-elementen besteht. Bei diesem neuen mathematischen Verfahren gehen zwar die patientenindividuellen Faktoren wie Muskelmorphologie und -anatomie in das Modell ein, die interindividuelle Variabilität unterschiedlicher Kontraktionseigenschaften und Bewegungsmuster findet jedoch keine Berücksichtigung (Gladilin, 2003).

Mit diesen neuartigen Verfahren und deren zukünftiger Weiterentwicklung eröffnet sich die Möglichkeit der 4D-Visualisierung des Gesichts und der Gewinnung und

Analyse biometrischer Daten von Einzelstrukturen des Gesichts mit hoher Genauigkeit. Des Weiteren generiert man mit Hilfe der modernen Verfahren Verlaufsstudien zur Veränderung der vierdimensionalen Morphologie des Gesichts durch Wachstum, durch kieferorthopädische bzw. orthodontische Behandlungen und durch kieferorthopädisch-kieferchirurgische Kombinationsbehandlungen oder durch Eingriffe der plastisch-ästhetischen Chirurgie.

Mit den neu konstruierten Meßsystemen zur dreidimensionalen Analyse von Objekten und der Weiterentwicklung zur 4D-Simulation eröffnen sich eine Reihe zukunftsweisender computergestützter Auswertungsalgorithmen innerhalb des Fachgebiets der Kieferorthopädie, der Zahnheilkunde, der Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie und der Plastischen Chirurgie sowie im Bereich der Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde, der Orthopädie und der Unfallchirurgie.

Neben dem naturwissenschaftlichen Anwendungsbereichen der weiterentwickelten Verfahren ergeben sich durch die virtuelle Simulation auch in technischen Bereichen neue Möglichkeiten.

6 Zusammenfassung

Die Mimik stellt ein stark individuell geprägtes Instrument zur nonverbalen Kommunikation dar, das wie bereits Lersch 1935 postuliert hat, ein direkter Ausdruck der menschlichen Seele und Persönlichkeit ist (Lersch, 1932).

Die mimischen Bewegungen sind in neuester Zeit per Computer in vier Dimensionen animierbar, was einen großen innovativen Fortschritt für den Bereich der Naturwissenschaften bedeutet. Im Gegensatz dazu beschäftigte sich die bildende Kunst ausschließlich mit einem zweidimensionalen statischen Objekt, was nicht nur eine subjektive, sondern auch eine unvollständige Darstellung ohne Einbeziehung einer dynamischen Komponente implizierte. Erst mit Hilfe der neuen computergestützten Technik ist ein großer Schritt in Richtung virtuelle Simulation gelungen. So wäre für eine kieferorthopädische oder kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgische Behandlungsplanung eine vorausgehende dynamische Weichteilanalyse für die Prognose der Mimik wünschenswert. Auch für Schönheitsoperationen, sei es nun ein face-lifting oder eine Botox-Behandlung, würde eine virtuelle Simulation der späteren Mimik in vier Dimensionen auf der Grundlage von Durchschnittswerten ein ideales patientenorientiertes Instrument darstellen.

In der vorliegenden Studie wurden für die Untersuchung der interindividuellen Variabilität von fünfzig gesunden, jungen Erwachsenen Enface-Fotografien unter Einnahme von acht unterschiedlichen Gesichtsausdrücken gemacht. Für die Analyse der intraindividuellen Variabilität wurden die Durchschnittswerte von fünf Probanden unter fünfmaliger Einnahme des Gesichtsausdruckes „Lachen on command“ herangezogen. Im Anschluss daran wurden die Fotografien jeweils mit einer Transparenz von 50% auf den neutralen Gesichtsausdruck überlagert. Dabei handelte es sich um ein zweidimensionales, fotobasiertes Verfahren, das die individuellen maximalen Grenzbewegungen in der Frontalebene wiedergab.

Die Vektoren, der pro Proband markierten 23 Messpunkte, wurden in der vertikalen und horizontalen Ebene vermessen und die jeweilige Richtung des Vektors notiert. Mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS wurden die erhobenen Messdaten ausgewertet, wobei die durchschnittlichen Mittelwerte und die Standardabweichungen die Grundlage für die vorliegende Studie bildeten.

Im Bezug auf die interindividuelle Variabilität waren große regionale Unterschiede der Gesichtsausdrücke „on command“ zu verzeichnen, die sich in Abhängigkeit von

der Mimik in den unterschiedlichen Gesichtsdritteln mit hoher Varianz manifestierten. So kam es bei dem Gesichtsausdruck „Augenbrauen zusammenziehen“ im oberen Gesichtsdrittel zu signifikanten Veränderungen, die sich hauptsächlich an der rechten und linken zentralen Augenbraue zeigten. Unter Einnahme des Gesichtsausdrucks „Nase rümpfen“ gab es vorwiegend in vertikaler Richtung Veränderungen in allen Dritteln des Gesichts. Das untere Gesichtsdrittel, mit hohen Durchschnittswerten im Bereich des rechten und linken Mundwinkels, verzeichnete bei dem Gesichtsausdruck „Lachen“ einen relativ hohen durchschnittlichen Betrag des Verschiebungsvektors. Ebenfalls signifikante Veränderungen ergaben sich im unteren Gesichtsdrittel bei dem Gesichtsausdruck „Lippen spitzen“. Dies äußerte sich in der vertikalen Ebene besonders an den drei Unterlippenpunkten und in der horizontalen Ebene an beiden Mundwinkeln. Bei dem Gesichtsausdruck „Augen zusammenkneifen“ zeigten sich die deutlichsten Veränderungen im oberen und mittleren Gesichtsdrittel, wobei die höchsten Durchschnittswerte an der rechten und linken zentralen Augenbraue und dem rechten und linken Infraorbitalpunkt gemessen wurden. Die Veränderung im oberen Gesichtsdrittel manifestierte sich bei dem Gesichtsausdruck „Augen weit öffnen“ in der vertikalen Ebene am anschaulichsten. Dies äußerte sich in einem sehr hohen durchschnittlichen Betrag des Verschiebungsvektors für das erwähnte Drittel, wobei die Durchschnittswerte für die rechte und linke zentrale Augenbraue besonders hervortraten. Bei dem Gesichtsausdruck „Wangen aufblasen“ kam es im unteren Gesichtsdrittel zu signifikanten Veränderungen des Gesichts, welches sich vorwiegend im Bereich des Weichteilpogonions für die vertikale Ebene und der rechten Unterlippe für die horizontale Ebene zeigte. Die vertikale Komponente konnte die größte durchschnittliche Veränderung in allen Gesichtsdritteln bei dem Gesichtsausdruck „ärgerlich schauen“ verzeichnen. Dabei traten die rechte und linke zentrale Augenbraue mit besonders hohen Durchschnittswerten hervor.

Zwischen den Probanden konnte man eine hohe Varianz der Verschiebungsvektoren der einzelnen Messpunkte mit unterschiedlicher Ausprägung bei den verschiedenen Gesichtsausdrücken beobachten. Die teilweise hohen Standardabweichungen sprechen für diese interindividuelle Variabilität.

Bei den Durchschnittswerten der intraindividuellen Variabilität war eine relativ geringe Schwankungsbreite zu verzeichnen. Dabei ist der untersuchte Gesichtsausdruck „Lachen on command“ repräsentativ für alle anderen Mimik-Expressionen.

Zusammenfassend kann man feststellen, dass die faziale Dynamik in ihrer ausgeprägten Individualität einen stark modulierenden Faktor für die ästhetische Wirkung eines Gesichts zeigt. Ein konfektioniertes Bewegungsmuster auf der Basis von allgemein gültigen Durchschnittswerten kommt aufgrund der in dieser Studie gewonnenen Erkenntnisse wegen ihrer Ungenauigkeit nicht in Betracht.

Die hohe interindividuelle Variabilität der mimischen Bewegung lässt die Anwendung stereotyper dynamischer Abläufe zur virtuellen Mimik-Simulation für den klinischen Einsatz als ungeeignet erscheinen. Dennoch kann der ermittelte Datenpool von fünfzig gesunden, jungen Erwachsenen als Kontrollgruppe für weitere Untersuchungen zur Individualität der mimischen Expression dienen.

7 Literaturverzeichnis

1. Ackerman, M., Ackerman, J.: Smile analysis and design in the digital era. *J Clin Orthod* 36, 221-236 (2002).
2. Bänninger-Huber, E.: Die Kunst des Lächelns. Plädoyer für eine differenzierte Betrachtung zwischenmenschlicher Beziehungsgestaltung. *Psychomed* 8, 109-119 (1996).
3. Bahr, C.: Proportion und Vermessung des Gesichts in Kunst und Medizin und der Goldene Schnitt. Diss, Tübingen 1991.
4. Batinic, B.: Mimik und Emotionen. Web (2003).
5. Beckmann-van der Ven, G., Segner, D., Hasund, A.: Die Erfassung der Gesichtswichteiloberfläche in drei Dimensionen unter besonderer Berücksichtigung der Mandibula. *Fortschr Kieferorthop* 46(4), 279-287 (1985).
6. Berndl, K., Grüsser, O., Martini, M., Remschmidt, H.: Comparative studies on recognition of faces, mimic and gestures in adolescent and middle-aged schizophrenic patients. In: Steinkopff, D. (Hrsg): *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience (Historical Archive)*. Springer-Verlag, Berlin 1986: 123-130.
7. Birbauer, N., Schmidt, R.: *Biologische Psychologie*. Springer Verlag, Berlin 2005.
8. Birr, E., Bewersdorff, A.: Der Digigraph: Cephalometrie ohne Röntgenstrahlung. *Praxis Comput* 1, 40 (1993).
9. Borod, J., Koff, E., Yecker, S., Santschi, C., Schmidt, J.: Facial asymmetry during emotional expression: gender, valence and measurement technique. *Neuropsychologia* 36, 1209-1215 (1998).
10. Burke, P., Beard, L.: Stereophotogrammetry of the face. *Am J Orthodont* 53, 769-782 (1971).
11. Burres, S.: Facial biomechanics: the standards of normal. *Laryngoscope* 95, 708-714 (1985).
12. Cacou, C., Richards, R., McGrouther, D.: Potential of surface laser scanning to measure facial movement. *Plast Reconstr Surg* 99, 982-987 (1997).
13. Canut, J.: Extraktion oder Nichtextraktion: Ästhetische Erwägungen. In Bolerder, C., Bounoure, G., Barat, Y. (Hrsg) *Extraction versus Nonextraction*. Neuer Merkur, München 1995.
14. Caruso, A., Stanhope, S., McGuire, D.: A new technique for acquiring three-dimensional orofacial nonspeech movements. *Dysphagia* 4, 127-132 (1989).

15. Cobb, J.: A projected grid method for recording the shape of the human face. Royal Aircraft Establishment, Techn. Rep. 71184, Farnborough (1971).
16. Csaszar, G., Brücker-Csaszar, B.: Weichteilvorhersage in der kieferorthopädischen Chirurgie mit dem Dentofacial Planner. IOK 32, 335-340 (2000).
17. Dann, J., Fonesca, R., Bell, W.: Soft tissue changes associated with total maxillary advancement: a preliminary study. J Oral Surg 34, 19-23 (1976).
18. Dausch-Neumann, D.: Die vertikale Dreiteilung des Gesichts. Fortschr Kieferorthop 25, 301-304 (1964).
19. Eales, E., Newton, C., Jones, M., Sugar, A.: The accuracy of computerized prediction of the soft tissue profile: a study of 25 patients treated by means of the Le Fort I osteotomy. Int J Adult Orthognath Surg 9, 141-152 (1994).
20. Earnst, K.: Facial expression in schizophrenia. Biol Psychiatry 40, 556-558 (1996).
21. Eibl-Eibesfeld, I.: The expressive behavior of the deaf-and-blind-born. In M. von Cranach & I. Vine (Hrsg) Social interaction and movement Academic Press, London 1973: 163-194.
22. Ferrario, V., Sforza C.: Effect of growth and development on human soft tissue facial shape: A Fourier analysis. Int J Adult Orthod Orthognath Surg 1, 155-163 (1996).
23. Ferrario, V., Sforza C., Poggio, C., Serrao, G.: Facial three-dimensional morphometry. Am J Orthod Dentofacial Orthop 109(1), 86-93 (1996).
24. Freedman, M.: Bilateral frontal lobe disease and selective delayed response deficits in humans. Behav Neurosci 100: 337-342 (1986).
25. Frey, M., Jenny, A., Giovanoli, P., Stussi, E.: Development of a new documentation system for facial movements as a basis for the international registry for neuromuscular reconstruction of the face. Plast Reconstr Surg 93, 1334-1349 (1994).
26. Frick, H., Leonhardt, H., Starck, D.: Allgemeine Anatomie. Spezielle Anatomie I. Thieme, Stuttgart 1992: 665-670.
27. Frijda, N.: Moods, Emotion Episodes and Emotions. In: Lewis, M., Haviland, J. (Hrsg): Handbook of Emotions. New York, 1993: 381-403.
28. Garber, D., Salama, M.: The aesthetic smile: diagnosis and treatment. Periodontol 11, 18-28 (1996).
29. Gehricke, J., Shapiro, D.: Reduced facial expression and social context in major depression: discrepancies between facial muscle activity and self-reported emotion. Psychiatry Res 95, 157-167 (2000).

30. Giesen, J.: Dürers Proportionsstudien im Rahmen der allgemeinen Proportionsentwicklung. Diss, Bonn 1930.
31. Gladilin, E.: Biomechanical modeling of soft tissue and facial expressions for craniofacial surgery planning. Ph. D.-Thesis, Berlin 2003.
32. Gottschaldt, K.: Über den Einfluss der Erfahrung auf die Wahrnehmung von Figuren. Psychol Forsch 8, 261-317 (1926).
33. Gross, M., Trotman, C., Moffat, K.: A comparison of three-dimensional and two-dimensional analyses of facial motion. Angle Orthod 66(3), 189-194 (1996).
34. Gubisch, W.: Wo steht die plastische Chirurgie heute? Kieferorthop 12, 141-150 (1998).
35. Hagenmeier, O.: Der Goldene Schnitt. Heinz Moos Verlag, München 1977.
36. Harradine, N., Burnie, D.: Computerized prediction of the results of orthognathic surgery. J Max Fac Surg 13, 245-249 (1985).
37. Hasund, A.: Klinische Kephalemetrie für die Bergen-Technik. Universität Bergen, Norwegen 1973.
38. Hasund, A., Janson, I.: Der kieferorthopädische Behandlungsplan. Organisation und Dokumentation. Hanser, München 1978.
39. Hertl, M.: Das Gesicht des kranken Kindes. Physiognomisch-mimische Studie und Differentialdiagnose unter Bevorzugung des seelischen Ausdrucks. Urban und Schwarzenberg, München 1962.
40. Hirsch-Kauffmann, M., Schweiger, M.: Biologie für Mediziner und Naturwissenschaftler. Thieme, Stuttgart 1996.
41. Hiller, F.: Der vermessene Mensch. Anthropometrie in Kunst und Wissenschaft. Heinz Moos Verlag, München 1973.
42. Hönig, J.: Ästhetische Chirurgie. Steinkopff Darmstadt 2003: 11-21.
43. Holberg, C.: Ästhetik-Prognose im Virtuellen Biomechanik Labor. BZB 40, 46-48 (2003).
44. Holtkamp, C., Zink, E., Drescher, D.: Die Profilprognose - Prüfstein oder Stolperstein der kieferorthopädischen Planung von Dysgnathieoperationen? Kieferorthop 13, 35-48 (1999).
45. Honkavaara, S.: The psychology of expression. Brit J Psych 32 (1961).
46. Humphreys, B.: Proportions of the aesthetic face. Thieme-Stratton Inc., New York 1984.

47. Johnson, D., Smith, R.: Smile esthetics after orthodontic treatment with and without extraction of four first premolars. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 108(2), 162-167 (1995).
48. Jousif, N., Gosain, A., Sanger, J., Larson, D., Matloub, H.: The nasolabial fold: a photogrammetric analysis. *Plast Reconstr Surg* 93, 70-77 (1994).
49. Kessel, S.: Smile analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 124(6), 11-16 (2003).
50. Kobayashi, T., Ueda, K., Honma, K., Sasakura, H.: Three-dimensional analysis of facial morphology before and after orthognathic surgery. *J Cranio-Max-Fac Surg* 18, 68-73 (1990).
51. Konstantos, K., O'Reilly, M., Close, J.: The validity of the prediction of the soft tissue profile changes after Le Fort I osteotomy using the dentofacial planner (computer software). *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 105(3), 241-249 (1994).
52. Leivesley, W.: The reliability of contour photography for facial measurements. *Brit J Orthodont* 10, 34-37 (1983).
53. Le Resche, L., Dworkin, S.: Facial expressions of pain and emotions in chronic TMD patients. *Pain* 35, 71-78 (1988).
54. Lersch, P.: *Lebensphilosophie der Gegenwart*. Quintessenz, Berlin 1932.
55. Lines, P., Steinhäuser, E.: Soft tissue changes in relationship to movements of hard structure in orthognathic surgery: a preliminary report. *J Oral Surg* 32, 891 (1974).
56. Lines, P., Steinhäuser, E.: Diagnosis and treatment planning in surgical orthodontic therapy. *Am J Orthodont* 66, 378 (1974).
57. Linstrom, C.: Objective facial motion analysis in patients with facial nerve dysfunction. *Laryngoscope* 112, 1129-1147 (2002).
58. Linstrom, C., Silverman, C., Susman, W.: Facial motion analysis with a video and computer system: a preliminary report. *Am J Otol* 21, 123-129 (2000).
59. Lippert, H.: *Lehrbuch Anatomie*. Urban und Schwarzenberg, München 1990.
60. Lipps, T.: Einföhlung, innere Nachahmung, und Organempfindungen. *Archiv für die gesamte Psychologie*. Band 1 Quintessenz, Berlin 1903: 185-204.
61. Mackley, R.: An evaluation of smiles before and after orthodontic treatment. *Angle Orthod* 63(3), 183-189 (1993).
62. Mansour, S., Burstone, C., Legan, H.: An evaluation of soft tissue changes resulting from the Le Fort I maxillary surgery. *Am J Orthod* 84, 37-47 (1983).

63. Maslow, A.: *Toward a Psychology of Being*. Princeton: Van Nostrand (1962).
64. Maslow, A.: *Motivation und Persönlichkeit*. Walter, Olten (1977).
65. Moorrees, C.: Orthodontics and dento-facial orthopedics – Past, present and future, Part 1. *Kieferorthop* 12, 17-26 (1998).
66. Moorrees, C.: Orthodontics and dento-facial orthopedics – Past, present and future, Part 2. *Kieferorthop* 12, 127-140 (1998).
67. Marrant, D., Shaw, W.: Use of standardized video recordings to assess cleft surgery outcome. *Cleft Palate Craniofac J* 33, 134-142 (1996).
68. Moss, J., Coombes, A., Linney, A., Campos, J.: Methods of three dimensional analysis of patients with asymmetry of the face. *Proc Finn Dent Soc* 87(1), 139-149 (1991).
69. Neely, J., Pomerantz, R.: Measurement of facial muscle strength in normal subjects. *Laryngoscope* 112, 1562-1568 (2002).
70. Okada, E.: Three-dimensional facial simulations and measurements: changes of facial contour and units associated with facial expression. *J Craniofac Surg* 12(2), 167-174 (2001).
71. Paletz, J., Manktelow, R., Chaban, R.: The shape of normal smile: implications for facial paralysis reconstruction. *Plast Reconstr Surg* 93(4), 784-789 (1994).
72. Pancherz, H., Milat, A.: Beurteilung des Gesichtsprofils in Relation zur Kopfhaltung. *Fortschr Kieferorthop* 55(3), 111-118 (1994).
73. Panowsky, E.: *Aufsätze zu Grundfragen der Kunstwissenschaft*. Hessling, Berlin 1974: 169-204.
74. Radney, L., Jacobs, J.: Soft tissue changes associated with surgical maxillary intrusion. *Am J Orthod* 80, 191-212 (1981).
75. Rasse, M., Forkert, G., Waldhäusl, P.: Stereophotogrammetry of facial soft tissue. *Int. J Oral Maxillofac Surg* 20, 163-166 (1991).
76. Robertson, N.: Contour photography. *Brit J Orthodont* 3, 105-109 (1976).
77. Roche Lexikon Medizin, Urban und Schwarzenberg München 1993.
78. Rufenacht, C.: Morphopsychologie. In: Rufenacht, C. (Hrsg.): *Ästhetik in der Zahnheilkunde. Grundlagen und Realisierung*. Quintessenz, Berlin 1990: 33-58.
79. Rudzki-Janson, I., Thedens, K.: Fotodokumentation, Profil- und Enface-Analyse, Videoimaging. In: Diedrich, P. (Hrsg.): *Kieferorthopädie I. Orofaziale Entwicklung und Diagnostik*. Urban und Fischer, München 2000.

80. Sarver, D., Ackermann, M.: Dynamic smile visualization and quantification: part 1. Evolution of the concept and dynamic records for smile capture. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 124(1), 4-12 (2003).
81. Sarver, D., Ackerman, M.: Dynamic smile visualization and quantification: part 2. Smile analysis and treatment strategies. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 124(2), 116-127 (2003).
82. Sassouni, V.: A roentgenographic cephalometric analysis of cephalo-facio-dental relationships. *Angle Orthod* 16: 735-765 (1955).
83. Schendel, S., Eisenfeld, J., Bell, W., Epker, B., Mischelevich, D.: The long face syndrome: vertical maxillary excess. *Am J Orthod* 70, 398-408 (1976).
84. Schwarz, A.: Die Röntgenostatik. Urban und Schwarzenberg, Wien-Innsbruck 1958.
85. Seeholzer, H., Walker, R.: Kieferorthopädische und kieferchirurgische Behandlungsplanung mit dem Computer am Beispiel des Dentofacial Planer. Informationsschrift der Firma Gemetek, Erding 1992.
86. Segner, D., Hasund, A.: Individualisierte Kephalmetrie. Dietmar Segner Verlag, Hamburg 1994.
87. Serogl, H., Zentner, A., Krause, G.: Experimentelle Untersuchungen zur ästhetischen Wirkung von Gesichtsprofilen. *Fortschr Kieferorthop* 59, 116-126 (1998).
88. Spahl, T.: Premolar extractions and smile esthetics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 124(1), 16-17 (2003).
89. Steinhäuser, E., Janson, I.: Kieferorthopädische Chirurgie, Band 1. Quintessenz, Berlin 1988: 62-66.
90. Steinhäuser, E., Palluk, E.: Weichteilvorhersage bei bimaxillären Operationen. In: Schwenzer, N. (Hrsg.): *Fortschr Kiefer Gesichtschir* 40. Thieme, Stuttgart 1995: 50-57.
91. Steinhäuser, E., Paulus, G.: Weichteilveränderungen nach Kinnplastik. In: Schwenzer, N. (Hrsg.): *Fortschr Kiefer Gesichtschir* 24. Thieme, Stuttgart 1979: 108-112.
92. Strub, J., Türp, J., Witkowski, S., Hürzeler, M., Kern, M.: *Prothetik Curriculum, Bd.1,2,3*. Quintessenz, Berlin 1994.
93. Sütterlin, C.: Was uns gefällt. Kunst und Ästhetik. Funkkolleg Der Mensch – Anthropologie heute. Deutsches Institut für Fernstudien an der Universität Tübingen, Tübingen 1993.

94. Suzuki, N., Takatsu, A., Hattori, A., Ezumi, T., Oda, S., Yanai, T., Tominaga, H.: 3D and 4D Atlas Systems of Living Human Body Structure. In: *Medicine meets Virtual Reality*. IOS Press Amsterdam, Berlin, Oxford, Tokyo, Washington 1998: 131-136.
95. Thalmann Degen, P.: *Die Stereogrammetrie – ein diagnostisches Hilfsmittel in der Kieferorthopädie*. Diss, Zürich 1957.
96. Trotman, C., Faraway, J., Silvester, K., Greenlee, G., Johnston, L.: Sensitivity of a method for the analysis of facial mobility. I. Vector of displacement. *Cleft Palat Craniofac J* 35(2), 132-141 (1998).
97. Trotman, C., Faraway, J.: Sensitivity of a method for the analysis of facial mobility. II. Interlandmark separation. *Cleft Palat Craniofac J* 35(2), 142-153 (1998).
98. Trotman, C., Stohler, C., Johnston, L.: Measurement of facial soft tissue mobility in man. *Cleft Palat Craniofac J* 35(1), 16-25 (1997).
99. Wallbott, H., Lechner, H., Batinic, B.: The process of decoding emotions from facial expressions – Explorations on the function of imitation. In J. Iglesias (ed.), *Facial expression – Measurement and meaning* (1991).
100. Watted, N., Reuther, M.: Kieferorthopädie und Kieferchirurgie. *Kieferorthop* 15, 131-150 (2001).
101. Watted, N., Teuscher, T., Wieber, M.: Vertikaler Gesichtsaufbau und Planung kieferorthopädisch-kieferchirurgischer Kombinationsbehandlungen unter besonderer Berücksichtigung der dentofazialen Ästhetik. *Kieferorthop* 16, 29-44 (2002).
102. Weeden, J., Trotman, C., Faraway, J.: Three dimensional analysis of facial movement in normal adults: Influence of sex and facial shape. *Angle Orthod* 71 (2), 132-140 (2001).
103. Wood, D., Hughes, G., Good, T.: Objective measurement of normal facial movement with video microscaling. *Am J Otolaryngology* 15, 61-65 (1994).
104. Zachrisson, B.: Premolar extraction and smile esthetics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 124(6), 11-12 (2003).
105. Zuker, R., Goldberg, C., Manktelow, R.: Facial animation in children with Mobius syndrome after segmental gracilis muscle transplant. *Plast Reconstr Surg* 106(1), 1-8 (2000).

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich Frau Professor Dr. Ingrid Rudzki-Janson, Direktorin der Poliklinik für Kieferorthopädie der Ludwig-Maximilians-Universität München, für die Überlassung des Dissertationsthemas herzlichst danken.

Ein großes Dankeschön gilt Herrn Dr. Dr. Christof Holberg für die freundliche Unterstützung, die hervorragende Betreuung und die gute Zusammenarbeit während der Erstellung dieser Arbeit.

Besonders möchte ich auch Frau Templer und Frau Nehring danken, die mir mit ihrem Computerfachwissen zur Seite standen.

Ohne die Unterstützung meiner großartigen Familie wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen, wofür ich ihr von ganzem Herzen dankbar bin.

Lebenslauf

Name: Cathrin Maier

Geburtsdatum: 22.12.1972

Geburtsort: München

Staatsangehörigkeit: deutsch

Eltern: Claus Ringel, Kaufmann
Jutta Ringel, Hausfrau

Schulbildung: 1979 – 1984 Volkshochschule Planegg

1984 – 1993 Bertolt-Brecht-Gymnasium in München-Pasing

1993 Allgemeine Hochschulreife

Beruflicher Werdegang: 1993 – 2000 Studium der Zahnheilkunde an der Ludwig-Maximilians-Universität in München

2000 – 2002 Assistenz Zahnärztin in freier Praxis in München

seit 2003 in selbständiger Tätigkeit