



Aus der Poliklinik für Kieferorthopädie
der Universität Würzburg

Direktorin: Professor Dr. med. dent. Angelika Stellzig-Eisenhauer

**Die visuelle Wahrnehmung von erwachsenen Patienten mit einer ausgeprägten
Dysgnathie im Vergleich zu
Erwachsenen ohne dysgnathe Anomalie:
Eine Eye-Tracking Studie**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der
Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von
Matthias Sebastian Fuchs
aus Rosenheim

Würzburg, Januar 2011

Referentin: Professor Dr. med. dent. Angelika Stellzig-Eisenhauer

Koreferent: Privatdozent Dr. med. Dr. med. dent. Josip Bill

Dekan: Professor Dr. med. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 23.03.2011

Der Promovend ist Fachzahnarzt für Kieferorthopädie

MEINER FAMILIE IN DANKBARKEIT GEWIDMET.

Der Autor ist bestrebt, in dieser Publikation die Urheberrechte der verwendeten Grafiken und Texte zu beachten und von ihm selbst erstellte Grafiken und Texte zu nutzen.

Alle innerhalb dieser Publikation genannten und eventuell durch Rechte Dritter geschützte Markenzeichen und Warenzeichen unterliegen uneingeschränkt den Bestimmungen des jeweils gültigen Kennzeichenrechts und den Besitzrechten der jeweils eingetragenen Eigentümer.

Allein aufgrund der bloßen Nennung ist nicht der Schluss zu ziehen, dass Markenzeichen und Warenzeichen nicht durch die Rechte Dritter geschützt sind oder der Autor sich diese zu Eigen macht.

Inhaltsverzeichnis

Titelblatt	I
Referentenblatt.....	II
Widmung	III
Erklärung zum Urheberrecht	IV
Inhaltsverzeichnis	V
1. Einleitung und Literaturübersicht.....	1
1.1. Einführung.....	1
1.2. Die Rolle der Augenbewegungen im Prozess der Wahrnehmung.....	3
1.2.1. Fixation.....	3
1.2.2. Sakkade	4
1.2.3. Blickpfad	4
1.2.4. Einflüsse auf die Art der Blickbewegung.....	6
1.3. Analyse der Wahrnehmung von Gesichtern durch Blickpfadmessung	7
1.3.1. Eye-Tracking	7
1.3.2. Einsatzgebiete der Blickpfadmessung.....	8
1.4. Die Asymmetrie der Gesichtsweichteile	9
1.4.1. Non-invasive 3D-Bildgebung	9
1.4.2. Analyse von Asymmetrien der Gesichtsweichteile	10
2. Fragestellung und Ziele	12
3. Material und Methoden	14
3.1. Studienteilnehmer.....	14
3.2. Patienten/ Kontrollgruppe	15
3.3. Methode zur Bestimmung der Asymmetrie der Gesichtsweichteile	16
3.3.1. 3D-Scan.....	16
3.3.2. Asymmetriegradberechnung	17
3.4. Methode zur visuellen Wahrnehmung.....	20
3.4.1. Bildmaterial zur visuellen Wahrnehmung.....	20
3.4.2. Aufzeichnung der Blickbewegung	22
3.4.3. Ablauf der Registrierung der Augenbewegung.....	23
3.4.4. Auswertung der visuellen Daten	25
3.4.5. Globale Analyse der visuellen Wahrnehmung in den peripheren und zentralen Areas of Interests	26
3.4.6. Spezifische Wahrnehmung innerhalb der zentralen Areas of Interests	27

3.4.7. Subjektive Beurteilung	27
3.5. Statistische Analyse	28
4. Ergebnisse	29
4.1. Bestimmung der Asymmetrie der Gesichtsweichteile.....	29
4.1.1. Analyse der Asymmetriegradberechnung	29
4.2. Analyse der visuellen Wahrnehmung.....	30
4.2.1. Globale Analyse der visuellen Wahrnehmung	30
4.2.2. Spezifische Wahrnehmung innerhalb der zentralen Areas of Interests	33
4.2.3. Subjektive Wahrnehmung	35
5. Diskussion	36
5.1. Einführung.....	36
5.2. Bestimmung der Asymmetrie der Gesichtsweichteile.....	36
5.3. Visuelle Wahrnehmung	40
5.3.1. Globale visuelle Wahrnehmung.....	40
5.3.2. Spezifische visuelle Wahrnehmung.....	42
5.3.3. Subjektive Wahrnehmung.....	43
5.4. Methodenkritik	46
5.5. Schlussfolgerung	46
6. Zusammenfassung	48
7. Publikation.....	50
8. Anhang	51
8.1. Abbildungsverzeichnis	51
8.2. Tabellenverzeichnis	53
8.3. Abkürzungsverzeichnis	54
8.4. Literaturverzeichnis	55
8.5. Präsentationsmaterial.....	73
8.6. Formblätter	75
8.6.1. Einverständniserklärung.....	75
Danksagung	VI
Lebenslauf	VII

1. Einleitung und Literaturübersicht

1.1. Einführung

Da das Gesicht das herausragendste und die Person am stärksten definierende physische Merkmal ist (*Grochowski et al., 2005*), ist es als der wichtigste visuelle Stimulus bei der Kontaktaufnahme und der Kommunikation anzusehen. Dabei wird die visuelle Wahrnehmung von Gesichtern durch ein komplexes Zusammenspiel unterschiedlicher Faktoren, wie Aussehen, Symmetrie und Ausdruck beeinflusst (*Rhodes, 2006*). Ein harmonischer und symmetrischer Körper ist demnach ein zentrales Kriterium für Attraktivität und nur ein gesunder Organismus kann eine symmetrische Entwicklung unter evolutionärem Stress gewährleisten und spiegelt demzufolge phänotypische und genotypische Qualität wieder. Trotz der Vielzahl der Einflussfaktoren lässt sich eine Präferenz für attraktive und symmetrische Gesichter universell in allen kulturellen Kreisen durch die Literatur belegen (*Jones und Hill, 1993; Rhodes, 2006*).

Trotz der Geschwindigkeit mit der wir Gesichter beurteilen, stellt dieser Prozess der Wahrnehmung einen komplexen Vorgang dar. Das Gesicht ist die wichtigste Informationsquelle des Körpers. Es stellt den Fokus der Aufmerksamkeit in zwischenmenschlicher Interaktion dar und übermittelt Informationen auf deren Basis die initialen Eindrücke Anderer getroffen werden. Infolgedessen ist das Gesicht die bedeutendste soziale Informationsquelle. Das beschrieb bereits Darwin (1872) in seiner berühmten Abhandlung „Der Ausdruck der Gemütsbewegungen bei dem Menschen und den Tieren“ (*Darwin, 1872*). Er formulierte darin die These, dass sich der Gesichtsausdruck bei Menschen und Tieren gleicht und wie äußere Merkmale durch Evolution entstanden sind (*Darwin, 1872, Ekman, 2009*). Dies unterstreicht die Bedeutung der visuellen Wahrnehmung von Gesichtern bzw. Gesichtsausdrücken während verbaler und non-verbaler Kommunikation.

Dabei kann die Wahrnehmung des Gesichtes durch lokalisierte Asymmetrien in sensiblen perzeptiven Bereichen wie Nase oder Mund gestört sein. Der Versuch, die Asymmetrie objektiv zu quantifizieren, stellt ein Problem dar. Zum einen muss für eine präzise Analyse der Asymmetrie die komplexe dreidimensionale Architektur des Gesichtes in ein virtuelles Modell überführt werden und zum anderen existiert, im Gegensatz zur Symmetrie, bislang keine universelle Definition der Asymmetrie. Des Weiteren ist, ausgehend von der in der Natur beschriebenen Präferenz der Symmetrie und der Symmetrie als einem Hauptmerkmal für Attraktivität (*Grammer und Thornhill,*

1994, Moller und Thornhill, 1998), von einer potentiellen Gefahr der Stigmatisierung von Individuen mit Asymmetrien im Gesicht auszugehen. Patienten mit unterschiedlichen skelettalen Anomalien, wie skelettaler Klasse II oder skelettaler Klasse III werden in ihrem sozialen Umfeld negativer wahrgenommen, als Mitmenschen mit einer skelettalen Klasse I und unterliegen daher größerem sozialen Stress (wie geringeres Ansehen oder erschwerte Partnersuche) (al Yami et al., 1998, Alpers, 2008, Barbarino et al., 2009).

Vor diesem Hintergrund ist der Zusammenhang von fazialer Asymmetrie und deren visueller Wahrnehmung von Patienten mit einer skelettalen Klasse III Anomalie von besonderem Interesse.

Der Einfluss der fazialen Asymmetrie bezüglich des Ausmaßes und der Lokalisation auf die visuelle Wahrnehmung sollte in dieser Untersuchung analysiert werden.

1.2. Die Rolle der Augenbewegungen im Prozess der Wahrnehmung

Die Augen sind die aktivsten menschlichen Organe, sie bewegen sich ständig während der Periode des Abtastens und der Inspektion einer visuellen Szene. Die Augenbewegungen spielen eine wichtige Rolle bei der visuellen Wahrnehmung, und deren Analyse liefert wichtige Informationen über den Prozess der Wahrnehmung (*Noton und Stark, 1971*). Der Prozess der initialen Wahrnehmung von Gesichtern läuft mit hoher Geschwindigkeit und primär unbewusst gesteuert ab. Die Wahrnehmung während des natürlichen Betrachtens wird durch eine blick-kontrollierte abtastende Vorgehensweise charakterisiert. In einer Eye-Tracking-Studie zeigten *MERTENS et al.* (1993), dass die Bereiche Augen, Nase und Mund, die bevorzugten Zielmerkmale bei der visuellen Wahrnehmung von Gesichtern sind. Dieser sensomotorische Vorgang des visuellen Abtastens des Gesichtes läuft nicht zufällig ab, sondern strukturiert nach einer definierten Abfolge (*Noton und Stark, 1971; Yarbus, 1967*), dem so genannten Blickpfad. Zeichnet man die Augenbewegungen von Versuchspersonen auf, so lässt sich feststellen, dass die visuelle Wahrnehmung aus einem Zyklus von Fixationsperioden und Sakkaden besteht. Jedoch führt nur das Zusammenspiel beider Parameter zur Aufnahme einer visuellen Information.

1.2.1. Fixation

Eine Fixation ist die relative Ruhephase zwischen zwei aufeinander folgenden Augenbewegungen und hat eine Dauer von ca. 80ms bis 300ms (*Karsh und Breitenbach, 1983; Young und Sheena, 1975*).

Von einer Fixation spricht man, wenn das Auge einen bestimmten Punkt, den so genannten Fixationspunkt, fokussiert, um diesen Punkt visuell zu erfassen. Während der Fixationsperioden sind die Augen auf einen festen Fixationspunkt im visuellen Gesichtsfeld gerichtet, sodass der Prozess der perzeptuellen Verarbeitung und der Identifikation des fixierten Objekts ablaufen kann.

Dabei steht der Augapfel allerdings niemals vollständig still. Es finden kontinuierlich minimale Zitterbewegungen mit einer geringeren Amplitude (unter 10 Winkelminuten) während der Fixation statt, die zu kleinen Veränderungen in der Position des Auges auf den anvisierten Punkt führen. Das aufgenommene Bild wird also während der Fixation auf verschiedene Photorezeptoren der Netzhaut projiziert, die dadurch entlastet werden.

Sonst würde die Rezeptorerermüdung dazu führen, dass das wahrgenommene Bild bei der konstanten Darbietung einer visuellen Szene allmählich verschwindet (*Joos et al., 2003*)

1.2.2. Sakkade

Sakkaden sind die schnellsten ruckartigen Augenbewegungen, die zu einer neuen Fixationsperiode im Interessengebiet führen, indem sie die am höchsten auflösende zentrale Netzhautstelle (Fovea) auf den neuen Fixationspunkt richten. Diese schnellen ballistischen Blickbewegungen von einem Zielobjekt zum Nächsten werden als Sakkaden bezeichnet und haben eine Winkelgeschwindigkeit von bis zu 1000° pro Sekunde (*Boff und Lincoln, 1988*).

Die Sakkaden stellen die schnellsten Bewegungen dar, die innerhalb des menschlichen Körpers überhaupt stattfinden können. Sakkaden sind nach dem Auslösen in Richtung und Weite festgelegt und können nicht abgebrochen werden bis das neue Blickziel erreicht ist. Es ist während einer Sakkade also nicht möglich die Richtung dieser zu ändern, um neue visuelle Informationen aufzunehmen. Während dieses Sprungs von einer Fixationsperiode zur Nächsten, ist das visuelle Wahrnehmungsvermögen drastisch eingeschränkt (*Chekalunk und Llewellyn, 1994; Volkman et al., 1978*). Es wird nahezu keine visuelle Information aufgenommen.

1.2.3. Blickpfad

Das Zusammenspiel von Fixationen und Sakkaden ergibt den Blickpfad. Hier besteht ein enger Zusammenhang zwischen der Blickbewegung aufgrund sensorischer Reize und der Verschiebung der Aufmerksamkeit durch kognitive Bewertung (*Corbetta et al., 1998; Deubel und Schneider, 1996; Rizzolatti, Riggio und Sheliga, 1994*). Die Fixationsdauer scheint dabei identisch mit der visuellen Informationsaufnahme zu sein (*Inhoff und Radach, 1998*). Somit lassen sich Fixationen als objektive psychophysiologische Marker der visuellen Aufmerksamkeit verwenden (*Eisenbarth und Alpers, 2006*).

Während der Fixation wird die optische Information aufgenommen und an das Gehirn weitergeleitet. Dort wird die neurologisch verwertbare Information während der Fixationsphase, zum Teil auch noch in der Sakkadenphase, weiter verarbeitet. In früheren Studien wurde gezeigt, dass die Wahrnehmung von Gesichtern sehr schnell

(*Farah et al., 1998*) und ganzheitlich (*Jeffreys, 1996*) über eine spezielle subkortikale Route verläuft (*Johnson, 2005*).

Insbesondere beim Betrachten eines Gesichts fixieren die Augen für gewöhnlich die Hauptmerkmale. Dabei folgen die Augen einer geregelten Bahn, dem so genannten Blickpfad, der in einer festen Anordnung von Merkmal zu Merkmal verläuft (*Noton und Stark, 1971*). Während des Betrachtens eines Gesichts mit neutralem Gesichtsausdruck verläuft der typische Blickpfad von oben nach unten, wobei zuerst die Augen, dann die Nase und zuletzt der Mund als Hauptmerkmale fixiert werden. (*Althoff und Cohen, 1999; Eisenbarth und Alpers, 2006; Loughland et al., 2002; Walker et al., 1977; Whalen et al., 2004; Yarbus, 1967; Yuki et al., 2007*). (Abbildung 1.1.)

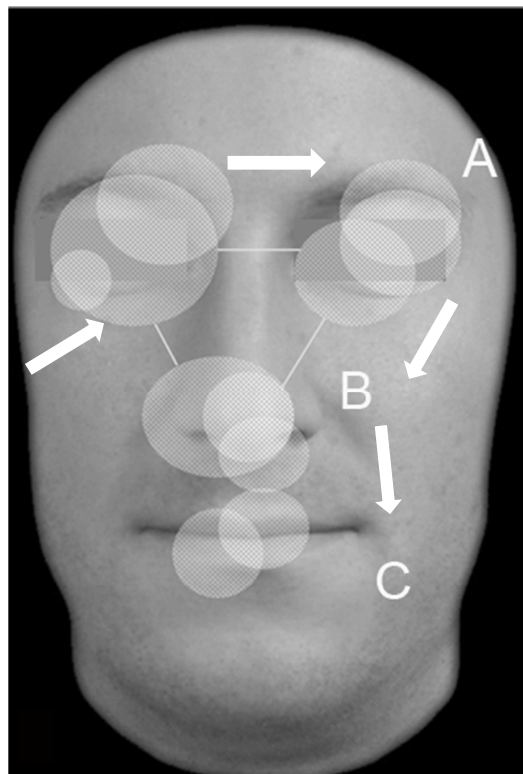


Abbildung 1.1: Möglicher Blickpfad bei der Wahrnehmung eines Gesichts; Fixation der Hauptmerkmale in der Reihenfolge A-B-C: (A) 1. Fixation: Augen; (B) 2. Fixation: Nase; (C) 3. Fixation: Mund.

1.2.4. Einflüsse auf die Art der Blickbewegung

Mehrere Faktoren können die Art der Blickbewegungen, wie zum Beispiel die Dauer von Fixationen und Sakkaden, stark beeinflussen.

Biologische Faktoren, wie Geschlecht oder Alter, aber auch individuelle Faktoren wie Beruf (*Szzechura et al., 1998*), Müdigkeit (*Schleicher et al., 2001*), neurologische Erkrankungen (*Anastasopoulos et al., 1996*) oder der Konsum von Drogen (*Huestegge et al., 2008*), Alkohol (*Moser et al., 1998*) oder Pharmaka (*Coupland et al., 1994*) haben maßgeblichen Einfluss auf die Form und Ausprägung von Augenbewegungen. Auch die Intention der Beobachtung, Gewohnheiten und das Interesse am gezeigten Objekt sind nicht zu vernachlässigende Einflüsse.

Eine entscheidende Rolle spielt auch die Qualität des präsentierten visuellen Objektes. So führen komplizierte Texte oder komplexe grafische Darstellungen zu anderen Blickbewegungen, als bei einfachen Strukturen und Formulierungen mit niedrigem Schwierigkeitsgrad.

1.3. Analyse der Wahrnehmung von Gesichtern durch Blickpfadmessung

Ein Verfahren um die zwischenmenschliche Interaktion mittels Blickkontakt zu untersuchen, ist die Analyse der Augenbewegungen.

Nachdem die Blickbewegungen eng mit der visuellen Aufnahme von Information (*Inhoff und Radach, 1998; Eisenbarth und Alpers, 2006*) und somit auch mit der Wahrnehmung von Gesichtern zusammenhängen, erscheint es sinnvoll die Augenbewegungen zu untersuchen, um Auskünfte über Wahrnehmungsstrukturen zu erhalten. In neuen Studien wurde die visuelle Wahrnehmung von Gesichtern durch eine experimentelle Anordnung analysiert, bei der eine Kamera den Blickpfad verfolgte, dem so genannten Eye-Tracking (*Mertens et al., 1993; Althoff und Cohen, 1999; Lundqvist et al., 1999*).

1.3.1. Eye-Tracking

Das Eye-Tracking ist ein Verfahren bei dem mit Hilfe einer Infrarotkamera die Augenbewegung einer Testperson aufgezeichnet und hinsichtlich einer Fragestellung ausgewertet wird. Durch die videobasierte Aufzeichnung einer Infrarotkamera werden die Position und die Bewegung der Pupille bestimmt. Die zeitliche Auflösung ist in Echtzeit gewährleistet und liegt bei 200 bis 500 Bildern pro Sekunde. Es werden Fixationen innerhalb derer die visuelle Informationsaufnahme stattfindet und Sakkaden, die das Auge zu seinem Zielobjekt führen, dokumentiert.

Bei der Registrierung der Augenbewegungen werden u.a. vor allem folgende Parameter verwendet:

1. Fixationsdauer (80ms bis 300ms): In dieser Zeit zwischen zwei Sakkaden, ist das Auge in relativer Ruhe.
2. Fixationsort: Dies ist der exakte Punkt auf der Reizvorlage auf den das Auge blickt.
3. Fixationsfolge (Blickpfad): Die Fixationsfolge entspricht dem Weg des Auges von der ersten bis zur letzten Fixation beim Betrachten eines Reizes.
4. Anzahl der Fixationen.
5. Sakkadendauer: Winkelgeschwindigkeit bis zu 1000° pro Sekunde. Dies ist die Zeit in der eine schnelle Augenbewegung zwischen zwei Fixationen stattfindet.

1.3.2. Einsatzgebiete der Blickpfadmessung

Während zu Beginn der Augenbewegungsforschung die Untersuchungen hauptsächlich auf rein visuellen Beobachtungen (*Jacob et al., 2003*) und sehr einfachen Eye-Tracking-Systemen basierten, sind die Einsatzgebiete durch die Verbesserung der Technologien der Eye-Tracking-Systeme und der Computertechnik sehr vielseitig geworden.

Der Hauptanteil der Anwendung von Eye-Tracking findet im Labor während sensorischer Tätigkeit statt. Dabei gehören die Psychiatrie und die Psychologie zu den Wissenschaften, die diese Methode der Augenbewegungsregistrierung am häufigsten einsetzen (*Guang-Zhong, 2002*). Der Anwendungsbereich deckt dabei ein sehr weites Spektrum ab und reicht unter anderem von der Verhaltensforschung im Allgemeinen, der Untersuchung psychologischer und neurologischer Erkrankungen bis hin zur Untersuchung der Wirkung von Medikamenten auf Patienten.

Das Eye-Tracking wird auch zur Untersuchung explorativer Tätigkeit eingesetzt und findet Anwendung in zahlreichen Forschungsprojekten des Transportwesens, die zum Beispiel die Aufmerksamkeit während des Steuerns eines Autos oder Flugzeuges untersuchen. Dazu werden spezielle kopfbasierte Messsysteme verwendet, die im Gegensatz zu den Systemen mit Fixation des Kopfes, maximale Bewegungsfreiheit garantieren.

Ein weiterer Anwendungsbereich ist zum Beispiel die Kommunikationswissenschaft, die Eye-Tracking-Verfahren zur Analyse der Mensch-Computer-Interaktion oder zur Qualitätsprüfung zur Verbesserung der Nutzung eines Produktes verwendet.

Der Einsatz des Eye-Tracking-Verfahren in der Zahnheilkunde ist bislang noch unbekannt und soll in dieser Untersuchung erstmals bei der visuellen Wahrnehmung kieferorthopädischer Patienten zum Einsatz kommen.

1.4. Die Asymmetrie der Gesichtswichteile

1.4.1. Non-invasive 3D-Bildgebung

Gesichtsasymmetrien sind ein dreidimensionales Phänomen mit sagittalen, vertikalen und transversalen Komponenten, die, um sie beurteilen zu können, ein diagnostisches Mittel benötigen, das die dreidimensionale Konstitution berücksichtigt (*Proffit*). Asymmetrien, die skelettal manifestiert sind, können sich auf das Weichgewebe auswirken (*Hajeer et al., 2004*). Hart- und Weichgewebe interagieren miteinander und Funktionen sowie Dysfunktionen haben einen Einfluss auf das reziproke Gefüge (*Burstone et al., 1998*). Zum Verständnis der Balance zwischen Hart- und Weichgewebe ist heutzutage im Rahmen einer modernen kieferorthopädischen Diagnostik eine schnelle, präzise und non-invasive Bildgebung notwendig, um reliable 3D-Daten der komplexen Struktur des Gesichtes zu generieren.

Verschiedene non-invasive Methoden zur Akquisition der 3D-Daten sind bereits beschrieben. Die digitale Anthropometrie, Holographie, 3D-Sonographie, Magnetresonanztomographie (MRT) und das Laserscanning stellen unterschiedliche Ansätze dar, ein virtuelles Modell des Gesichtes zu generieren (*Alves et al., 2009; Barbarino et al., 2009; Da Silveira et al., 2003; Farkas et al., 1981; Ferrario et al., 1994; Hell, 1995; O'Grady et al., 1999; Prieels et al., 2009; Sforza et al., 2008; Sforza et al., 2008*). Nachteile der genannten Methoden sind jedoch die Ungenauigkeit der Datenerhebung (*Farkas, Cheung, 1981; Ferrario et al., 1994*), der hohe apparative Aufwand (*Barbarino et al., 2009; Da Silveira et al., 2003; Prieels et al., 2009*) und die lange Aufnahmezeit (*Hell, 1995*). Im Gegensatz dazu zeichnet sich die Stereophotogrammetrie durch ihre Präzision, den im Vergleich geringeren apparativen Aufwand und der einfachen und schnellen Bearbeitung aus (*Nkenke et al., 2003; Nkenke et al., 2004*). Für die präzise dreidimensionale Darstellung des Gesichtes von 180° sind mehrere Aufnahmen bei Einsatz der Stereophotogrammetrie aus unterschiedlichen sich partiell überschneidenden Ansichten notwendig. Dieses präzise, non-invasive und berührungslose Bildgebungsverfahren ist sowohl als initiales Diagnoseinstrument, als auch für longitudinale Datenanalysen bei Schädelasymmetrien geeignet (*Plooij et al., 2009; Plooij et al., 2009*).

1.4.2. Analyse von Asymmetrien der Gesichtsweichteile

Auf dem Gebiet der Kieferorthopädie und der Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie ist eine objektive Analyse der Gesichtsasymmetrie von zentraler Bedeutung sowohl in der Diagnose, longitudinal während des Therapieverlaufs als auch in der Evaluation der Therapieergebnisse (*Janson et al., 2009; Ko et al., 2009; Nkenke et al., 2006; Yamashita et al., 2009*).

Die herkömmliche routinemäßig eingesetzte Diagnostik von Weichteilasymmetrien basiert auf der Analyse von Enface-Aufnahmen des Patienten. Selbst in wissenschaftlichen Untersuchungen zum Thema Gesichtsasymmetrien wird auf Vermessungen von Enface-Aufnahmen des Patienten zurückgegriffen. Diese zweidimensionale Methode analysiert Asymmetrien durch Bestimmung einer Symmetrieebene und durch Messung von Strecken- und Flächendifferenzen zwischen den Gesichtshälften (*Chebib, Chamma, 1991; Edler et al., 2003; Masuoka et al., 2005*). Die Referenzpunkte, die zur Bestimmung der Gesichtsmittellinie herangezogen werden, wie z.B. Nase, Philtrum und Kinn, liegen jedoch häufig nicht exakt in der Gesichtsmitte, was die Präzision der Symmetrieebenenbestimmung in Frage stellt.

Mit der Entwicklung verschiedener Techniken zur dreidimensionalen Erfassung der Gesichtsoberfläche wie Laserscanning, Holographie und Stereophotogrammetrie, haben zahlreiche Arbeitsgruppen versucht, geeignete Analysen zur dreidimensionalen Erfassung von Gesichtsasymmetrien zu entwickeln (*Kau et al., 2007*). Viele dieser Methoden bestimmen die Gesichtssymmetrieebene aus Referenzpunkten und beschreiben die Asymmetrie durch Differenzen zwischen paarweisen Messungen der rechten und linken Gesichtshälfte, wie es von den anthropometrischen Methoden bekannt ist (*Farkas, Cheung, 1981; Ferrario et al., 1994; Ras et al., 1994*). Der Nachteil dieser Methoden ist, dass die Gesichtssymmetrieebene nur durch wenige Referenzpunkte bestimmt wird. Ungenauigkeiten bei der Festlegung der Referenzpunkte führen somit zu erheblichen Ungenauigkeiten und mindern die Reliabilität der Methode. Zudem liegen die Referenzpunkte häufig in Regionen, die von der Asymmetrie betroffen sind, und sind daher nicht geeignet, die Lage der Symmetrieebene korrekt zu definieren. Darüber hinaus sind die auf Referenzpunkten basierenden Methoden nicht in der Lage, Asymmetrien in Regionen darzustellen, in denen Referenzpunkte spärlich sind.

Durch die beschriebenen Methoden ist bislang eine dreidimensionale Quantifizierung der fazialen Asymmetrie nicht möglich. Zwar können mit Hilfe der 3D-Bildgebung exakte virtuelle Modelle der Gesichtsoberfläche generiert werden, jedoch basieren die unterschiedlich verwendeten Methoden zur Analyse der fazialen Asymmetrie meist selbst noch auf zweidimensionalen Grundlagen.

2. Fragestellung und Ziele

Die bisher eingesetzte Diagnostik von Asymmetrien der Gesichtswichteile basiert größtenteils auf der Analyse von zwei- oder dreidimensionalen Daten unter Verwendung einzelner Landmarken. Eine dreidimensionale globale Analyse von Gesichtsasymmetrien bei Dysgnathiepatienten ist bislang noch nicht beschrieben.

Zusätzlich existieren keine objektiven Daten, wie Dysgnathiepatienten visuell wahrgenommen werden und in welchem Ausmaß eine Asymmetrie der Gesichtswichteile die Wahrnehmung beeinflusst.

So wurde die visuell sensomotorische Wahrnehmung von erwachsenen Probanden durch Aufzeichnung von Augenbewegungen untersucht, während Gesichter von Patienten mit einer skelettalen Klasse III Dysgnathie im Vergleich zu einer Kontrollgruppe betrachtet wurden. Darüber hinaus erfolgte die Berechnung des dreidimensionalen Asymmetriegrades der Gesichtswichteile der Patienten sowie der Kontrollgruppe.

Folgende Ziele konnten für die Studie formuliert werden:

- Bestimmung des Asymmetrie-Index der Gesichtswichteile bei Patienten mit ausgeprägter skelettaler Klasse III im Vergleich zu Patienten mit skelettaler Klasse I
- Vergleich der subjektiven Wahrnehmung von Patienten mit ausgeprägter skelettaler Klasse III vs. Patienten mit skelettaler Klasse I
- Identifizierung der Hauptareale für die Perzeption von Gesichtern bei Patienten mit skelettaler Klasse I sowie mit ausgeprägter skelettaler Klasse III

Für die Analyse der visuell sensomotorischen Wahrnehmung wurden folgende Fragen formuliert:

- Existieren Unterschiede bei visueller Wahrnehmung von Patienten mit einer skelettaler Klasse III vs. Patienten mit skelettaler Klasse I in der Dauer der Blickbewegung?
- Gibt es eine Graduierung des Blickbewegungsmusters in Abhängigkeit des Asymmetrie-Index der Gesichter?
- Gibt es einen Zusammenhang zwischen Blickbewegung und subjektiver Beurteilung von Gesichtern nach Gesichtsausdruck, Aussehen und Symmetrie?

Die Hypothese dieser Studie lautete:

Dysgnathiepatienten mit einer skelettalen Klasse III werden mit einem differenten Blickverhalten wahrgenommen und subjektiv negativer bewertet, als Patienten mit einer skelettalen Klasse I.

3. *Material und Methoden*

3.1. Studienteilnehmer

Insgesamt nahmen 24 Personen (13 weiblich, 11 männlich; $25,4 \pm 4,2$ Jahre), die über eine Zeitungsannonce rekrutiert wurden, an der vorliegenden Studie teil.

Einschlusskriterien waren (1) normales Sehvermögen (keine ausgeprägte Myopie/Hyperopie/Astigmatismus), (2) keine medizinisch berufliche Tätigkeit, (3) nicht in medizinischer Behandlung, (4) selbst keine kongenitale Anomalie oder Auffälligkeit im Gesichtsbereich (Piercing, Tattoo...).

Alle Teilnehmer wurden zuvor über den Ablauf der Untersuchung aufgeklärt und gaben ihre Einwilligung mit der Einverständniserklärung (siehe Anhang).

	Studienteilnehmer
Frauen	11 (45,8%)
Männer	13 (54,2%)
Insgesamt	24
Durchschnittsalter	25,4 Jahre (SD: 4,2)

Tabelle 3.1: Studienteilnehmer. Anzahl der Teilnehmer und Aufteilung nach Geschlecht jeweils in Prozent mit Durchschnittsalter. SD: Standardabweichung.

3.2. Patienten/ Kontrollgruppe

Für die Untersuchung wurden 18 erwachsene Patienten kaukasischer Rasse mit ausgeprägter skelettaler Klasse III und Laterognathie akquiriert. Davon waren acht Personen weiblichen und zehn männlichen Geschlechts. Das durchschnittliche Alter betrug 24,5 Jahre. Die Einschlusskriterien waren ein Wits-Wert größer -3mm und ein ANB $< 0^\circ$. Alle skelettale Klasse III Patienten waren für eine kombiniert kieferorthopädisch/kieferchirurgische Therapie in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universität Würzburg vorgesehen.

Als Kontrollgruppe wurden ebenfalls 18 erwachsene Patienten kaukasischer Rasse mit einer skelettalen Klasse I, davon acht Personen weiblichen und zehn männlichen Geschlechts rekrutiert. Das durchschnittliche Alter betrug 25,7 Jahre. Die Einschlusskriterien war ein Wits-Wert von 0mm mit einer Standartabweichung von 2mm und ein ANB von $1-4^\circ$. Ausgeschlossen wurden Patienten mit LKG-Spalten sowie andere kongenitale Anomalien.

3.3. Methode zur Bestimmung der Asymmetrie der Gesichtsteile

Zur Bestimmung des Asymmetrie-Index der Gesichtsteile wurde bei allen Patienten mit ausgeprägter skelettaler Klasse III sowie bei allen Patienten mit skelettaler Klasse I ein 3D-Scan durchgeführt.

3.3.1. 3D-Scan

Zum Generieren der 3D-Datensätze der Gesichter wurde der Sensor FaceScan3D (3D-Shape, Erlangen, Deutschland) verwendet. Der optische Sensor arbeitet berührungslos, nach dem Prinzip der phasenmessenden Triangulation bei hoher Auflösung in z-Richtung (0,2 mm) und geringer Messdauer (0,3 ms). Beim Einsatz des Sensors sind keine weiteren Sicherheitsvorkehrungen zum Schutz des Patienten notwendig, da die Lichtintensität gering ist und keine ionisierenden Strahlen verwendet werden. Durch eine geeignete Spiegelkonstruktion kann mit nur einer Messaufnahme das Gesicht des Patienten von Ohr zu Ohr erfasst werden (Abbildung 3.1).



Abbildung 3.1: Spiegelkonstruktion für die Messaufnahme von Ohr zu Ohr.

Mittels der Software Slim3D (3D-Shape, Erlangen, Deutschland) erfolgte vollautomatisch die Triangulation, Verschmelzung und Nachbearbeitung der Messdaten. Als Ergebnis dieser Flächenmodellierung lagen die Messdaten als Dreiecksnetze vor und konnten entsprechend visualisiert werden (Abbildung 3.2). Eine detaillierte Beschreibung des Vorgehens kann in früheren Veröffentlichungen nachgelesen werden (Benz et al., 2002; Hartmann et al., 2007; Meyer-Marcotty et al., 2008).

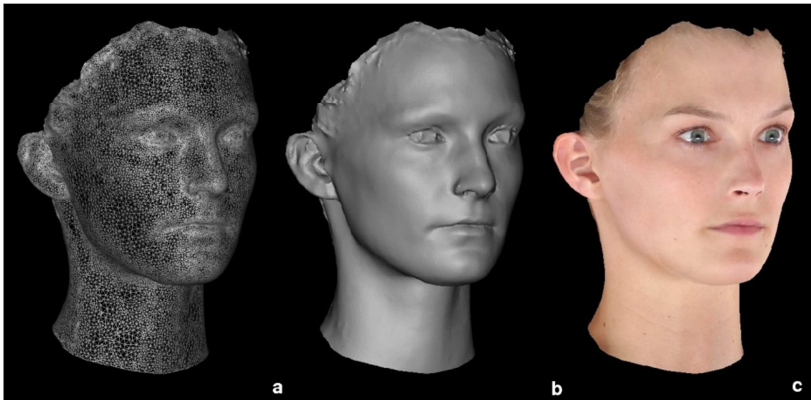


Abbildung 3.2: Ergebnis der Messdaten nach Triangulation (a) und Flächenmodellierung (b), sowie mit Farbtextur zur Visualisierung

3.3.2. Asymmetriegradberechnung

Die Bestimmung des Asymmetriegrades der Gesichtswichteile gliederte sich in zwei Prozesse. Zunächst musste die Symmetrieebene des Gesichtes computerbasiert bestimmt werden, um in einem zweiten Schritt den Asymmetriegrad der Gesichtswichteile unabhängig von einzelnen manuell gewählten Landmarken zu ermitteln.

Zur Bestimmung der Gesichtssymmetrieebene wurde die von Benz et al. (2005, 2002) entwickelte Methode verwendet, deren Kernidee die Rückführung der Symmetrieebenenbestimmung auf ein Registrierungsproblem ist. Das Standardverfahren, um zwei Oberflächen im 3D-Raum hinsichtlich minimalen Abstandes zueinander auszurichten, ist die sog. Registrierung, die aus Translation und Rotation des gespiegelten Koordinatensystems besteht:

Das Dreiecksnetz des 3D-Gesichtsdatensatzes wurde an einer beliebigen Ebene im Raum gespiegelt. Folgend wurden der Originaldatensatz und das Spiegelbild mittels einer manuellen Grobregistrierung zur Deckung gebracht und anschließend durch algorithmische Berechnung automatisch feinregistriert (Abbildung 3.3). Diese

Feinregistrierung basierte auf speziellen Iterated-Closest-Point-Algorithmen. Nach der Registrierung erfolgte die Berechnung der Symmetrieebene mit Hilfe von assoziierten Punkten des Originaldatensatzes und des registrierten Spiegelbildes.

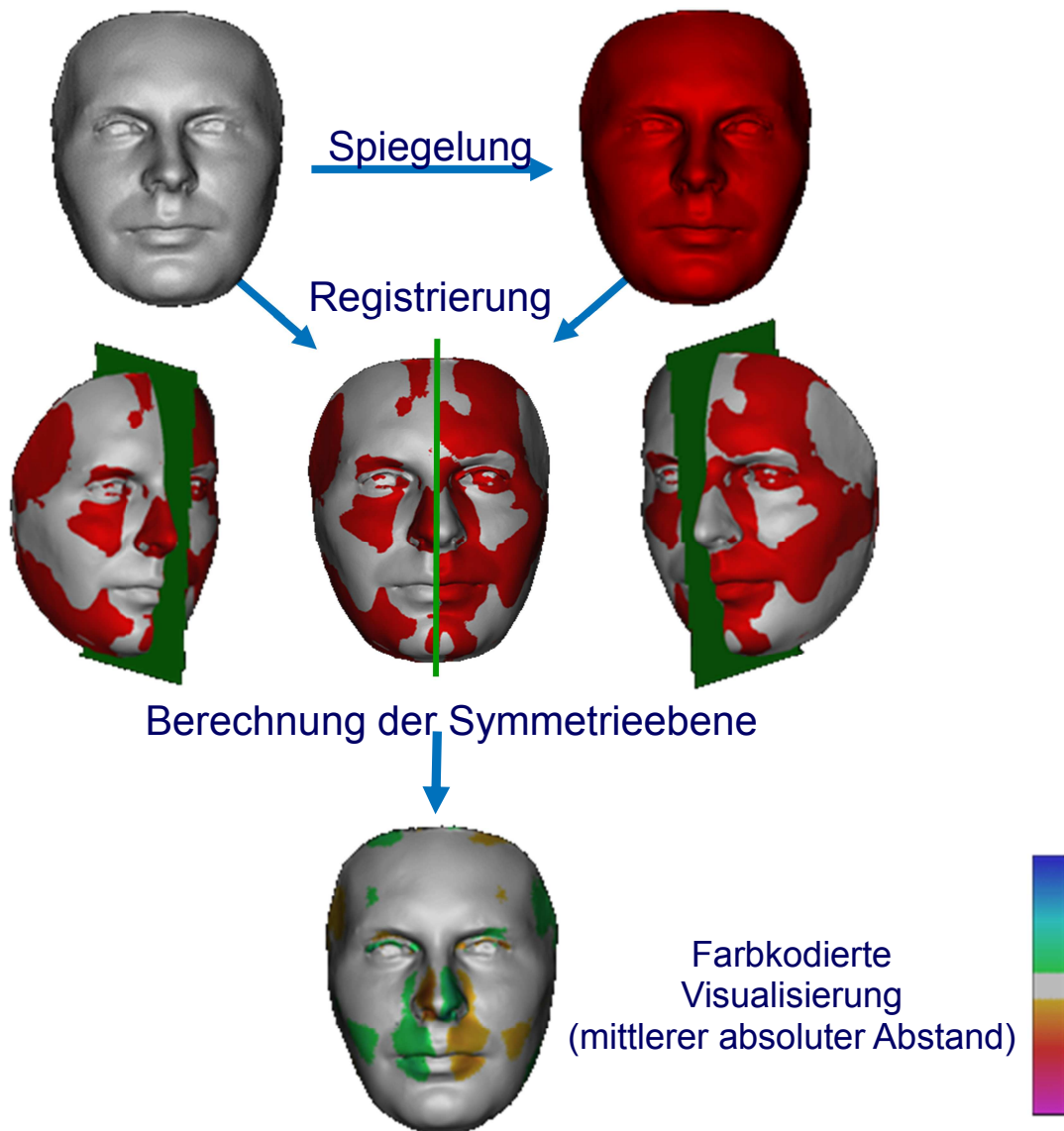


Abbildung 3.3. Registrierung von Original und Spiegelbild mit Berechnung der Symmetrieebene aus korrespondierenden Punkten. Die durch quantitativen Vergleich zwischen Original und Spiegelbild ermittelten Punkteabstände können farbkodiert dargestellt werden.

In einem zweiten Schritt erfolgte der quantitative Vergleich der Originalgesichtsoberfläche mit ihrem Spiegelbild. Mittels Abstandsberechnungen zwischen Originalgesichtsoberfläche und dem Spiegelbild war die Quantifizierung der Asymmetrie der gesamten Gesichtsoberfläche dreidimensional möglich. Dabei wurde für jedes Dreieck im Überlappbereich der beiden Oberflächen der Abstand zur anderen Oberfläche bestimmt. Der mittlere absolute Abstand zwischen der Originalgesichtsoberfläche und dem Spiegelbild konnte so aus allen lokalen Einzelabständen berechnet werden und als Asymmetriegrad definiert werden (siehe Abbildung 3.4).

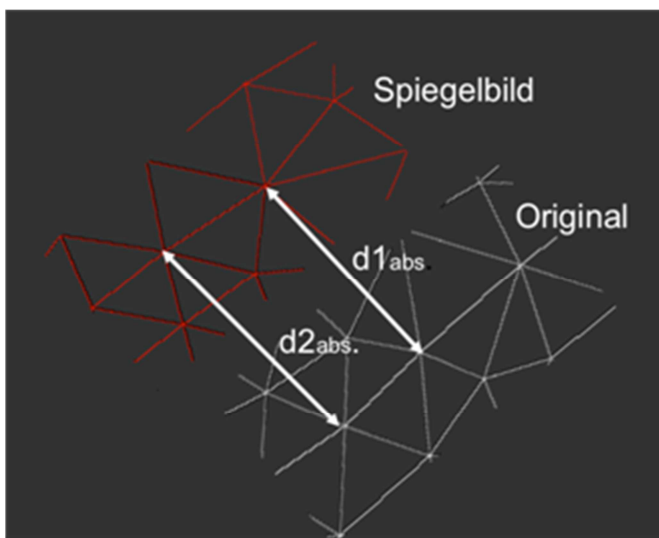


Abbildung 3.4. Berechnung des lokalen Einzelabstandes zwischen Original und Spiegelbild anhand zweier assoziierter Punktepaare. Der 3D-Asymmetriegrad berechnet sich aus dem mittleren absoluten Abstand d_{abs} aller lokaler Einzelabstände.

3.4. Methode zur visuellen Wahrnehmung

Die prospektiv kontrollierte Studie wurde von der Poliklinik für Kieferorthopädie in Zusammenarbeit mit dem Institut für Psychologie, Lehrstuhl 1, an der Universität Würzburg durchgeführt. Den 24 Studienteilnehmern wurde in randomisierter Reihenfolge das Bildmaterial der Gesichter mit einer skelettalen Klasse III und die Gesichter der Kontrollgruppe mit einer skelettalen Klasse I über einen Bildschirm präsentiert. Zeitgleich wurde die Blickbewegung der Betrachter aufgezeichnet. Im Anschluss erfolgte die subjektive Beurteilung von Gesichtsausdruck, Aussehen und Symmetrie aller Gesichter anhand einer 9-Punkte-Skala.

Neben der Einverständniserklärung und soziodemographischen Angaben wurden bei allen Personen Vor- und Nachbefragungen zur Sicherung eines standardisierten Versuchsablaufes durchgeführt.

Die Untersuchung dauerte mit Einweisung ca. 30 Minuten, wobei die Aufzeichnung der Blickbewegung ca. 15 Minuten betrug, innerhalb derer sich der Studienteilnehmer nicht bewegen durfte.

3.4.1. Bildmaterial zur visuellen Wahrnehmung

Zur Analyse der visuellen Wahrnehmung von den Gesichtern der Patienten mit skelettaler Klasse III und der Kontrollgruppe wurden standardisierte Frontalaufnahmen angefertigt. Das Bildmaterial wurde standardisiert bearbeitet. Die Frontalaufnahmen zeigen Patienten mit neutralem Gesichtsausdruck und Blickkontakt zum Betrachter (*Kampe et al., 2001; O'Doherty, 2003*).



Abbildung 3.5: Standardisiertes Bild a) eines Patienten mit ausgeprägter skelettaler Klasse III und b) eines Kontrollpatienten

Alle Frontalaufnahmen wurden vor dem gleichen dunklen Hintergrund aufgenommen und im Anschluss mit einem Bildbearbeitungsprogramm (PHOTOSHOP FÜR WINDOWS) bearbeitet. Die Fotografien wurden bis zur Kontur des Gesichts zugeschnitten, so dass Auffälligkeiten wie Haarfarbe, Frisur, Hautkolorit, Kopfform, Ohren und Schmuck nicht in die visuelle Beurteilung mit einfließen (Abbildung 3.5). Die Bildgröße betrug 412 x 581 Pixel mit einer Auflösung von 96 Pixeln pro Inch.

Ausschlusskriterien waren Auffälligkeiten im Gesichtsbereich, wie z.B. Piercings, Tätowierungen oder Narben.

3.4.2. Aufzeichnung der Blickbewegung

Für die videobasierte Aufzeichnung der Augenbewegungen wurde das iVIEW X-High-Speed-System benutzt. Der Versuchsaufbau, bestand aus einem Monitor mit einer Auflösung von 1024 x 768 Pixeln zur Präsentation des Bildmaterials und der Infrarotkamera im Kopfteil des Eye-Tracking-Apparates (Alpers, 2008; Gerdes et al., 2008) (Abbildung 3.6.).

Die Augenbewegungen der Probanden wurde mittels videobasierter Registrierung der Blickbewegungen (Eye-Tracking) während der Präsentation von monochromen Frontalaufnahmen (in jeweils gespiegelter und ungespiegelter Version) von 18 erwachsenen Patienten mit einer skelettalen Klasse III Dysgnathie, sowie 18 erwachsenen Patienten mit symmetrischen Gesichtern mit skelettaler Klasse I unter standardisierten Bedingungen erfasst. Insgesamt ergibt sich so eine Anzahl von 72 Aufnahmen, die den Studienteilnehmern als Stimulus für die Aufzeichnung der Blickbewegung präsentiert wurden.



Abbildung 3.6: Darstellung des in der vorliegenden Studie verwendeten Versuchsaufbaus. Während der Präsentation von Gesichtern wird die Blickbewegung registriert.

Es handelte sich um eine berührungslose Registrierung der Blickbewegung mittels einer iVIEW X-High-Speed Kamera (SensoMotoric Instruments, Teltow, Deutschland) mit

einer zeitlichen Auflösung von 238Hz. Das Präsentationsmaterial wurde von der Präsentations-Software (Version 0.90, www.Neurobs.com) wiedergegeben.

Dabei wurde ein Infrarotlichtstrahl auf die Augen gerichtet und eine Videokamera nahm ein Bild der Augen auf (Abbildung 3.7.). Es wurden sowohl die Pupillen, als auch ein Reflexpunkt des Infrarotlichts auf der Hornhaut, der so genannte Cornea-Reflex, aufgezeichnet. Die Bilder der Augenposition wurden mit einer räumlichen Auflösung von $0,5^\circ$ bis 1° abgetastet.

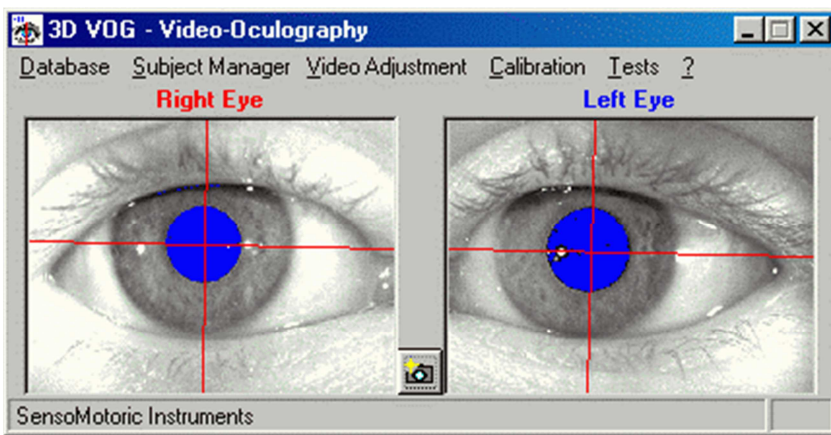


Abbildung 3.7: Registrierung der Augenbewegungen mit iView X-High-Speed Kamera (SensoMotoric Instruments, Teltow, Deutschland).

Die Eye-Tracking-Software errechnete anschließend die Augenbewegungen aus dem relativen Abstand von Pupillen und Hornhautreflex. Daraus ließen sich exakte Daten über Fixationsfolgen, Sakkaden und Betrachtungszeiträume rekonstruieren.

3.4.3. Ablauf der Registrierung der Augenbewegung

Jeder Teilnehmer wurde einzeln untersucht. Die korrekte Fixierung des Kopfes der Probanden zur Aufzeichnung der Augenbewegungen durch den Eye-Tracker war durch eine Stirn- und Kinnstütze gewährleistet (Abbildung 3.5). Um weitere Bewegungsartefakte zu minimieren wurde gesondert auf eine komfortable Sitzposition der Probanden geachtet. Um die Aufmerksamkeit der Probanden während der gesamten Messung sicher zu stellen, erfolgte zu Beginn eine Einweisung über die Dauer des Versuchs und des Ablaufs. Zudem wurde der Versuchsraum abgedunkelt und nach der Hälfte der Präsentation eine Pause zur Erholung vorgesehen. Hintergrundgeräusche ließen sich auf ein Minimum reduzieren.

Vor Beginn der Registrierungszyklen wurde die Kamera auf den Probanden individuell kalibriert. Der Proband fixierte dabei die nacheinander auf unterschiedlichen Positionen auf dem Bildschirm erscheinenden Kalibrierungskreuze. Durch dieses Vorgehen wurde die Eye-Tracking-Kamera auf das rechte Auge des Probanden eingestellt. Anschließend erschienen drei Textfolien zur Instruktion der Probanden. Die Präsentation eines Gesichts bzw. eine genaue Vorgabe des Studienziels wurde vermieden, so dass keine Erwartungshaltung bei den Probanden erzeugt wurde (*Borod, 1988*). Die genaue Instruktion für das Blickexperiment lautete: „Ihre Aufgabe besteht darin, sich das Gesicht so lange frei anzusehen, bis es vom Bildschirm verschwindet. Ihre Augen sollen sich dabei bewegen.“

Anschließend erfolgten vier Testläufe, bei denen die Augenbewegungen der teilnehmenden Probanden beim Betrachten der Gesichter kontinuierlich aufgezeichnet wurden. Diese vier Testaufzeichnungen dienten lediglich der Übung und wurden von der Datenanalyse ausgeschlossen. Vor jedem präsentierten Gesicht, erfolgte die Fixierung eines zentralen Kalibrierungspunktes in Form eines Kreuzes in der Mitte des Bildschirms durch den Probanden. Nachdem das Kreuz für 1,5 Sekunden kontinuierlich fixiert wurde, startete die Präsentation in randomisierter Reihenfolge. Damit konnte sichergestellt werden, dass die Lage der Aufmerksamkeit zu Beginn einer Präsentation für alle Probanden dieselbe war. Das Präsentationsmaterial erschien entweder in der rechten oder in der linken Bildschirmhälfte, um eine erste Sakkade zum präsentierten Gesicht zu erzeugen und eine zufällige Fixation auszuschließen. Die Präsentationszeit für jedes Gesicht betrug fünf Sekunden. Der Zeitabstand zwischen Präsentation des Fixationskreuzes und des Stimulus war 250ms (Abbildung 3.8.).

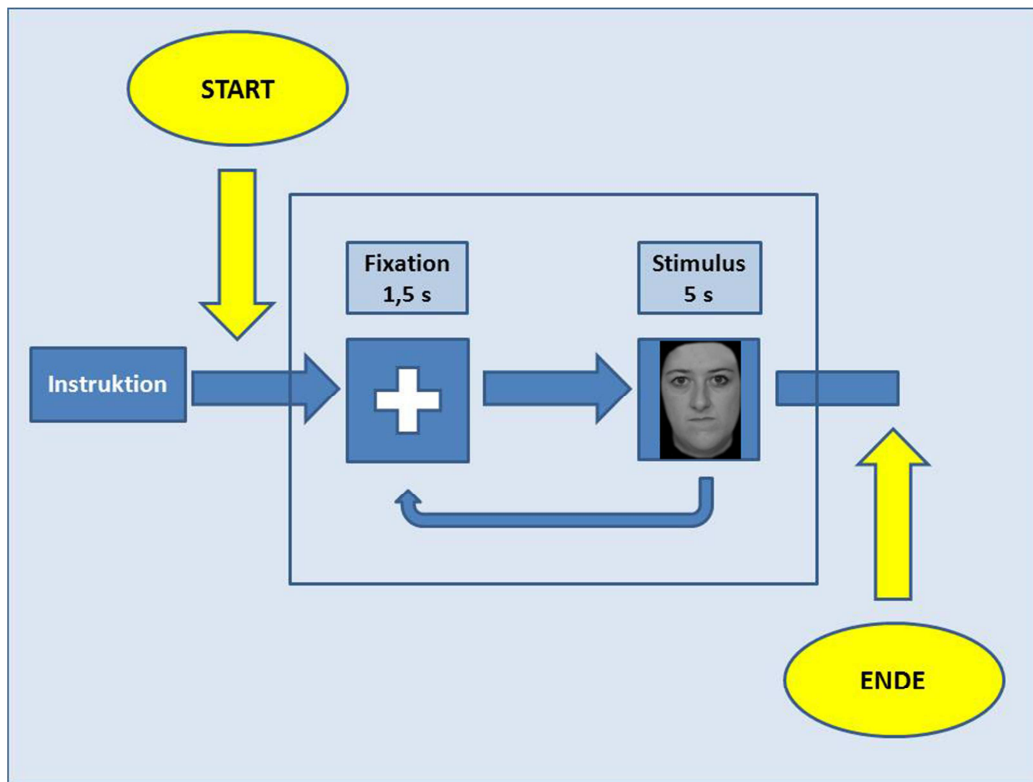


Abbildung 3.8 Zeitlicher Ablauf der Präsentation.

3.4.4. Auswertung der visuellen Daten

Für die Auswertung der visuellen Daten wurde die Fixation während der Registrierung der Augenbewegung als ein Hauptparameter definiert.

Die Fixation entsprach einem Zustand, bei dem sich das Auge bezüglich des visuellen Reizes für mindestens 80ms in relativem Stillstand befand. Der Stillstand wurde als Bewegung des Auges während 80ms von maximal $2,02^\circ$ definiert. (Begaze Software, SensoMotoric Instruments, Teltow, Deutschland) (Alpers, 2008). Die Sakkaden wurden als Zielbewegung zwischen zwei Fixationen definiert und wurden nicht direkt in die Datenanalyse mit einbezogen.

Es ließen sich während der Präsentation der Gesichter die folgenden Parameter des Blickpfades der Probanden registrieren:

1. Lokalisation der Fixationen
2. Anzahl der Fixationen
3. Dauer der Fixationen
4. Gesamtanzahl der Fixationen
5. Gesamtdauer der Fixationen

3.4.5. Globale Analyse der visuellen Wahrnehmung in den peripheren und zentralen Areas of Interests

Nach Aufzeichnung der Augenbewegungen wurden zur Analyse der Daten innerhalb des Bildmaterials die morphologischen Areale „Stirn“, „Wangen“ und „Kinn“ als periphere Areas of Interest (AOI) und die Areale „Augen“, „Nase“ und „Mund“ als zentrale AOI definiert. Innerhalb der globalen Analyse der visuellen Wahrnehmung wurde die Dauer der ersten sechs Fixationen in den peripheren und zentralen Arealen gemessen.

(Abbildung 3.9.).



Abbildung 3.9.: Aufnahme eines Patienten mit ausgeprägter skelettaler Klasse III als Stimulusmaterial. Auswertung der eye tracking Daten bezüglich der Fläche der peripheren AOI (rot) und der zentrale AOI (weiss).

3.4.6. Spezifische Wahrnehmung innerhalb der zentralen Areas of Interests

Die Analyse des Blickpfades beinhaltete neben der globalen Analyse (Dauer der ersten sechs Fixationen in den peripheren vs. zentralen Arealen) auch eine spezifische Wahrnehmung innerhalb der zentralen AOIs. Zur spezifischen Wahrnehmung innerhalb der AOIs Auge, Nase, Mund wurden folgende zwei Indizes definiert:

- **dauerhafte Wahrnehmung:** Dauer aller Fixationen in Abhängigkeit der AOI
- **initial unbewusste Wahrnehmung:** die ersten drei Fixationen innerhalb der ersten 500ms in Abhängigkeit der AOI

3.4.7. Subjektive Beurteilung

Im zweiten Teil der Studie zur visuellen Wahrnehmung beurteilten die Studienteilnehmer die Aufnahmen der präsentierten Gesichter auf einer 9-Punkte-Skala in Bezug auf Gesichtsausdruck, Aussehen sowie Symmetrie. Dabei war der Wert 1 sehr schlecht und der Wert 9 sehr gut. Die 36 Aufnahmen wurden als Original und gespiegelte Version angefertigt, um eine links/rechts Präferenz bei Beurteilung von Gesichtshälften auszuschließen (*Gilbert und Balkan, 1973; Etcoff, 1984*) (Abbildung 3.4, Anhang). Insgesamt ergab sich so eine Anzahl von 72 Aufnahmen, die den Studienteilnehmern als Stimulus präsentiert wurden.

Die Beurteilung der einzelnen Bewertungskriterien erfolgte separat in unterschiedlicher Reihenfolge. Somit ergaben sich 226 einzelne Bewertungsdurchgänge (3 x 72 Bilder). Die Bilder wurden so lange gezeigt, bis der Proband den Weiter-Knopf drückte.

3.5. Statistische Analyse

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm SPSS 14.0.

Es wurde Varianzanalysen (Analysis of Variance, ANOVA) mit den Parametern der Augenbewegungen als voneinander abhängige Variablen durchgeführt. Die unabhängigen Variablen waren zum einen der Faktor „Bildkategorie“ (Patienten mit skelettaler Klasse III vs. Kontrollgruppe) und der Faktor „AOI“ (AOI Auge, AOI Nase, AOI Mund). Als Signifikanzniveau wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $p > 0,05$ definiert. Die Nachtestung mit dem post-hoc Verfahren erfolgte bei signifikanten Ergebnissen.

Die Analyse des Asymmetriegrades zwischen der Patientengruppe und der Kontrollgruppe erfolgte mit dem t -Test für unabhängige Stichproben.

4. Ergebnisse

4.1. Bestimmung der Asymmetrie der Gesichtsteile

Zur Bestimmung des Asymmetrie-Index der Gesichtsteile konnte bei allen Patienten mit ausgeprägter skelettaler Klasse III sowie bei allen Patienten mit skelettaler Klasse I (Kontrollgruppe) das Ausmaß der Asymmetrie anhand der 3D-Scans mit der beschriebenen Methode ermittelt werden.

Es konnte reproduzierbar und valide die Symmetrieebene jedes Gesichtes (3D-Scans) bestimmt und darauf basierend eine objektive Quantifizierung des Asymmetriegrades erzielt werden.

4.1.1. Analyse der Asymmetriegradberechnung

Die Patientengruppe mit skelettaler Klasse III wies einen mittleren Asymmetriegrad der Gesichtsteile von $85,014 \times 10^{-2}$ mm mit einer Standardabweichung von $36,888 \times 10^{-2}$ mm auf. Der mittlere Asymmetriegrad der Kontrollgruppe war $60,254 \times 10^{-2}$ mm mit einer Standardabweichung von $10,423 \times 10^{-2}$ mm.

Die Ergebnisse der Berechnung des Asymmetriegrades ergaben, dass sich die Patientengruppe neben der Ausprägung der skelettalen Klasse auch durch eine verstärkte Asymmetrie der Gesichtsteile signifikant von der Kontrollgruppe unterschied (Tabelle 4.1).

Asymmetrie-Index	N	Mittelwert (mm)	SD	P
Patientengruppe	18	$85,014 \times 10^{-2}$	$36,888 \times 10^{-2}$	0,019*
Kontrollgruppe	18	$60,254 \times 10^{-2}$	$10,423 \times 10^{-2}$	

Tabelle 4.1: Mittelwert und SD der Asymmetriegradberechnung der Gesichter von Patienten mit ausgeprägter skelettaler Klasse III und Gesichter

4.2. Analyse der visuellen Wahrnehmung

Im Rahmen der Studie konnten die Fixationsereignisse aller 24 Studienteilnehmer bei Präsentation des Bildmaterials der Gesichter mit einer skelettalen Klasse III und der Gesichter der Kontrollgruppe mit einer skelettalen Klasse I aufgezeichnet werden. Im Anschluss erfolgte die Analyse der subjektiven Beurteilung von Gesichtsausdruck, Aussehen und Symmetrie aller Gesichter.

4.2.1. Globale Analyse der visuellen Wahrnehmung

Zur Berechnung der globalen Analyse der visuellen Wahrnehmung wurde die Dauer der ersten sechs Fixationen aller Studienteilnehmer bei Betrachtung der Patientengesichter und Kontrollgesichter in den peripheren und zentralen AOIs zusammengefasst.

Der Mittelwert sowie die Standardabweichung konnte ermittelt werden.

Der Mittelwert der ersten sechs Fixationen aller Studienteilnehmer zeigte einen signifikanten Unterschied bezüglich der AOI. Die Analyse der Augenbewegungen ergab, dass 88.71% (SD = 5.98) der ersten sechs Fixationen in den zentralen AOIs lokalisiert waren, wohingegen nur 11.29% (SD = 5.98) der ersten sechs Fixationen in den peripheren AOIs lagen (Abbildung 4.1).

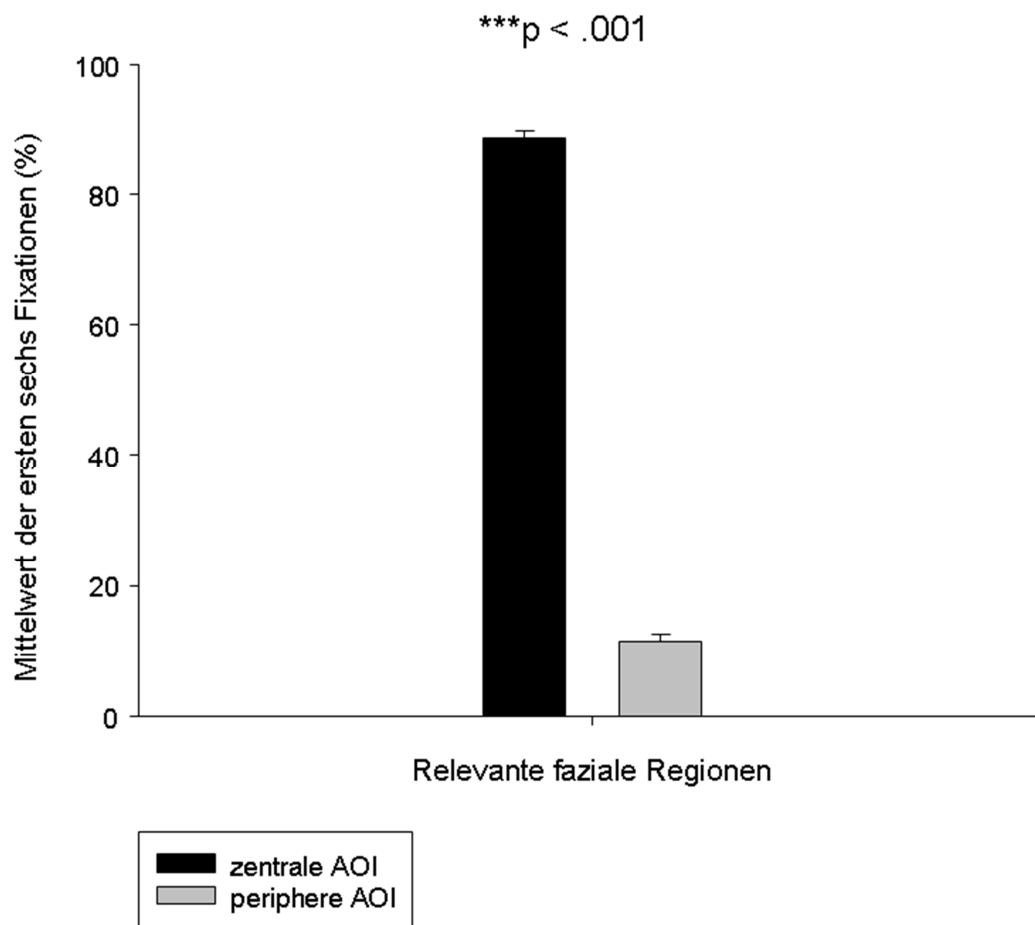


Abbildung 4.1: Mittelwert und SD der ersten sechs Fixationen (in %) in der peripheren AOI und der zentralen AOI.

In der Abbildung 4.2 ist exemplarisch die Aufzeichnung eines Augenbewegungsmusters dargestellt. Der Hauptanteil aller Fixation ist dabei innerhalb eines invertierten Dreiecks mit den Eckpunkten im Bereich beider Augen und des Mundes entlang der Symmetrieebene des Gesichtes zu finden.

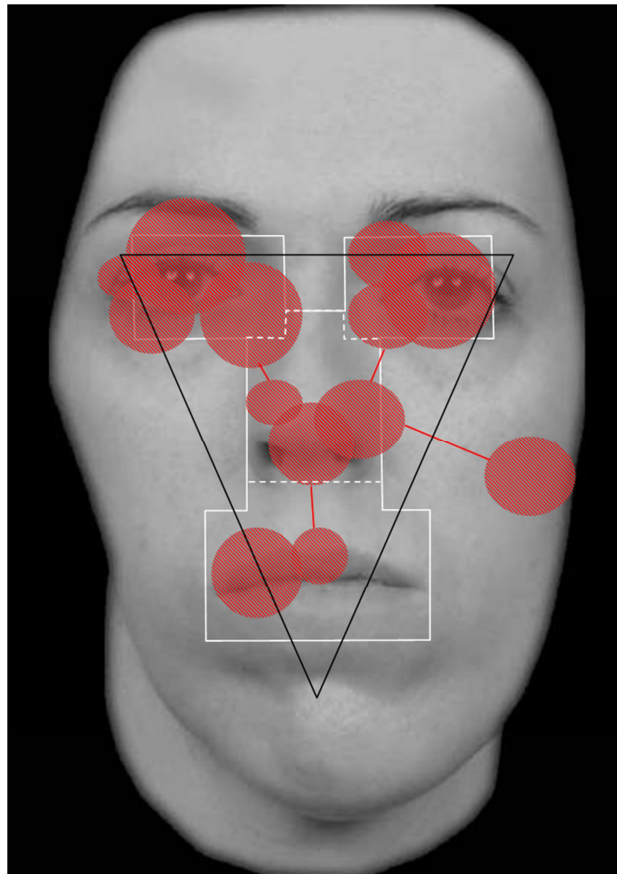


Abbildung 4.2. Exemplarische Aufzeichnung der Augenbewegungen eines Probanden während der Wahrnehmung eines Patienten mit skelettaler Klasse III. Jeder Kreis repräsentiert eine Fixation und die Dimension der Kreise entspricht der Fixationsdauer.

4.2.2. Spezifische Wahrnehmung innerhalb der zentralen Areas of Interests

Die Ergebnisse der spezifischen Wahrnehmung innerhalb der zentralen Areas of Interests gliederte sich in folgende zwei Indizes:

- **dauerhafte Wahrnehmung:** Dauer aller Fixationen in Abhängigkeit der AOI
- **initial unbewusste Wahrnehmung:** die ersten drei Fixationen innerhalb der ersten 500ms in Abhängigkeit der AOI

Dauerhafte Wahrnehmung

Die Gesamtdauer aller Fixationen zeigte, dass die Studienteilnehmer bei Betrachtung der Gesichter von Patienten mit skelettaler Klasse III signifikant kürzer in die zentralen AOIs fixierten. Im Gegensatz dazu wurden die zentralen AIOs bei Betrachtung der Gesichter der Kontrollgruppe (skelettale Klasse I) signifikant länger fixiert (zentrale AOI – skelettale Klasse III: Mittelwert = 34145.86 ms, SD = 6733.83 ms; skelettale Klasse I: Mittelwert = 35148.37, SD = 6510.71 ms; $p = .043$)

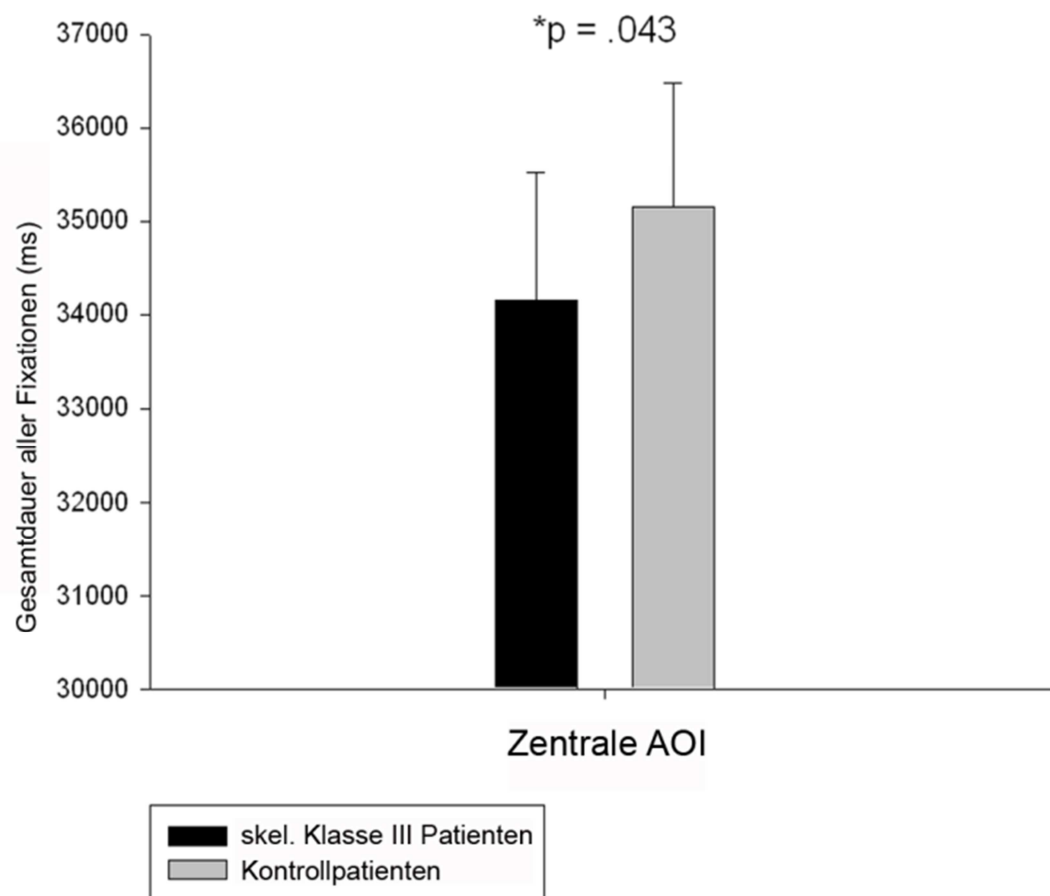


Abbildung 4.3: Gesamtdauer der Fixationen in den zentralen AIOs bei Patienten mit skelettaler Klasse III vs. Kontrollgruppe.

Initial unbewusste Wahrnehmung:

Zur Analyse der initialen unbewussten Wahrnehmung konnten die ersten drei Fixationen in den zentralen AOIs innerhalb der ersten 500ms analysiert werden. Für eine differenzierte Analyse erfolgte eine Unterteilung der zentralen AIOs in die Regionen „Augen, Nase und Mund“.

Die Ergebnisse zeigten, dass bei Betrachtung der Gesichter von Patienten mit skelettaler Klasse III signifikant kürzer in der Mundregion fixiert, als bei der Kontrollgruppe mit einer skelettalen Klasse I (AOI „Mund“ – skelettale Klasse III: Mittelwert = 5.29%, SD = 3.77; skelettale Klasse I: Mittelwert = 6.36%, SD = 3.96; $t(23) = 2.12$; $p = .046$).

In den AIOs „Nase“ und „Augen“ wurden keine signifikant unterschiedlichen Werte zwischen beiden Gruppen festgestellt.

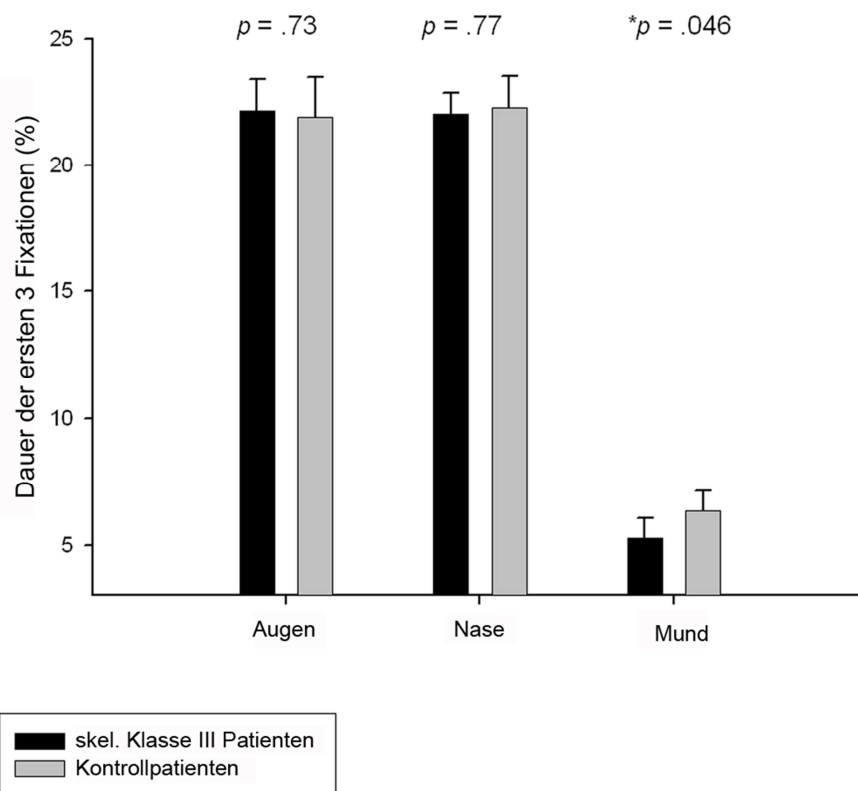


Abbildung 4.4: Analyse der ersten drei Fixationen in den zentralen AIOs (Augen, Nase, Mund) bei Patienten mit skelettaler Klasse III vs. Kontrollgruppe.

4.2.3. Subjektive Wahrnehmung

Die Ergebnisse der subjektiven Wahrnehmung beider Gruppen ergaben einen signifikanten Unterschied in allen drei Kategorien. Die subjektive Wahrnehmung der Probanden zeigte dass Patienten mit ausgeprägter skelettaler Klasse III im Vergleich zu Patienten mit skelettaler Klasse I bezüglich der drei Kategorien des fazialen Aussehens signifikant negativer bewertet wurden.

Der größte Unterschied in der subjektiven Bewertung wurde in der Kategorie Attraktivität gefunden (skelettale Klasse III: Mittelwert = 3.32, SD = 1.11; Klasse I: Mittelwert = 5.32, SD = 1.13; $p < .001$), gefolgt von der Kategorie Symmetrie (Klasse III: Mittelwert = 4.42, SD = 1.04; Klasse I: Mittelwert = 6.05, SD = 0.95, $p < .001$) und der Kategorie Gesichtsausdruck (Klasse III: Mittelwert = 3.99, SD = 0.73; Klasse I: Mittelwert = 5.56, SD = 0.81; $p < .001$).

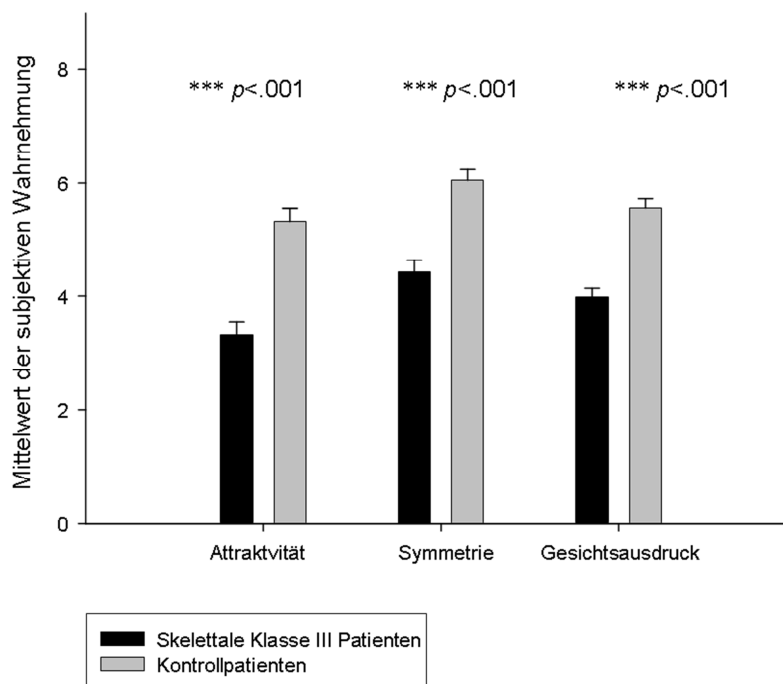


Abbildung 4.5: Mittelwert und SD der subjektiven Wahrnehmung der Gesichter von Patienten mit ausgeprägter skelettaler Klasse III und Gesichter von Kontrollpatienten bezogen auf die Kategorien „Attraktivität“, „Symmetrie“, „Gesichtsausdruck“ (Mittelwert und SD).

5. Diskussion

5.1. Einführung

Bislang existieren keine Untersuchungen zur visuellen Wahrnehmung von skelettalen Klasse III Patienten im Vergleich zu Patienten mit skelettaler Klasse I. Darüber hinaus ist die objektive dreidimensionale Bestimmung der Asymmetrie der Gesichtswichteile anhand dreidimensionaler Daten noch wenig bekannt. Das Ziel der Studie war es, die ersten objektiven Daten zur Wahrnehmung von Gesichtern mit einer skelettalen Klasse-III-Dysgnathie im Vergleich zu Gesichtern ohne Anomalie zu erheben und die Ergebnisse in Relation zu der subjektiven Wahrnehmung der Patienten zu setzen. Zusätzlich sollte mit einer computerbasierten Methode und einem Landmarken unabhängigen Verfahren anhand von 3D-Scans das Ausmaß der Asymmetrie der Gesichtswichteile von skelettalen Klasse III Patienten bestimmt und mit skelettalen Klasse I Patienten verglichen werden.

5.2. Bestimmung der Asymmetrie der Gesichtswichteile

Die Ergebnisse des Asymmetriegrades haben gezeigt, dass die in dieser Arbeit verwendete Methode geeignet ist, reproduzierbar und valide die Symmetrieebene eines Gesichtes zu bestimmen und darauf basierend eine objektive Quantifizierung des Asymmetriegrades zu erzielen (siehe 4.1) (*Hartmann, et al. 2007*). Die Zuverlässigkeit der Methode war auch bei an verschiedenen Tagen durchgeführten Aufnahmen gleichermaßen gewährleistet.

Benz (2005) untersuchte die Reproduzierbarkeit der in dieser Untersuchung angewendeten Methode mittels direkt aufeinander folgenden Mehrfachmessungen zweier Probanden (*Benz, 2005*). Es konnte eine zuverlässige Symmetrieebenenbestimmung der Gesichter gezeigt werden. Bezüglich der Streuung bei der Berechnung des Asymmetriegrades bestätigten unsere Untersuchungen die von Benz (2005) veröffentlichten Ergebnisse. Die Standardabweichung bei Berechnung der Gesichtsasymmetrie war sowohl in der Studie von Benz (0,06 mm) als auch in der vorliegenden Arbeit (0,0104 mm) als gering einzustufen.

Von großem Interesse für die Anwendung der Berechnung der Asymmetrie der Gesichtswichteile zu kieferorthopädischen Zwecken ist zusätzlich die

Reproduzierbarkeit der Methode bei longitudinal angefertigten Aufnahmen von Patienten zu verschiedenen Zeitpunkten im Hinblick auf die Evaluation von Therapieergebnissen. Besonders bei Patienten mit Asymmetrien der Gesichtsteile bedingt durch eine skelettale Dysgnathie stellt die objektive Quantifizierung der Asymmetrie ein hilfreiches diagnostisches Instrument dar.

Die hohe Reproduzierbarkeit und die geringe Standardabweichung des Asymmetriegrades in dieser Studie ist dadurch zu erklären, dass bei der computerbasierten Berechnung, im Gegensatz zu verschiedenen landmarkenbasierten 2D- oder auch 3D-Methoden, durchschnittlich zwischen 10.000 und 20.000 Punktpaare berücksichtigt werden. Ungenauigkeiten, welche bei Verwendung einzelner lateraler oder in der Medianebene gelegenen Referenzpunkten durch eine häufige Asymmetrie dieser Punkte vorkommen (*Dahan et al., 1986*), werden dadurch vermieden. Die Anzahl der berücksichtigten Punktpaare ist dabei abhängig von der Dichte des zugrundeliegenden 3D-Dreiecksnetzes, der Größe des Überlappbereiches von beiden registrierten Oberflächen (Original und Spiegelbild, siehe Abbildung 3.4) und dem Anteil asymmetrischer Gesichtsbereiche (*Benz, 2005*).

Schon geringe Gesichtasymmetrien wie z.B. bei einer mandibulären Laterognathie mit einer skelettalen Klasse III würden bedeuten, dass in diesen Bereichen die Datensätze von Original und Spiegelbild nicht zur Deckung gebracht werden können. Da kein menschliches Gesicht eine perfekte Spiegelsymmetrie aufweist, verwendet die vorgestellte Methode einen geeigneten Grenzwert (2 mm) für den Abstand korrespondierender Punkte. Durch diesen Abstandsschwellwert kann bei der Registrierung der Oberflächen sichergestellt werden, dass nur die symmetrischen Anteile berücksichtigt werden und, dass die in asymmetrischen Gesichtsbereichen lokalisierten korrespondierenden Punkte, die weiter als dieser Grenzwert voneinander entfernt sind, nicht zur Feinregistrierung einbezogen werden.

Benz et al. (2002) und *Benz (2005)* wiesen die Robustheit dieser Methode gegenüber asymmetrischen Teilbereichen mit Hilfe von Flüssigkeitsinjektionen nach (*Benz, 2005; Benz, 2003*). Es wurden im Rahmen ihrer Untersuchungen experimentell durch Kochsalzinjektionen im Wangenbereich bei acht Probanden definierte asymmetrische Areale erzeugt, die Gesichtsoberflächen dreidimensional generiert und berechnet. Es

zeigte sich, dass die asymmetrischen Bereiche keinen Einfluss auf die Symmetrieebenenbestimmung hatten. Die Symmetrieebene konnte anhand der verbleibenden symmetrischen Anteile zuverlässig bestimmt werden. Dies bildet die Voraussetzung für den klinischen Einsatz der Methode zur Quantifizierung des Asymmetriegrades bei Patienten in denen asymmetrische Regionen vorliegen.

Mit der Möglichkeit der dreidimensionalen Quantifizierung von Gesichtsasymmetrien hat die in der Arbeit vorgestellte Methode einen hohen Stellenwert sowohl für die kieferorthopädische als auch für die kieferchirurgische Diagnostik und Therapieplanung. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass erwachsene Patienten mit skelettaler Klasse III eine signifikant größer Asymmetrie der Gesichtswichteile aufweisen als Patienten mit einer skelettalen Klasse I. Somit kann mittels der dreidimensionalen Diagnostik insbesondere bei der Therapie erwachsener Patienten im Rahmen einer kombiniert kieferorthopädischen/kieferchirurgischen Planung objektive Parameter über die Aussage der Asymmetrie der Gesichtswichteile generiert werden. Der zur Generierung der 3D-Daten verwendete optische Sensor ermöglicht eine berührungslose und schnelle Erfassung der dreidimensionalen Gesichtsoberfläche und ist darüber hinaus non-invasiv. Dadurch können auch während der Wachstumsphase der Patienten oder im Behandlungsverlauf beliebig viele Aufnahmen durchgeführt werden und zudem unbehandelte Kontrollgruppen bedenkenlos untersucht werden (*Ras et al., 1996*).

Die verwendete dreidimensionale Analyse umgeht unter Vermeidung einzelner Landmarken einen zweidimensional geometrisch bedingten Fehler. Denn, durch Verbindung einzelner Landmarken und darauf basierenden linearen Messungen von Strecken und Winkeln, ist eine adäquate Analyse einer komplexen dreidimensionalen Struktur nicht möglich (*Meyer-Marcotty, 2008*). Somit wird die Architektur der fazialen Morphologie mittels der verwendeten Methode nicht exakt wiedergegeben. Infolgedessen ist eine globale landmarkenunabhängige Akquisition der fazialen Oberfläche, wie in der vorliegenden Arbeit eingesetzt, eine Grundvoraussetzung für eine präzise digitale Rekonstruktion der fazialen Morphologie, um ein der Realität entsprechendes virtuelles Modell zu generieren.

An dieser Stelle wurde die Eignung der vorgestellten Methode exemplarisch anhand dreidimensionaler Bilddaten von Gesichtsoberflächen dargestellt, welche mit Hilfe eines auf Stereophotogrammetrie basierenden 3D-Sensors erhoben wurden. Darüber hinaus kann mit dieser Methode jedoch für jeden triangulierten 3D-Bilddatensatz unabhängig vom 3D-Messverfahren die Symmetrieebene und den Asymmetriegrad bestimmt werden. Die Genauigkeit ist dabei abhängig von der Anzahl der 3D-Messpunkte.

Diese Methode ist also sowohl anwendbar auf Gesichts- oder Gebissdaten, welche beispielsweise mittels Laserscanning erhoben wurden, als auch auf skelettale und faziale computertomographisch generierte 3D-Daten, wodurch sie auch für die Diagnostik und Therapieplanung komplexer skelettaler Asymmetrien eingesetzt werden kann.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich der klinische Einsatz der vorgestellten 3D-Asymmetriegradberechnung als ein einfaches, schnelles und präzises diagnostisches Instrument darstellt. Durch Vermeidung der manuellen Eingabe von Landmarken ist die Methodik untersucherunabhängig, vergleichbar und als standardisierter Ablauf in der täglichen Routine einsetzbar. Ein zusätzlicher Vorteil stellt die kurze Aufnahmezeit von 0,3sec dar mit Erfassung der gesamten Gesichtsoberfläche von Ohr zu Ohr innerhalb einer Aufnahme. Dagegen benötigen andere Methoden, wie anthropometrische Messungen, eine aufwändigere Akquisition der Daten und verlangen eine größere Kooperation von Seiten der Patienten (*Ferrario, 2003; Hurwitz, 1999*). Die hohe Reliabilität und Validität sowie die Abwesenheit eines relevanten systematischen oder zufälligen Fehlers zeigen, dass die vorgestellte Methode als ein adäquates Instrument in den klinischen Alltag integrierbar ist (*Benz et al., 2002; Hartmann et al., 2007; Nkenke et al., 2003; Nkenke et al., 2006; Sandler PJ et al., 1988*).

5.3. Visuelle Wahrnehmung

Für die Analyse der visuellen Wahrnehmung fazialer Asymmetrien wurde zunächst der Einsatz einer aus der Psychophysiologie bekannten Untersuchungstechnik im Rahmen kieferorthopädischer Fragestellung geprüft. Die in diesem Kontext erstmals eingesetzte Methode des „Eye Trackings“ wurde zur Analyse der sensomotorischen Perzeption von Gesichtern kieferorthopädischer Patienten integriert. Die Augenbewegungen von 24 Probanden wurden videobasiert aufgezeichnet während der Präsentation von Frontalaufnahmen von Gesichtern kieferorthopädischer Patienten. Die standardisierten Frontalaufnahmen zeigten Gesichter von Patienten mit einer skelettalen Klasse III im Vergleich zu Gesichtern von Patienten mit skelettaler Klasse I.

Das Ziel war zu untersuchen, ob anhand der Augenbewegungen charakteristische Unterschiede in der Wahrnehmung von Gesichtern mit Klasse III Dysgnathie und ohne Dysgnathie existieren und der Asymmetriegrad und die subjektive Einschätzung ein differentes Verhalten bei der Wahrnehmung verursachen.

In der Analyse des Blickverhaltens wurde der Mittelwert der ersten sechs Fixationen (globale visuelle Wahrnehmung) bzw. der ersten drei Fixationen (spezifische visuelle Wahrnehmung), innerhalb der ersten 500ms (initiale Wahrnehmung) und die Gesamtdauer aller Fixationen (dauerhafte Wahrnehmung) untersucht. Auf diese Weise wurde das Blickbewegungsmuster analysiert.

5.3.1. Globale visuelle Wahrnehmung

Der Blickpfad wird als Marker der sensorischen Aufnahme und der zielgerichteten Aufmerksamkeit auf einen Stimulus interpretiert (Phillips und David, 1994). Corbetta et al. (1998) zeigte, dass eine Wechselbeziehung zwischen den Augenbewegungen und der Verschiebung der Aufmerksamkeit des Wahrnehmenden vorhanden sei. Die Aufnahme visueller Information (Objektselektion = visuelle Aufmerksamkeit) findet dabei hauptsächlich in den Fixationsperioden statt.

So kann das Fixationsmuster als ein objektiver psycho-physiologischer Marker der visuellen Aufmerksamkeit interpretiert werden (Eisenbarth und Alpers, 2006). Studien zur visuellen Wahrnehmung von Gesichtern zeigten, dass beim Betrachten von

Gesichtern mit neutralem Gesichtsausdruck gehäuft die zentralen Hauptmerkmale eines Gesichts, wie Augen, Nase und Mund fixiert werden. (*Yarbus, 1967; Walker et al., 1977; Althoff und Cohen, 1999; Loughland et al., 2002; Whalen et al., 2004; Eisenbarth und Alpers, 2006; Yuki et al.; 2007*). Beim Betrachten dieser Areale wird der Blick des Betrachters zunächst zu den Augen und dann zu den anderen relevanten Merkmalen geleitet (*Lundqvist et al., 1999*).

Dieser zentralisierende Effekt der Blicksteuerung bei der sensomotorischen Perzeption von Gesichtern deckt sich mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie. Bei der globalen Analyse der visuellen Wahrnehmung zeigte sich, dass die für die sensomotorische Perzeption von Gesichtern relevanten Regionen im Bereich der Augen, der Nase und dem Mund lokalisiert sind. Über 85% aller ersten sechs Fixationen der Probanden ereigneten sich innerhalb dieser zentralen Areale (Areas of Interest: Augen-Nase-Mund). Im Gegensatz dazu lagen lediglich 11,29% der ersten sechs Fixationen in den peripheren Arealen (Areas of Interest: Stirn-Wangen-Kinn) (siehe 4.2.1). Der Fokus auf die zentralen Areale war höchst signifikant, trotzdem die peripheren Areale eine weitaus größere Region darstellen (ca. 70% des gesamten Gesichtes).

Mertens et al. (1993) zeigten in einer Eye Tracking Studie, dass die Augen, die Nase und der Mund die primären Ziele während der visuellen Perzeption von Gesichtern sind (*Mertens, 1993*). Das zentrale Areal der Augenbewegungen ist im Zentrum des Gesichtes lokalisiert. Dieses Areal ist geometrisch definiert durch ein invertiertes Dreieck mit den Eckpunkten im Bereich beider Augen und des Mundes entlang der Symmetrieebene. Dagegen orientieren sich die Augenbewegungen des Menschen bei der Wahrnehmung von Objekten wie z.B. einer Vase, gegensätzlich zur Symmetrieebene. Der Fokus der Augenbewegungen liegt dabei auf den Konturen der Objekte (*Mertens, 1993*).

Dieser zentralisierende Effekt während sensomotorischer Perzeption von Gesichtern in Zusammenhang mit den in dieser Arbeit beschriebenen Ergebnissen unterstützt die These, dass für die visuelle Wahrnehmung von Gesichtern beim Menschen die zentralen Areale für die Evaluierung des fazialen Aussehens entscheidend ist. Vor diesem Hintergrund muss für den Kliniker das Erreichen symmetrischer Verhältnisse in diesem Bereich ein wesentliches Therapieziel darstellen, um eine harmonische faziale Morphologie zu erzielen.

5.3.2. Spezifische visuelle Wahrnehmung

Nach erfolgreicher Integration der psychophysiologischen Methodik der Augenbewegungsanalyse in die Zahnheilkunde wurde darauf aufbauend erstmals objektive Daten zur spezifischen visuellen Wahrnehmung von Gesichtern von Patienten mit skelettaler Klasse III im Vergleich zu Patienten mit skelettaler Klasse I ermittelt.

Trotz zahlreicher Untersuchungen bezüglich der Frage einer differenten Wahrnehmung (negative Perzeption) von Patienten mit einer Dysgnathie und ausgeprägter Asymmetrie der Gesichtswichteile (*Braun et al. 2009, Grammer et al. 1993, Peck et al. 1991, Rhodes et al. 1998, Scheib et al. 1999, Thornhill et al. 1999*) existieren bislang keine Daten, wie Patienten mit skelettaler Klasse III angesehen werden. Das Ziel der Studie war es daher zu analysieren:

- ob eine vergrößerte Asymmetrie der Gesichtswichteile eine Auswirkung auf die visuelle Perzeption von Probanden ohne medizinischen Hintergrund unter experimentellen Bedingungen besitzt.

Die Hypothese der Studie lautete: „Patienten mit skelettaler Klasse III und vergrößerte Asymmetrie der Gesichtswichteile werden mit einem differenten Blickverhalten wahrgenommen.“

Während der Präsentation der Gesichter erwachsener Patienten mit skelettaler Klasse III und vergrößertem Asymmetriegrad sowie einer Kontrollgruppe mit skelettaler Klasse I ohne Auffälligkeiten im Gesicht wurden die Gesichter der Patienten mit skelettaler Klasse III mit einem differenten Blickverhalten wahrgenommen. Die Asymmetrie schien die Aufmerksamkeit des Beobachters zu beeinflussen und bewirkte so eine Veränderung des Blickverhaltens über die Zeit.

Die Analyse der Augenbewegungen zeigte, dass innerhalb der initialen Wahrnehmung (die ersten drei Fixationen) die Gesichter von Patienten mit skelettaler Klasse III und vergrößerter Asymmetrie während der initialen präattentiven Wahrnehmung signifikant weniger in den zentralen AOIs (Augen, Nase und Mund) fixiert wurden als die Kontrollgruppe. Darüber hinaus zeigte sich, dass Patienten mit einer skelettalen Klasse III signifikant weniger im Bereich des Mundes fixiert wurden (siehe 4.2.2).

Die mit der skelettalen Klasse III verbundene größere Asymmetrie des Gesichtes im Bereich der zentralen Areale schien die Blickbewegung von dem ursprünglichen Muster während der sensomotorischen Perzeption von Gesichtern abzulenken. Dieses veränderte Blickverhalten innerhalb der zentralen Areale des Gesichtes mit einer geringeren Fixationsdauer und Anzahl bei Patienten mit skelettaler Klasse III und vergrößerter Asymmetrie ist so erstmals beschrieben. Obwohl der signifikant gemessene Unterschied der Betrachtungsdauer der AOIs und die Fixationsanzahl in der Mundregion in beiden Gruppen bislang nur leicht ist, ist es doch ein erster Hinweis auf die objektiv gemessene unterschiedliche Wahrnehmung von Gesichtern mit größerer Asymmetrie.

5.3.3. Subjektive Wahrnehmung

Für eine erfolgreiche Therapie in den zentralen Arealen des Gesichtes sowie für das Verständnis der Gesetzmäßigkeiten der Ästhetik ist das Wissen um den Einfluss der fazialen Asymmetrie auf die Attraktivität von zentraler Bedeutung (*Bartlett et al., 1991; Enquist et al., 1994; Faure et al., 2002; Huisinga-Fischer et al., 2004; Johnstone et al., 1994; Moller, 1992; Naini et al., 2006; Rhodes et al., 2002; Rodriguez et al., 2004*). Mittels der etablierten 3D-Asymmetriegradberechnung und der Analyse der Augenbewegungen wurde im Rahmen dieser Arbeit die objektive Quantifizierung der Asymmetrie bei Patienten mit skelettaler Klasse III durchgeführt, sowie deren visuelle Wahrnehmung von 24 Probanden. Im abschließenden Teil der Arbeit wurde der Einfluss der Asymmetrie auf die subjektive Wahrnehmung anhand der standardisierten Frontalfotoaufnahmen von der Probandengruppe analysiert.

Die Ergebnisse der subjektiven Bewertung der Gesichter zeigten, dass Patienten mit skelettaler Klasse III und vergrößerter Asymmetrie bezüglich der drei Kategorien Attraktivität, Symmetrie und Gesichtsausdruck signifikant negativer bewertet wurden als die Kontrollgruppe mit skelettale Klasse I.

Dies entspricht früheren Daten aus unkontrollierten Studien, innerhalb derer Patienten mit kombiniert kieferorthopädisch/kieferchirurgischer Therapie als negativer bewertet wurden (*Cochrane, 1999, Gerzanic et al., 2002, Juggins et al., 2005, Lee et al., 2007, Stirling et al., 2007, van Steenberg et al., 1996*).

In einer großen Zahl kieferorthopädischer Publikationen wird die Beurteilung der Attraktivität an Profilaufnahmen durchgeführt, obwohl nachgewiesen werden konnte,

dass primär das gesamte Gesicht aus der Frontalansicht bewertet wird (*Czarnecki et al., 1993; Johnston et al., 2005; Johnston et al., 2005; Lundstrom et al., 1989; O'Brien et al., 2009; Tsang et al., 2009*). Daher bestand in der vorliegenden Arbeit das gesamte verwendete Stimulusmaterial aus Frontalaufnahmen der Gesichter, um die reale Situation während der zwischenmenschlichen Interaktion zu simulieren.

Des Weiteren fanden die Beurteiler eine ausgeprägtere Asymmetrie innerhalb der Patienten mit skelettaler Klasse III. Objektive Analysen ergaben, dass Patienten mit zunehmender Ausprägung der skelettalen Klasse III eine Deviation der Mandibula von der Symmetrieebene des Gesichtes aufwiesen (*Good et al., 2006*). In unserer Studie konnte gezeigt werden, dass die Probanden ohne medizinische Vorkenntnis neben einer geringeren Attraktivität auch das höhere Ausmaß der Asymmetrie bei Patienten mit skelettaler Klasse III erkennen. Dies zeigt erneut den Einfluss der fazialen Asymmetrie als ein Hauptfaktor für die visuelle Wahrnehmung.

Die Expression der Gesichtsausdrücke wird funktionell über eine vertikale Gesichtsbachse von kranial nach kaudal organisiert (*Ross et al., 2007*). Beide vertikale Gesichtshälften kodieren unterschiedliche Emotionen, wobei die obere Gesichtshälfte primär Angst und Überraschung exprimiert und die untere Gesichtshälfte hingegen Fröhlichkeit und Glück (*Ross et al., 2007*). Durch die größere Asymmetrie bei Patienten mit einer skelettalen Klasse III innerhalb der Region für emotional fröhliche/glückliche Expression kann es so zu einer Irritation des Beobachters bei der Verarbeitung des Gesichtes kommen. Für den Beobachter entsteht dabei der Eindruck einer simultanen Kodierung unterschiedlicher emotionaler Ausdrücke in der oberen und unteren Gesichtshälfte, welche zu einer negativeren Bewertung des Gesichtes führt. Der Effekt von simultanen differierenden Gesichtsausdrücken von oberer und unterer Gesichtshälfte auf die zwischenmenschliche Interaktion ist in der psychosozialen Literatur zahlreich beschrieben (*Ekman, 2009, Ekman et al., 1990, Ekman et al., 1988*). Vor dem Hintergrund der negativeren Bewertung von Patienten mit ausgeprägter skelettaler Klasse III und der Bedeutung von physischer Attraktivität im psychosozialen Kontext (*Jensen, 1978, Leenaars et al., 2008*) erscheint es nicht verwunderlich, dass sich Patienten mit einer Dysgnathie für eine Behandlung entschließen, um ihr Aussehen zu verbessern. So wird auch in der Literatur der am häufigsten beschriebene Grund für eine kombiniert kieferorthopädisch/kieferchirurgische Therapie mit einer Veränderung

des fazialen Aussehens bei Patienten mit ausgeprägten skelettalen Dysgnathien angegeben (*Rivera, 2000*).

Die Bedeutung der Symmetrie für die Attraktivität eines menschlichen Gesichtes wurde bereits in verschiedenen Studien untersucht und analysiert. Es ist bisher jedoch nicht gelungen, einheitliche Aussagen über den Zusammenhang zwischen Attraktivität und Symmetrie zu finden. Es gibt Studien, die belegen, dass der Grad an Symmetrie die Attraktivität eines Gesichtes steigern kann (*Grammer et al. 1994, Peck et al. 1991, Scheib et al. 1999*). Diese Aussage über die Einschätzung von Attraktivität deckt sich mit der in dieser Studie erlangten Erkenntnis, dass Gesichter mit niedrigerem Asymmetriegrad als attraktiver eingestuft wurden. Demgegenüber stehen Thesen, die aussagen, dass eine geringfügige Asymmetrie die Attraktivität eines Gesichtes steigern kann (*Braun et al. 2009, Thornhill et al. 1999*). Die Tatsache, dass in dieser Studie kein Gesicht - weder in der Kontrollgruppe noch in der Patientengruppe - völlig symmetrisch war, stimmt mit der Aussage überein, dass geringfügige Asymmetrie, welche dem Betrachter nicht bewusst auffällt, die Attraktivität eines Gesichtes steigern kann. In der Studie von Braun et al. zeigen die Untersuchungen zu Ursachen und Folgen von Attraktivität jedoch auch, dass Gesichter mit starken Asymmetrien als unattraktiv gelten (*Braun et al. 2009*). Gleiche Ergebnisse kamen in der vorliegenden Studie zum Vorschein, indem Patienten mit deutlich erhöhtem Asymmetriegrad als unattraktiver empfunden wurden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, da das zentrale Areal der Gesichter das Hauptmerkmal während der zwischenmenschlichen Interaktion darstellt (siehe 5.3.1.) und vergrößerte Asymmetrie der Gesichtsteile zu einer Ablenkung des Blickverhaltens innerhalb dieses Areals führen, ist davon auszugehen, dass dieser Zusammenhang der negativen Beurteilung der Attraktivität, der Symmetrie und des Gesichtsausdruckes zu Grunde liegt.

5.4. Methodenkritik

Einschränkend kann angemerkt werden, dass bei der Durchführung der vorliegenden Eye-Tracking-Studie unbewegte Fotografien für einen ausgedehnten Zeitraum präsentiert wurden. Die Studienteilnehmer könnten die Bilder anders aufgenommen haben als in realen zwischenmenschlichen Begegnungen. So kann der Index der bewussten dauerhaften Wahrnehmung nur anzeigen, wie die Gesichter von Dysgnathie-Patienten betrachtet werden, wenn der Betrachter sich nicht den Regeln der direkten zwischenmenschlichen Kommunikation verpflichtet fühlt. Es ist jedoch nicht ungewöhnlich mit einem in dieser Studie verwendeten experimentellen Ansatz unter Laborbedingungen und Verwendung von gut zu kontrollierendem Bildmaterial zu beginnen und darauf aufbauend zu realistischeren, aber auch schwieriger zu überwachenden Lebensbeobachtungen, weiter zu gehen.

Zudem sind in vorausgegangenen Studien unter ähnlichen Versuchsbedingungen typische Verhaltenseffekte der direkten zwischenmenschlichen Interaktion wie z.B. Mimik beobachtet worden (*Dimberg et al., 2002; Eisenbarth und Alpers 2006; Neumann et al., 2005*).

5.5. Schlussfolgerung

In der Studie konnte gezeigt werden, dass sich der klinische Einsatz der vorgestellten 3D-Asymmetriegradberechnung als ein einfaches, schnelles und präzises diagnostisches Instrument darstellt. Erwachsene Patienten mit einer skelettalen Klasse III weisen einen größeren Asymmetriegrad der Gesichtsweichteile auf als eine Kontrollgruppe mit skelettaler Klasse I:

Die Methode des Eye-Trackings zur Analyse der Gesichterwahrnehmung konnte innerhalb der Kieferorthopädie erfolgreich etabliert werden. Die Analyse der Augenbewegungen zeigte, dass die Hauptareale für die Perzeption von Gesichtern bei kieferorthopädischen Patienten und kombiniert kieferorthopädisch/kieferchirurgischen Patienten mit ausgeprägter skelettaler Klasse III innerhalb der zentralen AOIs liegen. So stellen die morphologischen Areale der Augen, der Nase und des Mundes die relevanten Merkmale bei der Wahrnehmung von Gesichtern dar. Zudem besteht ein objektiver Unterschied bei der visuellen Wahrnehmung beider Gruppen insofern, dass Patienten

mit einer skelettalen Klasse III kürzer in den AOIs, insbesondere in der Mundregion fixiert werden, als Patienten mit einer skelettalen Klasse I. Darüber hinaus werden Patienten mit einer ausgeprägten skelettalen Klasse III von Probanden ohne medizinische Kenntnis subjektiv als deutlich negativer in Ihrem Aussehen klassifiziert.

6. Zusammenfassung

Ziel

Ziel der vorliegenden Studie war es, die dreidimensionale Asymmetrie der Gesichtswichteile bei Patienten mit ausgeprägter skelettaler Klasse III im Vergleich zu Patienten mit skelettaler Klasse I zu objektivieren, und folgend zu untersuchen in welchem Ausmaß eine Asymmetrie der Gesichtswichteile bei Patienten mit skelettaler Klasse III die visuelle Wahrnehmung beeinflusst.

Patienten und Methode

Zur Bestimmung der dreidimensionalen Asymmetrie wurden die 3D-Gesichtsdaten von 18 erwachsenen Patienten kaukasischer Rasse mit ausgeprägter skelettaler Klasse III und Laterognathie sowie von 18 erwachsene Patienten kaukasischer Rasse mit einer skelettalen Klasse I als Kontrollgruppe mit dem optischen Sensor FaceScan3D (3D-Shape, Erlangen) erfasst. Zur Analyse der visuellen Wahrnehmung wurden die Augenbewegungen von 24 Probanden mittels videobasierter Registrierung von Blickbewegungen (eye-tracking) während der Präsentation von monochromen Frontalaufnahmen der 18 erwachsenen Patienten sowie der Kontrollgruppe unter standardisierten Bedingungen erfasst. Zusätzlich erfolgte eine subjektive Bewertung der 36 Patienten nach den Kriterien Aussehen, Asymmetrie und Gesichtsausdruck anhand eines Fragebogens.

Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigten, dass Patienten mit einer skelettalen Klasse III eine signifikante größere dreidimensionale Asymmetrie der Gesichtswichteile aufweisen im Vergleich zur Kontrollgruppe. Die Analyse der Augenbewegungen zeigte, dass die Hauptareale für die Perzeption von Gesichtern innerhalb der zentralen Gesichtsregionen liegen. Patienten mit einer skelettalen Klasse III werden signifikant weniger in den zentralen Gesichtsregionen fixiert und werden von Probanden ohne medizinische Kenntnis subjektiv als deutlich negativer in Ihrem Aussehen klassifiziert.

Schlussfolgerung

Der klinische Einsatz der 3D-Asymmetriegradberechnung stellt ein einfaches, schnelles und präzises diagnostisches Instrument. Die Methode des Eye-Trackings zur Analyse der Gesichterwahrnehmung konnte innerhalb der Kieferorthopädie erfolgreich etabliert werden. Die vergrößerte Asymmetrie der Gesichtsweichteile scheint die Aufmerksamkeit des Beobachters zu beeinflussen und bewirkte so eine Veränderung des Blickverhaltens über die Zeit mit weniger Fixationen innerhalb der zentralen Gesichtsregionen.

7. Publikation

Teile der Arbeit sind im **World Journal of Orthodontics 2010** veröffentlicht:

Meyer-Marcotty P, Alpers GW; Gerdes ABM, Stellzig-Eisenhauser A

How Orthognathic Patients are Perceived by Others:

an Eye-Tracking Study

World J Orthod 2010; 11(2):153-9

8. Anhang

8.1. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Möglicher Blickpfad bei der Wahrnehmung eines Gesichts; Fixation der Hauptmerkmale in der Reihenfolge A-B-C: (A) 1. Fixation: Augen; (B) 2. Fixation: Nase; (C) 3. Fixation: Mund.

Abbildung 3.1: Spiegelkonstruktion für die Messaufnahme von Ohr zu Ohr.

Abbildung 3.2: Ergebnis der Messdaten nach Triangulation (a) und Flächenmodellierung (b), sowie mit Farbtextur zur Visualisierung

Abbildung 3.3: Registrierung von Original und Spiegelbild mit Berechnung der Symmetrieebene aus korrespondierenden Punkten. Die durch quantitativen Vergleich zwischen Original und Spiegelbild ermittelten Punkteabstände können farbkodiert dargestellt werden.

Abbildung 3.4: Berechnung des lokalen Einzelabstandes zwischen Original und Spiegelbild anhand zweier assoziierter Punktepaare. Der 3D-Asymmetriegrad berechnet sich aus dem mittleren absoluten Abstand dabs aller lokaler Einzelabstände.

Abbildung 3.5: Standardisiertes Bild a) eines Patienten mit ausgeprägter skelettaler Klasse III und b) eines Kontrollpatienten

Abbildung 3.6: Darstellung des in der vorliegenden Studie verwendeten Versuchsaufbaus. Während der Präsentation von Gesichtern wird die Blickbewegung registriert.

Abbildung 3.7: Registrierung der Augenbewegungen mit iView X-High-Speed Kamera (SensoMotoric Instruments, Teltow, Deutschland).

Abbildung 3.8: Zeitlicher Ablauf der Präsentation.

Abbildung 3.9: Aufnahme eines Patienten mit ausgeprägter skelettaler Klasse III als Stimulusmaterial. Auswertung der eye-tracking Daten bezüglich der Fläche der peripheren AOI (rot) und der zentrale AOI (weiß).

Abbildung 4.1: Mittelwert und SD der ersten sechs Fixationen (in %) in der peripheren AOI und der zentralen AOI.

Abbildung 4.2: Exemplarische Aufzeichnung der Augenbewegungen eines Probanden während der Wahrnehmung eines Patienten mit skelettaler Klasse III. Jeder Kreis repräsentiert eine Fixation und die Dimension der Kreise entspricht der Fixationsdauer.

Abbildung 4.3: Gesamtdauer der Fixationen in den zentralen AIOs bei Patienten mit skelettaler Klasse III vs. Kontrollgruppe.

Abbildung 4.4: Analyse der ersten drei Fixationen in den zentralen AIOs (Augen, Nase, Mund) bei Patienten mit skelettaler Klasse III vs. Kontrollgruppe.

Abbildung 4.5: Mittelwert und SD der subjektiven Wahrnehmung der Gesichter von Patienten mit ausgeprägter skelettaler Klasse III und Gesichter von Kontrollpatienten bezogen auf die Kategorien „Attraktivität“, „Symmetrie“, „Gesichtsausdruck“ (Mittelwert und SD).

8.2. Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1: Studienteilnehmer. Anzahl der Teilnehmer und Aufteilung nach Geschlecht jeweils in Prozent mit Durchschnittsalter. SD: Standardabweichung.

Tabelle 4.1: Mittelwert und SD der Asymmetriegradberechnung der Gesichter von Patienten mit ausgeprägter skelettaler Klasse III und Gesichter

8.3. Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	Analysis of Variance
AOI	Area of Interest
SD	Standardabweichung
P	Irrtumswahrscheinlichkeit

8.4. Literaturverzeichnis

1. **al Yami EA, Kuijpers-Jagtman AM, Van 't Hof MA**
Assessment of dental and facial aesthetics in adolescents.
Eur J Orthod, 1998; 20: 399-405
2. **Alpers GW**
Eye-catching: Right hemisphere attentional bias for emotional pictures.
Laterality, 2008; 13: 158-178
3. **Althoff RR, Cohen NJ**
Eye-movement-based memory effect: a reprocessing effect in face perception.
J Exp Psychol Learn Mem Cogn, 1999; 25: 997-1010
4. **Alves PV, Zhao L, Patel PK, Bolognese AM**
Three-dimensional facial surface analysis of patients with skeletal malocclusion.
J Craniofac Surg, 2009; 20: 290-296
5. **Anastasopoulos D, Kimmig H, Mergner T, Psilas K**
Abnormalities of ocularmotility in myotonic dystrophy.
Brain, December 1996; 119
6. **Barbarino GG, Jabareen M, Trzewik J, Nkengne A, Stamatias G, Mazza E**
Development and validation of a three-dimensional finite element model of the face.
J Biomech Eng, 2009; 131: 041006
7. **Bartlett SP, Wornom I, 3rd, Whitaker LA**
Evaluation of facial skeletal aesthetics and surgical planning.
Clin Plast Surg, 1991; 18: 1-9

- 8. Benz M, Laboureux X, Maier T, Nkenke E, Seeger S, Neukam FW, Hausler G**
The symmetry of faces. In: Greiner G, Niemann H, Ertl T, Girod B, Seidel HP (eds.). *Vision, Modeling, and Visualization*.
Amsterdam: IOS Press, 2002; 332–339
- 9. Benz M**
Ergebnismodellierung und Qualitätskontrolle kraniofazialer Operationen auf Basis optischer Messtechnik.
Diss, Institut für Optik, Informatik und Phonik, Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg, 2005
- 10. Borod JC, Vingiano W, Cytryn F**
The effects of emotion and ocular dominance on lateral eye movement.
Neuropsychologia, 1988; 26: 213-220
- 11. Braun C, Gründl M, Marberger C, Scherber C**
Beautycheck. Ursachen und Folgen von Attraktivität.
www.beautycheck.de, 2009
- 12. Burstone CJ**
Diagnosis and treatment planning of patients with asymmetries.
Semin Orthod, 1998; 4: 153-164
- 13. Cochrane SM, Cunningham SJ, Hunt NP**
A comparison of the perception of facial profile by the general public and 3 groups of clinicians.
Int J Adult Orthodon Orthognath Surg , 1999; 14:291-295
- 14. Chebib FS, Chamma AM**
Indices of craniofacial asymmetry
Angle Orthod, 1981; 51: 214-226

- 15. Chekaluk E, Llewellyn KR**
Masking effects in saccadic eye movements.
Visual and oculomotor functions – Advances in eye movement research.
In: d`Ydewalle, G. & Van Rensbergen, J.(Eds.) Amsterdam: Elsevier, 1994
- 16. Corbetta M, Akbudak E, Conturo TE, Snyder AZ, Ollinger JM, Drury HA, Linenweber MR, Petersen SE, Raichle ME, Van Essen DC, Shulman GL**
A common network of functional areas for attention and eye movements.
Neuron, 1998; 21: 761-773
- 17. Coupland NJ, Bailey JE, Wilson SJ, Potter WZ, Nutt DJ**
A pharmacodynamic study of the alpha 2-adrenergic receptor antagonist ethoxydazoxan in healthy volunteers.
Clin Pharmacol Ther, 1994; 56: 420-429
- 18. Czarnecki ST, Nanda RS, Currier GF**
Perceptions of a balanced facial profile.
Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1993; 104:180-187
- 19. Da Silveira AC, Daw JL, Jr., Kusnoto B, Evans C, Cohen M**
Craniofacial applications of three-dimensional laser surface scanning.
J Craniofac Surg, 2003; 14: 449-456
- 20. Dahan J**
Die Diagnose der Gesichts- und Schädelasymmetrien. Ein kephalometrisches Problem.
Fortschr Kieferorthop, 1968; 29: 289-333
- 21. Darwin C**
The expression of the emotions in man and animals (3rd edition).
New York: NY: Oxford University Press, 1872.

- 22. Deubel H, Schneider WX**
Saccade target selection and object recognition: evidence for a common attentional mechanism.
Vision Research, 1996; 36: 1827-1837
- 23. Dimberg U, Thunberg M, Grunedal S**
Facial reactions to emotional stimuli: Automatically controlled emotional responses.
Cogn Emot, 2002; 16: 449-471
- 24. Edler R, Wertheim D, Greenhill D**
Comparison of radiographic and photographic measurement of mandibular asymmetry.
Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2003; 123: 167-174
- 25. Eisenbarth H, Alpers GW**
Eyes and mouth: Competing for attention in emotional faces.
Journal of Psychophysiol, 2006; 20: 130
- 26. Ekman P**
Darwin's contributions to our understanding of emotional expressions.
Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci, 2009, 364: 3449-3451
- 27. Ekman P, Davidson RJ, Friesen WV**
The Duchenne smile: emotional expression and brain physiology. II.
J Pers Soc Psychol, 1990, 58: 342-353
- 28. Ekman P, Friesen WV, O'Sullivan M**
Smiles when lying.
J Pers Soc Psychol, 1988, 54: 414-420
- 29. Enquist M, Arak A**
Symmetry, beauty and evolution.
Nature, 1994; 372: 169-172

- 30. Etcoff NL**
Selective attention to facial identity and facial emotion.
Neuropsychol, 1984; 22: 281-295
- 31. Farah MJ, Wilson KD, Drain M, Tanaka JN**
What is "special" about face perception?
Psychol Rev, 1998; 105: 482-498
- 32. Farkas LG, Cheung G**
Facial asymmetry in healthy North American Caucasians. An anthropometrical study.
Angle Orthod, 1981; 51: 70-77
- 33. Faure JC, Rieffe C, Maltha JC**
The influence of different facial components on facial aesthetics.
Eur J Orthod, 2002; 24: 1-7
- 34. Ferrario VF, Sforza C, Dellavia C, Tartaglia GM, Colombo A, Caru A**
A quantitative three-dimensional assessment of soft tissue facial asymmetry of cleft lip and palate adult patients.
J Craniofac Surg, 2003, 14: 739-746
- 35. Ferrario VF, Sforza C, Poggio CE, Tartaglia G**
Distance from symmetry: a three-dimensional evaluation of facial asymmetry.
J Oral Maxillofac Surg, 1994; 52: 1126-1132
- 36. Gerdes ABM, Alpers G W, Pauli P**
When spiders appear suddenly: spider phobic patients are distracted by task-irrelevant spiders.
Behav Res Ther, 2008; 46: 174-187

- 37. Gerzanic L, Jagsch R, Watzke IM.**
Psychologic implications of orthognathic surgery in patients with skeletal Class II or Class ill malocclusion.
Int J Adult Orthodon Orthognath Surg, 2002, 17: 75-81
- 38. Gilbert C, Bakan P**
Visual asymmetry in perception of faces.
Neuropsychol, 1973; 11: 355-362
- 39. Good S, Edler R, Wertheim D, Greenhill D**
A computerized photographic assessment of the relationship between skeletal discrepancy and mandibular outline asymmetry.
Eur J Ortho, 2006; 28: 97-102.
- 40. Grammer K, Thornhill R..**
Human (Homo sapiens) facial attractiveness and sexual selection: the role of symmetry and averageness.
J Comp Psychol , 1994; 108: 233-242.
- 41. Grocholewski A, Neinrichs N, Lingnau A**
Selektive Aufmerksamkeit im Gesichtsbereich bei Personen mit einem kosmetisch-medizinischen Behandlungswunsch.
Zeitschrift für Klinische Psychologie und Psychotherapie, 2005; 36 (1): 57-66
- 42. Guang-Zhong Y, Dempere-Marco L, Hu XP, Rowe A**
visual search: psychophysical models and practical applications.
Image and vision computing, 2002; 20: 291-305
- 43. Haraguchi, S, Takada, K & Yasuda, Y**
Facial asymmetry in subjects with skeletal Class III deformity.
Angle Orthod, 2002; 72 (1): 28-35.

- 44. Hartmann J, Meyer-Marcotty P, Benz M, Häusler G, Stellzig-Eisenhauer A**
Reliability of a Method for Computing Facial Symmetry Plane and Degree of Asymmetry Based on 3D-data.
J Orofac Orthop. 2007; 68: 477-490
- 45. Hajeer MY, Ayoub AF, Millett DT**
Three-dimensional assessment of facial soft-tissue asymmetry before and after orthognathic surgery.
Br J Oral Maxillofac Surg, 2004; 42: 396-404.
- 46. Hell B**
3D sonography.
Int J Oral Maxillofac Surg, 1995; 24: 84-89
- 47. Henderson JM, Weeks PA, Hollingworth A**
The effects of semantic consistency on eye movements during complex scene viewing.
J Exp Psychol Hum Percept Perform, 1999; 25: 210-228
- 48. Huestegge L, Radach R, Kunert HJ**
Long-term effects of cannabis on oculomotor function in humans.
J Psychopharmacol, 2008; 23: 714-722
- 49. Huisinga-Fischer CE, Souren JP, v d Werken F, Prahl-Andersen B, van Ginkel F**
Perception of symmetry in the face.
J Craniofac Surg, 2004; 15: 128-134
- 50. Hurwitz DJ, Ashby ER, Llull R, Pasqual J, Tabor C, Garrison L, Gillen J, Weyant R.**
Computer-assisted anthropometry for outcome assessment of cleft lip.
Plast Reconstr Surg, 1999, 103: 1608-1623

- 51. Inhoff AW, Radach R**
Definition and computation of oculomotor measures in the study of cognition.
In G. Underwood (Ed.), Eye guidance in reading and scene perception. Amsterdam: Elsevier, 1998
- 52. Jacob Robert JK, Keith S**
Karn Commentary on section 4. Eye-Tracking in human-computer-interaction and usability research: Ready to deliver the promises.
In Hyönä, Jukka, Radach R, Deubel H (Eds), The mind's eye: cognitive and applied aspects of eye movement research. Amsterdam: Elsevier Science, 2003
- 53. Janson M, Janson G, Sant'Ana E, Tibola D, Martins DR**
Orthognathic treatment for a patient with Class III malocclusion and surgically restricted mandible.
Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2009; 136: 290-298
- 54. Jeffreys DA**
Evoked potential studies of face and object processing.
Visual Cognition, 1996; 3: 1-38
- 55. Jensen SH**
The psychosocial dimensions of oral and maxillofacial surgery: a critical review of the literature.
J Oral Surg, 1978, 36: 447-453
- 56. Johnson MH**
Subcortical face processing.
Nat Rev Neurosci, 2005; 6: 766-774
- 57. Johnston C, Hunt O, Burden D, Stevenson M, Hepper P**
The influence of mandibular prominence on facial attractiveness.
Eur J Orthod, 2005, 27: 129-133

- 58. Johnston DJ, Hunt O, Johnston CD, Burden DJ, Stevenson M, Hepper P**
The influence of lower face vertical proportion on facial attractiveness.
Eur J Orthod, 2005, 27: 349-354
- 59. Johnstone RA**
Female preference for symmetrical males as a by-product of selection for mate recognition.
Nature, 1994; 372: 172-175
- 60. Jones DM, Hill K**
Criteria of facial attractiveness in five populations.
Human Nat, 1993; 4: 271-296
- 61. Joos M, Rötting M, Velichkovsky BM**
Die Bewegungen des menschlichen Auges: Fakten, Methoden und innovative Anwendungen.
In Rickett, T. Hermann & W. Deutsch (Hrsg.): Psycholinguistik, ein internationales Handbuch; Berlin & NY: de Gruyter, 2003: 142-168
- 62. Juggins KJ, Nixon F, Cunningham SJ**
Patient- and clinician-perceived need for orthognathic surgery.
Am J Orthod Dentofacial Ortho, 2005, 128: 697-702
- 63. Kampe KKW, Frith CD, Dolan RJ, Frith U**
Reward value of attractiveness and gaze.
Nature, 2001; 413: 589
- 64. Karsh R, Breitenbach FW**
Looking at the amorphous fixation measue.
In R. Groner, C. Menz, D.F. Fisher & R.A. Monty (Eds): Eye movements and psychological functions; Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1983

- 65. Kau CH, Richmond S, Incrapera A, English J, Xia JJ**
Three-dimensional surface acquisition systems for the study of facial morphology and their application to maxillofacial surgery.
Int J Med Robot 3, 2007: 97-110
- 66. Ko EW, Huang CS, Chen YR**
Characteristics and corrective outcome of face asymmetry by orthognathic surgery.
J Oral Maxillofac Surg 67, 2009: 2201-2209
- 67. Lee LW, Chen SH, Yu CC, Lo LJ, Lee SR, Chen YR**
Stigma, body image, and quality of life in women seeking orthognathic surgery.
Plast Reconstr Surg, 2007, 120: 225-231
- 68. Leenaars LS, Dane AV, Marini ZA.**
Evolutionary perspective on indirect victimization in adolescence: the role of attractiveness, dating and sexual behavior.
Aggress Behav, 2008, 34: 404-415
- 69. Loughland CM, Williams LM, Gordon E**
Visual scanpaths to positive and negative facial emotions in an outpatient schizophrenia sample.
Schizophrenia Research, 2002; 55: 159-170
- 70. Lundquist D, Esteves F, Öhman A**
The face of wrath: critical features for conveying facial threat.
Cogn Emotion, 1999; 13: 691-711
- 71. Lundstrom A, Popovich F, Woodside DG.**
Panel assessments of the facial frontal view as related to mandibular growth direction.
Eur J Orthod, 1989, 11: 290-297

- 72. Masuoka N, Momoi Y, Ariji Y, Nawa H, Muramatsu A, Goto S, Ariji E**
Can cephalometric indices and subjective evaluation be consistent for facial asymmetry?
Angle Orthod, 2005; 75: 651-655
- 73. Mertens I, Siegmund H, Grüsser OJ**
Gaze motor asymmetries in the perception of faces during a memory task.
Neuropsych, 1993; 31: 989-998
- 74. Meyer-Marcotty P, Alpers GW, Gerdes ABM, Stellzig-Eisenhauer A**
The Impact of Facial Asymmetry in Visual Perception – a 3D Data Analysis.
Am J Orthod Dentofacial Orthop 2008
- 75. Moller AP**
Female swallow preference for symmetrical male sexual ornaments.
Nature, 1992; 357: 238-240
- 76. Moller AP, Thornhill R**
Bilateral symmetry and sexual selection: a meta-analysis.
Am Nat , 1998, 151: 174-192
- 77. Moser A, Heide W, Kämpf D**
The effect of oral ethanol consumption on eye movements in healthy volunteers.
J Neurol, 1998; 245: 542-550
- 78. Naini FB, Moss JP, Gill DS**
The enigma of facial beauty: esthetics, proportions, deformity, and controversy.
Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2006; 130: 277-282

- 79. Neumann R, Hess M, Schulz S, Alpers GW**
Automatic behavioural responses to valence: Evidence that facial action is facilitated by evaluative processing.
Cogn Emot, 2005; 19: 499-513
- 80. Nkenke E, Benz M, Maier T, Wiltfang J, Holbach LM, Kramer M, Hausler G, Neukam FW**
Relative en- and exophthalmometry in zygomatic fractures comparing optical non-contact, non-ionizing 3D imaging to the Hertel instrument and computed tomography.
J Craniomaxillofac Surg, 2003; 31: 362-368
- 81. Nkenke E, Langer A, Laboureux X, Benz M, Maier T, Kramer M, Hausler G, Kessler P, Wiltfang J, Neukam FW**
Validation of in vivo assessment of facial soft-tissue volume changes and clinical application in midfacial distraction: a technical report.
Plast Reconstr Surg, 2003, 112: 367-380
- 82. Nkenke E, Lehner B, Kramer M, Haeusler G, Benz S, Schuster M, Neukam FW, Vairaktaris EG, Wurm J**
Determination of facial symmetry in unilateral cleft lip and palate patients from three-dimensional data: technical report and assessment of measurement errors.
Cleft Palate Craniofac J, 2006, 43: 129-137
- 83. Nkenke E, Maier T, Benz M, Wiltfang J, Holbach LM, Kramer M, Hausler G, Neukam FW**
Hertel exophthalmometry versus computed tomography and optical 3D imaging for the determination of the globe position in zygomatic fractures.
Int J Oral Maxillofac Surg 33, 2004: 125-133
- 84. Noton D, Stark I**
Eye movements and visual perception.
Sci Am, 1971; 224: 35-43

- 85. O'Brien K, Macfarlane T, Wright J, Conboy F, Appelbe P, Birnie D, Chadwick S, Connolly I, Hammond M, Harradine N, Lewis D, Littlewood S, McDade C, Mitchell L, Murray A, O'Neill J, Sandler J, Read M, Robinson S, Shaw I, Turbill E**
Early treatment for Class II malocclusion and perceived improvements in facial profile.
Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2009, 135: 580-585.
- 86. O'Doherty J, Winston J, Critchley H, Perrett D, Burt DM, Dolan RJ**
Beauty in a smile: the role of medial orbitofrontal cortex in facial attractiveness.
Neuropsychol, 2003; 41: 147-155
- 87. O'Grady KF, Antonyshyn OM.**
Facial asymmetry: three-dimensional analysis using laser surface scanning.
Plast Reconstr Surg, 1999; 104: 928-937
- 88. Peck S, Peck L, Kataja M**
Skeletal asymmetry in esthetically pleasing faces.
Angle Orthod. 1991;61: 43-48
- 89. Phillips ML, David AS**
Understanding the symptoms of schizophrenia using visual scan path.
Br J Psychiatry, 1994; 165: 673-675
- 90. Plooij JM, Swennen GR, Rangel FA, Maal TJ, Schutyser FA, Bronkhorst EM, Kuijpers-Jagtman AM, Berge SJ**
Evaluation of reproducibility and reliability of 3D soft tissue analysis using 3D stereophotogrammetry.
Int J Oral Maxillofac Surg, 2009; 38: 267-273

- 91. Plooij JM, Verhamme Y, Berge SJ, van Lindert EJ, Borstlap-Engels VM, Borstlap WA**
Unilateral craniosynostosis of the frontosphenoidal suture: a case report and a review of literature.
J Craniomaxillofac Surg, 2009; 37: 162-166
- 92. Prieels F, Hirsch S, Hering P**
Holographic topometry for a dense visualization of soft tissue for facial reconstruction.
Forensic Sci Med Pathol, 2009; 5: 11-16
- 93. Proffit WT**
Dentofacial asymmetry.
In: Proffit WT, and White RPJ editors. Surgical orthodontic treatment. St. Louis: Mosby
- 94. Ras F, Habets LL, van Ginkel FC, Prahl-Andersen B**
Method for quantifying facial asymmetry in three dimensions using stereophotogrammetry.
Angle Orthod, 1995; 65: 233-239
- 95. Rhodes G**
The evolutionary psychology of facial beauty.
Annu Rev Psychol, 2006; 57: 199-226
- 96. Rhodes, D., Proffitt, F., Grady, J.M. & Sumich, A**
Facial symmetry and the perception of beauty.
Psycho Bull Rev. 1998; 5: 5:659-69
- 97. Rhodes G, Geddes K, Jeffery L, Dziurawiec S, Clark A**
Are average and symmetric faces attractive to infants? Discrimination and looking preferences.
Perception, 2002; 31: 315-321

-
- 98. Rivera SM, Hatch JP, Dolce C, Bays RA, Van Sickels JE, Rugh JD**
Patients' own reasons and patient-perceived recommendations for orthognathic surgery.
Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2000, 118: 134-141
- 99. Rizzolatti G, Riggio L, Sheliga BM**
Space and selective attention
Vol XV, Cambridge: MIT Press, 1994
- 100. Rodriguez I, Gumbert A, Hempel de Ibarra N, Kunze J, Giurfa M**
Symmetry is in the eye of the beholder: innate preference for bilateral symmetry in flower-naive bumblebees
Naturwissenschaften, 2004; 91: 374-377
- 101. Ross ED, Prodan CI, Monnot M**
Human facial expressions are organized functionally across the upper-lower facial axis.
Neuroscientist, 2007; 13: 433-446
- 102. Ross ED, Reddy AL, Nair A, Mikawa K, Prodan CI**
Facial expressions are more easily produced on the upper-lower compared to the right-left hemiface.
Percept Mot Skills, 2007; 104: 155-165
- 103. Samman, N., Tong, A.C., Cheung, D.L. & Tideman, H**
Analysis of 300 dentofacial deformities in Hong Kong.
Int J Adult Orthodon Orthognath Surg., 1992; 7 (3): 181-5.
- 104. Sandler PJ**
Reproducibility of cephalometric measurements.
Br J Orthod, 1988, 15: 105-110

- 105. Scheib JE, Gangestad SW, Thornhill R**
Facial attractiveness, symmetry and cues of good genes.
Proc Biol Sci. 1999; 266: 1913-1917
- 106. Schleicher R, Galley N, Briest S, Galley L**
Blinks and saccades as indicators of fatigue in sleepiness warnings: looking tired?
Ergonomics, 2008; 51: 982-1010
- 107. Severt, TR, Proffit, WR**
The prevalence of facial asymmetry in the dentofacial deformities population at the University of North Carolina.
Int J Adult Orthodon Orthognath Surg., 1997; 12 (3): 171-6.
- 108. Sforza C, Laino A, D'Alessio R, Grandi G, Tartaglia GM, Ferrario VF**
Soft-tissue facial characteristics of attractive and normal adolescent boys and girls.
Angle Orthod. 2008; 78: 799-807
- 109. Sforza C, Peretta R, Grandi G, Ferronato G, Ferrario VF**
Soft tissue facial planes and masticatory muscle function in skeletal Class III patients before and after orthognathic surgery treatment.
J Oral Maxillofac Surg, 2008; 66: 691-698
- 110. Stirling J, Latchford G, Morris DO, Kindelan J, Spencer RJ, Bekker HL**
Elective orthognathic treatment decision making: a survey of patient reasons and experiences.
J Orthod, 2007, 34: 113-127; discussion 111
- 111. Szczechura J, Tereiak JF, Kobos Z, Ainkovski J**
Oculographic assessment of work load influence on flight performance.
Int J Aviat Psychol, 1998; 8: 157-176

-
- 112. Thornhill R, Gangestad SW**
Human facial beauty: averageness, symmetry and parasite resistance.
Hum Nat, 1993; 4: 237-269
- 113. Thornhill, R, Gangestad, SW**
Facial attractiveness.
Trends Cogn Sci. 1999, 3: 452-460
- 114. Tsang ST, McFadden LR, Wiltshire WA, Pershad N, Baker AB**
Profile changes in orthodontic patients treated with mandibular advancement surgery.
Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2009, 135 :66-72
- 115. van Steenbergen E, Litt MD, Nanda R**
Presurgical satisfaction with facial appearance in orthognathic surgery patients.
Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1996; 109: 653-659
- 116. Volkman FC, Riggs LA, White KD**
Central and peripheral determinants of saccadic suppression.
In JW Senders, DF Fisher, RA Monty (Eds.): Eye movements and the higher psychological functions (33-54); Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1978
- 117. Walker Smith GJ, Gale AG, Findlay JM**
Eye movement strategies involved in face perception.
Perception, 1977; 6: 313-326
- 118. Whalen PJ, Kagan J, Cook RG, Davis FC, Kim H, Polis S, McLaren DG, Somerville LH, McLean AA, Maxwell JS, Johnstone T**
Human amygdala responsivity to masked fearful eye whites.
Science, 2004; 306: 2061

- 119. Yamashita Y, Nakamura Y, Shimada T, Nomura Y, Hirashita A**
Asymmetry of the lips of orthognathic surgery patients.
Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2009; 136: 559-563
- 120. Yarbus AL**
Eye Movements and Vision.
New York: Plenum Press, 1967
- 121. Young LR, Sheena D**
Survey of eye movement recording methods.
Behavioural Research Methods & Instrumentation, 1975; 7: 397-429
- 122. Yuki M, Maddux WW, Masuda T**
Are the windows to the soul the same in the East and West? Cultural differences in using the eyes and mouth as cues to recognize emotions in Japan and the United States.
J Exp Soc Psychol, 2007; 43: 303-311
- 123. Yarbus et al**
Eye movements and vision
1967; New York: Plenum

8.5. Präsentationsmaterial

Das Präsentationsmaterial der vorliegenden Eye-Tracking-Studie setzt sich aus den standardisierten, schwarz-weiß Frontalaufnahmen von 18 Patienten mit skelettaler Klasse III (Abbildung 8.1) und einer Vergleichsgruppe (Abbildung 8.2) mit ebenfalls 18 Personen zusammen. Diese Fotos zeigen Patienten mit neutralem Gesichtsausdruck und Blickkontakt zum Betrachter. Alle Fotos wurden vor dem gleichen dunklen Hintergrund aufgenommen und im Anschluss mit einem Bildbearbeitungsprogramm bearbeitet. Die Fotos wurden bis zur Kontur des Gesichts zugeschnitten, so dass Auffälligkeiten wie Haarfarbe, Frisur, Hautkolorit, Kopfform, Ohren und Schmuck die visuelle Beurteilung nicht beeinflussen.

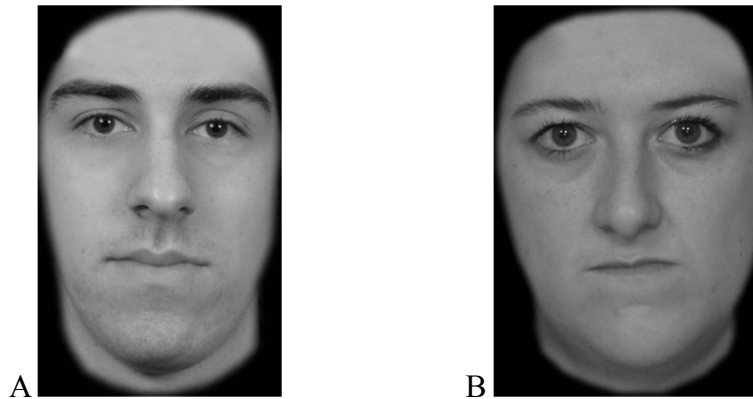


Abbildung 8.1: Beispiele der bearbeiteten Fotografien eines männlichen (A) und eines weiblichen (B) Dysgnathie-Patienten.



Abbildung 8.2: Beispiele der bearbeiteten Fotografien eines männlichen (A) und eines weiblichen (B) Probanden der Kontrollgruppe.

Die 36 Aufnahmen wurden als Original und gespiegelte Version (Abbildungen 8.3 und 8.4) angefertigt. Insgesamt ergab sich so eine Anzahl von 72 Aufnahmen, die der Patientengruppe und der Kontrollgruppe als Stimulus präsentiert wurden.

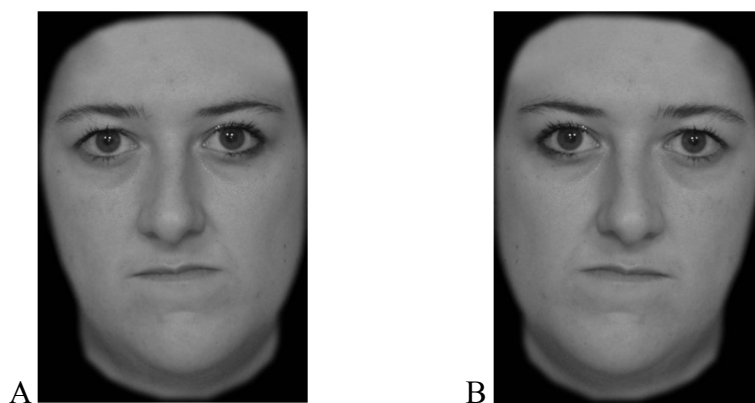


Abbildung 8.3: Beispiel der gespiegelten Fotografien aus der Dysgraphie-Patientengruppe; (A) Original; (B) gespiegelte Version.

8.6. Formblätter

8.6.1. Einverständniserklärung

Poliklinik für Kieferorthopädie
Prof. Dr. A. Stellzig-Eisenhauer
 (Klinik und Polikliniken für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten)
 Institut für Psychologie
Prof. Dr. Paul Pauli
 (Lehrstuhl für Psychologie I)

Untersuchung zur Wahrnehmung von Gesichtern

Sehr geehrte Teilnehmerin, sehr geehrter Teilnehmer,
 vielen Dank für Ihre Mitarbeit an dieser Untersuchung.

Im folgenden Experiment soll die Wahrnehmung von Gesichtern untersucht werden. Während des Experiments werden Sie durch eine optische Vorrichtung auf einen Bildschirm blicken, auf dem Ihnen verschiedene Gesichter präsentiert werden. Ihre Aufgabe wird darin bestehen, die Bilder zu betrachten und anschließend in einem zweiten Durchgang zu bewerten.

Zusätzlich werden Sie gebeten, vor und nach der Untersuchung einen Fragebogen auszufüllen, die Auskünfte über Ihre persönlichen Erfahrungen ermitteln.

Die Teilnahme an der Untersuchung ist freiwillig. Es entstehen keinerlei Nachteile für Sie, wenn Sie nicht an dieser Studie teilnehmen. Sie können die Untersuchung jederzeit abbrechen. Ein Widerruf des Einverständnisses kann jederzeit ohne Angabe von Gründen und ohne Nachteile erfolgen.

Die Untersuchung wird insgesamt ungefähr eine Stunde in Anspruch nehmen.

Alle Daten dienen ausschließlich wissenschaftlichen Zwecken, werden streng vertraulich behandelt und unter einer Code-Nummer abgespeichert, wenn keine Löschung der Daten gewünscht wird. Ihre persönlichen Daten werden nicht weitergegeben. Bei Unklarheiten oder Fragen wenden Sie sich bitte an den Projektleiter.

OA Dr. Philipp Meyer-Marcotty

(Poliklinik für Kieferorthopädie, Pleicherwall 2, 97070 Würzburg,
 Tel.: 0931/ 20173380)

Code: Geburtsdatum der Mutter (TT.MM.JJJJ): _ _ . _ . _ _ _ _

Einverständniserklärung

Ich bin darüber informiert worden, dass die Teilnahme an der Untersuchung freiwillig ist, und ich jederzeit aus der Untersuchung ausscheiden kann, ohne dass mir persönliche Nachteile entstehen. Ich erkläre mich damit einverstanden, dass meine Daten zu Forschungszwecken verwendet und gespeichert werden.

Würzburg, den.....

Unterschrift:.....

Unterschrift des Versuchsleiters:.....

Danksagung

Ich möchte mich herzlich bei all jenen Personen bedanken, die dazu beigetragen haben, dass diese Dissertation in der hier vorliegenden Form, entstehen konnte.

Mein herzlicher Dank gilt Frau PROF. DR. MED. DENT. STELLZIG-EISENHAUER Direktorin der Poliklinik für Kieferorthopädie an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg für die Vergabe dieses interessanten Promotionsthemas sowie die freundliche Betreuung. Ich danke Ihr auch dafür, dass sie mir fundiertes klinisches Wissen vermittelt hat.

Mein ganz besonderer Dank gilt meinem Betreuer

Herrn PD DR. MED. DENT. MEYER-MARCOTTY für die immense Unterstützung, die immer ausgesprochen angenehme Atmosphäre, die Möglichkeit zum selbstständigen Arbeiten und die hervorragende Unterstützung zu jeder Zeit. Zudem gilt mein Dank für die zielgerechte und freundliche Betreuung, Motivation und Korrektur der Arbeit.

Danken möchte ich auch Herrn PRIV. DOZ. DR. DR. BILL für die Übernahme des Koreferats und für die Begutachtung meiner Arbeit.

Für die angenehme Zusammenarbeit will ich mich auch bei den Mitarbeitern des Lehrstuhls für biologische Psychologie, klinische Psychologie und Psychotherapie bedanken, allen voran Frau Dr. Antje Gerdes, durch deren Hilfe die Durchführung dieser Studie erst möglich wurde.

Ein sehr herzlicher Dank gilt auch meiner Frau, Eltern, Großeltern und Geschwistern die alle auf ihre Weise zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Sie waren zu jeder Zeit eine große Unterstützung für mich.

Lebenslauf

Name: Matthias Sebastian Fuchs

Geburtsdatum: 18.03.1980

Geburtsort: Rosenheim

Schulbildung:
1986-1990 Grundschule Schloßberg
1990-1999 Finsterwalder Gymnasium, Rosenheim

Zivildienst:
1999-2000 Klinikum Rosenheim, EDV-Abteilung

Hochschulausbildung:
2000-2006 Studium der Zahnmedizin an der Ludwig-Maximilians-Universität, München
Februar 2006 Staatsexamen

Berufstätigkeit:
2006-2007 Ausbildungsassistent in allgemeinärztlicher Praxis
Dr. Thomas Moukriotis, München
2007-2010 wissenschaftlicher Mitarbeiter und Weiterbildungsassistent
in der Poliklinik für Kieferorthopädie der
Universitätsklinik, Würzburg
Februar 2010 Ernennung zum Oberarzt der Poliklinik für
Kieferorthopädie der Universitätsklinik, Würzburg
Seit Mai 2010 angestellter Fachzahnarzt in der Poliklinik für
Kieferorthopädie der Universitätsklinik, Würzburg

Würzburg, den 23. März 2011

Matthias Fuchs